



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

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

**TRABAJO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO AUTOMOTRIZ**

**TEMA: FABRICACIÓN DEL GUARDABARROS PARA VEHÍCULO
UTILIZANDO MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ POLIMÉRICA
REFORZADO CON FIBRA DE YUTE.**

**AUTORES: CHILES RUANO WILLIAN ORLANDO,
VILLARREAL CRUCERIRA MARLON SANTIAGO**

DIRECTOR: ING. CARLOS MARCELO SEGOVIA TROYA MSc.

Ibarra, 2023

CERTIFICADO

ACEPTACIÓN DE DIRECTOR

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

CERTIFICO:

Que una vez analizado el plan de trabajo de grado cuyo título es "FABRICACIÓN DE GUARDABARROS PARA VEHÍCULO UTILIZANDO MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ POLIMÉRICA REFORZADO CON FIBRA DE YUTE", presentado por el señor: VILLARREAL CRUCERIRA MARLON SANTIAGO con número de cédula 0401559372, 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 13 días del mes de marzo del 2023.

Atentamente



Ing. Carlos Segovia, MSc

DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

CERTIFICADO

ACEPTACIÓN DE DIRECTOR

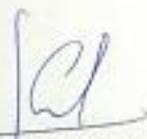
En calidad de director del plan de trabajo de grado, previo a la obtención del título de Ingeniería Automotriz, nombrado por el Honorable Consejo Directivo de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas.

CERTIFICO:

Que una vez analizado el plan de trabajo de grado cuyo título es "FABRICACIÓN DE GUARDABARROS PARA VEHÍCULO UTILIZANDO MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ POLIMÉRICA REFORZADO CON FIBRA DE YUTE", presentado por el señor: CHILES RUANO WILLIAN ORLANDO con número de cédula 0401853221, 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 13 días del mes de marzo del 2023.

Atentamente



Ing. Carlos Segovia, MSc

DIRECTOR DE 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 DE IDENTIDAD:	0401559372		
APellidos y Nombres:	Villarreal Cruceira Marlon Santiago		
DIRECCIÓN:	Tulcán - Av. Junín y Maldonado		
EMAIL:	msvillarrealc@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO:		TELÉFONO MÓVIL:	0959980747

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	FABRICACIÓN DEL GUARDABARROS PARA VEHÍCULO UTILIZANDO MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ POLIMÉRICA REFORZADO CON FIBRA DE YUTE
AUTOR (ES):	Villarreal Cruceira Marlon Santiago y Chiles Ruano Willian Orlando
FECHA: DD/MM/AAAA	13/03/2023
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	INGENIERÍA 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 la misma y saldrá (n) en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 11 días del mes de abril de 2023

EL AUTOR:

Villarreal Marlon



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 DE IDENTIDAD:	0401853221		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Chiles Ruano Willian Orlando		
DIRECCIÓN:	Tufiño, AV gran Colombia y calle los ríos		
EMAIL:	wochilesr@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO:	2222133	TELÉFONO MÓVIL:	0987242772

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	"FABRICACION DE GUARRDABAROS PARA VEHICULO UTILIZANDO MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ POLIMERICA REFORZADO CON FIBRA DE YUTE"
AUTOR (ES):	Chiles Ruano Willian Orlando y Villarreal Cruceira Marlon Santiago
FECHA: DD/MM/AAAA	13/03/2023
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TITULO POR EL QUE OPTA:	Ingenieria 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 la misma y saldrá (n) en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 11 días del mes de abril de 2023

EL AUTOR:

Willian Chiles

DEDICATORIA

A mis abuelos Elisa Cruceira y Buenaventura Villarreal que desde pequeño me enseñaron a ser una persona centrada en mis objetivos y que desde algún lugar del firmamento me han guiado por el camino adecuado para culminar esta meta.

A mi madre Cecilia Villarreal que con esfuerzo, amor y paciencia ha logrado forjar en mi honestidad, solidaridad y valentía para enfrentar el mundo sin importar las dificultades que se presenten.

A mi padre Hernán Aguilar que permitió instaurar esa pasión por los fierros incluso antes de nacer y que actualmente representa una inspiración además del apoyo y paciencia con la cual me ha guiado para ser un buen profesional.

A mis hermanos Julián Marcillo y Maikelly Bravo por ser mis compañeros de vida y motor principal para lograr culminar con este objetivo.

Marlon Santiago Villarreal Cruceira

A Dios por ser una parte fundamental que ha guiado en mi vida, dándome las fuerzas necesarias para alcanzar mis metas.

A mis padres, Luis Chiles y Aura Elina Ruano por su amor incondicional y apoyo incansable en todo momento. Gracias por creer en mí y ser mi pilar constante en los momentos difíciles. Este logro es también vuestro.

A mi hermana Alexandra Chiles por ser mi confidente, mi guía y mi apoyo constante en todo momento. Tu amor y apoyo significan el mundo para mí y estoy eternamente agradecido por tener una hermana tan increíble como tú.

Con todo mi amor y gratitud.

Willian Orlando Chiles Ruano

AGRADECIMIENTO

A mis padres y abuelos que han logrado establecer en mí, valores para ser una persona correcta y educada a pesar de las adversidades, de igual manera a mis hermanos y primos quienes nunca dudaron de mí y brindaron su apoyo a pesar de la distancia.

A la Universidad Técnica del Norte por abrimme las puertas y brindarme los conocimientos necesarios para lograr ser un profesional.

Un agradecimiento especial a los docentes de la carrera de Ingeniería Automotriz por compartir sus conocimientos en las aulas, demostrando su pasión por la mecánica y forjando no solo en mi sino en todos los estudiantes esa inspiración necesaria para poder culminar la carrera.

Al Ing., Carlos Segovia MSc, por brindarnos la oportunidad de desarrollar este trabajo y guiarnos durante el proceso mediante los consejos precisos que nos permitió obtener un buen trabajo.

Marlon Santiago Villarreal Cruceira

A mis padres a los cuales quiero expresar mi más profundo agradecimiento por su apoyo incondicional durante mi trabajo de tesis. Su paciencia, motivación y consejos fueron esenciales para el éxito de mi proyecto. Sin ustedes, no podría haber logrado completar esta tarea. Espero hacerles sentir orgullosos de mí y de mi logro.

De igual manera quiero agradecer mi tutor Ing. Carlos Segovia MSc, por su paciencia, guía y orientación en este proceso de investigación.

Willian Orlando Chiles Ruano

ÍNDICE DE CONTENIDO

	PÁGINA
RESUMEN	xvii
ABSTRACT	xviii
INTRODUCCIÓN	xix
CAPITULO I	1
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 Taxonomía De Los Materiales	4
1.6 Conceptualización De Composites	5
1.6.1 Clasificación de los materiales compuestos	6
1.6.2 Partes constitutivas del material compuesto	7
1.6.2.1 La Matriz	8
1.6.2.2 Materia de refuerzo	8
1.7 Uso de fibra natural como refuerzo en materiales compuestos de matriz polimérica	9
1.7.1 Matrices Y Refuerzo: armonización y caracterización	9
1.7.2 Conceptualización: Matriz Polimérica	10
1.7.2.1 Clasificación de las matrices poliméricas	10
1.7.3 La resina de poliéster como matriz polimérica	11
1.7.3.1 Propiedades del poliéster	12
1.7.3.2 Sistemas de curado de las resinas de poliéster	12
1.7.4 Conceptualización: Refuerzo Con Fibras	12
1.7.4.1 Clasificación de los refuerzos con fibra	13
1.7.4.2 Orientación y cantidad de la fibra	13
1.7.4.3 Fibra natural: Clasificación y propiedades mecánicas	14
1.7.5 La Fibra De Yute Como Refuerzo Natural	15
1.7.5.1 Definición: Fibra de yute	15
1.7.5.2 Uso y propiedades de la fibra de yute	15
1.8 Proceso de obtención de un material compuesto y evaluación de sus propiedades mecánicas	16
1.8.1 Métodos de obtención del material compuesto	17

1.8.2 Etapas de obtención del material	17
1.8.3 Ensayos para materiales compuestos	18
1.8.3.1 Ensayo de tracción bajo norma ASTM D3090-15	18
1.8.3.2 Ensayo en flexión bajo norma ASTM D7264-15	19
1.8.3.3 Ensayo a impacto mediante caída por dardo bajo norma ASTM D5628	19
1.9 Aplicación de los materiales compuestos en la industria automotriz	19
1.9.1 Autopartes elaboradas con materiales compuestos	20
1.9.2 Elaboración de autopartes	21
1.9.2.1 Moldes para fabricación de autopartes	21
1.9.2.2 Proceso de estratificación manual	22
CAPITULO II	23
2 MATERIALES Y MÉTODOS	23
2.1 Caracterización de los materiales	23
2.1.1 La Fibra De Yute	23
2.1.2 Resina Poliéster	24
2.1.3 Catalizador	24
2.1.4 Acelerador	25
2.1.5 Estireno	25
2.1.6 Cera Desmoldante	25
2.2 Construcción de probetas bajo normativa ASTM	26
2.2.1 Dimensionamiento de las probetas	26
2.2.1.1 Probetas de tracción	26
2.2.1.2 Probetas de flexión	26
2.2.1.3 Probetas de impacto	27
2.2.2 Cálculos	28
2.2.2.1 Cálculos para probetas de tracción con fibra suelta	29
2.2.2.2 Cálculos para probetas de flexión con fibra suelta	30
2.2.2.3 Cálculos para probetas de impacto con fibra suelta	30
2.2.3 Obtención de la fibra de yute	31
2.2.4 Polimerización de la resina poliéster	32
2.2.5 Dimensionamiento y preparación de los moldes para las probetas	33
2.2.5.1 Diseño de moldes	33
2.2.5.2 Fabricación de tableros	35
2.2.5.3 Aplicación de cera desmoldante	35

2.2.5.4 Perforación de los tableros	36
2.2.5.5 Disposición del material compuesto en los tableros	36
2.2.6 Configuración de tableros para el material compuesto con suelta	fibra 37
2.2.6.1 Probetas de tracción, flexión e impacto con fibra de yute suelta	38
2.2.7 Configuración de tableros para el material compuesto con fibra	tejida 38
2.2.7.1 Probetas de tracción flexión e impacto con fibra de yute tejida	39
2.2.8 Preparación y corte de probetas en los tableros	40
2.2.8.1 Tiempo de curado	40
2.2.8.2 Desmolde de tableros	41
2.2.8.3 Corte de probetas	41
2.3 Propiedades del material compuesto	42
2.3.1 Ensayos de tracción	42
2.3.1.1 Esfuerzo máximo a la tracción	43
2.3.1.2 Porcentaje de elongación	43
2.3.1.3 Módulo de elasticidad	43
2.3.2 Ensayos de flexión	44
2.3.2.1 Esfuerzo máximo a la flexión	44
2.3.2.2 Deformación máxima	45
2.3.2.3 Módulo de elasticidad	45
2.3.3 Ensayos de impacto	46
2.3.3.1 Energía media al fallo	46
2.4 Proceso de fabricación de prototipo	47
2.4.1 Elaboración y preparación del molde	47
2.4.2 Fabricación de guardabarros	48
2.4.2.1 Determinación volumétrica matriz/refuerzo para prototipo	48
2.4.2.2 Aplicación de resina	49
2.4.2.3 Aplicación de fibra	49
2.4.2.4 Secado de prototipo	50
2.4.2.5 Desmolde de prototipo	50
2.4.2.6 Acabados	51
CAPITULO III	53
3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	53

3.1 Recolección y clasificación de resultados	53
3.1.1 Clasificación de datos para ensayos de tracción	53
3.1.2 Clasificación de datos para ensayos de flexión	63
3.1.3 Clasificación de datos para ensayos de impacto	73
3.2 Analisis de resultados	79
3.2.1 Análisis de resultados para probetas de tracción	79
3.2.2 Analisis de resultados para probetas de flexión	80
3.2.3 Analisis de resultados para probetas de impacto	81
3.3 Verificación de hipótesis	82
3.3.1 Determinación de la mejor configuración con fibra tejida	83
3.3.1.1 Determinación de la mejor configuración con fibra tejida para probetas de tracción	84
3.3.1.2 Determinación de la mejor configuración con fibra tejida para probetas de flexión	86
3.3.1.3 Determinación de la mejor configuración con fibra tejida para probetas de impacto	87
3.3.2 Comprobación de la mejor composición	89
3.3.2.1 Hipótesis Nula (H_0)	89
3.3.2.2 Hipótesis Alterna (H_a)	89
3.3.2.3 Verificación de hipótesis para probetas de tracción	89
3.3.2.4 Verificación de hipótesis para probetas de flexión	90
3.3.2.5 Verificación de hipótesis para probetas de impacto	91
3.4 Analisis del material compuesto frente a materiales sintéticos y materiales compuestos utilizados en la industria automotriz	93
3.4.1 Comparativa de las propiedades mecánicas del material compuesto fibra de yute y resína poliester frente a materiales sintéticos.	por 93
3.4.2 Comparativa de las propiedades mecanicas del material compuesto fibra de yute y resína poliester frente otros materiales compuestos.	por 97
3.5 Analisis del prototipo	101
3.5.1 Definicion de parametros	101
3.5.1.1 Disponibilidad del material	101
3.5.1.2 Durabilidad del material	101
3.5.1.3 Tiempo de fabricación	101
3.5.1.4 Peso	101
3.5.1.5 Costo de fabricación	102
3.5.1.6 Trabajabilidad	102
3.5.1.7 Biodegradación	102
3.5.2 Definición de indicadores	102

3.6 Analisis de costos	103
3.6.1 Costos de prototipo	103
3.6.1.1 Costos directos	103
3.6.1.2 Costos indirectos	105
3.6.2 Costos Del Proyecto	105
CAPITULO IV	106
4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	106
4.1 Conclusiones	106
4.2 Recomendaciones	108
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	109
ANEXOS	113

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA	DESCRIPCIÓN	PÁGINA
NÚM		
1.1	Clasificación de los materiales	5
1.2	Clasificación de los materiales compuestos	6
1.3	Tipos de Matriz	8
1.4	Tipo de material reforzante	9
1.5	Propiedades y aplicación de diferentes polímeros termoestables.	11
1.6	Propiedades mecánicas de la resina poliéster	12
1.7	Características de diferentes fibras de refuerzo	15
1.8	Métodos de obtención de materiales compuestos	17
2.1	Probetas, porcentaje de fibra, porcentaje de matriz y disposición de refuerzo	28
2.2	Cantidad de resina poliéster, estireno, acelerador y catalizador	38
2.3	Disposición y cantidad de fibra suelta por capa	38
2.4	Cantidad de resina y sus componentes	39
2.5	Disposición y distribución de fibra tejida sobre los tableros	40
2.6	Conjunto de probetas	42
2.10	Cantidad de resina poliéster y complementos por capas	48
2.12	Proceso de acabados en el prototipo	51
3.1	Tipos de falla para ensayos de tracción	53
3.2	Resultados de ensayos de tracción grupo 1	54
3.4	Resultados de ensayos de tracción grupo 3	60
3.5	Tipos de falla para ensayos de flexión.	63
3.6	Resultados de ensayos de flexión Grupo 1	63
3.7	Resultados de ensayos de flexión Grupo 2	67
3.8	Resultados de ensayos de flexión Grupo 3	70
3.9	Tipo de falla para probetas de impacto	73
3.10	Resultados de ensayos de impacto Grupo 1	73
3.11	Resultados de ensayos de impacto Grupo 2	75
3.12	Resultados de ensayos de impacto Grupo 3	77
3.13	Resultados del esfuerzo máximo y módulo de elasticidad para los ensayos de tracción	80
3.14	Resultados del esfuerzo máximo y módulo de elasticidad para los ensayos de tracción	81
3.15	Energía promedio absorbida por impacto para cada grupo de probetas	82

3.16	Valores obtenidos para resistencia a la tracción de los grupos de probetas separados como variables.	85
3.17	Valores obtenidos para resistencia a la flexión de los grupos de probetas separados como variables.	86
3.18	Valores obtenidos para energía absorbida de impacto de los grupos de probetas separados como variables.	87
3.19	Valores obtenidos para resistencia a la tracción de los grupos de probetas separados como variables.	89
3.20	Valores obtenidos para resistencia a la flexión de los grupos de probetas separados como variables.	90
3.22	Valores encontrados bibliográficamente de las propiedades mecánicas del policarbonato.	94
3.23	Valores encontrados bibliográficamente de las propiedades mecánicas del polipropileno.	94
3.24	Comparación de propiedades mecánicas	94
3.25	Propiedades mecánicas del compuesto de cáñamo	97
3.26	Comparativa de resistencia a tracción, resistencia a flexión y energía al fallo con diferentes materiales compuestos.	98
3.27	Parámetros de comparación del prototipo	103
3.28	Costos Directos	103
3.29	Costos del prototipo en el mercado	104
3.30	Costos Indirectos	105
3.31	Costo del proyecto	105

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA	DESCRIPCIÓN	PÁGINA
NÚM		
1.1	Matriz y refuerzo de un composite	6
1.2	Componentes de un material compuesto	7
1.3	Componentes del material compuesto	7
1.4	Formas del refuerzo (a) fibra, (b) partícula, (c) estructura	9
1.5	Clasificación de fibras	13
1.6	Orientación de la fibra (a) Continua y alineada (b) Discontinua y alineada (c) Discontinua y al azar	13
1.7	Clasificación de fibras vegetales	14
1.8	Yute y yute hilado	15
1.9	Vehículo construido con fibra de yute	16
1.10	Autopartes fabricadas con Materiales compuestos	21
2.1	Flujograma de materiales y métodos	23
2.2	Fibra de yute suelta	24
2.3	Resina poliéster	24
2.4	Catalizador	24
2.5	Acelerador	25
2.6	Estireno	25
2.7	Cera desmoldante	26
2.8	Dimensiones probetas de tracción	26
2.9	Dimensiones probetas de flexión	27
2.10	Dimensiones probetas de impacto	27
2.11	Fibra suelta y fibra tejida	32
2.12	Curva de polimerización Resina Poliéster	32
2.13	Dimensiones para los tableros	33
2.14	Plano de tablero para probetas de torción, flexión e impacto	34
2.15	Distribución de perforaciones en los tableros	34
2.16	Tablero de madera para probetas	35
2.17	Aplicación de cera desmoldante	35
2.18	Perforación de tableros.	36
2.19	Mezcla de resina poliéster	37
2.20	Disposición de fibra suelta	37
2.21	Capas de fibra suelta	39

2.22	Sellado de tableros	40
2.23	Desmolde de tableros	41
2.24	Probetas de flexión, tracción e impacto	41
2.25	Máquina de ensayos universal Metrotest 50 Kn	42
2.26	Maquina de ensayos Universal MLT	44
2.27	Maquina para ensayos de impacto	46
2.28	Proyectiles para ensayo de impacto	46
2.29	Molde de guardabarros Mazda BT50	47
2.30	Aplicación de cera en el molde	48
2.31	Aplicación de resina en molde de prototipo	49
2.32	Aplicación de fibra tejida en el molde	49
2.33	Secado de pieza y limpieza de extremos	50
2.34	Desmolde de prototipo	50
3.1	Grafico de Fuerza (N) desplazamiento (mm) del primer grupo de probetas para Ensayo de tracción.	56
3.2	Grafico de Fuerza (N) desplazamiento (mm) del segundo grupo de probetas para Ensayo de tracción.	59
3.3	Grafico de Fuerza (N) desplazamiento (mm) del tercer grupo de probetas para Ensayo de tracción.	62
3.4	Grafico de Fuerza (N) deformación (mm) del primer grupo de probetas para Ensayo de flexión.	66
3.5	Grafico de Fuerza (N) deformación (mm) del segundo grupo de probetas para Ensayo de flexión.	69
3.6	Grafico de Fuerza (N) deformación (mm) del tercer grupo de probetas para Ensayo de flexión.	72
3.7	Resultados Pruebas de Tracción	80
3.8	Resultados Pruebas de Flexión	81
3.9	Resultados ensayos de impacto	82
3.10	Tabla T-Student	84
3.11	Comparativa Resistencia a tracción del material propuesto (M10) con otros materiales	99
3.12	Comparativa Resistencia a flexión del material propuesto (M10) con otros materiales	99
3.13	Comparativa Resistencia al Impacto del material propuesto (M10) con otros materiales	100

ÍNDICE DE ECUACIONES

ECUACIÓN	DESCRIPCIÓN	PÁGINA
NÚM		
2.1	Densidad del material	28
2.2	Cantidad de masa del material	29
2.3	Esfuerzo maximo de tracción	43
2.4	Porcentaje de elongación	43
2.5	Modulo de elasticidad a tracción	43
2.6	Esfuerzo maximo a flexión	44
2.7	Deformación Maxima	45
2.8	Modulo de elasticidad a flexión	45
2.9	Energia media al falló	46
3.1	Ecuación de probabilidad	83
3.2	Grados de libertad de T-Student	83
3.3	Valor estadistico T.Student	85

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO NÚM.	DESCRIPCIÓN	PÁGINA
AI.1.	Norma ASTM D3039 para ensayos de tracción	114
AI.2.	Norma ASTM D3039 para ensayos de tracción	115
AI.3.	Norma ASTM D3039 para ensayos de tracción	116
AI.4.	Norma ASTM D3039 para ensayos de tracción	117
AI.5.	Norma ASTM D3039 para ensayos de tracción	118
AI.6.	Norma ASTM D3039 para ensayos de tracción	119
AI.7.	Norma ASTM D3039 para ensayos de tracción	120
AI.8.	Norma ASTM D3039 para ensayos de tracción	121
AI.9.	Norma ASTM D3039 para ensayos de tracción	122
AI.10.	Norma ASTM D3039 para ensayos de tracción	123
AI.11.	Norma ASTM D3039 para ensayos de tracción	124
AI.12.	Norma ASTM D3039 para ensayos de tracción	125
AI.13.	Norma ASTM D3039 para ensayos de tracción	126
AII.1.	Norma ASTM D7264 para ensayos de flexión	127
AII.2.	Norma ASTM D7264 para ensayos de flexión	128
AII.3.	Norma ASTM D7264 para ensayos de flexión	129
AII.4.	Norma ASTM D7264 para ensayos de flexión	130
AII.5.	Norma ASTM D7264 para ensayos de flexión	131
AII.6.	Norma ASTM D7264 para ensayos de flexión	132
AII.7.	Norma ASTM D7264 para ensayos de flexión	133
AII.8.	Norma ASTM D7264 para ensayos de flexión	134
AII.9.	Norma ASTM D7264 para ensayos de flexión	135
AII.10.	Norma ASTM D7264 para ensayos de flexión	136
AII.11.	Norma ASTM D7264 para ensayos de flexión	137
AIII.1.	Norma ASTM D5628 para ensayos de impacto	138
AIII.2.	Norma ASTM D5628 para ensayos de impacto	139
AIII.3.	Norma ASTM D5628 para ensayos de impacto	140
AIII.4.	Norma ASTM D5628 para ensayos de impacto	141
AIII.5.	Norma ASTM D5628 para ensayos de impacto	142
AIII.6.	Norma ASTM D5628 para ensayos de impacto	143
AIII.7.	Norma ASTM D5628 para ensayos de impacto	144

AIII.8. Norma ASTM D5628 para ensayos de impacto	145
AIII.9. Norma ASTM D5628 para ensayos de impacto	146
AIII.10. Norma ASTM D5628 para ensayos de impacto	147
AIV.1. Resultados del ensayo a tracción	148
AIV.2. Resultados del ensayo a tracción	149
AIV.3. Resultados del ensayo a tracción	150
AIV.4. Resultados del ensayo a tracción	151
AIV.5. Resultados del ensayo a tracción	152
AIV.6. Resultados del ensayo a tracción	153
AIV.7. Resultados del ensayo a tracción	154
AV.1. Certificado de ensayos a flexión del material compuesto	155
AVI.1. Resultados de ensayos a impacto del material compuesto	156
AVI.2. Resultados de ensayos a impacto del material compuesto	157
AVI.3. Resultados de ensayos a impacto del material compuesto	158
AVI.4. Resultados de ensayos a impacto del material compuesto	159
AVI.5. Resultados de ensayos a impacto del material compuesto	160
AVI.6. Resultados de ensayos a impacto del material compuesto	161
AVI.7. Resultados de ensayos a impacto del material compuesto	162
AVI.8. Resultados de ensayos a impacto del material compuesto	163

RESUMEN

El proyecto titulado “Fabricación del guardabarros para vehículo utilizando material compuesto de matriz polimérica reforzado con fibra de yute” está enfocado en el estudio de materiales compuestos abarcando el análisis bibliográfico en relación a la temática que tiene como objetivo determinar la aplicabilidad de los composites en la industria automotriz principalmente en la fabricación de un guardabarros con materiales accesibles en nuestro medio además de amigables con el ambiente. Se caracterizó un material compuesto de matriz poliéster reforzado con fibra de yute en 3 configuraciones volumétricas enfocadas en la dirección de la fibra: 75% matriz poliéster más 25% fibra de yute suelta longitudinal, 70% resina poliéster más 30% fibra de yute tejida a 45 grados y 70% matriz poliéster más 30% fibra de yute tejida a 90 grados. Para la elaboración del composite se tomó en cuenta el método de estratificación manual por compresión analizando inicialmente el proceso de curado de la resina para posteriormente obtener probetas del material con estándares dimensionales establecidos en normativas ASTM para ensayos de flexión, tracción e impacto. Se obtuvieron 7 probetas por cada configuración volumétrica establecida las cuales fueron sometidas a ensayos para determinar sus propiedades mecánicas realizando posteriormente un análisis para determinar el compuesto con mejores propiedades mecánicas dando como resultado la configuración de 70% resina poliéster más 30% fibra de yute tejida a 45 grados de dirección. Se confirmó el resultado mediante el método estadístico t-student determinando la aplicabilidad del material en autopartes, se estableció una comparativa del material con otros compuestos ensayados en diferentes instituciones para consecutivamente elaborar el prototipo de guardabarros para la camioneta Mazda BT50 entablado una comparativa del prototipo con la autoparte original estableciendo factores como el costo de fabricación, peso, trabajabilidad, tiempo de degradación, entre otros. Finalmente concluyendo que el prototipo es una alternativa con posibilidad de mejora con un rango de aplicación amplio en la industria automotriz.

ABSTRACT

The project entitled "Manufacture of vehicle fender using composite material of polymeric matrix reinforced with yute fiber", is focused on the study of composite materials covering the bibliographic analysis in relation to the subject that aims to determine the applicability of composites in the automotive industry mainly in the manufacture of a fender with accessible materials in our environment as well as environmentally friendly. A composite material of polyester matrix reinforced with jute fiber was characterized in 3 volumetric configurations focused on the direction of the fiber: 75% polyester matrix plus 25% jute fiber longitudinally loose, 70% polyester resin plus 30% jute fiber woven at 45 degrees and 70% polyester matrix plus 30% jute fiber woven at 90 degrees. For the elaboration of the composite, the manual compression stratification method was used, initially analyzing the resin curing process to later obtain specimens of the material with dimensional standards established in ASTM norms for flexural, tensile and impact tests. Seven specimens were obtained for each volumetric configuration established, which were tested to determine their mechanical properties and then analyzed to determine the composite with the best mechanical properties, resulting in the configuration of 70% polyester resin plus 30% jute fiber woven at 45 degrees in the direction. The result was confirmed by means of the t-student statistical method determining the applicability of the material in auto parts, a comparison of the material with other compounds tested in different institutions was established to consecutively elaborate the prototype of the fender for the Mazda BT50 truck, establishing a comparison of the prototype with the original auto part, establishing factors such as manufacturing cost, weight, workability, degradation time, among others. Finally concluding that the prototype is an alternative with the possibility of improvement with a wide range of application in the automotive industry.

INTRODUCCIÓN

Actualmente los materiales compuestos son valorados y utilizados en las grandes industrias. La importancia e implementación de dichos materiales está relacionada con la reducción de contaminantes además de las propiedades mecánicas que ofrecen. Esta combinación de factores es relevante en el área automotriz, por lo que, se ha desarrollado investigación continua de nuevos materiales compuestos con el objetivo de determinar la aplicabilidad en autopartes como lo es un guardabarros.

La matriz y el refuerzo representan los elementos constitutivos de cualquier material compuesto. La fibra de vidrio se ha usado muy a menudo como refuerzo en combinación de matrices poliméricas como la resina poliéster o epoxi, sin embargo, el objetivo de estudiar nuevos materiales compuestos; más allá de las propiedades mecánicas que puedan ofrecer se toma en cuenta las ventajas ambientales como la degradación y reciclaje optando por el uso de refuerzos naturales.

Muchos de los refuerzos naturales estudiados para aplicar en el área automotriz tienen origen vegetal como los son las fibras de coco, bambú, caña de azúcar, cabuya, yute, cáñamo, entre otros. La diferenciación de materiales compuestos radica en la composición volumétrica con la cual se fabrican, el proceso de obtención y principalmente las propiedades que ofrezcan los refuerzos y matrices.

El en Ecuador se puede encontrar diversidad de fibras naturales, logrando con esto establecer la accesibilidad del material para elaborar materiales compuestos que puedan ser relevantes para la aplicación en las industrias específicamente en la fabricación de autopartes sumándose a la tendencia de las grandes empresas como Ford y Mercedes Benz las cuales han aplicado composites en elementos decorativos del vehículo.

CAPITULO I

1 REVISION BIBLIOGRÁFICA

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 OBJETIVO GENERAL

Fabricar el guardabarros de una camioneta Mazda BT50 utilizando material compuesto por fibra de yute y matriz polimérica.

1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar un análisis teórico relacionado a la ciencia de materiales interiorizando en los materiales compuestos, sus propiedades mecánicas y la aplicabilidad en la industria automotriz.
- Obtener un material compuesto de fibra de yute y resina poliéster con diferentes configuraciones volumétricas.
- Caracterizar el material mediante ensayos de tracción, flexión e impacto determinando la configuración con mejores prestaciones.
- Elaborar el guardabarros de la camioneta Mazda BT50 aplicando el material compuesto.

1.2 JUSTIFICACIÓN

Actualmente la ciencia de materiales enfoca investigaciones relacionadas con la aplicación de composites de fibras naturales para reducir el impacto ambiental producido por polímeros usados habitualmente que originan gran cantidad de residuos no biodegradables difíciles de reciclar.

En la actualidad los materiales compuestos están ganando importancia y aplicación a nivel mundial. La importancia adquirida por estos materiales se debe principalmente, al aumento de ligereza y reducción de contaminación. Esta combinación de propiedades interesa fundamentalmente a las industrias aeroespacial y automotriz, por ello ya emplean un alto

porcentaje de estos materiales en sus fabricaciones además de seguir investigando para el desarrollo de nuevos composites (Tejero & Bi, 2020, pág. 1).

Los refuerzos de fibras naturales más utilizados en compuestos para automóviles son yute, abacá, cabuya, coco y kenaf, etc. Los materiales compuestos juegan un papel vital en el mundo de la fabricación actual debido a su peso ligero con una resistencia razonable (Remache & Montufar, 2021, pág. 2)

El yute es extraído de la corteza de la planta de yute blanco y en menor cantidad, del yute rojo. Es una fibra natural con un brillo sedoso dorado, llamada por eso mismo fibra dorada. Una característica fundamental del yute es la posibilidad de ser usado separadamente o mezclado con una gama de otras fibras y materiales (Aceves, Ortega & De Jesús, 2018, pág. 18).

En el objetivo 12 del plan nacional de desarrollo “CREACION DE OPORTUNIDADES”, se fomenta el desarrollo de modelos sostenibles aplicando medidas de adaptación y mitigación al cambio climático recalcando en la política 12.3 implementar mejores prácticas ambientales con responsabilidad social y económica, que fomenten la concientización, producción y consumo sostenible, desde la investigación, innovación transferencia de tecnología (secretaría nacional de planificación y desarrollo, 2021).

Uno de los objetivos de la ingeniería automotriz es mejorar las características de las autopartes que conforman un vehículo estudiando materiales con buenas prestaciones y amigables al ambiente.

Esta investigación propone elaborar un material compuesto a base de fibra de yute y matriz polimérica, caracterizando sus propiedades mecánicas para analizar ventajas y desventajas frente a materiales sintéticos generalmente utilizados en la fabricación de autopartes. Finalmente fabricar el guardabarros de camioneta Mazda BT50 aplicando el material compuesto obtenido.

1.3 ALCANCE

La presente investigación procura elaborar un composite reforzado con fibra de yute y matriz polimérica, con el objetivo de analizar la factibilidad del material para reemplazar piezas automotrices.

Diferenciar el material tomando en cuenta distintas composiciones volumétricas dependientes de: Cantidad de refuerzo de fibra, cantidad de matriz polimérica, disposición de refuerzo, entre otros. Obteniendo así el composite mediante estratificación a compresión manual.

El material compuesto resultante se caracterizará mediante 6 probetas por cada composición volumétrica que serán sometidas a ensayos de tracción, flexión e impacto basándose en normativas ASTM D3039-00, ASTM D7264-07 y ASTM D5628-10 respectivamente, logrando así determinar las propiedades mecánicas del nuevo material.

Luego de obtener resultados en los ensayos previamente descritos se optará por el material que demuestre mejores prestaciones para fabricar un guardabarros de camioneta Mazda BT50 y finalmente establecer las ventajas y desventajas con respecto al guardabarros original.

1.4 ANTECEDENTES

Los materiales compuestos son combinaciones macroscópicas de varios materiales diferentes que disponen un enlace discreto y verificable que los separa. Por tal razón son heterogéneos, es decir que sus propiedades no son las mismas en todo el volumen, Surgen de la necesidad de obtener capacidades que difícilmente se encuentran en los cerámicos, plásticos y metales (Imbaquingo, 2018, pág. 15).

En la actualidad, los materiales compuestos “Composites” están ganando importancia y aplicación en todo el mundo. La importancia adquirida principalmente es debido a la ligereza y propiedades mecánicas que ofrecen frente a los materiales más usados dentro de las industrias automotrices y aeroespaciales. Los composites están formados primordialmente por dos fases: la fase matriz que suele ser la menos resistente y la fase reforzante que es la de mayor resistencia y frágil (Tejero & Bi, 2020, pág. 1).

Los nuevos materiales basados en recursos renovables y reciclables, podrían ser una vía más efectiva en cuanto al medioambiente se refiere. De esta manera, en la década de los 40s y 60s, se inició el desarrollo de los primeros composites de fibras naturales para la industria del automóvil. Ford y Mercedes Benz elaboraron parte de los interiores de puertas y

ventanas, salpicaderos y elementos decorativos con el fin de cumplir criterios medioambientales, ahorro de corte y estética (Pozo Ángel et al., 2019, pág. 4).

En el año 2020 se elaboró un composite utilizando una matriz polimérica y fibra de cabuya como refuerzo, con el fin de conseguir un material compuesto de uso automotriz. En la investigación se realizó 3 tipos de configuraciones volumétricas: 60% de matriz polimérica y 40% de fibra de cabuya, matriz poliéster con una capa y 2 de fibra de cabuya respectivamente. Por lo que se desarrollador probetas que fueron sometidas a pruebas de flexión, compresión e impacto (Pozo William & valencia Bryan, 2020, pág. 17). Se determinó que el material compuesto en el vehículo como autoparte plástica.

En el año 2018 se obtuvo un composite de matriz polimérica y fibra de tuna, para la finalidad de usos técnicos. En dicho proceso se desarrollaron con diferentes fracciones volumétricas de las cuales la mejor combinación resulto ser la estratificación manual en una proporción de 70 % matriz polimérica y 30 % fibras de hoja de tuna (Vargas Patricio, 2018, pág. 16). Las aplicaciones encontradas para este material se encuentran primordialmente en la industria mobiliaria y aeronáutica.

En el año 2020 se presentó “la identificación de 2 materiales compuestos a base de resina epóxica, el primero reforzado con fibra de cabuya y el segundo reforzado con fibra de caña de azúcar. Se realizó una investigación exploratoria de las propiedades físico-químicas de la matriz polimérica y la fibra de refuerzo independientemente, se fabricó probetas para ensayos destructivos de tracción, flexión e impacto bajo normativas estándar ASTM” (Ponce, 2020, pág. 19). Finalmente, los resultados se compararon entre los dos materiales obtenidos y se determinó el material de mejores prestaciones.

1.5 TAXONOMÍA DE LOS MATERIALES

Askeland & Wright, (2016) señalan que los materiales de manera general se pueden clasificar en tres grupos tales como: metales, cerámicos y poliméricos lo cual está basado en su estructura atómica y su composición química, así como también la existencia de un grupo de materiales de gran importancia como lo son los materiales compuestos los cuales poseen características únicas gracias a la combinación de dos o más materiales.

Tabla 1.1 Clasificación de los materiales

TIPOS DE MATERIALES	DESCRIPCIÓN
Los metales y sus aleaciones	Los metales son elementos inorgánicos constituidos puros o en aleaciones de varios metales y no metales cuyo uso es actualmente relevante en la industria. Los metales y aleaciones debido a su estructura molecular ordenada son excelentes conductores eléctricos y térmicos, poseen alta resistencia al impacto, rigidez y ductilidad. Son usados prioritariamente en estructuras sometidas a carga (Arkeland & Wright, 2016, pág. 8).
Material cerámico	Pueden definirse como elementos inorgánicos obtenidos mediante la refinación de un material cerámico en estado natural como las rocas, arena u arcilla (Arkeland & Wright, 2016, pág. 8). El material se caracteriza por ser aislante eléctrico y térmico, presenta una consistencia dura pero frágil, se aplican en sensores, capacitores, generadores de chispa, entre otros.
Los polímeros	Material orgánico derivado de la polimerización con diferencias volumétricas en su estructura, es decir son heterogéneos. Incluyen al caucho y adhesivos, presentan buena resistencia eléctrica con algunas excepciones, pero una baja resistencia a temperaturas elevadas (Arkeland & Wright, 2016, pág. 9). La aplicabilidad es amplia, desde recipientes plásticos hasta elementos electrónicos.
Materiales compuestos	El objetivo del material compuesto es adjuntar las propiedades relevantes de los metales, cerámicos y polímeros en un solo elemento dando lugar a un componente único comparado con un material simple. La aeronáutica depende en gran medida de los compuestos (Arkeland & Wright, 2016, pág. 10).

Fuente: (Arkeland & Wright, 2016, pág. 10)

1.6 CONCEPTUALIZACIÓN DE COMPOSITES

Los materiales compuestos son combinaciones de dos o más elementos (materiales) que presentan características distintas en todo su volumen, es decir son heterogéneos. Existen materiales compuestos naturales tales como la madera o el hueso, pero mayoritariamente se usan composites fabricados por el hombre (Tejero, 2020).

Los materiales como: metales, cerámicos, maderas y polímeros han sido remplazados por composites debido a beneficios de ligereza, dureza y rigidez. En algunas industrias se requiere mencionadas propiedades y en muchos casos combinaciones; por tal razón se diseñan composites dependientes de la aplicación (Pazmiño C, 2018, pág. 6).

Los materiales compuestos son elementos sólidos constituidos por 2 elementos generales conocidos como “Matriz” y “Refuerzo”, suelen ser sintéticos, pero con el tiempo han sido reemplazados por materiales naturales que presentan propiedades similares comparando refuerzos de fibras naturales y fibras sintéticas (Valencia y Pozo, 2020, pág. 8).

Las ventajas de los composites son aprovechadas para varias aplicaciones por lo que se han realizado diferentes estudios que determinan la factibilidad para diferentes áreas. A pesar de obtener materiales con buenas características muchas veces no suelen ser la mejor opción.

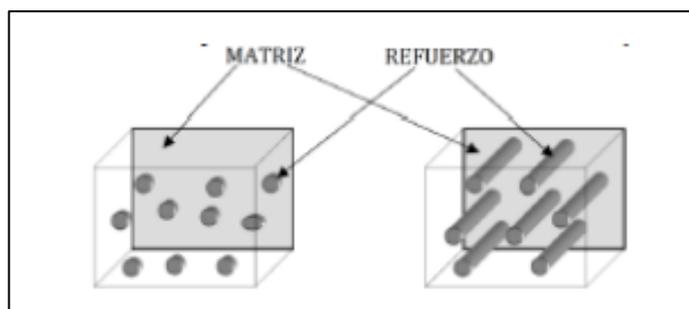


Figura 1.1 Matriz y refuerzo de un composite

Fuente: (Vargas Flores, 2018, pág. 8).

