

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA



MAESTRÍA EN MECÁNICA

(COHORTE 2017)

TEMA:

**“OBTENCIÓN DE UN NUEVO MATERIAL HÍBRIDO DE MATRIZ
POLIMÉRICA DE RESINA POLIÉSTER Y FIBRA NATURAL DE CABUYA,
REFORZADA CON FIBRA DE CARBONO PARA SU APLICACIÓN EN LA
INDUSTRIA AUTOMOTRIZ”**

Trabajo de Titulación

Previa a la obtención del Grado Académico de Magíster en Mecánica Mención
Diseño

Autor: Ing. Diego Geovanny Ramos Guallaguaman

Director: Ing. Víctor Rodrigo Espín Guerrero, Mg

Ambato- Ecuador

2019

A la Unidad Académica de Titulación de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica

El tribunal receptor del Trabajo de Titulación presidido por el Ing. Juan Enrique Garcés Chávez, Mg., e integrado por los señores: Ing. Carlos Mauricio Carrillo Rosero, Mg., Ing. Oscar Iván Analuiza Maiza, Mg., designados por la Unidad Académica de Titulación de la Universidad Técnica de Ambato, para receptor el Trabajo de Titulación con el tema: "OBTENCIÓN DE UN NUEVO MATERIAL HÍBRIDO DE MATRIZ POLIMÉRICA DE RESINA POLIÉSTER Y FIBRA NATURAL DE CABUYA, REFORZADA CON FIBRA DE CARBONO PARA SU APLICACIÓN EN LA INDUSTRIA AUTOMOTRIZ", elaborado y presentado por el señor: Ing. Diego Geovanny Ramos Guallaguaman, para optar por el Grado Académico de Magister en Mecánica Mención Diseño; una vez escuchada la defensa oral del Trabajo de Titulación el Tribunal aprueba y remite el trabajo para uso y custodia en las bibliotecas de la UTA.




Ing. Juan Enrique Garcés Chávez, Mg.

Presidente del Tribunal



Ing. Carlos Mauricio Carrillo Rosero, Mg

Miembro del Tribunal



Ing. Oscar Iván Analuiza Maiza, Mg.,

Miembro del Tribunal


AUTORIA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

La responsabilidad de las opiniones, comentarios y críticas emitidas en el Trabajo de Titulación presentado con el tema: "OBTENCIÓN DE UN NUEVO MATERIAL HÍBRIDO DE MATRIZ POLIMÉRICA DE RESINA POLIÉSTER Y FIBRA NATURAL DE CABUYA, REFORZADA CON FIBRA DE CARBONO PARA SU APLICACIÓN EN LA INDUSTRIA AUTOMOTRIZ", le corresponde exclusivamente al: Ingeniero Diego Geovanny Ramos Guallaguaman, Autor bajo la Dirección del Ingeniero Víctor Rodrigo Espín Guerrero, Mg., Director del Trabajo de Titulación; y el patrimonio intelectual a la Universidad Técnica de Ambato.



Ing. Diego Geovanny Ramos
Guallaguaman

c.c. 1804626750
AUTOR



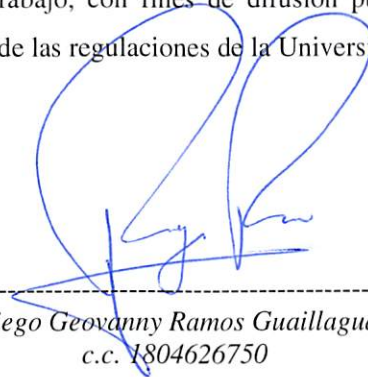
Ing. Víctor Rodrigo Espín
Guerrero, Mg

c.c. 1803046109
DIRECTOR

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que el Trabajo de Titulación, sirva como un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los Derechos de mi trabajo, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de esta, dentro de las regulaciones de la Universidad.

A handwritten signature in blue ink, consisting of stylized letters and a horizontal line, positioned above a dashed line.

Ing. Diego Geovanny Ramos Guallaguaman
c.c. 1804626750

DEDICATORIA

Este trabajo se lo dedico a Dios por darme la fuerza para seguir consiguiendo los propósitos que me plateado en esta vida y por guiarme por el camino del saber para seguir preparándome cada día.

A mis queridos padres Primitivo Ramos y Rosa Guallaguaman, por ser quienes con su amor, entrega, ejemplo y testimonio me enseñaron a luchar para conseguir lo que uno se propone en la vida a pesar de lo difícil que a veces sea.

A mis hermanos, quienes, con su amistad, preocupación siempre estuvieron para apoyarme moralmente que cada uno de los momentos que necesitaba.

Y finalmente a las personas que están junto a mi como son: mi esposa Karina y mi hija Yareli que son el pilar de mi vida. Y por quienes lucho día a día para darles lo mejor de mi como padre y esposo.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a la Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, departamento de posgrado de la carrera de Ingeniería Mecánica por su misión de brindar una educación de calidad.

A la empresa carrocerías VARMA S.A por brindarme las facilidades para la obtención de la información acerca de los procesos de conformado de materiales.

Al ingeniero Víctor Espín por quien fue posible iniciar y culminar este proyecto de titulación de posgrado, gracias a su invaluable guía y colaboración.

De igual manera a todas aquellas personas que colaboraron moral o materialmente en la realización de esta tesis, a quienes quedo eternamente agradecido.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

PÁGINAS PRELIMINARES

TITULO.....	I
AUTORIA DE LA INVESTIGACIÓN	III
DERECHOS DE AUTOR	IV
DEDICATORIA	V
AGRADECIMIENTO	VI
ÍNDICE DE CONTENIDOS	VII
ÍNDICE DE TABLAS	XI
ÍNDICE DE GRÁFICOS	XIII
ÍNDICE DE FICHAS TÉCNICAS	XV
RESUMEN.....	XVII
SUMMARY	XVIII
CAPÍTULO I.....	19
1.1 Tema.....	19
1.2 Planteamiento del problema.....	19
1.2.1 Contextualización	19
1.2.2 Análisis crítico	21
1.2.3. Prognosis.....	21
1.2.4. Formulación del problema.....	22
1.2.5. Preguntas directrices	22
1.2.6. Delimitación del problema.....	22
1.3 Justificación.....	23
1.4 Objetivos	23
1.4.1 Objetivo general.....	23
1.4.2 Objetivos específicos	24
CAPÍTULO II	25
2.1 Antecedentes investigativos	25
2.2 Fundamentación teórica	27
2.2.1 Materiales para la ingeniería.....	27
2.2.2 Materiales compuestos.....	28
2.2.3 Materiales híbridos	31
2.2.4 Métodos y técnicas de conformación de materiales compuestos.	38

2.2.5 Ciencia de materiales.....	43
2.3 Fundamentación filosófica.....	45
2.4 Fundamentación legal.....	45
2.5 Categorías fundamentales.....	46
2.6 Hipótesis.....	46
2.7 Señalamiento de variables.....	46
2.7.1 Variable independiente.....	46
2.7.2 Variable dependiente.....	46
2.7.3 Término de relación.....	46
CAPÍTULO III.....	47
3.1 Enfoque.....	47
3.2 Modalidad básica de la investigación.....	47
3.2.1 De campo.....	47
3.2.2 Bibliográfico.....	47
3.2.3 Experimental.....	47
3.3 Nivel o tipo de investigación.....	48
3.3.1 Exploratoria.....	48
3.3.2 Descriptiva.....	48
3.3.3 Explicativo.....	48
3.4 Población y muestra.....	48
3.4.1 Población.....	48
3.4.2 Muestra.....	48
3.5 Operacionalización de variables.....	50
3.5.1 Variable independiente.....	50
3.5.2 Variable dependiente.....	51
3.6 Recolección de la información.....	52
3.7 Procesamiento y análisis.....	52
CAPÍTULO IV.....	54
4.1 Análisis de los resultados.....	54
4.1.1 Ensayo de tracción material de fibra de vidrio.....	54
4.1.2 Ensayo de flexión material de fibra de vidrio.....	56
4.1.3 Ensayo de impacto material de fibra de vidrio.....	58
4.1.4 Métodos y técnicas de conformado de nuevos materiales híbridos.....	59
4.1.5 Orientación y proporción adecuada de los elementos constitutivos del nuevo material híbrido.....	60

4.1.5.1 Orientación y configuración de la matriz polimérica de resina poliéster y fibra de cabuya reforzada con fibra de carbono.....	60
4.1.6 Determinación de propiedades mecánicas del material híbrido.	89
4.2 Interpretación de resultados	108
4.2.1 Interpretación de resultados	111
4.2.2 Comportamiento de las propiedades de tracción y flexión mediante la utilización de software ANSYS.....	112
4.3 Verificación de la hipótesis	117
4.3.1 Prueba de hipótesis para las propiedades mecánicas a tracción esfuerzo máximo.	119
4.3.2 Prueba de hipótesis para las propiedades mecánicas a tracción de módulo de elasticidad.	121
4.3.3 Prueba de hipótesis para las propiedades mecánicas a flexión de esfuerzo máximo.	124
4.3.4 Prueba de hipótesis para las propiedades mecánicas a flexión de módulo de elasticidad.	127
4.3.5 Prueba de hipótesis para las propiedades mecánicas a impacto de resistencia máxima.....	130
CAPÍTULO V	133
5.1 Conclusiones	133
5.2 Recomendaciones.....	134
CAPÍTULO VI.....	136
6.1. Datos informativos	136
6.2. Antecedentes de la propuesta	136
6.3 Justificación.....	137
6.4. Objetivos	138
6.4.1 Objetivo general.....	138
6.4.2 Objetivos específicos	139
6.5 Análisis de factibilidad.....	139
6.6 Fundamentación	139
6.6.1 Criterios de falla en los materiales.....	139
6.6.2 Análisis dinámico de choques.....	140
6.6.3 Modelos analíticos de impactos.....	140
6.6.4 Análisis de colisión elástica.....	142
6.6.5 Análisis de colisión plástica.....	142
6.6.6 Pérdida de energía y coeficiente de restitución.	143

6.6.7 Análisis computacional.....	143
6.7 Metodología	146
6.7.1 Modelos matemáticos para el análisis de impacto y cálculo de esfuerzo máximo.	146
6.7.2 Simulación de guardachoque con impacto frontal.....	151
6.7.3 Valoración económica de guardachoque frontal de un bus urbano	159
6.8 Administración.....	163
6.9 Previsión de la evaluación.....	164
BIBLIOGRAFÍA	165
ANEXOS	168

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Propiedades mecánicas de compuestos de matriz poliéster reforzados de fibras naturales	33
Tabla 2.2 Características mecánicas de diferentes fibras naturales y sintéticas	36
Tabla 2.3 Propiedades mecánicas de distintas fibras y materiales convencionales ..	38
Tabla 3.1 Número de probetas.	49
Tabla 4.1 Ventajas y limitaciones de la estratificación manual.	60
Tabla 4.2 Ventajas y limitaciones de la estratificación a compresión.	60
Tabla 4.3 Composiciones reforzados con fibras naturales.	61
Tabla 4.4 Orientación de fibras y número de capas.	63
Tabla 4.5 Número de capas y combinaciones	64
Tabla 4.6 Resultados obtenidos primera combinación.	67
Tabla 4.7 Resultados obtenidos de la segunda combinación.	70
Tabla 4.8 Resultados obtenidos de la tercera configuración.	72
Tabla 4.9 Resultados obtenidos de la cuarta combinación.	75
Tabla 4.10 Resultados obtenidos de la quinta combinación.	78
Tabla 4.11 Materiales y herramientas para la manufactura del material híbrido.	78
Tabla 4.12 Proceso para obtención de probetas de material híbrido.	80
Tabla 4.13 Dimensiones de probetas de acuerdo con la normativa ASTM-D.	83
Tabla 4.14 Volumen de las probetas a tracción.	84
Tabla 4.15 Volumen de las probetas de flexión.	85
Tabla 4.16 Volumen de las probetas de impacto.	86
Tabla 4.17 Densidad de las probetas de tracción.	87
Tabla 4.18 Densidad de las probetas de flexión.	88
Tabla 4.19 Densidad de las probetas de impacto.	88
Tabla 4.20 Propiedades mecánicas del material híbrido configuración 4.	112
Tabla 4.21 Datos de materiales híbridos utilizados en software.	113
Tabla 4.22 Datos de esfuerzos máximos de tracción de los materiales.	119
Tabla 4.23 Prueba F para varianzas de dos muestras de esfuerzo máximo (resina poliéster y fibra de vidrio, resina poliéster con 40% de fibra de cabuya tejida y 50% de refuerzo de fibra de carbono tejida).	120
Tabla 4.24 Prueba de hipótesis para el esfuerzo máximo de tracción	121
Tabla 4.25 Datos de módulos de elasticidad de tracción de los materiales.	122

Tabla 4.26 Prueba F para varianzas de dos muestras módulos de elasticidad (resina poliéster y fibra de vidrio, resina poliéster con 40% de fibra de cabuya tejida y 50% de refuerzo de fibra de carbono tejida).	123
Tabla 4.27 Prueba de hipótesis para el módulo de elasticidad de tracción.	124
Tabla 4.28 Datos de esfuerzos máximos de flexión de los materiales.	125
Tabla 4.29 Prueba F para varianzas de dos muestras de esfuerzo máximo flexión (resina poliéster y fibra de vidrio, resina poliéster con 40% de fibra de cabuya tejida y 50% de refuerzo de fibra de carbono tejida)	126
Tabla 4.30 Prueba de hipótesis para el esfuerzo máximo de flexión.	126
Tabla 4.31 Datos de módulos de elasticidad a flexión de los materiales.	127
Tabla 4.32 Prueba F para varianzas de dos muestras módulos de elasticidad flexión (resina poliéster y fibra de vidrio, resina poliéster con 40% de fibra de cabuya tejida y 50% de refuerzo de fibra de carbono tejida).	129
Tabla 4.33 Prueba de hipótesis para el módulo de elasticidad de a flexión.	129
Tabla 4.34 Datos de resistencia máxima a impacto de los materiales.	130
Tabla 4.35 Prueba F para varianzas de dos muestras de esfuerzo máximo flexión (resina poliéster y fibra de vidrio, resina poliéster con 40% de fibra de cabuya tejida y 50% de refuerzo de fibra de carbono tejida)	131
Tabla 4.36 Prueba de hipótesis para resistencia máxima a impacto.	132
Tabla 6.1 Parámetros de diseño de guardachoque.	146
Tabla 6.2 Resultados de la simulación de esfuerzos en función del tiempo.	155
Tabla 6.3 Costos de materiales para producto de resina poliéster y fibra de vidrio.	160
Tabla 6.4 Costo de transformación de producto fibra de vidrio.	161
Tabla 6.5 Costo de transformación carga fabril fibra de vidrio.	161
Tabla 6.6 Costos de materia prima de producto de resina poliéster fibra de cabuya reforzado con fibra de carbono	162
Tabla 6.7 Costo de transformación de producto de resina poliéster, fibra de cabuya reforzado con fibra de carbono.	162
Tabla 6.8 Costos total de la investigación.	163

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Figura 1.1 Variación del módulo de tensión y la resistencia última a la tracción	19
Figura 2.1 Muestras de material compuesto de fibra de vidrio	29
Figura 2.2 Muestra de material compuesto de matriz metálica	30
Figura 2.3 Clasificación de materiales híbridos.	32
Figura 2.4 Fibra de carbono	36
Figura 2.5 Máquina universal	44
Figura 2.6 Máquina de ensayo a flexión	44
Figura 3.1 Diagrama de proceso	53
Figura 4.1 Probetas para ensayo a tracción con cinta de lija y fibra de vidrio.....	54
Figura 4.2 Probetas para ensayo a flexión fibra de vidrio.	56
Figura 4.3 Probetas para ensayo a impacto fibra de vidrio.	58
Figura 4.4 Diagrama de porcentajes de proceso para fabricación de piezas automotrices.	59
Figura 4.5 Orientaciones de materiales compuestos	61
Figura 4.6 Malla tafetán	62
Figura 4.7 Dimensionamiento de la probeta para tracción.	83
Figura 4.8 Dimensionamiento de la probeta para flexión.	83
Figura 4.9 Dimensionamiento de la probeta para impacto.	83
Figura 4.10 Probetas para ensayo a tracción con cinta de lija.	89
Figura 4.11 Probetas para ensayo a flexión.	96
Figura 4.12 Probetas para ensayo a impacto.	102
Figura 4.13 Dimensiones de probeta para el ensayo de tracción ASTM D3039 y flexión ASTM D7264.....	113
Figura 4.14 Gráficas de probabilidad de esfuerzo máximo de tracción: a) Resina poliéster y fibra de vidrio y b) Resina poliéster con 40% de fibra de cabuya tejida y 50% de refuerzo de fibra de carbono tejida.	120
Figura 4.15 Gráficas de probabilidad de módulo de elasticidad de tracción: a) Resina poliéster y fibra de vidrio y b) Resina poliéster con 40% de fibra de cabuya tejida y 50% de refuerzo de fibra de carbono tejida.	123
Figura 4.16 Gráficas de probabilidad de esfuerzo máximo de tracción: a) Resina poliéster y fibra de vidrio y b) Resina poliéster con 40% de fibra de cabuya tejida y 50% de refuerzo de fibra de carbono tejida.	125

Figura 4.17 Gráficas de probabilidad de módulo de elasticidad de flexión: a) Resina poliéster y fibra de vidrio y b) Resina poliéster con 40% de fibra de cabuya tejida y 50% de refuerzo de fibra de carbono tejida.	128
Figura 4.18 Gráficas de probabilidad de resistencia máxima a impacto: a) Resina poliéster y fibra de vidrio y b) Resina poliéster con 40% de fibra de cabuya tejida y 50% de refuerzo de Fibra de carbono tejida.....	131
Figura 6.1 Diagrama de cuerpo libre de guardachoque	149
Figura 6.2 Modelado de guardachoque frontal.	152
Figura 6.3 Propiedades de material híbrido.	152
Figura 6.4 Curva de material híbrido	153
Figura 6.5 Geometría de componentes	153
Figura 6.6 Relación de aspecto para modelo de guardachoque.	153
Figura 6.7 Estadísticas de relación de aspecto de elementos.	154
Figura 6.8 Velocidad de impacto para guardachoque.....	154
Figura 6.9 Restricción de la superficie de impacto.	154
Figura 6.10 Tiempo de impacto	155
Figura 6.11 Resultado de velocidad	157
Figura 6.12 Resultado de aceleración	157
Figura 6.13 Esfuerzo máximo de guardachoque.....	157
Figura 6.14 Energía interna de impacto.	158
Figura 6.15 Energía de Hourglass	158
Figura 6.16 Relación de energía interna vs energía de Hourglass	159

ÍNDICE DE FICHAS TÉCNICAS

Ficha Técnica 4.1 Recolección de datos del material de fibra de vidrio tracción.....	55
Ficha Técnica 4.2 Recolección de datos del material de fibra de vidrio ensayo a flexión.	57
Ficha Técnica 4.3 Recolección de datos del material de fibra de vidrio ensayo a impacto.	58
Ficha Técnica 4.4 Recolección de datos del material compuesto tracción 75% fibra de cabuya.	91
Ficha Técnica 4.5 Recolección de datos del material compuesto tracción 75% fibra de carbono.	92
Ficha Técnica 4.6 Recolección de datos del material compuesto tracción 50% fibra de cabuya tejida y 25% de fibra de carbono.	93
Ficha Técnica 4.7 Recolección de datos del material compuesto tracción 40% fibra de cabuya tejida y 50% de fibra de carbono.	94
Ficha Técnica 4.8 Recolección de datos del material compuesto tracción 40% fibra de cabuya sin tejida y 50% de fibra de carbono.	95
Ficha Técnica 4.9 Recolección de datos del material compuesto flexión 75% fibra de cabuya.	97
Ficha Técnica 4.10 Recolección de datos del material compuesto flexión 75% fibra de carbono.	98
Ficha Técnica 4.11 Recolección de datos del material compuesto flexión 50% fibra de cabuya tejida y 25% de fibra de carbono.	99
Ficha Técnica 4.12 Recolección de datos del material compuesto flexión 40% fibra de cabuya tejida y 50% de fibra de carbono.	100
Ficha Técnica 4.13 Recolección de datos del material compuesto flexión 40% fibra de cabuya sin tejida y 50% de fibra de carbono.	101
Ficha Técnica 4.14 Recolección de datos del material compuesto impacto 75% fibra de cabuya.	103
Ficha Técnica 4.15 Recolección de datos del material compuesto impacto 75% fibra de carbono.	104
Ficha Técnica 4.16 Recolección de datos del material compuesto impacto 50% fibra de cabuya tejida y 25% de fibra de carbono.	105

Ficha Técnica 4.17 Recolección de datos del material compuesto impacto 40% fibra de cabuya tejida y 50% de fibra de carbono.	106
Ficha Técnica 4.18 Recolección de datos del material compuesto impacto 40% fibra de cabuya sin tejida y 50% de fibra de carbono.	107
Ficha Técnica 4.19 Análisis de la mejor configuración para el ensayo de tracción.	108
Ficha Técnica 4.20 Análisis de la mejor configuración para el ensayo de flexión.	109
Ficha Técnica 4.21 Análisis de la mejor configuración para el ensayo de impacto.	110
Ficha Técnica 4.22 Resultados de simulación del ensayo de tracción.	114
Ficha Técnica 4.23 Resultados de simulación del ensayo de flexión.	115

RESUMEN

La investigación se basa en la obtención de un nuevo material híbrido para aplicación en la industria automotriz, la determinación de la orientación y proporción de los elementos del nuevo material híbrido se obtuvo mediante métodos y técnicas de conformado que se están ejecutando en la actualidad en el sector. Realizada la investigación en el ámbito de producción de piezas de autobuses se encontró con el 95% de las empresas realizan mediante el método de estratificación manual y el 5% con otros métodos. La configuración establece la dirección de las fibras de cabuya y carbono, material de aporte, número de capas y espesor aproximado, donde la orientación es longitudinal a 0° y transversal a 90° . Los resultados obtenidos en el cálculo de las fracciones volumétricas son valores estimados para tener una base al momento de realizar las probetas, sin contar con varios aspectos como: las pérdidas de resina poliéster durante el proceso de preparación y aplicación en el molde. Una vez realizado las pruebas de tracción, flexión e impacto se obtuvo la mejor combinación el material de fibra de carbono, pero el estudio analizado es de material híbrido por lo cual el mejor resultado de materiales híbridos es la configuración cuatro con una fracción volumétrica de 40% de refuerzo fibra de cabuya tejida y 50% de fibra de carbono tejida, con las siguientes propiedades mecánicas, en tracción: esfuerzo máximo de 60,4 MPa y módulo de elasticidad de 1889,11 Mpa, en flexión con un esfuerzo máximo 87,82 MPa y módulo de flexión de 4104,05 MPa y en impacto con una resistencia al impacto de 6,71 J. Para validación de resultados de los ensayos de tracción y flexión realizados en físico, se utilizó simulación de elementos finitos, obteniendo un porcentaje de error del 12,68% en el esfuerzo máximo del ensayo a tracción y 0,18% en el esfuerzo máximo del ensayo a flexión, estando dentro del rango aceptable que es de 10 al 15 %.

Descriptor: Material híbrido, tracción, flexión, impacto, esfuerzo, simulación.

SUMMARY

The research is based on obtaining a new hybrid material for application in the automotive industry, the determination of the orientation and proportion of the elements of the new hybrid material was obtained by means of forming methods and techniques that are currently being executed in the sector. Conducted research in the field of bus parts production, 95% of the companies carried out using the manual stratification method and 5% with other methods. The configuration establishes the direction of the fibers of cabuya and carbon, material of contribution, number of layers and approximate thickness, where the orientation is longitudinal at 0° and transversal at 90° . The results obtained in the calculation of the volumetric fractions are estimated values to have a base at the time of making the specimens, without having several aspects such as: losses of polyester resin during the process of preparation and application in the mold. Once the tensile, flexural and impact tests were performed, the best combination was obtained being the carbon fiber material, but the study analyzed is made of hybrid material, so the best result of hybrid materials is configuration four with a volumetric fraction of 40% reinforcement woven cabochon fiber and 50% woven carbon fiber, with the following mechanical properties, in traction: maximum stress of 60.4 Mpa and elastic modulus of 1889.11 Mpa, in flexion with a maximum effort 87.82 Mpa and flexural modulus of 4104.05 Mpa and in impact with a resistance to the impact of 6.71 J. To validate the results of the tensile and flexural tests carried out in the treasury, simulation of finite elements was used, obtaining a percentage of error of 12.68% in the maximum tensile test effort and 0.18% in the maximum effort of the flexural test, being within the acceptable range that is 10 to 15%.

Keywords: Hybrid material, traction, flexion, impact, effort, simulation.

CAPÍTULO I

1.1 Tema

“OBTENCIÓN DE UN NUEVO MATERIAL HÍBRIDO DE MATRIZ POLIMÉRICA DE RESINA POLIÉSTER Y FIBRA NATURAL DE CABUYA, REFORZADA CON FIBRA DE CARBONO PARA SU APLICACIÓN EN LA INDUSTRIA AUTOMOTRIZ”

1.2 Planteamiento del problema

1.2.1 Contextualización

A nivel mundial existe un gran beneficio en la aplicación de fibras naturales para la producción de plásticos reforzados, debido a ventajas como su reducido costo, baja densidad, buena ductilidad y capacidad resistente adecuada, y en especial por su connotación positiva hacia un medio ambiente. La investigación que busca alternativas para la utilización de los desechos de fibra corta de la planta de fique (cabuya). Se han probado las propiedades a la flexión y la tensión de mezclas de 7 a 55 % (v/v) de fibra de fique y matrices de polietileno de alta densidad. Se obtuvieron placas de las mezclas con espesor hasta de 2 mm a una temperatura de 180° C. Los resultados que se muestran en la figura 1.1 se tiene la variación de la resistencia última a la tracción y del módulo de tensión en los laminados de polietileno de alta densidad con materia virgen y reciclada [1].

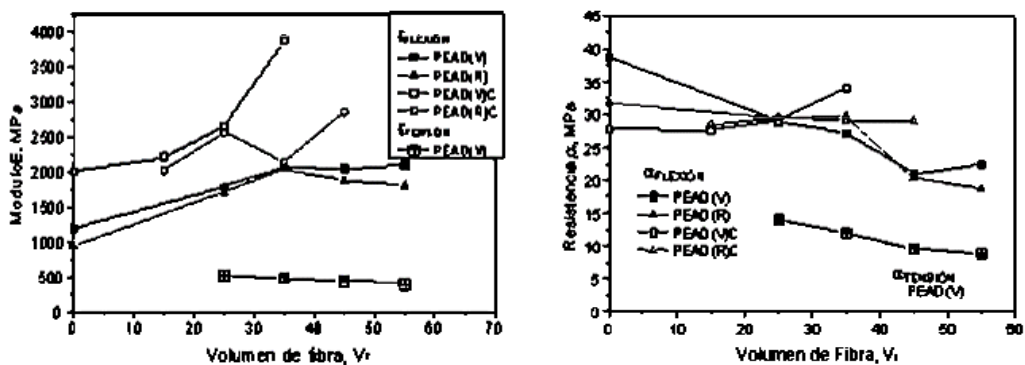


Figura 1.1 Variación del módulo de tensión y la resistencia última a la tracción [1].

La Universidad de Costa Rica realizó un estudio de utilización de las fibras del rastrojo de piña como material de refuerzo en resinas de poliéster, valorando varias propiedades mecánicas como, resistencia al impacto, resistencia a la ruptura por tensión y análisis de la superficie por microscopía electrónica de barrido (SEM), con parámetros como, longitud, densidad y cantidad de las fibras. Se tiene que la longitud de fibra que proporciona mejor resistencia a la ruptura en los materiales obtenidos es de longitudes cercanas a 1 mm y de contenido de fibra óptima en resistencia a la ruptura por tensión es de 10%, obteniendo buenos resultados en las propiedades analizadas [2].

Hoy en día la fibra de carbono es un material con buenas propiedades, para el desarrollo y producción de productos en la industria de transporte y aérea, la fibra de carbono tiene características sorprendentes como su ligereza y resistencia mecánica, debido a que presenta un módulo de ruptura similar al del acero, sin embargo, es 75 % más ligero. Además, son cada vez más utilizadas en diferentes aplicaciones, desde muy básicas hasta avanzadas debido a la posibilidad de que pueden ser empleadas como material de refuerzo [3].

Por lo contrario, en Ecuador desde hace varios años la industria ha tenido un crecimiento en la investigación de materiales compuestos para competir la demanda nacional como internacional en varios productos que presenta buenas propiedades, además el país tiene infinidad de fibras naturales para ser utilizadas en varias investigaciones. Una de ellas fue realizada en la Escuela Politécnica Nacional sobre materiales compuestos híbridos de matriz poliéster reforzada con fibras de coco y vidrio para la elaboración de tableros, obteniendo resultados en módulos de elasticidad mayores a 5000 MPa y esfuerzo máximo de 70 MPa variando la fracción volumétrica de la fibra de vidrio [4].

En el centro del país se ha realizado investigaciones sobre materiales híbridos, tanto en la Universidad Técnica de Ambato y en el Centro de Investigación y Desarrollo de la Fuerza Aérea Ecuatoriana (CIDFAE), pero estas son limitadas; es por eso que el presente trabajo pretende introducir la investigación sobre estudio del comportamiento de material híbrido de matriz polimérica de resina poliéster y fibra natural de cabuya, reforzada con fibra de carbono y su incidencia en las propiedades mecánicas, para tener una nueva alternativa en materiales, con valores agregados en su propiedades.

1.2.2 Análisis crítico

En nuestro país al tener limitadas investigaciones sobre los materiales híbridos, la investigación está enfocada en determinar nuevos materiales, específicamente en la combinación de resina poliéster, fibra natural de cabuya reforzada con fibra de carbono para tener características, con las principalmente propiedades mecánicas como son tracción, flexión e impacto, al ser estas las que más caracterizan a los materiales que son utilizados como componentes principales en creación de diferentes productos a nivel nacional.

En la industria los compuestos de resina poliéster, fibra natural de cabuya, reforzada con fibra de carbón, tienen la finalidad de reducir pesos y costos para lo cual se ha optado por trabajar con materiales de fácil adquisición dentro del ámbito nacional e internacional, para obtener resultados que se encuentren dentro de los parámetros requeridos en los materiales ya utilizados en la industria automotriz. Por eso aparece la necesidad de que en el país se realice estudios de la obtención de un nuevo material híbrido, mediante una correcta mezcla de la matriz, permitiendo obtener un elemento que ofrezca un bajo peso y resistencia apropiada para soportar las cargas a las cuales va a estar sometido los distintos productos fabricados con este material, mejorando de esta manera el comportamiento mecánico del mismo.

Tecnológicamente es viable la ejecución de este estudio en el Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, debido a que cuenta con información previa necesaria, que servirán como parámetros de entrada para la presente investigación.

1.2.3. Prognosis

Es de gran importancia la realización del estudio para determinar las propiedades de un nuevo material híbrido, debido que la composición que se realizara no es muy comúnmente utilizada, además de que las fibras naturales y fibras de carbono son materiales con buenas propiedades y características para la fabricación de diferentes productos a nivel nacional. Por lo que es de gran importancia dar una nueva alternativa en lo que son materiales compuestos para que la industria nacional este en competitividad frente a productor importados.

1.2.4. Formulación del problema

¿Cómo determinar la orientación y proporción adecuada de los elementos de un nuevo material híbrido de matriz polimérica de resina poliéster y fibra natural de cabuya, reforzada con fibra de carbono para su aplicación en componentes de la industria automotriz?

1.2.5. Preguntas directrices

¿Qué métodos y técnicas se utilizarán para el conformado de nuevos materiales híbridos?

¿Cuál será la orientación y proporción adecuada de los elementos del nuevo material híbrido de matriz polimérica de resina poliéster, fibra natural de cabuya, reforzada con fibra de carbono para la utilización en la fabricación de componentes automotrices?

¿Cuáles serán los valores de las propiedades mecánicas a tracción, flexión e impacto que se podrá alcanzar con el nuevo material híbrido?

¿Se podrá evaluar el comportamiento de las propiedades de tracción y flexión mediante la utilización de software ANSYS?

1.2.6. Delimitación del problema

1.2.6.1. Delimitación de contenidos

El presente estudio se fundamentó en el campo de la Maestría en Mecánica mención Diseño en el área de los Materiales con los módulos, Materiales para Ingeniería, Diseño de Experimentos y Diseño por elementos finitos.

1.2.6.2. Delimitación espacial

La presente investigación se realiza en la Ciudad de Ambato de la provincia de Tungurahua, dentro de las instalaciones de la Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, en el Laboratorio de Materiales; además los ensayos se los realizará en los laboratorios de Centro de Fomento Carrocero.

1.2.6.3. Delimitación temporal

El presente estudio se desarrolló en los meses comprendidos entre junio del 2018 a julio del 2019.

1.3 Justificación

Hoy en la actualidad, las industrias de varios países del mundo han incrementado el uso de materiales híbridos en la elaboración de componentes automotrices y aplicaciones tecnológicas, debido a la gran cantidad de ventajas que representan en cuanto al peso y resistencia en comparación con la mayoría de los diferentes materiales utilizados en la ingeniería.

El país al momento tiene poco conocimiento acerca del desarrollo y metodología requerida para la elaboración de un nuevo material híbrido, ya que la mayor parte de la industria lo fabrican artesanalmente, aun cuando se sigue algunos procedimientos creados o establecidos por las diferentes empresas productoras.

Los materiales híbridos a través del transcurso de tiempo han ido evolucionando y ganando potencialidad en mercados internacionales, ya que son materiales más livianos y resistentes, adaptándose y satisfaciendo requerimientos de forma efectiva en aplicaciones de la industria automotriz.

En las industrias la exigencia de materiales resistentes y de bajo pesos en el transcurso de los últimos años, han puesto en expectativa la introducción de materiales híbridos, en los procesos de elaboración de varias industrias a nivel nacional como la industria carrocería, automotriz y en el campo tecnológico.

Por lo cual existe la necesidad de investigar los materiales híbridos, para determinar su comportamiento y sus propiedades mecánicas.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Obtener un nuevo material híbrido de matriz polimérica de resina poliéster y fibra natural de cabuya, reforzada con fibra de carbono para su aplicación en la industria automotriz

1.4.2 Objetivos específicos

- Identificar los métodos y técnicas de conformado de nuevos materiales híbridos.
- Establecer la orientación y proporción adecuada de los elementos constitutivos del nuevo material híbrido de matriz polimérica de resina poliéster y fibra natural de cabuya, reforzada con fibra de carbono para la utilización en la fabricación de componentes automotrices.
- Determinar las propiedades mecánicas a tracción, flexión e impacto del material híbrido.
- Evaluar el comportamiento de las propiedades de tracción y flexión mediante la utilización de software ANSYS.

CAPÍTULO II

2.1 Antecedentes investigativos

Los materiales híbridos en la actualidad son parte importante de muchos productos y nuevas aplicaciones en la industria a nivel mundial como Japón, Estados Unidos y Europa Occidental son los principales productores de fibras de carbón, con alrededor de 85% de carbono con una alta resistencia a la flexión, la investigación experimental para encontrar otras alternativas de materias primas que puedan ser utilizadas en la industria automotriz, se hace referencia a estudios previos realizados a nivel mundial.

La investigación realizada en la Universidad Bhubaneswar de India con el título: “Efecto de la secuencia simétrica entre capas de carbono / glaseado sobre las propiedades mecánicas de los compuestos de matriz polimérica”, obteniendo buenos resultados. El compuesto de polímero muestra mejores propiedades mecánicas que el compuesto de polímero reforzado con fibra de vidrio. Sin embargo, se observa una falla en el compuesto de fibra de carbono debido al bajo alargamiento de la fibra de carbono. Los laminados híbridos se fabricaron mediante la técnica de tendido manual. En los dos compuestos híbridos de fibra de vidrio/carbono, se obtuvo la resistencia a la tracción y flexión, mejorado en un 6,74% y un 23%, respectivamente, en comparación a compuesto de polímero reforzado con fibra de vidrio puro [5].

Otro estudio realizado en la Universidad de Buffalo de Estados Unidos con el título: “Relaciones procesamiento-estructura-propiedad de compuestos de matriz de polímero de fibra de carbono”. Teniendo los siguientes resultados la presión de curado y la configuración de la disposición de la fibra afecta las propiedades mecánicas estáticas y dinámicas, resistencia a la fatiga y conductividad térmica de espesor total. Las capas intermedias entre las láminas afectan la dureza, el comportamiento viscoso, la conductividad eléctrica, el desgaste resistencia, capacidad de autocuración, resistencia al fuego, conductividad térmica y propiedades dieléctricas. La matriz del polímero afecta al temperatura elevada y resistencia ambiental, tenacidad, transición de matriz de vidrio y fusión de matriz [6].

A nivel nacional se ha realizado varias investigaciones con materiales híbridos de los cuales tenemos estudio realizado en la Escuela Politécnica Nacional de Ecuador con el título: “Obtención de Materiales Compuestos Híbridos de Matriz Poliéster Reforzada con Fibras de Coco y Vidrio para la Elaboración de Tableros”. Teniendo los siguientes resultados donde se utilizan normas ASTM D 3039, ASTM D 7264 y ASTM D 5628, respectivamente, se evaluaron las propiedades mecánicas de las fracciones volumétricas de refuerzo de 0,15 y 0,20 y dentro de éstas se variaron las proporciones de coco-vidrio en 25/75,50/50,75/25. Los ensayos mecánicos determinaron que las propiedades fueron superiores con la fracción volumétrica de refuerzo de 0,20. Así con respecto a la matriz poliéster para los ensayos a tracción, su módulo elástico (3960 MPa) y esfuerzo máximo (38,56 MPa) aumentaron en un 231% y 40% respectivamente. En los ensayos de flexión el incremento de las propiedades fue de 104% para el módulo elástico (4094 MPa) y 51% para el esfuerzo máximo (89,23 MPa). Los ensayos de impacto revelaron que el compuesto híbrido absorbió un 361% más energía que la matriz poliéster (0,07J) [4].

Otro estudio realizado en la Universidad Técnica de Ambato de Ecuador con el título: “Análisis de las propiedades mecánicas del compuesto de matriz poliéster reforzado con fibra de vidrio 375 y cabuya aplicado a la industria automotriz”. Teniendo los siguientes resultados Los resultados muestran un mejor comportamiento mecánico a tracción en un 7,7% respecto al material comúnmente utilizado. Se observó que la fibra larga al 30% en un orden de capas, Fibra de Vidrio+ Fibra de Cabuya+ Fibra de Vidrio, es un potencial refuerzo del material híbrido alternativo para aplicaciones automotrices. Además, se evidenció una equilibrada organización de refuerzos, Fibra de Vidrio+ Fibra de Cabuya, y adherencia microestructural con la matriz de refuerzo polimérico mediante microscopía de barrido. Los resultados del esfuerzo a la tracción y la deformación axial de la mejor combinación del material compuesto, FL-30%, son validados a través del método de elementos finitos (MEF) [7].

2.2 Fundamentación teórica

2.2.1 Materiales para la ingeniería

Una parte importante de la economía actual de país es la producción y elaboración de los materiales hasta convertirlos en productos terminados. Para su producción los ingenieros diseñan la mayoría de los productos manufacturados y los sistemas de elaboración. Dado que los materiales son la materia prima para fabricar productos, los ingenieros deben conocer la estructura interna y las propiedades mecánicas de los mismos, de tal manera que puedan elegir los más adecuados para cada aplicación y crear los mejores métodos para procesarlos.

Los materiales para ingeniería tienen como objetivo principal el conocimiento básico de la estructura interna, las propiedades y la elaboración de materiales. La ingeniería de los materiales se interesa principalmente por el empleo del conocimiento fundamental y aplicado acerca de los materiales, de modo que éstos puedan ser convertidos en los productos que la sociedad necesita o desea. El término ciencia e ingeniería de los materiales combina la ciencia de los materiales y la ingeniería de los materiales. En el espectro del conocimiento acerca de los materiales, la ciencia de los materiales se encuentra en uno de los extremos representando el conocimiento básico, y la ingeniería de los materiales se halla en el otro extremo representando el conocimiento aplicado, y no hay una línea divisoria entre las dos [8].

2.2.1.1 Tipos de materiales

Los nuevos materiales y procesos, además de satisfacer las necesidades de las industrias existentes, crean nuevas tecnologías y abren a la sociedad caminos insospechados para afrontar el problema de la falta de los recursos y los relativos al sostenimiento del crecimiento económico. Los avances en la ciencia e ingeniería de materiales han estimulado el crecimiento de muchos sectores en varios aspectos importantes como la productividad, la situación económica entre otros. La estructura y productividad de las fuerzas de trabajo han quedado también profundamente afectadas en este campo. El surgimiento en los últimos 20 años de la Ciencia de Ingeniería en Materiales ha alcanzado niveles tan importantes que los nuevos materiales junto a la microelectrónica y la biotecnología han sido considerados como uno de los paradigmas científico-tecnológicos del momento [9].

Los materiales utilizados en ingeniería se dividen en tres grandes grupos principales: poliméricos, materiales metálicos y cerámicos. Además de estos tres grupos de materiales, se tomarán en cuenta dos tipos más, los materiales compuestos y los materiales electrónicos, dada su gran importancia en la ingeniería. Sus características químicas son diferentes, sus propiedades físicas y químicas no se parecen y afectan los procesos de manufactura susceptibles de emplearse para obtener productos de ellos, además de las tres categorías básicas, existen compuestos – mezclas no homogéneas de los otros tres tipos fundamentales [9].

2.2.2 Materiales compuestos

Un material compuesto es aquel que ha sido producto de una combinación macroscópica de dos materiales distintos conocidos como sustancias componentes, constituyentes, que se diferencian en función, forma o composición. En la actualidad los materiales compuestos tienen por objetivo general lograr un optimizado equilibrio de las propiedades estructurales que den como resultado un material superior a cualquiera de sus materiales constituyentes. Los componentes mantienen sus identidades, es decir, no se disuelven o se mezclan completamente [9].

Se han diseñado materiales compuestos formados por más de un tipo de material. La fibra de vidrio, en forma filamentosa embebido dentro de un material polimérico, es un ejemplo familiar. Los materiales compuestos están diseñados para alcanzar la mejor combinación de las características de cada componente. La fibra de vidrio es mecánicamente resistente debido al vidrio, y flexible debido al polímero, la mayoría de los materiales desarrollados últimamente son materiales compuestos de fibra de vidrio como se puede verificar en la figura 2.1 [9].

El desarrollo de los materiales compuestos surge ante la necesidad de la industria con unas especificaciones de servicio muy concretas, como mejorar la resistencia y reducir el peso. Un material compuesto se define como un material formado por una fase discontinua, también llamada refuerzo, de la que dependen principalmente las propiedades mecánicas, y por una fase continua o matriz que engloba al refuerzo, responsable de la resistencia térmica y ambiental del material. El compuesto resultante presenta propiedades mejoradas respecto a los materiales constituyentes por separado [10].

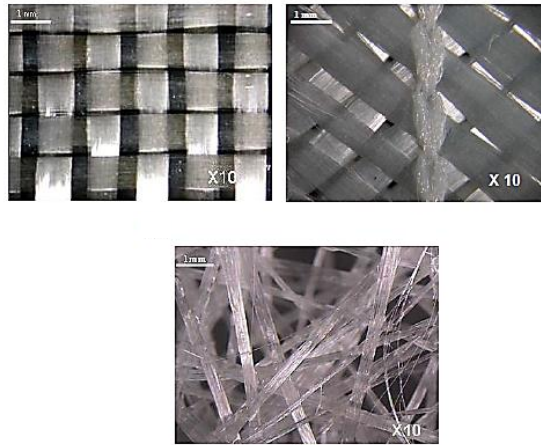


Figura 2.1 Muestras de material compuesto de fibra de vidrio [9].

La filosofía de los materiales compuestos puede encontrarse en la misma naturaleza, el tronco de los árboles, por ejemplo, está constituido por fibras de celulosa embebidas en una matriz de lignina, conformando auténticas estructuras resistentes sometidas a esfuerzos considerables (viento, peso propio,), donde el refuerzo es el encargado de soportar los esfuerzos mecánicos y la matriz configura la estructura final [11].

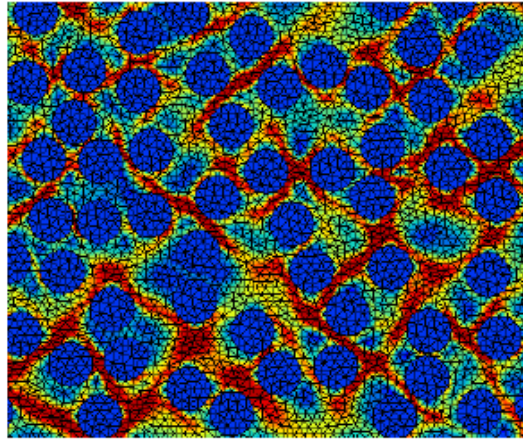
El hombre, por imitación de la naturaleza, fabrica materiales compuestos artificiales, que ampliarán el rango de aplicaciones potenciales al obtener un material con propiedades mejoradas un buen ejemplo lo constituye el plástico reforzado con fibra de vidrio. Es un material formado por fibras de vidrio embebidas en una matriz polimérica, que reúne lo mejor de sus componentes, dando lugar a un producto superior a cualquiera de sus componentes por separado. La elección del tipo de matriz está condicionada fundamentalmente por la temperatura de servicio. Los materiales compuestos de matriz polimérica son apropiados hasta 200°C, los de matriz metálica hasta casi la temperatura de fusión de la aleación correspondiente, y las matrices cerámicas para temperaturas extremas [11].

2.2.2.1 Tipos de materiales compuestos

Los materiales compuestos se pueden clasificar atendiendo a la naturaleza de la matriz constituyente: metálica, cerámica o polimérica.

- **Materiales compuestos de matriz metálica (MMC):** se mejora el comportamiento a fluencia respecto de la aleación base, pudiendo obtenerse una direccionalidad de las propiedades. El incremento de resistencia va unido

a una disminución de la tenacidad de la aleación. Como matrices se utilizan aluminio, titanio, plata, cobre y en refuerzos se emplean fibras especiales para evitar la reacción química fibra-matriz a altas temperaturas, como, por ejemplo: boro, carburo de silicio, óxido de aluminio y tungsteno en la figura 2.2 se muestra una matriz metálica. La obtención de estos materiales conlleva unos costes de fabricación elevados [10].



○
Figura 2.2 Muestra de material compuesto de matriz metálica [12].

- **Materiales compuestos de matriz cerámica (CMC):** estos compuestos presentan una gran complejidad, tanto en su comportamiento como en su producción industrial. El objetivo es disponer de un material con la inherente resistencia térmica de esta familia de materiales, pero con valores de tenacidad que permita su utilización en aplicaciones estructurales. Las matrices más empleadas son el carburo de silicio, alúmina y zirconas. Como refuerzo se usan fibras de carbono, óxido de aluminio, carburo de silicio, tungsteno, etc. [10].
- **Materiales compuestos de matriz polimérica (PMC):** son los materiales compuestos de mayor utilización a nivel industrial. Se requiere todavía mejorar su tolerancia al daño, o su capacidad estructural para soportar daños habituales durante su vida servicio (impactos, etc.), sin una degradación significativa de sus propiedades. En cuanto a matrices de naturaleza orgánica se distinguen entre: termoestables (epoxi, poliéster, vinil éster, fenólicas) y termoplásticos (polipropileno, poliamida). Las fibras de refuerzo más habituales son las de vidrio (E, R, C,) carbono y aramida. Estos compuestos, respecto a los otros, cuentan con una tecnología de fabricación mucho más

sencilla y desarrollada, con menores costos tanto de materias primas como de fabricación [10].

2.2.3 Materiales híbridos

Se puede definir como material híbrido a la combinación de dos o más materiales en una geometría y escala predeterminada con un óptimo desempeño en aplicaciones específicas. Donde los componentes pueden ser un gas, sólido o simplemente espacio, esta característica la diferencia de los materiales compuestos; actualmente, los híbridos orgánico-inorgánicos son considerablemente atractivos debido a que presentan propiedades como homogeneidad molecular, transparencia, flexibilidad y durabilidad. Debido a este tipo de propiedades estos materiales encuentran aplicaciones en óptica, microelectrónica, mecánica y biología. Las propiedades de los materiales híbridos no son solo la suma de las contribuciones individuales de la fase inorgánica y la orgánica, sino que cae en la interfaz entre ambas regiones y dependiendo de la naturaleza de dicha interfaz [3].

Podemos encontrar materiales en cualquier lugar de nuestro entorno ya que cualquier cosa esta hecha a partir de ellos. Algunos de los materiales que más comúnmente no encontramos son: madera, hormigón, ladrillo, acero, plástico, vidrio, caucho, aluminio, cobre y papel. Pero hay muchas más clases de materiales, solo hace falta mirar en nuestro entorno para darse cuenta de ello. Los constantes trabajos de investigación y desarrollo en este campo dan origen frecuentemente a nuevos materiales. La producción y procesado de nuevos materiales constituye una parte importante de nuestra economía actual. Los ingenieros diseñan la mayoría de los productos y los procesos necesarios para su fabricación, para lo que necesitan partir de diferentes materiales. Los materiales híbridos son todos aquellos elementos que resultan de una combinación de materiales constituido a partir de una unión (no química, insolubles entre sí) de dos o más componentes, que dan lugar a uno nuevo con propiedades características específicas, no siendo estas nuevas propiedades ninguna de las anteriores. [3]

Algunos autores definen el término “material híbrido” como aquel que utiliza más de un tipo de material de refuerzo. Los materiales compuestos híbridos pueden formarse utilizando varios tipos fibras sintéticas o una combinación entre fibras sintéticas y

fibras naturales, otra definición de material híbrido es la combinación de dos o más materiales ensamblados con una configuración y escala predeterminedada, de tal forma que se generen propiedades o atributos que no son ofrecidos por ninguno de los componentes por sí solos [13].

2.2.3.1 Tipos de materiales híbridos

Los materiales híbridos se clasifican en: compuestos, materiales tipo sánduche, enrejados y estructuras segmentadas, como se verifica en la figura 2.3.

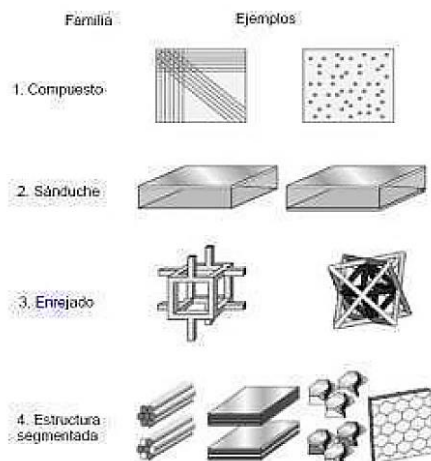


Figura 2.3 Clasificación de materiales híbridos [13].

Normalmente los componentes pueden ser distinguidos físicamente y es posible identificar la interfaz entre una y la otra. Para la obtención de este material se usa un componente de refuerzo conocido por fibra o partícula y es soportado por la otra fase que actúa como material aglutinante llamado matriz. La combinación de diferentes matrices (polímeros o metales ligeros) con distintos materiales o disposiciones de fibra (fibra de vidrio, de carbono, orgánicas o de polímeros, entre otras) permite conseguir materiales con propiedades mecánicas muy especiales que se adaptan a los distintos aspectos que requiere un determinado diseño [13].

2.2.3.2 Compuestos lignocelulósicos

Se conocen como compuestos lignocelulósicos a aquellos compuestos con matriz termoplástica o termoestable reforzada con fibras o partículas naturales de origen vegetal. Las fibras naturales vegetales son aquellas que se pueden extraer de las plantas. Estas fibras están constituidas principalmente por celulosa y lignina; es por eso por lo que reciben el nombre de fibras lignocelulósicas. Los porcentajes de cada

uno de los constituyentes de las fibras influyen directamente en sus propiedades mecánicas [14].

El uso de las fibras naturales de origen vegetal, en particular de la madera, se presenta como resultado de la necesidad de desarrollar materiales con tecnologías que permitan obtener propiedades adecuadas con un mínimo impacto ambiental. Esto ha desembocado en un aumento de la demanda mundial de recursos naturales en lo que respecta a las fibras naturales. En 1997, aproximadamente 25 millones de toneladas métricas de fibras artificiales y cerca de 20 millones de toneladas métricas de fibras naturales fueron producidas a nivel mundial [14].

En la siguiente tabla 2.1 se presentan las propiedades mecánicas de compuestos de matriz poliéster reforzados con varios tipos de fibras lignocelulósicas.

Tabla 2.1 Propiedades mecánicas de compuestos de matriz poliéster reforzados de fibras naturales [14].

Fibra de refuerzo	Fracción volumétrica	Resistencia a la tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Resistencia a la flexión (MPa)
Coco	0,09	18,61	4045	38,51
Banano	0,09	25,85	1360	52,38
	0,14	30,96	2030	61,24
Piña	0,30	43,38	-	85,81
Sisal	0,30	68,33	-	107,8

2.2.3.3 Resina poliéster

Es un material plástico clasificado como termoestable, proviene de la reacción de policondensación de un ácido dibásico con un polioliol, con separación de agua como producto secundario. La reacción ocurre a temperatura entre 150 - 200 °C, generando cadenas de alto peso molecular. Dependiendo del ácido dibásico y del polialcohol intervinientes en su reacción se obtendrán resinas con propiedades mecánicas, físicas, químicas, etc., determinadas. Una vez obtenida la resina poliéster se entrecruza con un monómero vinílico. generalmente estireno, el cual proporciona las unidades de entrecruzamiento para unir las cadenas tridimensionalmente calcular mediante la ecuación 1 [1].

$$\% \text{ de cambio de volumen} = \frac{\text{Peso específico resina sin curar} - \text{Peso específico resina curada}}{\text{Peso específico resina curada}} \quad \text{Ec. (1)}$$

Tipos de resinas poliéster

Comúnmente se conocen pocos tipos de resina poliéster, pero existen una gran variedad de ellas, diseñadas para facilitar nuestro trabajo y para lograr en los productos fabricados, la máxima calidad y duración. Combinando una o varias materias primas en el reactor; se obtienen diferentes tipos de poliéster [1]

- **Poliéster ortoftálico:** resina de uso general ampliamente conocida y empleada para fabricar artículos sometidos a un bajo ataque químico o ambiental. Tienen buena resistencia mecánica y cuando se requiere mayor resistencia química, se usan en combinación con otras resinas poliéster más resistentes. Algunas aplicaciones típicas son: fabricación de sillas, cabinas, auto partes, tejas, botones, figuras artísticas, etc.
- **Poliéster tereftálico:** esta familia de resinas posee, respecto a las resinas ortoftálicas, superior resistencia química, excelente aceptación de cargas minerales, baja absorción de agua y superior resistencia a las altas temperaturas. Para nuestra investigación esta resina es la utilizada.
- **Poliéster isoftálico:** resina de mayor resistencia química que las anteriores, generalmente usada en la fabricación de artículos sometidos a la intemperie, en contacto con agua y/o con ataque químico.
- **Poliéster Iso N.P.G.:** producto hermano de la resina isoftálica, esta modificado con N.P.G. (Neopentil glicol), elemento que le proporciona mayor resistencia química, al agua y a los microorganismos (hongos), ventajas que le hacen ampliamente usada para piscinas, toboganes, tinas de hidromasajes y tanques de la industria alimenticia.
- **Poliéster bisfenolico y vinilester:** son las resinas también llamadas antiácidas, ya que poseen la más alta resistencia al ataque químico y a la temperatura. Reactores, tanques, tuberías, chimeneas, torres lavadoras de gases y

enfriadoras, son ejemplos de artículos comúnmente fabricados con este tipo de resinas [1].

Propiedades de la resina poliéster

El poliéster usado como material de diseño, tiene buenas propiedades como: Peso específico 1.04-1.18 g/cc, dureza 40 s/u, resistencia a la tracción 5654,7 kPsi, resistencia a la flexión 12,097.9 kPsi, módulo de young 501.9 kPsi, módulo de flexión 587.2 kPsi, resistencia al impacto 12.3 ft-lb/in, alargamiento a la rotura 1.2%, conductividad térmica 0,2 W/m°C, coeficiente de dilatación lineal $100 \cdot 10^{-6} / ^\circ\text{C}$, absorción de agua, 24 hr, 20 °C 0,15%. La resina poliéster “Polylite ® 33200-01” con una alta resistencia a la corrosión de ácidos orgánicos e inorgánicos.

2.2.3.4 Fibra de cabuya.

La cabuya es una planta nativa del Ecuador que se encuentra a lo largo del callejón interandino generalmente formando linderos. Esta fibra es extraída de la hoja de la cabuya. Es una planta que crece en forma silvestre o cultivada en los valles y laderas de los Andes, la misma que pertenece a la familia de las Agaváceas. Está ampliamente distribuida en la sierra del Ecuador [15].

Se cultiva en los valles y en las estribaciones de la cordillera para la obtención de su fibra, así como también se la siembra como cerca viva. Se trata de una planta arrositada que alcanza hasta 1,5 metros de altura en su parte vegetativa y si se incluye la estructura reproductora, puede alcanzar hasta los 15 metros [15].

Propiedades y aplicaciones de la fibra de cabuya

Las fibras naturales tienen una buena resistencia mecánica, en especial la cabuya, que además es liviana y tiene una densidad de 1,3 g/cm³. Esto las hace atractivas para diferentes industrias, ya que se puede obtener un interesante ahorro de energía debido a su textura liviana combinada con resistencia a la tracción. La gran resistencia de la fibra de cabuya obedece especialmente a sus propiedades mecánicas, que se observan en la tabla 2.2 [15].

Tabla 2.2 Características mecánicas de diferentes fibras naturales y sintéticas [15].

Fibra	Densidad (g/cm ³)	Resistencia a la tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (GPa)	Elongación a la fractura (%)	Absorción de la humedad (%)
Cabuya	1,3	305,15	7,5	4,96	---
Yute	1,3	393 - 773	26,5	1,5 - 1,8	12
Coco	1,2	175 - 220	4 - 6	15 - 30	10
Abacá	1,3	400 - 1289	45	2,7	8 - 10
Sisal	1,5	511 - 635	9,4 - 22,0	2,0 - 2,5	---
Algodón	1,5	393 - 773	27,6	7 - 8	8 - 25
Ramio	1,5	400 - 938	61,4 - 128	3,6 - 3,8	12 - 17
Lino	1,5	345 - 1035	27,6	2,7 - 3,2	7
Cáñamo	1,4	690	35	1,6	8
Vidrio – S	2,5	2000 - 3500	70	2,5	---
Vidrio – E	2,5	4570	86	2,8	---
Aramida	1,4	3000 - 3150	63 - 67	3,3 - 3,7	---
Carbono	1,4	4000	230 - 240	1,4 - 1,8	---

2.2.3.4 Fibra de carbono

También llamadas de grafito, corresponden a una estructura cristalina fuertemente orientada. En su fabricación se parte de una fibra orgánica, poliacrilonitrilo (PAN), que se somete a tres etapas (oxidación, carbonización (grafitización) y tratamiento de superficie). Cuando más elevada es la temperatura, las fibras obtenidas son de mayor módulo elástico y menor resistencia [16].

En el grafito los átomos de las capas o planos base, se mantienen unidos por enlaces covalentes muy fuertes existiendo fuerzas débiles de vander vals entre las capas. Esto significa que las unidades de cristal básico son altamente anisótropas y forma la fibra de carbono como se verifica en la figura 2.4. Se caracterizan por una elevada resistencia mecánica, baja densidad, y buena resistencia a los agentes externos. El bajo alargamiento a rotura de estas fibras puede considerarse una desventaja, pero da como contrapartida un excelente comportamiento a fatiga [16].

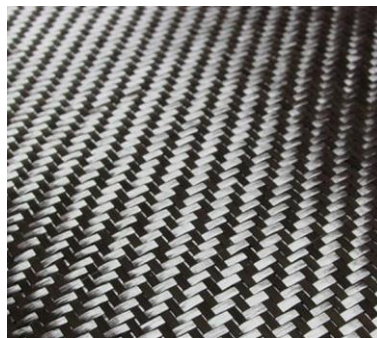


Figura 2.4 Fibra de carbono [16].

En el caso particular de la fibra de carbono, básicamente se combina un tejido de hilos de carbono (refuerzo), el cual aporta flexibilidad y resistencia, con una resina termoestable (matriz), comúnmente de tipo epoxi, que se solidifica gracias a un agente endurecedor y actúa uniendo las fibras, protegiéndolas y transfiriendo la carga por todo el material; por su parte el agente de curado ayuda a convertir la resina en un plástico duro. De la combinación de estos tres componentes, se obtienen las propiedades mecánicas del nuevo material, pues, aunque la malla de hilos de carbono constituye por sí sola un elemento resistente, necesita combinarse con la proteja con factores externos y refuerzos físicos [12].

Características de la fibra de carbono

Estabilización: durante esta fase las fibras de PAN son sometidas a temperaturas entre los 200°C y 300 °C mientras que son estiradas y alargadas a través de un horno de oxidación, con el fin de darles la orientación molecular requerida para que puedan tener estabilidad dimensional y de esta manera evitar que se fundan en el siguiente proceso. Carbonización: una vez las fibras han adquirido estabilidad, son sometidas a temperaturas superiores a los 1.000°C bajo una atmósfera inerte, es decir, en la que ningún agente externo interfiere en el proceso. Durante este periodo de calentamiento los átomos de nitrógeno e hidrógeno desaparecen y los anillos hexagonales de carbono puro se orientan a lo largo de toda la longitud del hilo. Grafitización: es un nuevo tratamiento de calentamiento a temperaturas, por encima de 2000°C, el tamaño de los cristales de carbono aumenta y mejora la orientación de los anillos en la fibra [12].

Tratamiento de superficie: finalmente la fibra pasa a través de una cámara donde se le aplica un producto catalizador que promueve la adhesión de la fibra a la resina. Hasta este punto del proceso se obtiene el producto primario: los filamentos individuales de carbono, también llamados mechas, con un diámetro que oscila entre 5 y 8 micras (μm), que son trenzados entre sí en grupos de 5.000 y 12.000 mechas y se conocen con el nombre de roving en forma rollos [12].

Propiedades de fibra de carbono

Las fibras presentan valores de módulo elevado, entre las fibras de uso más habitual, la aramida tiene un valor intermedio de módulo entre la fibra de carbono y la de vidrio; además se caracterizan por su fragilidad, lo que les permite una baja capacidad de elongación. Las fibras de carbono son más frágiles que las de aramida y vidrio, como muestran los valores de deformación. En la tabla 2.3 se muestran los valores de las propiedades mecánicas de distintas fibras y materiales convencionales [11].

Tabla 2.3 Propiedades mecánicas de distintas fibras y materiales convencionales [11].

Material	E_T GPa	σ_T GPa	ρ g/cm ³	E_T/ρ (10 ⁹ ·N·m)/kg	σ_T/ρ (10 ⁹ ·N·m)/kg
Fibras					
E-glass	72	3.5	2.54	29	1.38
S-glass	86	4.6	2.48	35	1.85
Carbono de alto módulo	390	2.1	1.90	205	1.10
Carbono de alta resistencia	240	2.9	1.77	136	1.64
Kevlar-49	130	2.8	1.45	87	1.87
Kevlar-29	60	2.8	1.44	42	1.80
Boro	385	2.8	2.63	146	1.1
Spectra-1000	117	2.6	0.97	120	2.8
Materiales convencionales					
Acero	210	0.34-2.1	7.8	27	0.043-0.27
Aleaciones de aluminio	70	0.14-0.62	2.7	26	0.052-0.23
Vidrio	70	0.7-2.1	2.5	28	0.28-0.84
Tungsteno	350	1.1-4.1	19.3	18	0.057-0.21
Berilio	300	0.7	1.4	164	0.38

E_T : módulo de tracción; σ_T : tensión de tracción; ρ : densidad;

E_T/ρ : módulo específico; σ_T/ρ : tensión específica

2.2.4 Métodos y técnicas de conformación de materiales compuestos.

La selección del proceso para la fabricación de materiales compuestos es de gran importancia porque permite satisfacer los requerimientos de un producto para una aplicación determinada. Además, dado que el costo de fabricación de un material compuesto representa entre un 50 y 60% del costo total del producto, es necesario escoger el método de procesamiento más adecuado para obtener el mejor resultado al menor costo. Esta selección depende de ciertos parámetros, tales como: el tipo de matriz, el tipo y geometría del refuerzo, aplicaciones del producto terminado, entre otros [17].

Se necesita conocer las condiciones del proceso, las ventajas y limitaciones de cada técnica de procesamiento. Por tal motivo revisaremos los procesos más utilizados para

la obtención de materiales compuestos termoplásticos y termoestables, tales como: estratificación manual, moldeo por aspersión, extrusión, inyección y moldeo por compresión [17].

2.2.4.1 Estratificación manual

La estratificación manual, es la técnica más simple y antigua para la obtención de materiales compuestos de matriz termoestable. Las resinas termoestables permiten un fácil procesamiento y una buena impregnación de refuerzos en forma de fibra, dado que se encuentran en estado líquido a temperatura ambiente. Las matrices más comunes son: poliésteres, resinas epóxicas y fenólicas [18].

El material de refuerzo puede presentarse en forma de fibra corta, fibra continua, tejido o mat (no tejido) y es adicionado en un porcentaje en volumen máximo del 40%. Se han observado porcentajes de espacios vacíos (burbujas de aire atrapadas) de hasta un 15% [17].

Las etapas del proceso de estratificación manual son:

- En primer lugar, se adiciona al molde un agente de desmoldeo para poder retirar con facilidad la pieza final.
- Posteriormente el gelcoat es aplicado con una pistola de aspersión o de forma manual con el empleo de un rodillo o brocha.
- Cuando el gelcoat ha curado parcialmente, se colocan capas del material de refuerzo y se deposita la resina catalizada sobre cada capa de refuerzo. Se pasa un rodillo para permitir que el refuerzo se impregne del polímero y con el objetivo de eliminar el aire atrapado en el laminado.
- Se deja curar la pieza a temperatura ambiente. El tiempo de curado depende del sistema catalítico empleado y de la cantidad de iniciador y catalizador utilizada. Finalmente se retira la pieza del molde [17].

Algunas de las ventajas de la estratificación manual son la simple operación, que permite fabricar piezas de diversos tamaños, con alto contenido de refuerzo, y la baja inversión, debido a que no requiere aplicación de calor y los reactivos son baratos. Además, este proceso ha sido utilizado durante muchos años, razón por la cual la técnica ha sido optimizada y actualmente tiene una amplia gama de materias primas.

Algunas limitaciones de este método son la alta intensidad de la mano de obra, la dificultad de controlar el espesor de la pieza y el buen acabado en sólo una de sus caras [19].

2.2.4.2 Estratificación pre impregnados.

Un pre impregnado es una mezcla de fibras de refuerzo dispuestas unidireccionalmente o en forma de tejido, las mismas que son impregnadas con un polímero que puede ser termoplástico o termoestable. Este es un producto intermedio que se presenta en forma de láminas que son almacenadas para su uso posterior en procesos de moldeo de materiales compuestos como: estratificación manual, moldeo por compresión, entre otros. La técnica para la obtención de pre impregnados permite tener un control preciso de la fracción volumétrica y la dispersión homogénea del polímero en la fibra. El porcentaje máximo de refuerzo que se alcanza en esta técnica es de 60% y los espesores van de 25,4 mm (1 pulgada) a 305 mm (12 pulgadas) [12].

Algunas ventajas de estos materiales son: buena resistencia mecánica y química. En el caso de pre impregnados termoplásticos, estos son reciclables y flexibles; sin embargo, las altas temperaturas y presiones que requiere su procesamiento limitan sus aplicaciones a la industria aeronáutica y aeroespacial, donde el costo no es un factor tan determinante como en la industria automotriz. El ciclo del proceso es mucho más rápido que el de compuestos termoestables y es del orden de los minutos [12].

Métodos para la obtención de pre impregnados termoplásticos, así por ejemplo se tiene:

- **Recubrimiento por fusión en caliente**, que es una técnica en la que ambas, fibra y resina, son extruidas simultáneamente en forma de lámina.
- **Apilamiento de láminas**, donde láminas de matriz se intercalan con fibras de refuerzo y se consolidan bajo presión y temperatura, de tal manera que exista una adecuada impregnación de la fibra.
- **Deposición electrostática**, en la cual el polímero debe estar en forma de polvo. Este polvo es fluidizado y forma una nube a través de la cual pasa la fibra de refuerzo que se recubre debido a la carga electrostática. Después de la impregnación, las fibras recubiertas son sometidas a una fuente de calor que funde el plástico, formando una lámina continua del material reforzado [12].

2.2.4.3 Moldeo por aspersión

Este proceso es similar al de estratificación manual e inclusive se utilizan moldes de similares características. La diferencia radica en que se emplea una pistola de aspersión que deposita fibra corta y resina simultáneamente sobre la superficie del molde. No requiere aplicación de calor ni presión. El material polimérico más utilizado en esta técnica es la resina poliéster. El porcentaje en peso de refuerzo es del 20 al 40%, siendo el refuerzo más común la fibra de vidrio en forma de hilo continuo [12].

Proceso de aplicación

- Se deposita en el molde un agente desmoldante para retirar con facilidad la pieza acabada.
- Se aplica una capa de gelcoat y se la deja curar a temperatura ambiente o en un horno.
- Se deposita la resina y el refuerzo con ayuda de una pistola de aspersión. La pistola corta la fibra de refuerzo a un tamaño predeterminado (10 a 40 mm) y la expulsa a través de un atomizador de resina catalizada hacia el molde. La pistola se mueve a lo largo del molde siguiendo un patrón que permita crear un espesor uniforme del laminado.
- El laminado se compacta por medio de un rodillo manual para permitir que el refuerzo se impregne del polímero, al mismo tiempo que contribuye a uniformizar el espesor de la pieza y a remover las burbujas de aire atrapadas en el laminado.
- Usualmente se intercala el material atomizado con capas de tejido de refuerzo u otros materiales en determinadas áreas de la pieza para conseguir mayor resistencia.
- Una vez obtenido el espesor deseado de la pieza (determinado por la cantidad de material atomizado y el número de capas de refuerzo añadidas), se deja curar el material. El curado se realiza a temperatura ambiente y dura entre 2 y 4 horas, dependiendo de la formulación de la resina.
- Finalmente, la pieza es retirada del molde [12].

Ventajas la aplicación del material es más rápida que en la estratificación manual y la fibra de vidrio que se utiliza (hilo continuo) es más barato que la utilizada en otros

métodos de procesamiento. Desventajas difíciles, el control de la fracción volumétrica del refuerzo y el espesor de la pieza, ya que dependen de la destreza del operador. Por otra parte, no se puede utilizar este proceso de fabricación para piezas con requerimientos estructurales altos y se obtiene únicamente un producto con buen acabado superficial. La emisión de estireno también constituye un problema [1].

2.2.4.4 Moldeo por compresión

Este método de procesamiento se deriva del estampado de placas metálicas, del cual se tiene extenso conocimiento ya que ha sido ampliamente usado y perfeccionado a través de los años. Los moldes empleados en esta técnica son del tipo macho - hembra, que tienen un diseño simple de tal forma que la presión requerida en el proceso de moldeo se puede aplicar fácilmente. Esta técnica de moldeo es utilizada tanto para materiales termoplásticos como para termoestables y consiste en intercalar láminas de matriz y refuerzo en forma de pre impregnados en un molde que es posteriormente prensado [12].

En los materiales termoestables, las láminas son premezclas de matriz-refuerzo debidamente formuladas y la consolidación puede o no requerir de la aplicación de calor, dependiendo de la resina utilizada. El contenido máximo de fibra que se puede alcanzar es de 30%. El proceso para las matrices termoestables consiste en cortar las láminas de pre impregnado en la forma deseada y colocarlas en la mitad inferior del molde (hembra). Los moldes se precalientan (120 -170°C) según lo requiera la formulación de la resina. La mitad superior del molde (macho) se cierra rápidamente [12].

Proceso de aplicación

- En la fase de precalentamiento se disponen alternadamente láminas de fibra de refuerzo y polímero termoplástico, con la adecuada orientación sobre un molde que ha sido anteriormente tratado con un agente desmoldante. La cantidad de material a utilizarse se calcula según el espesor deseado de la pieza.
- Se cierra el molde y se lo coloca en una prensa calefactora. Se aplica una presión baja o nula hasta que la temperatura del material alcance la temperatura de fusión de la resina.

- Una vez alcanzado el equilibrio térmico comienza la fase de moldeo, para lo cual se aplica una mayor presión llamada presión de moldeo, que consolida el material haciendo que el plástico, que se encuentra en estado fundido fluya a través de las rendijas formados por la disposición de las fibras.
- Transcurrido el tiempo de moldeo se lleva a cabo la fase de enfriamiento en la cual el molde es enfriado en una prensa con sistema de refrigeración de tal manera que la presión se mantenga constante hasta que el material se haya solidificado por completo. De esta forma se evita una recuperación elástica del material [1].

2.2.5 Ciencia de materiales.

2.2.5.1 Ensayo de materiales.

Para determinar las propiedades mecánicas en la caracterización y análisis de los materiales compuestos, se utilizan ensayos destructivos. Los ensayos mecánicos se realizan ante circunstancias simuladas y con equipo adecuado, para resultados satisfactorios [20].

a) Ensayo de tracción

Este ensayo es uno de los más comúnmente utilizados. El material ensayado se deforma hasta la rotura de la probeta, mediante la aplicación de una fuerza uniaxial a lo largo del eje principal, y que aumenta de manera gradual en la máquina universal como se verifica en la figura 2.5 [21].

En cuanto a materiales compuestos reforzados con fibras, el ensayo de tracción se lleva a cabo bajo las regulaciones de la norma D3039/D3039M y se lo realiza utilizando una máquina universal de ensayos. Como implemento para la realización del ensayo debe utilizarse algún elemento mecánico que garantice que la sujeción de la probeta sea adecuada, de tal forma que el deslizamiento sea mínimo [21].



Figura 2.5 Máquina universal [21].

b) Ensayo de flexión

Este ensayo es realizado mediante la norma D7264/D7264M. Este método de ensayo determina la rigidez a la flexión y propiedades de resistencia de un compuesto de matriz polimérica. El procedimiento aplicado corresponde a un sistema de carga en tres puntos utilizando una carga central en una viga con apoyos simples, realizados en la máquina de ensayo para flexión, como se muestra en la figura 2.6. Las propiedades a flexión pueden variar dependiendo de la superficie de la probeta, pues ningún laminado es perfectamente simétrico. Estas diferencias desviarán el eje neutral y los resultados se verán afectados incluso por la mínima asimetría presente en el laminado [21].

Las propiedades a flexión también pueden variar de acuerdo con el espesor de la probeta, ambientes condicionantes o de ensayo en el que se ejecutan las pruebas, velocidad de aplicación de esfuerzo. Cuando se evalúan distintos materiales, los parámetros deben ser equivalentes para la comparación de todos los datos obtenidos.



Figura 2.6 Máquina de ensayo a flexión [21].

c) Ensayo de impacto

Ensayo de impacto mediante caída de dardo Este ensayo de impacto se realiza bajo las especificaciones de la norma técnica ASTM D5628. Es importante considerar que el área de impacto del dardo esté libre de fallas, para obtener resultados satisfactorios. Con este método normalizado de ensayo se determina la energía de falla del material, en la cual se presentan fisuras al dejar caer un dardo sobre la probeta en cuestión. Se coloca la probeta en la máquina y se deja caer el dardo. Asimismo, 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 ha sufrido o no daño. Es importante conocer que se considera como falla al apareamiento de una fisura en la probeta. Esta debe ser detectada a simple vista, bajo condiciones de luz normal [1].

2.3 Fundamentación filosófica

La presente investigación sobre el comportamiento de material híbrido de matriz polimérica está ubicada dentro del paradigma crítico propositivo; crítico porque ejecuta un contexto de avances dentro del área de materiales para la ingeniería e invención para la industria automotriz en el Ecuador y propositivo por cuanto busca plantear una alternativa de solución a la escasa disponibilidad de nuevos materiales, a impericia de sus propiedades mecánicas que consigan mejorar al diseño y elaboración de productos, que necesiten las características que estos puedan ofrecer.

2.4 Fundamentación legal

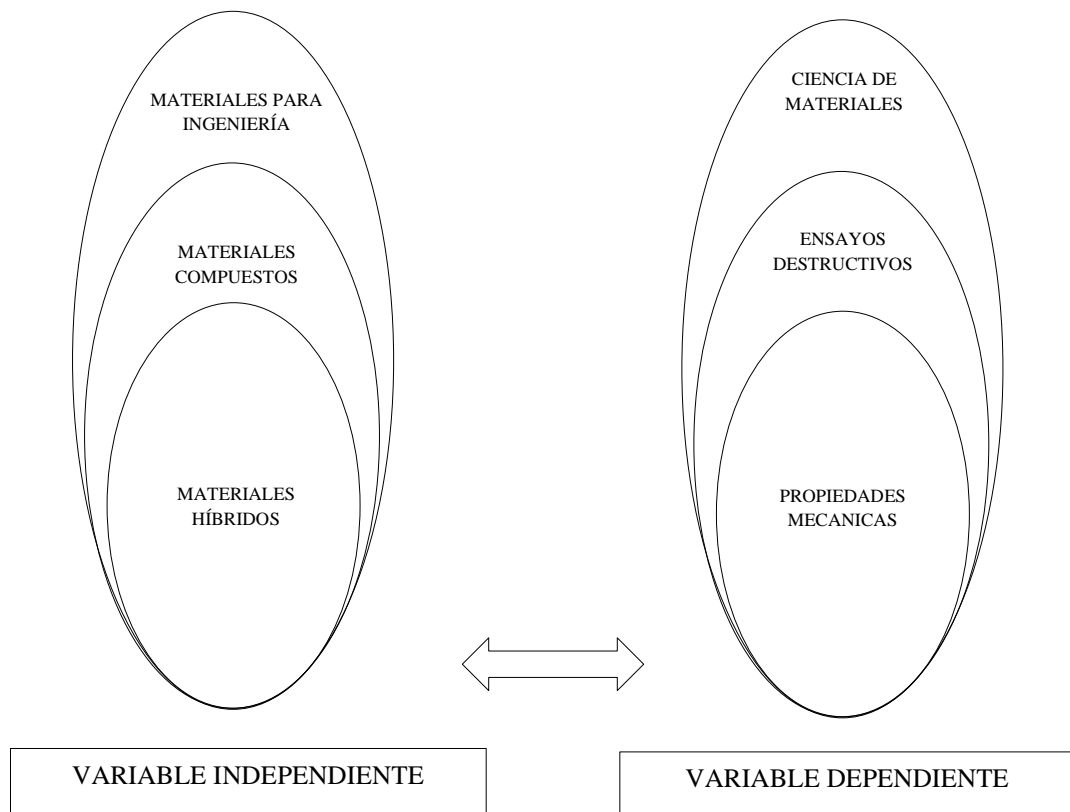
La determinación de las probetas para los ensayos de tracción y flexión estará determinada según las normas:

- ASTM D3039, Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials.
- ASTM D7264, Standard Test Method for Flexural Properties of Polymer Matrix Composite Materials.

Para evaluar las probetas de ensayos de impacto, de acuerdo con la norma.

- ASTM D5628, Standard Test Method for Impact Resistance of Flat, Rigid Plastic Specimen by Means of a Striker Impacted by a Falling Weight (Gardner Impact).

2.5 Categorías fundamentales



2.6 Hipótesis

La orientación y proporción adecuada de los elementos de un nuevo material híbrido de matriz polimérica de resina poliéster y fibra natural de cabuya, reforzada con fibra de carbono permitirá obtener un material con las propiedades mecánicas requeridas para su aplicación en el sector automotriz.

2.7 Señalamiento de variables

2.7.1 Variable independiente

Orientación y proporción de los elementos de un nuevo material híbrido de matriz polimérica de resina poliéster y fibra natural de cabuya, reforzada con fibra de carbono.

2.7.2 Variable dependiente

Propiedades mecánicas

2.7.3 Término de relación

Permitirá

CAPÍTULO III

3.1 Enfoque

En el estudio el proceso de investigación se maneja parámetros sobresalientes cuantitativos; ya que se procesarán datos numéricos a partir de la experimentación científica realizada en los diferentes ensayos para determinar la relación de las variables independientes con las propiedades mecánicas del nuevo material híbrido, también se realizará en este estudio un análisis cualitativo para identificar aspectos físicos del material. La información necesaria para llevar a cabo el presente estudio va a provenir principalmente de fuentes como son libros, tesis, publicaciones y/o artículos técnicos en las áreas de los materiales compuestos; así también para el análisis de resultados se manejará tablas, gráficas de barras, gráficas de dispersión de datos, etc.

3.2 Modalidad básica de la investigación

3.2.1 De campo

La caracterización del nuevo material híbrido pretende que los resultados de la investigación sean utilizados como material alternativo para la producción de la industria automotriz nacional.

3.2.2 Bibliográfico

En el estudio presente por su contextualización necesitará la aplicación de la modalidad de investigación bibliográfica por requerir fuentes como libros, artículos técnicos, tesis, publicaciones y fichas técnicas entre otros para su elaboración.

3.2.3 Experimental

El estudio se realizará mediante la modalidad experimental, debido a que los resultados que se obtendrán mediante pruebas destructivas permitieran generar un estándar experimental para su futura aplicación en la industria automotriz.

3.3 Nivel o tipo de investigación

3.3.1 Exploratoria

El estudio se realizará debido a que existe poca información relacionada con el problema a investigar, por lo que ameritó un tipo de investigación flexible que permita identificar las propiedades importantes del nuevo material híbrido de matriz polimérica.

3.3.2 Descriptiva

El estudio se realizará mediante el método descriptivo pues uno de los fines de este fue describir, las propiedades y formulación de cada material que se pretende utilizar para formar el nuevo material híbrido de matriz polimérica. A más de describir la obtención de las diferentes propiedades mecánicas y el proceso para su determinación.

3.3.3 Explicativo

El estudio será explicativo porque los resultados que se obtengan permitirán dar una explicación a la industria automotriz sobre las ventajas mecánicas y económicas de poder aplicar nuevos materiales en su producción.

3.4 Población y muestra

3.4.1 Población

La presente investigación tendrá como población las probetas elaboradas a partir de matrices de resina poliéster y fibra de vidrio, y matriz de resina poliéster, fibra de cabuya reforzada con fibra de carbono, estas probetas serán sometidas a esfuerzos normales, a las que se les aplicará cada uno de los estudios necesarios para identificar sus propiedades.

3.4.2 Muestra

Las probetas con un mínimo de cinco (Anexo 3) por tipo de ensayo y bajo lo establecido en las normas correspondientes tracción ASTM D3039, flexión ASTM D7264 e impacto ASTM D5628, en función de la configuración y fracción volumétrica del material híbrido propuesto (resina poliéster, fibra de cabuya reforzada con fibra de carbono), mediante moldes y probetas, para luego del análisis correspondiente

determinar el material que presente la mejor combinación de propiedades mecánicas en número de probeta se verifica en la tabla 3.1.

Tabla 3.1 Número de probetas.

Descripción de ensayo	Norma	Capas	Número de probetas
Ensayo a tracción	ASTM D3039	RP -75%FV	5
		RP -75%FCA	5
		RP -75%FC	5
		RP -50%FCAT -25%FC	5
		RP -40%FCAT -50%FC	5
		RP -40%FCAST -50%FC	5
Ensayo a flexión	ASTM D7264	RP -75%FV	5
		RP -75%FCA	5
		RP -75%FC	5
		RP -50%FCAT -25%FC	5
		RP -40%FCAT -50%FC	5
		RP -40%FCAST -50%FC	5
Ensayo de impacto	ASTM D5628	RP -75%FV	5
		RP -75%FCA	5
		RP -75%FC	5
		RP -50%FCAT -25%FC	5
		RP -40%FCAT -50%FC	5
		RP -40%FCAST -50%FC	5
Combinaciones	Detalle		
RP -75%FV	Resina poliéster - fibra de vidrio		
RP -75%FCA	Resina poliéster - fibra de cabuya		
RP -75%FC	Resina poliéster - fibra de carbono		
RP -50%FCAT -25%FC	Resina poliéster - fibra de cabuya tejida- fibra de carbono		
RP -40%FCAT -50%FC	Resina poliéster - fibra de cabuya tejida- fibra de carbono		
RP -40%FCAST -50%FC	Resina poliéster - fibra de cabuya sin tejida- fibra de carbono		

3.5 Operacionalización de variables

3.5.1 Variable independiente

La orientación de material híbrido de matriz polimérica de resina poliéster y fibra natural de cabuya, reforzada con fibra de carbono.