1.6.1 CLASIFICACIÓN DE LOS MATERIALES COMPUESTOS

Los materiales compuestos de polímeros reforzados con fibra han desarrollado diferentes estructuras para modelar el comportamiento mecánico y el análisis de elementos estructurales hechos de material compuesto como vigas laminadas o sándwich, placas y láminas por tal motivo la clasificación de los materiales compuestos está basada en tres aspectos como son los tipos de matriz, de refuerzo y la geometría con la cual van a estar dispuestos (Mazón, 2017, pág. 6). Las propiedades de los composites resultantes mejorarán dependiendo de la disposición y geometría que se aplique con el refuerzo.

Imbaquingo (2018) menciona la clasificación de los materiales compuestos según la distribución de la tabla 1.2:

Tabla 1.2 Clasificación de los materiales compuestos

TIPO DE MATRIZ	TIPO DE REFUERZO	TIPO DE GEOMETRÍA
<ul style="list-style-type: none"> • Matriz metálica • Matriz cerámica • Matriz Polimérica 	<ul style="list-style-type: none"> • Reforzado con partículas • Reforzado con fibras • Compuestos estructurales 	<ul style="list-style-type: none"> • Partículas largas • Fortalecidas por dispersión • Continua • Discontinua • Laminado • Paneles de sándwich

Fuente: (Imbaquingo, 2018, pág. 16).

1.6.2 PARTES CONSTITUTIVAS DEL MATERIAL COMPUESTO

La matriz y el refuerzo son fases constituyentes del material compuesto en donde la fase matriz aporta propiedades de resistencia térmica, rigidez y protección para el refuerzo. En cambio, el refuerzo aportará características mecánicas al producto final (Espín, 2017, pág. 6).

Imbaquingo (2018) menciona que tanto matriz como refuerzo son elementos totalmente distintos que cuando forman un material compuesto deben ser reconocibles mediante pruebas físicas, además no podrán fusionarse ni disolverse en su totalidad y las propiedades mecánicas serán distintas a lo largo del volumen.

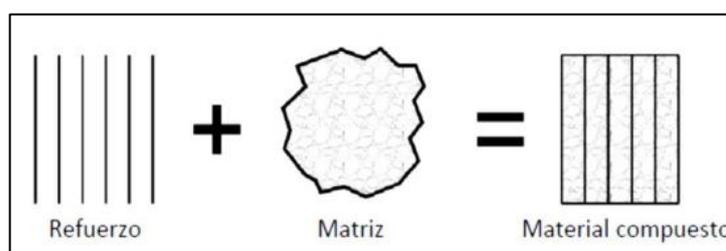


Figura 1.2 Componentes de un material compuesto

Fuente: (Ponce 2020, pág. 8).

En la **Figura 1.3**, se puede apreciar los componentes del material compuesto con una distribución de refuerzo continua.

La interfaz es la superficie de unión de los componentes del material compuesto. Al adicionar rellenos en la interfaz las propiedades del material aumentan. En la figura 1.4 se observar un composite constituido por fibra de carbono y resina epoxica que está sometido a esfuerzos.

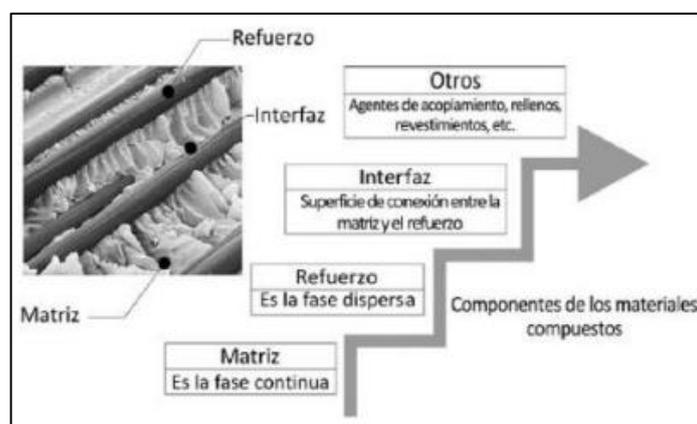


Figura 1.3 Componentes del material compuesto

Fuente: (Vargas 2018, pág. 8).

1.6.2.1 La Matriz

Denominada fase continua desempeña varias funciones además de sostener al material de refuerzo. Entre las principales funciones tenemos:

- Aglutinar los refuerzos
- Transmitir cargas aplicadas sobre la matriz hacia el refuerzo
- Proteger el refuerzo contra agentes ambientales
- Suministrar soporte lateral contra el pandeo cuando las fibras de refuerzo son naturales.

La matriz puede ser metálica, cerámica y polimérica brindando variedad de aplicación y caracterización como se describe en la **tabla 1.3**.

Tabla 1.3 Tipos de Matriz

TIPO DE MATRIZ	DESCRIPCIÓN
Matriz Metálica	Trabajan generalmente a partir de aleaciones de metales ofreciendo propiedades relacionadas con rigidez y resistencia mecánica. Los materiales comúnmente usados son el magnesio, aluminio, cobre, níquel, entre otros (Mazón, 2017, pág. 9). Según Vargas (2018), el refuerzo usado que trabajará con una matriz metálica deberá cumplir ciertos requisitos:
Matriz Cerámica	La matriz cerámica representa en el material compuesto propiedades únicas como resistencia a temperatura, poca densidad y características mecánicas excelentes. Una de las principales desventajas es la fragilidad donde muchos estudios se han enfocado con el objetivo de incrementar su tenacidad a la fractura (Mazón. 2017, pág. 10).
Matriz Polimérica	Es el tipo de matriz más usado debido a la vasta aplicabilidad de los polímeros. Son fáciles de procesar con un peso bajo, no representa un coste económico significativo y poseen características mecánicas decentes en relación a la aplicación (Mazón, 2017, pág. 10).

Fuente: (Mazón, 2017, pág. 9)

1.6.2.2 Material de Refuerzo

El refuerzo representa principalmente ventajas mecánicas de dureza, resistencia y bajo peso en el material compuesto, se suelen emplear refuerzos sintéticos y naturales siendo éste último más económico y que al prevenir de recursos renovables simbolizan menor impacto ambiental (Tejero, 2020). Por tal razón actualmente se han enfocado estudios de composites principalmente de refuerzos naturales.

Existen 3 formas particulares de refuerzo: las partículas, las fibras y estructuras. Tanto el tamaño como la relación entre el diámetro y longitud influyen en la homogeneidad del material final.

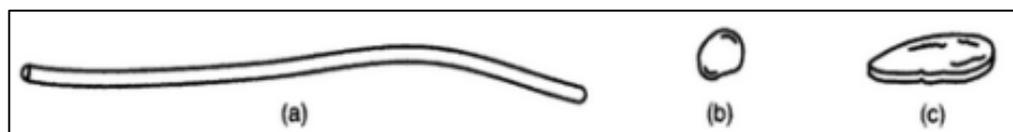


Figura 1.4 Formas del refuerzo (a) fibra, (b) partícula, (c) estructura

Fuente: (Iza Tutillo, 2017, pág. 9).

En la **Tabla 1.2** se describe los 3 principales tipos de material de refuerzo como las partículas, refuerzos estructurales y los refuerzos por fibras.

Tabla 1.4 Tipo de material reforzante

MATERIAL DE REFUERZO	DESCRIPCIÓN
Refuerzo por partículas	el refuerzo por partículas es de uso habitual en conjunto con matrices cerámicas, metálicas y poliméricas (Martínez & Puente, 2022, pág. 8). El concreto es un ejemplo claro de aplicabilidad donde el cemento cumple la función de matriz cerámica y la arena las partículas reforzantes.
Refuerzo estructural	Los refuerzos estructurales más comunes son: tipo laminas, tipo sándwich. Estos tipos de refuerzo no son dependientes únicamente del material, el tamaño y la disposición del refuerzo también son influyentes (Martínez & Puente, 2022, pág. 9).
Refuerzo con fibras	Presenta mejores propiedades para el material compuesto como: Resistencia a la fatiga, rigidez, peso razonable en relación a la resistencia del refuerzo (Iza Tutillo, 2017, pág. 9). El uso de matrices blandas como la polimérica permiten cualidades dúctiles, flexibles y para fibras naturales una contribución ambiental.

Fuente: (Martínez & Puente, 2022, pág. 8)

1.7 USO DE FIBRA NATURAL COMO REFUERZO EN MATERIALES COMPUESTOS DE MATRIZ POLIMÉRICA

1.7.1 MATRICES Y REFUERZO: ARMONIZACIÓN Y CARACTERIZACIÓN

En un material compuesto la matriz debe ser capaz de alojar el refuerzo con el objetivo de lograr armonía, finalmente poder cumplir con las propiedades mecánicas que tanto matriz como refuerzo no poseen de forma individual (Ponce Tobar, 2020, pág. 10). Las probables características que el material desempeña son:

- Transferencia de esfuerzos desde la matriz hacia el material de refuerzo.
- Protección contra la abrasión mecánica del material hacia los refuerzos.
- Protección lateral contra el pandeo siempre y cuando el material de refuerzo sea de fibras.
- Protección ambiental contra agentes externos.
- Homogeneidad y continuidad con ciertos materiales de refuerzo.
- Amalgamamiento de la matriz y refuerzo.

La influencia de la matriz en la variedad de propiedades del material dependerá del tipo de refuerzo, la orientación y configuración con la que se armonice. Cuando un material compuesto falla la principal causa es la compatibilidad matriz/refuerzo.

En cuanto a propiedades eléctricas y químicas la matriz toma un rol principal ya que dotará al refuerzo de propiedades aislantes o conductoras según se requiera, así mismo de protección contra agentes ambientales (Jácome León, 2015, pág. 20).

1.7.2 CONCEPTUALIZACIÓN: MATRIZ POLIMÉRICA

La aplicabilidad de este tipo de matriz es factible debido a la facilidad de trabajo con temperaturas ambiente además del manejo y accesibilidad en el mercado por sus bajos costos. Permite trabajar con refuerzos de cualquier tipo principalmente las partículas y fibras (Vargas Flores, 2018, pág. 10).

1.7.2.1 Clasificación de las matrices poliméricas

- **Matriz termoestable**

Exterioriza un cruce transversal de cadenas aplicando calor o la combinación de presión y calor cuando se lleva a cabo el proceso de polimerización. Conocido como duro plástico debido a sus propiedades de rigidez, estabilidad térmica y peso inferior (Ponce 2020, pág. 13).

Cuando se lleva el proceso de polimerización, no puede volver a recalentarse ni fundirse; por esta razón este tipo de matrices no pueden someterse a métodos de reciclaje.

Tabla 1.5 Propiedades y aplicación de diferentes polímeros termoestables.

TERMOESTABLES	PROPIEDADES	APLICACIONES
Epoxis	- Resistencia a la corrosión. - Buena adhesión - Propiedades eléctricas - Propiedades mecánicas	- Enchufes - Adhesivos - Recubrimientos
Fenólicas	- Estabilidad Térmica - Forma materiales con varias resinas	- Teléfonos - Carcasas de motores - Partes de vehículos
Poliéster	- Propiedades eléctricas - Refuerzos con varios tipos de fibras	- Barcos pequeños - Cascos - Ventiladores

Fuente: (Valencia & Pozo, 2020, pág. 13)

- **Matriz elastómera**

Este tipo de polímeros puede alcanzar cinco veces su longitud inicial, durante ensayos de tracción las probetas consiguen 300-800% de longitud final sin aparición de rotura ni deformación permanente. Estas matrices poseen menos enlaces en comparación a los polímeros termoestables y suelen estar relacionados con los cauchos naturales (Ponce, 2020, pág. 12).

- **Matriz termoplástica**

Este tipo de polímeros son amigables al ambiente ya que poseen características que al aplicar calor pueden derretirse y deformarse sin cambiar sus propiedades haciendo viable el reciclaje. Existen polímeros termoplásticos naturales como el ácido poliláctico o el polihidroxibutilano (PHB) pero en la industria los más usados son los derivados del petróleo como el polietileno, polipropileno, policloruro de vinilo y el polietileno-tereftalato (PET) (Vargas, 2018, pág. 12).

1.7.3 LA RESINA DE POLIÉSTER COMO MATRIZ POLIMÉRICA

Vargas (2018) menciona que la resina poliéster es usada por bajo costo, es un polímero termoestable que toma forma final debido a una reacción química y es irreversible es decir no puede volver a su forma original. Se encuentran disueltas en estireno para luego ser combinadas con aceleradores que ayudan en conjunto con el catalizador al inicio de la reacción química conocida como curado (Tejero & Bi, 2020).

Es una resina muy usada en el área automotriz, las principales aplicaciones están relacionadas en la deformación de laminado de carrocerías o como capa de acabado. Se producen a partir de policondensaciones entre el ácido dicarboxílico y diol (Valencia & Pozo, 2020, pág. 13).

1.7.3.1 Propiedades del poliéster

El poliéster tiene propiedades importantes como: aislante térmico, eléctrico y anticorrosivo. Si el proceso de curado se lleva adecuadamente se puede lograr resistencia al agua, intemperie y ataques químicos que dependen de los componentes químicos.

Tabla 1.6 Propiedades mecánicas de la resina poliéster

Propiedad	Valor
Peso específico (densidad)	1.28
Dureza	110 RockwellM
Resistencia a la tracción	55 MN/m ²
Resistencia a la compresión	140 MN/m ²
Resistencia al impacto	2 KJ/m ²
Módulo de Young	3.5 GN/m ²
Alargamiento a la rotura	2%
Conductividad térmica	0.2 W/m°C
Coefficiente de dilatación lineal	100 ¹⁰⁻⁶
Absorción de agua, 24 hr, 20° C	0.15%

Fuente: (Vargas, 2018, pág. 13)

1.7.3.2 Sistemas de curado de las resinas de poliéster

Se conoce como curado cuando la resina pasa de estado líquido a sólido, los principales factores que interfieren en el proceso son el catalizador y el acelerador ayudando con el proceso de solidificación que se deberán usar dependiendo de los porcentajes mencionados en una ficha técnica del producto.

La reacción química del catalizador se relaciona con peróxido orgánico líquido agregado en la resina en porcentajes bajos entre 1-3%. El catalizador funcionará dependiente de la temperatura y las propiedades del acelerador y tiempo de trabajo (Vargas, 2018, pág. 13).

1.7.4 CONCEPTUALIZACIÓN: REFUERZO CON FIBRAS

Vargas (2018) define la fibra como un filamento cilíndrico de micro diámetros con una longitud dependiente de la aplicación o de la proveniencia. Se pueden encontrar como hilos, cordones o cintas para uso industrial en productos como telas, papel, artesanías, entre otros.

1.7.4.1 Clasificación de los refuerzos con fibra

Mediante los estudios realizados en composites las fibras son usadas como refuerzo para distintos tipos de matrices con el objetivo de obtener mejores prestaciones mecánicas en el material resultante (Imbaquingo, 2018, pág. 27). Se pueden clasificar mediante el origen o como fibras convencionales.

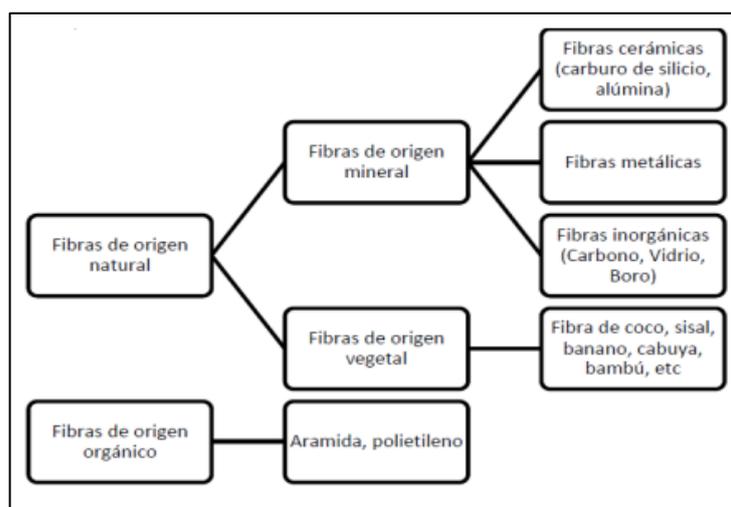


Figura 1.5 Clasificación de fibras

Fuente: (Imbaquingo 2018, pág. 27).

1.7.4.2 Orientación y cantidad de la fibra

La cantidad de fibras no debe sobreponerse al 80% en relación a la matriz, la razón principal radica en la incapacidad de la matriz para rodear totalmente las fibras. La orientación se puede dar de diversas formas dando como resultado un material compuesto con propiedades diferentes (Martínez & Puente, 2022, pág. 32).

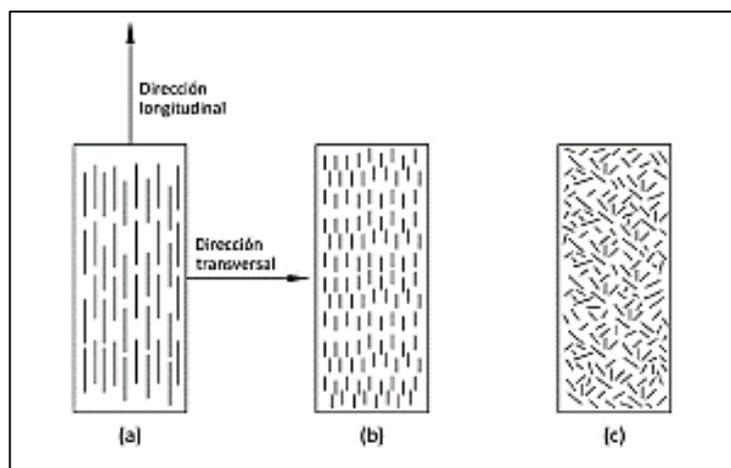


Figura 1.6 Orientación de la fibra (a) Continua y alineada (b) Discontinua y alineada (c) Discontinua y al azar

Fuente: (Pazmiño Guerrero, 2018, pág. 14).

1.7.4.3 Fibra natural: Clasificación y propiedades mecánicas

Este tipo de fibra proviene de elementos como animales, plantas o minerales. La fibra vegetal es más usada como refuerzo debido al actual índice de contaminación permitiendo enfocar el reciclaje como eje principal en el desarrollo de los materiales compuestos (Valencia & Pozo, 2020, pág. 15).

Las propiedades de este tipo de fibras serán dependientes de la celulosa que representa la estructura y la geometría de la fibra. La celulosa se encuentra en filas paralelas de micro diámetros agrupándose y formando microfibrillas que brindaran resistencia y rigidez al refuerzo (Vargas, 2018, pág. 19).

- Las desventajas de las fibras vegetales por lo general son:
- Afinidad de la fibra con el agua
- Susceptibilidad a la degradación
- Susceptibilidad a la variación de temperaturas
- Susceptibilidad a la humedad

(Valencia & Pozo, 2020, pág. 15).

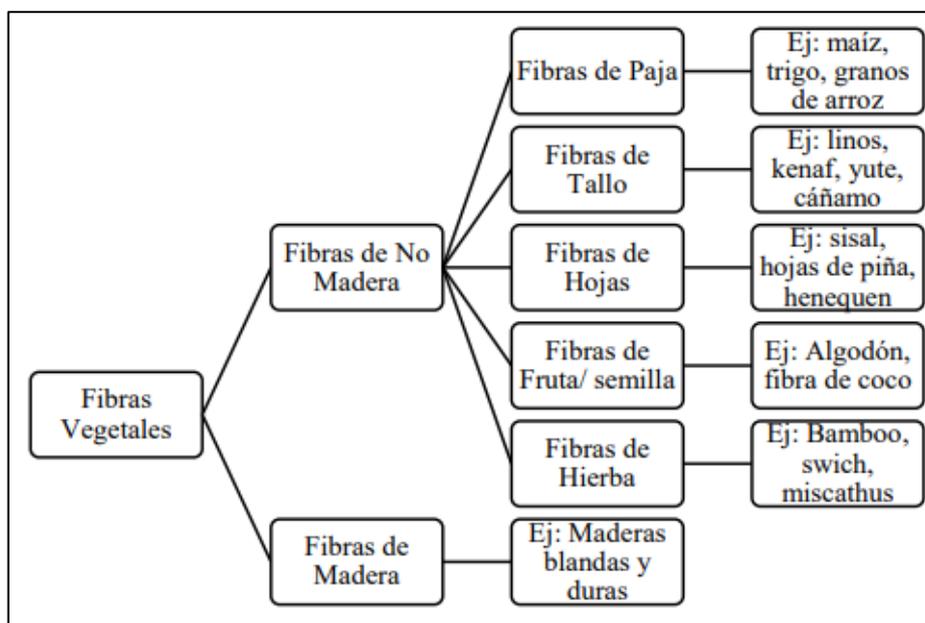


Figura 1.7 Clasificación de fibras vegetales

Fuente: (Vargas 2018, pág. 20)

La **tabla 1.8** refleja las propiedades mecánicas de algunas fibras naturales y sintetizadas.

Tabla 1.7 Características de diferentes fibras de refuerzo

Fibra	Densidad (g/cm ³)	Resistencia Tracción (MPa)	Módulo Young (GPa)	Elongación a rotura (%)
Bambú	0.6-1.10	140-1000	12-89	-
Lino	1.30-1.58	343-2000	8-160	1.2-1.6
Sisal	1.00-1.50	80-855	9-38	2.0-3.0
Cáñamo	1.18-1.60	310-1100	3-90	1.6
Yute	1.43-1.52	187-800	3-64	1.9
Kenaf	1.20-1.40	180-1191	14-128	1.6
Ramio	1.50	500	44	2.0
Esparto	0.89	565	22	5.8
Algodón	1.51	400	6.0	3.0-10.0
Seda	1.33-1.6	500-740	5-17	4-20

Fuente: (Pozo Ángel et al., 2019, pág. 69)

1.7.5 LA FIBRA DE YUTE COMO REFUERZO NATURAL

1.7.5.1 Definición: Fibra de yute

Este tipo de fibra vegetal es extraído de la corteza de la planta de yute blanco o yute rojo científicamente conocido como *corchorus capsularis*. Físicamente presenta sedosidad y un brillo dorado por lo cual es conocida como fibra dorada y suele ser usada individualmente o formando compuestos con otros materiales o fibras (Aceves, 2018, pág. 7).



Figura 1.8 Yute y yute hilado

Fuente: (Aceves, 2018, pág. 7).

1.7.5.2 Uso y propiedades de la fibra de yute

El mercado mundial de fibras de yute está centrado en Pakistán, por otro lado, la India produce una cantidad capaz de cubrir la demanda local y naciones como china, Birmania, Brasil, Formosa, Nepal y Sian producen este elemento, pero en menores cantidades (Aceves,

2018, pág. 11). En el Ecuador se puede encontrar la fibra de yute mediante importaciones, pero algunas partes amazónicas se prestan para cultivos debido al clima.

El proceso de obtención se da mediante la separación del tallo en estado húmedo al quebrar la madera; después se enjuaga y se seca. Al enjuagarse se eliminan las partes inferiores debido a su geometría y se sumergen en agua.

El hilo de yute suele ser usado ampliamente en el área textil para tejidos de cortinas, cubiertas de sillas, tapetes, tapices y forros, pero al ser combinado con otros materiales se puede obtener juguetes, papel, zapatos, entre otros (Aceves, 2018, pág. 13). La amplia aplicación de la fibra de yute además de las características físicas que presenta han despertado la curiosidad sobre su uso como elemento de refuerzo en los composites.

El Instituto Tecnológico de Aeronáutica de Brasil elaboró la carrocería de un vehículo usando material compuesto por fibra de yute logrando disminuir el peso y el consumo de combustible en un rango considerable de hasta un 15%. (Dávila, José Luis et al., 2011, pág. 220).



Figura 1.9 Vehículo construido con fibra de yute
Fuente: (Dávila, José Luis et al., 2011, pág. 220).

1.8 PROCESO DE OBTENCIÓN DE UN MATERIAL COMPUESTO Y EVALUACIÓN DE SUS PROPIEDADES MECÁNICAS

El proceso de obtención de un material compuesto depende directamente de los requisitos aplicables del material resultante. Esta dependencia está relacionada con el tipo de matriz, la geometría, aplicación final del producto y finalmente las condiciones de obtención y el método (Palacios Acosta, 2017, pág. 11).

1.8.1 MÉTODOS DE OBTENCIÓN DEL MATERIAL COMPUESTO

Tabla 1.8 Métodos de obtención de materiales compuestos

MÉTODO	DEFINICIÓN	VENTAJAS
Estratificación manual	Técnica simple para la obtención de compuestos de matriz termoestable	Adaptable a diferentes tamaños y gama alta de materia prima
Estratificación de pre impregnados	Mezcla de fibras reforzantes dispuestas en forma de tejido impregnados con polímeros termoestables u termoplásticos	Buena resistencia mecánica y química
Moldeo por aspersión	Similar a la estratificación manual pero la aplicación se realiza mediante pistola de aspersión.	Aplicación rápida en comparación a otros métodos
Moldeo por compresión	Se deriva del estampado de placas metálicas utilizando moldes precalentados.	Método útil para el estudio de materiales compuestos
Extrusión	El material es dispersado por orificios hacia moldes con el fin de dar formas específicas	Buena relación entre matriz y refuerzo
Inyección	El polímero es llevado hacia moldes de forma cíclica para llevar a tomas la forma final.	Costos de producción reducidos en relación a cantidad y tamaño
Moldeo por transferencia de resina	Conocida como moldeo por transferencia líquida en donde un molde cerrado posee con anterioridad el material de refuerzo	Bajos costos de obtención inicial de maquinaria
Moldeo por pultrusión	Proceso continuo con niveles altos de automatización para llevar a cabo producciones a grande escala.	Producción de piezas de cualquier tipo y tamaño

Fuente: (Palacios Acosta, 2017, pág. 15).

1.8.2 ETAPAS DE OBTENCIÓN DEL MATERIAL

Según Valencia y Pozo (2020). El proceso de elaboración de cualquier tipo de material compuesto se rige por las etapas establecidas en la **tabla 1.9**:

Tabla 1.9 Etapas de obtención de un material compuesto

ETAPA	DESCRIPCIÓN
Impregnación	Con el objetivo de formar una lámina, se mezcla la matriz y el refuerzo logrando que la resina se incorpore al refuerzo.

Tabla 1.9 Etapas de obtención de un material compuesto (**Continuación...**)

laminado	Luego de la impregnación, el material resultante es sometido a deformaciones para obtener piezas finales a la aplicación.
Consolidación	El material se expone a presiones con el objetivo de eliminar vacíos que puedan permitir una correcta incorporación de matriz y refuerzo.
Solidificación	Este proceso dependerá de la matriz, por lo general para matrices poliméricas puede tardarse entre 100 a 120 min tomando siempre en cuenta la fase de curado.

1.8.3 ENSAYOS PARA MATERIALES COMPUESTOS

Los ensayos de materiales compuestos se componen una serie de pruebas mecánicas, físicas, térmicas, de metalografía o no destructivos, destinadas a medir las características de un material para asegurar un uso óptimo de los materiales compuestos en productos, componentes y en los procesos de fabricación, los cuales requieren ensayos y caracterización de materiales para asegurar su adecuación a una futura aplicación (Vargas 2018, pág. 24).

Entre los ensayos mecánicos más comunes realizados en compuestos reforzados con fibras están:

- Ensayo de tracción
- Ensayo de flexión
- Ensayo de impacto

1.8.3.1 Ensayo de tracción bajo norma ASTM D3090-15

El ensayo a tracción es un método fundamental para determinar datos, como la especificación del material, inspección y de desarrollo de componentes estructurales, que consiste en deformar el material hasta la rotura de la probeta, mediante la aplicación de una fuerza uniaxial a lo largo del eje principal la cual va aumentando de manera gradual (Pasmíño, 2018, pág. 16).

En el caso de materiales compuestos con fibras el ensayo de tracción se rige bajo la normativa ASTM D3039-15 utilizando una maquina universal de ensayos MTE-50.

1.8.3.2 Ensayo en flexión bajo norma ASTM D7264-15

Un ensayo de flexión para materiales compuestos determina rigidez a la flexión y propiedades de resistencia de un compuesto por matriz polimérica.

Al igual que otros ensayos se realiza en una máquina de ensayos universales que se rige bajo la normativa ASTM D7264-15 y consiste en someter una probeta, a una fuerza en su eje perpendicular mientras está apoyada en sus extremos sin tensión y cargadas en la mitad de su longitud, 3 puntos (Vargas, 2018, pág. 25).

Para fines de la investigación los ensayos se realizarán en una máquina de ensayos universales MTE-50.

1.8.3.3 Ensayo a impacto mediante caída por dardo bajo norma ASTM D5628

Un ensayo de impacto mediante caída por dardo se rige bajo la normativa ASTM D5628 que consiste en someter a una probeta a un impacto mediante la caída libre de un dardo de masa variable y a una altura determinada por la normativa ASTM (Espín, 2017, pág. 51)

Con este método normalizado se determina la energía de falla del material, en el cual se presentan fisuras al dejar caer un dardo sobre la probeta. Se coloca la probeta en la máquina y se deja caer el dardo.

De la misma manera se debe tener en cuenta que el dardo no debe golpear dos veces a la probeta, es decir este no debe rebotar. Se retira la probeta y se examina si este ha sufrido daño (Pasmíño, 2018, pág. 18).

1.9 APLICACIÓN DE LOS MATERIALES COMPUESTOS EN LA INDUSTRIA AUTOMOTRIZ

La utilización de materiales compuestos de fibras naturales reforzadas con polímeros cada vez es más importante en la industria automotriz no solo son una iniciativa hacia una mejora en el medio ambiente con costos factibles, sino también una exigencia actual. La industria opta por utilizar refuerzos renovables en materiales compuestos, denominados eco-materiales (Córdova, Castañeda, & Sáenz, 2018).

El uso y crecimiento a nivel mundial de los materiales compuestos reforzados con fibras naturales llama la atención de diferentes industrias, sobre todo la automotriz donde se busca producir autopartes de vehículos amigables con el ambiente y sobre todo rentable para las empresas tanto en producción como en diseño (Loza & Espinoza, 2017, pág. 14).

Varias fibras naturales se han utilizado durante años como cuerdas, materiales de construcción, tableros de partículas, entre otros. La ausencia de información esencial en la preparación de los materiales reforzados con fibras naturales sigue siendo un desafío para futuras aplicaciones. Los tratamientos químicos y las modificaciones de la superficie pueden mejorar la calidad de las fibras naturales (Khalid, Muhammad & Ramsha, 2021, pág. 2).

El estudio de Khalid, Muhammad & Ramsha, (2021) también menciona que las fibras naturales, como el kenaf, el cáñamo, el lino, el yute y el sisal, proporcionan varios beneficios, como disminuciones en el peso, el costo y el CO_2 , así como también una menor dependencia de los recursos petroleros. Por lo tanto, los fabricantes de vehículos están interesados en utilizar compuestos de fibra natural dentro y fuera de los automóviles.

Los diversos compuestos reforzados con fibras naturales son aplicados en diversas organizaciones automotrices alemanas como, BMW, Audi Group, Ford, Opel, Volkswagen, Daimler Chrysler y Mercedes, la organización Proton fabricante nacional de automóviles de Malasia y la industria de Cambridge una industria automotriz en los Estados Unidos.

1.9.1 AUTOPARTES ELABORADAS CON MATERIALES COMPUESTOS

El uso de materiales compuestos como alternativa a materiales tradicionales de la industria automotriz se traduce a elementos con mayor resistencia, durabilidad y menores costos de producción. Este tipo de propiedades se adquieren mediante equiparaciones hacia otros materiales como los metales, la diferencia es que usar metal agrega como consecuencia un mayor peso a los vehículos.

De forma general la **figura 1.10** demuestra las distintas autopartes que se pueden obtener aplicando materiales compuestos.



Figura 1.10 Autopartes fabricadas con Materiales compuestos

Fuente: (Imbaquingo Navarrete, 2018, pág. 31).

1.9.2 ELABORACIÓN DE AUTOPARTES

Para la fabricación de autopartes es necesario conocer principalmente los factores que intervendrán en su funcionamiento como: dimensiones, peso, cargas a las que se someten. El factor ambiental actualmente representa un pilar principal para el inicio del diseño, encaminando el resultado final hacia la eficiencia del manejo de recursos utilizados por lo que los softwares de diseño asistido por computadora CAD representan una gran ventaja al permitir simular diferentes materiales del elemento final, así como la optimización de costos, entre otros (Valencia & Pozo, 2020, pág. 31).

Los métodos de elaboración de composites como la estratificación manual, inyección, moldeo por aspersión, moldeo por compresión, entre otros. Son utilizados en gran medida por la industria para la elaboración de autopartes donde el elemento principal de fabricación es el molde el cual limita las formas y medidas de autoparte final (Valencia & Pozo, 2020, pág 31).

1.9.2.1 Moldes para fabricación de autopartes

La fabricación de autopartes con material compuesto por matriz polimérica y refuerzos de fibras naturales se realiza mediante moldes de acero y aluminio con la finalidad de obtener acabados de calidad (Valencia & Pozo, 2020, pág 30). El proceso consiste en aplicar varias

capas de refuerzo sobre el molde para finalmente ser impregnado por resinas termoplásticas o termoestables.

Habitualmente el cartón prensado es considerado un material adecuado para la elaboración de moldes debido al bajo costo de adquisición y la facilidad de trabajo respecto al modelado de piezas curvas para los vehículos. La fibra de vidrio es otro candidato recurrente para la fabricación de moldes, la diferencia en relación al cartón prensado radica en la aplicación de cera desmoldante para separar el molde de la pieza final (Valencia & Pozo, 2020, pág 31).

1.9.2.2 Proceso de estratificación manual

Denominada Hand Lay-up, es un método fácil pero antiguo para la fabricación de piezas con materiales compuestos, Las matrices empleadas en el proceso pueden ser polímeros termoplásticos o termoestables los cuales permiten la impregnación con el refuerzo de manera homogénea casi en su totalidad.

El curado de las resinas en el proceso se empieza con la intervención del iniciador encargado de activar la reacción química para ser complementado con el catalizador el cual acelera dicho proceso (Mazón Gabriel, 2017, pág 26). La resina de poliéster es un polímero termoestable el cual reacciona por la intervención del actoano de cobalto como iniciador y se complementa con el peróxido de metiletil cetona.

El proceso de estratificación manual se detalla a continuación:

- En el molde se agrega la cera desmoldante para posteriormente poder retirar la pieza con facilidad.
- Se aplica el gelacoat mediante pistola de aspersión o de forma manual con brocha.
- Cuando el proceso de curado ha iniciado se aplican capas del material reforzante seleccionado aplicando resina catalizada mediante un rodillo que genere presión sobre el material eliminando depósitos de aire.
- El curado finaliza dejando el elemento a temperatura ambiente, el tiempo dependerá del agente iniciado y catalizador agregados a la resina.

CAPITULO II

2 MATERIALES Y METODOS

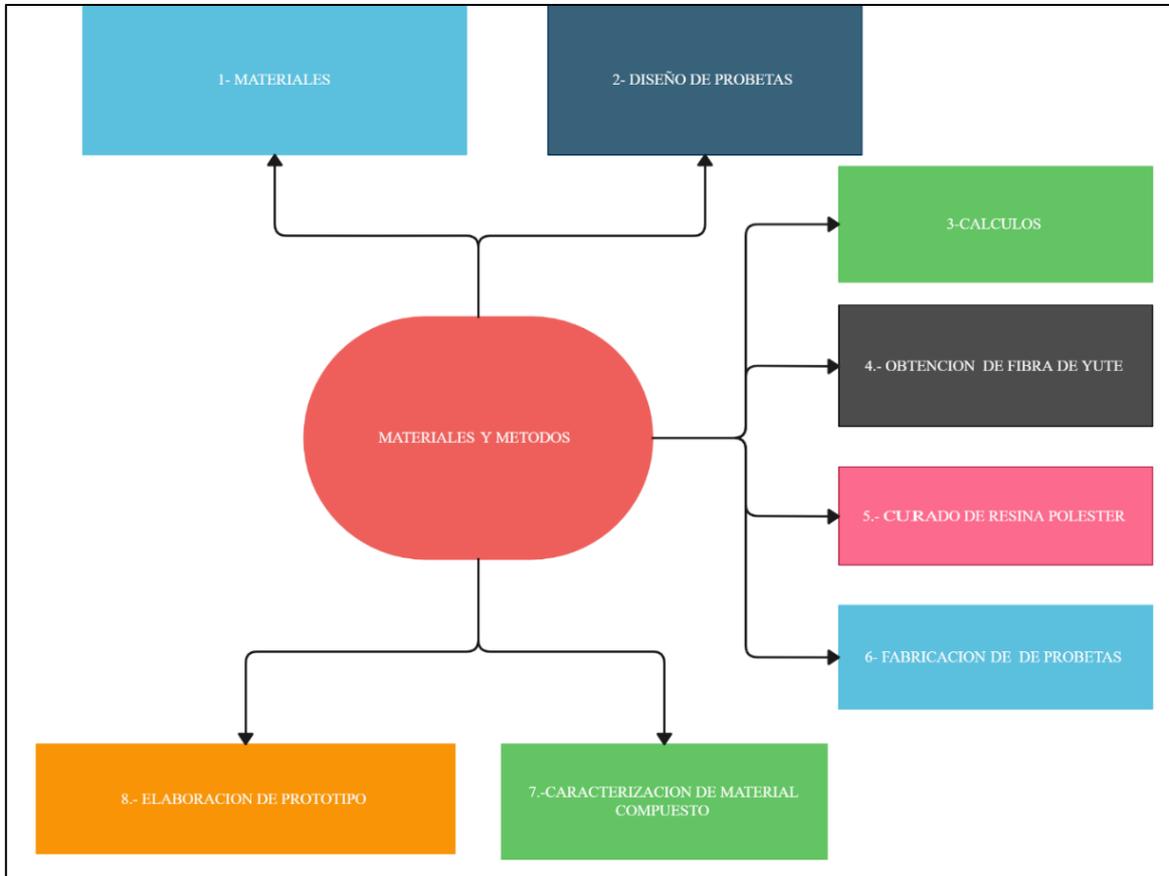


Figura 2.1 Flujograma de materiales y métodos

2.1 CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES

El material compuesto consta de dos elementos principales, la resina poliéster y la fibra de yute. Cada uno de ellos se detalla a continuación, además de los materiales necesarios para obtener una correcta adhesión entre matriz y refuerzo.

2.1.1 LA FIBRA DE YUTE

La fibra de yute representa el refuerzo encargado de soportar las cargas emitidas hacia la matriz (resina poliéster) en el material compuesto.



Figura 2.2 Fibra de yute suelta

2.1.2 RESINA POLIÉSTER

La resina poliéster a temperatura ambiente es un líquido viscoso consiguiendo llegar a estado sólido en el proceso de polimerización gracias a la influencia del catalizador y el acelerador.



Figura 2.3 Resina poliéster

2.1.3 CATALIZADOR

Es el elemento encargado de iniciar la polimerización en la resina poliéster logrando obtener la matriz del material compuesto.



Figura 2.4 Catalizador

2.1.4 ACELERADOR

Conocido como octoato de cobalto permite junto al catalizador, variar el tiempo de polimerización de la resina poliéster.



Figura 2.5 Acelerador

2.1.5 ESTIRENO

Es un compuesto que permite reducir la densidad del polímero con un límite del 20% con respecto a la cantidad de resina.



Figura 2.6 Estireno

2.1.6 CERA DESMOLDANTE

Material aplicado hacia los moldes de las probetas con la finalidad de permitir separar el material compuesto fácilmente y evitando fallas.



Figura 2.7 Cera desmoldante

2.2 CONSTRUCCIÓN DE PROBETAS BAJO NORMATIVA ASTM

El dimensionamiento y fabricación de las probetas se realizó siguiendo las condiciones establecidas en las normativas ASTM para materiales compuestos con respecto a los ensayos de tracción, flexión e impacto.