Conceptualización	Categorías	Indicadores	Índice	Técnicas e Instrumentos
Un material híbrido la combinación de dos o más materiales en una geometría y escala predeterminada con un óptimo desempeño en aplicaciones específicas.	Materiales Híbridos.	Fracción Volumétrica	Refuerzo de fibra de carbono 25 % y 50 %	Observación directa Norma ASTM D Fichas de datos
		Orientación de fibras	Longitudinal Transversal	
		Capas de fibras	1RP- 1FCA 1RP- 1FCA-FC	
1RP- 1FCA	Resina poliéster - fibra de cabuya			
1RP- 1FCA-FC	Resina poliéster - fibra de cabuya - fibra de carbono			

3.5.2 Variable dependiente

Propiedades mecánicas

Conceptualización	Categorías	Indicadores	Índice	Técnicas e Instrumentos
Comportamiento mecánico de un material frente a la aplicación de fuerzas o cargas, que son evaluadas mediante ensayos específicos bajo normas y especificaciones técnicas de los equipos.	Tracción:	Resistencia a la tracción Módulo de Elasticidad	¿Cuál será la resistencia a la tracción y módulo de elasticidad?	Observación: Fichas para toma de datos. Máquina universal
	Flexión	Esfuerzo de flexión Módulo a la flexión	¿Cuál será el esfuerzo y modulo a la flexión?	Observación: Fichas para toma de datos. Máquina universal
	Impacto	Resistencia al Impacto.	¿Cuál será la resistencia al impacto?	Observación: Fichas para toma de datos. Máquina de impacto de dardo

3.6 Recolección de la información

En esta etapa del estudio se realizará la acumulación de la información necesaria referente al problema mediante la técnica bibliográfica. El procedimiento de observación se tomó notas de todo lo que se consideró necesario, para describir y analizar los hechos de significación especial que ayudaron a tener una base informativa suficiente. Para la recolección de información por tratarse de una investigación técnica se utilizó instrumentos de apoyo como registros, artículos, catálogos material bibliográfico referente al tema.

3.7 Procesamiento y análisis

Una vez recolectada toda la información primaria y secundaria, mediante observación directa e investigación bibliográfica, se procedió a clasificarla y organizarla, para facilitar su interpretación y posterior utilidad, los datos que se obtuvo de los ensayos de las probetas del material híbrido se procesó mediante: tablas, fichas técnicas de recolección de información, fotografías y simulaciones que permitieron la tabulación de los datos de acuerdo a los parámetros y a la relación que tienen las variables independientes y dependientes. Con la finalidad de facilitar el procesamiento de estos datos y determinar las propiedades mecánicas del material híbrido.

El análisis de la información recolectada desde el punto de vista estadístico con resultados de los ensayos preliminares que se realizó para determinar las propiedades mecánicas a tracción, flexión e impacto. Sostenidos en la información recolectada, relacionando así las variables de la investigación, para establecer los resultados obtenidos.

Para procesar y análisis de la información se realizó un diagrama de flujo con todos los parámetros establecidos para el presente estudio.

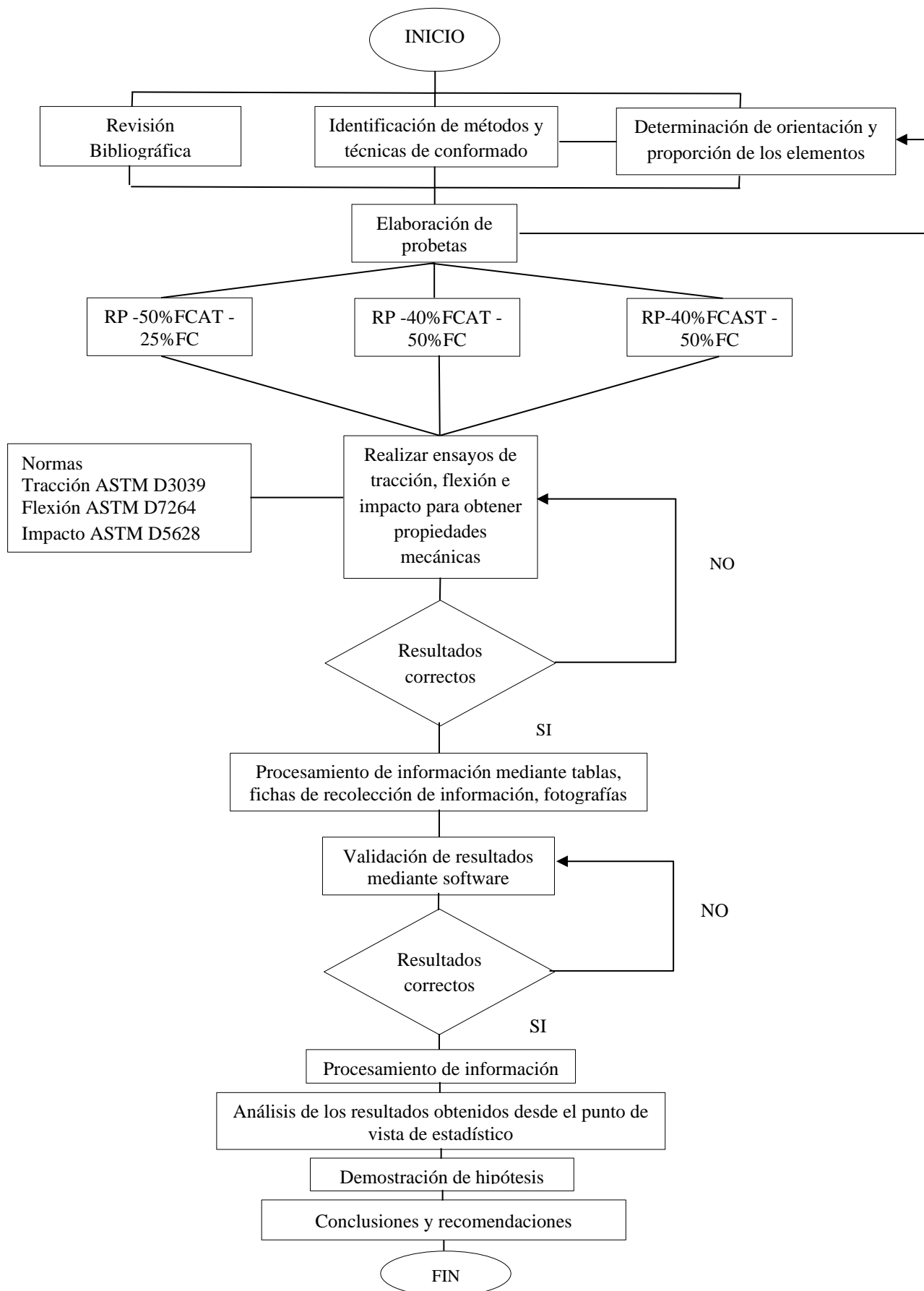


Figura 3.1 Diagrama de proceso

CAPÍTULO IV

4.1 Análisis de los resultados.

El material compuesto de matriz poliéster resina poliéster, fibra de cabuya reforzado con fibra de carbono representa una alternativa para sustituir a los diferentes materiales utilizados en la producción de piezas automotrices. Así mismo, dentro de las principales aplicaciones del material compuesto reforzado fibra de carbono, se enfoca en el mercado de la fabricación de piezas para autobuses en la construcción de carrocerías, donde varían desde piezas para interiores y exteriores. Para la cual se realiza ensayos preliminares del material de resina poliéster y fibra de vidrio utilizado en la fabricación de piezas automotrices para determinar las propiedades mecánicas. Y tener el material de referencia o material base para poder realizar las diferentes combinaciones propuestas.

4.1.1 Ensayo de tracción material de fibra de vidrio.

Para el ensayo a tracción se utilizaron probetas con la geometría y dimensiones recomendadas en la norma ASTM D3039 como se muestra en la figura 4.1.



Figura 4.1 Probetas para ensayo a tracción con cinta de lija y fibra de vidrio.



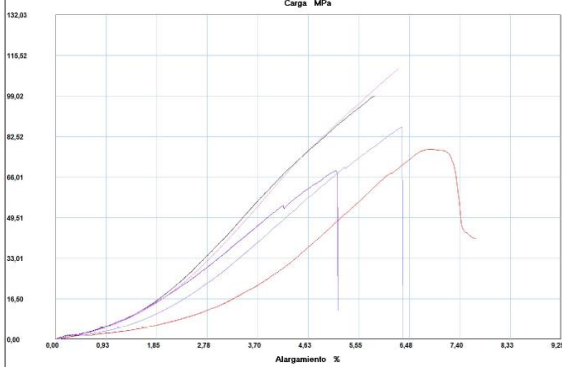

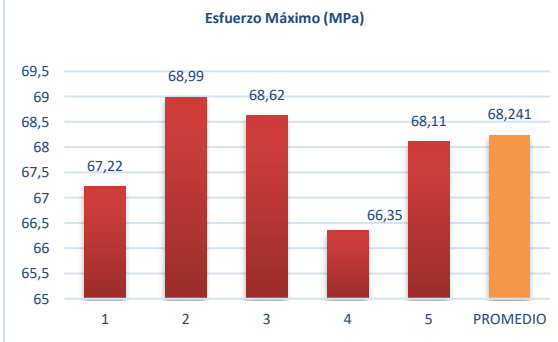
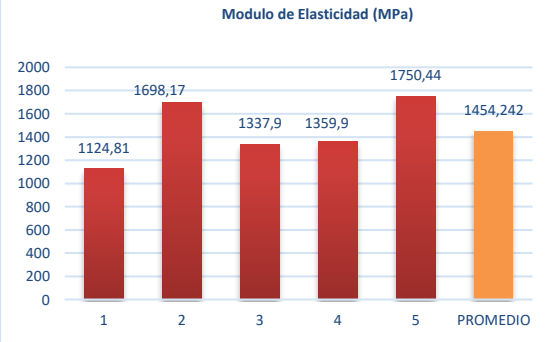
Esfuerzos máximos a tracción

Se realizó un número de 5 probetas en base a la fracción volumétrica y la norma ASTM D3039. Para el ensayo se utiliza tipo de ensayo cuantitativo, y se aplica una carga a una velocidad constante de 10 mm/min.

Tabulación de resultados

La tabulación de datos de las probetas para el material utilizado en la fabricación de piezas automotrices, bajo las condiciones establecidas y se detalla en la ficha técnica 4.1 que se ha elaborado, en función de las necesidades y desarrollo del estudio.

Ficha Técnica 4.1 Recolección de datos del material de fibra de vidrio tracción.

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA MAESTRÍA EN MECÁNICA MENCIÓN DISEÑO ENSAYO A TRACCIÓN NORMA ASTM D3039			
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DE UN MATERIAL COMPUESTO (RESINA POLIÉSTER – FIBRA DE VIDRIO)					
Fecha:	19/07/2019	Ciudad:	Ambato		
Laboratorio:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero (Anexo 4)				
Máquina:	Máquina de ensayos universal Polímeros Metro test 50KN	Modelo	MTE-50		
		Serie	8210M002		
Material de matriz:	Resina Poliéster	Material de refuerzo:	Fibra de cabuya		
Velocidad de ensayo:	10 mm/min	Temperatura:	22.8°C		
F. Volumétrica:	75% de refuerzo Fibra de vidrio	Humedad relativa (%):	54,3		
Dimensión de probetas:					
Longitud (mm)	250	Ancho (mm)	25	Espesor nominal (mm)	4
Número de probetas:	5	Responsable:	Ing. Diego Ramos		
Datos del ensayo realizado bajo la Norma ASTM D3039 (Ensayo a TRACCIÓN).					
Probetas		Deformación máxima %	Carga máxima (N)	Esfuerzo máximo (Mpa)	Módulo de elasticidad (Mpa)
Número	Denominación				
1	T-RCT1	6.87	6519,50	67,22	1124,81
2	T-RCT2	5.83	9910,20	68,99	1698,17
3	T-RCT3	5.13	6771,95	68,62	1337,90
4	T-RCT4	6.35	8936,70	66,35	1359,90
5	T-RCT5	6.29	10052,21	68,11	1750,44
Promedio:		6.092	8438,112	68,241	1454,242
Desviación Estándar:		0,652	1693,968	16,58	263,722
Gráfica de resultados					
			Probetas sometidas a ensayo 		
Esfuerzo Máximo (MPa) 			Módulo de Elasticidad (MPa) 		
Observaciones			Evaluación		
La probeta tiene un comportamiento similar ya que los resultados no tienen mucha variación			Esfuerzo Máximo promedio: 68,241 Mpa		
4 probetas presentaron ruptura en la zona, media y 1 probeta en la zona superior.			Módulo de Elasticidad promedio: 1454,242 MPa		
Elaborado	Ing. Diego Ramos		Aprobado	Ing. Víctor Espín Mg.	
Revisado	Ing. Víctor Espín Mg.		Validado	Ing. Víctor Espín Mg.	

4.1.2 Ensayo de flexión material de fibra de vidrio.

Para el ensayo a flexión se utilizaron probetas con la geometría y dimensiones recomendadas en la norma ASTM D7264 como se muestra en la figura 4.2. Las probetas se tomaron de una de la empresa de producción reconocida a nivel nacional, este estudio previo no sirve para obtener un parámetro inicial para la obtención del nuevo material híbrido.



Figura 4.2 Probetas para ensayo a flexión fibra de vidrio.



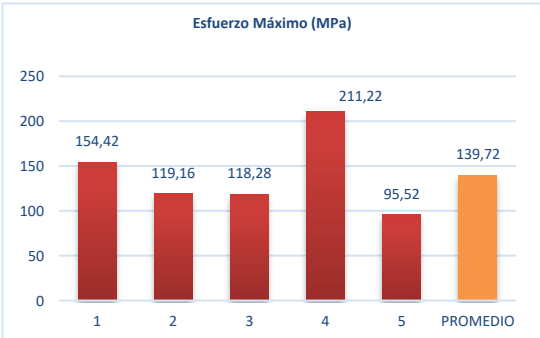
Esfuerzos máximos a flexión

Se realizó para el ensayo un número de 5 probetas en base a la estratificación, fracción volumétrica y la norma ASTM D7264. Para el ensayo se utiliza tipo de ensayo cuantitativo, probetas planas y se aplica una carga a una velocidad constante de 10 mm/min, para determinar la carga máxima aplicada, los esfuerzos máximos y el módulo de elasticidad del material ensayado.

Tabulación de resultados

La tabulación de datos de las probetas en la fabricación de piezas automotrices, bajo las condiciones establecidas se detalla en la ficha técnica 4.2 que se han elaborado, en función de las necesidades y desarrollo del estudio y que se adaptan para ensayos de materiales híbridos.

Ficha Técnica 4.2 Recolección de datos del material de fibra de vidrio ensayo a flexión.

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA MAESTRÍA EN MECÁNICA MENCIÓN DISEÑO ENSAYO A FLEXIÓN NORMA ASTM D7264					
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DE UN MATERIAL COMPUESTO (RESINA POLIÉSTER – FIBRA DE VIDRIO)							
Fecha:	19/07/2019		Ciudad:	Ambato			
Laboratorio:	Centro de Fomento Productivo Metalmeccánico Carrocero (Anexo 4)						
Máquina:	Máquina de ensayos universal Polímeros Metro test 50KN		Modelo	MTE-50			
			Serie	8210M002			
Material de matriz:	Resina Poliéster		Material de refuerzo:	Fibra de cabuya			
Velocidad de ensayo:	10 mm/min		Temperatura:	22,8°C			
F. Volumétrica:	75% de refuerzo Fibra de vidrio		Humedad relativa (%):	51.5			
Dimensión de probetas:							
Longitud (mm)	160	Ancho (mm)	13	Espesor nominal (mm)	4		
Número de probetas:	5		Responsable:	Ing. Diego Ramos			
Datos del ensayo realizado bajo la Norma ASTM D7264 (Ensayo a FLEXIÓN).							
Probetas		Deflexión máxima %	Carga máxima (N)	Esfuerzo máximo (Mpa)	Módulo de Flexión (Mpa)		
Número	Denominación						
1	F-RCT1	2,12	124,65	154,42	7273,40		
2	F-RCT2	2,11	85,20	119,16	5644,73		
3	F-RCT3	1,87	119,91	118,28	6317,79		
4	F-RCT4	1,90	258,76	211,22	11097,72		
5	F-RCT5	1,84	69,42	95,52	5196,72		
Promedio:		1,97	131,588	139,72	7106,07		
Desviación Estándar:		0,14	74,79	45,18	2364,52		
Gráfica de resultados							
				<p style="text-align: center;">Probetas sometidas a ensayo</p> 			
<p style="text-align: center;">Esfuerzo Máximo (MPa)</p> 				<p style="text-align: center;">Módulo de Flexión (MPa)</p> 			
Observaciones				Evaluación			
La probeta tiene un comportamiento similar ya que los resultados no tienen mucha variación				Esfuerzo Máximo promedio: 139,72 Mpa			
Las probetas no presentan ruptura.				Módulo de flexión promedio: 7106,07 MPa			
Elaborado	Ing. Diego Ramos			Aprobado	Ing. Víctor Espín Mg.		
Revisado	Ing. Víctor Espín Mg.			Validado	Ing. Víctor Espín Mg.		






4.1.3 Ensayo de impacto material de fibra de vidrio.

Para el ensayo a impacto se utilizaron probetas con la geometría y dimensiones recomendadas en la norma ASTM D5628 como se muestra en la figura 4.3. con un número de 5 probetas. La tabulación de datos de las probetas en la fabricación de piezas automotrices, bajo las condiciones establecidas se detalla en la ficha técnica 4.3 que se han elaborado.



Figura 4.3 Probetas para ensayo a impacto fibra de vidrio.

Ficha Técnica 4.3 Recolección de datos del material de fibra de vidrio ensayo a impacto.

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA MAESTRÍA EN MECÁNICA MENCIÓN DISEÑO ENSAYO IMPACTO NORMA ASTM D5628						
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DE UN MATERIAL COMPUESTO (RESINA POLIÉSTER – FIBRA DE VIDRIO)								
Fecha:		19/07/2019		Ciudad:		Ambato		
Laboratorio:		Laboratorio de Materiales de la Facultad de Ingeniería Mecánica. FICM-UTA (Anexo 4)						
Máquina:		Máquina de Impacto de Dardo		Geometría		FE		
Material de matriz:		Resina Poliéster		Diámetro de dardo (mm):		20		
Material de refuerzo:		Fibra de vidrio		Masa de dardo (Kg):		0,285		
F. Volumétrica:		75% de refuerzo Fibra de vidrio		Temperatura:		23°C		
Dimensión de probetas:								
Longitud (mm)		58	Ancho (mm)		58	Espesor nominal (mm)		6
Número de probetas:		5		Responsable:		Ing. Diego Ramos		
Datos del ensayo realizado bajo la Norma ASTM D5628 (Ensayo a IMPACTO).								
Probetas		Altura de Lanzamiento de Falla (mm)			Resistencia Máxima al Impacto. (J)			
El mejor		800			2,23			
Gráfica de Ensayo								
Máquina de Impacto por dardo		Dardos			Probetas de Impacto			
								
Observaciones								
Zona de fractura: Parte Central de la probeta				Característica de falla: Fractura frágil tipo estrella				
Tipo de falla: Comportamiento frágil				Resistencia Máxima al Impacto. (J): 2,23				
Inicio de falla: Inicio de falla en la matriz								
Elaborado		Ing. Diego Ramos		Aprobado		Ing. Víctor Espín Mg.		
Revisado		Ing. Víctor Espín Mg.		Validado		Ing. Víctor Espín Mg.		

4.1.4 Métodos y técnicas de conformado de nuevos materiales híbridos.

La selección del método para la fabricación de materiales híbridos es de gran importancia porque permite satisfacer los requerimientos de un producto para una aplicación determinada. Es necesario escoger el método de procesamiento que se utiliza en la fabricación de piezas automotrices

La necesidad de conocer las condiciones del proceso, las ventajas y limitaciones de cada técnica de procesamiento. Por tal motivo se revisó los procesos más utilizados para la obtención de materiales híbridos, tales como: estratificación manual, estratificación pre impregnados, moldeo por aspersión, moldeo por compresión.

Realizada la investigación bibliográfica de los métodos y técnicas de conformado de materiales híbridos en el punto 2.2.4. Se establece un diagrama en la figura 4.4 en la cual las empresas fabricantes de piezas para carrocerías en el país y mediante la información proporcionada por la Cámara Nacional de Fabricantes de Carrocerías CANFAC sobre qué método y técnica de conformado de materiales compuestos es utilizada en la actualidad en la industria.

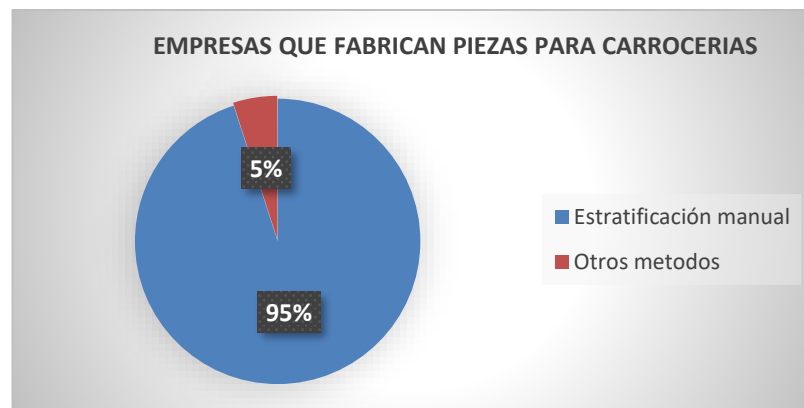


Figura 4.4 Diagrama de porcentajes de proceso para fabricación de piezas automotrices.

Se determinó que el 95 % de las empresas realiza el método de estratificación manual y el 5% realizan otros tipos de métodos, con varias condiciones del proceso como la temperatura, orientación y proporción, las cuales se utilizó para el siguiente punto que es la elaboración de probetas. En las tablas 4.1 y 4.2 se verifica las ventajas y limitaciones que tienen los métodos utilizados.

Tabla 4.1 Ventajas y limitaciones de la estratificación manual.

Ventajas	Limitaciones
Simple operación	Aumento de mano de obra
Costos reducidos al proceso de manufactura	Control de espesor de pieza
Elaboración de piezas de gran tamaño	Contaminación de las emisiones de solventes al ambiente

Tabla 4.2 Ventajas y limitaciones de la estratificación a compresión.

Ventajas	Limitaciones
Método sin contaminación, resina no expuesta al ambiente	Tamaño limitado de piezas
Bajo porosidades en las piezas	Costos altos de moldes precisión de ensambles
Mejores acabados	Aparecimiento de impregnaciones defectuosas


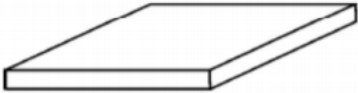
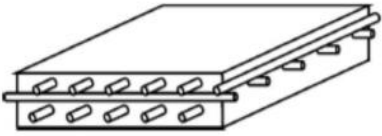
Por lo cual, una vez verificado el ámbito de producción de piezas de autobuses, para el estudio se estable utilizar el método de estratificación manual y compresión ya que el material de refuerzo puede presentarse en diferentes formas.

4.1.5 Orientación y proporción adecuada de los elementos constitutivos del nuevo material híbrido.

4.1.5.1 Orientación y configuración de la matriz polimérica de resina poliéster y fibra de cabuya reforzada con fibra de carbono.

Las fibras de refuerzo ya constituyen por sí solas el elemento resistente del material, sin embargo, aisladamente, su eficiencia no es la óptima. Es necesario entonces relacionarlas con una matriz que las proteja de factores externos y con algún tipo de esfuerzo en particular. Pueden ser cortas, largas o estar entretrejidas, a estas se les pide como requisito la compatibilidad con los materiales que forman la matriz. La composición reforzada es sumamente importante y se presenta en la tabla 4.3.

Tabla 4.3 Composiciones reforzados con fibras naturales.

<p>Hilo de refuerzo</p> 	<p>Eleva resistencia Eleva rigidez Baja densidad</p>
<p>+ Matriz de unión</p> 	<p>Buenas propiedades a cortante Baja densidad Fácil fabricación</p>
<p>=Composite</p> 	<p>Resistencia >> Matriz Rigidez >> Matriz Densidad >> Matriz</p>

Orientación de materiales compuestos reforzados con fibras:

Sobre alguna de las caras de la pieza ha de indicarse cuál es "el cero" de referencia para la orientación de las fibras, tanto en las cintas como en el tejido. Para que no haya lugar a dudas, se marca la dirección de 0°, la de 90° y la llamada -0°, tal y como muestra el símbolo de la figura 4.5.

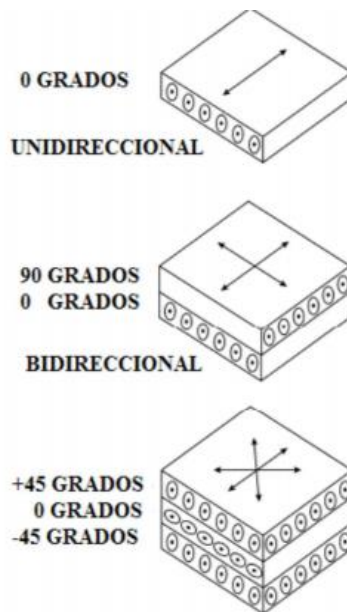


Figura 4.5 Orientaciones de materiales compuestos [22].

Los materiales de refuerzo presentan morfologías muy variadas con orientaciones características. Las fibras pueden disponerse como telas o tejidos o ser producidas en forma de fibras largas. También se puede cambiar la orientación en las capas alternadas de fibras largas, para obtener mejores resultados al momento de la obtención del material.

Tipos de malla:

Malla Tafetán: donde los hilos de Trama y Urdimbre se entrecruzan alternativamente como en la figura 4.6.

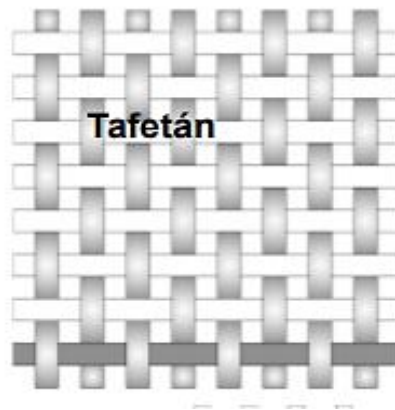


Figura 4.6 Malla tafetán [22].

- Mallas Unidireccionales: El número de hilos es netamente más elevado en un sentido que en el otro. En este apartado dispondríamos de mallas unidireccionales en sentido trama y en sentido urdimbre. Normalmente los hilos vendrán colocados en paralelo y unidos entre ellos [22].
- Mallas Bidireccionales: Equilibradas o compensadas en las que el refuerzo tanto en número de hilos como en disposición dentro de la malla está compensado y es idéntico en trama y en urdimbre [22].

Este tipo de componentes están formadas por un agrupamiento o empilado de capas que se van colocando con las orientaciones necesarias para obtener las características de rigidez o tenacidad necesarias.

La secuencia de empilado y la orientación de cada una de las capas se indica con:

- Unas flechas o banderas que indican la secuencia de empilado, numerando las capas.
- Una tabla que identifica cada capa con su orientación (normalmente 0, 90°, 45°, -45°, 60°, -60'), material, cantidad y espesor. [22]

En el estudio se determinan la orientación y configuración según la secuencia de empilado mediante la tabla 4.4. En la que se establece la dirección u orientación, material, Cantidad de capas y espesor aproximado, donde longitudinal es a 0° y transversal es a 90°.

Tabla 4.4 Orientación de fibras y número de capas.

Orientación de fibra	Material	Cantidad de capas	Total, de capas	Espesor aproximado (mm)
Longitudinal y Transversal	Fibra de cabuya tejida	4	4	6
Longitudinal y Transversal	Fibra de carbono tejida	6	6	6
Longitudinal y Transversal	Fibra de cabuya tejida Fibra de carbono tejida	3 1	4	6
Longitudinal y Transversal	Fibra de cabuya tejida Fibra de carbono tejida	2 3	5	6
Longitudinal y Transversal	Fibra de cabuya sin tejer Fibra de carbono tejida	2 3	5	6

4.1.5.2 Determinación de la fracción volumétrica del refuerzo y matriz a utilizar para los ensayos mecánicos.

Para la determinación de las fracciones volumétricas del refuerzo de fibra, se determina experimentalmente para cada tipo de combinación como se muestra en la Tabla 4.5.

Tabla 4.5 Número de capas y combinaciones

Número	Tipo de refuerzo	Fracción volumétrica
1	Fibra de cabuya tejida	75%
2	Fibra de carbono tejida	75%
3	Fibra de cabuya tejida Fibra de carbono tejida	50% 25%
4	Fibra de cabuya tejida Fibra de carbono tejida	40% 50%
5	Fibra de cabuya sin tejer Fibra de carbono tejida	40% 50%

Los parámetros para establecer el volumen requerido son:

- Dimensión de probetas en base a la normativa: ASTM D 3039 (tracción), ASTM D 7264 (flexión) y ASTM D 5628 (impacto).
- Pérdidas de resina poliéster durante el proceso de preparación y aplicación en el molde.
- Espacio disponible del molde para la obtención de los diferentes tipos de probetas.

Con estos parámetros se toma en cuenta las dimensiones del molde, largo 430 mm, ancho 340 mm y espesor de 6 mm. El volumen requerido es de $877,2 \text{ cm}^3 \approx 878 \text{ cm}^3$.

a) Cálculo para la fracción volumétrica del 75% de refuerzo fibra de cabuya tejida.

Determinado el volumen requerido para el molde, se estima la masa de la fibra de cabuya y la cantidad de matriz (resina poliéster) indispensable para la manufactura del material compuesto, según [12] para determinar la fracción volumétrica.

$$\rho_c = f_m \rho_m + f_f \rho_f \quad \text{Ec. (2)}$$

$$f_f = 1 - f_m \quad \text{Ec. (3)}$$

Donde:

f_m = Fracción volumétrica de la matriz

ρ_m = Densidad de la matriz

f_f = Fracción volumétrica de la fibra

ρ_f = Densidad de la fibra

ρ_c = Densidad del material compuesto

Datos conocidos del material compuesto:

- Densidad de la matriz (m): 0,99 gr/cm³
- Densidad de la fibra (f): 1,30 gr/cm³
- Fracción volumétricas de la fibra (fm): 0,75
- Fracción volumétrica la matriz (f): 0,25

$$f_f = 1 - f_m$$

$$f_f = 1 - 0.75 = 0.25$$

El cálculo de la densidad del material compuesto (fibra de cabuya + resina poliéster).

$$\rho_c = f_m \rho_m + f_f \rho_f$$

$$\rho_c = (0.25 \times 0,99 \text{ gr/cm}^3) + (0.75 \times 1,3 \text{ gr/cm}^3)$$

$$\rho_c = 1,22 \text{ gr/cm}^3$$

Se determina la fracción volumétrica del refuerzo del material compuesto (fibra de cabuya).

$$\rho_c = f_m \rho_m + f_f \rho_f$$

$$\rho_c = (1 - f_f) \rho_m + f_f \rho_f$$

$$\rho_c = \rho_m - f_f \rho_m + f_f \rho_f$$

$$1,22 = 0,99 - 0,99 f_f + 1,3 f_f$$

$$f_f = 0,741$$

$$f_f = 74,1\% \approx 75\%$$

Determinación de la fracción volumétrica de la matriz del material compuesto (resina poliéster).

$$f_m = 1 - f_f$$

$$f_m = 1 - 0,75$$

$$f_m = 0,25$$

$$f_m = 25\%$$

Se verifica que el porcentaje establecido cumple la relación entre las densidades de la matriz, con la densidad de la fibra de cabuya. La fracción volumétrica requerida del material de refuerzo es del 75% fibra de cabuya y la fracción volumétrica de la matriz es del 25% (resina poliéster).

Con las fracciones volumétricas obtenidas del refuerzo y de la matriz se procede a la determinación del volumen de la matriz y de la masa del refuerzo.

Cálculo del volumen de la matriz resina poliéster. Con el volumen del molde y la fracción volumétrica requerida, se determina el volumen de resina poliéster necesario para el moldeo.

$$V_{Requerido} = 878 \text{ cm}^3.$$

$$f_m = 25\% = 0,25$$

$$V_{Resina \text{ poliéster}} = 878 \times 0,25 = 219,5 \text{ cm}^3.$$

Este es el volumen de resina poliéster necesaria para el moldeo, además la resina se le agrega el catalizador MEK, porcentaje que varía del 1% al 2% del volumen requerido de resina, se utiliza el 1.5% de volumen de endurecedor MEK obteniendo 3.29 cm^3 .

Cálculo de la masa del material de refuerzo fibra de cabuya. Con el volumen del molde y la fracción volumétrica requerida del refuerzo, se determina la masa de fibra necesaria:

$$V_{Requerido} = 878 \text{ cm}^3.$$

$$f_f = 75\%$$

$$V_{Refuerzo} = 878 \times 0,75 = 565,5 \text{ cm}^3.$$

Con el volumen necesario de fibra, se determina la masa de la fibra de cabuya:

$$V_{Refuerzo} = 565,5 \text{ cm}^3.$$

$$\rho_f = 1,3 \text{ (gr/cm}^3\text{)}$$

$$\rho = m/V$$

$$m_{Refuerzo} = \rho_f \times V_{Refuerzo}$$

$$m_{Refuerzo} = 1,3 \text{ (gr/cm}^3\text{)} \times 564,5 \text{ cm}^3 = 733,85 \text{ gr}$$

Una vez realizado los cálculos se detallan en la tabla 4.6 los resultados obtenidos tanto para el volumen de resina poliéster necesario, el volumen de catalizador y masa de refuerzo de la fibra de cabuya.

Tabla 4.6 Resultados obtenidos primera combinación.

Datos	Valores
Volumen requerido	878 cm ³
Fracción volumétrica del 25% resina poliéster	
Volumen resina poliéster	219,5cm ³
Volumen de catalizador	3,29 cm ³
Masa de refuerzo de fibra de cabuya	733,85 gr

b) Cálculo para la fracción volumétrica del 75% de refuerzo fibra de carbono tejida.

Datos conocidos del material compuesto:

- Densidad de la matriz (m): 1,15 gr/cm³
- Densidad de la fibra (f): 1,75 gr/cm³
- Fracción volumétricas de la fibra (fm): 0,75
- Fracción volumétrica la matriz (f): 0,25

$$f_f = 1 - f_m$$

$$f_f = 1 - 0.75 = 0.25$$

Determinación de la densidad del material compuesto (fibra de carbono + resina poliéster).

$$\rho_c = f_m \rho_m + f_f \rho_f$$

$$\rho_c = (0.25 \times 1,15 \text{ gr/cm}^3) + (0.75 \times 1,75 \text{ gr/cm}^3)$$

$$\rho_c = 1,6 \text{ gr/cm}^3$$

Se calculó la fracción volumétrica del refuerzo del material compuesto (fibra de carbono).

$$\rho_c = f_m \rho_m + f_f \rho_f$$

$$\rho_c = (1 - f_f) \rho_m + f_f \rho_f$$

$$\rho_c = \rho_m - f_f \rho_m + f_f \rho_f$$

$$1,6 = 1,15 - 1,15 f_f + 1,75 f_f$$

$$f_f = 0,75$$

$$f_f = 75\%$$

La determinación de la fracción volumétrica de la matriz del material compuesto (resina poliéster).

$$f_m = 1 - f_f$$

$$f_m = 1 - 0,75$$

$$f_m = 0,25$$

$$f_m = 25\%$$

Se verifica que el porcentaje establecido cumple la relación entre las densidades de la matriz, con la densidad de la fibra de carbono. La fracción volumétrica requerida del material de refuerzo es del 75% fibra de carbono y la fracción volumétrica de la matriz es del 25% (resina poliéster).

Con las fracciones volumétricas obtenidas del refuerzo y de la matriz se procede a la determinación del volumen de la matriz y de la masa del refuerzo.

Cálculo del volumen de la matriz resina poliéster. Con el volumen del molde y la fracción volumétrica requerida, se determina el volumen de resina poliéster necesario para el moldeo.

$$V_{Requerido} = 878 \text{ cm}^3.$$

$$f_m = 25\% = 0,25$$

$$V_{Resina \text{ poliéster}} = 878 \times 0,25 = 219,5 \text{ cm}^3.$$

Este es el volumen de resina poliéster necesaria para el moldeo, además la resina se le agrega el catalizador MEK, porcentaje que varía del 1% al 2% del volumen requerido de resina, se utiliza el 1.5% de volumen de endurecedor MEK obteniendo 3.29 cm^3 .

Cálculo de la masa del material de refuerzo fibra de cabuya. Con el volumen del molde y la fracción volumétrica requerida del refuerzo, se determina la masa de fibra necesaria:

$$V_{Requerido} = 878 \text{ cm}^3..$$

$$f_f = 75\%$$

$$V_{Refuerzo} = 878 \times 0,75 = 565,5 \text{ cm}^3.$$

Con el volumen necesario de fibra, se determina la masa de la fibra de carbono:

$$V_{Refuerzo} = 565,5 \text{ cm}^3.$$

$$\rho_f = 1,75 \text{ (gr/cm}^3\text{)}$$

$$\rho = m/V$$

$$m_{Refuerzo} = \rho_f \times V_{Refuerzo}$$

$$m_{Refuerzo} = 1,75 \text{ (gr/cm}^3\text{)} \times 564,5 \text{ cm}^3. = 987,87 \text{ gr.}$$

Una vez realizado los cálculos se detallan en la tabla 4.7 los resultados obtenidos tanto para el volumen de resina poliéster necesario, el volumen de catalizador y masa de refuerzo de la fibra de carbono.

Tabla 4.7 Resultados obtenidos de la segunda combinación.

Datos	Valores
Volumen requerido	878 cm ³
Fracción volumétrica del 25% resina poliéster	
Volumen resina poliéster	219,5cm ³
Volumen de catalizador	3,29 cm ³
Masa de refuerzo de fibra de carbono	987,87 gr

c) Cálculo para la fracción volumétrica del 50% de refuerzo fibra de cabuya tejida y 25% de fibra de carbono tejida.

Datos conocidos del material compuesto:

- Densidad de la matriz (m): 1,01 gr/cm³
- Densidad de la fibra (f₁): 1,30 gr/cm³
- Densidad de la fibra (f₂): 1,75 gr/cm³
- Fracción volumétricas de la fibra (fm₁): 0,50
- Fracción volumétricas de la fibra (fm₂): 0,25
- Fracción volumétrica la matriz (f): 0,25

$$f_f = 1 - f_{m_1} - f_{m_2}$$

$$f_f = 1 - 0.50 - 0,25 = 0.25$$

Determinación de la densidad del material compuesto (fibra de cabuya y fibra de carbono + resina poliéster).

$$\rho_c = f_m \rho_m + f_{f1} \rho_{f1} + f_{f2} \rho_{f2}$$

$$\rho_c = (0.25 \times 1,01 \text{ gr/cm}^3) + (0.50 \times 1,3 \text{ gr/cm}^3) + (0.25 \times 1,75 \text{ gr/cm}^3)$$

$$\rho_c = 1,34 \text{ gr/cm}^3$$

Se calculó de la fracción volumétrica del refuerzo del material compuesto (fibra de cabuya y fibra de carbono).

$$\rho_c = f_m \rho_m + f_{f1} \rho_{f1} + f_{f2} \rho_{f2}$$

$$\rho_c = (1 - f_{f1} - f_{f2}) \rho_m + f_{f1} \rho_{f1} + f_{f2} \rho_{f2}$$

$$\rho_c = \rho_m - f_f \rho_m + f_{f1} \rho_{f1} + f_{f2} \rho_{f2}$$

$$1,34 = 1,01 - 1,01 f_{f1} - 1,01 f_{f2} + 1,3 f_{f1} + 1,75 f_{f2}$$

$$f_{f1} = 0,50$$

$$f_{f2} = 0,25$$

$$f_{f1} = 50\%$$

$$f_{f2} = 25\%$$

La determinación de la fracción volumétrica de la matriz del material compuesto (resina poliéster).

$$f_m = 1 - f_{f1} - f_{f2}$$

$$f_m = 1 - 0,50 - 0,25$$

$$f_m = 0,25$$

$$f_m = 25\%$$

Se verifica que el porcentaje establecido cumple la relación entre las densidades de la matriz, con la densidad de la fibra de cabuya y fibra de carbono. La fracción volumétrica requerida del material de refuerzo es del 50% fibra de cabuya, 25 % de fibra de carbono y la fracción volumétrica de la matriz es del 25% (resina poliéster).

Con las fracciones volumétricas obtenidas del refuerzo y de la matriz se procede a la determinación del volumen de la matriz y de la masa del refuerzo.

Cálculo del volumen de la matriz resina poliéster. Con el volumen del molde y la fracción volumétrica requerida, se determina el volumen de resina poliéster necesario para el moldeo.

$$V_{Requerido} = 878 \text{ cm}^3.$$

$$f_m = 25\% = 0,25$$

$$V_{Resina\ poliéster} = 878 \times 0,25 = 219,5 \text{ cm}^3.$$

Este es el volumen de resina poliéster necesaria para el moldeo, además la resina se le agrega el catalizador MEK, porcentaje que varía del 1% al 2% del volumen requerido de resina, se utiliza el 1.5% de volumen de endurecedor MEK obteniendo 3.29 cm^3 .

Cálculo de la masa del material de refuerzo fibra de cabuya. Con el volumen del molde y la fracción volumétrica requerida del refuerzo, se determina la masa de fibra necesaria:

$$V_{Requerido} = 878 \text{ cm}^3..$$

$$f_{f1} = 50\%$$

$$f_{f2} = 25\%$$

$$V_{Refuerzo1} = 878 \times 0,50 = 439 \text{ cm}^3.$$

$$V_{Refuerzo2} = 878 \times 0,25 = 219,5 \text{ cm}^3.$$

Con el volumen necesario de fibra, se determina la masa de la fibra de cabuya y fibra de carbono:

$$V_{Refuerzo1} = 878 \times 0,50 = 439 \text{ cm}^3.$$

$$V_{Refuerzo2} = 878 \times 0,25 = 219,5 \text{ cm}^3.$$

$$\rho_{f1} = 1,3 \text{ (gr/cm}^3\text{)}$$

$$\rho_{f2} = 1,75 \text{ (gr/cm}^3\text{)}$$

$$\rho = m/V$$

$$m_{Refuerzo} = \rho f \times V_{Refuerzo}$$

$$m_{Refuerzo1} = 1,3 \text{ (gr/cm}^3\text{)} \times 439 \text{ cm}^3. = 570,7 \text{ gr}$$

$$m_{Refuerzo2} = 1,75 \text{ (gr/cm}^3\text{)} \times 219,5 \text{ cm}^3. = 384,125 \text{ gr}$$

Una vez realizado los cálculos se detallan en la tabla 4.8 los resultados obtenidos tanto para el volumen de resina poliéster necesario, el volumen de catalizador y masa de refuerzo de la fibra de cabuya tejida y carbono.

Tabla 4.8 Resultados obtenidos de la tercera configuración.

Datos	Valores
Volumen requerido	878 cm ³
Fracción volumétrica del 25% resina poliéster	
Volumen resina poliéster	219,5cm ³
Volumen de catalizador	3,29 cm ³
Masa de refuerzo de fibra de cabuya	570,7 gr
Masa de refuerzo de fibra de carbono	384,125 gr

d) Cálculo para la fracción volumétrica del 40% de refuerzo fibra de cabuya tejida y 50% de fibra de carbono tejida.

Datos conocidos del material compuesto:

- Densidad de la matriz (m): $1,04 \text{ gr/cm}^3$
- Densidad de la fibra (f_1): $1,30 \text{ gr/cm}^3$
- Densidad de la fibra (f_2): $1,75 \text{ gr/cm}^3$
- Fracción volumétrica de la fibra (f_{m1}): 0,40
- Fracción volumétrica de la fibra (f_{m2}): 0,50
- Fracción volumétrica la matriz (f): 0,10

$$f_f = 1 - f_{m1} - f_{m2}$$
$$f_f = 1 - 0,40 - 0,50 = 0,10$$

Determinación de la densidad del material compuesto (fibra de cabuya y fibra de carbono + resina poliéster).

$$\rho_c = f_m \rho_m + f_{f1} \rho_{f1} + f_{f2} \rho_{f2}$$
$$\rho_c = (0,10 \times 1,04 \text{ gr/cm}^3) + (0,40 \times 1,3 \text{ gr/cm}^3) + (0,50 \times 1,75 \text{ gr/cm}^3)$$
$$\rho_c = 1,49 \text{ gr/cm}^3$$

Se calculó de la fracción volumétrica del refuerzo del material compuesto (fibra de cabuya y fibra de carbono).

$$\rho_c = f_m \rho_m + f_{f1} \rho_{f1} + f_{f2} \rho_{f2}$$
$$\rho_c = (1 - f_{f1} - f_{f2}) \rho_m + f_{f1} \rho_{f1} + f_{f2} \rho_{f2}$$
$$\rho_c = \rho_m - f_f \rho_m + f_{f1} \rho_{f1} + f_{f2} \rho_{f2}$$
$$1,49 = 1,04 - 1,04 f_{f1} - 1,04 f_{f2} + 1,3 f_{f1} + 1,75 f_{f2}$$
$$f_{f1} = 0,40$$
$$f_{f2} = 0,50$$
$$f_{f1} = 40\%$$
$$f_{f2} = 50\%$$

La determinación de la fracción volumétrica de la matriz del material compuesto (resina poliéster).

$$f_m = 1 - f_{f1} - f_{f2}$$
$$f_m = 1 - 0,40 - 0,50$$

$$fm = 0,10$$

$$fm = 10\%$$

Se verifica que el porcentaje establecido cumple la relación entre las densidades de la matriz, con la densidad de la fibra de cabuya y fibra de carbono. La fracción volumétrica requerida del material de refuerzo es del 40% fibra de cabuya, 50 % de fibra de carbono y la fracción volumétrica de la matriz es del 10% (resina poliéster).

Con las fracciones volumétricas obtenidas del refuerzo y de la matriz se procede a la determinación del volumen de la matriz y de la masa del refuerzo.

Cálculo del volumen de la matriz resina poliéster. Con el volumen del molde y la fracción volumétrica requerida, se determina el volumen de resina poliéster necesario para el moldeo.

$$V_{Requerido} = 878 \text{ cm}^3.$$

$$fm = 10\% = 0,10$$

$$V_{Resina\ poliéster} = 878 \times 0,10 = 87,8 \text{ cm}^3.$$

Este es el volumen de resina poliéster necesaria para el moldeo, además la resina se le agrega el catalizador MEK, porcentaje que varía del 1% al 2% del volumen requerido de resina, se utiliza el 1.5% de volumen de endurecedor MEK obteniendo $1,3 \text{ cm}^3$.

Cálculo de la masa del material de refuerzo fibra de cabuya. Con el volumen del molde y la fracción volumétrica requerida del refuerzo, se determina la masa de fibra necesaria:

$$V_{Requerido} = 878 \text{ cm}^3..$$

$$ff1 = 40\%$$

$$ff2 = 50\%$$

$$V_{Refuerzo1} = 878 \times 0,40 = 351,2 \text{ cm}^3.$$

$$V_{Refuerzo2} = 878 \times 0,50 = 439 \text{ cm}^3.$$

Con el volumen necesario de fibra, se determina la masa de la fibra de cabuya y fibra de carbono:

$$V_{\text{Refuerzo1}} = 878 \times 0,40 = 351,2 \text{ cm}^3.$$

$$V_{\text{Refuerzo2}} = 878 \times 0,50 = 439 \text{ cm}^3.$$

$$\rho_{f_1} = 1,3 \text{ (gr/cm}^3\text{)}$$

$$\rho_{f_2} = 1,75 \text{ (gr/cm}^3\text{)}$$

$$\rho = m/V$$

$$m_{\text{Refuerzo}} = \rho f \times V_{\text{Refuerzo}}$$

$$m_{\text{Refuerzo1}} = 1,3 \text{ (gr/cm}^3\text{)} \times 351,2 \text{ cm}^3 = 456,56 \text{ gr}$$

$$m_{\text{Refuerzo2}} = 1,75 \text{ (gr/cm}^3\text{)} \times 439 \text{ cm}^3 = 768.25 \text{ gr}$$

Una vez realizado los cálculos se detallan en la tabla 4.9 los resultados obtenidos tanto para el volumen de resina poliéster necesario, el volumen de catalizador y masa de refuerzo de la fibra de cabuya tejida y fibra de carbono.

Tabla 4.9 Resultados obtenidos de la cuarta combinación.

Datos	Valores
Volumen requerido	878 cm^3
Fracción volumétrica del 10% resina poliéster	
Volumen resina poliéster	219,5 cm^3
Volumen de catalizador	3,29 cm^3
Masa de refuerzo de fibra de cabuya	456,56 gr
Masa de refuerzo de fibra de carbono	768.25 gr

e) Cálculo para la fracción volumétrica del 40% de refuerzo fibra de cabuya sin tejer y 50% de fibra de carbono tejida.

Datos conocidos del material compuesto:

- Densidad de la matriz (m): 0,99 gr/cm^3
- Densidad de la fibra (f_1): 1,30 gr/cm^3
- Densidad de la fibra (f_2): 1,75 gr/cm^3
- Fracción volumétricas de la fibra (f_{m_1}): 0,40
- Fracción volumétricas de la fibra (f_{m_2}): 0,50
- Fracción volumétrica la matriz (f): 0,10

$$f_f = 1 - f_{m_1} - f_{m_2}$$

$$f_f = 1 - 0,40 - 0,50 = 0,10$$

Determinación de la densidad del material compuesto (fibra de cabuya y fibra de carbono + resina poliéster).

$$\rho_c = f_m \rho_m + f_{f1} \rho_{f1} + f_{f2} \rho_{f2}$$

$$\rho_c = (0,10 \times 0,99 \text{ gr/cm}^3) + (0,40 \times 1,3 \text{ gr/cm}^3) + (0,50 \times 1,75 \text{ gr/cm}^3)$$

$$\rho_c = 1,494 \text{ gr/cm}^3$$

Se calculó de la fracción volumétrica del refuerzo del material compuesto (fibra de cabuya y fibra de carbono).

$$\rho_c = f_m \rho_m + f_{f1} \rho_{f1} + f_{f2} \rho_{f2}$$

$$\rho_c = (1 - f_{f1} - f_{f2}) \rho_m + f_{f1} \rho_{f1} + f_{f2} \rho_{f2}$$

$$\rho_c = \rho_m - f_f \rho_m + f_{f1} \rho_{f1} + f_{f2} \rho_{f2}$$

$$1,494 = 0,99 - 0,99 f_{f1} - 0,99 f_{f2} + 1,3 f_{f1} + 1,75 f_{f2}$$

$$f_{f1} = 0,40$$

$$f_{f2} = 0,50$$

$$f_{f1} = 40\%$$

$$f_{f2} = 50\%$$

La determinación de la fracción volumétrica de la matriz del material compuesto (resina poliéster).

$$f_m = 1 - f_{f1} - f_{f2}$$

$$f_m = 1 - 0,40 - 0,50$$

$$f_m = 0,10$$

$$f_m = 10\%$$

Se verifica que el porcentaje establecido cumple la relación entre las densidades de la matriz, con la densidad de la fibra de cabuya y fibra de carbono. La fracción volumétrica requerida del material de refuerzo es del 40% fibra de cabuya sin tejer, 50 % de fibra de carbono y la fracción volumétrica de la matriz es del 10% (resina poliéster).

Con las fracciones volumétricas obtenidas del refuerzo y de la matriz se procede a la determinación del volumen de la matriz y de la masa del refuerzo.

Cálculo del volumen de la matriz resina poliéster. Con el volumen del molde y la fracción volumétrica requerida, se determina el volumen de resina poliéster necesario para el moldeo.

$$V_{Requerido} = 878 \text{ cm}^3.$$

$$f_m = 10\% = 0,10$$

$$V_{Resina\ poliéster} = 878 \times 0,10 = 87,8 \text{ cm}^3.$$

Este es el volumen de resina poliéster necesaria para el moldeo, además la resina se le agrega el catalizador MEK, porcentaje que varía del 1% al 2% del volumen requerido de resina, se utiliza el 1.5% de volumen de endurecedor MEK obteniendo $1,3 \text{ cm}^3$.

Cálculo de la masa del material de refuerzo fibra de cabuya. Con el volumen del molde y la fracción volumétrica requerida del refuerzo, se determina la masa de fibra necesaria:

$$V_{Requerido} = 878 \text{ cm}^3..$$

$$f_{f1} = 40\%$$

$$f_{f2} = 50\%$$

$$V_{Refuerzo1} = 878 \times 0,40 = 351,2 \text{ cm}^3.$$

$$V_{Refuerzo2} = 878 \times 0,50 = 439 \text{ cm}^3.$$

Con el volumen necesario de fibra, se determina la masa de la fibra de cabuya y fibra de carbono:

$$V_{Refuerzo1} = 878 \times 0,40 = 351,2 \text{ cm}^3.$$

$$V_{Refuerzo2} = 878 \times 0,50 = 439 \text{ cm}^3.$$

$$\rho_{f1} = 1,3 \text{ (gr/cm}^3\text{)}$$

$$\rho_{f2} = 1,75 \text{ (gr/cm}^3\text{)}$$

$$\rho = m/V$$

$$m_{Refuerzo} = \rho f \times V_{Refuerzo}$$

$$m_{Refuerzo1} = 1,3 \text{ (gr/cm}^3\text{)} \times 351,2 \text{ cm}^3. = 456,56 \text{ gr}$$

$$m_{Refuerzo2} = 1,75 \text{ (gr/cm}^3\text{)} \times 439 \text{ cm}^3. = 768.25 \text{ gr}$$

Una vez realizado los cálculos se detallan en la tabla 4.10 los resultados obtenidos tanto para el volumen de resina poliéster necesario, el volumen de catalizador y masa de refuerzo de la fibra de cabuya sin tejer y fibra de carbono.

Tabla 4.10 Resultados obtenidos de la quinta combinación.

Datos	Valores
Volumen requerido	878 cm^3
Fracción volumétrica del 10% resina poliéster	
Volumen resina poliéster	219,5 cm^3
Volumen de catalizador	3,29 cm^3
Masa de refuerzo de fibra de cabuya	456,56 gr
Masa de refuerzo de fibra de carbono	768.25 gr

Los resultados obtenidos en el cálculo de las fracciones volumétricas son valores estimados para tener una iniciativa al momento de realizar las probetas, sin contar con varios aspectos como: Las pérdidas de resina poliéster durante el proceso de preparación y aplicación en el molde.

4.1.5.3 Materiales y herramientas para la manufactura del material híbrido.

En la manufactura del material híbrido, se emplea los siguientes materiales y herramientas:

Tabla 4.11 Materiales y herramientas para la manufactura del material híbrido.












MATERIALES Y HERRAMIENTAS PARA LA MANUFACTURA DEL MATERIAL HÍBRIDO		
Material- Herramienta	Detalle	Grafico
Fibra de cabuya	Las fibras naturales tienen una buena resistencia mecánica, en especial la cabuya, que además es liviana y tiene una densidad de 1,3 g/cm^3	
Fibra de carbono	También llamadas de grafito, corresponden a una estructura cristalina fuertemente orientada (Anexo 2).	

Tabla 4.11 Materiales y herramientas para la manufactura del material híbrido

<p>Molde</p>	<p>Permite contener la matriz de nuevo material híbrido.</p>	
<p>Resina Poliéster</p>	<p>Resina poliéster insaturado tipo orto-tereftálica y tixotrópica es recomendada para productos reforzados con fibra de vidrio para uso industrial o artesanal, con laminado manual o con aerosol (Anexo 2).</p>	
<p>MEK-Peróxido (Peróxido de Metil Etil Cetona)</p>	<p>Catalizador para resinas de poliéster insaturado y es generalmente usado para aplicaciones que emplean curado a temperatura ambiente.</p>	
<p>Cera desmoldante</p>	<p>Cera desmoldante fabricada a base de ceras vegetales y minerales.</p>	
<p>Jeringa</p>	<p>Utilizada para la medición volumétrica del catalizador MEK.</p>	
<p>Brocha</p>	<p>Permite dispersar la resina</p>	
<p>Balanza electrónica</p>	<p>Nos permite pesar la cantidad de masa.</p>	
<p>Mascarilla Desechable</p>	<p>Protege del olor de la mezcla</p>	
<p>Guantes</p>	<p>Protege el contacto directo con los componentes de la mezcla</p>	

4.1.5.4 Elaboración de probetas para ensayos.

Para la elaboración de las probetas tomamos en cuenta la utilización de las normas de tracción, flexión e impacto, que nos proporcionó las medidas y la cantidad de probetas necesarias a realizarse, para la manufactura de estas se lo realizó en los laboratorios de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato; Se obtuvo las probetas de una misma matriz la cual fue cortada mediante las dimensiones establecidas por las normas.

Para la obtención de probetas se siguió un orden lógico y consecutivo como se detalla a continuación en la tabla 4.12:

Tabla 4.12 Proceso para obtención de probetas de material híbrido.





Proceso para obtención de probetas de material híbrido		
Pasos	Detalle	Observaciones
1. Limpieza de todo el molde.	Se limpia toda la superficie de del molde con un material que no tenga desprendimiento de partículas, asegurando que esté libre de impurezas.	
2. Aplicación de cera desmoldante en todo el molde, como es la base, marco y tapa.	Se aplica 3 capas de cera desmoldante, cada aplicación con un tiempo de espera de 2 a 4 minutos.	
3. Ensamble de la base y el marco del molde	Acoplamos la base con el marco con el propósito de formar el área de trabajo y verificamos que tenga una buena unión para evitar desprendimiento de resina por los extremos.	
4. Aplicar nuevamente cera desmoldante en los filos del borde del molde	Esto con la finalidad de que la resina no se introduzca en esta unión y se queden peguen.	

Tabla 4.12 Proceso para obtención de probetas de material híbrido.












<p>5. Preparación de la mezcla de la resina poliéster y el catalizador</p>	<p>En un recipiente para medir el volumen ya determinado de la resina poliéster y se utiliza una jeringa para determinar el volumen del catalizador que es al 1,5 % del volumen de la resina</p>	
<p>6. Corte de capas de fibra de cabuya sin tejer</p>	<p>Se corta las capas de fibra de cabuya longitudinal y transversal acuerdo a las dimensiones del molde.</p>	 
<p>7. Corte de capas de fibra de cabuya tejida</p>	<p>Se corta las capas de fibra de cabuya de acuerdo con las dimensiones del molde.</p>	
<p>8. Corte de capas de fibra de cabuya carbono</p>	<p>Se corta las capas de fibra de carbono de acuerdo con las dimensiones del molde.</p>	
<p>9. Colocar la mascarilla y los guantes</p>	<p>Con esto para proteger del olor y el contacto directo con la mezcla</p>	
<p>10. Poner una capa de la mezcla de resina poliéster con el catalizador en la base del molde</p>	<p>Permitirá tener un buen acabado en la superficie.</p>	

Tabla 4.12 Proceso para obtención de probetas de material híbrido.

<p>11. Colocar las capas de fibras alternadamente con la mezcla de resina poliéster</p>	<p>Para esto se coloca la capa de fibras y mediante con la brocha se va dispersando la resina poliéster para que tenga una mejor concentración. Se va alternando de acuerdo con la orientación establecida en los puntos anteriores.</p>	 
<p>12. Desmolde de material híbrido</p>	<p>Para realizar esta acción se debe dejar transcurrir como mínimo una aproximado de 24 horas, pero para este caso se desmolde a los dos días cada combinación para tener buen curado del material</p>	
<p>13. Corte de probetas para ensayos de tracción, flexión e impacto</p>	<p>Se procede a cortar de acuerdo con las dimensiones establecidas por las normas ASTM D</p>	

4.1.5.4.1 Dimensionamiento y corte de las probetas del material híbrido para los ensayos mecánicos.

El dimensionamiento y corte de las probetas se lo realiza a partir de los ensayos de tracción, flexión e impacto propuestos anteriormente y en función de cada una de las normas ASTM D que regulan cada uno de estos como se tiene en la tabla 4.13. En el ANEXO 1 se podrá verificar todas las probetas obtenidas.

Tabla 4.13 Dimensiones de probetas de acuerdo con la normativa ASTM-D.

ENSAYO	NORMA	DIMENSIÓN
Tracción	ASTM D3039	259x25x6 mm
Flexión	ASTM D2764	160x13x6 mm
Impacto	ASTM D5628	58x58x6 mm

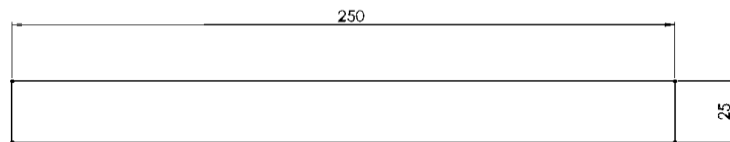


Figura 4.7 Dimensionamiento de la probeta para tracción.

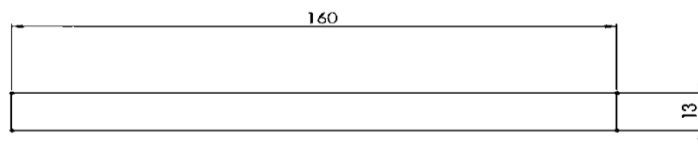


Figura 4.8 Dimensionamiento de la probeta para flexión.

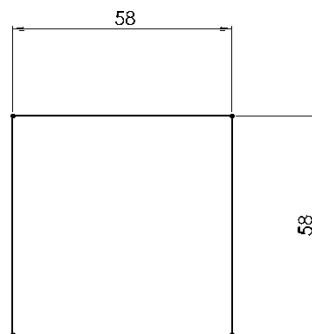


Figura 4.9 Dimensionamiento de la probeta para impacto.

4.1.5.4.2 Determinación de propiedades físicas del material híbrido.

Se determinó las propiedades de manera experimental a partir de las probetas del material compuesto obtenidas desde una matriz, las propiedades que se considera son:

peso, volumen y densidad que se obtuvieron mediante el dimensionamiento establecido en la norma correspondiente.

Volumen de probetas de tracción, flexión e impacto

Se establece el volumen de las probetas en base a los parámetros de las dimensiones como se puede verificar en las tablas 4.14 a la 4.16.

Tabla 4.14 Volumen de las probetas a tracción.

Volumen de probetas de tracción						
Tipo de ensayo	Orientación fibras	Denominación	Altura (cm)	Ancho (cm)	Espesor (cm)	Volumen (cm ³)
Tracción	Longitudinal y transversal	T-RCT1	25,10	2,47	0,69	42,85
		T-RCT2	25,00	2,49	0,70	43,59
		T-RCT3	24,90	2,54	0,71	44,87
		T-RCT4	25,20	2,44	0,70	42,97
		T-RCT5	25,30	2,50	0,68	42,92
Tracción	Longitudinal y transversal	T-RFC1	25,00	2,49	0,65	40,46
		T-RFC2	25,60	2,42	0,67	41,44
		T-RFC3	25,00	2,42	0,67	40,47
		T-RFC4	25,30	2,49	0,68	42,84
		T-RFC5	25,10	2,48	0,65	40,40
Tracción	Longitudinal y transversal	T-RCT1FC1	25,00	2,56	0,68	43,50
		T-RCT1FC2	24,90	2,53	0,73	46,01
		T-RCT1FC3	25,00	2,53	0,73	46,19
		T-RCT1FC4	25,10	2,51	0,68	42,84
		T-RCT1FC5	25,30	2,53	0,76	48,65
Tracción	Longitudinal y transversal	T-RCT2FC1	25,10	2,46	0,60	37,05
		T-RCT2FC2	25,00	2,41	0,62	37,36
		T-RCT2FC3	24,80	2,49	0,64	39,52
		T-RCT2FC4	25,00	2,52	0,61	38,43
		T-RCT2FC5	25,10	2,46	0,60	37,05
Tracción	Longitudinal y transversal	T-RC2FC1	25,00	2,43	0,62	37,67
		T-RC2FC2	25,20	2,49	0,62	38,90
		T-RC2FC3	24,90	2,60	0,64	41,43
		T-RC2FC4	25,00	2,54	0,64	40,64
		T-RC2FC5	25,20	2,51	0,63	39,85
Significado						
T-RCT	Ensayo de tracción con resina poliéster + fibra de cabuya tejida					
T-RFC	Ensayo de tracción con resina poliéster + fibra de carbono tejida					
T-RCT1FC	Ensayo de tracción con resina poliéster + 1 fibra de carbono tejida+ fibra de cabuya tejida					
T-RCT2FC	Ensayo de tracción con resina poliéster + 2 fibra de carbono tejida+ fibra de cabuya tejida					
T-RC2FC	Ensayo de tracción con resina poliéster + 2fibra de carbono tejida+ fibra de cabuya sin tejer					

Tabla 4.15 Volumen de las probetas de flexión.

Volumen de las probetas de flexión						
Tipo de ensayo	Orientación fibras	Denominación	Altura (cm)	Ancho (cm)	Espesor (cm)	Volumen (cm ³)
Flexión	Longitudinal y transversal	F-RCT1	16,20	1,16	0,72	13,53
		F-RCT2	16,10	1,37	0,71	15,66
		F-RCT3	16,00	1,31	0,71	14,88
		F-RCT4	16,00	1,29	0,70	14,45
		F-RCT5	16,10	1,26	0,71	14,40
Flexión	Longitudinal y transversal	F-RFC1	16,10	1,25	0,62	12,48
		F-RFC2	16,00	1,26	0,64	12,90
		F-RFC3	16,20	1,25	0,64	12,96
		F-RFC4	16,00	1,24	0,62	12,30
		F-RFC5	16,20	1,23	0,62	12,35
Flexión	Longitudinal y transversal	F-RCT1FC1	16,20	1,34	0,65	14,11
		F-RCT1FC2	16,30	1,28	0,67	13,98
		F-RCT1FC3	16,10	1,38	0,69	15,33
		F-RCT1FC4	16,00	1,31	0,74	15,51
		F-RCT1FC5	16,00	1,37	0,66	14,47
Flexión	Longitudinal y transversal	F-RCT2FC1	16,00	1,34	0,61	13,08
		F-RCT2FC2	16,20	1,21	0,62	12,15
		F-RCT2FC3	16,00	1,28	0,64	13,11
		F-RCT2FC4	16,10	1,24	0,68	13,58
		F-RCT2FC5	16,20	1,27	0,59	12,14
Flexión	Longitudinal y transversal	F-RC2FC1	16,20	1,29	0,61	12,75
		F-RC2FC2	16,10	1,27	0,61	12,47
		F-RC2FC3	16,00	1,27	0,62	12,60
		F-RC2FC4	16,00	1,33	0,61	12,98
		F-RC2FC5	16,10	1,28	0,61	12,57
Significado						
F-RCT	Ensayo de flexión con resina poliéster + fibra de cabuya tejida					
F-RFC	Ensayo de flexión con resina poliéster + fibra de carbono tejida					
F-RCT1FC	Ensayo de flexión con resina poliéster + 1 fibra de carbono tejida+ fibra de cabuya tejida					
F-RCT2FC	Ensayo de flexión con resina poliéster + 2 fibra de carbono tejida+ fibra de cabuya tejida					
F-RC2FC	Ensayo de flexión con resina poliéster + 2fibra de carbono tejida+ fibra de cabuya sin tejer					

Tabla 4.16 Volumen de las probetas de impacto.

Tipo de ensayo	Orientación fibras	Denominación	Altura (cm)	Ancho (cm)	Espesor (cm)	Volumen (cm ³)
Impacto	Longitudinal y transversal	I-RCT1	5,81	5,82	0,61	20,63
		I-RCT2	5,80	5,81	0,72	24,26
		I-RCT3	5,82	5,81	0,70	23,67
		I-RCT4	5,81	5,81	0,63	21,27
		I-RCT5	5,80	5,82	0,64	21,60
Impacto	Longitudinal y transversal	I-RFC1	5,85	5,81	0,59	20,05
		I-RFC2	5,81	5,80	0,61	20,56
		I-RFC3	5,80	5,80	0,62	20,86
		I-RFC4	5,80	5,82	0,60	20,25
		I-RFC5	5,80	5,80	0,60	20,19
Impacto	Longitudinal y transversal	I-RCT1FC1	5,80	5,80	0,61	20,52
		I-RCT1FC2	5,81	5,82	0,60	20,29
		I-RCT1FC3	5,81	5,80	0,61	20,56
		I-RCT1FC4	5,81	5,80	0,62	20,89
		I-RCT1FC5	5,81	5,82	0,63	21,30
Impacto	Longitudinal y transversal	I-RCT2FC1	5,80	5,81	0,57	19,21
		I-RCT2FC2	5,80	5,83	0,60	20,29
		I-RCT2FC3	5,82	5,80	0,61	20,59
		I-RCT2FC4	5,83	5,81	0,61	20,66
		I-RCT2FC5	5,80	5,80	0,62	20,86
Impacto	Longitudinal y transversal	I-RC2FC1	5,81	5,82	0,61	20,63
		I-RC2FC2	5,80	5,81	0,57	19,21
		I-RC2FC3	5,81	5,80	0,61	20,56
		I-RC2FC4	5,82	5,81	0,57	19,27
		I-RC2FC5	5,80	5,82	0,62	20,93
Significado						
I-RCT	Ensayo de impacto con resina poliéster + fibra de cabuya tejida					
I-RFC	Ensayo de impacto con resina poliéster + fibra de carbono tejida					
I-RCT1FC	Ensayo de impacto con resina poliéster + 1 fibra de carbono tejida+ fibra de cabuya tejida					
I-RCT2FC	Ensayo de impacto con resina poliéster + 2 fibra de carbono tejida+ fibra de cabuya tejida					
I-RC2FC	Ensayo de impacto con resina poliéster + 2fibra de carbono tejida+ fibra de cabuya sin tejer					

Densidad de probetas de tracción, flexión e impacto

Se establece la densidad de las probetas en base a los parámetros de peso y volumen como se puede verificar en las tablas siguiente. La densidad de las probetas se determinó a partir de la relación y se verifican en las tablas 4.17,4.18 y 4.19.

$$\rho = m/V \quad \text{Ec. (4)}$$

Dónde:

ρ = Densidad [gr/cm³]

m = masa [gr]

v = volumen [cm³]

Tabla 4.17 Densidad de las probetas de tracción.

Densidad de las probetas de tracción				
Tipo de ensayo	Denominación	Volumen (cm ³)	Peso (gr)	Densidad (gr/cm ³)
Tracción	T-RCT1	42,85	41,50	0,97
	T-RCT2	43,59	42,30	0,97
	T-RCT3	44,87	41,80	0,93
	T-RCT4	42,97	41,20	0,96
	T-RCT5	42,92	42,20	0,98
Tracción	T-RFC1	40,46	44,80	1,11
	T-RFC2	41,44	43,90	1,06
	T-RFC3	40,47	44,20	1,09
	T-RFC4	42,84	44,30	1,03
	T-RFC5	40,40	44,00	1,09
Tracción	T-RCT1FC1	43,50	39,60	0,91
	T-RCT1FC2	46,01	39,20	0,85
	T-RCT1FC3	46,19	38,70	0,84
	T-RCT1FC4	42,84	40,10	0,94
	T-RCT1FC5	48,65	39,50	0,81
Tracción	T-RCT2FC1	37,05	40,30	1,09
	T-RCT2FC2	37,36	39,60	1,06
	T-RCT2FC3	39,52	38,80	0,98
	T-RCT2FC4	38,43	39,70	1,03
	T-RCT2FC5	37,05	40,10	1,08
Tracción	T-RC2FC1	37,67	36,90	0,98
	T-RC2FC2	38,90	37,20	0,96
	T-RC2FC3	41,43	36,80	0,89
	T-RC2FC4	40,64	36,10	0,89
	T-RC2FC5	39,85	37,30	0,94

Tabla 4.18 Densidad de las probetas de flexión.

Densidad de las probetas de flexión				
Tipo de ensayo	Denominación	Volumen (cm ³)	Peso (gr)	Densidad (gr/cm ³)
Flexión	F-RCT1	13,53	14,30	1,06
	F-RCT2	15,66	14,80	0,95
	F-RCT3	14,88	14,10	0,95
	F-RCT4	14,45	13,80	0,96
	F-RCT5	14,40	14,50	1,01
Flexión	F-RFC1	12,48	14,10	1,13
	F-RFC2	12,90	14,50	1,12
	F-RFC3	12,96	13,90	1,07
	F-RFC4	12,30	13,70	1,11
	F-RFC5	12,35	14,00	1,13
Flexión	F-RCT1FC1	14,11	13,70	0,97
	F-RCT1FC2	13,98	13,50	0,97
	F-RCT1FC3	15,33	13,80	0,90
	F-RCT1FC4	15,51	13,60	0,88
	F-RCT1FC5	14,47	14,10	0,97
Flexión	F-RCT2FC1	13,08	13,10	1,00
	F-RCT2FC2	12,15	13,40	1,10
	F-RCT2FC3	13,11	13,20	1,01
	F-RCT2FC4	13,58	13,20	0,97
	F-RCT2FC5	12,14	13,10	1,08
Flexión	F-RC2FC1	12,75	13,50	1,06
	F-RC2FC2	12,47	13,60	1,09
	F-RC2FC3	12,60	13,40	1,06
	F-RC2FC4	12,98	13,70	1,06
	F-RC2FC5	12,57	14,00	1,11

Tabla 4.19 Densidad de las probetas de impacto.

Tipo de ensayo	Denominación	Volumen (cm ³)	Peso (gr)	Densidad (gr/cm ³)
Impacto	I-RCT1	20,63	24,30	1,18
	I-RCT2	24,26	25,00	1,03
	I-RCT3	23,67	23,80	1,01
	I-RCT4	21,27	24,70	1,16
	I-RCT5	21,60	25,10	1,16
Impacto	I-RFC1	20,05	23,00	1,15
	I-RFC2	20,56	25,50	1,24
	I-RFC3	20,86	22,40	1,07
	I-RFC4	20,25	24,30	1,20
	I-RFC5	20,19	25,00	1,24
Impacto	I-RCT1FC1	20,52	23,30	1,14
	I-RCT1FC2	20,29	24,00	1,18
	I-RCT1FC3	20,56	24,20	1,18
	I-RCT1FC4	20,89	25,00	1,20
	I-RCT1FC5	21,30	24,60	1,15
Impacto	I-RCT2FC1	19,21	22,00	1,15
	I-RCT2FC2	20,29	21,40	1,05
	I-RCT2FC3	20,59	21,30	1,03
	I-RCT2FC4	20,66	21,20	1,03
	I-RCT2FC5	20,86	21,60	1,04
Impacto	I-RC2FC1	20,63	23,40	1,13
	I-RC2FC2	19,21	22,70	1,18
	I-RC2FC3	20,56	23,60	1,15
	I-RC2FC4	19,27	23,70	1,23
	I-RC2FC5	20,93	23,70	1,13

4.1.6 Determinación de propiedades mecánicas del material híbrido.

Para determinar las propiedades mecánicas del material híbrido se realizó las pruebas en el Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero en el departamento de resistencia de Materiales de la provincia de Tungurahua cantón Ambato, los ensayos de tracción y flexión se realizaron en base a las normas ASTM D, utilizando una máquina de ensayos Universales de la familia Metrotec Serie MTE50 con una capacidad de hasta 50 KN, para materiales polímeros, cerámicos, compuestos. Para los ensayos de impacto se realizaron en el laboratorio de Resistencia de Materiales, de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.

4.1.6.1 Ensayo de tracción.

Para el ensayo a tracción se utilizaron probetas con la geometría y dimensiones recomendadas en la norma ASTM D3039 como se muestra en la figura 4.10. Teniendo en cuenta la concentración de tensiones ocasionadas por las mordazas de la máquina universal hacia las probetas y el daño que se genera en las zonas de sujeción, es imprescindible la utilización de un material adicional para garantizar una correcta sujeción en las mordazas y se colocó cintas de lija número 100 de 56x25 mm en los extremos de las probetas a los dos lados.



Figura 4.10 Probetas para ensayo a tracción con cinta de lija.

Esfuerzos máximos a tracción

Se realizó para el ensayo un número de 5 probetas en base a la estratificación, fracción volumétrica y la norma ASTM D3039. Para el ensayo se utiliza tipo de ensayo cuantitativo, probetas planas y se aplica una carga a una velocidad constante de 10 mm/min, lo cual produce la ruptura de la probeta ensayada, donde se reduce la sección transversal (menor a la original) permitiendo determinar el área y la carga máxima.

Se determina el esfuerzo máximo utilizando la siguiente ecuación 5.

$$\sigma_{max} = \frac{F}{A} \quad \text{Ec. (5)}$$

Donde:

σ_{max} =Esfuerzo máximo

F= Carga máxima

A= Área de la sección transversal

Ductilidad

Es el porcentaje de elongación, del resultado de la longitud inicial y final de la probeta sometida al ensayo y se determina mediante la ecuación 6.

$$\% \text{ de Elongación} = \frac{L_f - L_o}{L_o} * 100 \quad \text{Ec. (6)}$$

Donde:

L_o = Longitud inicial

L_f = Longitud final

Módulo de elasticidad

El módulo de elasticidad o módulo de Young (E), se calculó mediante la norma ASTM D3039 y la relación de Hooke y se calcula con la ecuación 7.

$$E = \frac{\sigma_{max}}{\varepsilon} \quad \text{Ec. (7)}$$

Donde:

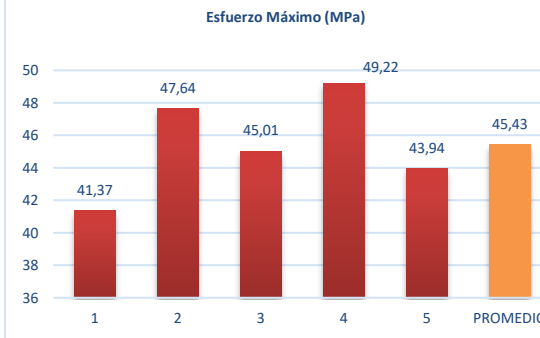
σ = Esfuerzo máximo

ε = Porcentaje de elongación.



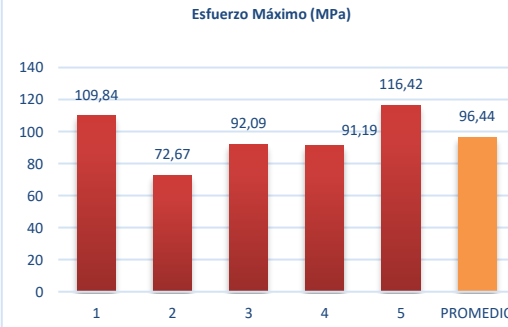
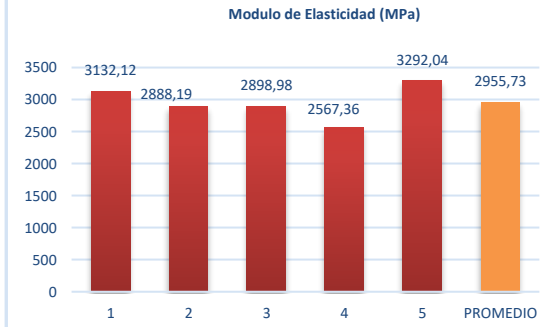
Tabulación de resultados

La tabulación de datos de las cinco probetas por cada combinación, bajo las condiciones establecidas que se detalla en las fichas técnicas 4.4 a la 4.8 que se han elaborado, en función de las necesidades y desarrollo del estudio y que se adaptan para ensayos de materiales híbridos.



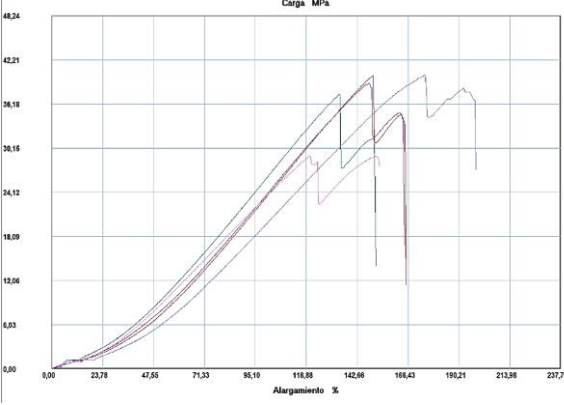
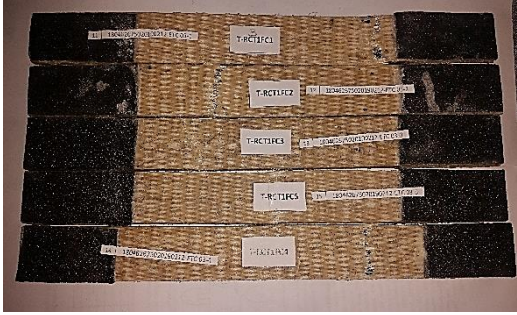
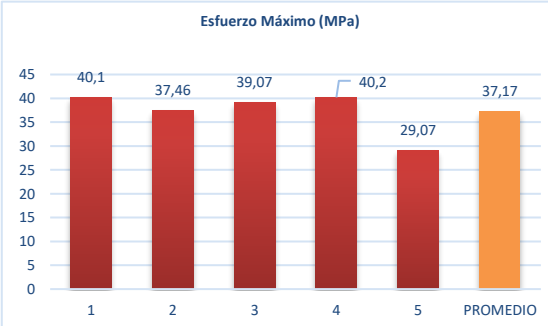
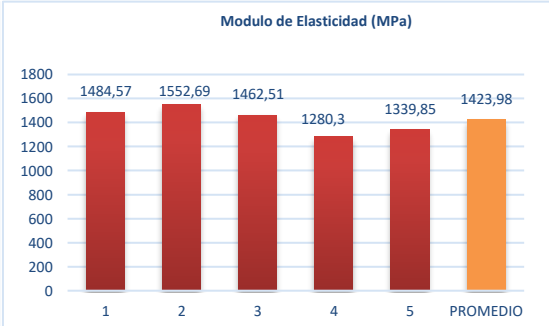
Ficha Técnica 4.4 Recolección de datos del material compuesto tracción 75% fibra de cabuya.

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA MAESTRÍA EN MECÁNICA MENCIÓN DISEÑO ENSAYO A TRACCIÓN NORMA ASTM D3039			
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DE UN MATERIAL COMPUESTO (RESINA POLIÉSTER – FIBRA DE CABUYA)					
Fecha:	25/2/2019	Ciudad:	Ambato		
Laboratorio:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carroceros (Anexo 4)				
Máquina:	Máquina de ensayos universal Polímeros Metro test 50KN	Modelo	MTE-50		
		Serie	8210M002		
Material de matriz:	Resina Poliéster	Material de refuerzo:	Fibra de cabuya		
Velocidad de ensayo:	10 mm/min	Temperatura:	24,5°C		
F. Volumétrica:	75% de refuerzo Fibra de cabuya tejida	Humedad relativa (%):	50,6		
Dimensión de probetas:					
Longitud (mm)	250	Ancho (mm)	25	Espesor nominal (mm)	6
Número de probetas:	5		Responsable:	Ing. Diego Ramos	
Datos del ensayo realizado bajo la Norma ASTM D3039 (Ensayo a TRACCIÓN).					
Probetas		Deformación máxima %	Carga máxima (N)	Esfuerzo máximo (Mpa)	Módulo de elasticidad (Mpa)
Número	Denominación				
1	T-RCT1	3,80	7103,29	41,37	1087,92
2	T-RCT2	3,91	8389,20	47,64	1219,29
3	T-RCT3	3,78	8109,93	45,01	1191,00
4	T-RCT4	3,87	8439,69	49,22	1270,42
5	T-RCT5	3,64	7477,23	43,94	1205,76
Promedio:		3,80	7903,86	45,43	1194,88
Desviación Estándar:		0,10	589,08	3,086	66,85
Gráfica de resultados					
			<p style="text-align: center;">Probetas sometidas a ensayo</p> 		
					
Observaciones			Evaluación		
La probeta tiene un comportamiento similar ya que los resultados no tienen mucha variación			Esfuerzo Máximo promedio: 45,43 Mpa		
4 probetas presentaron ruptura en la zona, media y 1 probeta en la zona superior.			Módulo de Elasticidad promedio: 1194,88 MPa		
Elaborado	Ing. Diego Ramos		Aprobado	Ing. Víctor Espín Mg.	
Revisado	Ing. Víctor Espín Mg.		Validado	Ing. Víctor Espín Mg.	



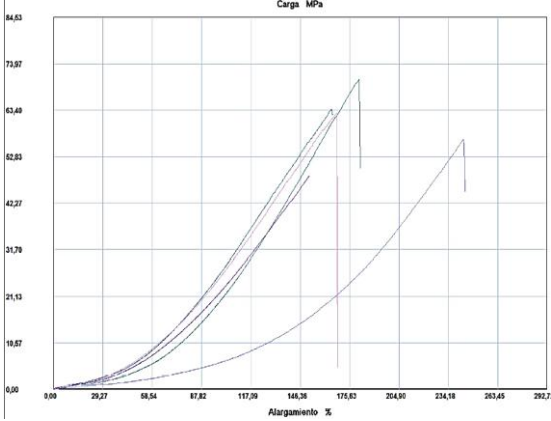

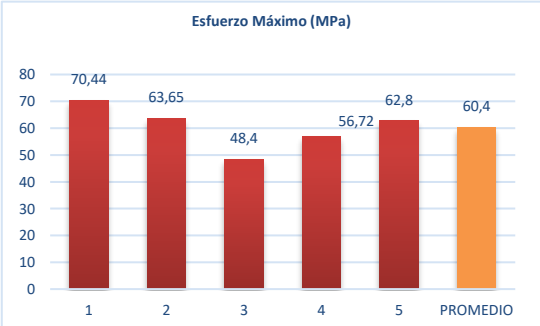
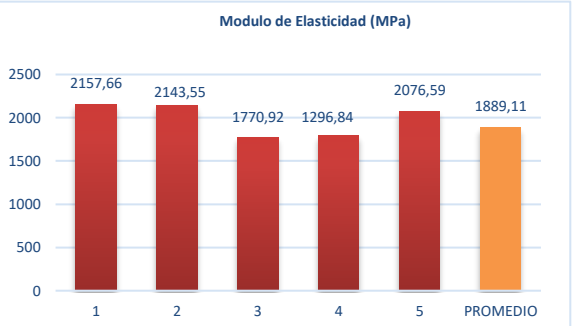
Ficha Técnica 4.5 Recolección de datos del material compuesto tracción 75% fibra de carbono.