2.2.1 DIMENSIONAMIENTO DE LAS PROBETAS

2.2.1.1 Probetas de tracción

En la normativa ASTM D3039-00 se describe las dimensiones para probetas de tracción:

- Longitud: 250 mm
- Ancho: 25 +/- 1% mm
- Espesor 2.5 +/- 4% mm

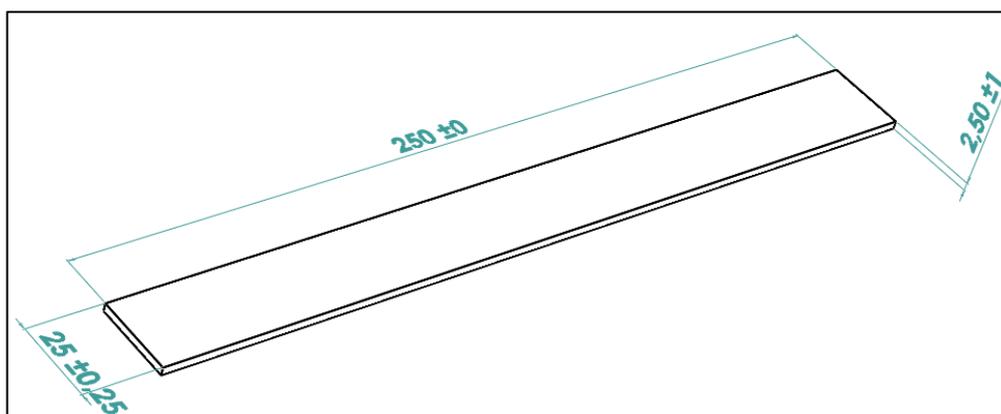


Figura 2.8 Dimensiones probetas de tracción

2.2.1.2 Probetas de flexión

Las dimensiones para probetas de flexión según la normativa ASTM D7264-07 son las siguientes:

- Longitud: 160 mm
- Ancho: 13 +/- 1% mm
- Espesor: 4 +/- 4% mm

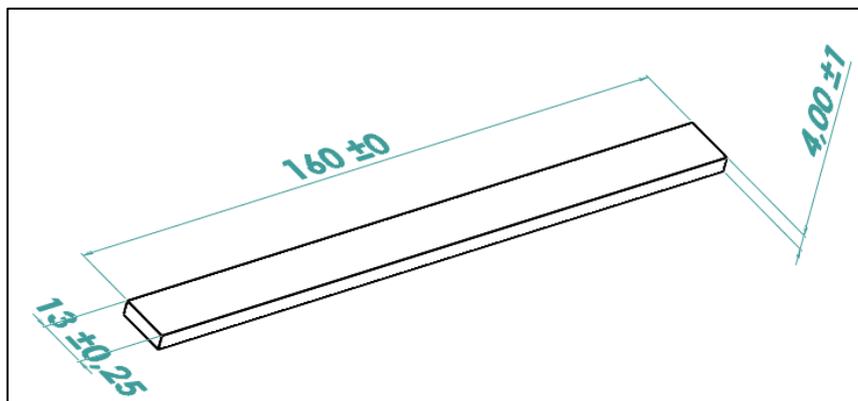


Figura 2.9 Dimensiones probetas de flexión

2.2.1.3 Probetas de impacto

las probetas de impacto deben cumplir las condiciones dimensionales de la normativa ASTM D5628-10:

- Longitud: 58 mm
- Ancho: 58 +/- 1% mm
- Espesor: 6 +/- 4% mm

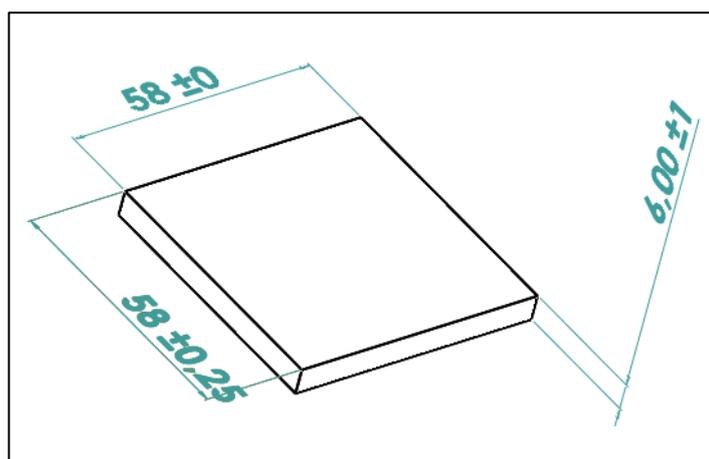


Figura 2.10 Dimensiones probetas de impacto

Se fabricó 45 probetas de las cuales 15 probetas son destinadas para ensayos de tracción bajo ASTM D3039-00, la misma cantidad destinada hacia los ensayos de flexión bajo ASTM D7264-07 y los 15 restantes para ensayos de impacto con normativa D5628-10. La fracción volumétrica en cada probeta varía al igual que la orientación de la fibra.

En la tabla 2.1 se clasifica el tipo de ensayo y la fracción volumétrica además de otras características tomadas en cuenta como la cantidad de probetas y la orientación del refuerzo.

Tabla 2.1 Probetas, porcentaje de fibra, porcentaje de matriz y disposición de refuerzo

PROBETAS DE TRACCIÓN		NORMATIVA: ASTM D3039-00	
% Fibra de yute	% Resina poliéster	Disposición de refuerzo	Cantidad
25 % fibra suelta	75 %	0° - 90°	5
30 % fibra tejida	70 %	Entretejida a 90°	5
30 % fibra tejida	70%	Entretejida a 45°	5
PROBETAS DE FLEXIÓN		NORMATIVA: ASTM D7264-07	
% Fibra de yute	% Resina poliéster	Disposición de refuerzo	Cantidad
25 % fibra suelta	75 %	0° - 90°	5
30 % fibra tejida	70 %	Entretejida a 90°	5
30 % fibra tejida	70%	Entretejida a 45°	5
PROBETAS DE IMPACTO		NORMATIVA: ASTM D5628-10	
% Fibra de yute	% Resina poliéster	Disposición de refuerzo	Cantidad
25 % fibra suelta	75 %	0° - 90°	5
30 % fibra tejida	70 %	Entretejida a 90°	5
30 % fibra tejida	70%	Entretejida a 45°	5
TOTAL:			45

Fuente: (Propia)

2.2.2 CÁLCULOS

la cantidad de masa de fibra y resina poliéster se determina usando la ecuación descrita a continuación:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad [2.1]$$

Donde:

- ρ : Densidad del material
- m : Cantidad de masa
- V : Volumen de la fracción volumétrica

De la ecuación 2.1 se despeja la variable correspondiente a la cantidad de masa:

$$m = \rho V \quad [2.2]$$

Donde los datos conocidos son:

- $\rho_{yute} = 1.43 \frac{g}{cm^3}$
- $\rho_{resina} = 1.28 \frac{g}{cm^3}$

2.2.2.1 Cálculos para probetas de tracción con fibra suelta

El volumen para las probetas de tracción se logra determinar al multiplicar las dimensiones mostradas en la figura 2.7 dando un valor de 15.625 cm^3 .

Con respecto a la configuración de fibra suelta el 25 % del volumen total corresponde a 3.906 cm^3 .

Para determinar la masa de refuerzo necesaria para la construcción de las probetas de tracción se utilizó la ecuación [2.2].

Datos:

$$\rho_{yute} = 1.43 \frac{g}{cm^3}$$

$$V_1 = 3.906 \text{ cm}^3$$

$$m = \rho_{yute} V_1$$

$$m = 1.43 \frac{g}{cm^3} * 3.906 \text{ cm}^3$$

$$\mathbf{m = 5.586 \text{ g}}$$

La cantidad de fibra necesaria para la construcción de las 5 probetas de tracción es:

$$m_{T1} = 5.586 * 5$$

$$\mathbf{m_{T1} = 27.93 \text{ g}}$$

Se requirió un total de 27.93 g de fibra suelta para la construcción de las probetas de tracción.

2.2.2.2 Cálculos para probetas de flexión con fibra suelta

El volumen para las probetas de flexión se obtiene multiplicando las dimensiones mostradas en la figura 2.8 dando un valor de 8.32 cm^3 .

El 25 % correspondiente para la configuración de fibra suelta representa un volumen de 2.08 cm^3 .

Se utiliza la ecuación [2.2] para determinar la masa necesaria en las probetas de flexión.

Datos:

$$\rho_{yute} = 1.43 \frac{g}{\text{cm}^3}$$

$$V_2 = 2.08 \text{ cm}^3$$

$$m = \rho_{yute} V_1$$

$$m = 1.43 \frac{g}{\text{cm}^3} * 2.08 \text{ cm}^3$$

$$\mathbf{m = 2.97 g}$$

La cantidad de fibra suelta necesaria para la construcción de las probetas de flexión es:

$$m_{T2} = 2.97 * 5$$

$$\mathbf{m_{T2} = 14.85 g}$$

El total de 14.85 g de fibra suelta fue necesario para la elaboración de 5 probetas de flexión.

2.2.2.3 Cálculos para probetas de impacto con fibra suelta

multiplicando las dimensiones mostradas en la figura 2.9 se obtiene el volumen proporcionado a las probetas de impacto con un valor de 20.184 cm^3 .

5.05 cm^3 es el volumen correspondiente al 25 % del volumen total que representa la cantidad de fibra suelta.

Con la ecuación [2.2] se determinó la masa de fibra por cada probeta de impacto.

Datos:

$$\rho_{yute} = 1.43 \frac{g}{cm^3}$$

$$V_3 = 5.05 \text{ cm}^3$$

$$m = \rho_{yute} V_3$$

$$m = 1.43 \frac{g}{cm^3} * 5.05 \text{ cm}^3$$

$$\mathbf{m = 7.22 \text{ g}}$$

La cantidad de fibra suelta para 5 probetas de impacto es:

$$m_{T3} = 7.22 * 5$$

$$\mathbf{m_{T3} = 36.1 \text{ g}}$$

Se requirió 36.1 g de fibra suelta para la construcción de las probetas de impacto.

La cantidad de fibra suelta para la elaboración de todas las probetas se obtuvo sumando:

$$m_T = m_{T1} + m_{T2} + m_{T3}$$

$$m_T = 27.93 \text{ g} + 14.85 \text{ g} + 36.1 \text{ g}$$

$$\mathbf{m_T = 78.88 \text{ g}}$$

Para la elaboración de 15 probetas se necesitó 78.88 g de fibra suelta.

2.2.3 OBTENCIÓN DE LA FIBRA DE YUTE

Nuestro país cuenta con variedad de fibras y tejidos elaborados de forma artesanal con yute. Para la fabricación de las probetas se obtuvo fibra tejida y suelta proveniente directamente de los vendedores artesanos y locales textiles.



Figura 2.11 Fibra suelta y fibra tejida

En la **Figura 2.11** se observa la fibra de yute utilizado en la elaboración de las probetas, a la izquierda se puede apreciar la fibra tejida mientras que a la derecha la fibra suelta. Con respecto a la fibra tejida se debe tomar en cuenta la disposición del entretejido con la finalidad de mejorar la adherencia con la resina poliéster.

Ninguna de las disposiciones de fibra tanto suelta como tejida fueron sometidas a algún proceso o tratamiento químico externo.

2.2.4 POLIMERIZACIÓN DE LA RÉSINA POLIÉSTER

Conocido como curado, el proceso de polimerización ocurre cuando la resina poliéster pasa de un estado líquido a sólido gracias a la intervención de algunos complementos como el catalizador y el acelerador. El uso de estos complementos dependerá de la cantidad de resina que se decida utilizar.

Cuando la polimerización está cumpliendo su ciclo los complementos generan una reacción química la cual genera calor con una temperatura de 150 °C en pocos minutos (Valencia & Pozo, 2020, pág. 42).

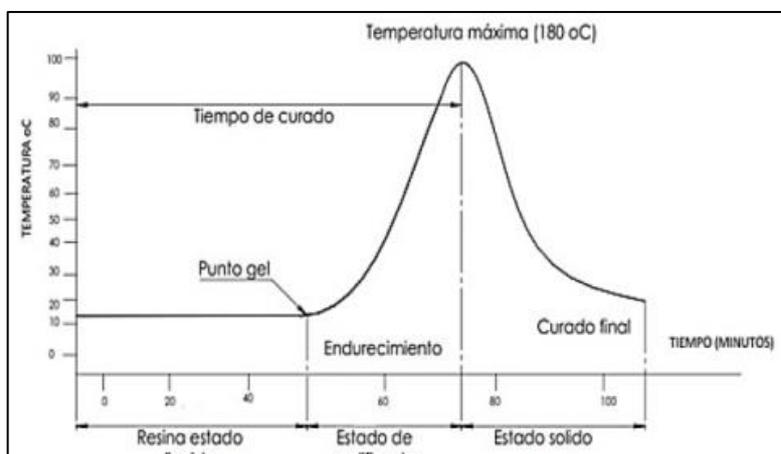


Figura 2.12 Curva de polimerización Resina Poliéster
(Valencia & Pozo, 2020, pág. 42)

En la **Figura 2.12** la curva de polimerización de la resina poliéster es una función del tiempo inicial en estado líquido hasta llegar a estado sólido dependiente de la temperatura.

2.2.5 DIMENSIONAMIENTO Y PREPARACIÓN DE LOS MOLDES PARA LAS PROBETAS

2.2.5.1 Diseño de moldes

Durante el proceso de fabricación de las probetas es necesario utilizar un material resistente a la temperatura alcanzada en el curado de la resina, por lo que se utilizó tableros de madera tipo MDF el cual es de fácil adquisición y manipulación.

La distribución de las probetas es dependiente de las fracciones volumétricas propuestas además de la orientación del refuerzo, por lo que se decidió plasmar cada conjunto en 3 tableros de MDF. Las medidas para los tableros se determinaron dimensionando las probetas en planos mediante el uso del AutoCAD versión estudiantil.

Adicionalmente se plasmó en los planos el lugar en donde se realizarán perforaciones con la finalidad de comprimir el material compuesto de manera uniforme. A continuación, se muestran los planos resultantes.

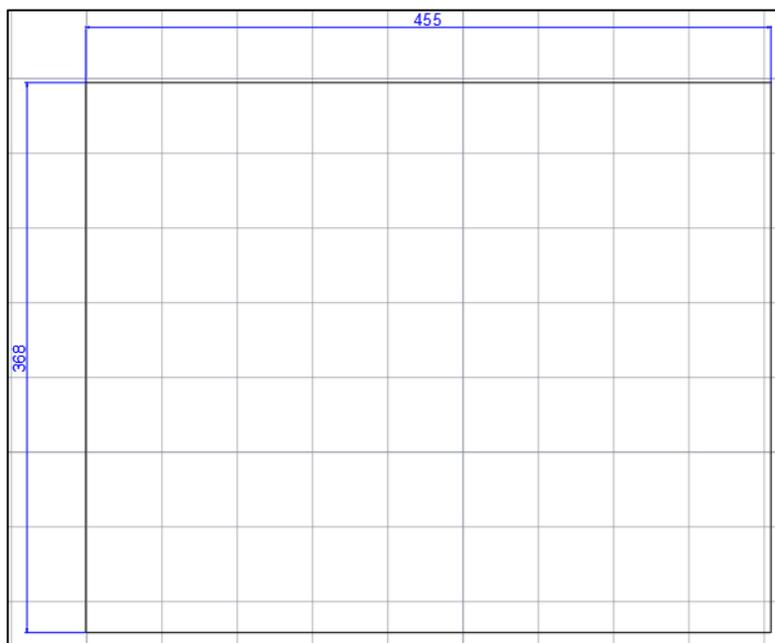


Figura 2.13 Dimensiones para los tableros

En la **figura 2.13** Se puede observar las dimensiones para los tableros utilizados como molde para la elaboración de probetas.

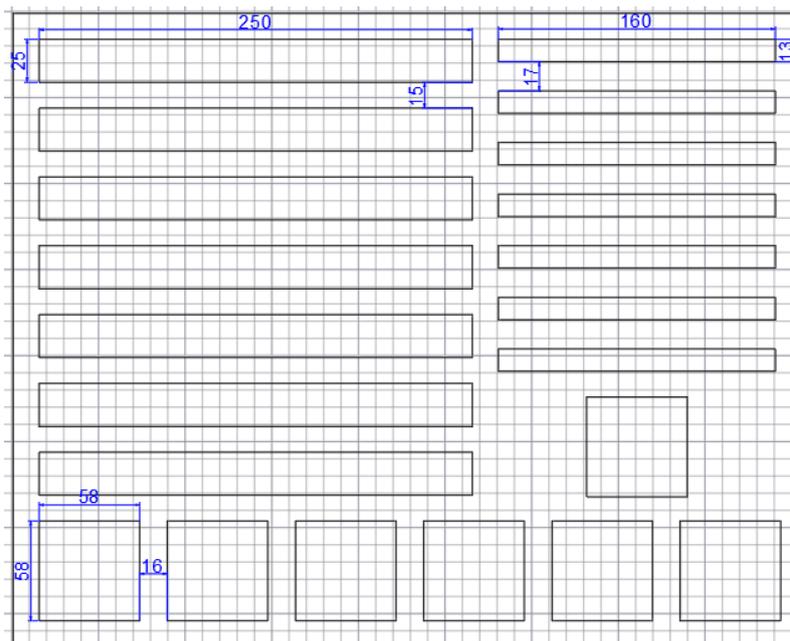


Figura 2.14 Plano de tablero para probetas de torsión, flexión e impacto

En la **figura 2.14** se puede observar el plano para la distribución de probetas el cual servirá para las 3 configuraciones volumétricas con una cantidad de 7 probetas para cada ensayo por si existiese algún error en el corte del material.

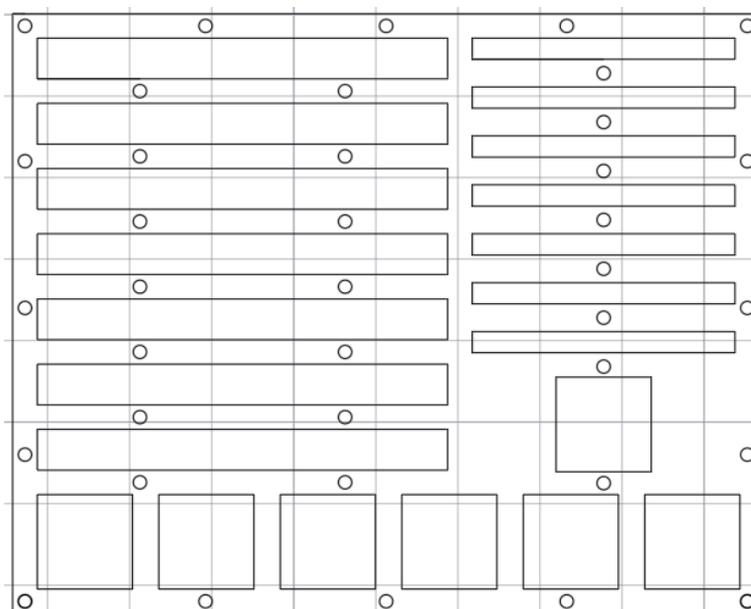


Figura 2.15 Distribución de perforaciones en los tableros

En la **Figura 2.15** se presenta el plano con la distribución de perforaciones las cuales se utilizarán para atornillar el tablero junto a otro con la finalidad de comprimir el material compuesto.

2.2.5.2 Fabricación de tableros

De acuerdo con los datos obtenidos de los planos, se requieren 6 tableros, cada uno de los cuales está compuesto de dos láminas de madera de 455x368 mm de dimensión y un espesor de 12 mm para cada composición y tipo de probetas.



Figura 2.16 Tablero de madera para probetas

En la **Figura 2.16** se observa los 6 tableros de madera utilizados como molde para la elaboración de las probetas.

2.2.5.3 Aplicación de cera desmoldante

Se cepilló la superficie de cada tablero para eliminar todas las imperfecciones y obtener un acabado superficial adecuando a la aplicación de cera antiadherente. La aplicación de cera se realizó en pequeños círculos de forma homogénea con un trapo previamente remojado en cera, posteriormente con un trapo seco se pulió para finalmente dejar secar.



Figura 2.17 Aplicación de cera desmoldante

En la **Figura 2.17** se observa la aplicación de la cera desmoldante, este proceso se repitió 6 veces en cada tablero debido a que el fabricante de la cera recomienda este procedimiento para moldes nuevos.

2.2.5.4 Perforación de los tableros

Después de que seque la cera desmoldante se perforan 9 agujeros en cada tablero utilizando un taladro.



Figura 2.18 perforación de tableros.

En la **Figura 2.18**, se observa el tablero de madera que se utilizó en la elaboración de las probetas. A cada tablero se realizó 9 perforaciones con un diámetro de 6 mm, en dichas perforaciones se colocó pernos para aplicar una presión homogénea hacia las probetas para evitar la aparición de burbujas de aire.

2.2.5.5 Disposición del material compuesto en los tableros

Para la fabricación de las probetas se determinó las cantidades óptimas de resina poliéster y fibra yute con respecto al área de los tableros. Con la finalidad de lograr una correcta polimerización de la resina se efectuó la combinación con los complementos de curado.

En primera instancia se aplica estireno en una proporción no mayor al 10 % de la cantidad de resina, a continuación, se aplica el acelerador (octoato de cobalto) de manera homogénea y finalmente incorporar el catalizador (meck peróxido).

La finalidad del estireno en la resina es permitir la trabajabilidad con la fibra natural de yute debido a la disminución de la viscosidad de la matriz. La cantidad recomendada de

acelerador no debe sobrepasar el 1% mientras que el catalizador dependerá de la temperatura ambiente que va desde el 3% para temperaturas no menores a los 10°C hasta el 1% para temperaturas no mayores a 25 °C.



Figura 2.19 Mezcla de resina poliéster

En la **Figura 2.19** Se observa la mezcla de resina con los componentes calculada mediante el uso de una balanza capaz de pesar valores iniciales en 0.1 g.

2.2.6 CONFIGURACIÓN DE TABLEROS PARA EL MATERIAL COMPUESTO CON FIBRA SUELTA

Cuando la cera desmoldante aplicada en los tableros secó, la mezcla de resina con los componentes se calculó dependiendo de la cantidad de matriz usada para cada capa. En los tableros de fibra suelta de configuración 25% refuerzo y 75% matriz se aplicó en total 3 capas de resina y 2 de fibra orientadas longitudinalmente.



Figura 2.20 Disposición de fibra suelta

En la **Figura 2.20** se aprecia la disposición de la fibra suelta en los tableros, en total se aplicó 2 capas de fibra suelta de manera longitudinal a 0 y 90 grados.

2.2.6.1 Probetas de tracción, flexión e impacto con fibra de yute suelta

Debido a que los tableros están diseñados con cada composición volumétrica propuesta se calculó la cantidad de resina y fibra basándose en el volumen del tablero (502 cm^3) teniendo en cuenta un espesor aproximando de 3 mm. La cantidad de resina total que se necesitó para este tablero fue de 482 g que corresponde al 75% de matriz, mientras que la cantidad de fibra suelta necesaria fue de 180 g para el 25% de refuerzo, en total se tendría 662 g de material para el tablero.

En la **tabla 2.2** se distribuye la cantidad de resina y componentes para cada capa aplicada en el tablero.

Tabla 2.2 Cantidad de resina poliéster, estireno, acelerador y catalizador

No. Capa	Cantidad de Resina poliéster	Cantidad de estireno (8 %)	Cantidad de acelerador (1 %)	Cantidad de catalizador (1.5 %)
1	160.6 g	12.8 g	1.6 g	2.4 g
2	160.6 g	12.8 g	1.6 g	2.4 g
3	160.6 g	12.8 g	1.6 g	2.4 g

Fuente: (Autores)

En la **tabla 2.3** se indica la cantidad de fibra suelta por capa y la disposición.

Tabla 2.3 Disposición y cantidad de fibra suelta por capa

No. Capa	Cantidad de fibra suelta	Orientación
1	90 g	0°
2	90 g	90°

Fuente: (Autores)

2.2.7 CONFIGURACION DE TABLEROS PARA EL MATERIAL COMPUESTO CON FIBRA TEJIDA

Luego de preparar la superficie de los tableros con cera desmoldante, se recortó la fibra tejida con las dimensiones establecidas para los tableros y determinar el peso mediante una balanza y establecer la cantidad de resina necesaria para la configuración propuesta.

El peso de cada capa de fibra tejida es de 48 g por lo que se decidió usar 2 capas. Recordando que dos de las configuraciones establecidas llevan fibra tejida, se recortó 2 capas con dirección de 90 grados y 2 con dirección a 45 grados.



Figura 2.21 Capas de fibra suelta

En la **Figura 2.21** se puede apreciar el recorte de las capas para la configuración de fibra tejida, en total se recortaron 2 capas para cada disposición dando como resultado un peso de 96 gramos de fibra.

2.2.7.1 Probetas de tracción flexión e impacto con fibra de yute tejida

Teniendo en cuenta 3 mm de espesor del material sobre los tableros el volumen es de 502 cm^3 por lo cual se determina la cantidad de resina y componentes necesaria tanto para la configuración de fibra tejida con disposición de 90 grados como para la de 45 grados. Sabiendo que se usará 2 capas de fibra tejida con un peso de 96 g la cantidad de resina utilizada fue de 274 g cumpliendo la configuración establecida de 70 % matriz y 30 % refuerzo para las dos direcciones de fibra tejida.

En la **tabla 2.4** se especifica la distribución de resina con sus componentes para cada tablero de fibra tejida.

Tabla 2.4 Cantidad de resina y sus componentes

No. Capa	Cantidad de Resina poliéster	Cantidad de estireno (8 %)	Cantidad de acelerador (1 %)	Cantidad de catalizador (1.5 %)
1	91.5 g	7.32 g	1 g	1.4 g
2	91.5 g	7.32 g	1 g	1.4 g
3	91.5 g	7.32 g	1 g	1.4 g

Fuente: (Autores)

En la **tabla 2.5** se indica la distribución de fibra tejida para cada tablero propuesto.

Tabla 2.5 Disposición y distribución de fibra tejida sobre los tableros

Disposición de fibra	No. de capas	Cantidad de fibra
Dirección: 90 grados	2 capas	Capa 1: 48 g
		Capa 2: 48 g
Dirección: 45 grados	2 capas	Capa 1: 48 g
		Capa 2: 48 g

Fuente: (Autores)

2.2.8 PREPARACIÓN Y CORTE DE PROBETAS EN LOS TABLEROS

Luego de finalizar la aplicación de resina y fibra sobre los moldes (tableros) en las 3 configuraciones volumétricas detalladas anteriormente se sellan los tableros con pernos de 6 mm logrando comprimir el material para lograr una superficie uniforme del material compuesto.



Figura 2.22 Sellado de tableros

En la **figura 2.22** se puede observar el sellado de los tableros mediante 12 pernos de 6 mm, se aplicó rodajas en cada extremo del molde con el objetivo de comprimir el material y evitar la formación de burbujas en el material compuesto.

2.2.8.1 Tiempo de curado

El tiempo de curado para los tableros fue de 15 días a una temperatura ambiental aproximada de 15° Celsius. Temperatura la cual fue tomada en cuenta para determinar la cantidad de catalizador aplicado para cada tablero.

2.2.8.2 Desmolde de tableros

Cuando el tiempo de curado se cumplió se desmoldo el material de los tableros iniciando con eliminar el exceso de material que sobresalía en los extremos de los tableros, luego aflojar los pernos y finalmente separar los moldes del material mediante la ayuda de una espátula procediendo cuidadosamente para evitar daños sobre la superficie del compuesto.



Figura 2.23 Desmolde de tableros

En la **Figura 2.23** se observa el material compuesto desmoldado el cual presenta una superficie liza adecuada para el recorte de las probetas.

2.2.8.3 Corte de probetas

Luego de desmoldar las 3 configuraciones se cortó las probetas respetando las dimensiones establecidas en las normativas de tracción, flexión e impacto. Se agrupo las probetas recortadas con un total de 18 probetas por cada composición volumétrica (6 probetas por cada tipo de ensayo) para luego realizar los respectivos ensayos.



Figura 2.24 Probetas de flexión, tracción e impacto

En la **Figura 2.24** se puede apreciar el grupo de probetas recortado para la configuración de fibra tejida, se puede observar que a las probetas de tracción se incorporó papel de lija e los extremos con la finalidad de mejorar el agarre durante el ensayo.

2.3 PROPIEDADES DEL MATERIAL COMPUESTO

Las probetas obtenidas para tracción, flexión e impacto fueron sometidas a los ensayos correspondientes, las pruebas de tracción fueron desarrolladas en el laboratorio del Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero de la ciudad de Ambato, las pruebas de flexión se realizaron en el laboratorio de mecánica de materiales de la Escuela Superior Politécnica del Ejército mientras que el ensayo de impacto fue desarrollado en el laboratorio de mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.

En la **tabla 2.6** Se puede observar las configuraciones volumétricas para cada conjunto de probetas.

Tabla 2.6 Conjunto de probetas

CONJUNTO	CONFIGURACIÓN VOLUMÉTRICA
1	2 capas de fibra de yute tejida a 90° + resina poliéster
2	2 capas de fibra de yute tejida a 45° + resina poliéster
3	25 % de fibra de yute suelta + 70 % de resina poliéster

Fuente: (Autores)

2.3.1 ENSAYOS DE TRACCIÓN

Los ensayos de tracción se realizaron en 5 probetas con dimensiones correspondientes a la normativa ASTM D 3039-00 (250 x 25 x 2.5 mm) mediante la máquina de ensayos Metro test 50 kN.



Figura 2.25 Máquina de ensayos universal Metrotest 50 Kn

La normativa ASTM D3039 dictamina como mínimo analizar 5 probetas para poder determinar las propiedades mecánicas del material entre ellas el esfuerzo máximo, porcentaje de elongación y módulo de elasticidad.

2.3.1.1 Esfuerzo máximo a la tracción

Para determinar esta propiedad del material ensayado se utilizó la ecuación [2.3].

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{F}{A} \quad [2.3]$$

Donde:

- $\sigma_{m\acute{a}x}$ = Esfuerzo maximo (Mpa).
- F = Carga máxima (N).
- A = Área en la sección transversal (mm^2).

2.3.1.2 Porcentaje de elongación

EL porcentaje de elongación a tracción se calcula mediante la ecuación [2.4].

$$\varepsilon = \frac{\delta}{Lg} \quad [2.4]$$

Donde:

- ε = Porcentaje de deformación.
- δ = Desplazamiento por parte del extensómetro (mm).
- Lg = Longitud del extensómetro (mm).

2.3.1.3 Módulo de elasticidad

El módulo de elasticidad del material ensayado se determinó mediante la ecuación [2.5].

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad [2.5]$$

Donde:

- E = Modulo de Young (MPa).
- σ = Esfuerzo Máximo (MPa).
- ε = Porcentaje de deformación.

2.3.2 ENSAYOS DE FLEXIÓN

Al igual que los ensayos de tracción, la normativa ASTM D7264-07 establecen los criterios dimensionales para las probetas de flexión (160 x 13 x 4 mm). Los ensayos se realizaron en la máquina de ensayos Universal MLT



Figura 2.26 Maquina de ensayos Universal MLT

Las propiedades mecánicas analizadas en este tipo de probetas fueron: Esfuerzo máximo a flexión, deformación máxima y módulo de elasticidad.

2.3.2.1 Esfuerzo máximo a la flexión

El esfuerzo máximo a flexión del material compuesto ensayado se logra calcular con la ecuación [2.6].

$$\sigma_{m\acute{a}x} f = \frac{3PL}{2bh^2} \quad [2.6]$$

Donde:

- $\sigma_{m\acute{a}x}$ f = Esfuerzo máximo (MPa).
- P = Fuerza aplicada (N).
- L = Longitud entre los apoyos (mm).
- b = Ancho de probetas (mm).
- h = Espesor de probetas (mm).

2.3.2.2 Deformación máxima

Se utilizo la ecuación [2.7] para determinar la deformación máxima de las probetas ensayadas.

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

Donde:

- ε = Deformación máxima (%).
- h = Espesor de la probeta (mm).
- L = Longitud entre los apoyos (mm).

2.3.2.3 Módulo de elasticidad

El módulo de elasticidad del material compuesto se determinó mediante la ecuación [2.8].

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

Donde:

- Ef = Modulo 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).

2.3.3 ENSAYOS DE IMPACTO

El ensayo de impacto se desarrolló bajo criterios dimensionales para las probetas (58 x 58 x 6 mm) designado por la normativa ASTM D5628-10. La campaña experimental se desarrolló en la máquina de caída de masas de la Universidad Técnica de Ambato.



Figura 2.27 Máquina para ensayos de impacto

Se instaura como criterio añadido, realizar pruebas de calibración en 2 probetas adicionales con el objetivo de establecer la altura y el tipo de proyectil liberado por la máquina.



Figura 2.28 Proyectiles para ensayo de impacto

2.3.3.1 Energía media al fallo

Para determinar la energía de fallo en las probetas de impacto se utilizó la ecuación [2.9].

$$MEF = hwf$$

[2.9]

Donde:

- MEF = Efecto producido por el impacto
- h = Altura del que se realiza el impacto (mm).
- w = masa.
- f = Factor de conversión (9.81×10^{-3}).

2.4 PROCESO DE FABRICACIÓN DE PROTOTIPO

Luego de finalizar los ensayos en el material compuesto se determinó la configuración volumétrica con mejores características mecánicas para ser aplicada en la elaboración del guardabarros de la camioneta Mazda BT50. El método utilizado para la fabricación es la estratificación manual debido a la facilidad y disminución de costos.

2.4.1 ELABORACIÓN Y PREPARACIÓN DEL MOLDE

Para elaborar el prototipo de guardabarros se requirió un molde fabricado de resina poliéster con fibra de vidrio.



Figura 2.29 Molde de guardabarros Mazda BT50

En la **figura 2.29** Se observa el molde utilizado para la fabricación del prototipo, este compuesto por 1 kg de fibra de vidrio y 2 kg de resina poliéster. Luego de obtener el molde se procederá a utilizar la superficie interior del mismo para elaborar el prototipo con fibra de yute. Para iniciar con el proceso de fabricación del guardabarros constituido de fibra de yute

primero se aplicó cera desmoldante sobre toda la superficie interior del molde con la finalidad de desmoldar el producto final con mayor facilidad.



Figura 2.30 Aplicación de cera en el molde

En la **figura 2.30** Se aplicó cera desmoldante en una proporción de 6 capas de manera circular alrededor de toda la superficie interior debido a que es un molde nuevo y el fabricante de la cera lo recomienda.

2.4.2 FABRICACIÓN DE GUARDABARROS

2.4.2.1 Determinación volumétrica matriz/refuerzo para prototipo

Para la fabricación de este tipo de guardabarros se utilizó la configuración 70% resina poliéster y 30% fibra de yute tejida a 45° debido a que en el análisis de resultados se determinó como la mejor configuración para aplicar. Se inició aplicando 2 capas de fibra tejida y 3 de resina.

En la tabla **2.10** se puede observar la cantidad de resina poliéster y sus complementos distribuidos en 3 capas.

Tabla 2.10 Cantidad de resina poliéster y complementos por capas

Nro. Capas	Cantidad de resina	Cantidad de estireno 8.5%	Cantidad de catalizador 1.5%	Cantidad de acelerador 1%
1	340 g	28.9 g	5.1 g	3.4 g
2	340 g	28.9 g	5.1 g	5.1 g
3	340 g	28.9 g	5.1 g	5.1 g

Fuente: (Autores)

En la **tabla 2.11** se describe la cantidad de fibra tejida aplicada para el prototipo distribuida por capas.

Tabla 2.11 Cantidad de fibra tejida por capas

Nro. Capas	Cantidad de fibra tejida	Orientación de fibra
1	218.5 g	45 °
2	218.5 g	45 °

Fuente: (Autores)

2.4.2.2 Aplicación de resina

Para aplicar las capas de resina primero se debe asegurar que la superficie del molde se encuentre limpia y previamente encerada con desmoldante que permita separar la pieza del molde con facilidad.



Figura 2.31 Aplicación de resina en molde de prototipo

En la **Figura 2.31** Se observa la aplicación de la primera capa de resina sobre el molde de guardabarros en una proporción de 340 g por capa utilizando brochar para repartir la matriz uniformemente y repetir el proceso por 2 veces más para aplicar la fibra

2.4.2.3 Aplicación de fibra



Figura 2.32 Aplicación de fibra tejida en el molde

En la **figura 2.32** se observa la aplicación de la fibra tejida a 45° en dos capas cortadas a disposición del molde. Se debe asegurar la correcta impregnación de la matriz sobre la fibra para evitar posibles fallas en la superficie de la pieza final.

2.4.2.4 Secado de prototipo



Figura 2.33 Secado de pieza y limpieza de extremos

En la **Figura 2.33** Se puede observar el secado del prototipo y la eliminación del exceso de material en los extremos. La pieza se dejó curar durante 3 horas para finalmente desmoldar con facilidad.

2.4.2.5 Desmolde de prototipo



Figura 2.34 Desmolde de prototipo

En la **Figura 2.34** se observa el desmolde del prototipo. Se debe despegar el molde de manera cuidadosa evitando romper el guardabarros utilizando herramientas flexibles.

2.4.2.6 Acabados

Cuando la pieza esta desmoldada se observa la superficie para identificar fallas y corregirlas para que el proceso de pintado tenga el mejor acabado posible.

En la tabla 2.11 Se describe el proceso realizado sobre la pieza para obtener buenos acabados superficiales como el masillado, lijado, aplicación de fondo y pintura.

Tabla 2.12 Proceso de acabados en el prototipo

ETAPAS DE ACAMPADOS		
Etapas	Descripción	Representación
Masillado inicial	Se aplica masilla plástica en las imperfecciones más grandes del guardabarros para tener una superficie más uniforme.	
Lijado	Con la finalidad de desbastar la masilla plástica aplicada se aplica en la superficie del guardabarros lija 60.	
Aplicación de fondo	Luego de limpiar el polvo residual del proceso de lijado, se aplica fondo gris para resaltar las imperfecciones más pequeñas	

Fuente: (Autores)

Tabla 2.12 Proceso de acabados en el prototipo (Continuación...)

Masillado final	Para cubrir las imperfecciones resaltadas con la primera capa de fondo se aplica masilla roja sobre todo el guardabarros.	
Masillado final	Para cubrir las imperfecciones resaltadas con la primera capa de fondo se aplica masilla roja sobre todo el guardabarros.	
Aplicación de fondo final	Cuando la masilla roja esta seca se lija la superficie con láminas 400 para pulir y se aplica una segunda capa de fondo gris.	
Pintura base	Luego de que el fondo gris seque se aplica pintura base color blanco con la finalidad de reducir la cantidad de pintura.	
Pintura final	Con el color base seco se aplica la pintura y el barniz. Finalmente se pule la superficie para obtener un buen acabado	

CAPITULO III

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 RECOLECCIÓN Y CLASIFICACIÓN DE RESULTADOS

En la normativa ASTM D3039-00 se establecen los criterios de falla para las probetas de tracción. La **tabla 3.1** clasifica el tipo de falla.