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA MAESTRÍA EN MECÁNICA MENCIÓN DISEÑO ENSAYO A TRACCIÓN NORMA ASTM D3039					
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DE UN MATERIAL COMPUESTO (RESINA POLIÉSTER – FIBRA DE CARBONO)							
Fecha:	25/2/2019		Ciudad:	Ambato			
Laboratorio:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carroceros (Anexo 4)						
Máquina:	Máquina de ensayos universal Polímeros Metro test 50KN		Modelo	MTE-50			
			Serie	8210M002			
Material de matriz:	Resina Poliéster		Material de refuerzo:	Fibra de carbono			
Velocidad de ensayo:	10 mm/min		Temperatura:	24,2°C			
F. Volumétrica:	75% de refuerzo Fibra de carbono tejida		Humedad relativa (%):	52,8			
Dimensión de probetas:							
Longitud (mm)	250		Ancho (mm)	25		Espesor nominal (mm)	6
Número de probetas:	5		Responsable:	Ing. Diego Ramos			
Datos del ensayo realizado bajo la Norma ASTM D3039 (Ensayo a TRACCIÓN).							
Probetas		Deformación máxima %	Carga máxima (N)	Esfuerzo máximo (Mpa)	Módulo de elasticidad (Mpa)		
Número	Denominación						
1	T-RFC1	3,51	17777,15	109,84	3132,12		
2	T-RFC2	2,52	11885,62	72,67	2888,19		
3	T-RFC3	3,18	15063,32	92,09	2898,98		
4	T-RFC4	3,55	15486,17	91,19	2567,36		
5	T-RFC5	3,54	18621,28	116,42	3292,04		
Promedio:		3,25	15766,70	96,44	2955,73		
Desviación Estándar:		0,44	2637,55	17,25	275,14		
Gráfica de resultados							
				Probetas sometidas a ensayo 			
Esfuerzo Máximo (MPa) 				Módulo de Elasticidad (MPa) 			
Observaciones				Evaluación			
La probeta tiene un comportamiento similar ya que los resultados no tienen mucha variación				Esfuerzo Máximo promedio: 96,44 Mpa			
Las probetas presentaron ruptura en la zona inferior, media y superior.				Módulo de Elasticidad promedio: 2955,73 MPa			
Elaborado	Ing. Diego Ramos			Aprobado	Ing. Víctor Espín Mg.		
Revisado	Ing. Víctor Espín Mg.			Validado	Ing. Víctor Espín Mg.		



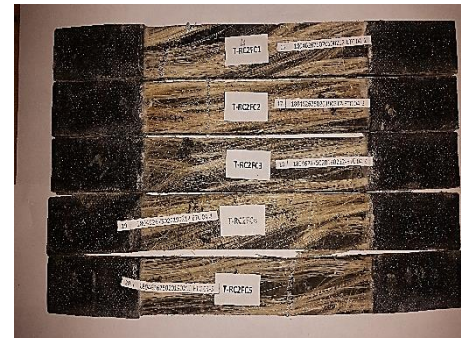
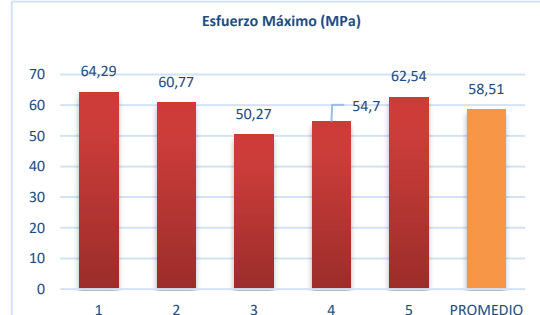
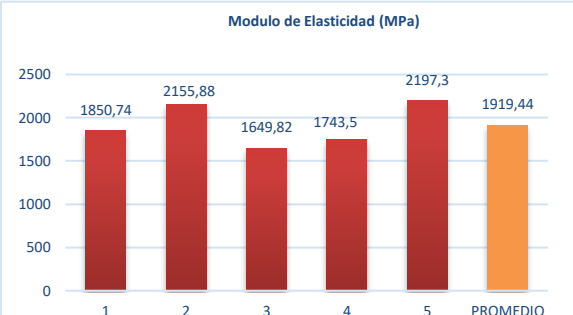
Ficha Técnica 4.6 Recolección de datos del material compuesto tracción 50% fibra de cabuya tejida y 25% de fibra de carbono.

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA MAESTRÍA EN MECÁNICA MENCIÓN DISEÑO ENSAYO A TRACCIÓN NORMA ASTM D3039			
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DE UN MATERIAL COMPUESTO (RESINA POLIÉSTER – FIBRA DE CABUYA TEJIDA REFORZADA CON FIBRA DE CARBONO)					
Fecha:	25/2/2019	Ciudad:	Ambato		
Laboratorio:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carroceros (Anexo 4)				
Máquina:	Máquina de ensayos universal Polímeros Metro test 50KN	Modelo	MTE-50		
		Serie	8210M002		
Material de matriz:	Resina Poliéster	Material de refuerzo:	Fibra de cabuya y Fibra de carbono		
Velocidad de ensayo:	10 mm/min	Temperatura:	23,7°C		
F. Volumétrica:	50% Fibra de cabuya tejida y 25% de fibra de carbono.	Humedad relativa (%)	54,2		
Dimensión de probetas:					
Longitud (mm)	250	Ancho (mm)	25	Espesor nominal (mm)	6
Número de probetas:	5		Responsable:	Ing. Diego Ramos	
Datos del ensayo realizado bajo la Norma ASTM D3039 (Ensayo a TRACCIÓN).					
Probetas		Deformación máxima %	Carga máxima (N)	Esfuerzo máximo (Mpa)	Módulo de elasticidad (Mpa)
Número	Denominación				
1	T-RCT1FC1	2,70	7038,6	40,10	1484,57
2	T-RCT1FC2	2,41	6931,3	37,46	1552,69
3	T-RCT1FC3	2,67	7227,93	39,07	1462,51
4	T-RCT1FC4	3,14	6891,86	40,20	1280,3
5	T-RCT1FC5	2,17	5542,84	29,07	1339,85
Promedio:		2,61	6726,50	37,17	1423,98
Desviación Estándar:		0,36	674,38	4,66	111,17
Gráfica de resultados					
			Probetas sometidas a ensayo 		
Esfuerzo Máximo (MPa) 			Módulo de Elasticidad (MPa) 		
Observaciones			Evaluación		
La probeta tiene un comportamiento similar ya que los resultados no tienen mucha variación			Esfuerzo Máximo promedio: 37,17 Mpa		
Las probetas presentaron ruptura en la zona inferior, media y superior.			Módulo de Elasticidad promedio: 1423,98 Mpa		
Elaborado	Ing. Diego Ramos		Aprobado	Ing. Víctor Espín Mg.	
Revisado	Ing. Víctor Espín Mg.		Validado	Ing. Víctor Espín Mg.	

Ficha Técnica 4.7 Recolección de datos del material compuesto tracción 40% fibra de cabuya tejida y 50% de fibra de carbono.

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA MAESTRÍA EN MECÁNICA MENCIÓN DISEÑO ENSAYO A TRACCIÓN NORMA ASTM D3039			
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DE UN MATERIAL COMPUESTO (RESINA POLIÉSTER – FIBRA DE CABUYA TEJIDA REFORZADA CON FIBRA DE CARBONO)					
Fecha:	25/2/2019		Ciudad:	Ambato	
Laboratorio:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carroceros (Anexo 4)				
Máquina:	Máquina de ensayos universal Polímeros Metro test 50KN		Modelo	MTE-50	
			Serie	8210M002	
Material de matriz:	Resina Poliéster		Material de refuerzo:	Fibra de cabuya y Fibra de carbono	
Velocidad de ensayo:	10 mm/min		Temperatura:	23,8°C	
F. Volumétrica:	40% Fibra de cabuya tejida y 50% de fibra de carbono.		Humedad relativa (%)	56,9	
Dimensión de probetas:					
Longitud (mm)	250	Ancho (mm)	25	Espesor nominal (mm)	6
Número de probetas:	5		Responsable:	Ing. Diego Ramos	
Datos del ensayo realizado bajo la Norma ASTM D3039 (Ensayo a TRACCIÓN).					
Probetas		Deformación máxima %	Carga máxima (N)	Esfuerzo máximo (Mpa)	Módulo de elasticidad (Mpa)
Número	Denominación				
1	T-RCT2FC1	3,26	10505,04	70,44	2157,66
2	T-RCT2FC2	2,97	9654,60	63,65	2143,55
3	T-RCT2FC3	2,73	7712,32	48,40	1770,92
4	T-RCT2FC4	4,37	8769,45	56,72	1296,84
5	T-RCT2FC5	3,02	9291,70	62,80	2076,59
Promedio:		3,273	9186,62	60,40	1889,11
Desviación Estándar:		0,644	1038,73	8,28	366,31
Gráfica de resultados					
					
					
Observaciones			Evaluación		
La probeta tiene un comportamiento similar ya que los resultados no tienen mucha variación			Esfuerzo Máximo promedio: 60,4 Mpa		
Las probetas presentaron ruptura en la zona inferior, media y superior.			Módulo de Elasticidad promedio: 1889,11 Mpa		
Elaborado	Ing. Diego Ramos		Aprobado	Ing. Víctor Espín Mg.	
Revisado	Ing. Víctor Espín Mg.		Validado	Ing. Víctor Espín Mg.	

Ficha Técnica 4.8 Recolección de datos del material compuesto tracción 40% fibra de cabuya sin tejida y 50% de fibra de carbono.

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA MAESTRÍA EN MECÁNICA MENCIÓN DISEÑO ENSAYO A TRACCIÓN NORMA ASTM D3039			
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DE UN MATERIAL COMPUESTO (RESINA POLIÉSTER – FIBRA DE CABUYA SIN TEJIDA REFORZADA CON FIBRA DE CARBONO)					
Fecha:	25/2/2019	Ciudad:	Ambato		
Laboratorio:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carroceros (Anexo 4)				
Máquina:	Máquina de ensayos universal Polímeros Metro test 50KN	Modelo	MTE-50		
		Serie	8210M002		
Material de matriz:	Resina Poliéster	Material de refuerzo:	Fibra de cabuya y Fibra de carbono		
Velocidad de ensayo:	10 mm/min	Temperatura:	25,1°C		
F. Volumétrica:	40% Fibra de cabuya sin tejida y 50% de fibra de carbono.	Humedad relativa (%)	56,1		
Dimensión de probetas:					
Longitud (mm)	250	Ancho (mm)	25	Espesor nominal (mm)	6
Número de probetas:	5		Responsable:	Ing. Diego Ramos	
Datos del ensayo realizado bajo la Norma ASTM D3039 (Ensayo a TRACCIÓN).					
Probetas		Deformación máxima %	Carga máxima (N)	Esfuerzo máximo (Mpa)	Módulo de elasticidad (Mpa)
Número	Denominación				
1	T-RC2FC1	3,47	9802,92	64,29	1850,74
2	T-RC2FC2	2,82	9457,37	60,77	2155,88
3	T-RC2FC3	3,05	8491,76	50,27	1649,82
4	T-RC2FC4	3,14	8968,25	54,70	1743,50
5	T-RC2FC5	2,85	9968,58	62,54	2197,30
Promedio:		3,06	9337,77	58,51	1919,44
Desviación Estándar:		0,26	608,45	5,85	245,70
Gráfica de resultados					
			Probetas sometidas a ensayo 		
Esfuerzo Máximo (MPa) 			Módulo de Elasticidad (MPa) 		
Observaciones			Evaluación		
La probeta tiene un comportamiento similar ya que los resultados no tienen mucha variación			Esfuerzo Máximo promedio: 58,51 Mpa		
Las probetas presentaron ruptura en la zona inferior, media y superior.			Módulo de Elasticidad promedio: 1919,44 Mpa		
Elaborado	Ing. Diego Ramos		Aprobado	Ing. Víctor Espín Mg.	
Revisado	Ing. Víctor Espín Mg.		Validado	Ing. Víctor Espín Mg.	

4.1.6.2 Ensayo a flexión

Para el ensayo a flexión se utilizaron probetas con la geometría y dimensiones recomendadas en la norma ASTM D7264 como se muestra en la figura 4.11 con un número de 5 probetas.

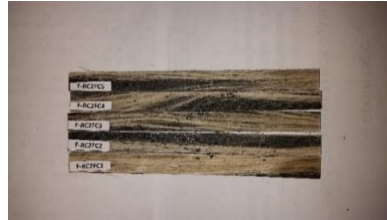


Figura 4.11 Probetas para ensayo a flexión.

Esfuerzos máximos a flexión

Se realizó para el ensayo un número de 5 probetas en base a la estratificación, fracción volumétrica y la norma ASTM D7264. Para el ensayo se utiliza tipo de ensayo cuantitativo, probetas planas y se aplica una carga a una velocidad constante de 10 mm/min.

Se determina el esfuerzo máximo utilizando la siguiente ecuación 8:

$$\sigma_{Flexión} = \frac{3FL}{2wh^2} \quad \text{Ec. (8)}$$

Donde:

$\sigma_{Flexión}$ = Esfuerzo producido en la superficie exterior.

F = Carga máxima.

L = Distancia entre los dos puntos externos.

w = Ancho de probeta

h = Alto de probeta

Módulo de flexión.

Se determina el módulo de flexión utilizando la siguiente ecuación 9:

$$E_{Flexión} = \frac{L^3 F}{4wh^2 \delta} \quad \text{Ec. (9)}$$

Donde:



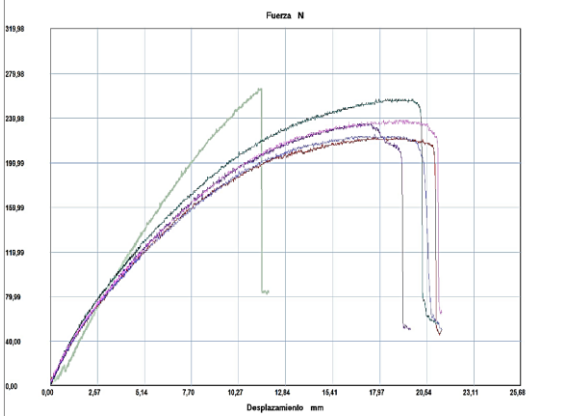

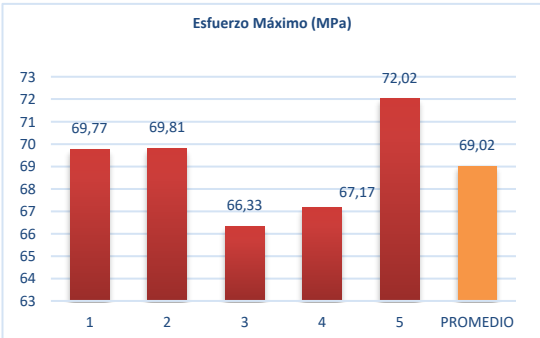
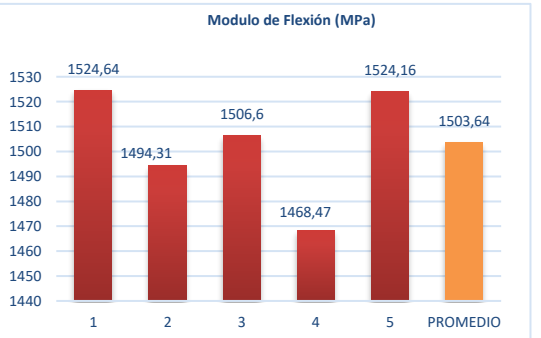
$E_{Flexión}$ = Módulo de flexión.

δ = Deflexión de la probeta.

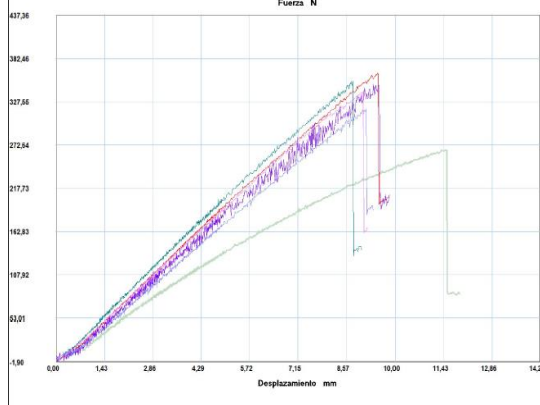
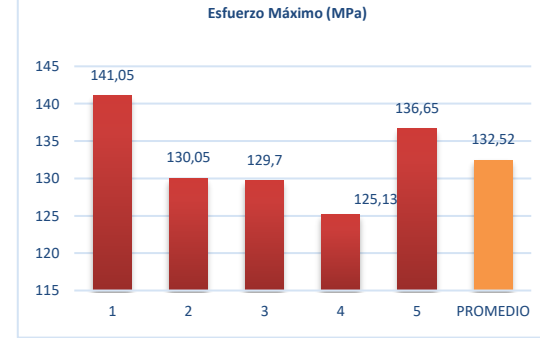
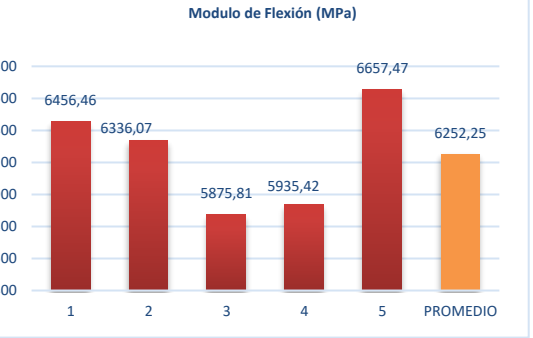
Tabulación de resultados

La tabulación de datos de las cinco probetas por cada combinación, bajo las condiciones establecidas que se detalla en las fichas técnicas 4.9 a la 4.13 que se han elaborado, en función de las necesidades y desarrollo del estudio y que se adaptan para ensayos de materiales híbridos.



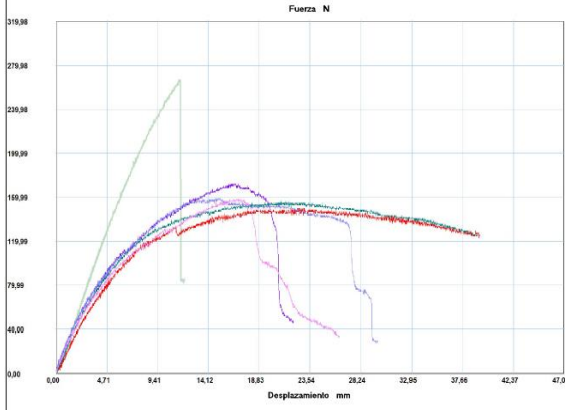

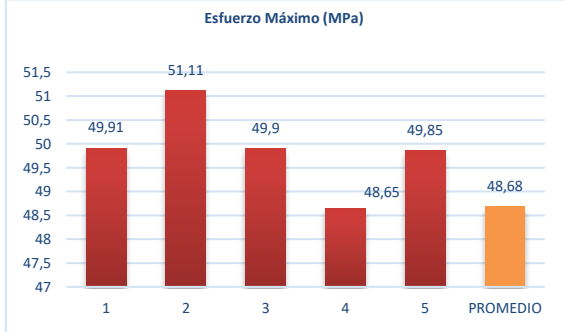
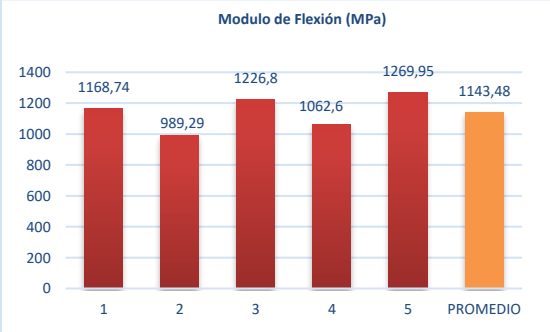
Ficha Técnica 4.9 Recolección de datos del material compuesto flexión 75% fibra de cabuya.

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA MAESTRÍA EN MECÁNICA MENCIÓN DISEÑO ENSAYO A FLEXIÓN NORMA ASTM D7264			
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DE UN MATERIAL COMPUESTO (RESINA POLIÉSTER – FIBRA DE CABUYA)					
Fecha:	26/2/2019	Ciudad:	Ambato		
Laboratorio:	Centro de Fomento Productivo Metalmeccánico Carrocero (Anexo 4)				
Máquina:	Máquina de ensayos universal Polímeros Metro test 50KN	Modelo	MTE-50		
		Serie	8210M002		
Material de matriz:	Resina Poliéster	Material de refuerzo:	Fibra de cabuya		
Velocidad de ensayo:	10 mm/min	Temperatura:	22,8°C		
F. Volumétrica:	75% de refuerzo Fibra de cabuya tejida	Humedad relativa (%):	53,5		
Dimensión de probetas:					
Longitud (mm)	160	Ancho (mm)	13	Espesor nominal (mm)	4
Número de probetas:	5		Responsable:	Ing. Diego Ramos	
Datos del ensayo realizado bajo la Norma ASTM D7264 (Ensayo a FLEXIÓN).					
Probetas		Deflexión máxima %	Carga máxima (N)	Esfuerzo máximo (Mpa)	Módulo de Flexión (Mpa)
Número	Denominación				
1	F-RCT1	4,58	222,47	69,77	1524,64
2	F-RCT2	4,67	257,18	69,81	1494,31
3	F-RCT3	4,40	235,09	66,33	1506,60
4	F-RCT4	4,57	225,63	67,17	1468,47
5	F-RCT5	4,73	238,25	72,02	1524,16
Promedio:		4,59	235,72	69,02	1503,64
Desviación Estándar:		0,12	13,64	2,28	23,42
Gráfica de resultados					
					
					
Observaciones			Evaluación		
La probeta tiene un comportamiento similar ya que los resultados no tienen mucha variación			Esfuerzo Máximo promedio: 69,02 Mpa		
Las probetas no presentan ruptura.			Módulo de flexión promedio: 1503,64 MPa		
Elaborado	Ing. Diego Ramos		Aprobado	Ing. Víctor Espín Mg.	
Revisado	Ing. Víctor Espín Mg.		Validado	Ing. Víctor Espín Mg.	



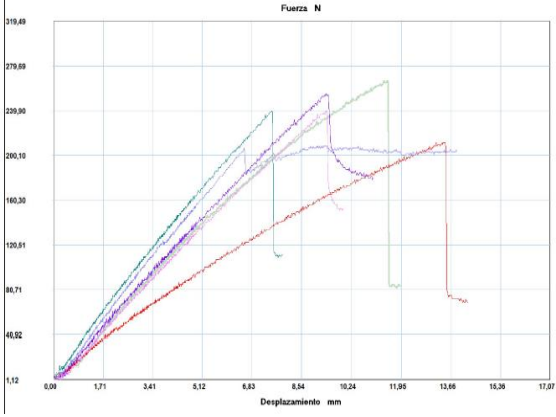

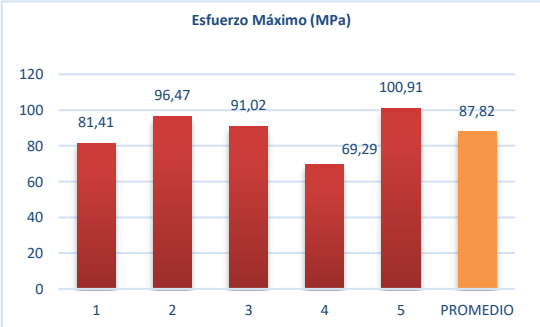
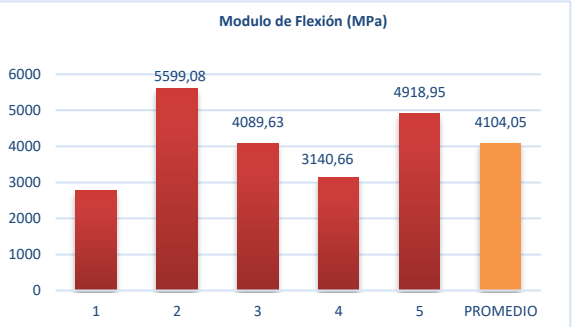
Ficha Técnica 4.10 Recolección de datos del material compuesto flexión 75% fibra de carbono.

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA MAESTRÍA EN MECÁNICA MENCIÓN DISEÑO ENSAYO A FLEXIÓN NORMA ASTM D7264					
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DE UN MATERIAL COMPUESTO (RESINA POLIÉSTER – FIBRA DE CARBONO)							
Fecha:	26/2/2019		Ciudad:	Ambato			
Laboratorio:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero (Anexo 4)						
Máquina:	Máquina de ensayos universal Polímeros Metro test 50KN		Modelo	MTE-50			
			Serie	8210M002			
Material de matriz:	Resina Poliéster		Material de refuerzo:	Fibra de carbono			
Velocidad de ensayo:	10 mm/min		Temperatura:	23,5°C			
F. Volumétrica:	75% de refuerzo Fibra de carbono tejida		Humedad relativa (%):	52,4			
Dimensión de probetas:							
Longitud (mm)	160	Ancho (mm)	13	Espesor nominal (mm)	4		
Número de probetas:	5		Responsable:	Ing. Diego Ramos			
Datos del ensayo realizado bajo la Norma ASTM D7264 (Ensayo a FLEXIÓN).							
Probetas		Deformación máxima %	Carga máxima (N)	Esfuerzo máximo (Mpa)	Módulo de Flexión (Mpa)		
Número	Denominación						
1	F-RFC1	2,18	364,47	141,05	6456,46		
2	F-RFC2	2,05	353,43	130,05	6336,07		
3	F-RFC3	2,21	350,27	129,7	5875,81		
4	F-RFC4	2,11	318,72	125,13	5935,42		
5	F-RFC5	2,05	339,23	136,65	6657,47		
Promedio:		2,12	345,224	132,52	6252,25		
Desviación Estándar:		0,07	17,332	6,29	337,28		
Gráfica de resultados							
				Probetas sometidas a ensayo 			
Esfuerzo Máximo (MPa) 				Módulo de Flexión (MPa) 			
Observaciones				Evaluación			
La probeta tiene un comportamiento similar ya que los resultados no tienen mucha variación				Esfuerzo Máximo promedio: 132,52 Mpa			
Las probetas no presentan ruptura.				Módulo de flexión promedio: 6252,25 MPa			
Elaborado	Ing. Diego Ramos			Aprobado	Ing. Víctor Espín Mg.		
Revisado	Ing. Víctor Espín Mg.			Validado	Ing. Víctor Espín Mg.		



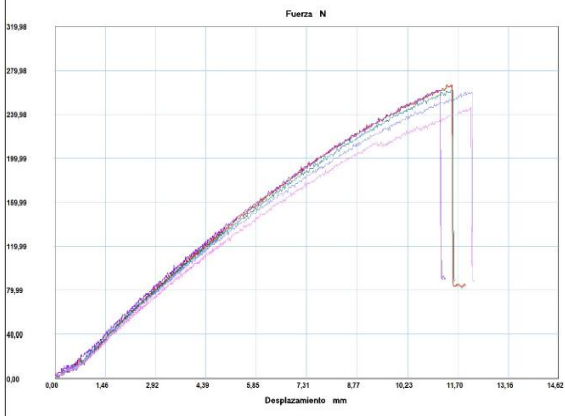
Ficha Técnica 4.11 Recolección de datos del material compuesto flexión 50% fibra de cabuya tejida y 25% de fibra de carbono.

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA MAESTRÍA EN MECÁNICA MENCIÓN DISEÑO ENSAYO A FLEXIÓN NORMA ASTM D7264			
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DE UN MATERIAL COMPUESTO (RESINA POLIÉSTER – FIBRA DE CABUYA TEJIDA REFORZADA CON FIBRA DE CARBONO)					
Fecha:	26/2/2019	Ciudad:	Ambato		
Laboratorio:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carroceros (Anexo 4)				
Máquina:	Máquina de ensayos universal Polímeros Metro test 50KN	Modelo	MTE-50		
		Serie	8210M002		
Material de matriz:	Resina Poliéster	Material de refuerzo:	Fibra de cabuya y Fibra de carbono		
Velocidad de ensayo:	10 mm/min	Temperatura:	23,7°C		
F. Volumétrica:	50% Fibra de cabuya tejida y 25% de fibra de carbono.	Humedad relativa (%)	54,2		
Dimensión de probetas:					
Longitud (mm)	160	Ancho (mm)	13	Espesor nominal (mm)	4
Número de probetas:	5		Responsable:	Ing. Diego Ramos	
Datos del ensayo realizado bajo la Norma ASTM D7264 (Ensayo a FLEXIÓN).					
Probetas		Deformación máxima %	Carga máxima (N)	Esfuerzo máximo (Mpa)	Módulo de Flexión (Mpa)
Número	Denominación				
1	F-RCT1FC1	4,27	149,89	49,91	1168,74
2	F-RCT1FC2	5,17	156,20	51,11	989,29
3	F-RCT1FC3	4,07	171,98	49,90	1226,80
4	F-RCT1FC4	4,01	159,36	48,65	1062,60
5	F-RCT1FC5	3,93	157,78	49,85	1269,95
Promedio:		4,29	159,042	48,68	1143,48
Desviación Estándar:		0,51	8,077	3,41	116,07
Gráfica de resultados					
			<p style="text-align: center;">Probetas sometidas a ensayo</p> 		
<p style="text-align: center;">Esfuerzo Máximo (MPa)</p> 			<p style="text-align: center;">Módulo de Flexión (MPa)</p> 		
Observaciones			Evaluación		
La probeta tiene un comportamiento similar ya que los resultados no tienen mucha variación			Esfuerzo Máximo promedio: 48,68 MPa		
Las probetas presentaron ruptura en la zona inferior, media y superior.			Módulo de Flexión promedio: 1143,48 MPa		
Elaborado	Ing. Diego Ramos		Aprobado	Ing. Víctor Espín Mg.	
Revisado	Ing. Víctor Espín Mg.		Validado	Ing. Víctor Espín Mg.	

Ficha Técnica 4.12 Recolección de datos del material compuesto flexión 40% fibra de cabuya tejida y 50% de fibra de carbono.

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA MAESTRÍA EN MECÁNICA MENCIÓN DISEÑO ENSAYO A FLEXIÓN NORMA ASTM D7264					
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DE UN MATERIAL COMPUESTO (RESINA POLIÉSTER – FIBRA DE CABUYA TEJIDA REFORZADA CON FIBRA DE CARBONO)							
Fecha:	26/2/2019		Ciudad:	Ambato			
Laboratorio:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carroceros (Anexo 4)						
Máquina:	Máquina de ensayos universal Polímeros Metro test 50KN		Modelo	MTE-50			
			Serie	8210M002			
Material de matriz:	Resina Poliéster		Material de refuerzo:	Fibra de cabuya y Fibra de carbono			
Velocidad de ensayo:	10 mm/min		Temperatura:	23,7°C			
F. Volumétrica:	40% Fibra de cabuya tejida y 50% de fibra de carbono.		Humedad relativa (%)	55,2			
Dimensión de probetas:							
Longitud (mm)	160	Ancho (mm)	13	Espesor nominal (mm)	4		
Número de probetas:	5		Responsable:	Ing. Diego Ramos			
Datos del ensayo realizado bajo la Norma ASTM D7264 (Ensayo a FLEXIÓN).							
Probetas		Deformación máxima %	Carga máxima (N)	Esfuerzo máximo (Mpa)	Módulo de Flexión (Mpa)		
Número	Denominación						
1	F-RCT2FC1	2,94	211,43	81,41	2771,93		
2	F-RCT2FC2	1,72	239,83	96,47	5599,08		
3	F-RCT2FC3	2,23	255,6	91,02	4089,63		
4	F-RCT2FC4	2,21	208,27	69,29	3140,66		
5	F-RCT2FC5	2,05	239,83	100,91	4918,95		
Promedio:		2,23	230,992	87,82	4104,05		
Desviación Estándar:		0,44	20,376	12,66	1183,43		
Gráfica de resultados							
				Probetas sometidas a ensayo 			
							
Observaciones				Evaluación			
La probeta tiene un comportamiento similar ya que los resultados no tienen mucha variación				Esfuerzo Máximo promedio: 87,82 Mpa			
Las probetas presentaron ruptura en la zona inferior, media y superior.				Módulo de Flexión promedio: 4104,05 MPa			
Elaborado	Ing. Diego Ramos			Aprobado	Ing. Víctor Espín Mg.		
Revisado	Ing. Víctor Espín Mg.			Validado	Ing. Víctor Espín Mg.		

Ficha Técnica 4.13 Recolección de datos del material compuesto flexión 40% fibra de cabuya sin tejida y 50% de fibra de carbono.

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA MAESTRÍA EN MECÁNICA MENCIÓN DISEÑO ENSAYO A FLEXIÓN NORMA ASTM D7264			
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DE UN MATERIAL COMPUESTO (RESINA POLIÉSTER – FIBRA DE CABUYA SIN TEJIDA REFORZADA CON FIBRA DE CARBONO)					
Fecha:	26/2/2019	Ciudad:	Ambato		
Laboratorio:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carroceros (Anexo 4)				
Máquina:	Máquina de ensayos universal Polímeros Metro test 50KN	Modelo	MTE-50		
		Serie	8210M002		
Material de matriz:	Resina Poliéster	Material de refuerzo:	Fibra de cabuya y Fibra de carbono		
Velocidad de ensayo:	10 mm/min	Temperatura:	24,9°C		
F. Volumétrica:	40% Fibra de cabuya sin tejida y 50% de fibra de carbono.	Humedad relativa (%):	58,9		
Dimensión de probetas:					
Longitud (mm)	160	Ancho (mm)	13	Espesor nominal (mm)	4
Número de probetas:	5		Responsable:	Ing. Diego Ramos	
Datos del ensayo realizado bajo la Norma ASTM D7264 (Ensayo a FLEXIÓN).					
Probetas		Deformación máxima %	Carga máxima (N)	Esfuerzo máximo (Mpa)	Módulo de Flexión (Mpa)
Número	Denominación				
1	F-RC2FC1	2,55	266,65	105,96	4161,88
2	F-RC2FC2	2,56	261,91	104,18	4064,07
3	F-RC2FC3	2,52	261,91	101,21	4009,34
4	F-RC2FC4	2,66	260,34	100,34	3769,31
5	F-RC2FC5	2,71	246,14	97,78	3604,99
Promedio:		2,6	259,39	101,89	3921,92
Desviación Estándar:		0,08	7,776	3,22	228,67
Gráfica de resultados					
			Probetas sometidas a ensayo 		
Esfuerzo Máximo (MPa) 			Módulo de Flexión (MPa) 		
Observaciones			Evaluación		
La probeta tiene un comportamiento similar ya que los resultados no tienen mucha variación			Esfuerzo Máximo promedio: 101,89 Mpa		
Las probetas presentaron ruptura en la zona inferior, media y superior.			Módulo de Flexión promedio: 1919,44 MPa		
Elaborado	Ing. Diego Ramos		Aprobado	Ing. Víctor Espín Mg.	
Revisado	Ing. Víctor Espín Mg.		Validado	Ing. Víctor Espín Mg.	

4.1.6.3 Ensayo a impacto.

Para el ensayo a impacto se utilizaron probetas con la geometría y dimensiones recomendadas en la norma ASTM D5628 como se muestra en la figura 4.12 con un número de 5 probetas.

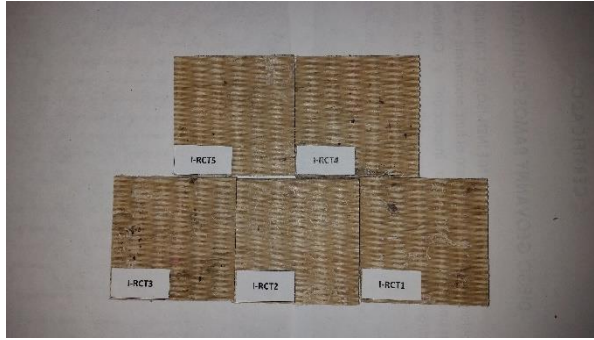


Figura 4.12 Probetas para ensayo a impacto.

Se somete cada probeta a impacto de dardo a diferentes alturas a partir de una altura inicial de 800 mm se empleó la máquina de impacto para polímeros con el fin de determinar la máxima altura de ruptura o fractura de impacto conociendo la masa del dardo y el factor de conversión a Joule (J), mediante la siguiente ecuación 10.

$$MEF = hwf \quad \text{Ec. (10)}$$

Donde:

MEF = Energía máxima de ruptura (J).

F = Carga máxima.

h = Altura máxima de ruptura (mm).

w = Masa máxima de ruptura (kg).



f = factor de conversión a Joules.

Usar $f = 9.80665 \times 10^{-3}$, si $h = \text{mm}$ y $w = \text{kg}$.

Tabulación de resultados

La tabulación de datos de las cinco probetas por cada combinación, bajo las condiciones establecidas que se detalla en las s fichas técnicas 4.14 a la 1.4.18 que se han elaborado, en función de las necesidades y desarrollo del estudio y que se adaptan para ensayos de materiales híbridos.

Ficha Técnica 4.14 Recolección de datos del material compuesto impacto 75% fibra de cabuya.

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA MAESTRÍA EN MECÁNICA MENCIÓN DISEÑO ENSAYO IMPACTO NORMA ASTM D5628			
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DE UN MATERIAL COMPUESTO (RESINA POLIÉSTER – FIBRA DE CABUYA)					
Fecha:	25/3/2019	Ciudad:	Ambato		
Laboratorio:	Laboratorio de Materiales de la Facultad de Ingeniería Mecánica. FICM-UTA (Anexo 4)				
Máquina:	Máquina de Impacto de Dardo	Geometría	FE		
Material de matriz:	Resina Poliéster	Diámetro de dardo (mm):	20		
Material de refuerzo:	Fibra de cabuya	Masa de dardo (Kg):	0,622		
F. Volumétrica:	75% de refuerzo Fibra de cabuya tejida	Temperatura:	23°C		
Dimensión de probetas:					
Longitud (mm)	58	Ancho (mm)	58	Espesor nominal (mm)	6
Número de probetas:	5		Responsable:	Ing. Diego Ramos	
Datos del ensayo realizado bajo la Norma ASTM D5628 (Ensayo a IMPACTO).					
Probetas	Altura de Lanzamiento de Falla (mm)		Resistencia Máxima al Impacto. (J)		
El mejor	800		4,88		
Gráfica de Ensayo					

Máquina de Impacto por dardo


Dardos

Probetas de Impacto



Observaciones			
Zona de fractura: Parte Central de la probeta		Característica de falla: Fractura frágil tipo estrella	
Tipo de falla: Comportamiento frágil		Resistencia Máxima al Impacto. (J): 4,88	
Inicio de falla: Inicio de falla en la matriz			
Elaborado	Ing. Diego Ramos	Aprobado	Ing. Víctor Espín Mg.
Revisado	Ing. Víctor Espín Mg.	Validado	Ing. Víctor Espín Mg.

Ficha Técnica 4.15 Recolección de datos del material compuesto impacto 75% fibra de carbono.

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA MAESTRÍA EN MECÁNICA MENCIÓN DISEÑO ENSAYO IMPACTO NORMA ASTM D5628			
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DE UN MATERIAL COMPUESTO (RESINA POLIÉSTER – FIBRA DE CARBONO)					
Fecha:	25/3/2019		Ciudad:	Ambato	
Laboratorio:	Laboratorio de Materiales de la Facultad de Ingeniería Mecánica. FICM-UTA (Anexo 4)				
Máquina:	Máquina de Impacto de Dardo		Geometría	FE	
Material de matriz:	Resina Poliéster		Diámetro de dardo (mm):	20	
Material de refuerzo:	Fibra de carbono		Masa de dardo (Kg):	0,622	
F. Volumétrica:	75% de refuerzo Fibra de carbono tejida		Temperatura:	23°C	
Dimensión de probetas:					
Longitud (mm)	58	Ancho (mm)	58	Espesor nominal (mm)	6
Número de probetas:	5		Responsable:	Ing. Diego Ramos	
Datos del ensayo realizado bajo la Norma ASTM D5628 (Ensayo a IMPACTO).					
Probetas		Altura de Lanzamiento de Falla (mm)		Resistencia Máxima al Impacto. (J)	
El mejor		1200		7,31	
Gráfica de Ensayo					

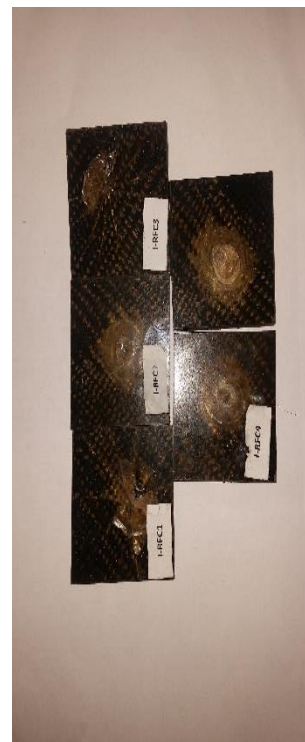
Máquina de Impacto por dardo



Dardos





Probetas de Impacto



Observaciones			
Zona de fractura: Parte Central de la probeta		Característica de falla: Fractura frágil tipo estrella	
Tipo de falla: Comportamiento frágil		Resistencia Máxima al Impacto. (J): 7,31	
Inicio de falla: Inicio de falla en la matriz			
Elaborado	Ing. Diego Ramos	Aprobado	Ing. Víctor Espín Mg.
Revisado	Ing. Víctor Espín Mg.	Validado	Ing. Víctor Espín Mg.

Ficha Técnica 4.16 Recolección de datos del material compuesto impacto 50% fibra de cabuya tejida y 25% de fibra de carbono.