Tabla 3.1 Tipos de falla para ensayos de tracción

TIPO DE FALLA SEGÚN NORMATIVA ASTM D3039-00		
Criterios	Nomenclatura	Tipo de falla
1er criterio	L	Lateral
	X	Explosiva
	A	Angular
	A	En el agarre
	I	Dentro del agarre
	G	Zona calibrada
	T	Parte superior
	B	Parte inferior
	M	Medio

Fuente: (Normativa ASTM D3039)

3.1.1 CLASIFICACIÓN DE DATOS PARA ENSAYOS DE TRACCIÓN

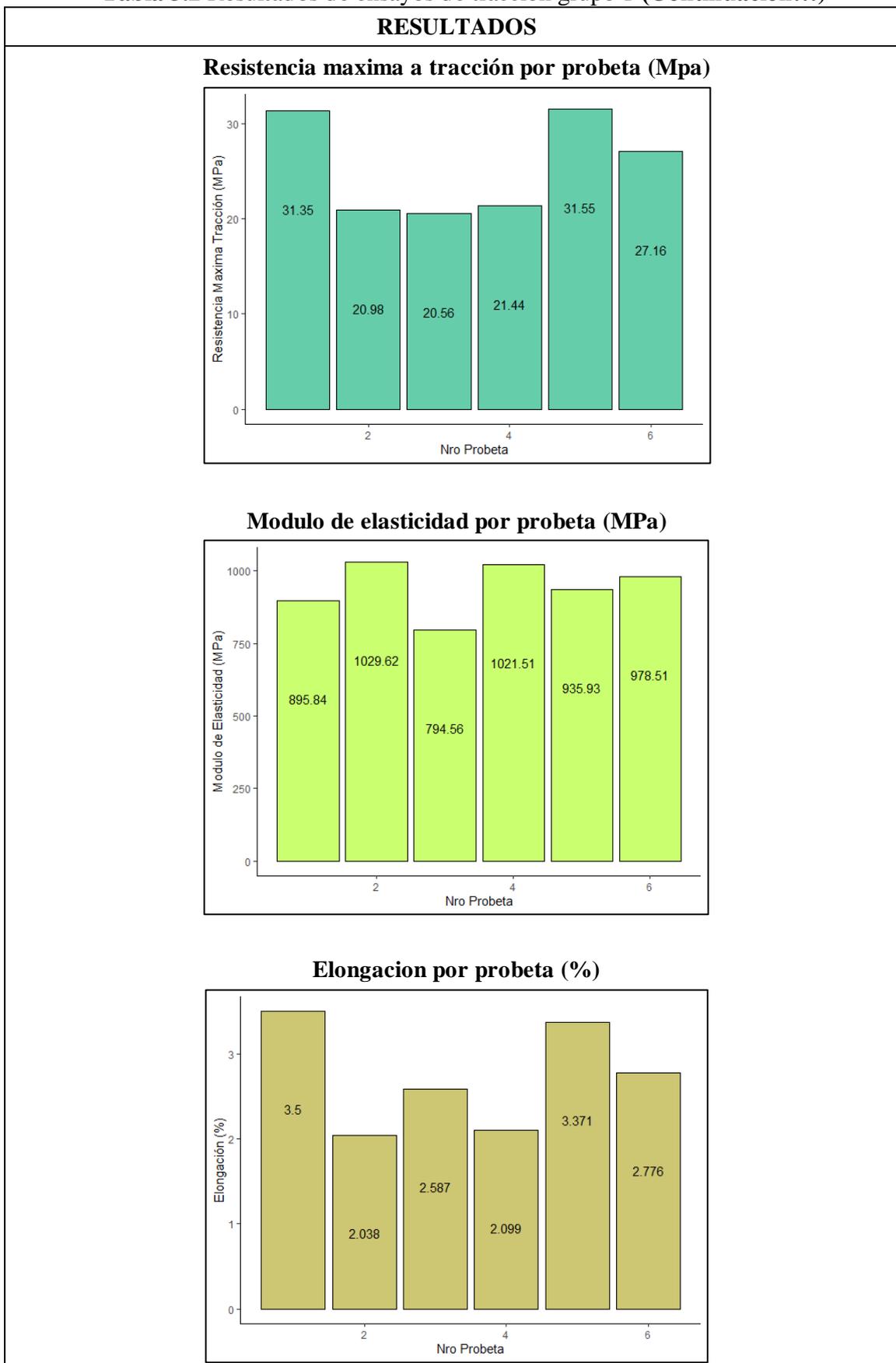
A continuación, se detallan los resultados obtenidos en los ensayos de tracción mediante fichas agrupadas para cada composición volumétrica analizada.

En la **Tabla 3.2** Se detallan los resultados obtenidos en los ensayos de tracción para el primer grupo de probetas que contienen una proporción de 70% resina poliéster y 30% de fibra tejida con dirección a 90°. Se detallan los resultados de esfuerzo máximo a tracción, módulo de elasticidad y elongación como un promedio del conjunto de probetas.

Tabla 3.2 Resultados de ensayos de tracción grupo 1

ENSAYO DE TRACCIÓN NO. 1		NORMATIVA: ASTM D3039M - 17					
Lugar de ejecución:	Centro de Fomento Productivo Metalmeccánico Carrocero						
Fecha de ejecución:	06 de diciembre del 2022						
Máquina de ensayo:	Máquina de ensayos universal Metro test 50KN						
Elaborado por:	Villarreal Crucerira Marlon Santiago	Aprobado por:					
DATOS DEL ENSAYO							
Características del material compuesto:				Características del ensayo:			
Matriz:	Resina Poliéster (70%)	Temperatura:	23.1 °C				
Refuerzo:	Fibra de yute tejida a 90°. (30%)	Humedad relativa:	49.1 %				
No. Probetas:	6	Velocidad de ensayo:	5 mm/min				
Dimensiones:	250 mm x 25 mm	Espesor promedio:	3.15 mm				
RESULTADOS POR PROBETA Y DETERMINACIÓN DE TIPO DE FALLA							
No.	Espesor (mm)	Fuerza (N)	Esfuerzo máximo (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Desplazamiento (mm)	Elongación (%)	Falla
1	2.83	2330.12	31.35	895.84	4.9	3.500	LGM
2	3.35	1812.09	20.98	1029.62	2.85	2.038	LGM
3	3.59	2036.10	20.56	794.56	3.62	2.587	LAB
4	3.23	1904.10	21.44	1021.51	2.94	2.099	LAB
5	2.89	2372.12	31.55	935.93	4.72	3.371	AGT
6	3.02	2240.11	27.16	978.51	3.88	2.776	LAB
\bar{x} Promedio:		2116.117	25.508	942.663	3.82	2.728	
S_{n-1} Desviación estándar:		233.034	5.194	88.581	0.864	0.617	
CV Promedio:		11	20.4	9.4	22.6	22.6	
PROBETAS ENSAYADAS:							
							

Tabla 3.2 Resultados de ensayos de tracción grupo 1 (Continuación...)

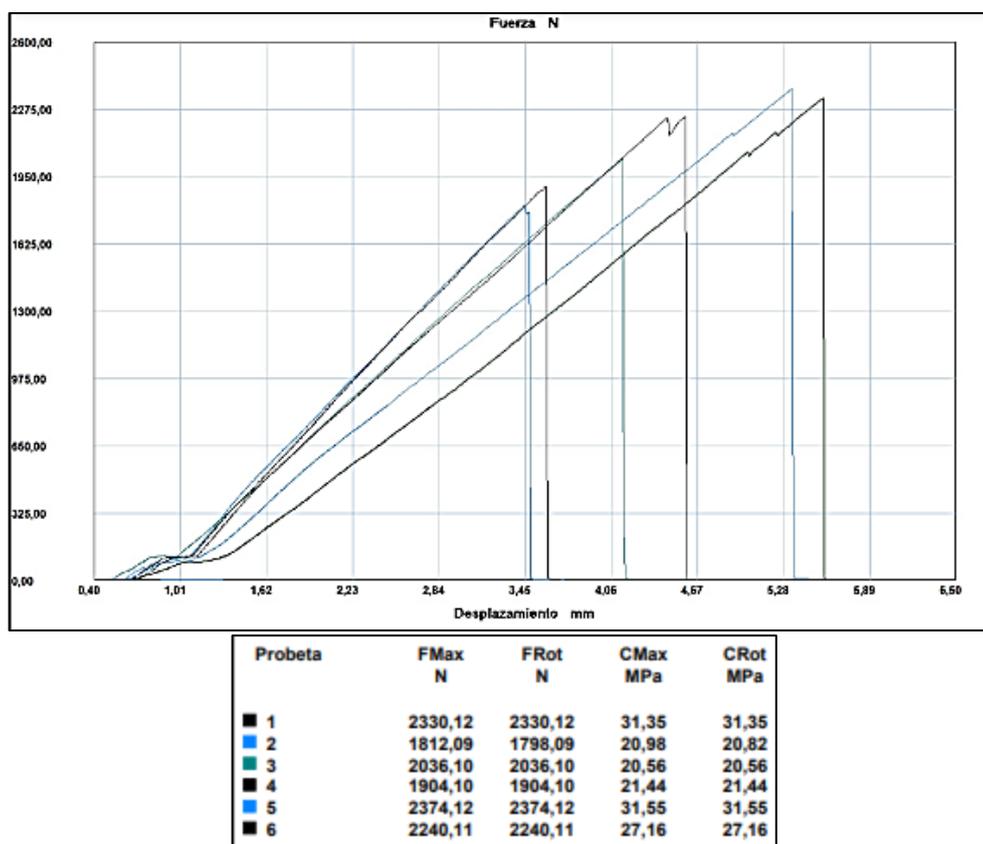


Fuente: (Autores)

Tabla 3.2 Resultados de ensayos de tracción grupo 1 (**Continuación...**)

OBSERVACIONES:	
<ul style="list-style-type: none"> - Las probetas 1 y 2 presentan falla LGM tipo lateral, sobre la parte calibrada zona media. - Las probetas 3, 4 y 6 presentan falla LAB tipo lateral cerca del agarre en la parte inferior. - La probeta 5 presenta falla AGT tipo angular en la parte superior. 	
EVALUACIÓN:	
Esfuerzo máximo a tracción promedio:	25.508 MPa
Módulo de elasticidad promedio:	949.66 MPa
Elongación promedio:	2.728 %

Fuente: (Autores)

**Figura 3.1** Grafico de Fuerza (N) desplazamiento (mm) del primer grupo de probetas para Ensayo de tracción.

En la **Figura 3.1** se observa la gráfica de fuerza vs desplazamiento correspondiente al primer grupo de probetas de tracción. Valores que corresponden a la fuerza de tracción durante el ensayo de cada probeta constituida por resina poliéster y fibra de yute tejida (30%) con dirección 90°.

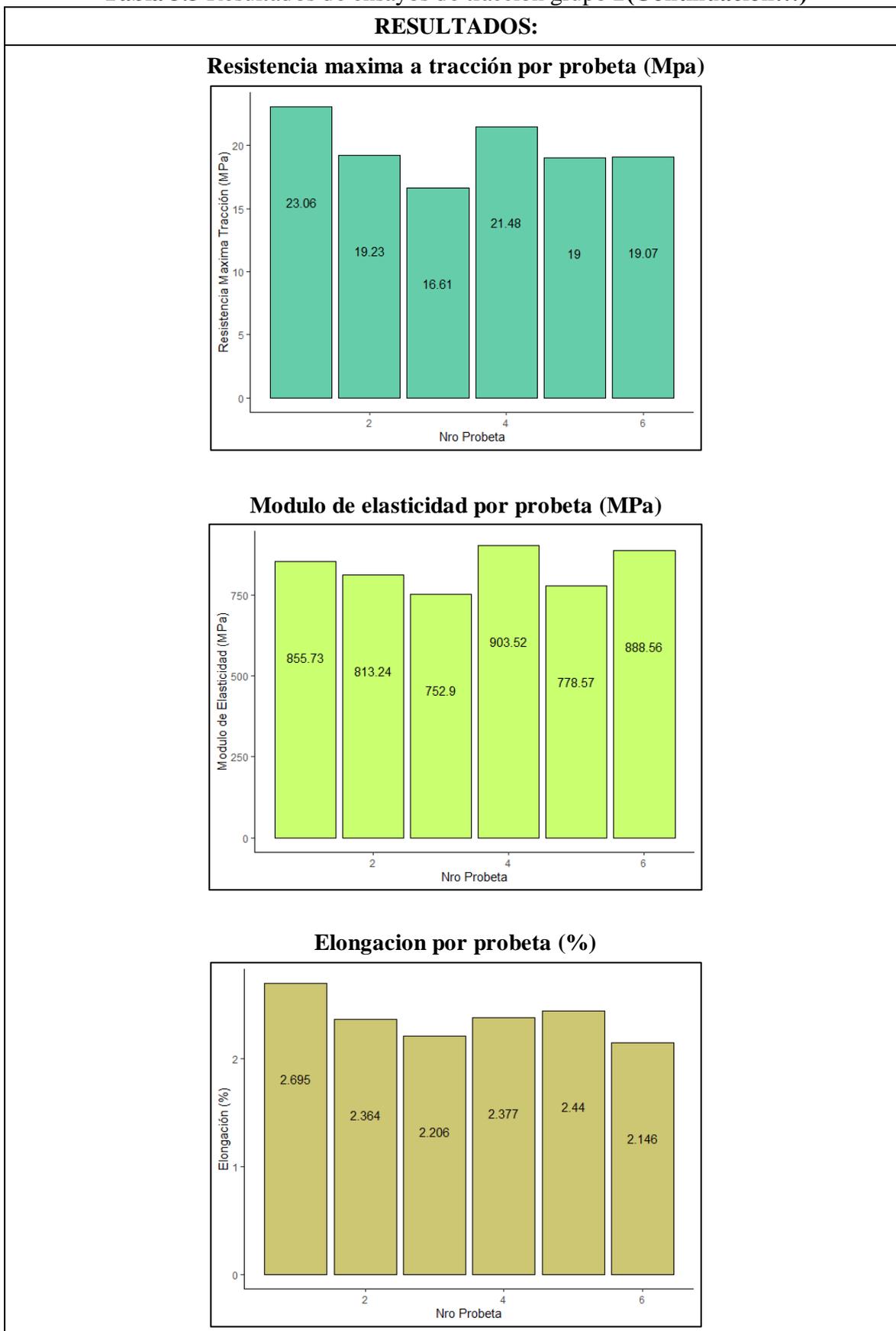
En la **Tabla 3.2** se aprecia los resultados del ensayo de tracción para el grupo 2 de probetas de composición volumétrica: 70% resina poliéster y 30% fibra tejida de yute a 45°. Se detallan los resultados de esfuerzo máximo, módulo de elasticidad y elongación promedio.

Tabla 3.3 Resultados de ensayos de tracción grupo 2

ENSAYO DE TRACCIÓN NO. 2				NORMATIVA: ASTM D3039M - 17			
Lugar de ejecución:		Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero					
Fecha de ejecución:		06 de diciembre del 2022					
Máquina de ensayo:		Máquina de ensayos universal Metro test 50KN					
Elaborado por:		Villarreal Crucerira Marlon Santiago		Aprobado por:			
DATOS DEL ENSAYO							
Características del material compuesto:				Características del ensayo:			
Matriz:		Resina Poliéster (70%)		Temperatura:		24.5 °C	
Refuerzo:		Fibra de yute tejida a 45°. (30%)		Humedad relativa:		46.2 %	
No. Probetas:		6		Velocidad de ensayo:		5 mm/min	
Dimensiones:		250 mm x 25 mm		Espesor promedio:		3.07 mm	
RESULTADOS POR PROBETA Y DETERMINACIÓN DE TIPO DE FALLA							
No.	Espesor (mm)	Fuerza (N)	Esfuerzo máximo (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Desplazamiento (mm)	Elongación (%)	Falla
1	2.83	1738.09	23.06	855.73	3.77	2.695	LGB
2	2.95	1334.07	19.23	813.24	3.31	2.364	LGT
3	3.06	1186.06	16.61	752.90	3.08	2.206	LAB
4	3.21	1738.09	21.48	903.52	3.32	2.377	LGM
5	3.11	1474.07	19.00	778.57	3.41	2.440	LGT
6	3.28	1544.08	19.07	888.56	3.00	2.146	LGM
\bar{x} Promedio:		1502.41	19.741	832.1	3.32	2.371	
S_{n-1} Desviación estándar:		220.021	2.242	60.58	0.271	0.194	
CV Promedio:		14.6	11.4	7.3	8.2	8.2	
PROBETAS ENSAYADAS:							
							

Fuente: (Autores)

Tabla 3.3 Resultados de ensayos de tracción grupo 2(Continuación...)

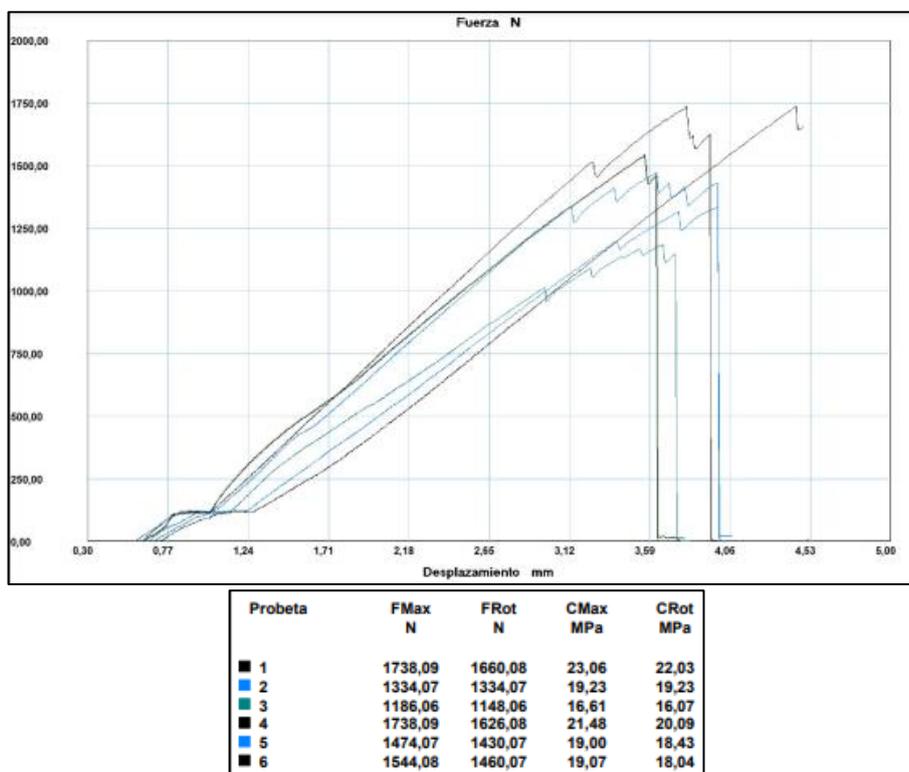


Fuente: (Autores)

Tabla 3.3 Resultados de ensayos de tracción grupo 2 (Continuación...)

OBSERVACIONES:	
<ul style="list-style-type: none"> - la probeta 1 presenta falla LGB tipo lateral en la zona calibrada sobre la parte inferior. - Las probetas 2 y 5 presentan falla LGT tipo lateral en la zona calibrada sobre la parte superior. - La probeta 3 presenta falla LAB tipo lateral cerca del agarre sobre la zona inferior. - Las probetas 4 y 6 presentan falla LGM tipo lateral cerca de la zona calibrada en la parte media. 	
EVALUACIÓN:	
Esfuerzo máximo a tracción promedio:	19.74 MPa
Módulo de elasticidad promedio:	832.1 MPa
Elongación promedio:	2.371 %

Fuente: (Autores)

**Figura 3.2** Grafico de Fuerza (N) desplazamiento (mm) del segundo grupo de probetas para Ensayo de tracción.

En la **Figura 3.2** se observa la gráfica de fuerza vs desplazamiento correspondiente al segundo grupo de probetas de tracción. Valores que corresponden a la fuerza de tracción durante el ensayo de cada probeta constituida por resina poliéster y fibra de yute tejida (30%) con dirección 45°.

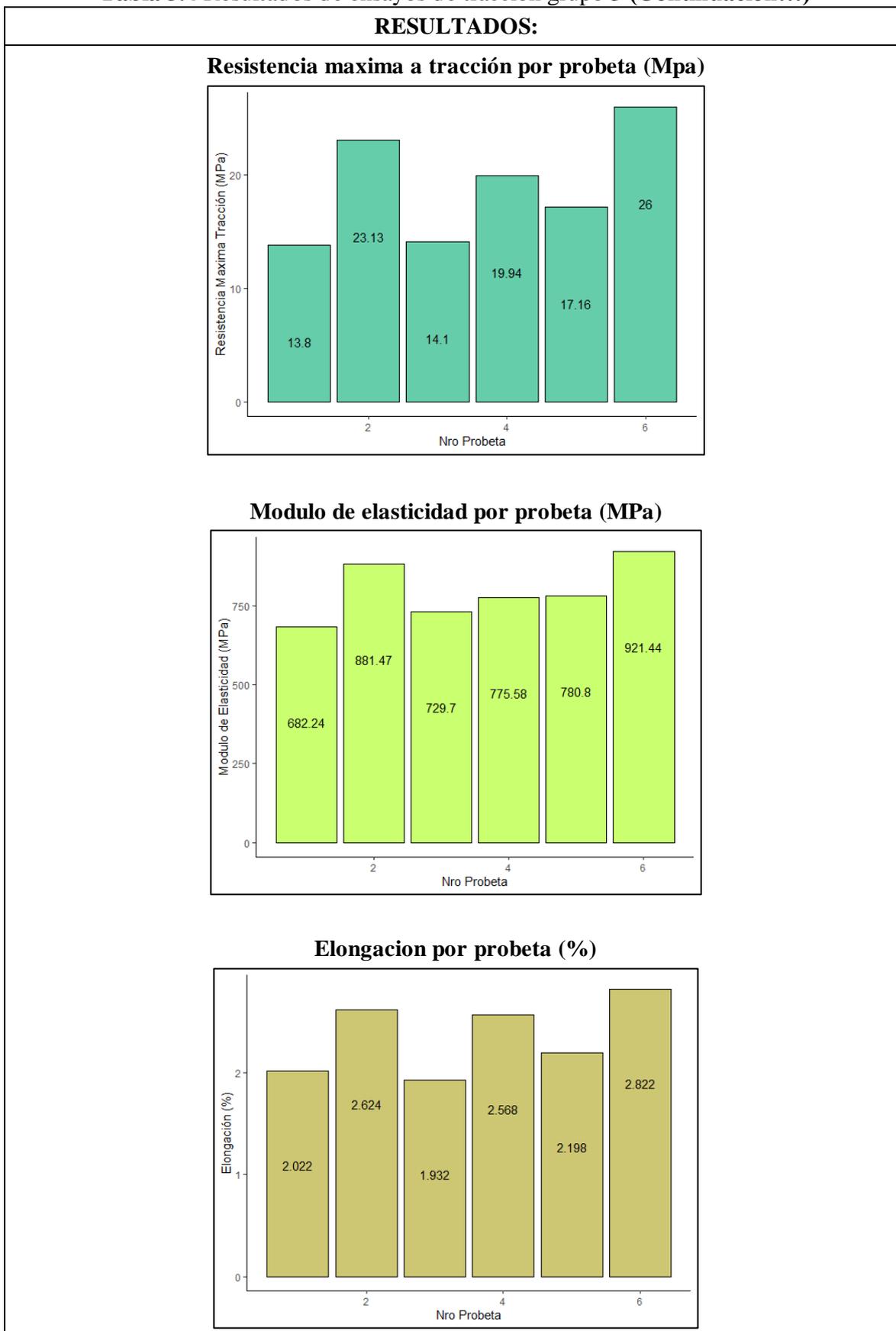
En la **Tabla 3.4** se observan los resultados del ensayo de tracción para las probetas constituidas por 75% de resina poliéster y 25% de fibra de yute suelta con dirección

longitudinal. Se detallan los resultados de esfuerzo máximo, módulo de elasticidad y elongación para cada probeta, así como promedio.

Tabla 3.4 Resultados de ensayos de tracción grupo 3

ENSAYO DE TRACCIÓN NO. 3			NORMATIVA: ASTM D3039M - 17				
Lugar de ejecución:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero						
Fecha de ejecución:	06 de diciembre del 2022						
Máquina de ensayo:	Máquina de ensayos universal Metro test 50KN						
Elaborado por:	Villarreal Crucerira Marlon Santiago	Aprobado por:					
DATOS DEL ENSAYO							
Características del material compuesto:				Características del ensayo:			
Matriz:	Resina Poliéster (75%)			Temperatura:	25.2 °C		
Refuerzo:	Fibra de yute suelta (25%)			Humedad relativa:	42.6 %		
No. Probetas:	6			Velocidad de ensayo:	5 mm/min		
Dimensiones:	250 mm x 25 mm			Espesor promedio:	3.07 mm		
RESULTADOS POR PROBETA Y DETERMINACIÓN DE TIPO DE FALLA							
No.	Espesor (mm)	Fuerza (N)	Esfuerzo máximo (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Desplazamiento (mm)	Elongación (%)	Evaluación de falla
1	3.85	1340.07	13.80	682.24	2.83	2.022	LGT
2	3.88	2320.12	23.13	881.47	3.67	2.624	LGB
3	4.01	1458.07	14.10	729.70	2.70	1.932	LGT
4	3.89	1922.10	19.94	775.58	3.59	2.568	LGT
5	3.99	1824.09	17.16	780.80	3.07	2.198	LAT
6	4.04	2682.13	26.00	921.44	3.95	2.822	LGT
\bar{x} Promedio:		1924.43	19.018	795.206	3.306	2.361	
Desviación estándar:		509.84	4.929	90.578	0.505	0.361	
CV Promedio:		26.5	25.9	11.4	15.3	15.3	
PROBETAS ENSAYADAS:							
							

Tabla 3.4 Resultados de ensayos de tracción grupo 3 (Continuación...)

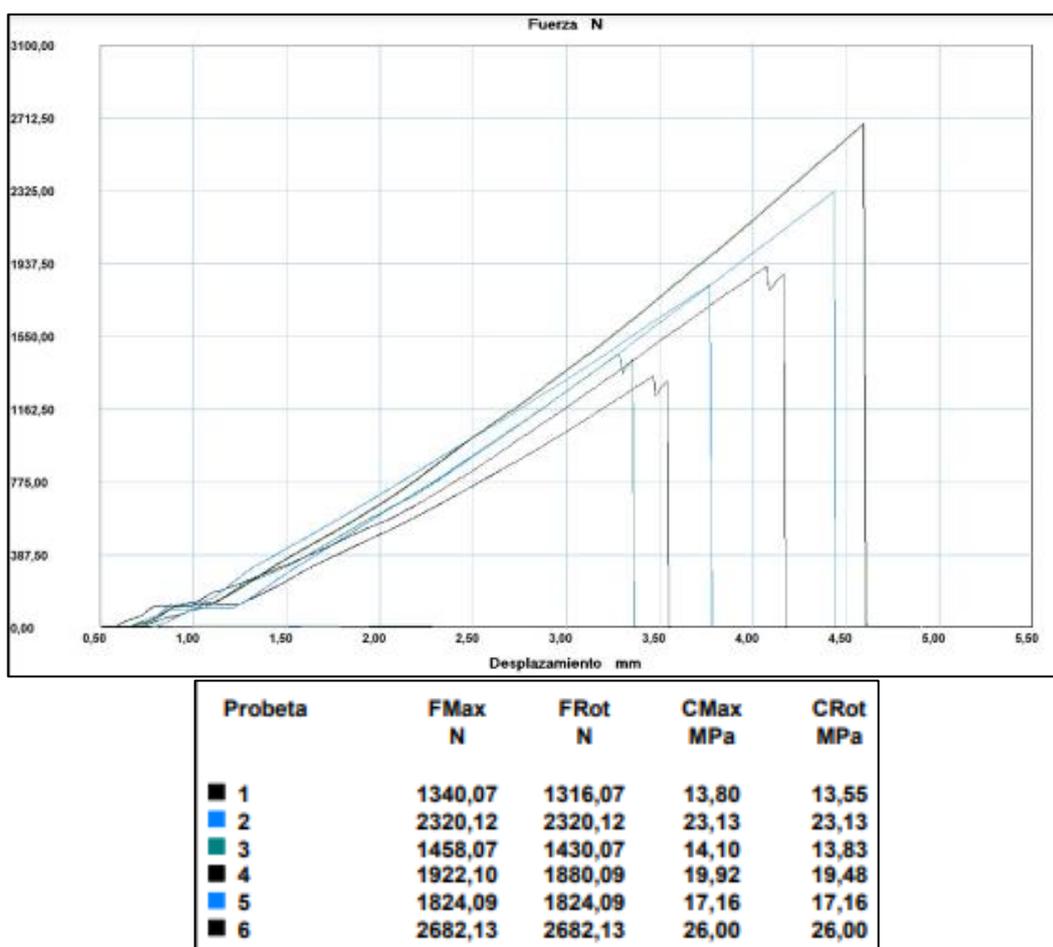


Fuente: (Autores)

Tabla 3.4 Resultados de ensayos de tracción grupo 3 (Continuación...)

OBSERVACIONES:	
<ul style="list-style-type: none"> - Las probetas 1, 3, 4 y 6 presentan falla LGT de tipo longitudinal cerca de la zona calibrada en la parte superior - La probeta 2 presenta falla LGB de tipo longitudinal cerca de la zona calibrada en la parte inferior - La probeta 5 presenta falla LAT de tipo longitudinal cerca del agarre en la parte superior. 	
EVALUACIÓN:	
Esfuerzo máximo a tracción promedio:	19.018 MPa
Módulo de elasticidad promedio:	795.206 MPa
Elongación promedio:	2.361 %

Fuente: (Autores)

**Figura 3.3** Gráfico de Fuerza (N) desplazamiento (mm) del tercer grupo de probetas para Ensayo de tracción.

En la **Figura 3.3** se observa la gráfica de fuerza vs desplazamiento correspondiente al segundo grupo de probetas de tracción. Valores que corresponden a la fuerza de tracción durante el ensayo de cada probeta constituida por resina poliéster y fibra de yute suelta (25%) y con dirección longitudinal.

3.1.2 CLASIFICACIÓN DE DATOS PARA ENSAYOS DE FLEXIÓN

El tipo de falla en las probetas de flexión ensayadas se establecieron bajo los criterios establecidos en la normativa ASTM D7264.

En la **tabla 3.5** se observa los criterios de falla para las probetas de flexión.

Tabla 3.5 Tipos de falla para ensayos de flexión.

TIPO DE FALLA SEGÚN NORMATIVA ASTM D7264-00		
Criterios	Nomenclatura	Tipo de falla
1er criterio	O	Otros
2do criterio	A	En el punto de carga
	L	Entre la carga y el punto de apoyo
	U	No conocido
3er criterio	B	Fondo
	V	Varios
	R	Derecha
	M	Mitad

Fuente: (Normativa ASTM D7264)

A continuación, se detallan los valores obtenidos en los ensayos de flexión correspondiente a cada composición volumétrica evaluada.

En la **Tabla 3.5** se organizan los resultados correspondientes al ensayo de flexión del grupo 1 de probetas compuestas por: 70% resina poliéster y 30% fibra tejida de yute a 90°. Se detallan los resultados de esfuerzo máximo a flexión, módulo de elasticidad y deformación máxima.

Tabla 3.6 Resultados de ensayos de flexión Grupo 1

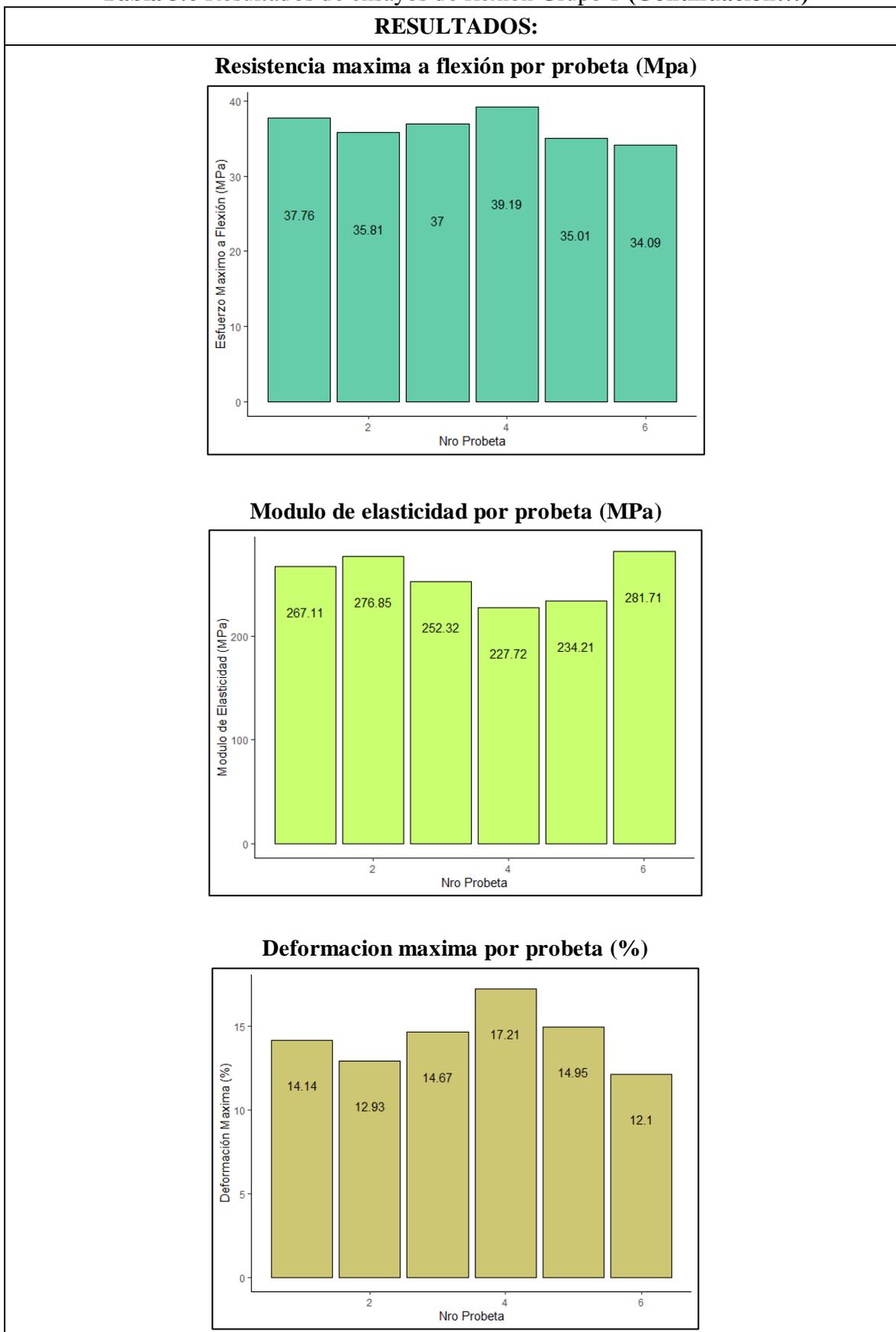
ENSAYO DE FLEXIÓN NO. 1		NORMATIVA: ASTM D7264-07	
Lugar de ejecución:	Laboratorio de Mecánica de la Escuela superior politécnica del Ejercito ESPE		
Fecha de ejecución:	20 de diciembre del 2022		
Máquina de ensayo:	Máquina de ensayos universal MLT		
Elaborado por:	Villarreal Crucerira Marlon Santiago	Aprobado por:	

Tabla 3.6 Resultados de ensayos de flexión Grupo 1 (**Continuación...**)

DATOS DEL ENSAYO						
Características del material compuesto:				Características del ensayo:		
Matriz:	Resina Poliéster (70%)			Temperatura:	21 °C	
Refuerzo:	Fibra de yute tejida (30%) a 90°			Distancia entre apoyos:	46 mm	
No. Probetas:	6			Velocidad de ensayo:	2 mm/min	
Dimensiones:	160 mm x 13 mm			Espesor promedio:	4.24 mm	
RESULTADOS POR PROBETA Y DETERMINACIÓN DE TIPO DE FALLA						
No.	Espesor (mm)	Fuerza (N)	Esfuerzo máximo (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Deformación Máxima (%)	Evaluación de falla
1	4.40	140.9	37.75	267.106	14.135	OAM
2	4.20	119.00	35.80	276.846	12.93	OAM
3	4.00	122.7	37.00	252.315	14.66	OAM
4	4.45	163.1	39.19	227.722	17.211	OAM
5	4.30	135.1	35.011	234.212	14.94	OAM
6	4.10	111.3	34.09	281.709	12.102	OAB
\bar{x} Promedio:		132.16	36.477	256.65	14.33	
S_{n-1} Desviación estándar:		18.65	1.87	22.37	1.77	
CV Promedio		14.13	5.13	8.71	12.38	
PROBETAS ENSAYADAS:						
						

Fuente: (Autores)

Tabla 3.6 Resultados de ensayos de flexión Grupo 1 (Continuación...)



Fuente: (Autores)

Tabla 3.6 Resultados de ensayos de flexión Grupo 1 (**Continuación...**)

OBSERVACIONES:	
<ul style="list-style-type: none"> - Las probetas 1, 2, 3, 4 y 5 presentan código de falla OAM que representan falla en el punto de apoyo sobre la mitad del material - La probeta 6 presenta código de falla OAB que representan falla en el punto de apoyo en el fondo del material 	
EVALUACIÓN:	
Esfuerzo máximo a flexión promedio:	36.477 MPa
Módulo de elasticidad promedio:	256.65 MPa
Deformación máxima:	14.33 %

Fuente: (Autores)

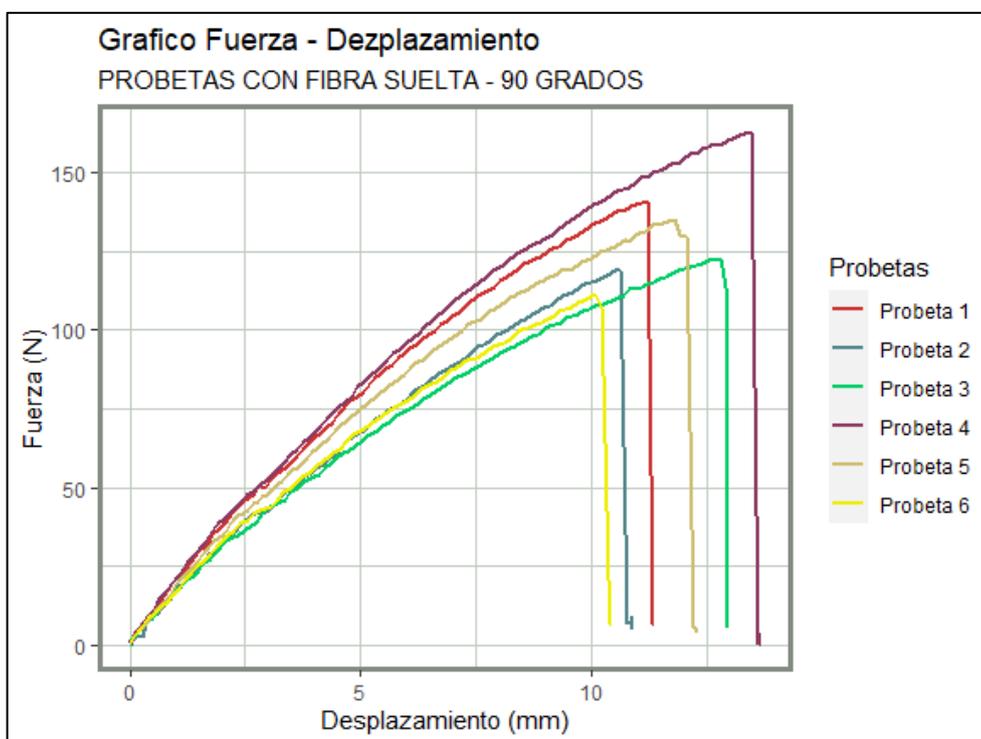
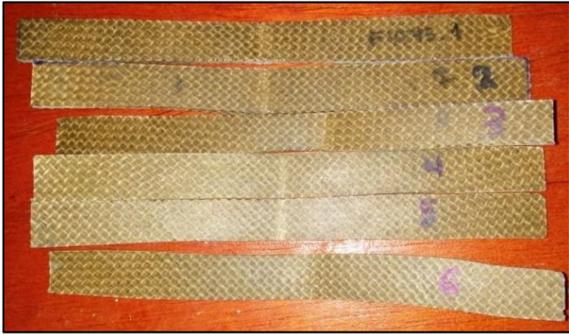


Figura 3.4 Gráfico de Fuerza (N) deformación (mm) del primer grupo de probetas para Ensayo de flexión.

En la **Figura 3.4** se detalla el gráfico fuerza - desplazamiento correspondiente a cada probeta del primer grupo para flexión. Se puede distinguir la curva para cada ejemplar mediante la diferenciación de colores donde la probeta 4 fue sometida a mayor cantidad de fuerza hasta que falle.