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA MAESTRÍA EN MECÁNICA MENCIÓN DISEÑO ENSAYO IMPACTO NORMA ASTM D5628			
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DE UN MATERIAL COMPUESTO (RESINA POLIÉSTER – FIBRA DE CABUYA TEJIDA REFORZADA CON FIBRA DE CARBONO)					
Fecha:	25/3/2019	Ciudad:	Ambato		
Laboratorio:	Laboratorio de Materiales de la Facultad de Ingeniería Mecánica. FICM-UTA (Anexo 4)				
Máquina:	Máquina de Impacto de Dardo	Geometría	FE		
Material de matriz:	Resina Poliéster	Diámetro de dardo (mm):	20		
Material de refuerzo:	Fibra de cabuya y Fibra de carbono	Masa de dardo (Kg):	0,622		
F. Volumétrica:	50% Fibra de cabuya tejida y 25% de fibra de carbono.	Temperatura:	23°C		
Dimensión de probetas:					
Longitud (mm)	58	Ancho (mm)	58	Espesor nominal (mm)	6
Número de probetas:	5		Responsable:	Ing. Diego Ramos	
Datos del ensayo realizado bajo la Norma ASTM D5628 (Ensayo a IMPACTO).					
Probetas	Altura de Lanzamiento de Falla (mm)		Resistencia Máxima al Impacto. (J)		
El mejor	900		5,49		
Gráfica de Ensayo					

Máquina de Impacto por dardo



Dardos

Probetas de Impacto



Observaciones			
Zona de fractura: Parte Central de la probeta		Característica de falla: Fractura frágil tipo estrella	
Tipo de falla: Comportamiento frágil		Resistencia Máxima al Impacto. (J): 5,49	
Inicio de falla: Inicio de falla en la matriz			
Elaborado	Ing. Diego Ramos	Aprobado	Ing. Víctor Espín Mg.
Revisado	Ing. Víctor Espín Mg.	Validado	Ing. Víctor Espín Mg.

Ficha Técnica 4.17 Recolección de datos del material compuesto impacto 40% fibra de cabuya tejida y 50% de fibra de carbono.

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA MAESTRÍA EN MECÁNICA MENCIÓN DISEÑO ENSAYO IMPACTO NORMA ASTM D5628			
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DE UN MATERIAL COMPUESTO (RESINA POLIÉSTER – FIBRA DE CABUYA TEJIDA REFORZADA CON FIBRA DE CARBONO)					
Fecha:	25/3/2019	Ciudad:	Ambato		
Laboratorio:	Laboratorio de Materiales de la Facultad de Ingeniería Mecánica. FICM-UTA (Anexo 4)				
Máquina:	Máquina de Impacto de Dardo	Geometría:	FE		
Material de matriz:	Resina Poliéster	Diámetro de dardo (mm):	20		
Material de refuerzo:	Fibra de cabuya y Fibra de carbono	Masa de dardo (Kg):	0,622		
F. Volumétrica:	40% Fibra de cabuya tejida y 50% de fibra de carbono.	Temperatura:	23°C		
Dimensión de probetas:					
Longitud (mm)	58	Ancho (mm)	58	Espesor nominal (mm)	6
Número de probetas:	5		Responsable:	Ing. Diego Ramos	
Datos del ensayo realizado bajo la Norma ASTM D5628 (Ensayo a IMPACTO).					
Probetas	Altura de Lanzamiento de Falla (mm)		Resistencia Máxima al Impacto. (J)		
El mejor	1100		6,71		
Gráfica de Ensayo					

Máquina de Impacto por dardo



Dardos





Probetas de Impacto



Observaciones			
Zona de fractura: Parte Central de la probeta		Característica de falla: Fractura frágil tipo estrella	
Tipo de falla: Comportamiento frágil		Resistencia Máxima al Impacto. (J): 6,71	
Inicio de falla: Inicio de falla en la matriz			
Elaborado	Ing. Diego Ramos	Aprobado	Ing. Víctor Espín Mg.
Revisado	Ing. Víctor Espín Mg.	Validado	Ing. Víctor Espín Mg.

Ficha Técnica 4.18 Recolección de datos del material compuesto impacto 40% fibra de cabuya sin tejida y 50% de fibra de carbono.

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA MAESTRÍA EN MECÁNICA MENCIÓN DISEÑO ENSAYO IMPACTO NORMA ASTM D5628			
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DE UN MATERIAL COMPUESTO (RESINA POLIÉSTER – FIBRA DE CABUYA SIN TEJIDA REFORZADA CON FIBRA DE CARBONO)					
Fecha:	25/3/2019		Ciudad:	Ambato	
Laboratorio:	Laboratorio de Materiales de la Facultad de Ingeniería Mecánica. FICM-UTA (Anexo 4)				
Máquina:	Máquina de Impacto de Dardo		Geometría	FE	
Material de matriz:	Resina Poliéster		Diámetro de dardo (mm):	20	
Material de refuerzo:	Fibra de cabuya y Fibra de carbono		Masa de dardo (Kg):	0,622	
F. Volumétrica:	40% Fibra de cabuya sin tejida y 50% de fibra de carbono.		Temperatura:	23°C	
Dimensión de probetas:					
Longitud (mm)	58	Ancho (mm)	58	Espesor nominal (mm)	6
Número de probetas:	5		Responsable:	Ing. Diego Ramos	
Datos del ensayo realizado bajo la Norma ASTM D5628 (Ensayo a IMPACTO).					
Probetas		Altura de Lanzamiento de Falla (mm)		Resistencia Máxima al Impacto. (J)	
El mejor		1100		6,71	
Gráfica de Ensayo					

Máquina de Impacto por dardo



Dardos



Probetas de Impacto





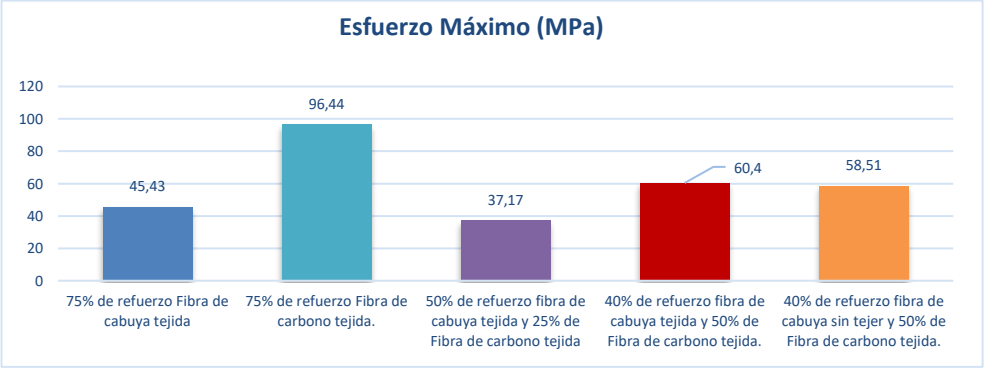
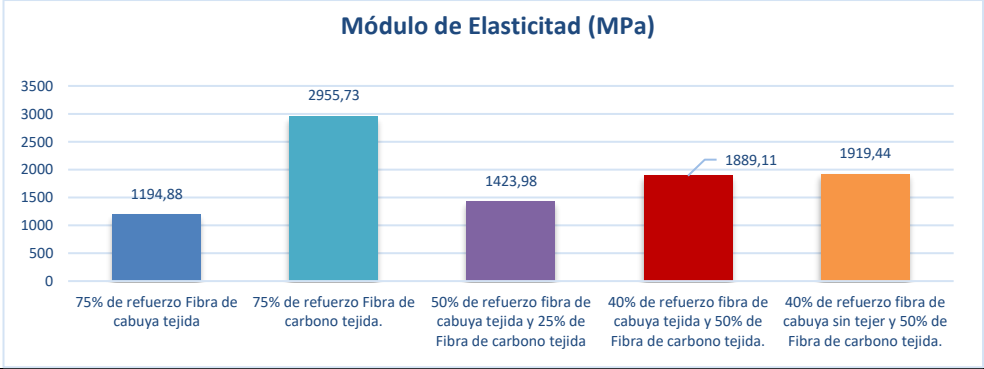
Observaciones					
Zona de fractura: Parte Central de la probeta			Característica de falla: Fractura frágil tipo estrella		
Tipo de falla: Comportamiento frágil			Resistencia Máxima al Impacto. (J): 6,71		
Inicio de falla: Inicio de falla en la matriz					
Elaborado	Ing. Diego Ramos		Aprobado	Ing. Víctor Espín Mg.	
Revisado	Ing. Víctor Espín Mg.		Validado	Ing. Víctor Espín Mg.	

4.2 Interpretación de resultados

Realizado los ensayos de tracción, flexión e impacto correspondientes se hace un análisis de los datos promedios obtenidos, para tener una comparación del total de resultados con cada porcentaje y fracción volumétrica utilizada como se verifica en las fichas técnicas 4.19 a la 4.21.



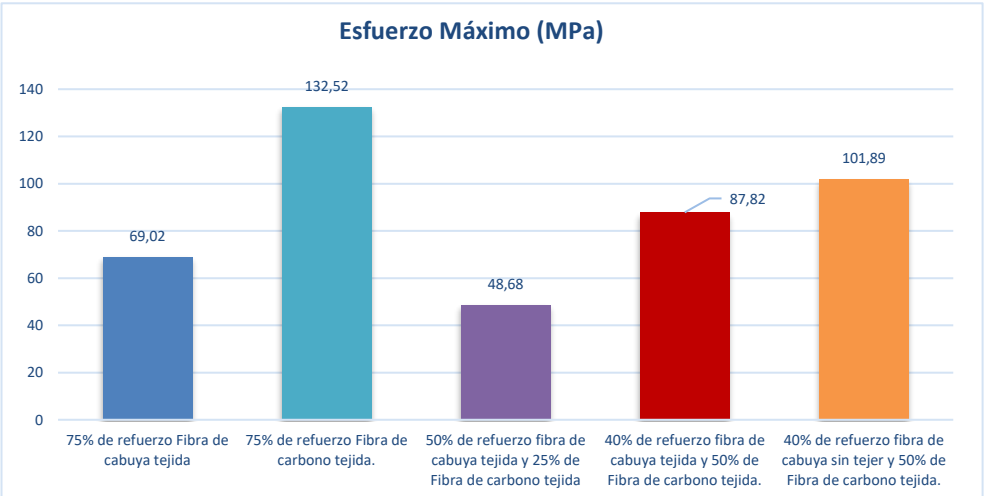
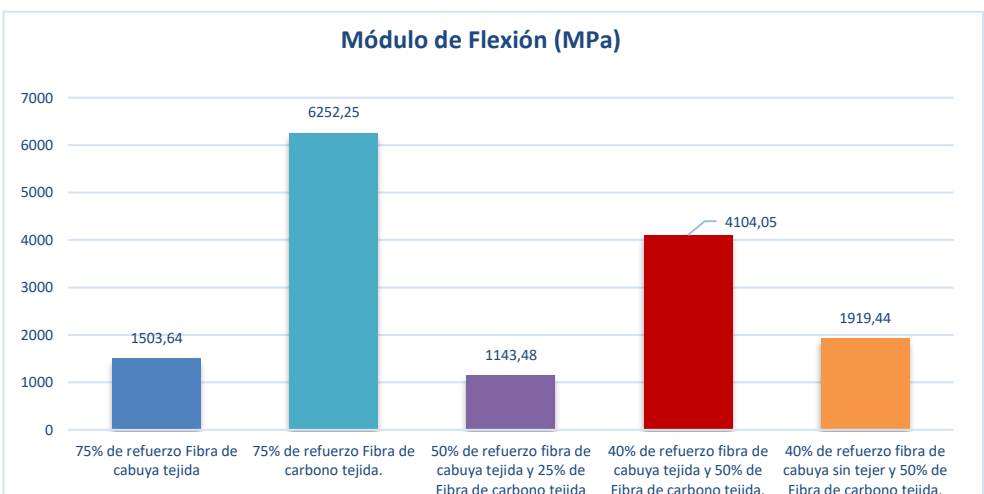
Análisis de la mejor configuración para el ensayo de tracción

Ficha Técnica 4.19 Análisis de la mejor configuración para el ensayo de tracción.

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA MAESTRÍA EN MECÁNICA MENCIÓN DISEÑO ENSAYO A TRACCIÓN NORMA ASTM D3039				
FICHA DE RESULTADOS DE DATOS DE UN MATERIAL COMPUESTO (RESINA POLIÉSTER – FIBRA DE CABUYA- FIBRA DE CARBONO)						
Tipo de ensayo	Orientación fibras	Fracción Volumétricas	Espesor Promedio (mm)	Esfuerzo Máximo (Mpa)	Módulo de elasticidad (Mpa)	
Tracción	Longitudinal y Transversal	75% de refuerzo Fibra de cabuya tejida	6,9	45,43	1194,88	
	Longitudinal y Transversal	75% de refuerzo Fibra de carbono tejida.	6,6	96,44	2955,73	
	Longitudinal y Transversal	50% de refuerzo fibra de cabuya tejida y 25% de Fibra de carbono tejida	7,1	37,17	1423,98	
	Longitudinal y Transversal	40% de refuerzo fibra de cabuya tejida y 50% de Fibra de carbono tejida.	6,1	60,40	1889,11	
	Longitudinal y Transversal	40% de refuerzo fibra de cabuya sin tejer y 50% de Fibra de carbono tejida.	6,3	58,51	1919,44	
Grafica de resultados						
						
						
Observaciones						
Se observa que la mejor combinación en los resultados de tracción es de material de fibra de carbono, pero el estudio analizados es de material híbrido por lo cual los mejores resultados de los materiales híbridos están en esfuerzo máximo de 60,4 MPA y Módulo de elasticidad de 1889,11 MPa con una fracción volumétrica 40% de refuerzo fibra de cabuya tejida y 50% de Fibra de carbono tejida.						



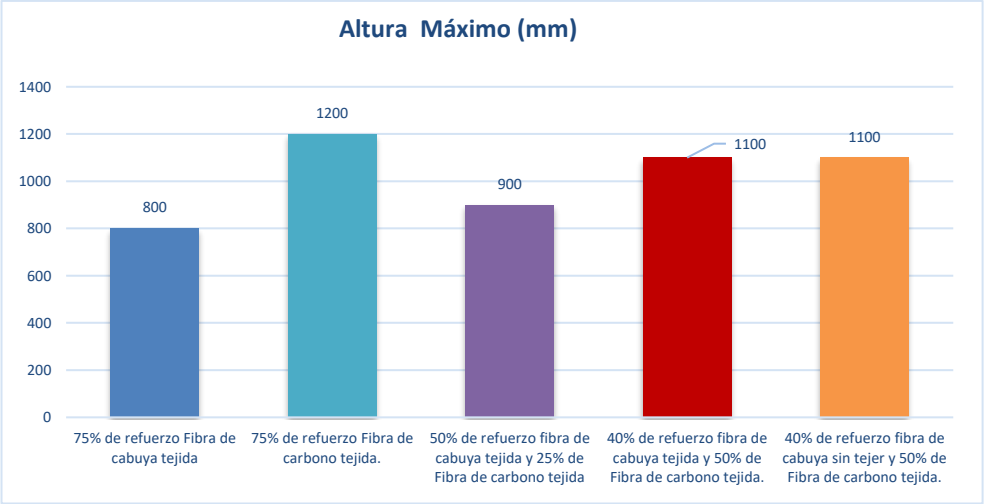
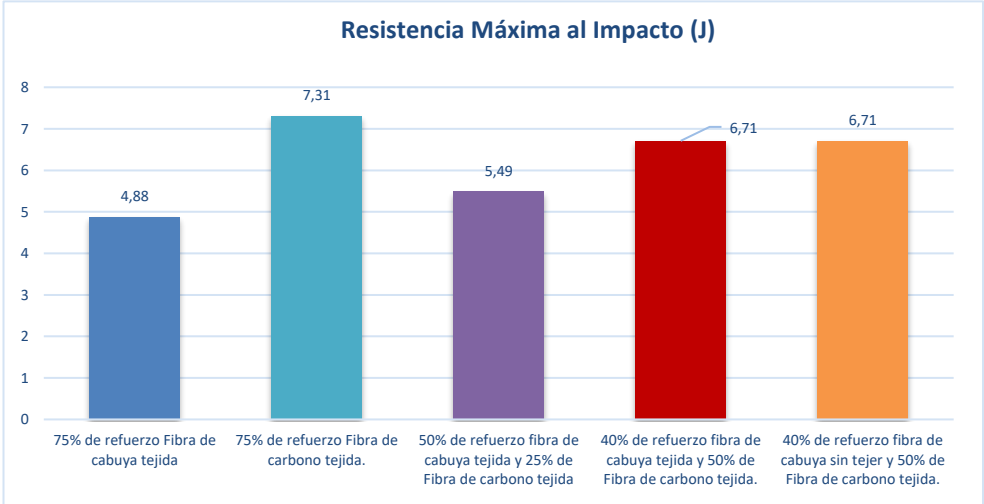
Análisis de la mejor configuración para el ensayo de flexión

Ficha Técnica 4.20 Análisis de la mejor configuración para el ensayo de flexión.

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA MAESTRÍA EN MECÁNICA MENCIÓN DISEÑO ENSAYO A FLEXIÓN NORMA ASTM D7264																
FICHA DE RESULTADOS DE DATOS DE UN MATERIAL COMPUESTO (RESINA POLIÉSTER – FIBRA DE CABUYA- FIBRA DE CARBONO)																		
Tipo de ensayo	Orientación fibras	Fracción Volumétricas	Espesor Promedio (mm)	Esfuerzo Máximo (Mpa)	Módulo de elasticidad (Mpa)													
Tracción	Longitudinal y Transversal	75% de refuerzo Fibra de cabuya tejida	6,9	69,02	1503,64													
	Longitudinal y Transversal	75% de refuerzo Fibra de carbono tejida.	6,6	132,52	6252,25													
	Longitudinal y Transversal	50% de refuerzo fibra de cabuya tejida y 25% de Fibra de carbono tejida	7,1	48,68	1143,48													
	Longitudinal y Transversal	40% de refuerzo fibra de cabuya tejida y 50% de Fibra de carbono tejida.	6,1	87,82	4104,05													
	Longitudinal y Transversal	40% de refuerzo fibra de cabuya sin tejer y 50% de Fibra de carbono tejida.	6,3	101,89	1919,44													
Grafica de resultados																		
 <p>Esfuerzo Máximo (MPa)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Configuración</th> <th>Esfuerzo Máximo (MPa)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>75% de refuerzo Fibra de cabuya tejida</td> <td>69,02</td> </tr> <tr> <td>75% de refuerzo Fibra de carbono tejida.</td> <td>132,52</td> </tr> <tr> <td>50% de refuerzo fibra de cabuya tejida y 25% de Fibra de carbono tejida</td> <td>48,68</td> </tr> <tr> <td>40% de refuerzo fibra de cabuya tejida y 50% de Fibra de carbono tejida.</td> <td>87,82</td> </tr> <tr> <td>40% de refuerzo fibra de cabuya sin tejer y 50% de Fibra de carbono tejida.</td> <td>101,89</td> </tr> </tbody> </table>							Configuración	Esfuerzo Máximo (MPa)	75% de refuerzo Fibra de cabuya tejida	69,02	75% de refuerzo Fibra de carbono tejida.	132,52	50% de refuerzo fibra de cabuya tejida y 25% de Fibra de carbono tejida	48,68	40% de refuerzo fibra de cabuya tejida y 50% de Fibra de carbono tejida.	87,82	40% de refuerzo fibra de cabuya sin tejer y 50% de Fibra de carbono tejida.	101,89
Configuración	Esfuerzo Máximo (MPa)																	
75% de refuerzo Fibra de cabuya tejida	69,02																	
75% de refuerzo Fibra de carbono tejida.	132,52																	
50% de refuerzo fibra de cabuya tejida y 25% de Fibra de carbono tejida	48,68																	
40% de refuerzo fibra de cabuya tejida y 50% de Fibra de carbono tejida.	87,82																	
40% de refuerzo fibra de cabuya sin tejer y 50% de Fibra de carbono tejida.	101,89																	
 <p>Módulo de Flexión (MPa)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Configuración</th> <th>Módulo de Flexión (MPa)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>75% de refuerzo Fibra de cabuya tejida</td> <td>1503,64</td> </tr> <tr> <td>75% de refuerzo Fibra de carbono tejida.</td> <td>6252,25</td> </tr> <tr> <td>50% de refuerzo fibra de cabuya tejida y 25% de Fibra de carbono tejida</td> <td>1143,48</td> </tr> <tr> <td>40% de refuerzo fibra de cabuya tejida y 50% de Fibra de carbono tejida.</td> <td>4104,05</td> </tr> <tr> <td>40% de refuerzo fibra de cabuya sin tejer y 50% de Fibra de carbono tejida.</td> <td>1919,44</td> </tr> </tbody> </table>							Configuración	Módulo de Flexión (MPa)	75% de refuerzo Fibra de cabuya tejida	1503,64	75% de refuerzo Fibra de carbono tejida.	6252,25	50% de refuerzo fibra de cabuya tejida y 25% de Fibra de carbono tejida	1143,48	40% de refuerzo fibra de cabuya tejida y 50% de Fibra de carbono tejida.	4104,05	40% de refuerzo fibra de cabuya sin tejer y 50% de Fibra de carbono tejida.	1919,44
Configuración	Módulo de Flexión (MPa)																	
75% de refuerzo Fibra de cabuya tejida	1503,64																	
75% de refuerzo Fibra de carbono tejida.	6252,25																	
50% de refuerzo fibra de cabuya tejida y 25% de Fibra de carbono tejida	1143,48																	
40% de refuerzo fibra de cabuya tejida y 50% de Fibra de carbono tejida.	4104,05																	
40% de refuerzo fibra de cabuya sin tejer y 50% de Fibra de carbono tejida.	1919,44																	
Observaciones																		
Se observa que la mejor combinación en los resultados de flexión es de material de fibra de carbono, pero el estudio analizados es de material híbrido por lo cual los mejores resultados de los materiales híbridos está en esfuerzo máximo 87,82 MPA y Módulo de flexión de 4104,05 MPa con una fracción volumétrica 40% de refuerzo fibra de cabuya tejida y 50% de Fibra de carbono tejida.																		

Análisis de la mejor configuración para el ensayo de impacto

Ficha Técnica 4.21 Análisis de la mejor configuración para el ensayo de impacto.

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA MAESTRÍA EN MECÁNICA MENCIÓN DISEÑO ENSAYO IMPACTO NORMA ASTM D5628																
FICHA DE RESULTADOS DE DATOS DE UN MATERIAL COMPUESTO (RESINA POLIÉSTER – FIBRA DE CABUYA- FIBRA DE CARBONO)																		
Tipo de ensayo	Orientación fibras	Fracción Volumétricas	Espesor Promedio (mm)	Altura Máximo (mm)	Resistencia Máxima al Impacto (J)													
Tracción	Longitudinal y Transversal	75% de refuerzo Fibra de cabuya tejida	6,9	800	4,88													
	Longitudinal y Transversal	75% de refuerzo Fibra de carbono tejida.	6,6	1200	7,31													
	Longitudinal y Transversal	50% de refuerzo fibra de cabuya tejida y 25% de Fibra de carbono tejida	7,1	900	5,49													
	Longitudinal y Transversal	40% de refuerzo fibra de cabuya tejida y 50% de Fibra de carbono tejida.	6,1	1100	6,71													
	Longitudinal y Transversal	40% de refuerzo fibra de cabuya sin tejer y 50% de Fibra de carbono tejida.	6,3	1100	6,71													
Grafica de resultados																		
 <p>Altura Máximo (mm)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Fracción Volumétrica</th> <th>Altura Máximo (mm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>75% de refuerzo Fibra de cabuya tejida</td> <td>800</td> </tr> <tr> <td>75% de refuerzo Fibra de carbono tejida.</td> <td>1200</td> </tr> <tr> <td>50% de refuerzo fibra de cabuya tejida y 25% de Fibra de carbono tejida</td> <td>900</td> </tr> <tr> <td>40% de refuerzo fibra de cabuya tejida y 50% de Fibra de carbono tejida.</td> <td>1100</td> </tr> <tr> <td>40% de refuerzo fibra de cabuya sin tejer y 50% de Fibra de carbono tejida.</td> <td>1100</td> </tr> </tbody> </table>							Fracción Volumétrica	Altura Máximo (mm)	75% de refuerzo Fibra de cabuya tejida	800	75% de refuerzo Fibra de carbono tejida.	1200	50% de refuerzo fibra de cabuya tejida y 25% de Fibra de carbono tejida	900	40% de refuerzo fibra de cabuya tejida y 50% de Fibra de carbono tejida.	1100	40% de refuerzo fibra de cabuya sin tejer y 50% de Fibra de carbono tejida.	1100
Fracción Volumétrica	Altura Máximo (mm)																	
75% de refuerzo Fibra de cabuya tejida	800																	
75% de refuerzo Fibra de carbono tejida.	1200																	
50% de refuerzo fibra de cabuya tejida y 25% de Fibra de carbono tejida	900																	
40% de refuerzo fibra de cabuya tejida y 50% de Fibra de carbono tejida.	1100																	
40% de refuerzo fibra de cabuya sin tejer y 50% de Fibra de carbono tejida.	1100																	
 <p>Resistencia Máxima al Impacto (J)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Fracción Volumétrica</th> <th>Resistencia Máxima al Impacto (J)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>75% de refuerzo Fibra de cabuya tejida</td> <td>4,88</td> </tr> <tr> <td>75% de refuerzo Fibra de carbono tejida.</td> <td>7,31</td> </tr> <tr> <td>50% de refuerzo fibra de cabuya tejida y 25% de Fibra de carbono tejida</td> <td>5,49</td> </tr> <tr> <td>40% de refuerzo fibra de cabuya tejida y 50% de Fibra de carbono tejida.</td> <td>6,71</td> </tr> <tr> <td>40% de refuerzo fibra de cabuya sin tejer y 50% de Fibra de carbono tejida.</td> <td>6,71</td> </tr> </tbody> </table>							Fracción Volumétrica	Resistencia Máxima al Impacto (J)	75% de refuerzo Fibra de cabuya tejida	4,88	75% de refuerzo Fibra de carbono tejida.	7,31	50% de refuerzo fibra de cabuya tejida y 25% de Fibra de carbono tejida	5,49	40% de refuerzo fibra de cabuya tejida y 50% de Fibra de carbono tejida.	6,71	40% de refuerzo fibra de cabuya sin tejer y 50% de Fibra de carbono tejida.	6,71
Fracción Volumétrica	Resistencia Máxima al Impacto (J)																	
75% de refuerzo Fibra de cabuya tejida	4,88																	
75% de refuerzo Fibra de carbono tejida.	7,31																	
50% de refuerzo fibra de cabuya tejida y 25% de Fibra de carbono tejida	5,49																	
40% de refuerzo fibra de cabuya tejida y 50% de Fibra de carbono tejida.	6,71																	
40% de refuerzo fibra de cabuya sin tejer y 50% de Fibra de carbono tejida.	6,71																	
Observaciones																		
Se observa que la mejor combinación en los resultados de impacto es de material de fibra de carbono, pero el estudio analizados es de material híbrido por lo cual los mejores resultados de los materiales híbridos con una altura máximo 1100 mm y Resistencia al impacto de 6,71 (J) con una fracción volumétrica 40% de refuerzo fibra de cabuya tejida y 50% de Fibra de carbono tejida.																		

4.2.1 Interpretación de resultados

Análisis realizado en las fichas de campo correspondientes a los ensayos tracción, flexión e impacto, se presenta la siguiente tabla de resumen de resultados, luego de lo cual se hace el análisis y evaluación del comportamiento del material híbrido respecto a la combinación de las propiedades mecánicas.

Material	EVALUACIÓN DE COMBINACIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS																					
	TRACCIÓN								FLEXIÓN								IMPACTO					
	Deformación (%)	Dif.	Carga Max(N)	Dif.	Esfuerzo Max. (Mpa)	Dif.	Módulo de Elasticidad (Mpa)	Dif.	Deformación (%)	Dif.	Carga Max(N)	Dif.	Esfuerzo Max. (Mpa)	Dif.	Módulo de Flexión (Mpa)	Dif.	Altura de lanzamiento (mm)	Dif.	Resistencia Máxima al impacto (J)	Dif.	Aceptación sobre 10	% de aceptación
50% de refuerzo fibra de cabuya tejida y 25% de Fibra de carbono tejida	2,61	-3,482	6726,51	-1711,6	37,17	-31,1	1423,98	-30,3	4,29	2,3	159,042	27,5	48,68	-91,0	1143,48	-5962,6	900	100,0	5,49	3,3	5,7	57,0
40% de refuerzo fibra de cabuya tejida y 50% de Fibra de carbono tejida.	3,27	-2,822	9186,61	748,5	60,4	-7,8	1889,11	434,9	2,23	0,3	230,992	99,4	87,82	-51,9	4104,05	-3002,0	1100	300,0	6,71	4,5	7,8	78,0
40% de refuerzo fibra de cabuya sin tejer y 50% de Fibra de carbono tejida.	3,06	-3,032	9337,78	899,7	58,51	-9,7	1919,44	465,2	2,6	0,6	259,39	127,8	101,89	-37,8	1919,44	-5186,6	1100	300,0	6,71	4,5	7,4	74,0
PARAMETROS	6,092		8438,1		68,2		1454,2		1,97		131,6		139,7		7106,1		800,0		2,2			
DESVIACIÓN ESTANDAR	0,652		1694,0		16,6		263,7		0,1		74,8		74,8		2364,5		10,5		0,5		PONDERACIÓN	
Valores límites	Desde	Hasta	Desde	Hasta	Desde	Hasta	Desde	Hasta	Desde	Hasta	Desde	Hasta	Desde	Hasta	Desde	Hasta	Desde	Hasta	Desde	Hasta		
Aceptable	6,744	>	10132,1	>	84,8	>	1718,0	>	2,1	>	206,4	>	214,5	>	9470,6	>	810,5	>	2,7	>	10	
Medianamente aceptable	5,44	6,744	6744,1	10132,1	51,7	84,8	1190,5	1718,0	1,8	2,1	56,8	206,4	64,9	214,5	4741,6	9470,6	789,5	810,5	1,8	2,7	6	
No aceptable	<	5,44	<	6744,1	<	51,7	<	1190,5	<	1,8	<	56,8	<	64,9	<	4741,6	<	789,5	<	1,8	3	

Realizada la evaluación de las combinaciones se verifica que el material que se tiene mejores propiedades es de matriz polimérica de resina poliéster fibra de cabuya reforzado con fibra de carbono, se determinó utilizando el valor promedio y la desviación estándar de las propiedades mecánicas. De acuerdo con los datos evaluados se obtiene como resultado que el material híbrido que posee propiedades mecánicas tanto a tracción, flexión e impacto es el material de la configuración 4 con 40% de refuerzo fibra de cabuya tejida y 50% de fibra de carbono tejida con un porcentaje de aceptación del 78 %.

Tabla 4.20 Propiedades mecánicas del material híbrido configuración 4.

Propiedades ensayo tracción	
Módulo de elasticidad	1889,11 MPa
Esfuerzo máximo	60,4 MPa
Deformación máxima	3,27 %
Coefficiente de Poisson	0,35
Propiedades ensayo flexión	
Módulo de flexión	4104,05 MPa
Esfuerzo máximo	87,82 MPa
Deflexión máxima	2,23 %
Propiedades ensayo de impacto	
Resistencia máxima impacto (J)	6,71

4.2.2 Comportamiento de las propiedades de tracción y flexión mediante la utilización de software ANSYS.

4.2.2.1 Simulación del ensayo de tracción y flexión.

Se presenta el análisis por el método de elementos finitos de la configuración 4 con 40% de refuerzo fibra de cabuya tejida y 50% de fibra de carbono tejida. Se realiza la geometría de la probeta de acuerdo con las especificaciones de las normas ASTM D3039 y ASTM D7264, con las dimensiones (250x25mm) para el ensayo de tracción y (160x13 mm) para el ensayo de flexión, en el software ANSYS con se muestra en la figura 4.13.

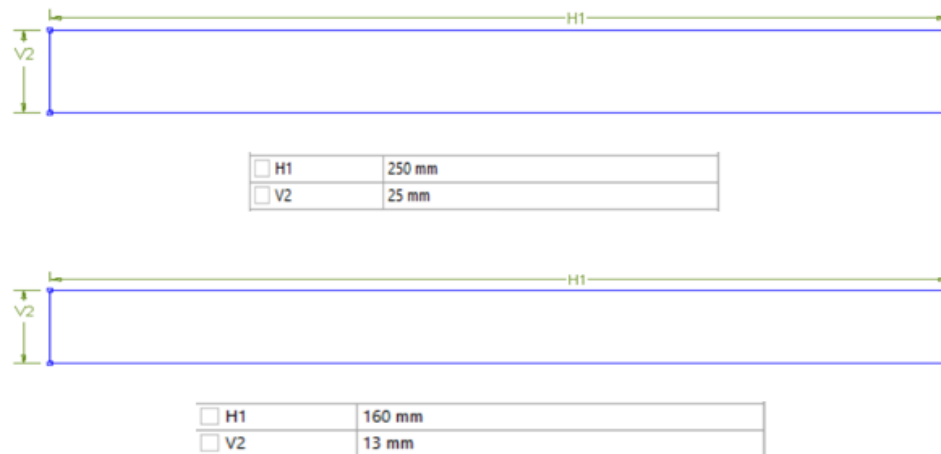


Figura 4.13 Dimensiones de probeta para el ensayo de tracción ASTM D3039 y flexión ASTM D7264

El modelo del material fue definido en el software con el módulo ACP (Ansys Composite Pre) donde se desarrolla el material compuesto, con las propiedades de cada uno de los materiales utilizados como es: módulos de elasticidad, coeficiente de Poisson y las fuerzas aplicadas con las configuraciones definidas del material.

Datos de materiales para ingresar en la simulación.

Los datos que se utiliza en la simulación están datos en la tabla 4.21 en cada uno de los materiales en los que están especificados.



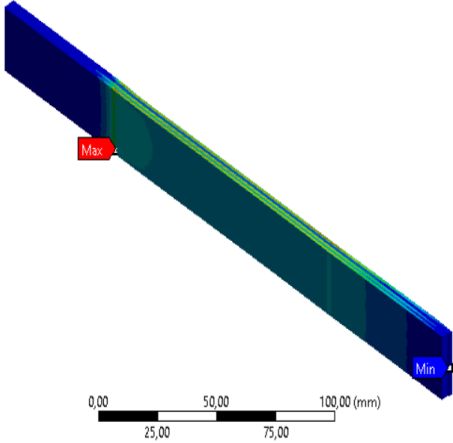
Tabla 4.21 Datos de materiales híbridos utilizados en software.

Datos de material híbrido para ingresar en la simulación		
Módulo de elasticidad fibra de cabuya:	7,5 MPa	Material híbrido
Módulo de elasticidad fibra de carbono:	7000 MPa	Material híbrido
Módulo de elasticidad resina poliéster:	3000 MPa	Resina Poliéster
Coefficiente de Poisson fibra de cabuya:	0,32	Material híbrido
Coefficiente de Poisson fibra de carbono:	0,05	Resina Poliéster
Coefficiente de Poisson resina poliéster:	0,316	Resina Poliéster
Carga máxima tracción:	9186,61 N	
Carga máxima flexión:	230,992 N	

a) Resultados de simulación del ensayo de tracción

En la ficha técnica 4.22 se determina el esfuerzo máximo que está sometido la probeta de tracción con el fin de validar la información obtenida en el ensayo físico.



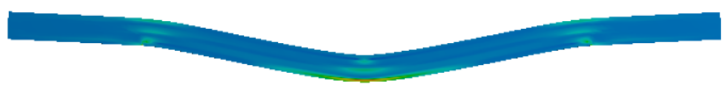
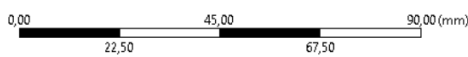
Ficha Técnica 4.22 Resultados de simulación del ensayo de tracción.

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA MAESTRÍA EN MECÁNICA MENCIÓN DISEÑO SIMULACIÓN DE ENSAYO A TRACCIÓN NORMA ASTM D3039					
FICHA DE RESULTADOS DE SIMULACIÓN DE UN MATERIAL COMPUESTO (RESINA POLIÉSTER – FIBRA DE CABUYA TEJIDA REFORZADA CON FIBRA DE CARBONO)							
Material de matriz:		Resina Poliéster		Material de refuerzo:		Fibra de cabuya y Fibra de carbono	
F. Volumétrica:		40% Fibra de cabuya tejida y 50% de fibra de carbono.		Estratificación:		Compresión	
Cantidad de nodos		181		Cantidad de elementos		1	
Dimensión de probetas:							
Longitud (mm)		250	Ancho (mm)		25	Espesor nominal (mm)	6
Número de simulación:				1		Responsable: Ing. Diego Ramos	
Resultado de la simulación probeta de tracción							
Gráfica de resultados							
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 30%;"> <p>B: ENSAYO TRACCION Maximum Principal Stress Type: Maximum Principal Stress - Top/Bottom - Layer 0 Unit: MPa Time: 1 24/7/2019 21:23</p> </div> <div style="width: 65%;">  </div> </div>							
RESULTADOS							
Esfuerzo mínimo: 0 N				Esfuerzo Máximo: 69,174 Mpa			
Elaborado		Ing. Diego Ramos		Aprobado		Ing. Víctor Espín Mg.	
Revisado		Ing. Víctor Espín Mg.		Validado		Ing. Víctor Espín Mg.	

b) Resultados de simulación del ensayo de flexión

En la ficha técnica 4.23 se determina el esfuerzo máximo que está sometido la probeta a flexión con el fin de validar la información obtenida en el ensayo físico.

Ficha Técnica 4.23 Resultados de simulación del ensayo de flexión.

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA MAESTRÍA EN MECÁNICA MENCIÓN DISEÑO SIMULACIÓN DE ENSAYO A FLEXIÓN NORMA ASTM D7264					
		FICHA DE RESULTADOS DE SIMULACIÓN DE UN MATERIAL COMPUESTO (RESINA POLIÉSTER – FIBRA DE CABUYA TEJIDA REFORZADA CON FIBRA DE CARBONO)					
Material de matriz:		Resina Poliéster		Material de refuerzo:		Fibra de cabuya y Fibra de carbono	
F. Volumétrica:		40% Fibra de cabuya tejida y 50% de fibra de carbono.		Estratificación:		Compresión	
Cantidad de nodos		120		Cantidad de elementos		1	
Dimensión de probetas:							
Longitud (mm)		160		Ancho (mm)		13	
				Espesor nominal (mm)		6	
Número de simulación:		1		Responsable:		Ing. Diego Ramos	
Resultado de la simulación probeta de tracción							
Gráfica de resultados							
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 20%;"> <p>D: ENSAYO FLEXIÓN Maximum Principal Stress Type: Maximum Principal Stress - Top/Bottom - Layer 0 Unit: MPa Time: 1 29/7/2019 22:06</p> </div> <div style="width: 60%; text-align: center;">  </div> <div style="width: 20%; text-align: right;"> <p>87,661 Max 76,149 64,636 53,123 41,611 30,098 18,585 7,0727 -4,4399 -15,953 Min</p> </div> </div> <div style="text-align: center; margin-top: 10px;">  </div>							
RESULTADOS							
Esfuerzo mínimo: 0 N				Esfuerzo Máximo: 87,661 Mpa			
Elaborado		Ing. Diego Ramos		Aprobado		Ing. Víctor Espín Mg.	
Revisado		Ing. Víctor Espín Mg.		Validado		Ing. Víctor Espín Mg.	

Determinación de error

Con la finalidad de determinar el porcentaje de error existente entre el valor del esfuerzo máximo a tracción y flexión ensayado y el simulado se utilizó las siguientes ecuaciones:

$$E_a = |V_e - V_a| \quad \text{Ec. (11)}$$

$$Er = \frac{Ea}{Ve} \cdot 100 \quad \text{Ec. (12)}$$

Donde:

Ve : valor exacto (valor ensayado)

Va : valor aproximado (valor simulado)

Ea : error absoluto

Er : error relativo

Cálculo del error para los resultados de tracción

Se utilizando la ecuación 11 y 12 se realiza el cálculo para la determinación del porcentaje de error en lo ensayado y lo simulado.

$$Ea = |Ve - Va|$$

$$Ea = |60,4 \text{ MPa} - 69,174 \text{ MPa}|$$

$$Ea = 8,774 \text{ MPa}$$

$$Er = \frac{Ea}{Ve} \cdot 100$$

$$Er = \frac{8,774 \text{ MPa}}{69,17 \text{ MPa}} \cdot 100$$

$$Er = 12,68\%$$

Cálculo del error para los resultados de flexión

Se utilizando la ecuación 11 y 12 se realiza el cálculo para la determinación del porcentaje de error en lo ensayado y lo simulado.

$$Ea = |Ve - Va|$$

$$Ea = |87,82 \text{ MPa} - 87,661 \text{ MPa}|$$

$$Ea = 0,159 \text{ MPa}$$

$$Er = \frac{Ea}{Ve} \cdot 100$$

$$Er = \frac{0,159 \text{ MPa}}{87,82 \text{ MPa}} \cdot 100$$

$$Er = 0,18 \%$$

Se evidencia mediante el ensayo de tracción y flexión con la simulación de elementos finitos, que el esfuerzo máximo del material híbrido: de la configuración 4 con 40% de refuerzo fibra de cabuya tejida y 50% de fibra de carbono tejida, tiene un porcentaje de error del 12,68% en el esfuerzo máximo del ensayo a tracción y un porcentaje de error del 0,18% en el esfuerzo máximo del ensayo a flexión en cuanto a los resultados obtenidos se encuentra en los rango permitidos para la simulación de elementos finitos de acuerdo al libro “Practical Aspects of Finite Element Simulation” en su quinta Edición de abril del 2019 en la página 470 en el punto 17.1 “How to Validate and Check Accuracy of The Result” donde se puede validar y verificar la precisión de los resultados que nos dice “10 to 15% difference in FEA (Finite element analysis) and experimental results is considered a good correlation” que si tenemos un margen de error del 10 al 15% son aceptables.

4.3 Verificación de la hipótesis

La hipótesis del presente estudio se comprueba tomando como base la recolección de datos experimentales que verifican la eficacia del nuevo material, se muestra que tiene las principales propiedades que se necesitan en partes externas de vehículos automotrices y la hipótesis está sujeta a verificación estadística y comparativa para lo cual se realiza pruebas estadísticas para cada propiedad mecánica evaluada como: tracción , flexión e impacto de los materiales de resina poliéster, fibra de vidrio y el material híbrido obtenido en el estudio como es de matriz polimérica de resina poliéster con fibra de cabuya reforzado con fibra de carbono con la intención de validar lo resultados.

Para la demostración de la hipótesis se realizó la prueba estadística t-Student debido que este método de prueba de hipótesis que compara los promedios de las dos muestras de tamaño menor a 30 [23]. La prueba permite determinar cuan significativas son las diferencias entre los promedios de las muestras evaluadas. Cuando mayor sea el valor de la prueba mayor será su diferencia y cuando menor sea más similitud hay entre las muestras. En la mayoría de los casos, se acepta un valor de 0,05 (5%) para indicar que los datos son válidos.