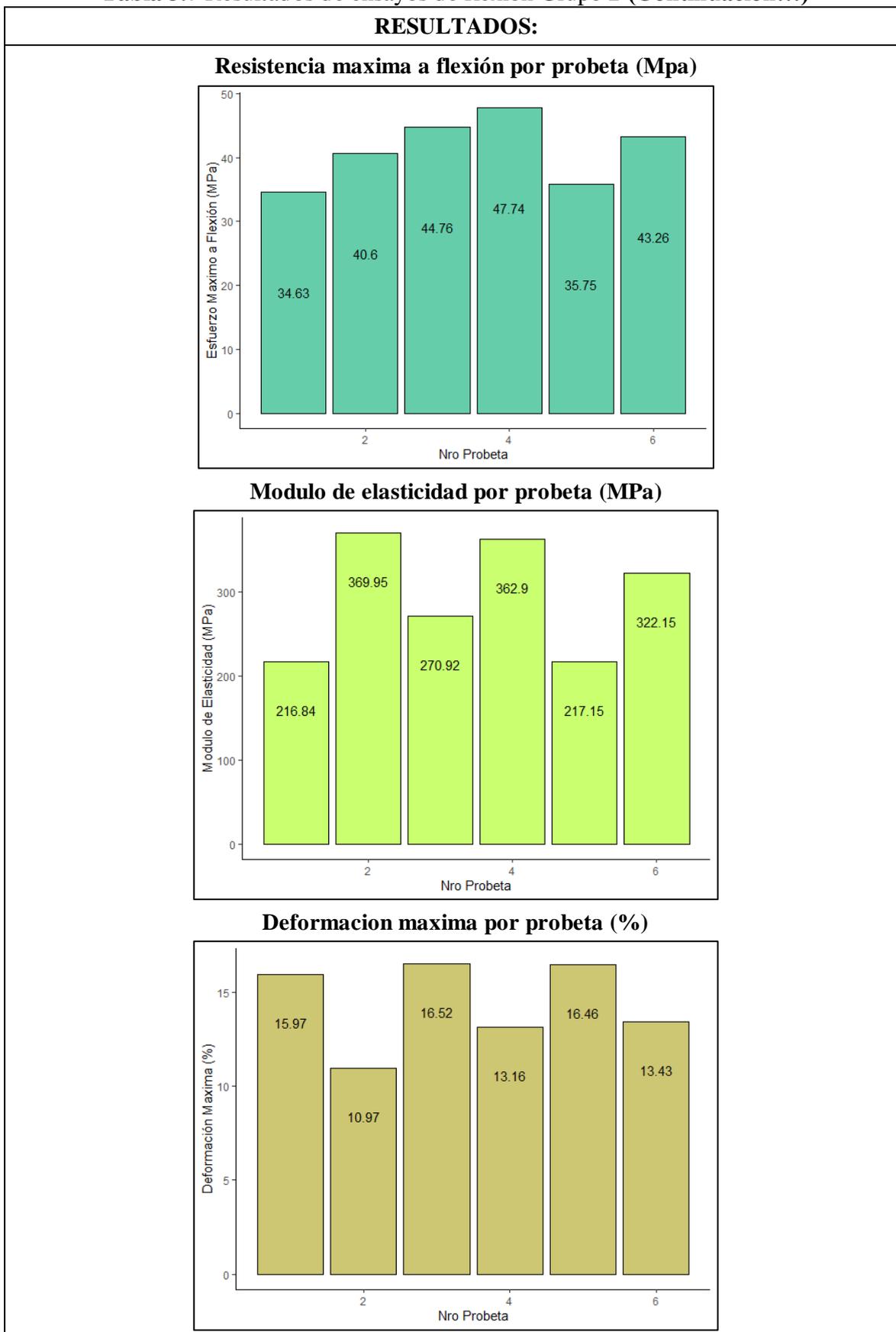
En la **Tabla 3.7** se organizan los resultados correspondientes al ensayo de flexión del grupo 1 de probetas compuestas por: 70% resina poliéster y 30% fibra tejida de yute a 45°. Se detallan los resultados de esfuerzo máximo a flexión, módulo de elasticidad y deformación máxima.

Tabla 3.7 Resultados de ensayos de flexión Grupo 2

ENSAYO DE FLEXIÓN NO. 2			NORMATIVA: ASTM D7264-07			
Lugar de ejecución:	Laboratorio de Mecánica de la Escuela superior politécnica del Ejercito ESPE					
Fecha de ejecución:	20 de diciembre del 2022					
Máquina de ensayo:	Máquina de ensayos universal MLT					
Elaborado por:	Villarreal Crucerira Marlon Santiago	Aprobado por:				
DATOS DEL ENSAYO						
Características del material compuesto:			Características del ensayo:			
Matriz:	Resina Poliéster (70%)		Temperatura:	21 °C		
Refuerzo:	Fibra de yute tejida (30%) a 45°		Distancia entre apoyos	46 mm		
No. Probetas:	6		Velocidad de ensayo:	2 mm/min		
Dimensiones:	160 mm x 13 mm		Espesor promedio:	3.57 mm		
RESULTADOS POR PROBETA Y DETERMINACIÓN DE TIPO DE FALLA						
No.	Espesor (mm)	Fuerza (N)	Esfuerzo máximo (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Deformación Máxima (%)	Evaluación de falla
1	4.00	107.60	34.628	216.839	15.969	OAM
2	3.60	109.80	40.59	369.94	10.973	OAM
3	3.45	102.70	44.764	270.922	16.522	OAB
4	3.30	107.00	47.743	362.895	13.156	OAM
5	3.70	99.29	35.745	217.15	16.461	OAM
6	3.40	105.10	43.263	322.151	13.421	OAB
\bar{x} Promedio:		105.24	41.123	293.31	14.41	
S_{n-1} Desviación estándar:		3.77	5.15	68.84	2.25	
CV Promedio:		3.58	12.54	23.47	15.64	
PROBETAS ENSAYADAS:						
						

Fuente:(Autores)

Tabla 3.7 Resultados de ensayos de flexión Grupo 2 (Continuación...)

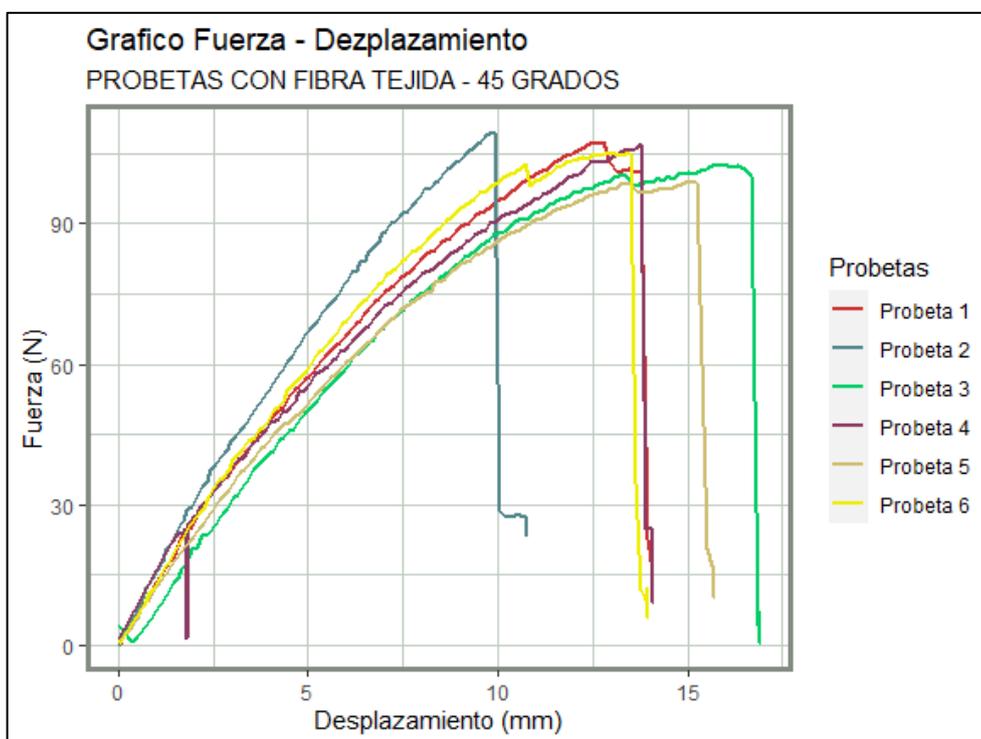


Fuente:(Autores)

Tabla 3.7 Resultados de ensayos de flexión Grupo 2 (Continuación...)

OBSERVACIONES:	
<ul style="list-style-type: none"> - Las probetas 1, 2, 4 y 5 presentan código de falla OAM que representan falla en el punto de apoyo sobre la mitad del material - Las probetas 3 y 5 presentan código de falla OAB que representan falla en el punto de apoyo en el fondo del material 	
EVALUACIÓN:	
Esfuerzo máximo a flexión promedio:	41.123 MPa
Módulo de elasticidad promedio:	293.31 MPa
Deformación máxima:	14.41 %

Fuente:(Autores)

**Figura 3.5** Gráfico de Fuerza (N) deformación (mm) del segundo grupo de probetas para Ensayo de flexión.

En la **Figura 3.5** se detalla el gráfico fuerza - desplazamiento correspondiente a cada probeta del segundo grupo para flexión. Se puede distinguir la curva para cada ejemplar mediante la diferenciación de colores donde la probeta 2 fue sometida a mayor cantidad de fuerza hasta que falle y la probeta 2 tuvo mayor deformación.

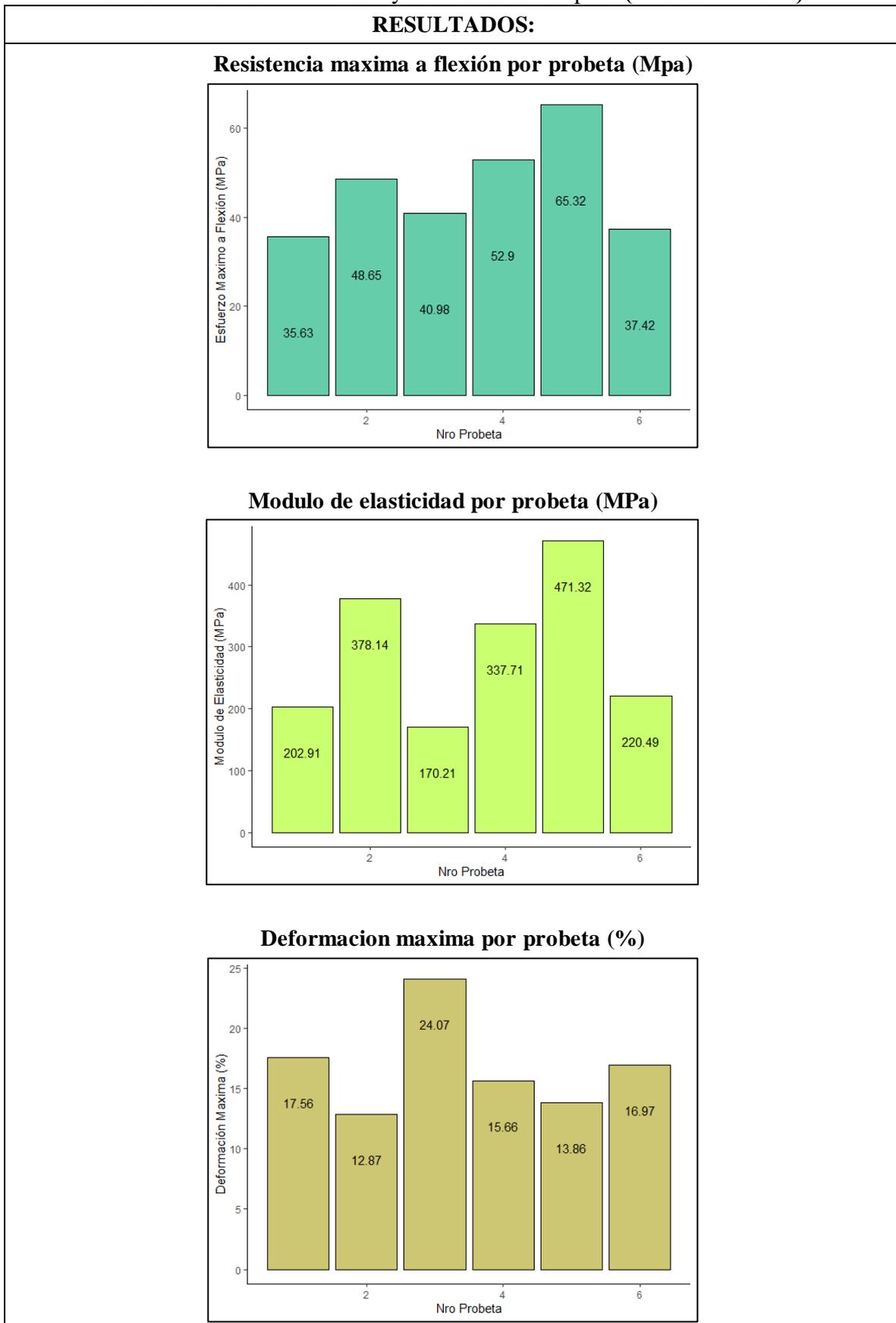
En la **Tabla 3.8** se organizan los resultados correspondientes al ensayo de flexión del grupo 3 de probetas compuestas por: 75% resina poliéster y 25% fibra tejida con dirección longitudinal. Se detallan los resultados de esfuerzo máximo a flexión, módulo de elasticidad y deformación máxima.

Tabla 3.8 Resultados de ensayos de flexión Grupo 3

ENSAYO DE FLEXIÓN NO. 3			NORMATIVA: ASTM D7264-07			
Lugar de ejecución:	Laboratorio de Mecánica de la Escuela superior politécnica del Ejercito ESPE					
Fecha de ejecución:	20 de diciembre del 2022					
Máquina de ensayo:	Máquina de ensayos universal MLT					
Elaborado por:	Villarreal Crucerira Marlon Santiago	Aprobado por:				
DATOS DEL ENSAYO						
Características del material compuesto:			Características del ensayo:			
Matriz:	Resina Poliéster (75%)		Temperatura:	21 °C		
Refuerzo:	Fibra de yute suelta (25%) longitudinal		Humedad relativa:	65 %		
No. Probetas:	6		Velocidad de ensayo:	2 mm/min		
Dimensiones:	160 mm x 13 mm		Espesor promedio:	2.7 mm		
RESULTADOS POR PROBETA Y DETERMINACIÓN DE TIPO DE FALLA						
No.	Espesor (mm)	Fuerza (N)	Esfuerzo máximo (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Deformación Máxima (%)	Falla
1	15.00	48.41	35.629	202.913	17.55	OAM
2	13.30	70,92	48.652	378.13	12.866	OAM
3	14.00	67.53	40.97	170.20	24.07	OAM
4	14.40	80.84	52.898	337.70	15.66	OAM
5	13.55	80.17	65.319	471.32	13.85	OAM
6	14.40	65.68	37.421	220.48	16.97	OAM
\bar{x} Promedio:		68.865	46.816	296.79	16.83	
S_{n-1} Desviación estándar		11.80	11.22	117.82	3.97	
CV Promedio:		17.14	23.98	39.69	23.60	
PROBETAS ENSAYADAS:						
						

Fuente:(Autores)

Tabla 3.8 Resultados de ensayos de flexión Grupo 3 (Continuación...)

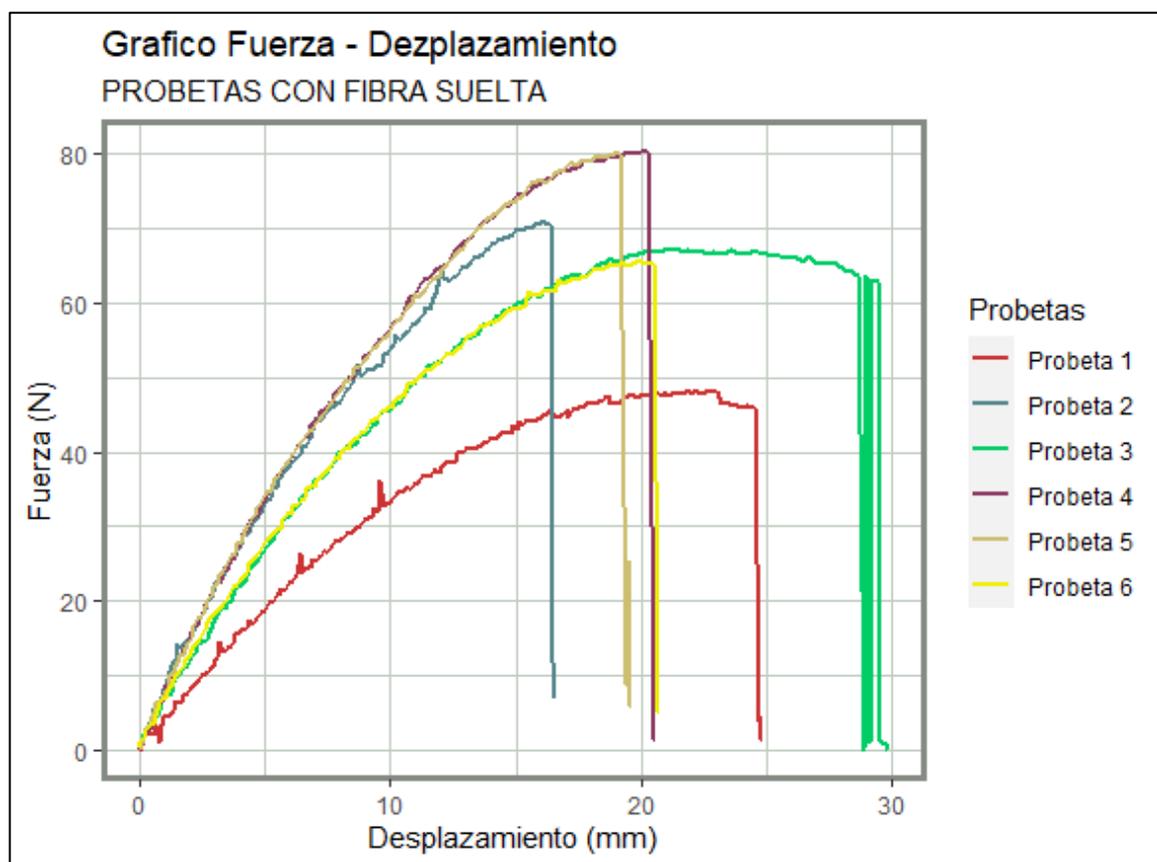


Fuente: (Autores)

Tabla 3.8 Resultados de ensayos de flexión Grupo 3 (**Continuación...**)

OBSERVACIONES:	
- Todas las probetas presentan código de falla OAM que representan falla en el punto de apoyo sobre la mitad del material	
EVALUACIÓN:	
Esfuerzo máximo a flexión promedio:	46.816 MPa
Módulo de elasticidad promedio:	296.79 MPa
Deformación máxima:	3.97 %

Fuente: (Autores)

**Figura 3.6** Grafico de Fuerza (N) deformación (mm) del tercer grupo de probetas para Ensayo de flexión.

En la **Figura 3.6** se detalla el grafico fuerza - desplazamiento correspondiente a cada probeta del tercer grupo para flexión. Se puede distinguir la curva para cada ejemplar mediante la diferenciación de colores donde la probeta 4 fue sometida a mayor cantidad de fuerza hasta que falle y la probeta 3 tuvo mayor deformación o desplazamiento.

3.1.3 CLASIFICACIÓN DE DATOS PARA ENSAYOS DE IMPACTO

En la tabla 3.9 se aprecia la nomenclatura correspondiente al tipo de falla para ensayos de impacto establecidos por la normativa ASTM D5628-10.

Tabla 3.9 Tipo de falla para probetas de impacto

TIPO DE FALLA SEGÚN NORMATIVA ASTM D5628-10		
Nomenclatura	Criterio	Conclusión
A	Grieta en una sola superficie, la probeta aún puede sostener el agua	No falla
B	El agua probablemente penetrara la superficie	No falla
C	La probeta esta fracturada en varias partes	Falla
D	Ruptura total que atraviesa la superficie	Falla

Fuente: (Normativa ASTM D 5628)

A continuación, se detalla los resultados obtenidos en las pruebas de impacto realizadas para cada composición volumétrica propuesta.

En la **Tabla 3.10** Se detallan los resultados obtenidos en los ensayos de impacto bajo normativa ASTM D5628- 10 correspondientes a la composición volumétrica de 30% fibra tejida con dirección 90° y 70% de resina poliéster. Se puede apreciar la energía absorbida por cada probeta además del comportamiento grupal.

Tabla 3.10 Resultados de ensayos de impacto Grupo 1

ENSAYO DE IMPACTO NO. 1		NORMATIVA: ASTM D5628-10	
Lugar de ejecución:	Laboratorio de Materiales de la Universidad Técnica de Ambato		
Fecha de ejecución:	01 de diciembre del 2022		
Máquina de ensayo:	Máquina tipo caída de masas de Impacto		
Elaborado por:	Villarreal Cruceira Marlon Santiago	Aprobado por:	

Fuente: (Autores)

Tabla 3.10 Resultados de ensayos de impacto Grupo 1 (Continuación...)

DATOS DEL ENSAYO					
Características del material compuesto:			Características del ensayo:		
Matriz:	Resina Poliéster (70%)		Temperatura:	23 °C	
Refuerzo:	Fibra de yute tejida (30%) a 90°		Tipo de medición:	Energía media de Impacto	
No. Probetas:	5		Espesor promedio:		
Dimensiones:	58 mm x 58 mm				
RESULTADOS POR PROBETA Y DETERMINACIÓN DE TIPO DE FALLA					
No.	Espesor (mm)	Masa aplicada (kg)	Altura media al fallo (mm)	Energía media al fallo (J)	Evaluación de falla
1	3.2	0.287 + 0.1762	250	1.1360	Falla tipo A
2	3.4	0.287 + 0.1762	300	1.3632	Falla tipo A
3	3.3	0.287 + 0.1762	350	1.5904	Falla tipo B
4	3.2	0.287 + 0.1762	400	1.8176	Falla tipo C
5	3.4	0.287 + 0.1762	500	2.2720	Falla tipo C
PROBETAS ENSAYADAS:					
					

Fuente: (Autores)

Tabla 3.10 Resultados de ensayos de impacto Grupo 1(Continuación...)

RESULTADOS:													
<p>Energía media al fallo por probeta (J)</p> <table border="1"> <caption>Data for Tabla 3.10 Bar Chart</caption> <thead> <tr> <th>Nro Probeta</th> <th>Energía Absorbida (J)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>1.136</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>1.3632</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>1.5904</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>1.8176</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>2.272</td> </tr> </tbody> </table>		Nro Probeta	Energía Absorbida (J)	1	1.136	2	1.3632	3	1.5904	4	1.8176	5	2.272
Nro Probeta	Energía Absorbida (J)												
1	1.136												
2	1.3632												
3	1.5904												
4	1.8176												
5	2.272												
OBSERVACIONES:													
<ul style="list-style-type: none"> - Las probetas 1 y 2 presentan el código de falla tipo A que según la normativa presentan fractura en una sola parte donde el agua probablemente no penetre. - La probeta 3 presenta el código de falla tipo B con fractura donde el agua probablemente atraviese la superficie. - Las probetas 4 y 5 presentan código de falla tipo C con fractura en varias partes de la superficie sin atravesar el espesor. 													
EVALUACIÓN:													
Energía media al fallo Promedio:	1.6358 J												

En la **Tabla 3.11** Se detallan los resultados obtenidos en los ensayos de impacto bajo normativa ASTM D5628- 10 correspondientes a la composición volumétrica de 30% fibra tejida con dirección 45° y 70% de resina poliéster. Se puede apreciar la energía absorbida por cada probeta además del comportamiento grupal.

Tabla 3.11 Resultados de ensayos de impacto Grupo 2

ENSAYO DE IMPACTO NO. 2		NORMATIVA: ASTM D5628-10	
Lugar de ejecución:	Laboratorio de Materiales de la Universidad Técnica de Ambato		
Fecha de ejecución:	01 de diciembre del 2022		
Máquina de ensayo:	Máquina tipo caída de masas de Impacto		
Elaborado por:	Villarreal Cruceira Marlon Santiago	Aprobado por:	

Fuente: (Autores)

Tabla 3.11 Resultados de ensayos de impacto Grupo 2(Continuación...)

DATOS DEL ENSAYO					
Características del material compuesto:			Características del ensayo:		
Matriz:	Resina Poliéster (70%)		Temperatura:	23 °C	
Refuerzo:	Fibra de yute tejida (30%) a 45°		Tipo de medición:	Energía media de Impacto	
No. Probetas:	5		Espesor promedio:		
Dimensiones:	58 mm x 58 mm				
RESULTADOS POR PROBETA Y DETERMINACIÓN DE TIPO DE FALLA					
No.	Espesor (mm)	Masa aplicada (kg)	Altura media al fallo (mm)	Energía media al fallo (J)	Evaluación de falla
1	3.3	0.287 + 0.1762	200	0.9088	Falla tipo A
2	3.5	0.287 + 0.1762	300	1.3632	Falla tipo A
3	3.6	0.287 + 0.1762	400	1.8176	Falla tipo A
4	3.5	0.287 + 0.1762	500	2.2719	Falla tipo C
5	3.6	0.287 + 0.1762	700	3.1808	Falla tipo C
PROBETAS ENSAYADAS:					
					

Fuente: (Autores)

Tabla 3.11 Resultados de ensayos de impacto Grupo 2(Continuación...)

RESULTADOS:													
<p>Energía media al fallo por probeta (J)</p> <table border="1"> <caption>Data for Tabla 3.11 Bar Chart</caption> <thead> <tr> <th>Nro Probeta</th> <th>Energía Absorbida (J)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>0.9088</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>1.3632</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>1.8176</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>2.2719</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>3.1808</td> </tr> </tbody> </table>		Nro Probeta	Energía Absorbida (J)	1	0.9088	2	1.3632	3	1.8176	4	2.2719	5	3.1808
Nro Probeta	Energía Absorbida (J)												
1	0.9088												
2	1.3632												
3	1.8176												
4	2.2719												
5	3.1808												
OBSERVACIONES:													
<ul style="list-style-type: none"> - las probetas 1, 2 y 3 presenta el código de falla tipo A que según la normativa ASTM D5628 las probetas no fallan, pero existen grietas en una superficie del material que aún pueden sostener el agua. - Las probetas 4 y 5 presentan el código de falla tipo C que basado en la normativa las probetas presentan fracturas en varias partes de la superficie. 													
EVALUACIÓN:													
Energía media al fallo Promedio:	1.9084 J												

En la **Tabla 3.12** Se detallan los resultados obtenidos en los ensayos de impacto bajo normativa ASTM D5628- 10 correspondientes a la composición volumétrica de 25% fibra suelta con dirección longitudinal y 75% de resina poliéster. Se puede apreciar la energía absorbida por cada probeta además del comportamiento grupal.

Tabla 3.12 Resultados de ensayos de impacto Grupo 3

ENSAYO DE IMPACTO NO. 3		NORMATIVA: ASTM D5628-10	
Lugar de ejecución:	Laboratorio de Materiales de la Universidad Técnica de Ambato		
Fecha de ejecución:	01 de diciembre del 2022		
Máquina de ensayo:	Máquina tipo caída de masas de Impacto		
Elaborado por:	Villarreal Crucerira Marlon Santiago	Aprobado por:	

Fuente: (Autores)

Tabla 3.12 Resultados de ensayos de impacto Grupo 3(Continuación...)

DATOS DEL ENSAYO					
Características del material compuesto:			Características del ensayo:		
Matriz:	Resina Poliéster (75%)		Temperatura:	23 °C	
Refuerzo:	Fibra de yute suelta (25%) longitudinal		Tipo de medición:	Energía media de Impacto	
No. Probetas:	5		Espesor promedio:		
Dimensiones:	58 mm x 58 mm				
RESULTADOS POR PROBETA Y DETERMINACIÓN DE TIPO DE FALLA					
No.	Espesor (mm)	Masa aplicada (kg)	Altura media al fallo (mm)	Energía media al fallo (J)	Evaluación de falla
1	4.1	0.287 + 0.1762	150	0.6816	Falla tipo A
2	4.5	0.287 + 0.1762	300	1.3632	Falla tipo A
3	4.0	0.287 + 0.1762	350	1.5904	Falla tipo C
4	4.5	0.287 + 0.1762	400	1.8176	Falla tipo C
5	4.6	0.287 + 0.1762	450	2.0448	Falla tipo C
PROBETAS ENSAYADAS:					
					

Fuente:(Autores)

Tabla 3.12 Resultados de ensayos de impacto Grupo 3(Continuación...)

RESULTADOS:													
<p>Energía media al fallo por probeta (J)</p> <table border="1"> <caption>Data for Energía media al fallo por probeta (J)</caption> <thead> <tr> <th>Nro Probeta</th> <th>Energía Absorbida (J)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>0.6816</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>1.3632</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>1.5904</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>1.8176</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>2.0448</td> </tr> </tbody> </table>		Nro Probeta	Energía Absorbida (J)	1	0.6816	2	1.3632	3	1.5904	4	1.8176	5	2.0448
Nro Probeta	Energía Absorbida (J)												
1	0.6816												
2	1.3632												
3	1.5904												
4	1.8176												
5	2.0448												
OBSERVACIONES:													
<ul style="list-style-type: none"> - Para las probetas 1 y 2 se presenta el código A que según la normativa se clasifica como no falla donde existe grieta en una sola superficie de la probeta que aún puede sostener el agua. - Para las probetas 3,4 y 5 se presenta el código C clasificándose como probetas que fallan fracturadas en varias partes de la superficie. 													
EVALUACIÓN:													
Energía media al fallo Promedio:	1.499 J												

Fuente:(Autores)

3.2 ANALISIS DE RESULTADOS

Luego de organizar los datos obtenidos para las pruebas de tracción, flexión e impacto que detallan los valores correspondientes a las propiedades mecánicas del material compuesto, es necesario tomar dichos valores promedio para realizar una comparativa entre las distintas estructuras volumétricas establecidas con el objetivo de establecer la mejor composición aplicable en autopartes.

3.2.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS PARA PROBETAS DE TRACCIÓN

En la **Tabla 3.13** Se detalla el esfuerzo máximo promedio a tracción, así como el módulo de elasticidad promedio correspondiente a cada configuración volumétrica ensayada.

Tabla 3.13 Resultados del esfuerzo máximo y módulo de elasticidad para los ensayos de tracción

TIPO DE PROBETA	ESFUERZO MÁXIMO PROMEDIO (MPa)	MODULO DE ELASTICIDAD PROMEDIO (MPa)
70% resina poliéster – 30% Fibra de yute tejida a 90°	25.508	942.663
70% resina poliéster – 30% Fibra de yute tejida a 45°	19.741	832.1
75% resina poliéster – 25% Fibra de yute suelta longitudinal	19.018	795.206

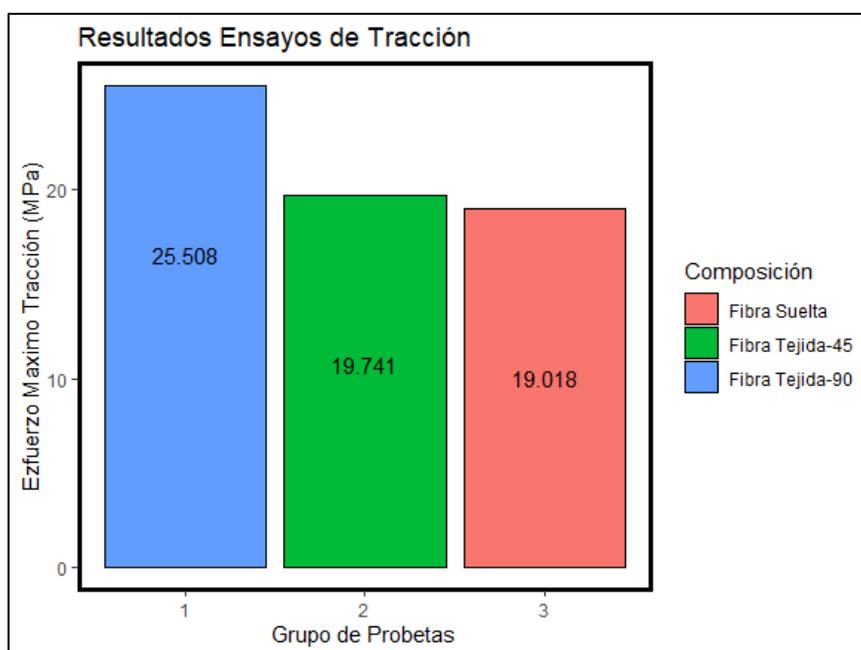


Figura 3.7 Resultados Pruebas de Tracción

En la **Figura 3.7** De las pruebas realizadas en las probetas de tracción se puede observar que de los 3 grupos la composición de 30% fibra tejida con dirección a 90 grados y 70% de resina poliéster presenta mejores resultados con una resistencia a tracción de 25.508 MPa y un módulo de elasticidad promedio de 942.6 MPa.

3.2.2 ANALISIS DE RESULTADOS PARA PROBETAS DE FLEXIÓN

En la **Tabla 3.14** Se detalla el esfuerzo máximo promedio a flexión, así como el módulo de elasticidad promedio correspondiente a cada configuración volumétrica ensayada.

Tabla 3.14 Resultados del esfuerzo máximo y módulo de elasticidad para los ensayos de tracción

TIPO DE PROBETA	ESFUERZO MÁXIMO PROMEDIO (MPA)	MODULO DE ELASTICIDAD PROMEDIO (MPA)
70% resina poliéster – 30% Fibra de yute tejida a 90°	36.477	256.65
70% resina poliéster – 30% Fibra de yute tejida a 45°	41.123	293.31
75% resina poliéster – 25% Fibra de yute suelta longitudinal	46.816	296.79

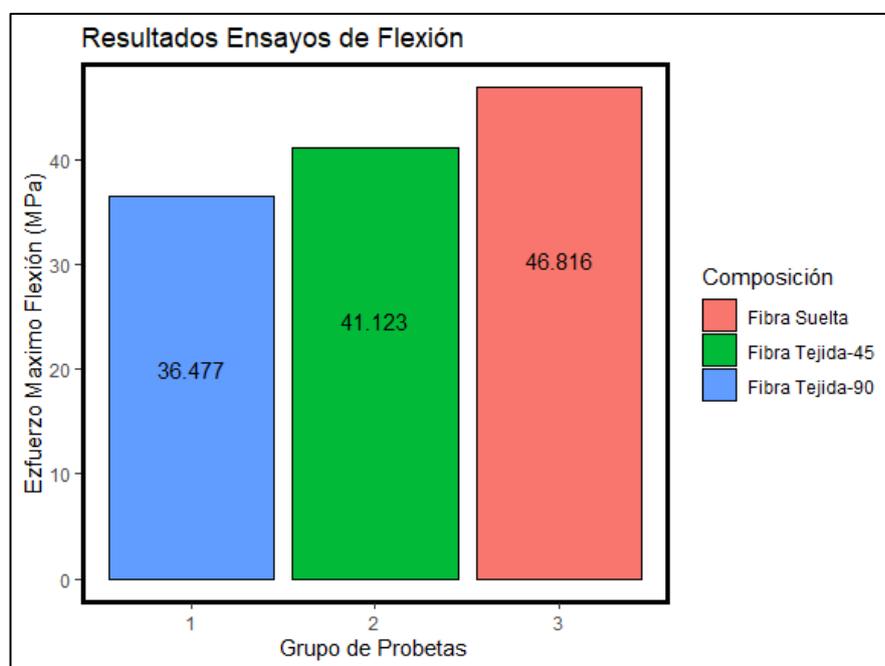


Figura 3.8 Resultados Pruebas de Flexión

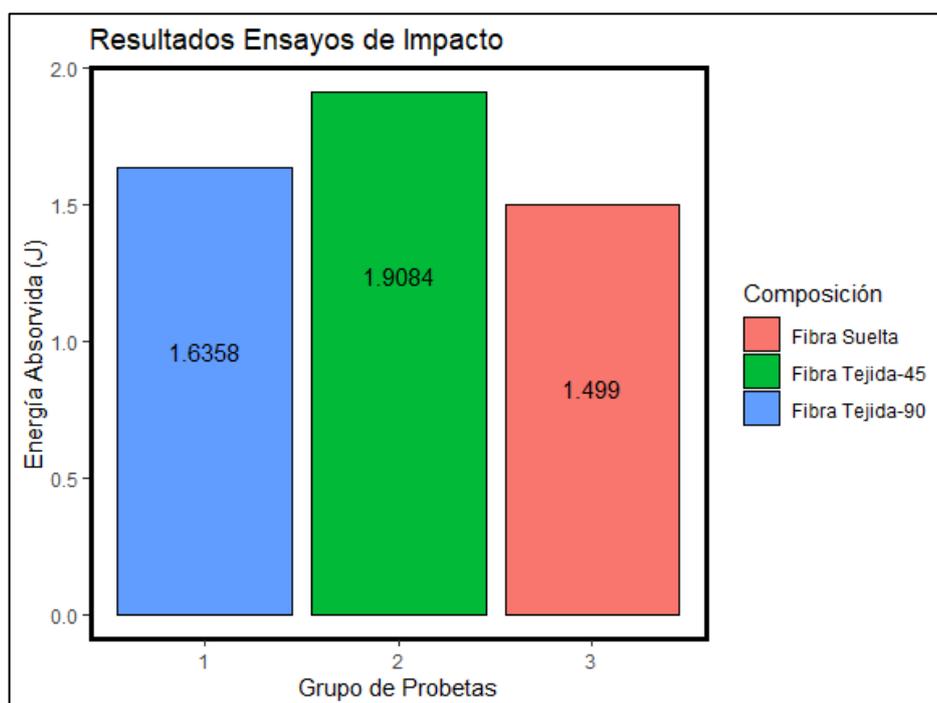
En la **Figura 3.8** De las pruebas realizadas en las probetas de flexión se puede observar que de los 3 grupos la composición de 25% fibra suelta con dirección longitudinal y 75% de resina poliéster presenta mejores resultados con una resistencia a flexión de 46.81 MPa y un módulo de elasticidad promedio de 296.79 MPa.

3.2.3 ANALISIS DE RESULTADOS PARA PROBETAS DE IMPACTO

En la **Tabla 3.15** Se detalla la energía absorbida soportada en cada grupo de probetas ensayadas.

Tabla 3.15 Energía promedio absorbida por impacto para cada grupo de probetas

TIPO DE PROBETA	ENERGIA PROMEDIO ABSORVIDA (J)
70% resina poliéster – 30% Fibra de yute tejida a 90°	1.6358
70% resina poliéster – 30% Fibra de yute tejida a 45°	1.9084
75% resina poliéster – 25% Fibra de yute suelta longitudinal	1.499

**Figura 3.9** Resultados ensayos de impacto

En la **Figura 3.9** De las pruebas realizadas en las probetas de impacto se puede observar que de los 3 grupos la composición de 30% fibra tejida con dirección a 45 grados y 70% de resina poliéster presenta mejores resultados con un valor promedio de energía absorbida 1.9084 J.

3.3 VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS

Del trabajo experimental realizado, se comprobó estadísticamente la hipótesis mediante el método T- Student, primero planteando una hipótesis inicial con el fin de descartar la mejor

configuración entre las probetas de fibra tejida para posteriormente comprobar una hipótesis final relacionada a la aplicación de fibra tejida o fibra suelta en el material compuesto.

3.3.1 DETERMINACIÓN DE LA MEJOR CONFIGURACIÓN CON FIBRA TEJIDA

La hipótesis inicial está relacionada a determinar la mejor configuración entre el grupo de probetas 1 y 2 los cuales poseen es su configuración fibra tejida que se diferencia por la dirección del refuerzo.

Hipótesis Nula inicial
El material compuesto de resina poliéster y fibra de yute tejida con dirección de 90° no presenta mejores propiedades mecánicas que el material compuesto de resina poliéster y fibra de yute tejida con dirección de 45°.
Hipótesis Alterna inicial
El material compuesto de resina poliéster y fibra de yute tejida con dirección de 90° presenta mejores propiedades mecánicas que el material compuesto de resina poliéster y fibra de yute tejida con dirección de 45°.

La verificación de la hipótesis inicial se la realizo mediante el ensayo bilateral de nivel de confianza 95%. Primero calculando la probabilidad por lo cual se aplicó la ecuación 3.1.

$$P = \frac{\alpha}{100} \quad [3.1]$$

Donde:

P: Probabilidad

α : Nivel de significancia

$$P = \frac{5}{100}$$

$$P = 0.05$$

Se procede a determinar los grados de libertad aplicando la ecuación 3.2.

$$GL = (n_1 - 1) + (n_2 - 1) \quad [3.2]$$

Donde:

GL: Grados de libertad

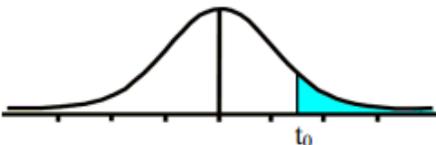
n: Numero de muestras

$$GL = (6 - 1) + (6 - 1)$$

$$GL = 10$$

Los grados de libertad son igual a 10 para probetas de tracción y flexión, para las probetas de impacto será de 8 debido a que el tamaño de muestra es de 5.