Para este estudio se aplicó la prueba *t*-Student de muestras independientes con las dos muestras ya mencionadas con anterioridad. Esta prueba debe cumplir con tres suposiciones: 1) suposición de independencia cuando los dos grupos independientes representen a su variable independiente, 2) suposición de normalidad donde los datos de la muestra de la variable dependiente deben distribuirse aproximadamente normal, y 3) suposición de varianza o homocedasticidad cuando las varianzas de los grupos son iguales [24].

Previo aplicar la prueba *t*-Student a las dos muestras se verificó la veracidad de los supuestos y se toma un nivel de significancia $\alpha = 0,05$, ya que es generalmente usado para proyectos de investigación. Como se conoce que las muestras son independientes una de la otra, entonces se cumple con el supuesto 1. Para el supuesto 2 y 3 se realizó lo siguiente:

Para verificar la veracidad del supuesto 2, se realizó gráficas de probabilidad de los datos de cada una de las muestras para determinar si estos siguen una distribución normal. Se comparó los valores *P* de cada muestra con los siguientes criterios: a) si $P < \alpha$, los datos no siguen una distribución normal y b) si $P > \alpha$, los datos siguen una distribución normal.

Par verificar la veracidad del supuesto 3, se realizó la prueba *F* para varianzas de dos muestras para determinar si las varianzas (σ_1 y σ_2) de los grupos son iguales. Se comparó los valores de *F* con el valor crítico para *F* con los siguientes criterios: a) si $F > \text{valor crítico } F$, las varianzas son distintas y b) sí $F < \text{valor crítico } F$, las varianzas no son diferentes.

De la prueba *t*, se evaluó los valores del estadístico *t* y los valores críticos de *t* de dos colas (significancia igual a $\alpha/2$). Se rechazó la hipótesis nula *H0* y se aceptó la hipótesis alternativa *H1* sí *estadístico t* > *los valores críticos de t*, caso contrario se aceptó la hipótesis nula.

4.3.1 Prueba de hipótesis para las propiedades mecánicas a tracción esfuerzo máximo.

H_0 : No hay diferencia entre el esfuerzo máximo de tracción del material de resina poliéster y fibra de vidrio y el esfuerzo máximo de tracción del material de resina poliéster con 40% de fibra de cabuya tejida y 50% de refuerzo de fibra de carbono tejida.

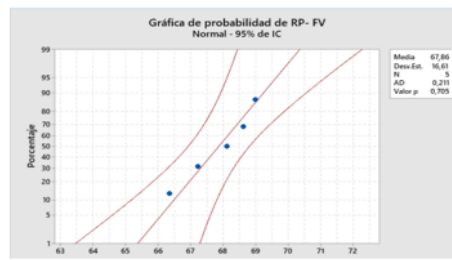
H_1 : El esfuerzo máximo de tracción del material de resina poliéster con 40% de fibra de cabuya tejida y 50% de refuerzo de fibra de carbono tejida, es menor que el esfuerzo máximo de tracción del material de resina poliéster y fibra de vidrio.

Se presenta los datos de esfuerzos máximos de tracción de las muestras correspondientes al material de resina poliéster con 40% de fibra de cabuya tejida y 50% de refuerzo de fibra de carbono tejida y del material de resina poliéster y fibra de vidrio en la tabla 4.22.

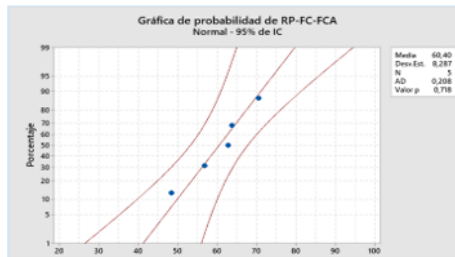
Tabla 4.22 Datos de esfuerzos máximos de tracción de los materiales.

Resina poliéster y fibra de vidrio		Resina poliéster con 40% de fibra de cabuya tejida y 50% de refuerzo de fibra de carbono tejida	
	Esfuerzo máximo de tracción MPa		Esfuerzo máximo de tracción MPa
1	67,22	1	70,44
2	68,99	2	63,65
3	68,62	3	48,40
4	66,35	4	56,72
5	68,11	5	62,80
\bar{x}	68,241	\bar{x}	60,40
S	16,58	S	8,28

Las gráficas de probabilidad representan los datos de las muestras indicadas en la tabla 4.22 y mediante la utilización de un software estadístico se obtiene. Los valores de P (0,705 y 0,718) figura 4.14, para las dos muestras son mayores al nivel de significancia α (0,05), por lo tanto, se considera que ambas presentan una distribución normal.



a)



b)

Figura 4.14 Gráficas de probabilidad de esfuerzo máximo de tracción: a) Resina poliéster y fibra de vidrio y b) Resina poliéster con 40% de fibra de cabuya tejida y 50% de refuerzo de fibra de carbono tejida.

En la tabla 4.23, mediante las herramientas estadísticas de análisis de datos de Excel se realizó la prueba F de los datos de las muestras. El valor de F (4,00) es menor que el valor crítico para F (6,39) por lo tanto, se considera que las varianzas son diferentes.

Tabla 4.23 Prueba F para varianzas de dos muestras de esfuerzo máximo (resina poliéster y fibra de vidrio, resina poliéster con 40% de fibra de cabuya tejida y 50% de refuerzo de fibra de carbono tejida).

Prueba F para varianzas de dos muestras		
	Resina poliéster y fibra de vidrio	Resina poliéster con 40% de fibra de cabuya tejida y 50% de refuerzo de fibra de carbono tejida
Media	68,24	60,40
Varianza	274,90	68,56
Observaciones	5,00	5,00
Grados de libertad	4,00	4,00
F	4,00	
$P(F \leq f)$ una cola	0,10	
Valor crítico para F (una cola)	6,39	

Una vez establecido la veracidad de los supuestos, mediante las herramientas estadísticas de análisis de datos de Excel se aplicó la prueba t para las dos muestras suponiendo varianzas son como se verifica en la Tabla 4. 24.

Tabla 4.24 Prueba de hipótesis para el esfuerzo máximo de tracción

Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales		
	Resina poliéster y fibra de vidrio	Resina poliéster con 40% de fibra de cabuya tejida y 50% de refuerzo de fibra de carbono tejida
Media	68,24	60,40
Varianza	274,97	68,56
Observaciones	5,00	5,00
Varianza agrupada	171,82	
Diferencia hipotética de las medias	0,00	
Grados de libertad	5,00	
Estadístico t	3,36	
P(T<=t) una cola	0,00	
Valor crítico de t (una cola)	1,86	
P(T<=t) dos colas	0,01	
Valor crítico de t (dos colas)	2,31	

En la tabla 4. 24, Una vez realizada el estadístico t (3,36) es mayor que el valor crítico de t de dos colas (2,31), por lo que se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa. El esfuerzo máximo de tracción del material de resina poliéster con 40% de fibra de cabuya tejida y 50% de refuerzo de fibra de carbono tejida, es significativamente menor con una diferencia de 11,4% que el esfuerzo máximo de tracción del material de resina poliéster y fibra de vidrio.

4.3.2 Prueba de hipótesis para las propiedades mecánicas a tracción de módulo de elasticidad.

H_0 : No hay diferencia entre los módulos de elasticidad de tracción del material de resina poliéster y fibra de vidrio y el esfuerzo máximo de tracción del material de resina poliéster con 40% de fibra de cabuya tejida y 50% de refuerzo de fibra de carbono tejida.

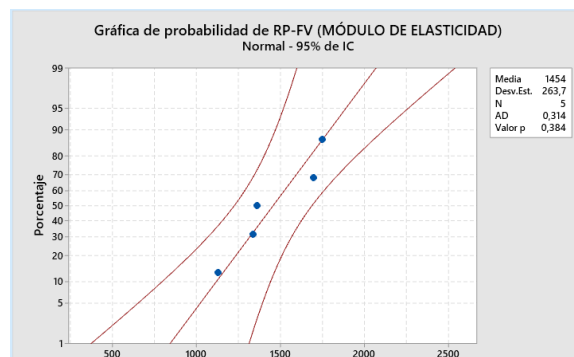
H_1 : El módulo de elasticidad de tracción del material de resina poliéster con 40% de fibra de cabuya tejida y 50% de refuerzo de fibra de carbono tejida, es menor que el módulo de elasticidad de tracción del material de resina poliéster y fibra de vidrio.

Se presenta los datos de los módulos de elasticidad de tracción de las muestras correspondientes al material de resina poliéster con 40% de fibra de cabuya tejida y 50% de refuerzo de fibra de carbono tejida y del material de resina poliéster y fibra de vidrio en la tabla 4.25.

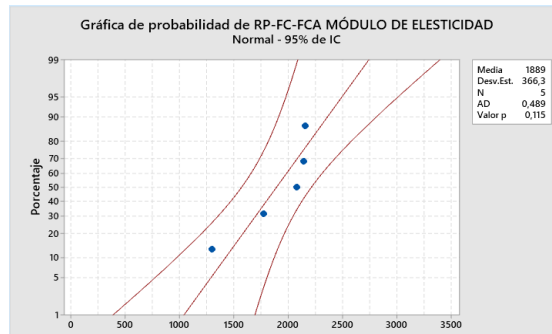
Tabla 4.25 Datos de módulos de elasticidad de tracción de los materiales.

Resina poliéster y fibra de vidrio		Resina poliéster con 40% de fibra de cabuya tejida y 50% de refuerzo de fibra de carbono tejida	
	Módulo de elasticidad de tracción Mpa		Módulo de elasticidad de tracción Mpa
1	1124,81	1	2157,66
2	1698,17	2	2143,55
3	1337,90	3	1770,92
4	1359,90	4	1296,84
5	1750,44	5	2076,59
\bar{x}	1454,24	\bar{x}	1889,11
S	263,72	S	366,31

Las gráficas de probabilidad representan los datos de las muestras indicadas en la tabla 4.25 y mediante la utilización de un software estadístico se obtiene. Los valores de P (0,384 y 0,115) figura 4.15, para las dos muestras y son mayores al nivel de significancia α (0,05), por lo tanto, se considera que ambas presentan una distribución normal.



a)



b)

Figura 4.15 Gráficas de probabilidad de módulo de elasticidad de tracción: a) Resina poliéster y fibra de vidrio y b) Resina poliéster con 40% de fibra de cabuya tejida y 50% de refuerzo de fibra de carbono tejida.

En la tabla 4.26, mediante las herramientas estadísticas de análisis de datos de Excel se realizó la prueba F de los datos de las muestras. El valor de F (0,52) es mayor que el valor crítico para F (0,16), por lo tanto, se considera que las varianzas son diferentes.

Tabla 4.26 Prueba F para varianzas de dos muestras módulos de elasticidad (resina poliéster y fibra de vidrio, resina poliéster con 40% de fibra de cabuya tejida y 50% de refuerzo de fibra de carbono tejida).

Prueba F para varianzas de dos muestras		
	Resina poliéster y fibra de vidrio	Resina poliéster con 40% de fibra de cabuya tejida y 50% de refuerzo de fibra de carbono tejida
Media	1454,24	1989,11
Varianza	69548,86	134190,05
Observaciones	5,00	5,00
Grados de libertad	4,00	4,00
F	0,52	
$P(F \leq f)$ una cola	0,27	
Valor crítico para F (una cola)	0,16	

Una vez establecido la veracidad de los supuestos, mediante las herramientas estadísticas de análisis de datos de Excel se aplicó la prueba t para las dos muestras suponiendo varianzas son como se verifica en la Tabla 4.27.

Tabla 4.27 Prueba de hipótesis para el módulo de elasticidad de tracción.

Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas desiguales		
	Resina poliéster y fibra de vidrio	Resina poliéster con 40% de fibra de cabuya tejida y 50% de refuerzo de fibra de carbono tejida
Media	1454,24	1889,11
Varianza	69548,86	134190,05
Observaciones	5,00	5,00
Diferencia hipotética de las medias	0,00	
Grados de libertad	5,00	
Estadístico t	-2,15	
P(T<=t) una cola	0,03	
Valor crítico de t (una cola)	1,89	
P(T<=t) dos colas	0,07	

En la tabla 4.27, Una vez realizada el estadístico t (-2,15) es mayor que el valor crítico de t de dos colas (0,07), por lo que se rechaza la hipótesis alternativa y se acepta la hipótesis nula. El módulo de elasticidad de tracción del material de resina poliéster con 40% de fibra de cabuya tejida y 50% de refuerzo de Fibra de carbono tejida, no tiene diferencia significativa que el módulo de elasticidad de tracción del material de resina poliéster y fibra de vidrio.

4.3.3 Prueba de hipótesis para las propiedades mecánicas a flexión de esfuerzo máximo.

H_0 : No hay diferencia entre el esfuerzo máximo de flexión del material de resina poliéster y fibra de vidrio y el esfuerzo máximo de tracción del material de resina poliéster con 40% de fibra de cabuya tejida y 50% de refuerzo de fibra de carbono tejida.

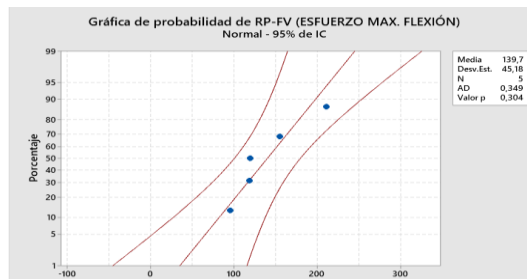
H_1 : El esfuerzo máximo a flexión del material de resina poliéster con 40% de fibra de cabuya tejida y 50% de refuerzo de fibra de carbono tejida, es menor que el esfuerzo máximo de tracción del material de resina poliéster y fibra de vidrio.

Se presenta los datos de esfuerzos máximos de tracción de las muestras correspondientes al material de resina poliéster con 40% de fibra de cabuya tejida y 50% de refuerzo de fibra de carbono tejida y del material de resina poliéster y fibra de vidrio en la tabla 4.28.

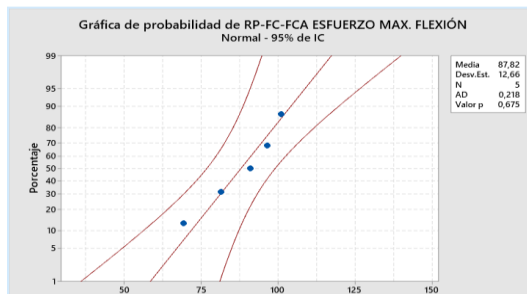
Tabla 4.28 Datos de esfuerzos máximos de flexión de los materiales.

Resina poliéster y fibra de vidrio		Resina poliéster con 40% de fibra de cabuya tejida y 50% de refuerzo de fibra de carbono tejida	
	Esfuerzo máximo de flexión Mpa		Esfuerzo máximo de flexión Mpa
1	154,42	1	81,41
2	119,16	2	96,47
3	118,28	3	91,02
4	211,22	4	69,29
5	95,52	5	100,91
\bar{x}	139,72	\bar{x}	87,82
S	45,18	S	12,66

Las gráficas de probabilidad representan los datos de las muestras indicadas en la tabla 4.28 y mediante la utilización de un software estadístico se obtiene. Los valores de P (0,304 y 0,615) figura 4.16, para las dos muestras y son mayores al nivel de significancia α (0,05), por lo tanto, se considera que ambas presentan una distribución normal.



a)



b)

Figura 4.16 Gráficas de probabilidad de esfuerzo máximo de tracción: a) Resina poliéster y fibra de vidrio y b) Resina poliéster con 40% de fibra de cabuya tejida y 50% de refuerzo de fibra de carbono tejida.

En la tabla 4.29, mediante las herramientas estadísticas de análisis de datos de Excel se realizó la prueba F de los datos de las muestras. El valor de F (12,74) es mayor que el valor crítico para F (6,39) por lo tanto, se considera que las varianzas son diferentes.

Tabla 4.29 Prueba F para varianzas de dos muestras de esfuerzo máximo flexión (resina poliéster y fibra de vidrio, resina poliéster con 40% de fibra de cabuya tejida y 50% de refuerzo de fibra de carbono tejida)

Prueba F para varianzas de dos muestras		
	Resina poliéster y fibra de vidrio	Resina poliéster con 40% de fibra de cabuya tejida y 50% de refuerzo de fibra de carbono tejida
Media	139,72	87,82
Varianza	2041,09	160,21
Observaciones	5,00	5,00
Grados de libertad	4,00	4,00
F	12,74	
$P(F \leq f)$ una cola	0,02	
Valor crítico para F (una cola)	6,39	

Una vez establecido la veracidad de los supuestos, mediante las herramientas estadísticas de análisis de datos de Excel se aplicó la prueba t para las dos muestras suponiendo varianzas son como se verifica en la Tabla 4.30.

Tabla 4.30 Prueba de hipótesis para el esfuerzo máximo de flexión.

Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas desiguales		
	Resina poliéster y fibra de vidrio	Resina poliéster con 40% de fibra de cabuya tejida y 50% de refuerzo de fibra de carbono tejida
Media	139,720	87,820
Varianza	2041,092	160,215
Observaciones	5,000	5,000
Diferencia hipotética de las medias	0,000	
Grados de libertad	5,000	
Estadístico t	2,474	
$P(T \leq t)$ una cola	0,028	
Valor crítico de t (una cola)	2,015	
$P(T \leq t)$ dos colas	0,056	
Valor crítico de t (dos colas)	2,571	
Valor crítico de t (dos colas)	2,571	

En la tabla 4.30, Una vez realizada el estadístico t (2,47) es menor que el valor crítico de t de dos colas (2,57), por lo que se rechaza la hipótesis alternativa y se acepta la hipótesis nula. El esfuerzo máximo a flexión del material de resina poliéster con 40% de fibra de cabuya tejida y 50% de refuerzo de fibra de carbono tejida, no tiene diferencia con respecto al esfuerzo máximo de flexión del material de resina poliéster y fibra de vidrio.

4.3.4 Prueba de hipótesis para las propiedades mecánicas a flexión de módulo de elasticidad.

H_0 : No hay diferencia entre los módulos de elasticidad a flexión del material de resina poliéster y fibra de vidrio y el esfuerzo máximo de tracción del material de resina poliéster con 40% de fibra de cabuya tejida y 50% de refuerzo de fibra de carbono tejida.

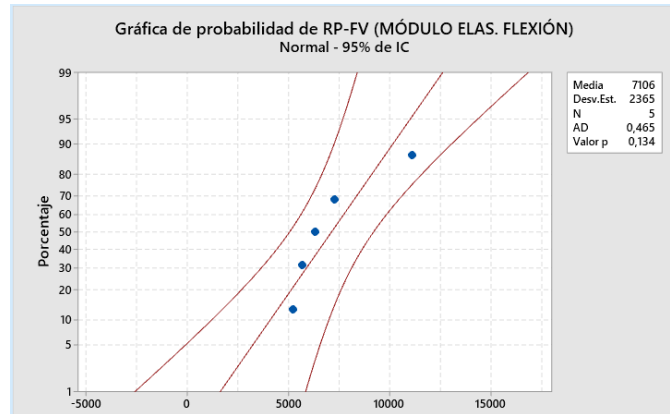
H_1 : El módulo de elasticidad a flexión del material de resina poliéster con 40% de fibra de cabuya tejida y 50% de refuerzo de fibra de carbono tejida, es menor que el módulo de elasticidad de tracción del material de resina poliéster y fibra de vidrio.

Se presenta los datos de los módulos de elasticidad a tracción de las muestras correspondientes al material de resina poliéster con 40% de fibra de cabuya tejida y 50% de refuerzo de fibra de carbono tejida y del material de resina poliéster y fibra de vidrio en la tabla 4.31.

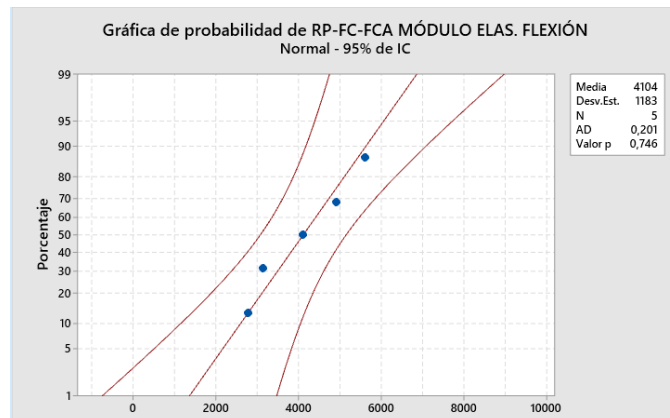
Tabla 4.31 Datos de módulos de elasticidad a flexión de los materiales.

Resina poliéster y fibra de vidrio		Resina poliéster con 40% de fibra de cabuya tejida y 50% de refuerzo de fibra de carbono tejida	
	Módulo de elasticidad a flexión Mpa		Módulo de elasticidad a flexión Mpa
1	7273,40	1	2771,93
2	5644,73	2	5599,08
3	6317,79	3	4089,63
4	11097,72	4	3140,66
5	5196,72	5	4918,95
\bar{x}	7106,07	\bar{x}	4104,05
S	2364,52	S	1183,43

Las gráficas de probabilidad representan los datos de las muestras indicadas en la tabla 4.31 y mediante la utilización de un software estadístico se obtiene. Los valores de P (0,134 y 0,746) figura 4.17, para las dos muestras y son mayores al nivel de significancia α (0,05), por lo tanto, se considera que ambas presentan una distribución normal.



a)



b)

Figura 4.17 Gráficas de probabilidad de módulo de elasticidad de flexión: a) Resina poliéster y fibra de vidrio y b) Resina poliéster con 40% de fibra de cabuya tejida y 50% de refuerzo de fibra de carbono tejida.

En la tabla 4.32, mediante las herramientas estadísticas de análisis de datos de Excel se realizó la prueba F de los datos de las muestras. El valor de F (3,99) es mayor que el valor crítico para F (6,39), por lo tanto, se considera que las varianzas no son diferentes.

Tabla 4.32 Prueba F para varianzas de dos muestras módulos de elasticidad flexión (resina poliéster y fibra de vidrio, resina poliéster con 40% de fibra de cabuya tejida y 50% de refuerzo de fibra de carbono tejida).

Prueba F para varianzas de dos muestras		
	Resina poliéster y fibra de vidrio	Resina poliéster con 40% de fibra de cabuya tejida y 50% de refuerzo de Fibra de carbono tejida
Media	7106,07	4104,05
Varianza	5590946,61	1400512,158
Observaciones	5,00	5,00
Grados de libertad	4,00	4,00
F	3,99	
P(F<=f) una cola	0,10	
Valor crítico para F (una cola)	6,39	

Una vez establecido la veracidad de los supuestos, mediante las herramientas estadísticas de análisis de datos de Excel se aplicó la prueba t para las dos muestras suponiendo varianzas son como se verifica en la tabla 4.33.

Tabla 4.33 Prueba de hipótesis para el módulo de elasticidad de a flexión.

Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales		
	Resina poliéster y fibra de vidrio	Resina poliéster con 40% de fibra de cabuya tejida y 50% de refuerzo de fibra de carbono tejida
Media	7106,07	4104,05
Varianza	5590946,61	1400512,16
Observaciones	5,00	5,00
Varianza agrupada	3495729,38	
Diferencia hipotética de las medias	0,00	
Grados de libertad	8,00	
Estadístico t	2,54	
P(T<=t) una cola	0,02	
Valor crítico de t (una cola)	1,86	
P(T<=t) dos colas	0,03	
Valor crítico de t (dos colas)	2,31	

En la tabla 4.33, Una vez realizada el estadístico t (2,54) es mayor que el valor crítico de t de dos colas (2,31), por lo que se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa. El módulo de elasticidad a flexión del material de resina poliéster con 40% de fibra de cabuya tejida y 50% de refuerzo de fibra de carbono tejida, es menor que el módulo de elasticidad de tracción del material de resina poliéster y fibra de vidrio.

4.3.5 Prueba de hipótesis para las propiedades mecánicas a impacto de resistencia máxima.

H_0 : No hay diferencia entre la resistencia máxima a impacto del material de resina poliéster y fibra de vidrio y el esfuerzo máximo de tracción del material de resina poliéster con 40% de fibra de cabuya tejida y 50% de refuerzo de fibra de carbono tejida.

H_1 : La resistencia máxima a impacto del material de resina poliéster con 40% de fibra de cabuya tejida y 50% de refuerzo de fibra de carbono tejida, es menor a la resistencia máxima a impacto del material de resina poliéster y fibra de vidrio.

Se presenta los datos de esfuerzos máximos de tracción de las muestras correspondientes al material de resina poliéster con 40% de fibra de cabuya tejida y 50% de refuerzo de fibra de carbono tejida y del material de resina poliéster y fibra de vidrio en la tabla 4.34.

Tabla 4.34 Datos de resistencia máxima a impacto de los materiales.

Resina poliéster y fibra de vidrio		Resina poliéster con 40% de fibra de cabuya tejida y 50% de refuerzo de fibra de carbono tejida	
	Resistencia máxima a impacto (J)		Resistencia máxima a impacto (J)
1	2,20	1	6,68
2	2,19	2	6,74
3	2,28	3	6,68
4	2,23	4	6,73
5	2,26	5	6,74
\bar{x}	2,23	\bar{x}	6,71
S	0,04	S	0,03

Las gráficas de probabilidad representan los datos de las muestras indicadas en la tabla 4.34 y mediante la utilización de un software estadístico se obtiene. Los valores de P (0,658 y 0,615) figura 4.18, para las dos muestras y son mayores al nivel de significancia α (0,05), por lo tanto, se considera que ambas presentan una distribución normal.

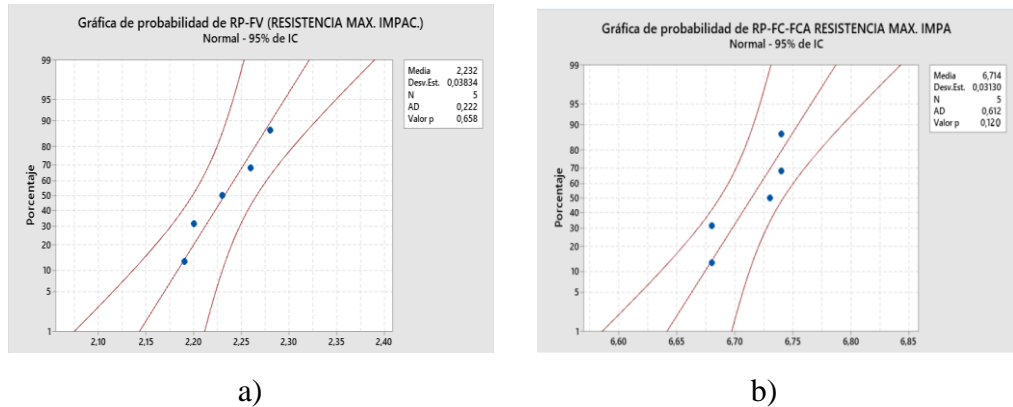


Figura 4.18 Gráficas de probabilidad de resistencia máxima a impacto: a) Resina poliéster y fibra de vidrio y b) Resina poliéster con 40% de fibra de cabuya tejida y 50% de refuerzo de Fibra de carbono tejida.

En la tabla 4.35, mediante las herramientas estadísticas de análisis de datos de Excel se realizó la prueba F de los datos de las muestras. El valor de F (1,50) es menor que el valor crítico para F (6,38) por lo tanto, se considera que las varianzas no son diferentes.

Tabla 4.35 Prueba F para varianzas de dos muestras de esfuerzo máximo flexión (resina poliéster y fibra de vidrio, resina poliéster con 40% de fibra de cabuya tejida y 50% de refuerzo de fibra de carbono tejida)

Prueba F para varianzas de dos muestras		
	Resina poliéster y fibra de vidrio	Resina poliéster con 40% de fibra de cabuya tejida y 50% de refuerzo de fibra de carbono tejida
Media	2,232	6,714
Varianza	0,00147	0,00098
Observaciones	5,00	5,00
Grados de libertad	4,00	4,00
F	1,50	
$P(F \leq f)$ una cola	0,352	
Valor crítico para F (una cola)	6,38	

Una vez establecido la veracidad de los supuestos, mediante las herramientas estadísticas de análisis de datos de Excel se aplicó la prueba t para las dos muestras suponiendo varianzas son como se verifica en la tabla 4.36.

Tabla 4.36 Prueba de hipótesis para resistencia máxima a impacto.

Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales		
	Resina poliéster y fibra de vidrio	Resina poliéster con 40% de fibra de cabuya tejida y 50% de refuerzo de fibra de carbono tejida
Media	2,2320	6,7140
Varianza	0,0015	0,0010
Observaciones	5,0000	5,0000
Varianza agrupada	0,0012	
Diferencia hipotética de las medias	0,0000	
Grados de libertad	5,0000	
Estadístico t	-2,4761	
$P(T \leq t)$ una cola	0,0000	
Valor crítico de t (una cola)	1,8595	
$P(T \leq t)$ dos colas	0,0000	
Valor crítico de t (dos colas)	2,3060	

En la tabla 4.36, Una vez realizada el estadístico t (-2,47) es menor que el valor crítico de t de dos colas (2,30), por lo que se rechaza la hipótesis alternativa y se acepta la hipótesis nula. La resistencia máxima a impacto del material de resina poliéster con 40% de fibra de cabuya tejida y 50% de refuerzo de fibra de carbono tejida, tiene diferencia con respecto a la resistencia máxima a impacto del material de resina poliéster y fibra de vidrio.

Realizado el método estadístico para demostrar la hipótesis de la investigación se determinó que las propiedades mecánicas de tracción, flexión e impacto analizadas tienen una diferencia aceptable con respecto el materia elaborado con resina poliéster y fibra de vidrio para lo cual la se demuestra la hipótesis planteada que la orientación y proporción adecuada de los elementos de un nuevo material híbrido de matriz polimérica de resina poliéster y fibra natural de cabuya, reforzada con fibra de carbono si permite ser una nueva alternativa de materia para la aplicación en el sector automotriz.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Mediante la investigación de la fundamentación teórica y el análisis de los datos recolectados, principalmente de la caracterización mecánica a tracción, flexión e impacto del material común con los que se fabrican actualmente las piezas automotrices respecto a las posibles configuraciones y fracciones volumétricas del nuevo material híbrido estudiado, se obtienen las siguientes conclusiones.

- Los métodos y técnicas de conformado de nuevos materiales híbridos, mediante la verificación en el ámbito producción de piezas de autobuses con el 95 % de las empresas realiza el método de estratificación manual y el 5% realizan otros tipos de métodos, con varias condiciones del proceso como la temperatura, orientación y proporción, para el estudio se estable utilizar el método de estratificación manual y compresión ya que el material de refuerzo puede presentarse en forma de fibra corta, continua, tejida o no tejida con diferentes ventajas como simple operación, bajos costo, elaboración piezas de gran tamaño y mejores acabados.
- La orientación y configuración se determinó según la secuencia de empilado. Presentado en la tabla 4.4. En la que se establece la dirección y orientación, de fibra de cabuya y carbono, material, cantidad de capas en las 6 combinaciones con un rango de 4 a 6 y espesor aproximado, donde longitudinal es a 0° y transversal es a 90° .
- Las proporciones adecuadas de los elementos constitutivos del nuevo material híbrido de matriz polimérica de resina poliéster y fibra natural de cabuya, reforzada con fibra de carbono para la utilización en la fabricación de componentes automotrices, se determina experimentalmente para cada tipo de combinación con volumen requerido de 878 cm^3 , un rango de volumen de resina poliéster de 219 cm^3 , volumen de catalizador promedio de $3,29 \text{ cm}^3$ y

con masa de refuerzo de fibra natural y sintética entre los 456 a 987 gr. Los resultados obtenidos en el cálculo de las fracciones volumétricas son valores estimados para tener una iniciativa al momento de realizar las probetas, sin contar con varios aspectos como, las pérdidas de resina poliéster durante el proceso de preparación y aplicación en el molde.

- Las propiedades físicas alcanzadas de manera experimental a partir de las probetas del material compuesto determinaron un valor promedio de cada combinación que se encuentra en peso 40 gr, volumen 41 cm^3 y una densidad de $0,9 \text{ gr/cm}^3$.
- La mejor combinación en los resultados de tracción, flexión e impacto es la configuración 4 con una fracción volumétrica 40% de refuerzo fibra de cabuya tejida y 50% de fibra de carbono tejida, los resultados del ensayo de tracción con un esfuerzo máximo de 60,4 MPa y módulo de elasticidad de 1889,11 Mpa, el ensayo de flexión con un esfuerzo máximo 87,82 MPa y Módulo de flexión de 4104,05 MPa y ensayo de impacto con una Resistencia al impacto de 6,71 J, con un porcentaje de aceptación del 78 %, siendo este el potencial material híbrido alternativo que presenta esta investigación para la fabricación de partes automotrices.
- Con la simulación de elementos finitos, que el esfuerzo máximo del material híbrido: de la configuración 4, tiene un porcentaje de error del 12,68% en el esfuerzo máximo del ensayo a tracción y un porcentaje de error del 0,18% en el esfuerzo máximo del ensayo a flexión, en cuanto a los resultados obtenidos se encuentra en el rango permitido para la simulación de elementos finitos que si tenemos un margen de error del 10 al 15%.

5.2 Recomendaciones

Finalizadas las pruebas realizadas en el presente estudio se ha considerado establecer las siguientes recomendaciones:

- Para la manufactura de elementos de fibra de cabuya, resina poliéster reforzada con fibra de carbono es importante tener en cuenta los materiales a utilizar, se recomienda cortar la fibra de carbono colocando una cinta con la finalidad que las fibras no se dispersen.
- El cálculo de resina a utilizar es estimado se debe tomar en cuenta que al momento de laminar se tiene que mojar por completo las fibras utilizadas también se debe tomar en cuenta que las resina tiene perdidas por derrames.
- Al realizar el corte de las probetas según las especificaciones de las normas se debe tener en cuenta de no recalentar la superficie del material, ya que se podría generar cambios microestructurales lo que afectaría las propiedades mecánicas, obteniéndose resultados erróneos.
- Se debe tomar en cuenta la simulación de los ensayos de tracción y flexión las propiedades de los materiales utilizados y el número de capas y configuraciones para tener resultados cercanos a los de los ensayos reales, también se debe colocar las fuerzas aplicadas en las caras de los elementos.
- El material híbrido de fibra de cabuya, resina poliéster reforzada con fibra de carbono, debido a que presenta altas propiedades mecánicas es adecuado para la fabricación de partes de piezas automotrices

CAPÍTULO VI

PROPUESTA

6.1. Datos informativos

El presente estudio de material híbrido de fibra de cabuya, resina poliéster reforzada con fibra de carbono como material alternativo, se lo realizó en la provincia de Tungurahua, ciudad de Ambato, específicamente en el Laboratorio Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero y laboratorio de Materiales de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, dentro de la Universidad Técnica de Ambato, Campus Huachi.

Por tratarse de un material híbrido, los datos primordiales para la ejecución de esta propuesta son obtenidos en el capítulo IV de esta investigación, donde se determina los métodos y técnicas de conformado de materiales híbridos, orientación de las fibras, el número de capas y la fracción volumétrica de los mismos.

El análisis de la simulación de componentes automotrices se convierte en un tema significativo a tratar en las investigaciones de la actualidad, debido a las mayores exigencias que imponen las autoridades y el mayor interés del sector automotriz de tener componentes con mejores propiedades mecánicas y menor peso.

6.2. Antecedentes de la propuesta

Una gran cantidad de estos siniestros se producen en los transportes de servicio urbano, las estadísticas presentadas por algunas ciudades como Loja, Quito, Manta, Ibarra y Guayaquil, basada en la información proporcionada por la Agencia Nacional De Tránsito, indicando el porcentaje de siniestros acumulado hasta diciembre de 2018, donde por choque frontal presentan 11.39% del total de accidentes a nivel nacional que representan 4068 accidentes siendo después del choque lateral. El porcentaje de buses que participan en este tipo de siniestros constituyen un promedio anual de 7.08% según Agencia Nacional de Tránsito en el año 2018. A pesar de ser un promedio bajo, son las unidades de transporte las que movilizan a gran cantidad de personas.

En la actualidad, en el campo de la Ingeniería Mecánica existen varios proyectos de investigación en el campo de los materiales híbridos, reforzados con fibras sintéticas para las diferentes aplicaciones ya que los elementos que requieren alta flexibilidad, alta resistencia y bajo peso, por esta razón han sido objeto de varios estudios.

Las fibras sintéticas en especial las de carbono en combinación con fibras naturales y resina poliéster han sido un gran avance científico para el mundo, en cuanto respecta a la diversidad de aplicaciones que se les puede dar para mejorar las propiedades en múltiples casos, lo que comparando representa una ventaja con materiales isotrópicos como los metales debido a la alta resistencia y al peso, pues los materiales híbridos pueden llegar a ser más de una 70% más livianos que los metales.

Las aplicaciones más importantes de los materiales híbridos son elementos de protección en la industria automotriz, pues que su alta deformación y bajo peso permiten que sean una alternativa posible desde los costos de fabricación y como dispositivos de seguridad. Se suelen emplear en partes externas de autobuses como guardachoques delanteros y posteriores.

En la actualidad la llegada de los métodos de análisis computarizados permite el desarrollo de varias posibilidades de componentes en el campo de la industria automotriz debido a que en general, las pruebas reales resultan muy costosas.

Los métodos de elementos finitos han adquirido una gran importancia ya que proporcionan las herramientas para resolver problemas que antes eran difíciles de resolver se afirma que el método de elementos finitos (MEF), es una formulación matemática que se enfoca en obtener resultados de los análisis y estos sean los más aproximados a la realidad.

6.3 Justificación

En el país se están desarrollando varios tipos de materiales híbridos, para lo cual es deseable la incorporación de fibras naturales reforzadas con fibra de carbono con el fin de sustituir en algunas aplicaciones a la fibra de vidrio y para formar híbridos de fibra natural y fibra de carbono con mejores propiedades. Ya que este tipo de

materiales han venido generando gran interés y aceptación en la industria al momento de sustituir varias necesidades que un material tradicional no posee, ya que la fibra de carbono presenta altos valores de resistencia a la corrosión y bajo peso en los componentes que conforman una carrocería, siendo la mejor opción para sustituir el material de un guardachoque que forma parte de la carrocería de un bus. Y que este elemento está expuesto a muchos accidentes siendo la parte más afectada al momento de un choque frontal y según estadísticas de siniestralidad casi dos terceras partes de los accidentes de tránsito son frontales y la mitad de ellos presentan una afectación de entre un 30 y 50 por ciento de la superficie frontal.

De esta forma, se trata de dar un valor agregado a los recursos naturales y sintéticos utilizados y no limitarse a la fabricación de bienes artesanales, además de crear nuevas alternativas de materiales híbridos con mejores características. Sin embargo, los estudios e investigaciones son pocos, y ninguno de ellos está direccionado a la industria carrocera ecuatoriana, en la cual se elaboran gran cantidad de partes de materiales compuestos, en los cuales se utiliza la combinación de la fibra de vidrio y resina poliéster, entre las partes elaboradas se tienen también partes críticas como son los guardachoques que están expuestos a diferentes fuerzas mecánicas tracción, flexión e impacto, por lo cual se hace necesario que la propuesta de esta investigación sea direccionada hacia la industria carrocera, el cual se puedan obtener un producto con altos estándares de calidad, resistencia, tenacidad, estética y seguridad, usando material híbrido de fibra de cabuya, resina poliéster reforzada con fibra de carbono como material alternativo.

La propuesta aportará al sector carrocera con una metodología de análisis y diseño, que permitirá mejorar el diseño previo de las partes de los autobuses, además se reducirán los costos e inversión de producción de las partes automotrices, de manera que se podrá disponer de un mejor análisis para realizar el diseño que cumpla con estándares de calidad nacionales e internacionales.

6.4. Objetivos

6.4.1 Objetivo general

Diseño y simulación de guardachoque delantero de un bus de servicio urbano, con material híbrido de resina poliéster, fibra de cabuya reforzada con fibra de carbono.

6.4.2 Objetivos específicos

- Definir los parámetros para el diseño del guardachoque frontal.
- Analizar el guardachoque frontal de bus de servicio urbano mediante ANSYS.
- Realizar una evaluación económica comparativa del costado del guardachoque frontal de bus de servicio urbano elaborado con material híbrido de resina poliéster, fibra de cabuya reforzada con fibra de carbono

6.5 Análisis de factibilidad

Se ha determinado que el desarrollo de la propuesta es posible de realizarse, debido a que por medio de investigaciones se tiene conocimiento del proyecto a realizarse, además de la posibilidad de poder simular una pieza automotriz para la utilización en vehículos de servicio urbano como es guardachoque. Para lo cual por otra parte todo lo que es necesario para la modelación de la pieza automotriz como son los recursos humanos, instrumentos y programa son de propiedad del autor.

6.6 Fundamentación

La elaboración de la propuesta es parte de la necesidad de simular un elemento con materiales diferentes a los que se fabrica normalmente con propiedades mecánicas de similares características.

6.6.1 Criterios de falla en los materiales

Los criterios de falla son teorías para determinar si los esfuerzos a los que se somete una pieza que se está diseñando van a originar una falla. Son de especial interés en los materiales compuestos debido a la existencia de criterios múltiples de análisis y a sus variadas disposiciones. El primer criterio se conoce como de máximo esfuerzo, queriéndose decir que los esfuerzos en las direcciones principales del material deben ser menores que los esfuerzos máximos de resistencia, aplicando un factor de seguridad [25].

El criterio de Von Mises o criterio de la energía máxima de distorsión asegura que un componente estructural dado es seguro siempre y cuando el valor máximo de la energía de distorsión (energía que ocasiona cambios en la forma del elemento), no exceda los valores que ocasionan fluencia en una probeta de prueba a tracción del mismo material [25].

El criterio de deformación máxima impide que las deformaciones unitarias excedan ciertos valores establecidos para cada material, en las direcciones principales del elemento. El criterio de Tsai-Hill relaciona las propiedades de rigidez con los valores de resistencia, así como la dirección principal del material. El criterio de Hoffman asegura que los esfuerzos en el material están dentro de una superficie en forma de elipsoide definida por los esfuerzos máximos en las direcciones principales del material [26].

El tiempo del diseñador y la experiencia le dice qué criterio usar, de acuerdo con la aplicación el trabajo requerido y el material utilizado. El software de elementos finitos muestra valores comparables para cada materia y analiza los máximos esfuerzos en las direcciones principales.

6.6.2 Análisis dinámico de choques

El análisis de choques en partes automotrices implica el estudio tanto de los materiales isotrópicos como de los no isotrópicos como lo son los compuestos de matriz reforzada por fibra. Por una infinidad de razones, es mucho más difícil modelar el comportamiento de elemento de material compuesto que de material isotrópico, lo cual no quiere decir que sea imposible su aplicación, pues desde hace décadas se usan materiales compuestos dentro de estructuras que absorben energía en las colisiones [27].