Tabla t-Student



Grados de libertad	0.25	0.1	0.05	0.025	0.01	0.005
1	1.0000	3.0777	6.3137	12.7062	31.8210	63.6559
2	0.8165	1.8856	2.9200	4.3027	6.9645	9.9250
3	0.7649	1.6377	2.3534	3.1824	4.5407	5.8408
4	0.7407	1.5332	2.1318	2.7765	3.7469	4.6041
5	0.7267	1.4759	2.0150	2.5706	3.3649	4.0321
6	0.7176	1.4398	1.9432	2.4469	3.1427	3.7074
7	0.7111	1.4149	1.8946	2.3646	2.9979	3.4995
8	0.7064	1.3968	1.8595	2.3060	2.8965	3.3554
9	0.7027	1.3830	1.8331	2.2622	2.8214	3.2498
10	0.6998	1.3722	1.8125	2.2281	2.7638	3.1693
11	0.6974	1.3634	1.7959	2.2010	2.7181	3.1058
12	0.6955	1.3562	1.7823	2.1788	2.6810	3.0545

Figura 3.10 Tabla T-Student

Para las probetas de flexión y tracción tenemos $t_{tab} = 1.8125$ y para las probetas de impacto tenemos $t_{tab} = 1.8595$.

La regla de decisión está basada en que se aceptara la hipótesis alterna inicial si el valor de t calculado no está dentro del rango -1.8125 a $+1.8125$ para probetas de flexión - tracción y -1.8595 a $+1.8595$ para probetas de impacto, Caso contrario se acepta la hipótesis nula inicial.

3.3.1.1 Determinación de la mejor configuración con fibra tejida para probetas de tracción

La verificación de esta hipótesis se la desarrollo con el grupo de probetas 1 y 2 el cual está constituido por fibra de yute tejida, pero con diferente dirección (90° y 45°).

Tabla 3.16 se detallan los valores obtenidos para resistencia a la tracción de los grupos de probetas separados como variables.

Nro. Probetas	Resistencia Máxima a tracción grupo 1 (Variable X)	Resistencia Máxima a tracción grupo 2 (Variable Y)
1	31.35	23.06
2	20.98	19.23
3	20.56	16.61
4	21.44	21.48
5	31.55	19.00
6	27.16	19.07
Promedio	25.508	19.741
Desviación estándar	5.194	2.242

Fuente: (Autores)

Para determinar el valor de desviación estadístico mediante T-Student se utilizó la ecuación 3.3.

$$t_c = \frac{X_{prom} - Y_{prom}}{\sqrt{\frac{(n_x - 1)S_x^2 + (n_y - 1)S_y^2}{n_x + n_y - 2} \sqrt{\frac{1}{n_x} + \frac{1}{n_y}}}} \quad [3.3]$$

Donde:

X_{prom} : Variable X promedio

Y_{prom} : Variable Y promedio

n_x : Cantidad de muestra para la variable X

n_y : Cantidad de muestra para la variable Y

S_x : Desviación estándar para la variable X

S_y : Desviación estándar para la variable Y

$$t_c = \frac{25.508 - 19.741}{\sqrt{\frac{(6 - 1)(5.194)^2 + (6 - 1)(2.241)^2}{6 + 6 - 2} \sqrt{\frac{1}{6} + \frac{1}{6}}}}$$

$$t_c = 1.897$$

Por lo tanto:

Si $t_c < t_{tab}$ se acepta la hipótesis nula.

Si $t_c > t_{tab}$ se acepta la hipótesis alternativa

$$t_c = 1.89$$

$$t_{tab} = 1.8125$$

$$1.89 > 1.8125$$

Como resultado se acepta la hipótesis alternativa ya que el valor de t calculado se encuentra fuera del rango de t tabulado. Las probetas fabricadas con fibra de yute tejida con dirección a 90° presentan mejores propiedades mecánicas a tracción que las fabricadas con fibra de yute tejida a 45°.

3.3.1.2 Determinación de la mejor configuración con fibra tejida para probetas de flexión

La verificación de esta hipótesis se la desarrollo con el grupo de probetas 1 y 2 el cual está constituido por fibra de yute tejida, pero con diferente dirección (90° y 45°).

Tabla 3.17 se detallan los valores obtenidos para resistencia a la flexión de los grupos de probetas separados como variables.

Nro. Probetas	Resistencia Máxima a flexión grupo 1 (Variable X)	Resistencia Máxima a flexión grupo 2 (Variable Y)
1	37.75	34.628
2	35.80	40.59
3	37.00	44.764
4	39.19	47.743
5	35.011	35.745
6	34.09	43.263
Promedio	36.477	41.123
Desviación estándar	1.87	5.15

Fuente: (Autores)

Para determinar el valor de desviación estadístico mediante T-Student se usa la ecuación 3.3 anteriormente usada para las probetas de tracción.

$$t_c = \frac{36.477 - 41.123}{\sqrt{\frac{(6-1)(1.87)^2 + (6-1)(5.15)^2}{6+6-2}} \sqrt{\frac{1}{6} + \frac{1}{6}}}$$

$$t_c = 1.57$$

Por lo tanto:

Si $t_c < t_{tab}$ se acepta la hipótesis nula.

Si $t_c > t_{tab}$ se acepta la hipótesis alternativa

$$t_c = 1.57$$

$$t_{tab} = 1.8125$$

$$1.57 < 1.8125$$

Como resultado se acepta la hipótesis nula ya que el valor de t calculado se encuentra dentro del rango de t tabulado. Las probetas fabricadas con fibra de yute tejida con dirección a 90° no presentan mejores propiedades mecánicas a tracción que las fabricadas con fibra de yute tejida a 45°.

3.3.1.3 Determinación de la mejor configuración con fibra tejida para probetas de impacto

La verificación de esta hipótesis se la desarrollo con el grupo de probetas 1 y 2 el cual está constituido por fibra de yute tejida, pero con diferente dirección (90° y 45°).

Tabla 3.18 se detallan los valores obtenidos para energía absorbida de impacto de los grupos de probetas separados como variables.

Nro. Probetas	Energía máxima absorbida grupo 1 (Variable X)	Energía máxima absorbida grupo 2 (Variable Y)
1	1.1360	0.9088

Fuente:(Autores)

Tabla 3.18 se detallan los valores obtenidos para energía absorbida de impacto de los grupos de probetas separados como variables **(Continuación...)**

2	1.3632	1.3632
3	1.5904	1.8176
4	1.8176	2.2719
5	2.2720	3.1808
Promedio	1.6358	1.9084
Desviación estándar	0.39	0.78

Para determinar el valor de desviación estadístico mediante T-Student se usa la ecuación 3.3 anteriormente usada para las probetas de tracción y flexión.

$$t_c = \frac{1.6358 - 1.9084}{\sqrt{\frac{(5-1)(0.39)^2 + (5-1)(0.78)^2}{5+5-2}} \sqrt{\frac{1}{5} + \frac{1}{5}}}$$

$$t_c = 0.55$$

Por lo tanto:

Si $t_c < t_{tab}$ se acepta la hipótesis nula.

Si $t_c > t_{tab}$ se acepta la hipótesis alternativa

$$t_c = 0.55$$

$$t_{tab} = 1.8595$$

$$0.55 < 1.8525$$

Como resultado se acepta la hipótesis nula ya que el valor de t calculado se encuentra dentro del rango de t tabulado. Las probetas fabricadas con fibra de yute tejida con dirección a 90° no presentan mejores propiedades mecánicas de impacto que las fabricadas con fibra de yute tejida a 45°.

Como resultado del análisis estadístico para la hipótesis inicial determinamos que la mejor configuración volumétrica de los grupos fabricados con fibra tejida es la compuesta por 70% resina poliéster más 30% fibra de yute tejida con dirección a 45°.

3.3.2 COMPROBACIÓN DE LA MEJOR COMPOSICIÓN

Luego de verificar la hipótesis inicial donde se comprobó que el material compuesto de fibra tejida a 45° presenta mejores propiedades, la hipótesis final está relacionada a determinar la mejor configuración entre fibra tejida y fibra suelta.

3.3.2.1 Hipótesis Nula (H₀)

El material compuesto de resina poliéster y fibra de yute suelta no presenta mejores propiedades mecánicas que el material compuesto de resina poliéster y fibra de yute tejida.

3.3.2.2 Hipótesis Alterna (H_a)

El material compuesto de resina poliéster y fibra de yute suelta presenta mejores propiedades mecánicas que el material compuesto de resina poliéster y fibra de yute tejida.

3.3.2.3 Verificación de hipótesis para probetas de tracción

La verificación de esta hipótesis se la desarrollo con el grupo de probetas de fibra tejida a 45° vs fibra suelta longitudinal.

Tabla 3.19 se detallan los valores obtenidos para resistencia a la tracción de los grupos de probetas separados como variables.

Nro. Probetas	Resistencia Máxima a tracción grupo 3 (Variable X)	Resistencia Máxima a tracción grupo 2 (Variable Y)
1	13.80	23.06
2	23.13	19.23
3	14.10	16.61
4	19.94	21.48
5	17.16	19.00
6	26.00	19.07
Promedio	19.018	19.741
Desviación estándar	4.929	2.242

Fuente: (Autores)

Para determinar el valor de desviación estadístico mediante T-Student se utilizó la ecuación 3.3.

$$t_c = \frac{19.018 - 19.741}{\sqrt{\frac{(6-1)(4.929)^2 + (6-1)(2.242)^2}{6+6-2}} \sqrt{\frac{1}{6} + \frac{1}{6}}}$$

$$t_c = 0.248$$

Por lo tanto:

Si $t_c < t_{tab}$ se acepta la hipótesis nula.

Si $t_c > t_{tab}$ se acepta la hipótesis alternativa

$$t_c = 0.24$$

$$t_{tab} = 1.8125$$

$$0.24 < 1.8125$$

Como resultado se acepta la hipótesis nula ya que el valor de t calculado se encuentra dentro del rango de t tabulado. Las probetas fabricadas con fibra de yute suelta no presentan mejores propiedades mecánicas a tracción que las fabricadas con fibra de tejida.

3.3.2.4 Verificación de hipótesis para probetas de flexión

La verificación de esta hipótesis se la desarrollo con el grupo de probetas de fibra tejida a 45° vs fibra suelta longitudinal.

Tabla 3.20 se detallan los valores obtenidos para resistencia a la flexión de los grupos de probetas separados como variables.

Nro. Probetas	Resistencia Máxima a flexión grupo 3 (Variable X)	Resistencia Máxima a flexión grupo 2 (Variable Y)
1	35.629	34.628
2	48.652	40.59
3	40.97	44.764
4	52.898	47.743
5	65.319	35.745

Tabla 3.20 se detallan los valores obtenidos para resistencia a la flexión de los grupos de probetas separados como variables **(Continuación...)**

6	37.421	43.263
Promedio	46.816	41.123
Desviación estándar	11.22	5.15

Fuente:(Autores)

Para determinar el valor de desviación estadístico mediante T-Student se usa la ecuación 3.3 anteriormente usada para las probetas de tracción.

$$t_c = \frac{46.816 - 41.123}{\sqrt{\frac{(6-1)(11.22)^2 + (6-1)(5.15)^2}{6+6-2} \sqrt{\frac{1}{6} + \frac{1}{6}}}}$$

$$t_c = 0.858$$

Por lo tanto:

Si $t_c < t_{tab}$ se acepta la hipótesis nula.

Si $t_c > t_{tab}$ se acepta la hipótesis alternativa

$$t_c = 0.858$$

$$t_{tab} = 1.8125$$

$$0.85 < 1.8125$$

Como resultado se acepta la hipótesis nula ya que el valor de t calculado se encuentra dentro del rango de t tabulado. Las probetas fabricadas con fibra de yute suelta no presentan mejores propiedades mecánicas a tracción que las fabricadas con fibra de yute tejida.

3.3.2.5 Verificación de hipótesis para probetas de impacto

La verificación de esta hipótesis se la desarrollo con el grupo de probetas de fibra tejida a 45° vs fibra suelta longitudinal.

Tabla 3.21 se detallan los valores obtenidos para energía absorbida de impacto de los grupos de probetas separados como variables.

Nro. Probetas	Energía máxima absorbida grupo 3 (Variable X)	Energía máxima absorbida grupo 2 (Variable Y)
1	0.6816	0.9088
2	1.3632	1.3632
3	1.5904	1.8176
4	1.8176	2.2719
5	2.0448	3.1808
Promedio	1.499	1.9084
Desviación estándar	0.467	0.78

Fuente:(Autores)

Para determinar el valor de desviación estadístico mediante T-Student se usa la ecuación 3.3 anteriormente usada para las probetas de tracción y flexión.

$$t_c = \frac{1.499 - 1.9084}{\sqrt{\frac{(5-1)(0.467)^2 + (5-1)(0.78)^2}{5+5-2}} \sqrt{\frac{1}{5} + \frac{1}{5}}}$$

$$t_c = 0.80$$

Por lo tanto:

Si $t_c < t_{tab}$ se acepta la hipótesis nula.

Si $t_c > t_{tab}$ se acepta la hipótesis alternativa

$$t_c = 0.80$$

$$t_{tab} = 1.8595$$

$$0.80 < 1.8525$$

Como resultado se acepta la hipótesis nula ya que el valor de t calculado se encuentra dentro del rango de t tabulado. Las probetas fabricadas con fibra de yute suelta no presentan mejores propiedades mecánicas de impacto que las fabricadas con fibra de yute tejida.

Se puede concluir que la mejor configuración volumétrica de los 3 grupos de probetas ensayados para flexión, tracción e impacto es la compuesta por 70% de resina poliéster y 30% de fibra tejida de yute con dirección 45°.

3.4 ANALISIS DEL MATERIAL COMPUESTO FRENTE A MATERIALES SINTÉTICOS Y MATERIALES COMPUESTOS UTILIZADOS EN LA INDUSTRIA AUTOMOTRIZ

El uso de material sintético y composites en la industria automotriz se aumenta con el objetivo de reducir costos y peso, además, la variedad de diseños y la trabajabilidad que ofrecen también es una ventaja.

Entre los principales materiales sintéticos en la industria automotriz podemos encontrar el policarbonato y el polipropileno. Se ha utilizado materiales compuestos reforzados con fibras naturales en varios proyectos de los cuales destaca el conocido “Proyecto Beleem” donde se utilizó material compuesto reforzado con fibra de coco en vehículos comerciales durante 9 años.

3.4.1 COMPARATIVA DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL MATERIAL COMPUESTO POR FIBRA DE YUTE Y RESÍNA POLIESTER FRENTE A MATERIALES SINTÉTICOS.

Brydson (1999), detalla en su libro “Plastics Materials” valores de resistencia a tracción e impacto de algunos materiales poliméricos que se comercializan comúnmente mientras que en el estudio denominado “ El efecto del pretratamiento térmico en la resistencia del policarbonato” se puede encontrar un valor de referencia relacionado a la resistencia de flexión de policarbonato y en el artículo “Propiedades mecánicas de los compuestos de polipropileno” el valor referencia de resistencia a flexión del polipropileno.

Los valores se detallan en las siguientes tablas.

Tabla 3.22 se detallan los valores encontrados bibliográficamente de las propiedades mecánicas del policarbonato.

Propiedades mecánicas Policarbonato	
Resistencia a la tracción (MPa)	127
Resistencia a la Flexión (MPa)	105.214
Resistencia al impacto (J)	7.5

Fuente: (Autores)

Tabla 3.23 se detallan los valores encontrados bibliográficamente de las propiedades mecánicas del polipropileno.

Propiedades mecánicas Polipropileno	
Resistencia a la tracción (MPa)	34
Resistencia a la Flexión (MPa)	232.12
Resistencia al impacto (J)	3.9

Fuente: (Autores)

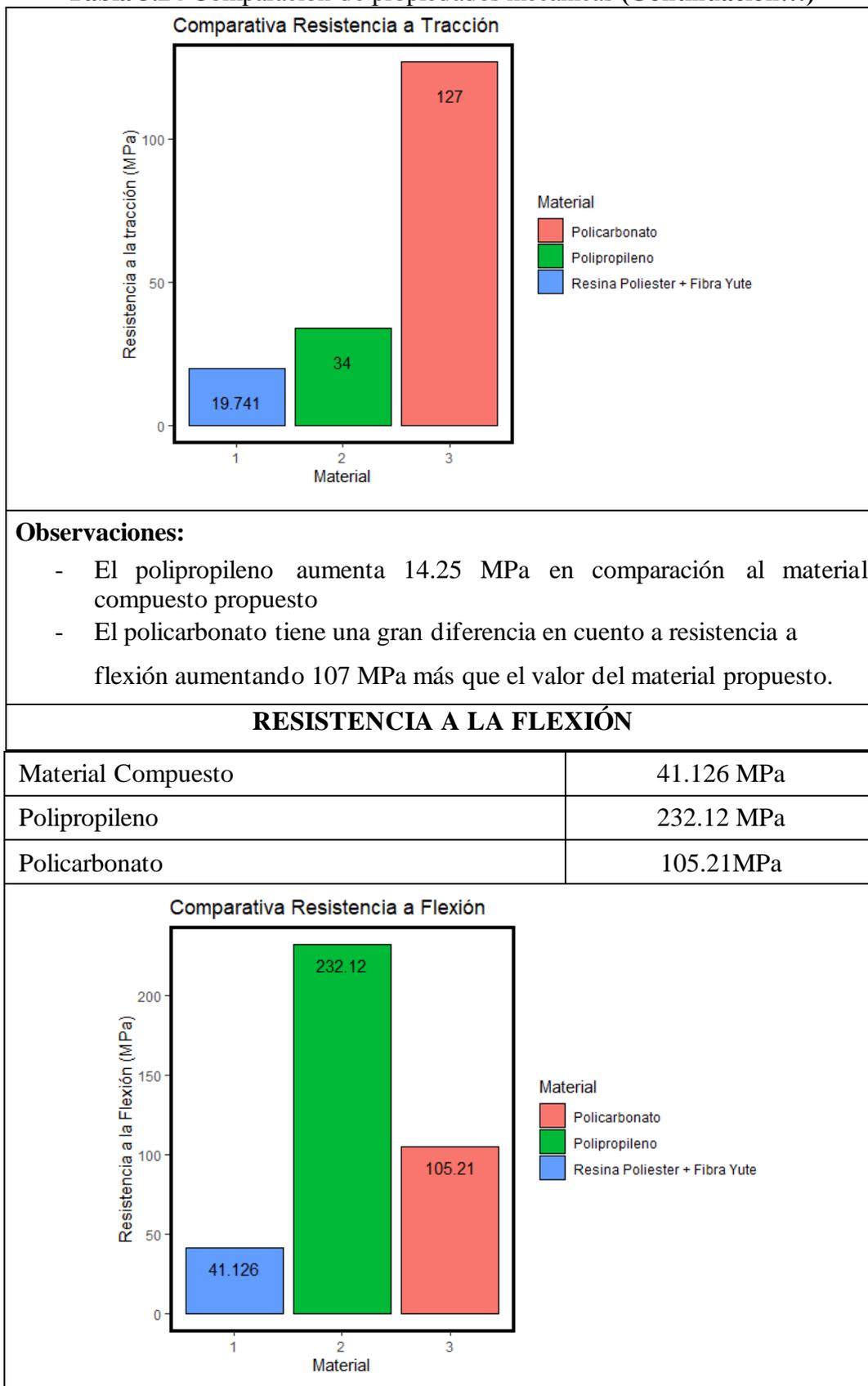
Las propiedades mecánicas del polipropileno y policarbonato nos permiten establecer una comparativa con el material compuesto de 70% resina poliéster y 30% de fibra de yute tejida con dirección 45°. La tabla **3.24** establece la comparativa mediante diagramas de barra establecidos para propiedades a tracción, flexión e impacto.

Tabla 3.24 Comparación de propiedades mecánicas

COMPARATIVA DE PROPIEDADES MECÁNICAS	
RESISTENCIA A LA TRACCIÓN	
Material Compuesto	19.74 MPa
Polipropileno	34 MPa
Policarbonato	127 MPa

Fuente: (Autores)

Tabla 3.24 Comparación de propiedades mecánicas (**Continuación...**)



Fuente: (Autores)

Tabla 3.24 Comparación de propiedades mecánicas (**Continuación...**)

Observaciones:	
<ul style="list-style-type: none"> - El polipropileno tiene una gran diferencia con respecto a la resistencia de flexión siendo 190 MPa mayor que el valor del material compuesto. - El policarbonato representa 65 MPa más el valor del material compuesto. 	
RESISTENCIA AL IMPACTO	
Material Compuesto	1.9084 J
Polipropileno	3.9 J
Policarbonato	7.5 J
<p style="text-align: center;">Comparativa Resistencia al impacto</p> <p style="text-align: center;">Energía de impacto (J)</p> <p style="text-align: center;">Material</p> <p style="text-align: center;">1 2 3</p> <p style="text-align: center;">Material</p> <p style="text-align: right;">Material</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Policarbonato ■ Polipropileno ■ Resina Poliester + Fibra Yute 	
Observaciones:	
<ul style="list-style-type: none"> - La energía absorbida por el polipropileno es 2 J más que el material compuesto - El policarbonato tiene una gran diferencia de energía absorbida con respecto al material compuesto y el polipropileno. 	

Fuente: (Autores)

En la **tabla 3.24** se establecieron las comparativas entre el material propuesto y materiales sintéticos utilizados en la industria automotriz, podemos concluir que el material propuesto no es una alternativa de remplazó con respecto al polipropileno y el policarbonato referente a propiedades mecánicas, sin embargo, cabe recalcar que el material propuesto tiene rango de mejora y presenta ventajas ambientales.

3.4.2 COMPARATIVA DE LAS PROPIEDADES MECANICAS DEL MATERIAL COMPUESTO POR FIBRA DE YUTE Y RESÍNA POLIESTER FRENTE OTROS MATERIALES COMPUESTOS.

Sudel y Evan (2005) mencionan el Duroplast como un material compuesto de propiedades adecuadas para la aplicación en la industria automotriz. El Duroplast está constituido por fibras de algodón y resina poliéster el cual fue aplicado en el vehículo “Trabant” sobre varios elementos estructurales, las composiciones volumétricas se encuentran reservadas, pero posee una resistencia a tracción de 60 MPa y módulo de elasticidad igual a 9000 MPa.

Se han realizado varios estudios de materiales compuestos para su aplicación en el área automotriz donde la mayoría de refuerzos utilizados provienen de plantas como el lino, cáñamo, kenaf y yute (Cunalata y Giménez, 2019, pág. 93).

El estudio realizado por Pervaiz y Sain indica que materiales reforzados con cáñamo presentan relevancia para ser aplicados en un vehículo debido a su rigidez.

En la **tabla 3.25** se detallan los valores obtenidos en la caracterización del material compuesto por Pervaiz y Sain.

Tabla 3.25 Propiedades mecánicas del compuesto de cáñamo

Cantidad de refuerzo %	Resistencia a la tracción MPa	Resistencia a la Flexión MPa
64	40	62
68	50	59
70	58	60

Fuente: (Pervais y Sain, 2003)

Cunalata y Giménez (2019), realizaron un estudio de material compuesto utilizando como refuerzo fibra de yute en donde la configuración con mejores características se denominó 9V cuyos resultados para resistencia a tracción fueron de 34.68 MPa, para flexión de 61.86 MPa y energía media al fallo de 1.96 J.

En la Universidad Técnica del Norte se han llevado a cabo varios estudios relacionados a materiales compuestos con refuerzos como la fibra de coco, cabuya y caña. Las configuraciones volumétricas se asemejan al material propuesto con fibra de yute lo cual permite establecer una comparativa de las características.

Tabla 3.26 Comparativa de resistencia a tracción, resistencia a flexión y energía al fallo con diferentes materiales compuestos.

Código	Configuración	Máxima Resistencia a tracción (MPa)	Máxima Resistencia a flexión (MPa)	Energía al fallo (J)
M1	Resina Poliéster + 1 capa de cabuya	22.5	62.468	0.77
M2	Resina Poliéster + 2 capas de cabuya	6.998	Baja resistencia a flexión	1.62
M3	Resina epoxi 75% + fibra de cabuya 25%	52.25	118.81	1.53
M4	Resina epoxi 75% + Fibra de caña 25%	24.19	45.77	0.77
M5	Resina poliéster 75% + Fibra corta de hoja de yucca 25%	24.55	37.05	1.145
M6	Resina poliéster 70% + lana de oveja 30% discontinuo al eje transversal	17.02	36.52	3.02
M7	Resina poliéster 60% + lana de oveja 40% discontinuo al eje transversal	16.97	33.70	1.88
M8	Resina poliéster 70% + fibra de tuna 30% entretejida	7.9	24.98	2.42
M9	Resina poliéster 70% + fibra larga de coco 30%	17.97	1.28	1.57

Fuente: (Autores)

En la **Tabla 3.26** Se establece una comparativa de propiedades mecánicas del material propuesto frente a otros materiales compuestos mencionados.

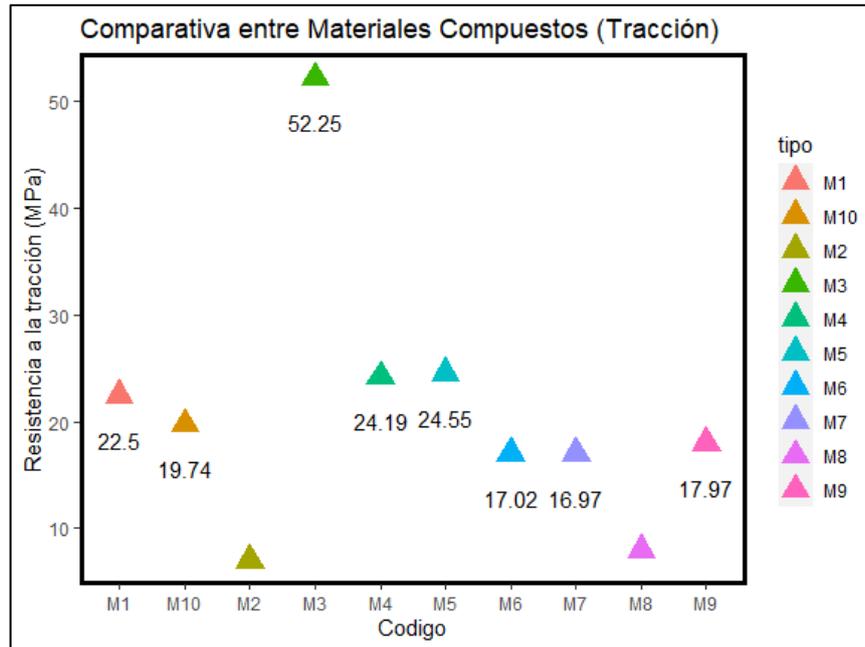


Figura 3.11 Comparativa Resistencia a tracción del material propuesto (M10) con otros materiales

En la **figura 3.11** Se puede observar la comparativa del material propuesto con fibra de yute en comparación a otros materiales. Podemos apreciar una gran ventaja con respecto a los materiales de código M2 y M8 mientras que con los materiales M6, M7 y M9 tienen valores similares con diferencias bajas.

Los materiales M1, M4 y M5 presentan resistencia a la tracción relativamente superior al material propuesto.

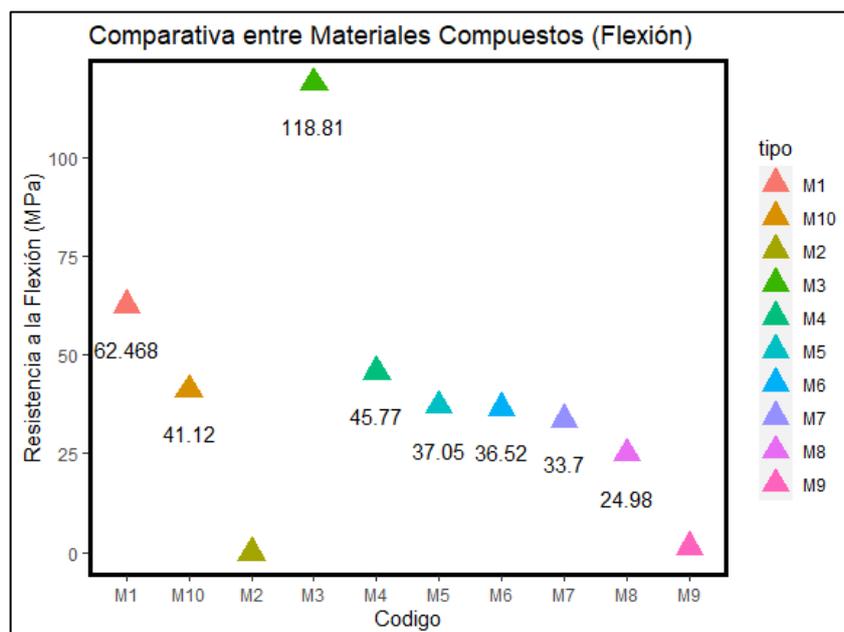


Figura 3.12 Comparativa Resistencia a flexión del material propuesto (M10) con otros materiales

En la **Figura 3.12** Se puede observar la comparativa entre valores relacionados a la resistencia de flexión de diferentes materiales compuestos respecto del material propuesto con fibra de yute (M10). Los materiales de código M5, M6 y M7 presentan desventaja frente a la propuesta con valores relativamente menores mientras que el material M8 tiene una diferencia de 16.14 MPa.

El material reforzado con fibra de yute tiene desventaja con respecto a materiales de código M1 con una diferencia de 21.34 MPa y el material M4 es superior por tan solo 4.66 MPa.

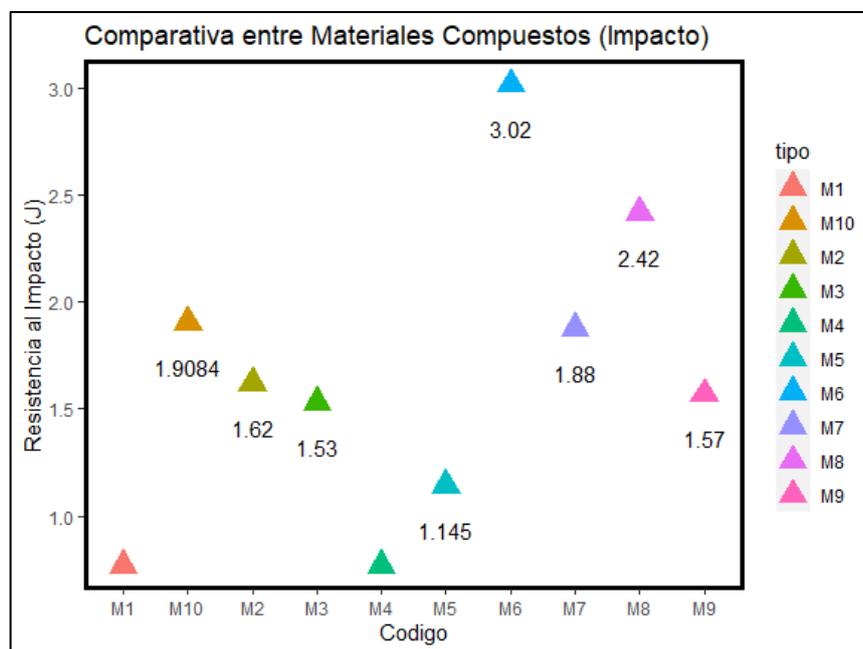


Figura 3.13 Comparativa Resistencia al Impacto del material propuesto (M10) con otros materiales

En la **Figura 3.13** Se puede observar la comparativa entre valores relacionados a la energía máxima absorbida (J) por el material propuesto (M10) respecto a diferentes materiales compuestos. Existe dispersión entre los valores de energía absorbida de los cuales los materiales de código M1 Y M4 presentan diferencias notables por debajo del material propuesto.

Los materiales M6 y M8 presentan ventaja frente al material de yute y el material M7 prácticamente es similar con respecto a energía absorbida.

3.5 ANALISIS DEL PROTOTIPO

Al finalizar la fabricación del guardabarros de la camioneta Mazda BT50 aplicando la configuración de material compuesto 70% resina poliéster + 30% fibra de yute a 45° cuyas propiedades mecánicas son las más relevantes para la aplicación en la industria automotriz, se realizó una comparación del prototipo con respecto al guardabarros original que se puede encontrar en el mercado estableciendo parámetros relacionados al proceso de fabricación como: Disponibilidad del material, durabilidad del material, tiempo de fabricación, peso, costo de fabricación, trabajabilidad, biodegradación.

3.5.1 DEFINICION DE PARAMETROS

3.5.1.1 Disponibilidad del material

La resina poliéster es de fácil acceso al público además de ser una de las resinas más baratas que se puede encontrar en el mercado mientras que la fibra de yute en nuestro país es un material que se suele confundir con la cabuya sin embargo existe la disponibilidad comercialmente.

3.5.1.2 Durabilidad del material

El poliéster junto a materiales de refuerzo posee propiedades mecánicas aceptables, pero principalmente se destaca por la resistencia ambiental por lo cual la industria naval a utilizado el poliéster reforzado para fabricar piezas expuestas a la corrosión.

3.5.1.3 Tiempo de fabricación

El tiempo de fabricación depende del tipo y tamaño del elemento, pero se puede llegar a efectuar procesos de fabricación muy cortos debido a la adaptabilidad de la resina en estado líquido.

3.5.1.4 Peso

En el material compuesto el peso dependerá de la cantidad de refuerzo que se decida utilizar. El peso del elemento que se quiera fabricar se puede reducir notoriamente dependiendo del

proceso de fabricación que se use, en el caso del prototipo de guardabarros al ser fabricado por estratificación manual el espesor del mismo se puede controlar logrando disminuir el peso.

3.5.1.5 Costo de fabricación

EL costo de fabricación depende de la autoparte a elaborar, en el caso del material compuesto propuesto se puede destacar una disminución de costo debido a que la resina poliéster y la fibra de yute son económicas.

3.5.1.6 Trabajabilidad

Las autopartes elaboradas en resina poliéster y fibra de vidrio son muy comunes por lo cual ya existen técnicas y procesos de fabricación que son aplicables con la fibra de yute. Además, las piezas elaboradas con resinas se destacan por ser reparables fácilmente con acabados y proceso de pintura de buena calidad.

3.5.1.7 Biodegradación

EL material al no estar conformado por el 100% de polímero representa una reducción en la dependencia de plásticos derivados del petróleo utilizando fibras naturales como el yute cuya degradación es relativamente rápida. Además, el material luego de su vida útil puede ser reciclado fundiendo el poliéster para destinarlo a otras aplicaciones como el hilo textil.

3.5.2 DEFINICIÓN DE INDICADORES

En la **Tabla 3.27** establecen los valores indicadores de los parámetros en los cuales se pueda comparar el prototipo fabricado con el guardabarros de la camioneta Mazda BT50 disponible en el mercado.

Tabla 3.27 Parámetros de comparación del prototipo

INDICADORES	PROTOTIPO DE GUARDABARROS	GUARDABARROS ORIGINAL
Material	Compuesto de resina poliéster + fibra de yute	Aleación de acero
Peso	4.1 kg	3.5 kg
Costo	65.30 USD	79 USD
Trabajabilidad	Fácil Reparación (Dependiente del daño)	Reparación más complicada dependiendo del daño
Biodegradación	6 meses (Reciclable)	10 años (Reciclable)

Fuente: (Propia)

3.6 ANALISIS DE COSTOS

3.6.1 COSTOS DE PROTOTIPO

Se analizaron los costos relacionados al proceso de elaboración del guardabarros tomando en cuenta los materiales, fabricación de probetas, ensayos, elaboración de la autoparte y acabados. Se toma en cuenta los costos directos e indirectos detallados a continuación.

3.6.1.1 Costos directos

Radican en los costos referentes a materiales y mano de obra empleados en la fabricación del prototipo. La tabla 3.28 detalla los materiales incluyendo la mano de obra en el proceso de fabricación.

Tabla 3.28 Costos Directos

CANTIDAD	MATERIAL	UNIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
4	Resina poliéster	Litros	6.00 USD	24.00 USD
1	Monómero de estireno	litros	3.00 USD	3.00 USD
500	Octoato de cobalto	ml	4.00 USD	4.00 USD

Fuente:(Propia)

Tabla 3.28 Costos Directos (Continuación...)

500	MECK	ml	3.50 USD	3.50 USD
1/2	Cera desmoldante	kg	7.00 USD	7.00 USD
2	Fibra de vidrio	kg	10.00 USD	20.00 USD
2	Fibra de Yute	m	5.00 USD	10.00 USD
2	Par de Guantes	-	0.80 USD	1.60 USD
2	Brochas	-	0.50 USD	1.00 USD
4	Lijas	-	0.50 USD	2.00 USD
1/4	Fondo	Litro	4.00 USD	4.00 USD
1/4	Pintura	Litro	7.00 USD	7.00 USD
1/4	Barniz	Litro	8.00 USD	8.00 USD
MANO DE OBRA				
DIAS EMPLEADOS	VALOR POR DÍA		VALOR TOTAL	
2	15.00 USD		30.00 USD	
TOTAL	125.10 USD			

Fuente:(Propia)

En la **tabla 3.29** se detallan los valores que tendría el prototipo en el mercado utilizando el material compuesto de resina poliéster y fibra de yute.

Tabla 3.29 Costos del prototipo en el mercado

CANTIDAD	MATERIAL	UNIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
2	Resina poliéster	Litros	6.00 USD	12.00 USD
500	Monómero de estireno	ml	1.50 USD	1.50 USD
200	Octoato de cobalto	ml	1.60 USD	1.60 USD
300	MECK	ml	2.10 USD	2.10 USD
1/4	Cera desmoldante	kg	3.50 USD	3.50 USD
2	Fibra de Yute	m	5.00 USD	10.00 USD
2	Par de Guantes	-	0.80 USD	1.60 USD

Tabla 3.29 Costos del prototipo en el mercado (**Continuación...**)

2	Brochas	-	0.50 USD	1.00 USD
4	Lijas	-	0.50 USD	2.00 USD
2	Mano de obra	-	10 USD	20 USD
Pintura de guardabarros				10 USD
TOTAL				65.30 USD

Fuente:(Propia)

3.6.1.2 Costos indirectos

Están relacionados a los costos del proceso de investigación relacionados a materiales de elaboración de probetas, costos de ensayos, transporte, entre otros.

En la tabla 3.30 se detalla el valor de los costos indirectos para poder llegar a instancias de fabricación de guardabarros.

Tabla 3.30 Costos Indirectos

DENOMINACIÓN		VALOR
Valor de investigación	Materiales para elaboración de probetas	250.00 USD
	Ensayos	504.00 USD
Transporte		85.00 USD
Imprevistos		100 USD
Impresiones		55.00 USD
TOTAL		994.00 USD

Fuente: (Propia)

3.6.2 COSTOS DEL PROYECTO

En la tabla 3.31 se detallan los costos totales del proyecto incluyendo los directos e indirectos.

Tabla 3.31 Costo del proyecto

COSTO DEL PROYECTO	
Costos directos	125.10 USD
Costos indirectos	994.00 USD
TOTAL	1119.10 USD

Fuente: (Propia)

CAPITULO IV

4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

- El análisis bibliográfico correspondiente a la ciencia de materiales y la profundización en la temática relacionada con materiales compuestos permitió conocer la aplicabilidad de dichos materiales en el área automotriz además de establecer las condiciones que permiten caracterizar las propiedades mecánicas basadas en ensayos de tracción, flexión e impacto bajo normativas ASTM D3039, ASTM D7264 y ASTM D5628 donde se detallan las dimensiones y procedimiento de ensayos utilizados para la construcción de probetas con material compuesto de matriz Poliéster reforzado con fibra de Yute.
- Se fabricaron probetas con el material compuesto establecido por configuraciones volumétricas cuya diferenciación se basa principalmente en la dirección del refuerzo, manteniendo las cantidades de resina y fibra en un peso adecuado para la posterior aplicación en la fabricación del guardabarros. Se obtuvieron 3 configuraciones: la primera configuración está constituida por 70% resina poliéster más 30% fibra de yute tejida con dirección a 90 grados, la segunda configuración está constituida por 70% resina poliéster más 30% fibra de yute tejida con dirección a 45 grados y la última configuración está constituida por 75% resina poliéster más 25% fibra de yute suelta longitudinal. Las probetas se elaboraron mediante el método de moldeo por compresión y estratificación manual cuyo procedimiento es practico, finalmente el tiempo de curado del material compuesto dependerá de la cantidad de Catalizador y acelerador agregado a la resina poliéster tomando en cuenta la temperatura ambiente.
- Luego de someter las probetas a los ensayos de flexión, tracción e impacto se determinó que la mejor configuración del material compuesto para aplicar en la fabricación del guardabarros es la constituida por 70% resina poliéster más 30% fibra de yute tejida a 45 grados cuyos resultados de resistencia a tracción son de 19.74 MPa, resistencia a flexión igual a 41.126 MPa y energía absorbida de impacto igual a 1.90 J. Además, se puede decir que el material compuesto es rígido abriendo el

abánico de aplicación en un vehículo como: alerones, tableros, retrovisores, piezas decorativas del vehículo, entre otros.

- El material compuesto con mejores propiedades mecánicas se aplicó en la elaboración del prototipo de guardabarros de la camioneta Mazda BT50 del año 2012. Se establecieron parámetros de comparación con el guardabarros original disponible en el mercado concluyendo que el prototipo presenta ventajas referentes al costo (13.70 USD menos que el guardabarros original), con respecto al peso el guardabarros original tiene ventaja debido a que pesa 3.5 Kg y el prototipo 4.1 Kg y finalmente el tiempo de degradación del prototipo igual a 6 meses frente a 10 años del guardabarros original recalcando que los dos elementos son reciclables.

4.2 RECOMENDACIONES

- Establecer un estudio donde se instauré el método de estratificación más adecuado para la fabricación de materiales compuestos que permita obtener los mejores resultados durante ensayos de propiedades mecánicas.
- La fabricación de materiales compuestos con fibras naturales debe realizarse asegurando la perfecta compresión debido a que comúnmente se pueden generar imperfecciones. Para el recorte de las probetas no es recomendable utilizar amoladoras y las probetas de tracción deben tener soportes de sujeción en los extremos como lijas que permitan mejorar el agarre con la máquina de ensayos.
- Establecer nuevas configuraciones volumétricas con fibra de yute dando prioridad a las fracciones volumétricas de resina y refuerzo con el objetivo de obtener nuevos datos correspondientes a las propiedades mecánicas del material. Adicionalmente variar la matriz de resina poliéster sumando aditivos o utilizando otros polímeros como la resina epoxi.
- Analizar los resultados del estudio con la finalidad de establecer la aplicabilidad en autopartes como alerones, tableros, piezas decorativas o piezas estructurales estableciendo parámetros de comparación como el costo de fabricación, durabilidad, trabajabilidad, entre otros.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Aceves Maria, García Uriel, & Pérez Ahtziri. (2018). Caracterización de la fibra de Yute. *Research Gate*.
2. Arkeland Donald, & Wright Wendelin. (2016). *Ciencia e ingeniería de materiales 7ª edición* (Martínez Javier, Ed.; 7th ed., Vol. 1). Cengage Learning.
3. Botero Eduardo, Méndez Bogart, Romo Miguel, & González Blandon. (2013). *Development of Ultra-Light Composite Material to Build the Platform of a Shaking Table. 14*.
4. Caballero Garcia, D. R., & Dominguez Lopez, L. R. (2018). Influencia de la proporción de fibra de yute:fibra de vidrio y tratamiento superficial sobre la resistencia a la tracción de un material compuesto de matriz poliéster fabricado mediante el método de compresión. *Universidad Nacional de Trujillo*. <https://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/11085>
5. Dávila, José Luis, Ing., Galeas, Salomé, Ing., Guerrero, Víctor Hugo, Ph. D., Pontón, Patricia, Ing., Rosas, Nelly María, Ing., Sotomayor, Verónica, Ing., & Valdivieso, Carla, Ing. (2011). *Nuevos materiales: Aplicaciones estructurales e industriales*. QUITO/ IMPREFEPP/ 2011. <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/4532>
6. Espín Medina, C. X. (2018). *Obtención de un material compuesto de matriz poliéster y lana de oveja para evaluar el comportamiento mecánico* [Universidad Técnica de Ambato]. <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/27000>
7. Forero Gutiérrez, C. F., & Rodríguez Hernández, D. A. (2015). *Caracterización Mecánica de un material compuesto de matriz termoestable reforzado con fibra de guadua obtenido por el proceso de estratificación manual* [Universidad Libre]. <https://repositorio.unilibre.edu.co/handle/10901/22568>
8. Golden, J. H., Hammant, B. L., & Hazell, E. A. (1967). The effect of thermal pretreatment on the strength of polycarbonate. *Journal of Applied Polymer Science*, 11(8), 1571–1579. <https://doi.org/10.1002/app.1967.070110818>
9. Goud, V., Alagirusamy, R., Das, A., & Kalyanasundaram, D. (2019). Influence of various forms of polypropylene matrix (fiber, powder and film states) on the flexural strength of carbon-polypropylene composites. *Composites Part B: Engineering*, 166, 56–64. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2018.11.135>

10. Guerrero Victor, Pontón Patricia, Tamayo Andrés, Villacís Héctor, Delgado Favio, & Galeas Salomé. (2013). *Materiales compuestos de matriz poliéster reforzados con fibras naturales y sintéticas*. *Escuela Politécnica Nacional*.
11. Imbaquingo Navarrete, R. P. (2018). *Caracterización, diseño y simulación de un guardafango del vehículo Chevrolet Aveo constituido con material compuesto a base de resina epoxi y refuerzo de fibras orgánicas*. [Universidad Internacional SEK]. <https://repositorio.uisek.edu.ec/handle/123456789/2751>
12. Iza Tutillo, G. A. (2017). *Caracterización mecánica del material compuesto de matriz epoxi reforzada con fibra vegetal (algodón) y fibra natural de STIPA ICHU (pasto de páramo) con secado natural y precocido para determinar propiedades mecánicas en la fabricación de elementos livianos de alta resistencia*. [Universidad Técnica de Ambato]. <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/26085>
13. J.A.Brydson. (1999). *Plastics Materials* (7th ed., Vol. 1). Butterworth Heinemann.
14. Jácome León, A. D. (2015). *Estudio de la configuración de fibras del material compuesto de matriz epoxi reforzada con fibra de piña y su incidencia en las propiedades mecánicas en la fabricación de butacas deportivas* [Universidad Técnica de Ambato]. <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/10373?locale=en>
15. Martínez Jurado, D. F., & Puente Calapaqui, J. G. (2022). *Evaluación y aplicación de materiales compuestos para la reducción de peso en el carenado de una motocicleta eléctrica*. [Universidad Técnica del Norte]. <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/12548>
16. Mazón Gabriel. (2017). *Caracterización mecánica del material compuesto de matriz poliéster con fibra de coco para la determinación de propiedades mecánicas en aplicaciones industriales* [Universidad Técnica De Ambato]. <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/25131>
17. Montufar Marcalla, A. V., & Vinicio, A. (2021). *Materiales compuestos de polímero reforzado con fibra de cabuya y coco aplicado al sector automotriz* [Universidad Central Del Ecuador]. <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/24998>
18. Pachacama Nasimba, V. P. (2015). *Diseño, caracterización y aplicación de un material compuesto con base de resina epoxi y refuerzo de fibras orgánicas para la aplicación*

en un prototipo de capot de la camioneta mazda bt50 2010.
<http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/handle/21000/10129>

19. Palacios Acosta, E. A. (2017). *Construcción de una estructura de soporte para una aeronave no tripulada aplicando ingeniería inversa, utilizando material de matriz de resina poliéster reforzado con fibra natural de coco o cabuya* [Universidad Técnica Del Norte].
<http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/6509>
20. Paredes Salinas, J. G., Pérez Salinas, C. F., Castro Miniguano, C. B., Paredes Salinas, J. G., Pérez Salinas, C. F., & Castro Miniguano, C. B. (2017). Análisis de las propiedades mecánicas del compuesto de matriz poliéster reforzado con fibra de vidrio 375 y cabuya aplicada a la industria automotriz. *Enfoque UTE*, 8(3), 1–15.
<https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v8n3.163>
21. Pazmiño Guerrero, C. A. (2018). *Caraterización mecánica del material compuesto de matriz poliéster reforzada con fibra de hoja de Yucca Elephantipes para la determinación de propiedades mecánicas en aplicaciones industriales* [Universidad Técnica de Ambato].
<https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/27671>
22. Pervaiz, M., & Sain, M. M. (2003). Carbon storage potential in natural fiber composites. *Resources, Conservation and Recycling*, 39(4), 325–340. [https://doi.org/10.1016/S0921-3449\(02\)00173-8](https://doi.org/10.1016/S0921-3449(02)00173-8)
23. Ponce Tobar, L. S. (2020). *Caracterización de un material compuesto a base de Resina Epóxica reforzado con fibra de cabuya comparado con la misma resina reforzado con fibra de caña de azúcar* [Universidad Técnica Del Norte].
<http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/10299>
24. Pozo Ángel, Fernández Antonio, & Güemes Alfredo. (2019). *Materiales Compuestos de Fibras Naturales*. Universidad Politécnica de Madrid.
25. Rivera Troya, D. F., & Alban Quinto, J. E. (2022). *Prototipo de material compuesto de matriz polimérica reforzada con fibras de CAJANUS CAJAN: diseño, caracterización y aplicación industrial* [Universidad Politécnica Salesiana].
<https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/21797>

26. Shubhra, Q. T., Alam, A., & Quaiyyum, M. (2013). Mechanical properties of polypropylene composites. *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, 26(3), 362–391. <https://doi.org/10.1177/0892705711428659>
27. Simbaña Ushiña, D. A. (2018). *Rediseño y construcción de un protector de cárter para un vehículo Chevrolet sail mediante la aplicación de materiales híbridos reforzados con fibra de cabuya y fibra de vidrio, con base de resina poliéster, mediante estratificación manual, moldeo por contacto y por compresión.* <https://repositorio.uisek.edu.ec/handle/123456789/2736>
28. Stupenengo Franco. (2011). Materiales Compuestos. In *Materiales y materias primas*. Colección Encuentro INET.
29. Tamayo Duque, N. A. (2012). *Obtención y Caracterización de Materiales Compuestos de Matriz Poliéster Reforzados con Fibra de Cabuya Mediante Estratificación* [Escuela Politécnica Nacional]. <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/4714>
30. Tejero, G., & Bi, Z. (2020). *Composite: matriz de resina poliéster insaturada con fibras de refuerzo vegetales (cáñamo).*
31. Tixe Subina, J. M., & Vistín Bastidas, J. D. (2015). *Aplicación de materiales compuestos para la formación de guardabarros y tapas laterales de una moto de 125cc, 4 tiempos* [Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. <http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/4123>
32. Valencia Cuaical, B. V., & Pozo Martínez, W. P. (2020). *Utilización de la fibra de cabuya para reforzar una matriz polimérica y conseguir un material compuesto para uso automotriz* [Universidad Técnica del Norte]. <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/10645>
33. Vargas Flores, P. D. (2018). *Aplicabilidad de un material compuesto de matriz polimérica reforzado con fibras de hoja de tuna en usos industriales* [Universidad Técnica de Ambato]. <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/27447>

ANEXOS

ANEXO I

NORMA ASTM D3039 PARA ENSAYOS DE TRACCIÓN EN MATERIALES COMPUESTOS



Designation: D 3039/D 3039M – 00^{e1}

Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials¹

This standard is issued under the fixed designation D 3039/D 3039M; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last 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.

^{e1} Norm—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 Laminas 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.

Figura AI.1. Norma ASTM D3039 para ensayos de tracción
(Normativa ASTM D3039)

 D 3039/D 3039M – 00^{e1}

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^s —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

Figura AI.2. Norma ASTM D3039 para ensayos de tracción
(Normativa ASTM D3039)


D 3039/D 3039M – 00*1

used to measure the thickness of the specimen. A micrometer with a flat anvil interface shall be used to measure the width of the specimen. The accuracy of the instruments shall be suitable for reading to within 1% of the sample width and thickness. For typical specimen geometries, an instrument with an accuracy of $\pm 2.5 \mu\text{m}$ [$\pm 0.0001 \text{ in.}$] is adequate for thickness measurement, while an instrument with an accuracy of $\pm 25 \mu\text{m}$ [$\pm 0.001 \text{ in.}$] is adequate for width measurement.

7.2 Testing Machine—The testing machine shall be in conformance with Practices E 4 and shall satisfy the following requirements:

7.2.1 Testing Machine Heads—The testing machine shall have both an essentially stationary head and a movable head.

7.2.2 Drive Mechanism—The testing machine drive mechanism shall be capable of imparting to the movable head a controlled velocity with respect to the stationary head. The velocity of the movable head shall be capable of being regulated as specified in 11.3.

7.2.3 Load Indicator—The testing machine load-sensing device shall be capable of indicating the total load being carried by the test specimen. This device shall be essentially free from inertia lag at the specified rate of testing and shall indicate the load with an accuracy over the load range(s) of interest of within $\pm 1\%$ of the indicated value. The load range(s) of interest may be fairly low for modulus evaluation, much higher for strength evaluation, or both, as required.

NOTE 1—Obtaining precision load data over a large range of interest in the same test, such as when both elastic modulus and ultimate load are being determined, place extreme requirements on the load cell and its calibration. For some equipment, a special calibration may be required. For some combinations of material and load cell, simultaneous precision measurement of both elastic modulus and ultimate strength may not be possible and measurement of modulus and strength may have to be performed in separate tests using a different load cell range for each test.

7.2.4 Grips—Each head of the testing machine shall carry one grip for holding the test specimen so that the direction of load applied to the specimen is coincident with the longitudinal axis of the specimen. The grips shall apply sufficient lateral pressure to prevent slippage between the grip face and the coupon. If tabs are used the grips should be long enough that they overhang the beveled portion of the tab by approximately 10 to 15 mm [0.5 in.]. It is highly desirable to use grips that are rotationally self-aligning to minimize bending stresses in the coupon.

NOTE 2—Grip surfaces that are lightly serrated, approximately 1 serration/mm [25 serrations/in.], have been found satisfactory for use in wedge-action grips when kept clean and sharp; coarse serrations may produce grip-induced failures in untabbed coupons. Smooth gripping surfaces have been used successfully with either hydraulic grips or an emery cloth interface, or both.

7.2.5 System Alignment—Poor system alignment can be a major contributor to premature failure, to elastic property data scatter, or both. Practice E 1012 describes bending evaluation guidelines and describes potential sources of misalignment during tensile testing. In addition to Practice E 1012, the degree of bending in a tensile system can also be evaluated using the following related procedure. Specimen bending is considered separately in 11.6.1.

7.2.5.1 A rectangular alignment coupon, preferably similar in size and stiffness to the test specimen of interest, is instrumented with a minimum of three longitudinal strain gages of similar type, two on the front face across the width and one on the back face of the specimen, as shown in Fig. 1. Any difference in indicated strain between these gages during loading provides a measure of the amount of bending in the thickness plane (B_y) and width plane (B_z) of the coupon. The strain gage location should normally be located in the middle of the coupon gage section (if modulus determination is a concern), near a grip (if premature grip failures are a problem), or any combination of these areas.

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

7.2.5.3 The zero strain point may be taken either before gripping or after gripping. The strain response of the alignment coupon is subsequently monitored during the gripping process, the tensile loading process, or both. Eq 1-3 use these indicated strains to calculate the ratio of the percentage of bending strain to average extensional strain for each bending plane of the alignment coupon and the total percent bending, B_{total} . Plotting percent bending versus axial average strain is useful in understanding trends in the bending behavior of the system.

7.2.5.4 Problems with failures during gripping would be reason to examine bending strains during the gripping process in the location near the grip. Concern over modulus data scatter would be reason to evaluate bending strains over the modulus evaluation load range for the typical transducer location. Excessive failures near the grips would be reason to evaluate bending strains near the grip at high loading levels. While the

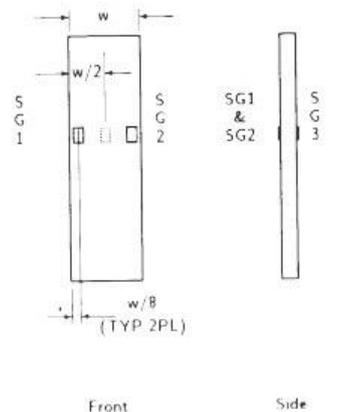


FIG. 1 Gage Locations for System Alignment Check Coupon

Figura AI.3. Norma ASTM D3039 para ensayos de tracción (Normativa ASTM D3039)


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.

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

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

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:

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

7.3 Strain-Indicating Device—Load-strain data, if required, shall be determined by means of either a strain transducer or an extensometer. Attachment of the strain-indicating device to the coupon shall not cause damage to the specimen surface. If Poisson's ratio is to be determined, the specimen shall be instrumented to measure strain in both longitudinal and lateral directions. If the modulus of elasticity is to be determined, the longitudinal strain should be simultaneously measured on opposite faces of the specimen to allow for a correction as a result of any bending of the specimen (see 11.6 for further guidance).

7.3.1 Bonded Resistance Strain Gage Selection—Strain gage selection is a compromise based on the type of material. An active gage length of 6 mm [0.25 in.] is recommended for most materials. Active gage lengths should not be less than 3 mm [0.125 in.].⁷ Gage calibration certification shall comply with Test Methods E 251. When testing woven fabric laminates, gage selection should consider the use of an active gage length that is at least as great as the characteristic repeating unit of the weave. Some guidelines on the use of strain gages on composites follow. A general reference on the subject is Tuttle and Brinson.⁸

7.3.1.1 Surface preparation of fiber-reinforced composites in accordance with Practice E 1237 can penetrate the matrix material and cause damage to the reinforcing fibers resulting in improper coupon failures. Reinforcing fibers should not be exposed or damaged during the surface preparation process.

⁷ A typical gage would have a 0.25-in. active gage length, 350- Ω resistance, a strain rating of 3 % or better, and the appropriate environmental resistance and thermal coefficient.

⁸ Tuttle, M. E. and Brinson, H. F., "Resistance-Foil Strain-Gage Technology as Applied to Composite Materials," *Experimental Mechanics*, Vol 24, No. 1, March 1984; pp. 54–65; errata noted in Vol 26, No. 2, June 1986, pp. 153–154.

The strain gage manufacturer should be consulted regarding surface preparation guidelines and recommended bonding agents for composites pending the development of a set of standard practices for strain gage installation surface preparation of fiber-reinforced composite materials.

7.3.1.2 Consideration should be given to the selection of gages having larger resistances to reduce heating effects on low-conductivity materials. Resistances of 350 Ω or higher are preferred. Additional consideration should be given to the use of the minimum possible gage excitation voltage consistent with the desired accuracy (1 to 2 V is recommended) to reduce further the power consumed by the gage. Heating of the coupon by the gage may affect the performance of the material directly, or it may affect the indicated strain as a result of a difference between the gage temperature compensation factor and the coefficient of thermal expansion of the coupon material.

7.3.1.3 Consideration of some form of temperature compensation is recommended, even when testing at standard laboratory atmosphere. Temperature compensation is required when testing in nonambient temperature environments.

7.3.1.4 Consideration should be given to the transverse sensitivity of the selected strain gage. The strain gage manufacturer should be consulted for recommendations on transverse sensitivity corrections and effects on composites. This is particularly important for a transversely mounted gage used to determine Poisson's ratio, as discussed in Note 11.

7.3.2 Extensometers—For most purposes, the extensometer gage length should be in the range of 10 to 50 mm [0.5 to 2.0 in.]. Extensometers shall satisfy, at a minimum, Practice E 83, Class B-1 requirements for the strain range of interest and shall be calibrated over that strain range in accordance with Practice E 83. For extremely stiff materials, or for measurement of transverse strains, the fixed error allowed by Class B-1 extensometers may be significant, in which case Class A extensometers should be considered. The extensometer shall be essentially free of inertia lag at the specified speed of testing, and the weight of the extensometer should not induce bending strains greater than those allowed in 6.3.

NOTE 3—It is generally less difficult to perform strain calibration on extensometers of longer gage length as less precision in displacement is required of the extensometer calibration device.

7.4 Conditioning Chamber—When conditioning materials at nonlaboratory environments, a temperature/vaporlevel-controlled environmental conditioning chamber is required that shall be capable of maintaining the required temperature to within $\pm 3^\circ\text{C}$ [$\pm 5^\circ\text{F}$] and the required relative vapor level to within $\pm 3\%$. Chamber conditions shall be monitored either on an automated continuous basis or on a manual basis at regular intervals.

7.5 Environmental Test Chamber—An environmental test chamber is required for test environments other than ambient testing laboratory conditions. This chamber shall be capable of maintaining the gage section of the test specimen at the required test environment during the mechanical test.

Figura AI.4. Norma ASTM D3039 para ensayos de tracción
(Normativa ASTM D3039)

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

Figura AI.5. Norma ASTM D3039 para ensayos de tracción (Normativa ASTM D3039)


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, ⁹
0° unidirectional	15 [0.5]	250 [10.0]	1.0 [0.040]	56 [2.25]	1.5 [0.062]	7 or 90
90° unidirectional	25 [1.0]	175 [7.0]	2.0 [0.080]	25 [1.0]	1.5 [0.062]	90
balanced and symmetric	25 [1.0]	250 [10.0]	2.5 [0.100]	emery cloth	—	—
random-discontinuous	25 [1.0]	250 [10.0]	2.5 [0.100]	emery cloth	—	—

^ADimensions 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:

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

where:

L_{\min} = minimum required bonded tab length, mm [in.];
 F^{tu} = ultimate tensile strength of coupon material, MPa [psi];
 h = coupon thickness, mm [in.]; and
 F^{su} = ultimate shear strength of adhesive, coupon material, or tab material (whichever is lowest), MPa [psi].

8.2.2.7 Bonded Tab Adhesive—Any high-elongation (tough) adhesive system that meets the environmental requirements may be used when bonding tabs to the material under test. A uniform bondline of minimum thickness is desirable to reduce undesirable stresses in the assembly.

8.2.3 Detailed Examples—The minimum requirements for specimen design discussed in 8.2.1 are by themselves insufficient to create a properly dimensioned and toleranced coupon drawing. Dimensionally toleranced specimen drawings for both tabbed and untabbed forms are shown as examples in Fig. 2 (SI) and Fig. 3 (inch-pound). The tolerances on these drawings are fixed, but satisfy the requirements of Table 1 for all of the recommended configurations of Table 2. For a specific configuration, the tolerances on Fig. 2 and Fig. 3 might be able to be relaxed.

8.3 Specimen Preparation:

8.3.1 Panel Fabrication—Control of fiber alignment is critical. Improper fiber alignment will reduce the measured

properties. Erratic fiber alignment will also increase the coefficient of variation. The specimen preparation method shall be reported.

8.3.2 Machining Methods—Specimen preparation is extremely important for this specimen. Mold the specimens individually to avoid edge and cutting effects or cut from them plates. If they are cut from plates, take precautions to avoid notches, undercuts, rough or uneven surfaces, or delaminations caused by inappropriate machining methods. Obtain final dimensions by water-lubricated precision sawing, milling, or grinding. The use of diamond tooling has been found to be extremely effective for many material systems. Edges should be flat and parallel within the specified tolerances.

8.3.3 Labeling—Label the coupons so that they will be distinct from each other and traceable back to the raw material and in a manner that will both be unaffected by the test and not influence the test.

9. Calibration

9.1 The accuracy of all measuring equipment shall have certified calibrations that are current at the time of use of the equipment.

10. Conditioning

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

11. Procedure

11.1 Parameters To Be Specified Before Test:

11.1.1 The tension specimen sampling method, coupon type and geometry, and conditioning travelers (if required).

11.1.2 The tensile properties and data reporting format desired.

NOTE 5—Determine specific material property, accuracy, and data reporting requirements before test for proper selection of instrumentation and data-recording equipment. Estimate operating stress and strain levels to aid in transducer selection, calibration of equipment, and determination of equipment settings.

11.1.3 The environmental conditioning test parameters.

11.1.4 If performed, the sampling method, coupon geometry, and test parameters used to determine density and reinforcement volume.

11.2 General Instructions:

11.2.1 Report any deviations from this test method, whether intentional or inadvertent.

⁹E-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.

Figura AI.6. Norma ASTM D3039 para ensayos de tracción
(Normativa ASTM D3039)


D 3039/D 3039M – 00e1

- DRAWING NOTE**
1. ALL DIMENSIONS ARE IN MILLIMETRES UNLESS OTHERWISE INDICATED BY THE FOLLOWING.
 2. ALL DIMENSIONS SHALL BE METRES WITH DECIMAL TOLERANCES AS FOLLOWS:

NO. OF ZEROS	X	XX
+1	+1	+1
 3. ALL ANGLES HAVE TOLERANCE OF $\pm 0.5^\circ$.
 4. ALL ORIENTATION DIRECTIONS TOLERANCE RELATIVE TO Z (WITHIN $\pm 5^\circ$).
 5. DITCH OR MACHINING LIMITS NOT TO EXCEED 100 μ M (CYLINDRICAL IN ACCORDANCE WITH ASA B92) WITH SURFACES HEIGHT IN MICROMETRES.)
 6. VALUES TO BE PROVIDED FOR THE FOLLOWING SUBJECT TO ANY RANGES SHOWN ON THE FIELD OF DRAWING: MATERIAL, TAB 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 BONDING ALLOWED IN THIS AREA.

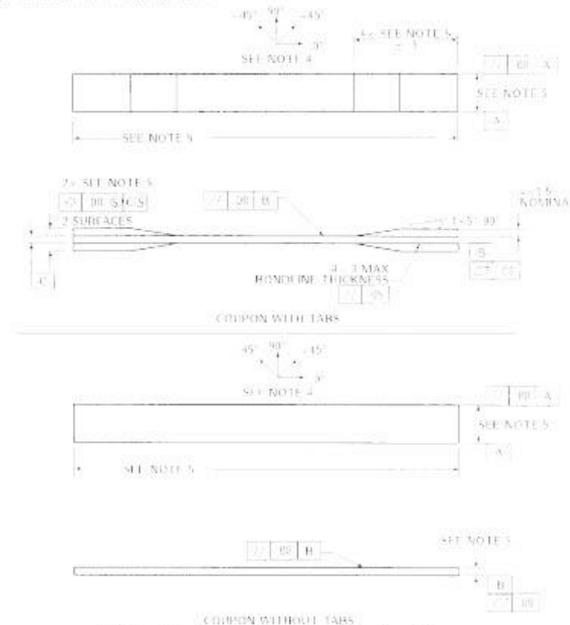


FIG. 2 Tension Test Specimen Drawing (SI)

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

Figura AI.7. Norma ASTM D3039 para ensayos de tracción (Normativa ASTM D3039)


D 3039/D 3039M – 00^{e1}

DRAWING NOTES:

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

X	.XX	.XXX
± .1	± .03	± .01
3. ALL ANGLES HAVE TOLERANCE OF $\pm 5^\circ$.
4. PLY ORIENTATION DIRECTION TOLERANCE RELATIVE TO [A] WITHIN $\pm 5^\circ$.
5. FINISH ON MACHINED EDGES NOT TO EXCEED 64 $\sqrt{}$ (SYMBOLOLOGY IN ACCORDANCE WITH ASA B46.1, WITH ROUGHNESS F-EIGHT IN MICROINCHES.)
6. VALUES TO BE PROVIDED FOR THE FOLLOWING, SUBJECT TO ANY RANGES SHOWN ON THE FIELD OF DRAWING: MATERIAL, LAY-UP, PLY ORIENTATION REFERENCE RELATIVE TO [A], OVERALL LENGTH, GAGE LENGTH, COUPON THICKNESS, TAB MATERIAL, TAB THICKNESS, TAB LENGTH, TAB REVEL ANGLE, TAB ADHESIVE.
7. NO ADHESIVE BUILDUP ALLOWED IN THIS AREA.

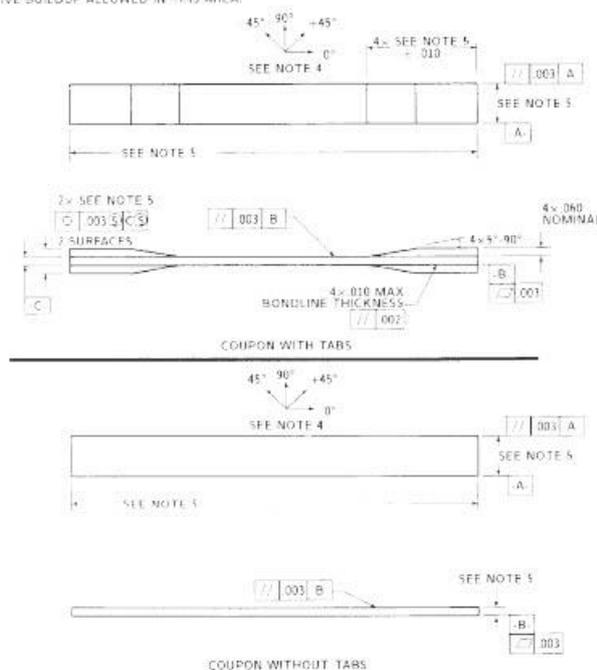


FIG. 3 Tension Test Specimen Drawing (inch-pound)

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 sensation 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


D 3039/D 3039M – 00^{e1}
TABLE 3 Specimen Alignment and Chord Modulus Calculation Strain Ranges

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

^A 1000 $\mu\epsilon = 0.001$ absolute strain.

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

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

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

where:

ϵ_f = indicated strain from front transducer, $\mu\epsilon$;
 ϵ_b = indicated strain from back transducer, $\mu\epsilon$; and
 B_p = 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.

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

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

where:

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

12.2 *Tensile Strain/Ultimate Tensile Strain*—If tensile modulus or ultimate tensile strain is to be calculated, and material response is being determined by an extensometer, determine the tensile strain from the indicated displacement at each required data point using Eq 8 and report the results to three significant figures.

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

where:

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

12.3 Tensile Modulus of Elasticity:

NOTE 9—To minimize potential effects of bending it is recommended that the strain data used for modulus of elasticity determination be the average of the indicated strains from each side of the specimen, as discussed in 7.3 and 11.6.

12.3.1 *Tensile Chord Modulus of Elasticity*—Select the appropriate chord modulus strain range from Table 3. Calculate the tensile chord modulus of elasticity from the stress-strain data using Eq 9. If data is not available at the exact strain range end points (as often occurs with digital data), use the closest available data point. Report the tensile chord modulus of elasticity to three significant figures. Also report the strain range used in the calculation. A graphical example of chord modulus is shown in Fig. 5.

12.3.1.1 The tabulated strain ranges should only be used for materials that do not exhibit a transition region (a significant change in the slope of the stress-strain curve) within the given strain range. If a transition region occurs within the recommended strain range, then a more suitable strain range shall be used and reported.

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

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 – 00c1

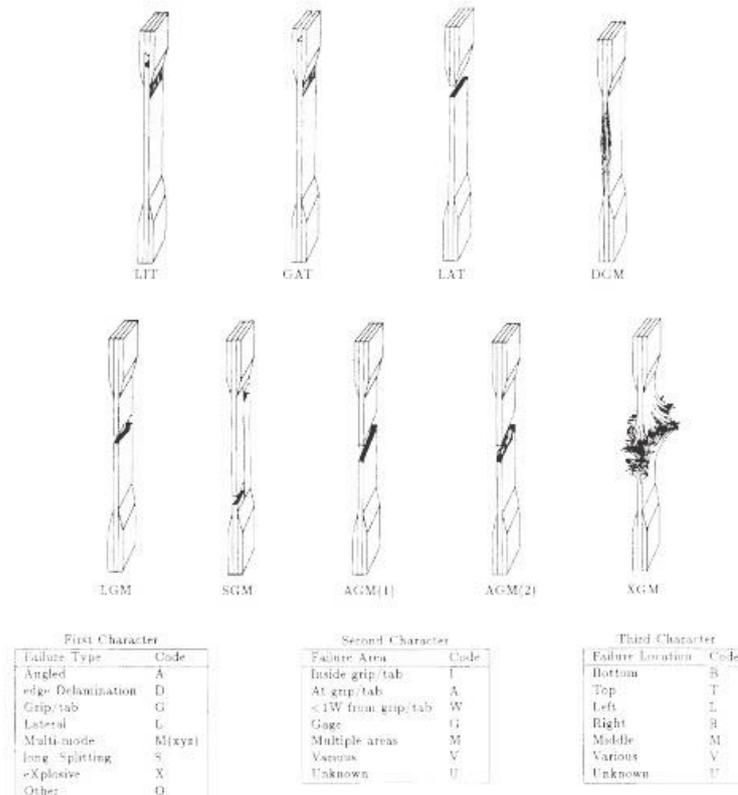


FIG. 4 Tensile Test Failure Codes/Typical Modes

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

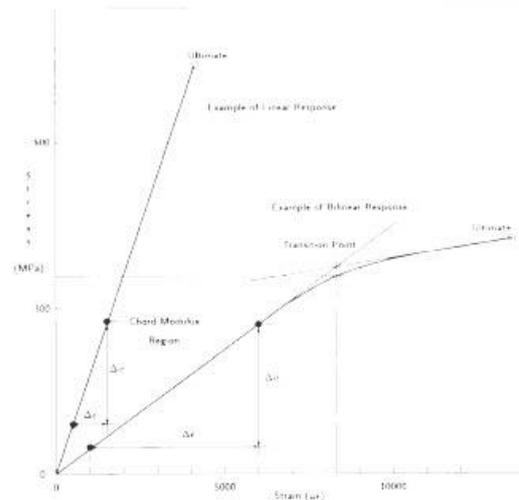


FIG. 5 Typical Tensile Stress-Strain Curves

Figura AI.10. Norma ASTM D3039 para ensayos de tracción (Normativa ASTM D3039)


D 3039/D 3039M – 00^{e1}

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;

$\Delta\epsilon_l$ = difference in lateral strain between the two longitudinal strain points of Table 3, $\mu\epsilon$; and

$\Delta\epsilon_t$ = 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 area 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-63501-6 uni-tape (0)n
B	IM-63501-6 uni-tape (90)n
C	IM-63501-6 uni-tape (90/0)n
F	Glass/epoxy fabric (7781 glass/Ciba R. 7376 Epoxy)- warp aligned
G	Carbon/epoxy fabric (66108 carbon/Ciba R. 6376

TABLE 4 Precision Statistics

Material	\bar{x}	$s \bar{x}$	S_r	S_R	$S_r/\bar{x}, \%$	$S_R/\bar{x}, \%$
Strength, ksi						
A	342.69	8.49	10.68	12.78	3.12	3.73
B	8.52	0.52	0.85	0.92	9.94	10.84
C	156.37	3.84	10.85	10.85	6.94	6.94
F	66.18	3.20	1.52	3.48	2.30	5.26
G	121.52	1.59	3.82	3.92	3.23	3.23
Modulus, Msi						
A	23.57	0.65	0.63	0.66	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	2.08
Failure Strain, %						
A	1.36	0.06	0.07	0.08	4.95	6.15
B	0.66	0.04	0.08	0.09	12.47	13.02
C	1.22	0.03	0.06	0.06	5.25	5.27
F	2.04	0.15	0.07	0.16	3.19	8.03
G	1.27	0.03	0.05	0.05	3.83	4.13

14.1.8 The averages of the coefficients of variation are in Table 5. The values of S_r/\bar{x} and S_R/\bar{x} represent the repeatability and the reproducibility coefficients of variation, respectively. These averages permit a relative comparison of the repeatability (within laboratory precision) and reproducibility (between laboratory precision) of the tension test parameters. Overall, this indicates that the failure strain measurements exhibit the least repeatability and reproducibility of all the parameters measured while modulus was found to provide the highest repeatability and reproducibility of the parameters measured.

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

Figura AI.12. Norma ASTM D3039 para ensayos de tracción
(Normativa ASTM D3039)


D 3039/D 3039M – 00^{e1}
TABLE 5 Averages of the Coefficients of Variation

Parameter	Average of S_i/X_i , %	Average of S_{ij}/X_i , %
Strength	5.11	6.00
Modulus	2.22	3.22
Failure strain	5.94	7.32

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

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

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

15. Keywords

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

ASTM International takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.

This standard is copyrighted by ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org).

ANEXO II

NORMA ASTM D7264 PARA ENSAYOS DE FLEXIÓN EN 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 reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

1. Scope

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

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

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

NOTE 1—Unlike Test Method D 6272, which allows loading at both one-third and one-half of the support span, in order to standardize geometry and simplify calculations this standard permits loading at only one-half the support span.

1.2 For comparison purposes, tests may be conducted according to either test procedure, provided that the same procedure is used for all tests, since the two procedures generally give slightly different property values.

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

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

2. Referenced Documents

2.1 *ASTM Standards:*²

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

Polymer Matrix Composite Materials and Their Laminates
D 3878 Terminology for Composite Materials

D 5229/D 5229M Test Method for Moisture Absorption Properties and Equilibrium Conditioning of Polymer Matrix Composite Materials

D 5687/D 5687M Guide for Preparation of Flat Composite Panels with Processing Guidelines for Specimen Preparation

D 6272 Test Method for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials by Four-Point Bending

D 6856 Guide for Testing Fabric-Reinforced “Textile” Composite Materials

E 4 Practices for Force Verification of Testing Machines

E 6 Terminology Relating to Methods of Mechanical Testing

E 18 Test Methods for Rockwell Hardness and Rockwell Superficial Hardness of Metallic Materials

E 122 Practice for Calculating Sample Size to Estimate, With a Specified Tolerable Error, the Average for a Characteristic of a Lot or Process

E 177 Practice for Use of the Terms Precision and Bias in ASTM Test Methods

E 456 Terminology Relating to Quality and Statistics

E 1309 Guide for Identification of Fiber-Reinforced Polymer-Matrix Composite Materials in Databases

E 1434 Guide for Recording Mechanical Test Data of Fiber-Reinforced Composite Materials in Databases

2.2 *Other Documents:*

ANSI Y14.5-1999 Dimensioning and Tolerancing—Includes Inch and Metric³

ANSI B46.1-1995 Surface Texture (Surface Roughness, Waviness and Lay)³

3. Terminology

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

¹ This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee D30 on Composite Materials and is the direct responsibility of Subcommittee D30.04 on Lamina and 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 para ensayos de flexión (Normativa ASTM D7262)


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_p = 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

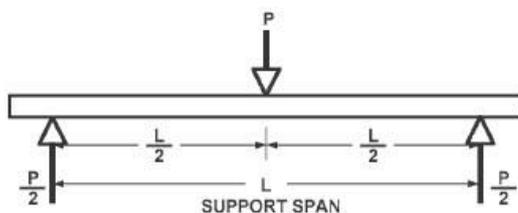


FIG. 1 Procedure A—Loading Diagram

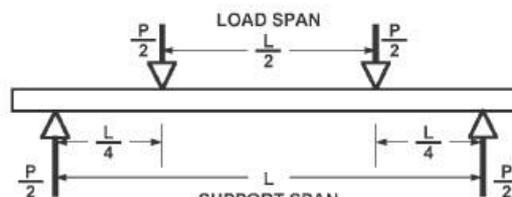


FIG. 2 Procedure B—Loading Diagram

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.

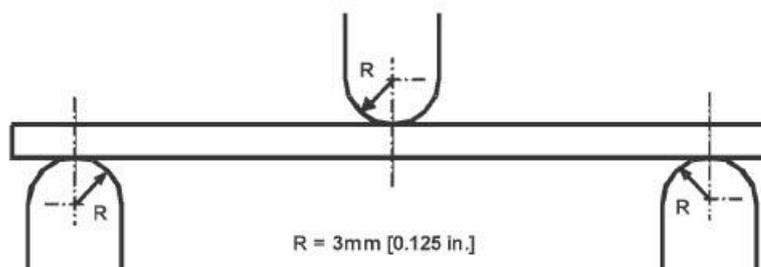
6.4 Loading noses may be fixed, rotatable or rolling. Typically, for testing composites, fixed or rotatable loading noses are used. The type of loading nose can affect results, since non-rolling paired supports on either the tension or compression side of the specimen introduce slight longitudinal forces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

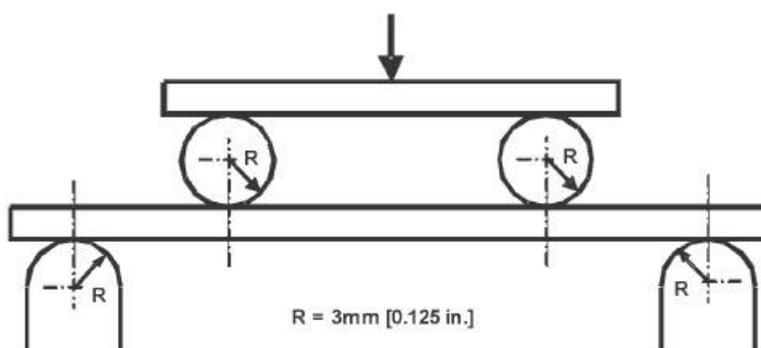
7. Apparatus

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)

Figura AII.3. Norma ASTM D7264 para ensayos de flexión (Normativa ASTM D7262)


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

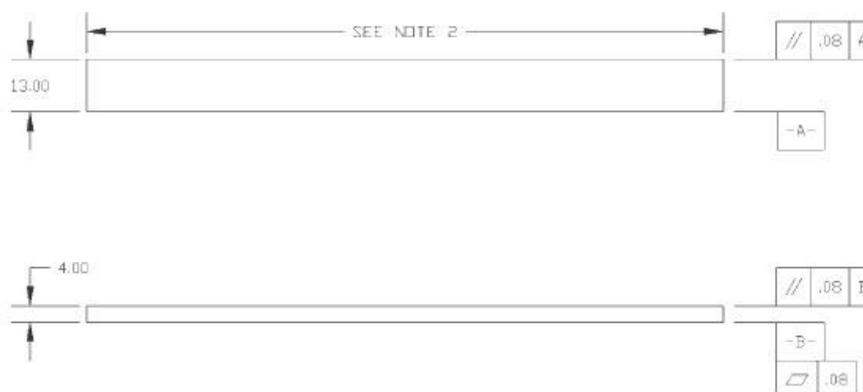
within $\pm 3^\circ\text{C}$ [$\pm 5^\circ\text{F}$] and the required vapor level to within ± 5 % relative humidity.

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)

Figura AII.4. Norma ASTM D7264 para ensayos de flexión (Normativa ASTM D7262)


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 para ensayos de flexión (Normativa ASTM D7262)


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 homogenous, elastic material is tested in flexure as a

beam simply supported at two points and loaded at the midpoint, the maximum stress at the outer surface occurs at mid-span. The stress may be calculated for any point on the load-deflection curve by the following equation (Note 6):

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

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 ½ the support span and at equal distance from the adjacent support point, the maximum stress at the outer surface occurs between the two central loading points that define the load span (Fig. 2). The stress 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

Figura AII.6. Norma ASTM D7264 para ensayos de flexión (Normativa ASTM D7262)

 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:

$$\epsilon = \frac{4.368\delta h}{L^2} \quad (4)$$

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.³ 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.

³ 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.

Figura AII.7. Norma ASTM D7264 para ensayos de flexión (Normativa ASTM D7262)



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

Figura AII.8. Norma ASTM D7264 para ensayos de flexión
(Normativa ASTM D7262)



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.

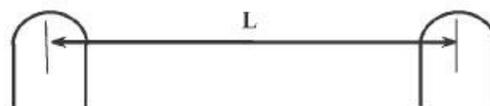


FIG. A1.1 Markings on Fixed Specimen Supports

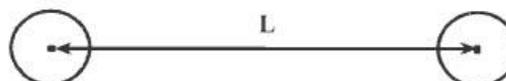


FIG. A1.2 Markings on Rotatable Specimen Supports

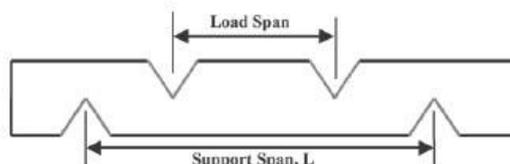


FIG. A1.3 Fixture Used to Align Loading Noses and Supports


D 7264/D 7264M – 07
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').

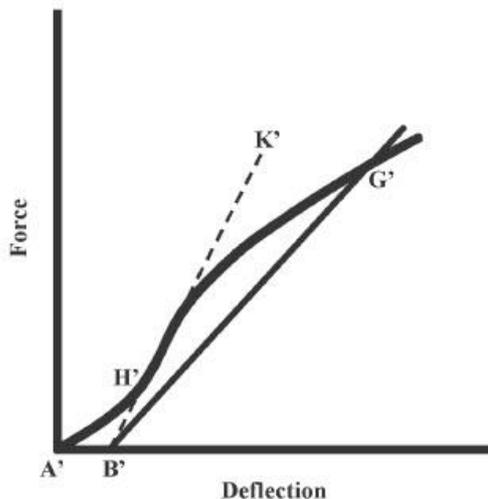


FIG. A2.2 Material without a Hookean Region

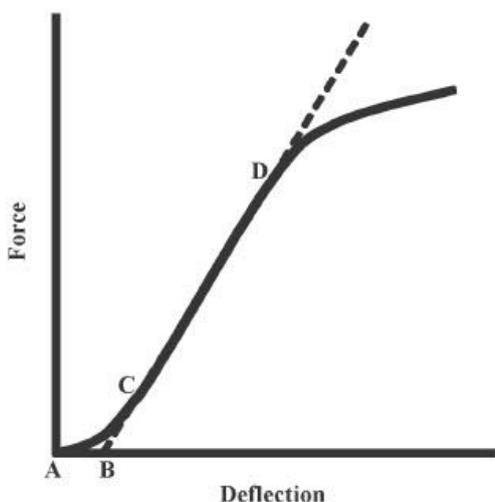


FIG. A2.1 Material with a Hookean Region

 **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 19428-2950, 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 AII.11. Norma ASTM D7264 para ensayos de flexión
(Normativa ASTM D7262)

ANEXO III

NORMA ASTM D5628 PARA ENSAYOS DE TRACCIÓN EN 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 Bruce-ton 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 Sensors⁵
 - 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.

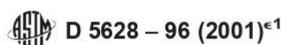
⁵ Annual Book of ASTM Standards, Vol 08.04.

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 para ensayos de impacto
(Normativa ASTM D5628)



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 (tup) that, when dropped on the test specimens from a standard height, will cause 50 % failures.

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

4. Summary of Test Method

4.1 A free-falling dart (tup) is allowed to strike a supported specimen directly. Either a dart having a fixed mass 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 tup and test specimen geometries to obtain different modes of failure, permit easier sampling, or test limited amounts of material. There is no known means for correlating the results of tests made by different impact methods or procedures.

5. Significance and Use

5.1 Plastics are viscoelastic and therefore 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.

5.3.1 The conical configuration of the 12.7-mm diameter tup used in Geometry FB minimizes problems with tup penetration and sticking in failed specimens of some ductile materials.

5.4 The test conditions of Geometry FC are the same as those of Test Method A of Test Method 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 tup must be somewhat arbitrary. While any one of the tup 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.

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

Figura AIII.2. Norma ASTM D5628 para ensayos de impacto (Normativa ASTM D5628)

D 5628 – 96 (2001)^{e1}

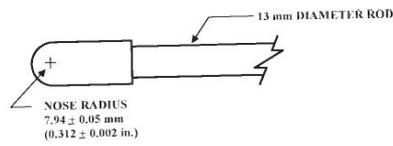


FIG. 1 (a)

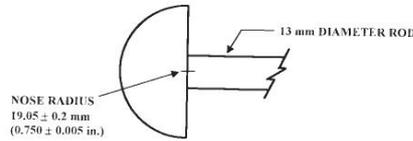
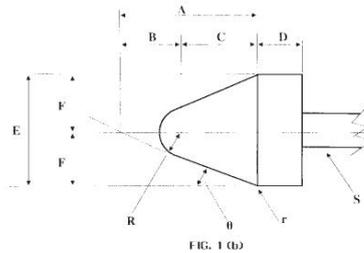


FIG. 1 (c)

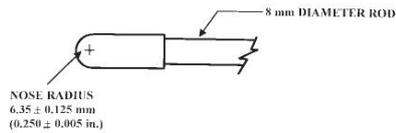


FIG. 1 (d)

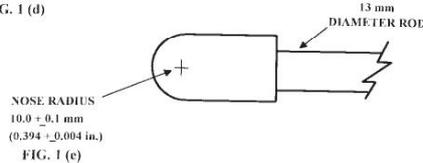


FIG. 1 (e)

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) ⁴	6.4	0.25
θ	25 ± 1°	25 ± 1°

⁴ 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 para ensayos de impacto (Normativa ASTM D5628)

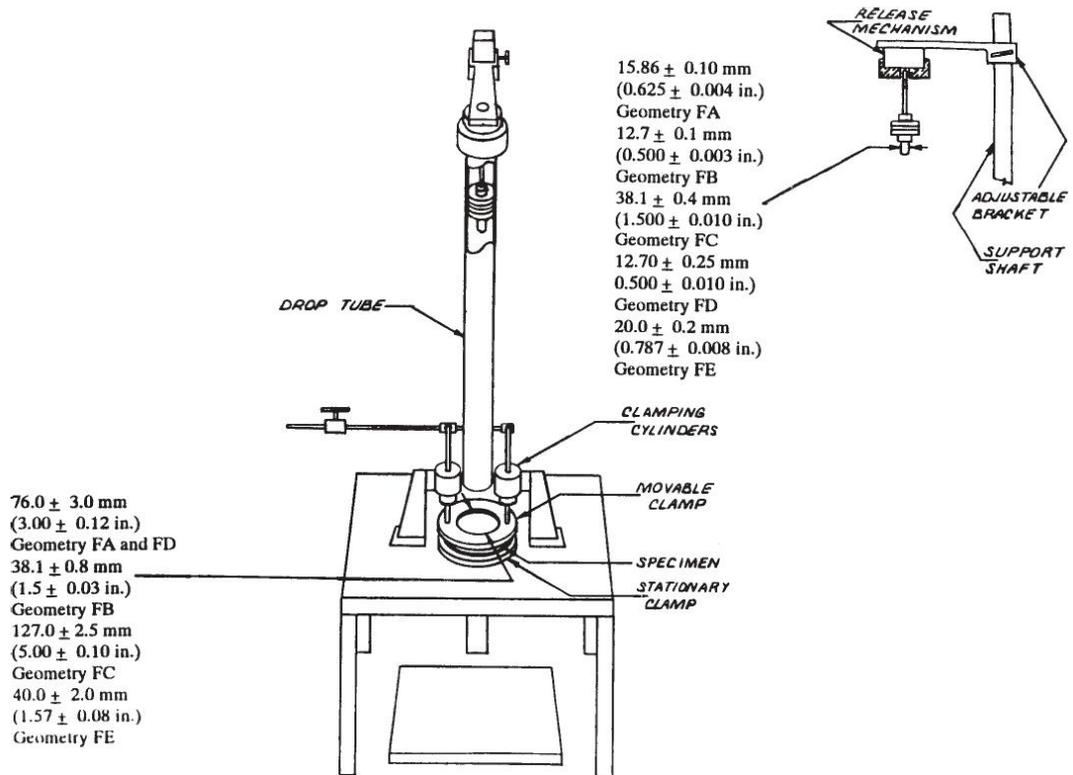


FIG. 2 One Type of Falling Mass Impact Tester

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

7.1.1 *Specimen Clamp*—For flat specimens, a two-piece annular specimen clamp 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.).

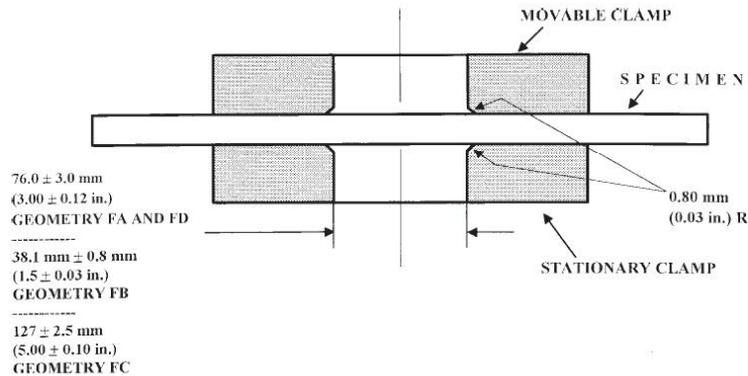


FIG. 3 Support Plate/Specimen/Clamp Configuration for Geometries FA, FB, FC, and FD

Figura AIII.4. Norma ASTM D5628 para ensayos de impacto (Normativa ASTM D5628)


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

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

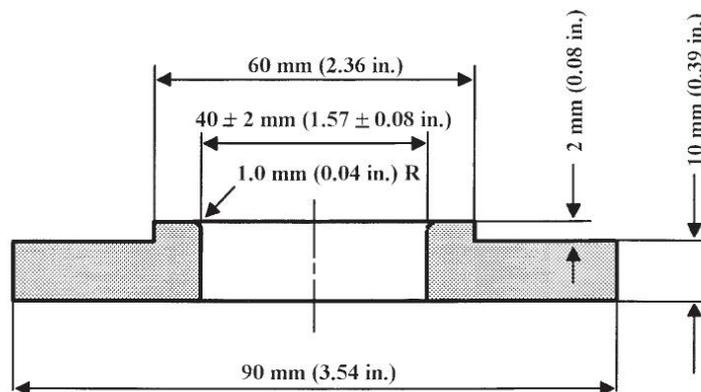


FIG. 4 Test-Specimen Support for Geometry FE

Figura AIII.5. Norma ASTM D5628 para ensayos de impacto (Normativa ASTM D5628)


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)€1

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

In calculating w or h , the negative sign is used when the events are failures. The positive sign is used when the events are non-failures. Refer to the example in Appendix X1.

13.3 *Mean-Failure Energy*—Compute the mean-failure energy as follows: $MFE = hwf$

where:

- MFE = mean-failure energy, J,
- h = mean-failure height or constant height as applicable, mm
- w = mean-failure mass or constant mass as applicable, kg, and
- f = factor for conversion to joules.

Use $f = 9.80665 \times 10^{-3}$ if $h = \text{mm}$ and $w = \text{kg}$.

13.4 *Estimated Standard Deviation of the Sample*—If desired for record purposes, the estimated standard deviation of the sample for either variable mass or variable height can be calculated as follows:

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

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

where:

Figura AIII.7. Norma ASTM D5628 para ensayos de impacto (Normativa ASTM D5628)


D 5628 – 96 (2001)^{e1}

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

$$B = \sum_{i=0}^k i^2 n_i \quad (5)$$

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

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

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

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 X1.

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

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

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

or

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

where:

S_{MFE} = estimated standard deviation of the mean-failure energy.

14. Report

14.1 Report the following information:

14.1.1 Complete identification of the sample tested, including type of material, source, manufacturer's code, form, principal dimensions, and previous history,

14.1.2 Method of preparation of specimens,

14.1.3 Whether surface of the specimen is smooth or textured, the level of and type of texture if known, and whether texture is on only one or both surfaces,

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 RR-D 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.
 $r = 2.83 V_r$.

Figura AIII.8. Norma ASTM D5628 para ensayos de impacto (Normativa ASTM D5628)

 D 5628 – 96 (2001)^{e1}

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 (Bruceton 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>in₁</i>	<i>i²n₁</i>
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20						
9.00						X															1	0	2	1	2	4
8.00					O		X		X			X		X							4	1	1	4	4	4
7.00		X		O				O		X		O		O		X		X		O	4	5	0	4	0	0
6.00	O		O							O							O		O		0	5				
Totals																					9	11		9	6	8
																					<i>(N_x)</i>	<i>(N_o)</i>		<i>(N)</i>	<i>(A)</i>	<i>(B)</i>

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

Figura AIII.9. Norma ASTM D5628 para ensayos de impacto (Normativa ASTM D5628)


D 5628 – 96 (2001)^{e1}
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.

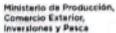
This standard is copyrighted by ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org).

Figura AIII.10. Norma ASTM D5628 para ensayos de impacto
(Normativa ASTM D5628)

ANEXO IV

RESULTADOS DEL ENSAYO DE 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°: 040185322120221124-ETC.			
DATOS DEL CLIENTE			
Empresa/Cliente: William Orlando Chiles Ruano.			
Dirección: Ibarra.			
Núm. de cédula/RUC: 0401853221.	Teléfono: +593987242772.		
E-mail: wochilesr@utn.edu.ec.			
DATOS INFORMATIVOS			
Laboratorio: Resistencia de Materiales.			
Designación del material: Material compuesto de Matriz de Resina Poliéster con refuerzo de fibra tejida y suelta de yute utilizado en la fabricación de guardabarros de vehículo.			
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	Configuración	Probetas a Ensayar
1	040185322120221124-ETC 01	Dirección de fibra 90° Tejida	6
2	040185322120221124-ETC 02	Dirección de fibra 45° Tejida	6
3	040185322120221124-ETC 03	Fibra suelta 25%	6
Total			18
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
Tungurahua
Juntos lo logramos



CONSORCIO DE CÁMARAS Y
ASOCIACIONES DE LA PRODUCCIÓN
DE TUNGURAHUA



GOBIERNO PROVINCIAL
TUNGURAHUA



Centro de Fomento Productivo
Metalmeccánico Carrocero
Provincia de Tungurahua

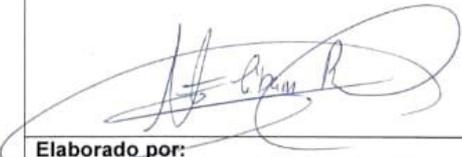
Figura AIV.1. Resultados del ensayo a tracción

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	040185322120221124-ETC 01-1	Cumple criterios dimensionales	2022/11/24
2	040185322120221124-ETC 01-2	Cumple criterios dimensionales	2022/11/24
3	040185322120221124-ETC 01-3	Cumple criterios dimensionales	2022/11/24
4	040185322120221124-ETC 01-4	Cumple criterios dimensionales	2022/11/24
5	040185322120221124-ETC 01-5	Cumple criterios dimensionales	2022/11/24
6	040185322120221124-ETC 01-6	Cumple criterios dimensionales	2022/11/24
7	040185322120221124-ETC 02-1	Cumple criterios dimensionales	2022/11/24
8	040185322120221124-ETC 02-2	Cumple criterios dimensionales	2022/11/24
9	040185322120221124-ETC 02-3	Cumple criterios dimensionales	2022/11/24
10	040185322120221124-ETC 02-4	Cumple criterios dimensionales	2022/11/24
11	040185322120221124-ETC 02-5	Cumple criterios dimensionales	2022/11/24
12	040185322120221124-ETC 02-6	Cumple criterios dimensionales	2022/11/24
13	040185322120221124-ETC 03-1	Cumple criterios dimensionales	2022/11/24
14	040185322120221124-ETC 03-2	Cumple criterios dimensionales	2022/11/24
15	040185322120221124-ETC 03-3	Cumple criterios dimensionales	2022/11/24
16	040185322120221124-ETC 03-4	Cumple criterios dimensionales	2022/11/24
17	040185322120221124-ETC 03-5	Cumple criterios dimensionales	2022/11/24
18	040185322120221124-ETC 03-6	Cumple criterios dimensionales	2022/11/24

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	

Ministerio de Producción,
Comercio Exterior,
Inversiones y Pesca



Gobierno
Juntos lo logramos

CONSORCIO DE CÁMARAS Y
ASOCIACIONES DE LA PRODUCCIÓN
DE TUNGURAHUA



Centro de Fomento Productivo
Metalmeccánico Carrocero
Provincia de Tungurahua

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°: 040185322120221124-ETC.			
DATOS GENERALES			
N° de proforma: RM_2022_028.			
Empresa/Cliente: William Orlando Chiles Ruano.			
RUC/C.I.: 0401853221.	Teléfono: +593987242772.		
Dirección: Ibarra.			
Correo: wochilesr@utn.edu.ec.			
DATOS DEL ENSAYO:			
Lugar de Ejecución del Ensayo: Laboratorio de Resistencia de Materiales.			
Dirección: Santo Domingo y Río de Janeiro, Ambato/Catigata.			
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 50 KN.			
Modelo: MTE-50	Serie: 8802M002.		
Velocidad de ensayo: 5 mm/min.	Precarga: 0 N.		
Fecha de Inicio de Ensayo: 2022/12/06.	Fecha de Finalización de Ensayo: 2022/12/06.		
Los resultados obtenidos en el presente informe corresponden a ensayos realizados en <i>probetas de material compuesto de Matriz de Resina Poliéster con refuerzo de fibra tejida y suelta de yute utilizado en la fabricación de guardabarros de vehículo</i> . Las probetas fueron recibidas en el Laboratorio de Resistencia de Materiales del Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero de la provincia de Tungurahua.			
OBJETOS DE ENSAYO			
Número de Probetas cuantificadas:			
N°	Identificación de probetas	Configuración	Probetas a Ensayar
1	040185322120221124-ETC 01	Dirección de fibra 90° Tejida	6
2	040185322120221124-ETC 02	Dirección de fibra 45° Tejida	6
3	040185322120221124-ETC 03	Fibra suelta 25%	6
Total			18
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 CFPMPCT.	Revisado por: Ing. David Romero C. Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMPCT.	Aprobado por: Ing. Luis Mayorga MEng. Gestor Integral de Operaciones CFPMPCT.

Lugar y fecha de emisión de informe: Ambato, 09 de diciembre de 2022.

N° de factura: 001-001-000000059.



Figura AIV.3. Resultados del ensayo a tracción

ENSAYO DE TRACCIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS

Código: CF-AE-RMARG-004
 Fecha de Elaboración: 2016-05-11
 Fecha de última aprobación: 2022-02-04
 Revisión: 8

RESULTADOS:

N°	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones mm		Fuerza máxima (N)	Esfuerzo máximo de tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (Calculado) (MPa)	Desplazamiento mm.	% Elongación (Calculado)	Tipo de falla evaluado
				Ancho	Espesor						
1	040185322120221124-ETC 01-1	23,1	49,1	26,26	2,83	2330,12	31,35	895,84	4,900	3,500	LGM
2	040185322120221124-ETC 01-2			25,78	3,35	1812,09	20,98	1029,62	2,853	2,038	LGM
3	040185322120221124-ETC 01-3			27,59	3,59	2036,10	20,56	794,57	3,622	2,587	LAB
4	040185322120221124-ETC 01-4			27,49	3,23	1904,10	21,44	1021,51	2,939	2,099	LAB
5	040185322120221124-ETC 01-5			26,04	2,89	2374,12	31,55	935,93	4,719	3,371	AGT
6	040185322120221124-ETC 01-6			27,31	3,02	2240,11	27,16	978,51	3,886	2,776	LAB
				Promedio \bar{x}		2116,107	25,508	942,663	3,820	2,728	
				Desviación estándar S_{n-1}		233,034	5,194	88,581	0,864	0,617	
				Coeficiente de variación CV		0,110	0,204	0,094	0,226	0,226	

N°	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones mm		Fuerza máxima (N)	Esfuerzo máximo de tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (Calculado) (MPa)	Desplazamiento mm.	% Elongación (Calculado)	Tipo de falla evaluado
				Ancho	Espesor						
7	040185322120221124-ETC 02-1	24,5	46,2	26,26	2,87	1738,09	23,06	855,73	3,773	2,695	LGB
8	040185322120221124-ETC 02-2			23,52	2,95	1334,07	19,23	813,24	3,310	2,364	LGT
9	040185322120221124-ETC 02-3			23,34	3,06	1186,06	16,61	752,90	3,088	2,206	LAB
10	040185322120221124-ETC 02-4			25,21	3,21	1738,09	21,48	903,52	3,328	2,377	LGM
11	040185322120221124-ETC 02-5			24,95	3,11	1474,07	19,00	778,57	3,416	2,440	LGT
12	040185322120221124-ETC 02-6			24,68	3,28	1544,08	19,07	888,66	3,005	2,146	LGM
				Promedio \bar{x}		1502,410	19,741	832,103	3,320	2,371	
				Desviación estándar S_{n-1}		220,021	2,242	60,585	0,271	0,194	
				Coeficiente de variación CV		0,146	0,114	0,073	0,082	0,082	



Figura AIV.4. Resultados del ensayo a tracción

N°	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones mm		Fuerza máxima (N)	Esfuerzo máximo de tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (Calculado) (MPa)	Desplazamiento mm.	% Elongación (Calculado)	Tipo de falla evaluado	
				Ancho	Espesor							
13	040185322120221124-ETC 03-1			25,23	3,85	1340,07	13,80	682,24	2,831	2,022	LGT	
14	040185322120221124-ETC 03-2			25,85	3,88	2320,12	23,13	881,47	3,674	2,624	LGB	
15	040185322120221124-ETC 03-3	25,2	42,6	25,79	4,01	1458,07	14,10	729,70	2,705	1,932	LGT	
16	040185322120221124-ETC 03-4			24,81	3,89	1922,10	19,92	775,58	3,595	2,568	LGT	
17	040185322120221124-ETC 03-5			26,64	3,99	1824,09	17,16	780,80	3,077	2,198	LAT	
18	040185322120221124-ETC 03-6			25,53	4,04	2682,13	26,00	921,44	3,951	2,822	LGT	
				Promedio \bar{x}		1924,430	19,018	795,206	3,306		2,361	
				Desviación estándar S_{n-1}		509,847	4,929	90,578	0,505		0,361	
				Coeficiente de variación CV		0,265	0,259	0,114	0,153		0,153	

Nomenclatura:

Tipo de falla evaluado: El tipo de falla evaluado se lo realiza mediante los criterios de la norma ASTM D3039-2017.

Primer caracter	Tipo de falla	Segundo caracter	Área de la falla	Tercer caracter	Localización de falla
L	Lateral	A	En el agarre	T	Parte superior
M	Multimodo	I	Dentro del agarre	B	Parte Interior
A	Angular	G	Zona calibrada	M	Medio



Figura AIV.5. Resultados del ensayo a tracción

HOJA DE ALMACENAMIENTO DE MUESTRAS

Informe N°: 040185322120221124-ETC.

DATOS DEL CLIENTE

Empresa/Cliente: William Orlando Chiles Ruano.

Dirección: Ibarra.

Núm. de cédula/RUC: 0401853221.

E-mail: wochilesr@utn.edu.ec.

Teléfono: +593987242772.

DATOS INFORMATIVOS

Laboratorio: Resistencia de Materiales.

Designación del material: Material compuesto de Matriz de Resina Poliéster con refuerzo de fibra tejida y suelta de yute utilizado en la fabricación de guardabarros de vehículo.

Método de ensayo: ASTM D3039/D3039M-17. Método de prueba estándar para propiedades de tracción de materiales compuestos de matriz polimérica.

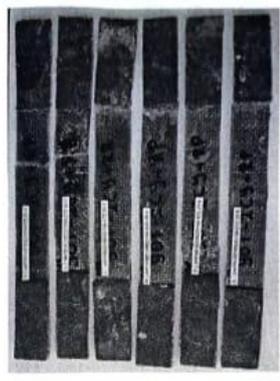
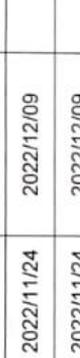
N°	IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	FECHA INGRESO	FECHA ELIMINACIÓN	RESPONSABLE	OBSERVACIONES	EVIDENCIAS
1	040185322120221124-ETC 01-1	2022/11/24	2022/12/09	Cliente	Se entrega al cliente	
2	040185322120221124-ETC 01-2	2022/11/24	2022/12/09	Cliente	Se entrega al cliente	
3	040185322120221124-ETC 01-3	2022/11/24	2022/12/09	Cliente	Se entrega al cliente	
4	040185322120221124-ETC 01-4	2022/11/24	2022/12/09	Cliente	Se entrega al cliente	
5	040185322120221124-ETC 01-5	2022/11/24	2022/12/09	Cliente	Se entrega al cliente	
6	040185322120221124-ETC 01-6	2022/11/24	2022/12/09	Cliente	Se entrega al cliente	

Figura AIV.6. Resultados del ensayo a tracción

Página 2 de 2

HOJA DE ALMACENAMIENTO DE MUESTRAS

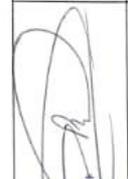
Código: CF-AE-RIM-RG-003
 Fecha de Elaboración: 2015-07-06
 Fecha de última aprobación: 2022-02-04
 Revisor: 4

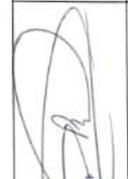
N°	IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	FECHA INGRESO	FECHA ELIMINACIÓN	RESPONSABLE	OBSERVACIONES	EVIDENCIAS
7	040185322120221124-ETC 02-1	2022/11/24	2022/12/09	Ciente	Se entrega al cliente	
8	040185322120221124-ETC 02-2	2022/11/24	2022/12/09	Ciente	Se entrega al cliente	
9	040185322120221124-ETC 02-3	2022/11/24	2022/12/09	Ciente	Se entrega al cliente	
10	040185322120221124-ETC 02-4	2022/11/24	2022/12/09	Ciente	Se entrega al cliente	
11	040185322120221124-ETC 02-5	2022/11/24	2022/12/09	Ciente	Se entrega al cliente	
12	040185322120221124-ETC 02-6	2022/11/24	2022/12/09	Ciente	Se entrega al cliente	
13	040185322120221124-ETC 03-1	2022/11/24	2022/12/09	Ciente	Se entrega al cliente	
14	040185322120221124-ETC 03-2	2022/11/24	2022/12/09	Ciente	Se entrega al cliente	
15	040185322120221124-ETC 03-3	2022/11/24	2022/12/09	Ciente	Se entrega al cliente	
16	040185322120221124-ETC 03-4	2022/11/24	2022/12/09	Ciente	Se entrega al cliente	
17	040185322120221124-ETC 03-5	2022/11/24	2022/12/09	Ciente	Se entrega al cliente	
18	040185322120221124-ETC 03-6	2022/11/24	2022/12/09	Ciente	Se entrega al cliente	

Todas las muestras de cada grupo ensayado por acuerdo se entregan al cliente, el CFPMCPT no se responsabiliza por el mantenimiento y almacenamiento de las mismas, quedando a responsabilidad del cliente su resguardo.

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

Ministerio de Producción,
Comercio Exterior,
Innovación y Pesca

GOBIERNO REGIONAL
de TUMBURAYA

COMERCIO DE CAMARAS Y
DE TUMBURAYA

GOBIERNO
REGIONAL
de TUMBURAYA

Ministerio de Producción,
Comercio Exterior,
Innovación y Pesca



Centro de Fomento Productivo
Metalmecánico Carroceros
Provincia de Tumburahua

Figura AIV.7. Resultados del ensayo a tracción

ANEXO V

**CERTIFICADO DE REALIZACIÓN REFERENTE A ENSAYOS DE FLEXIÓN EN
EL LABORATORIO DE MECÁNICA DE MATERIALES DE LA UNIVERSIDAD
DE LAS FUERZAS ARMADAS**

ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Sangolquí a 20 de diciembre de 2022

Mediante el presente se **CERTIFICA** que los Señores Willian Orlando Chiles Ruano y Marlon Santiago Villareal Cruceira, realizaron pruebas de fuerza a la flexión según norma ASTM D7264 en material compuesto para el desarrollo de su tesis de grado cuyo tema es: "FABRICACIÓN DE GUARDABARROS PARA VEHÍCULO UTILIZANDO MATERIAL COMPUESTO DE MATRÍZ POLIMÉRICA REFORZADO CON FIBRA DE YUTE", en el Laboratorio de Mecánica de Materiales de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.

Atentamente

Ing. José Pérez
Jefe de Laboratorio de Mecánica de Materiales

Figura AV.1. Certificado de ensayos a flexión del material compuesto

ANEXO VI

RESULTADOS DEL ENSAYO A IMPACTO DEL MATERIAL COMPUESTO



CENTRO DE TRANSFERENCIA Y TECNOLOGÍA FACULTAD INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA - UTA



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

INGENIERÍA MECÁNICA

RESISTENCIA DE IMPACTO SEGÚN ASTM D 5628-10

NOVIEMBRE 2022

AMBATO - ECUADOR

Figura AVI.1. Resultados de ensayos a impacto del material compuesto



CENTRO DE TRANSFERENCIA Y TECNOLOGÍA FACULTAD INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA - UTA



INFORME TÉCNICO CTT-2022 - 134

Objetivo

- Establecer y mantener un método para evaluar la energía media de impacto en polímeros.

Alcance

Determinación de energía necesaria para el fallo de polímeros por impacto de dardo según las especificaciones señaladas en la norma ASTM D 5628-10.

ANTECEDENTES:

Con fecha 01 de diciembre de 2022, el Señor. Marlon Santiago Villarreal Cruceira egresado de la Universidad Técnica del Norte de la Provincia de Imbabura, solicita al Centro de Transferencia y Tecnología de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, realizar ensayos de laboratorio para medir la energía media de impacto en muestras de material compuesto.

Se reciben 15 muestras o probetas, en 3 grupos de 5 probetas, bajo las designaciones:

- I-75RP+25FY-1
- I-75RP+25FY-2
- I-75RP+25FY-3
- I-75RP+25FY-4
- I-75RP+25FY-5
- 45I-2CY+RP-1
- 45I-2CY+RP-2
- 45I-2CY+RP-3
- 45I-2CY+RP-4
- 45I-2CY+RP-5
- 45I-2CY+RP-1
- 90I-2CY+RP-1
- 90I-2CY+RP-2
- 90I-2CY+RP-3
- 90I-2CY+RP-4
- 90I-2CY+RP-5

Figura AVI.2. Resultados de ensayos a impacto del material compuesto

Con la numeración de 01 a 15 (Probetas para Ensayo de Impacto en Material Compuesto de Resina polyester reforzado con Fibra de Yute; se realizó el ensayo de un total de 15 probetas, de dimensiones de 58 x 58 mm. Todas las probetas presentan superficies lisas.



Figura AVI.3. Resultados de ensayos a impacto del material compuesto

**PROCESO GENERAL:**

- Determinación de número de especímenes para cada muestra.
- Mantener hermetizadas las muestras hasta el ensayo y marcarlas para su identificación.
- Preparación de la máquina de ensayos para la geometría preestablecida (FA, FB, FC, FD, FE) en este caso para el tipo FE dadas las dimensiones de la probeta.

Geometría	Diámetro de la Probeta mm	Probeta Cuadrada mm
FA	89	89
FB	51	51
FC	140	140
FD	89	89
FE	58	58

- Medición y registro del espesor de cada muestra, el cual se muestra en los resultados del ensayo.

Figura AVI.4. Resultados de ensayos a impacto del material compuesto

- Realizar la prueba de impacto con probetas de calibración, fuera de los grupos mostrados anteriormente y localizamos el rango de falla del material.
- Se colocan las mordazas utilizando una fuerza que permita la inmovilidad de la probeta al momento del impacto.



- Colocar la masa a la altura preestablecida, según el método de prueba seleccionado.
- Se libera el dardo asegurándonos que golpee justo en el centro de la muestra, impidiendo cualquier rebote del dardo.



- Retirar la muestra y revisar si ha fallado o no. Considerando que una falla es cualquier grieta o ruptura generado por el impacto el cual pueda ser distinguido por el ojo humano bajo luz normal en condiciones normales.

Figura AVI.5. Resultados de ensayos a impacto del material compuesto

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO								
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA								
Centro de Transferencia y Tecnología								
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS								
DATOS INFORMATIVOS:								
Fecha:	01/12/2022		Ciudad:			Ambato		
Lugar:	Laboratorios de Materiales					Campus Huachi		
Equipo:	Máquina tipo caída de masas de Impacto							
Realizado por:	Ing. Jonathan Mora.			Supervisado por: Ing. Sebastián Villegas S.				
Tipo de material:	Material polimérico I-75RP+25FY					Orden: 2022 -277		
Composición	Resina polyester + Fibra de Yute					Temperatura de curado 90 °C		
PARÁMETROS DE ENSAYO								
Tipo de Medición:	Energía Media de impacto (J)		Norma:			ASTM D5628-10		
Dimensiones (mm):	58mm x 58mm		Nº de probetas:			5		
								
CODIFICACIÓN (%fibra)	Ancho (mm)	Largo(mm)	Espesor (mm)	Masa aplicada (kg)	Incremento de masa (kg)	Altura media de fallo (mm)	Energía media de fallo (J)	Criterio de falla
I-75RP+25FY-1	58.4	58,8	4.1	0,287	0,1762	150	0.6816	No falla
I-75RP+25FY-2	58.6	58,4	4.5	0,287	0,1762	300	1.3632	No falla
I-75RP+25FY-3	58.4	58.2	4.0	0,287	0,1762	350	1.5904	Falla
I-75RP+25FY-4	58.9	58.8	4.5	0,287	0,1762	400	1.8176	Falla
I-75RP+25FY-5	58.5	58.4	4.6	0,287	0,1762	450	2.0448	Falla

Figura AVI.6. Resultados de ensayos a impacto del material compuesto

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO									
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA									
Centro de Transferencia y Tecnología									
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS									
DATOS INFORMATIVOS:									
Fecha:	01/12/2022		Ciudad:			Ambato			
Lugar:	Laboratorios de Materiales					Campus Huachi			
Equipo:	Máquina tipo caída de masas de Impacto								
Realizado por:	Ing. Jonathan Mora.			Supervisado por:					Ing. Sebastián Villegas S.
Tipo de material:	Material polimérico 45I-2CY+RP					Orden: 2022 -277			
Composición	Resina polyester + Fibra de Yute					Temperatura de curado 45 °C			
PARÁMETROS DE ENSAYO									
Tipo de Medición:	Energía Media de impacto (J)			Norma:			ASTM D5628-10		
Dimensiones (mm):	58mm x 58mm			Nº de probetas:			5		
									
CODIFICACIÓN (%fibra)	Ancho (mm)	Largo(mm)	Espesor (mm)	Masa aplicada (kg)	Incremento de masa (kg)	Altura media de fallo (mm)	Energía media de fallo (J)	Criterio de falla	
45I-2CY+RP-1	58.1	58,5	3.3	0,287	0,1762	200	0.9088	No falla	
45I-2CY+RP-2	59.0	58.9	3.5	0,287	0,1762	300	1.3632	No falla	
45I-2CY+RP-3	58.7	58.6	3.6	0,287	0,1762	400	1.8176	No Falla	
45I-2CY+RP-4	58.3	58.5	3.5	0,287	0,1762	500	2.2719	Falla	
45I-2CY+RP-5	58.4	58.6	3.6	0,287	0,1762	700	3.1808	Falla	

Figura AVI.7. Resultados de ensayos a impacto del material compuesto

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO								
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA								
Centro de Transferencia y Tecnología								
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS								
DATOS INFORMATIVOS:								
Fecha:	01/12/2022			Ciudad:	Ambato			
Lugar:	Laboratorios de Materiales					Campus Huachi		
Equipo:	Máquina tipo caída de masas de Impacto							
Realizado por:	Ing. Jonathan Mora.			Supervisado por: Ing. Sebastián Villegas S.				
Tipo de material:	Material polimérico 90I-2CY+RP					Orden: 2022 -277		
Composición	Resina polyester + Fibra de Yute					Temperatura de curado 90 °C		
PARÁMETROS DE ENSAYO								
Tipo de Medición:	Energía Media de impacto (J)			Norma:		ASTM D5628-10		
Dimensiones (mm):	58mm x 58mm			Nº de probetas:		5		
								
CODIFICACIÓN (%fibra)	Ancho (mm)	Largo(mm)	Espesor (mm)	Masa aplicada (kg)	Incremento de masa (kg)	Altura media de fallo (mm)	Energía media de fallo (J)	Criterio de falla
90I-2CY+RP-1	58.4	59.0	3.2	0,287	0,1762	250	1.1360	No falla
90I-2CY+RP-2	57.9	58,4	3.4	0,287	0,1762	300	1.3632	No falla
90I-2CY+RP-3	58.6	58.8	3.3	0,287	0,1762	350	1.5904	No Falla
90I-2CY+RP-4	59.2	59.5	3.2	0,287	0,1762	400	1.8176	Falla
90I-2CY+RP-5	58.6	58.4	3.4	0,287	0,1762	500	2.2720	Falla

Figura AVL8. Resultados de ensayos a impacto del material compuesto



CENTRO DE TRANSFERENCIA Y TECNOLOGÍA FACULTAD INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA - UTA



Conclusiones

- Las probetas I-75RP+25FY tienen una energía de fallo de 1.5904 J.
- Las probetas 45I-2CY+RP tienen una energía de fallo de 2.2719 J.
- Las probetas 90I-2CY+RP tienen una energía de fallo de 1.8176 J.
- Todas las probetas se las ensayó con el método de prueba FE y fueron impactadas con un dardo de 0,287 Kg incluido un peso adicional de 0.1672 Kg.

JONATHAN
MAURICIO
MORA
HERNANDEZ

Firmado digitalmente por
JONATHAN
MAURICIO MORA
HERNANDEZ
Fecha: 2022.12.01
16:15:18 -05'00'

REALIZADO POR:
Ing. Jonathan Mora.
LABORATORIO DE MATERIALES



Firmado electrónicamente por:
EDMUNDO SEBASTIAN
VILLEGAS SUAREZ

SUPERVISADO POR:
Ing. Sebastián Villegas S.
TÉCNICO DE LABORATORIO

Figura AVI.9. Resultados de ensayos a impacto del material compuesto