El cambio de velocidad y el cambio de energía es el concepto más común del análisis de choques. La variable principal de un choque es la velocidad de impacto, pero esta velocidad es debida a una energía acumulada dentro del vehículo. El cambio de velocidad indica la cantidad de energía desplegada en cierta fracción de tiempo (que suele ser menor de un segundo), o sea la desaceleración de los cuerpos. Este es el factor más importante para determinar la resistencia del componente [28].

6.6.3 Modelos analíticos de impactos.

El movimiento de un cuerpo realiza la descripción lineal de los desplazamientos infinitamente pequeños, el material es elástico lineal y las condiciones de frontera permanecen constantes durante todo el proceso de deformación, la deformación cinemática del cuerpo (análisis geométrico no lineal), y la otra es debida a su

comportamiento constitutivo son las dos fuentes del análisis de sólidos en impacto aparece debido [27].

El análisis geométrico no lineal se puede dividir a su vez en dos casos:

- Grandes rotaciones, grandes desplazamientos y deformaciones pequeñas: las líneas entre las fibras vecinas del material se conservan a la misma distancia durante el impacto.
- Grandes rotaciones, grandes desplazamientos y deformaciones grandes: las fibras se separan significativamente durante el impacto en todas direcciones.

La ecuación clásica se basa en el momento y la energía desplegados, determinando la severidad de la colisión, la ecuación 13 representa la relación de la energía cinética y momento para un cuerpo a una velocidad lineal. La energía desplegada depende de gran medida de la velocidad del vehículo y el momento del cuerpo es la relación directa entre su masa y su velocidad lineal. Los dos parámetros deben conservarse en el transcurso del tiempo [29].

$$Ek = \frac{1}{2}mv^2 \text{ (Energía cinética)} \quad P = mv \text{ (Momento de un cuerpo)} \quad \text{Ec. (13)}$$

Donde

P=Momento de un cuerpo.

m= Masa.

v=Velocidad.

Para el análisis de impacto se debe recurrir a los principios de conservación de la energía y del momento. Teniendo que las energías y momentos totales vienen dados por la ecuación 14 donde se expresa el término ΔE representa la pérdida de energía en forma de calor, sonido, fricción, etc., que igualmente se conservan en el sistema y los subíndices (B) indica el vehículo en movimiento y (T) el vehículo a impactar. Conservación de la energía y el momento antes y después del impacto [29].

$$P_{total} = P'_{total} \qquad E_{total} = E'_{total} \qquad \text{Ec. (14)}$$

$$P_B + P_T = P'_B + P'_T \qquad \frac{m_T v_T^2}{2} + \frac{m_B v_B^2}{2} = \frac{m_T v_T'^2}{2} + \frac{m_B v_B'^2}{2} + \Delta E$$

6.6.4 Análisis de colisión elástica.

El análisis de colisión elástica sucede cuando no existe pérdida de energía a causa de la desintegración del sistema. En un choque elástico, la magnitud de la velocidad de acercamiento ($v_B - v_T$) y de separación ($v'_B - v'_T$) es idéntica. El análisis de movimiento se realiza a partir de la condición de momento cero, pues el momento observado del sistema de dos masas es igual a cero. La ecuación 15 indica las relaciones de momentos antes y después del impacto elástico [29].

$$m_B v_B + m_T v_T = m_B v'_B + m_T v'_T \quad \text{Ec. (15)}$$

$$m_B v_B^2 + m_T v_T^2 = m_B v'^2_B + m_T v'^2_T$$

Si el sistema de referencia viaja a la velocidad u , entonces las dos masas tienen velocidad u_B y u_T , respectivamente. La ecuación 16 relaciona la velocidad del sistema y las velocidades de los vehículos.

$$u = \frac{m_B v_B + m_T v_T}{m_B + m_T} \quad \text{Ec. (16)}$$

$$u_B = \frac{m_T (v_B - v_T)}{m_B + m_T} \quad \text{Ec. (17)}$$

$$u_T = \frac{m_B (v_T - v_B)}{m_B + m_T}, \quad u'_B = \frac{m_T (v'_B - v'_T)}{m_B + m_T}, \quad u'_T = \frac{m_B (v'_T - v'_B)}{m_B + m_T} \quad \text{Ec. (18)}$$

$$|v_B + v_T| = |v'_B + v'_T| \quad \text{Ec. (19)}$$

La ecuación 19 enseña que la colisión es perfectamente elástica, las magnitudes de las velocidades de aproximación y separación son iguales. El sistema de dos vehículos en un choque elástico se asemeja a un sistema de dos resortes dispuestos en serie, donde el módulo de elasticidad del material cumple la función de módulo del resorte [29].

6.6.5 Análisis de colisión plástica.

Las colisiones perfectamente plásticas o inelásticas se caracterizan porque los vehículos involucrados poseen una velocidad post-impacto característica. En otras palabras, velocidad de separación cero ($v'_B - v'_T = 0$) y, por tanto, restitución cero. La ecuación 20 manifiesta este hecho, al llamar a la velocidad de separación o post colisión, como v' [29].

$$m_B v' + m_T v' = (m_B + m_T) v' \quad \text{Ec. (20)}$$

La velocidad común de post- impacto

$$v' = \frac{m_B v_B + m_T v_T}{m_B + m_T} \quad \text{Ecu. (21)}$$

La pérdida de energía cinética puede ser expresada como en la ecuación 22. La pérdida de energía es una función de la velocidad relativa de acercamiento y no de la velocidad absoluta (velocidad sobre el suelo) de los vehículos [29].

$$\Delta E = \left[\frac{1}{2} \right] \left[\frac{m_B m_T (v_T - v_B)^2}{m_B + m_T} \right] \quad \text{Ecu. (22)}$$

6.6.6 Pérdida de energía y coeficiente de restitución.

Utilizando para el sistema de referencia de momento cero en la ecuación 10 y utilizando el valor de coeficiente de restitución, se encuentra el cambio de energía cinética de los vehículos y en función de las masas, las velocidades de aproximación y coeficiente de restitución. La ecuación 23 determina el coeficiente de restitución, el cual depende de las velocidades de acercamiento y separación en valor absoluto [29].

$$e = \frac{v'_T - v'_B}{v_B + v_T} \quad \text{Ecu. (23)}$$

La ecuación 19 involucra las variables del sistema de impacto y encuentra la pérdida de energía del sistema. [29].

$$\Delta E = \left[\frac{1}{2} \right] (m_B m_T) \left[\frac{1 - e^2}{m_B + m_T} \right] (v_T - v_B)^2 \quad \text{Ecu. (24)}$$

6.6.7 Análisis computacional.

Muchos fabricantes de software de ingeniería (CAD/CAM/CAE) en la actualidad, integran dentro de sus programas, módulos de análisis de impactos. Estos paquetes de análisis son explícitos, no lineales, con códigos de elementos finitos para el análisis del problema dinámico dependiente del tiempo, correspondiente a sólidos y estructuras 3D. Todos estos programas emplean grandes cantidades de pequeños pasos, y usan métodos de solución explícitos, que son sencillos de resolver en cada paso, sin la

necesidad de formar una matriz de solución compleja, además de que no requieren iteraciones en cada paso [27].

6.6.7.1 Método de elementos finitos (MEF)

Las aplicaciones de la mecánica del sólido deformable se pueden asociarse en dos sistemas: problemas relacionados a sistemas continuos y sistemas discretos. En los primeros no se los puede subdividir de manera original en unidades simples y en los segundos, sus elementos son divididos claramente, para lo cual es necesario emplear la resolución analítica de ecuaciones diferenciales, que son de gran dificultad para resolver problemas complejos, y de esta forma surge principio del MEF (método de los elementos finitos), que se basa en la reducción de un problema con infinitos grados de libertad, en un problema donde las variables asociadas tienen un número finito, a puntos característicos llamados nodos [30].

6.6.7.2 Ingeniería asistida para análisis de impactos

La utilización de paquetes computacionales dentro del diseño de vehículos ha permitido analizar y crear simulaciones a nuevos diseños de ingeniería con el objeto de valorar características, comportamiento, viabilidad, propiedades y calcular la rentabilidad de los diseños.

La ingeniería asistida es muy utilizada en el campo de la industria automotriz, debido a los altos índices de accidentes y a la necesidad que tienen los fabricantes de ofrecer vehículos que brinden seguridad a los ocupantes en caso de que el autobús se involucre en un choque, y para lograr este fin se requieren programas informáticos con paquete de simulación, que posibiliten realizar un estudio virtual, antes de la construcción del prototipo de comprobación [31].

6.6.7.3 Proceso para Desarrollar un Análisis de Elementos Finitos

Un análisis de elementos finitos con buenos resultados, se debe seguir un proceso que arranca en el desarrollo del modelo. Lo cual este puede ser importado de otro programa predeterminado y con el cual se realizará el análisis. Para poder visualizar los resultados obtenidos se utiliza el pos procesado. Para lo cual se detalla el siguiente proceso [32].

a) Modelado CAD

Un modelo CAD (Computer Aided Design) que represente el objeto físico en estudio debe ser preparado para introducirse al software de elementos finitos. El modelo CAD debe contener los detalles suficientes para que el estudio sea aceptable, sin embargo, no debe contener demasiados pues se generaría una carga computacional innecesaria [32].

Preprocesamiento y discretización

Los elementos finitos que tiene las partes como preprocesamiento y discretización que permite someter al modelo a las condiciones que se desea simular. Esta etapa inicia con la introducción del modelo CAD al software, que debe ser totalmente correcto sin errores, para lo cual existen comandos de análisis. La etapa más importante del preprocesamiento es el mallado del modelo, que consiste en dividir al modelo CAD en pequeños dominios llamados elementos sobre los cuales se aplicarán y resolverán las ecuaciones de elementos finitos. Se dan detalles del modelo de material a utilizar, condiciones de cargas y apoyos, velocidad de desplazamiento, aceleraciones entre otros [32].

b) Procesamiento

En los elementos finitos el procesador es la parte del programa de que se encarga de resolver el modelo matemático, realizando un ensamble de todas las matrices y aplicando las condiciones de frontera, finalmente dando solución al sistema de ecuaciones generado [32].

c) Pos procesado

Aquí el programa permite, verificar esfuerzos, deformaciones, aceleraciones, velocidades, desplazamientos y demás condiciones físicas que se deseen analizar, de manera gráfica o diagramada. Al igual que en la etapa anterior, el procesador entregará un conjunto de datos para interpretar al pos-procesador, de acuerdo con las posibilidades del programa [32].

6.7 Metodología

6.7.1 Modelos matemáticos para el análisis de impacto y cálculo de esfuerzo máximo.

El desarrollo de los modelos matemáticos para el progreso del análisis de impacto es de prioridad identificar los principios matemáticos y físicos que muestran este tipo de fenómenos.

Para encontrar la fuerza de impacto de los cuerpos, (Guardachoque frontal y barrera fija), se requiere utilizar la teoría del impulso y cantidad de movimiento. De acuerdo con la definición la cantidad de movimiento, el impulso es el producto de la carga aplicada sobre un cuerpo y el tiempo de duración. Para lo cual la cantidad de movimiento es un resultado del impulso, ya que matemáticamente son lo mismo, pero conceptualmente existen diferencias.

Parámetros de diseño

Los parámetros de diseño se definen de acuerdo con masas, velocidades de los cuerpos y tiempo de impacto lo cuales fueron tomados tanto de normas como (Anexo 5) “Directiva 96/79/ce del parlamento europeo y del consejo” e investigaciones realizadas a nivel nacional como internacional de lo cual se define en la tabla 6.1.

Tabla 6.1 Parámetros de diseño de guardachoque.

Parámetro	Valor
Velocidad de Guardachoque (v_1)	56 km/h o (15, 55 m/s)
Velocidad de la Barrera (v_2)	0 km/h
Masa de Guardachoque (m_1)	12,32 kg
Masa de Barrera (m_2)	1500 kg
Tiempo de contacto en el choque (t)	50 ms
Longitud de guardachoque (l)	2,485 m

El análisis matemático se realiza en la parte delantera de bus, esto debido que la parte externa con mayor probabilidad de impacto es el guardachoque frontal.

Se aplica la teoría de impulso para determinar la fuerza de impacto, utilizando la ecuación 14.

$$P_1 = P'_1$$

Los impactos perfectamente plásticas o inelásticas se caracterizan porque los vehículos involucrados poseen una velocidad de separación característica. La ecuación 15 manifiesta este hecho, al llamar a la velocidad de separación.

$$m_1 v_1 + m_2 v_2 = (m_1 + m_2) v'$$

La velocidad de separación

$$v' = \frac{m_1 v_1 + m_2 v_2}{m_1 + m_2}$$

Utilizando la ecuación 21 determinamos la velocidad de separación que influyen y están relacionados las masas de los cuerpos y sus velocidades.

$$v' = \frac{m_1 v_1 + m_2 v_2}{m_1 + m_2}$$

$$v' = \frac{(12,32 \text{ kg} * 15,55 \text{ m/s}) + (1500 \text{ kg} * 0 \text{ m/s})}{12,32 \text{ kg} + 1500 \text{ kg}}$$

Como la velocidad de la barra es cero se elimina el segundo término del numerador

$$v' = \frac{191,58 \text{ kg} \left(\frac{\text{m}}{\text{s}}\right)}{1512,32 \text{ kg}}$$

$$v' = 0,12 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Con la velocidad de separación de 0,1266 m/s se puede determinar la aceleración producida utilizando la utilizando la ecuación 25.

$$a = \frac{v' - v_1}{t} \quad \text{Ec. (25)}$$

Donde:

a = Aceleración producida

$$a = \frac{0,12 \frac{\text{m}}{\text{s}} - 15,55 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{0,05 \text{ s}}$$

$$a = -308,6 \frac{m}{s^2}$$

La aceleración obtenida de $-308,6 \frac{m}{s^2}$ con signo negativo significa que se tiene una desaceleración.

Para calcular la fuerza necesaria para producir este movimiento de impacto utilizamos la ecuación 26:

$$F = m \cdot a \quad \text{Ec. (26)}$$

Donde

F= Fuerza necesaria

m= Masa de guardachoque

$$F = m \cdot a$$

$$F = 12,32 \text{ kg} \cdot 308,6 \frac{m}{s^2}$$

$$F = 3801,05 \text{ N}$$

Una vez encontrada la fuerza necesaria de 3801,05 N se requiere determinar el diseño del guardachoque para lo cual se realizará a continuación.

Se toma que el guardachoque representa una viga simple con apoyos, debido que los esfuerzos que va a estar sometidos este componente es esfuerzo de flexión por su configuración, que se encuentra emperrado en la parte de los extremos de este.

$$q = \frac{F}{l} \quad \text{Ec. (27)}$$

Donde

q= Carga distribuida

l= Longitud del guardachoque

Se aplica la ecuación 27 para determinar el valor de q.

$$q = \frac{F}{l}$$

$$q = \frac{3801,05 \text{ N}}{2,485 \text{ m}}$$

$$q = 1529,60 \frac{\text{N}}{\text{m}}$$

Se realiza los diagramas de cuerpo libre para determinar las reacciones en los apoyos como se verifica en la figura 6.1

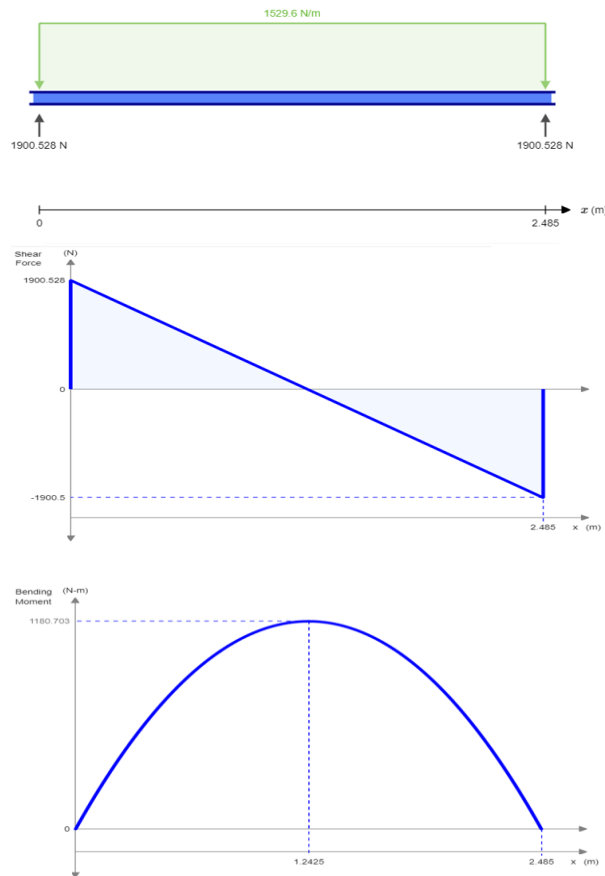


Figura 6.1 Diagrama de cuerpo libre de guardachoque

Determinación de reacciones en los apoyos

$$\sum MA = 0$$

$$-F \cdot \frac{l}{2} + B_y \cdot l = 0$$

$$-3801,05 \text{ N} \cdot \frac{2,485 \text{ m}}{2} + B_y \cdot 2,485 \text{ m} = 0$$

$$B_y = 1900,9 \text{ N}$$

Como se supone que la distribución es simétrica B_y va a ser igual A_y

$$A_y = 1900,9 \text{ N}$$

Donde

A_y = Reacción en el punto A

B_y = Reacción en el punto B

Calculado las reacciones en los apoyos se puede determinado el momento máximo, para lo cual el momento se calcula mediante la siguiente ecuación 23.

$$M = \frac{\frac{l}{2} * A_y}{2} \quad \text{Ec. (28)}$$

$$M = \frac{\frac{2,485 \text{ m}}{2} * 1900,9\text{N}}{2}$$

$$M = 1180,93 \text{ Nm}$$

Con el momento máximo de 1180,93 Nm se puede determinar el esfuerzo máximo a flexión que está sometido el guardachoque de la unidad.

$$\sigma = \frac{M * c}{I} \quad \text{Ec. (29)}$$

Donde

σ = Esfuerzo máximo a flexión

M = Momento máximo

c = Distancia del eje neutro

I = Inercia de cuerpo

La inercia del cuerpo utilizada es de $1,09 \times 10^{-7} \text{ m}^4$ este valor es un aproximado debido a que el cuerpo tiene una configuración irregular y el valor de la distancia del eje neutro es de 0,003 m.

Utilizando la ecuación 29 se determina el esfuerzo máximo a flexión

$$\sigma = \frac{M * c}{I}$$

$$\sigma = \frac{1180,93 \text{ Nm} * 0,003 \text{ m}}{1,09 \times 10^{-7} \text{ m}^4}$$

$$\sigma = 32,5 \text{ Mpa}$$

Una vez calculado el esfuerzo máximo que soportara el guardachoque que es de 32,5 MPa se determina el factor de seguridad en referencia al valor de esfuerzo máximo a flexión obtenido en el material utilizado que es de 87,82 Mpa.

$$n = \frac{\sigma_1}{\sigma_2} \quad \text{Ec. (30)}$$

Donde

n= Factor de seguridad

σ_1 = Esfuerzo máximo de material alternativo

σ_2 = Esfuerzo máximo que soporta el guardachoque

$$n = \frac{87,82 \text{ Mpa}}{32,5 \text{ Mpa}}$$

$$n=2,7$$

6.7.2 Simulación de guardachoque con impacto frontal

La simulación de guardachoque con impacto frontal se realiza con la finalidad de validar resultados obtenidos en cálculos previos, para el desarrollo de la simulación y modelado del componente, se ha solicitado información a una empresa que tiene como actividad fabricación y construcción de buses automotrices destinados para el ámbito de transporte de pasajeros y que tienen varios modelos homologados en el ente regulador que en la Agencia Nacional de Transito ANT. Debido a un acuerdo de confidencialidad firmado con la empresa, no se incluye su nombre ni ningún referente de esta.

6.7.2.1 Modelado

En base a los planos proporcionados por la empresa se levanta el modelo en CAD en 3 dimensiones figura 6.2, teniendo en cuenta cada uno de los detalles del componente para que el modelo computacional se exactamente igual al modelo real. Es importante

realizar el modelado de manera correcta uniendo cada una de las superficies, para evitar errores o generar fallas al momento de realizar la simulación. Los errores que se generan normalmente son: fusión de elementos o superficies duplicadas.



Figura 6.2 Modelado de guardachoque frontal.

6.7.2.2 Análisis de impacto frontal de guardachoque mediante software

Para realizar el análisis se utilizó la herramienta Ls Dyna que es un código de elementos finitos capaz de simular problemas complejos del mundo real. Se consiguen simulación de choques fieles a la realidad y muchas empresas que fabrican componentes automotrices lo utilizan en sus diseños, sin tener que construir para ello un prototipo, lo cual se tiene un ahorro de tiempo y dinero en este tipo de industrias. Los parámetros para la simulación fueron tomados de la tabla 6.1 lo cual tanto velocidades como masas utilizadas en los cálculos analíticos.

a) Aplicación de materiales

Una vez modelado el componente se aplica los materiales de los componentes como se puede verificar en la figura 6.3 tomando en cuenta la densidad, módulo de elasticidad, coeficiente de Poisson y principalmente la curva obtenida en los ensayos realizados como se muestra en la figura 6.4.

Properties of Outline Row 4: MAT_FCA_CA_RP				
	A	B	C	D E
1	Property	Value	Unit	
2	Material Field Variables	Table		
3	Density	1100	kg m ⁻³	
4	Isotropic Elasticity			
5	Derive from	Young's Modulus and Poisson...		
6	Young's Modulus	1889,1	MPa	
7	Poisson's Ratio	0,316		
8	Bulk Modulus	1,7112E+09	Pa	
9	Shear Modulus	7,1775E+08	Pa	
10	Plastic Strain Failure			
11	Maximum Equivalent Plastic Strain EPS	0,4		
12	Cowper Symonds Piecewise Linear Hardening			
13	Piecewise Linear Hardening			
14	Strain Rate Correction	Scale Yield Stress		
15	Initial Yield Stress A	10	MPa	
16	Strain Rate Constant C	40		
17	Strain Rate Constant P	5		
18	Effective Stress	Tabular		
19	Scale	1		
20	Offset	0	MPa	

Figura 6.3 Propiedades de material híbrido.

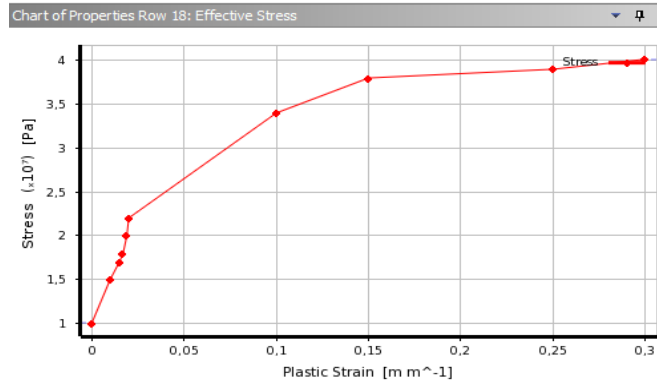


Figura 6.4 Curva de material híbrido

b) Geometría analizada

La geometría de los componentes utilizados en la simulación en la cual se verifica los parámetros de volúmenes y masas como 1500 Kg para la pared sólida y 12,32 Kg para el guardachoque frontal como se puede verifican en la figura 6.5.

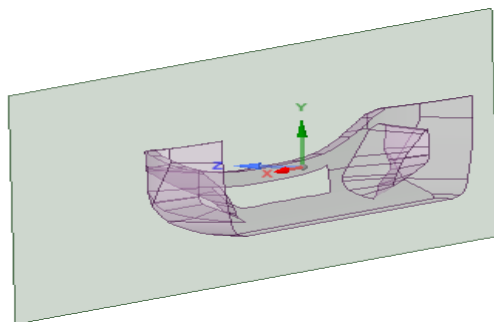


Figura 6.5 Geometría de componentes

c) Mallado

La calidad de malla en la figura 6.6 está relacionada con la cantidad de elemento cuadriláteros en el modelo para el impacto, los cuales tienen un valor máximo de 7,98 de control de radio de aspecto, con una media 1,17 el cual es un valor aceptable para la realización del impacto del guardachoque.

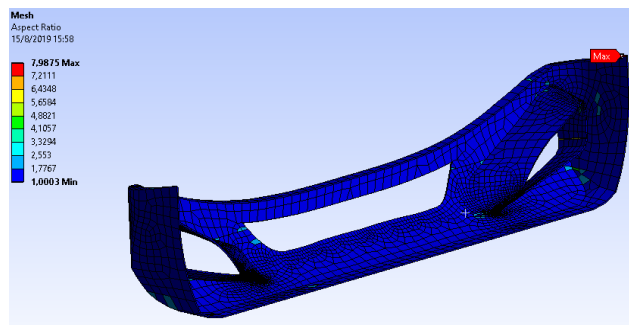


Figura 6.6 Relación de aspecto para modelo de guardachoque.

La estadística de relación de aspectos en referencia a la cantidad de elementos de los componentes se puede verificar en la figura 6.7.

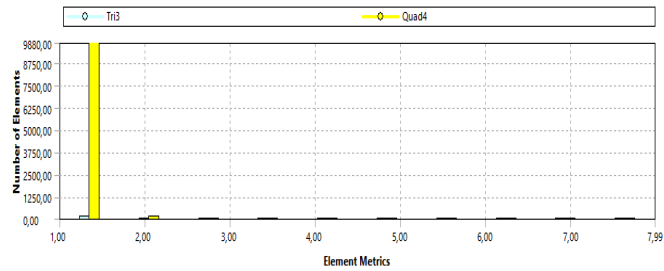


Figura 6.7 Estadísticas de relación de aspecto de elementos.

d) Condiciones de frontera

Las condiciones de frontera a utilizar en la simulación se verifican en la figura 6.8, se establece mediante la especificación de la normativa para realizar la prueba el impacto frontal del guardachoque se establece una velocidad de impacto de 56 km/h o 15555,6 mm/s, el cual es aplicado al guardachoque en dirección a la superficie de impacto de masa igual a 1500 kg.

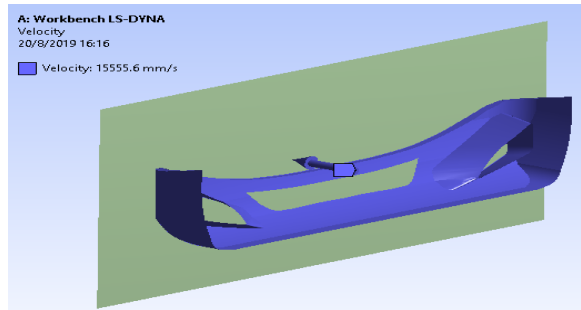


Figura 6.8 Velocidad de impacto para guardachoque.

Se restringe el movimiento de la pared de concreto en su base y se permite el desplazamiento en z en ciertos puntos de apoyo del modelo considerando la conexión con la estructura del guardachoque como se muestra en la figura 6.9.

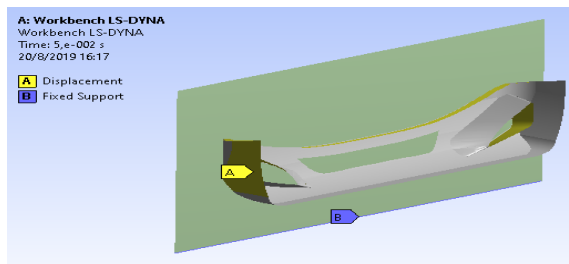


Figura 6.9 Restricción de la superficie de impacto.

Un parámetro importante para la obtención de los resultados es el tiempo de impacto lo cual se puede definir en la simulación, esta tomado en base a la normativa aplicable para la prueba de impacto que es de 0,05 s o 50 ms figura 6.10.

Details of "Analysis Settings"	
Step Controls	
End Time	0,05
Time Step Safety Factor	0,9
Maximum Number Of Cycles	10000000
Automatic Mass Scaling	No



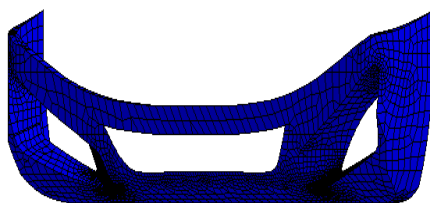
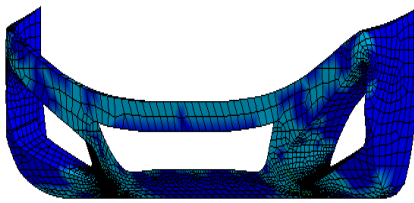
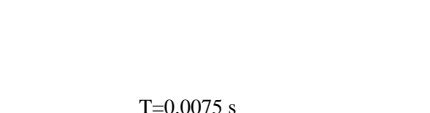
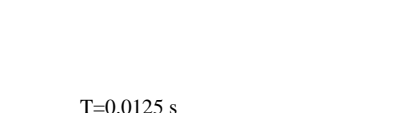
Figura 6.10 Tiempo de impacto

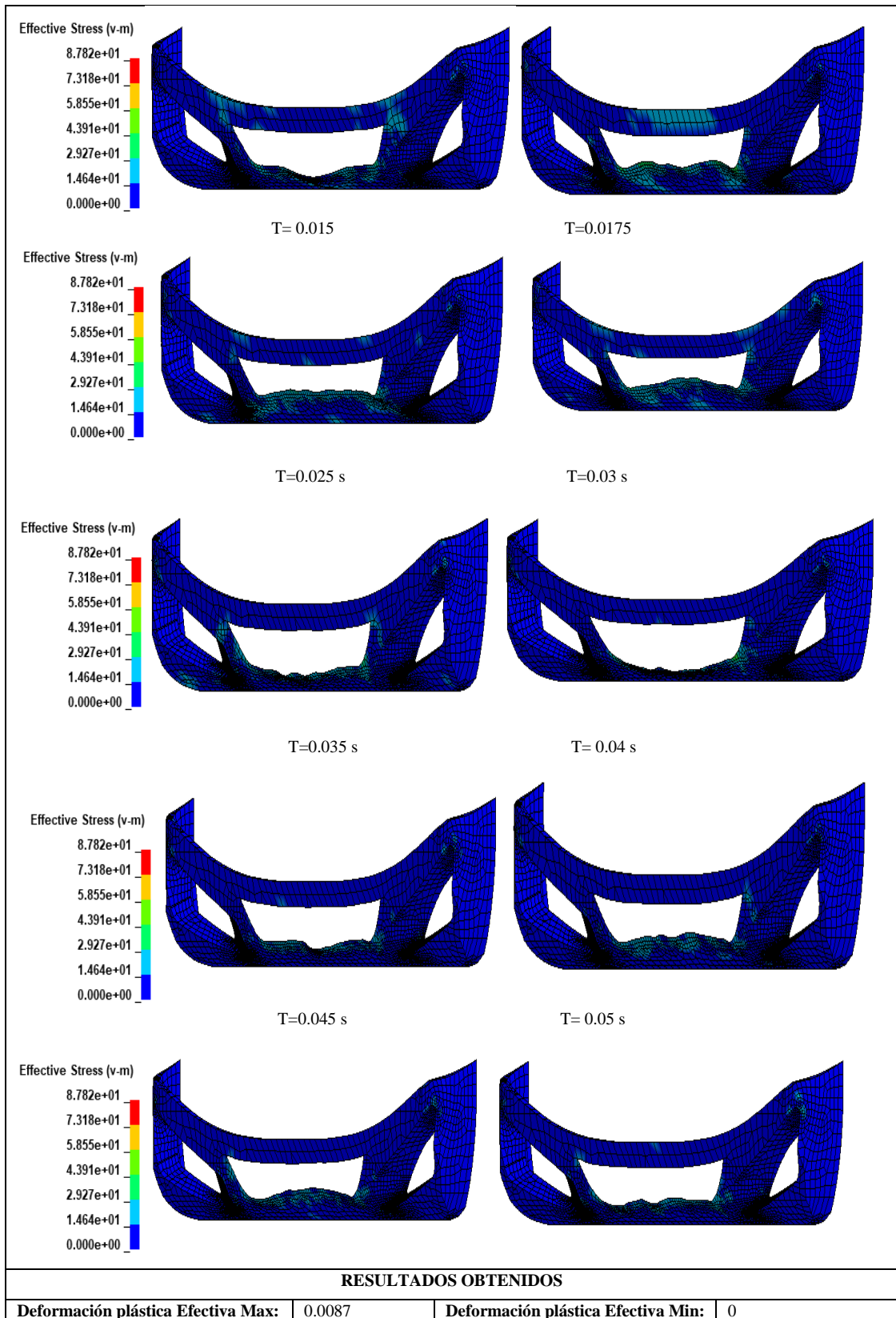
e) Resultados obtenidos

Los resultados que se presentan a continuación, fue necesario realizara varias simulación e iteraciones, así como determinar la relación entre la energía interna y el Hourglass con el propósito de validar el estudio.

Para la presentación de los resultados se expresan mediante la tabla 6.2 en el cual podemos verificar los diferentes esfuerzos obtenidos en función el tiempo.

Tabla 6.2 Resultados de la simulación de esfuerzos en función del tiempo.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
SIMULACIÓN DE ENSAYO DE IMPACTO FRONTAL			
Norma Aplicable:	Directiva 96/79/CE		
Fecha de Ejecución:	20/8/2019	Realizado por:	Ing. Diego Ramos
		Revisado por:	Ing. Víctor Espín
Relación de Aspecto Mínima:	1	Relación de aspecto máxima:	7.9
Número de Elementos:	7508	Número de Nodos:	7755
Tiempo de Procesamiento:	2h 30 min	Número de Procesadores:	8
RESULTADO DEL ENSAYO			
<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>T=0 s</p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p>T = 0.002 s</p>  </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 20px;"> <div style="text-align: center;"> <p>T=0.0075 s</p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p>T=0.0125 s</p>  </div> </div>			



La velocidad que se obtuvo en los resultados se representa en la figura 6.11.

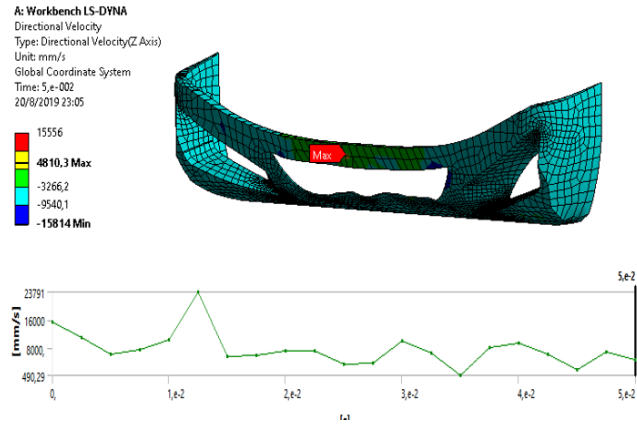


Figura 6.11 Resultado de velocidad

La aceleración que se obtuvo en los resultados se representa en la figura 6.12.

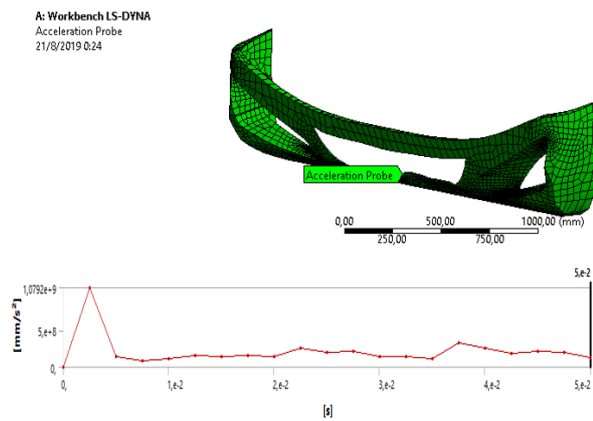


Figura 6.12 Resultado de aceleración

Realizada la simulación en el tiempo de impacto de 50 ms a una velocidad de 56 km/h el máximo esfuerzo encontrado es de 33,92 Mpa.

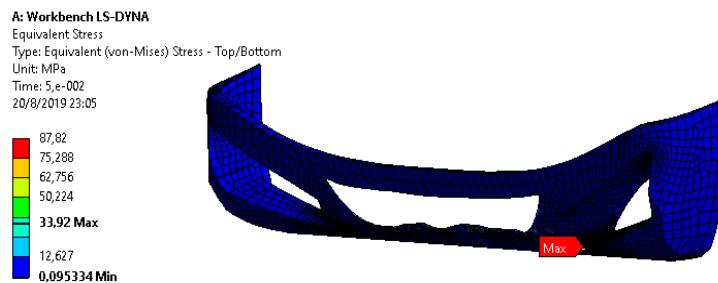


Figura 6.13 Esfuerzo máximo de guardachoque.

Una vez determinado el esfuerzo máximo que soportara el guardachoque mediante el análisis de software es de 33,92 Mpa, comparando con el valor calculado de 32,5 Mpa y en valor del esfuerzo del material 87,82 Mpa, se evidencia que tanto el valor calculado como el valor simulado es mucho menor que el valor requerido para el esfuerzo máximo del material.

6.7.2.3 Validación de análisis

Terminado el análisis se debe validar los resultados, para lo cual se debe determinar la relación entre la energía interna de deformación de impacto versus el resultado de la energía de Hourglass. Según ANSYS help viewer, Hourglassing 2019, se relaciona si la energía de Hourglass es menor al 10% de la energía interna la solución es aceptable.

Los valores de la energía interna se definen en la figura 6.14 que se extrae del Ls-Dyna, este valor es de $1,12 \times 10^6$ J a un tiempo de 50 ms.

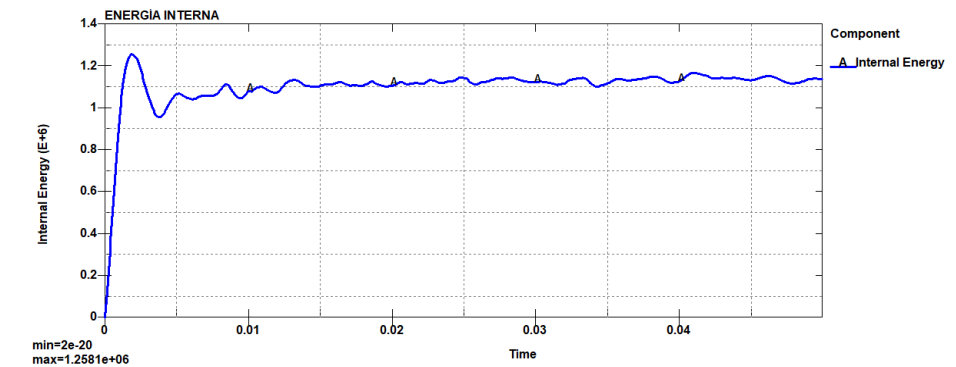


Figura 6.14 Energía interna de impacto.

Los valores de la energía Hourglass se definen en la figura 6.15 que se extrae del Ls-Dyna, este valor es de $2,23 \times 10^3$ J a un tiempo de 50 ms.

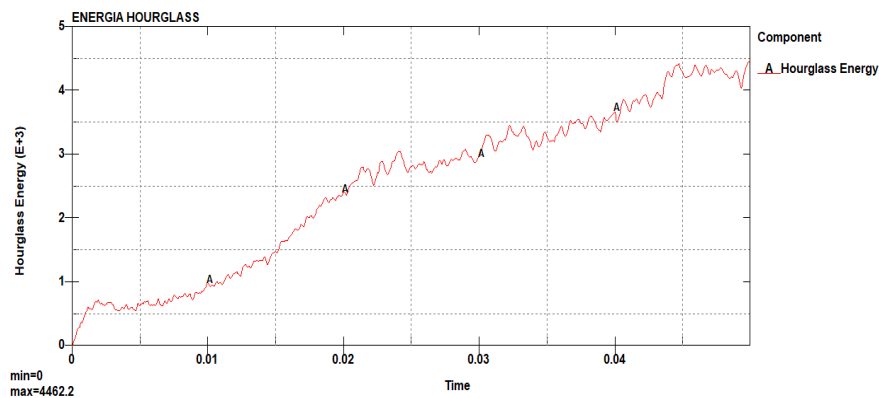


Figura 6.15 Energía de Hourglass

Determinado los valores de la energía interna y Hourglass se ejecuta la relación para su validación.

$$\text{Hourglass} = 2,23 \times 10^3 \text{ J}$$

$$\text{Energía interna} = 1,12 \times 10^6 \text{ J}$$

$$H = \frac{\text{Hourglass}}{\text{Energía interna}} * 100\% \quad \text{Ec. 31}$$

$$H = \frac{2,23 \times 10^3}{1,12 \times 10^6} * 100\%$$

$$H = \frac{2,23 \times 10^3}{1,12 \times 10^6} * 100\%$$

$$H = 0,19 \%$$

Como el valor de la relación de 0,19 % obtenido es menor al 10 % se determina que el análisis para las condiciones establecidas se considera aceptable.

En la figura 6.16 se verifica el comportamiento entre la energía de impacto y la energía de Hourglass, observándose claramente que la energía de Hourglass respecto a la energía interna es claramente inferior.

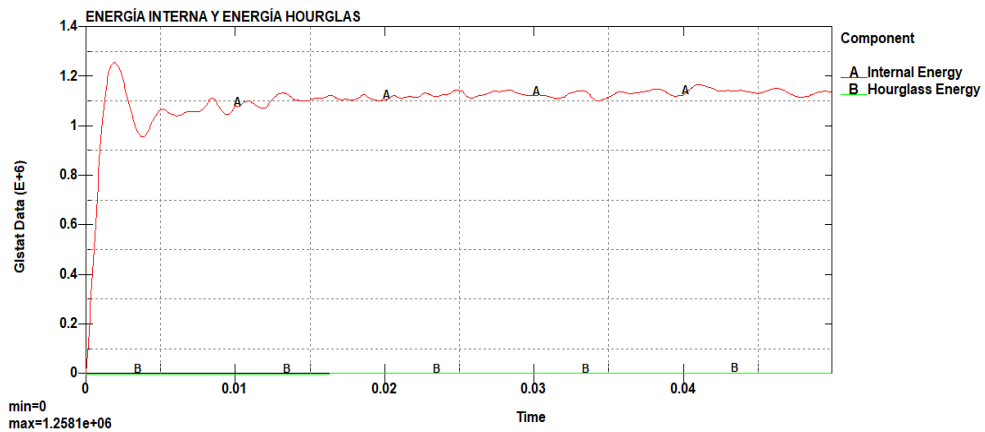


Figura 6.16 Relación de energía interna vs energía de Hourglass

6.7.3 Valoración económica de guardachoque frontal de un bus urbano

La estimación de los costos que interviene en la elaboración de este tipo de piezas automotrices como es el guardachoque frontal, se realizara una comparación del

mismo producto, uno elaborado con resina poliéster y fibra de vidrio y el otro con resina poliéster, fibra de cabuya reforzado con fibra de carbono. Para evidencia el costo de producción de este tipo de componentes.

Los costos aproximados de los componentes se consiguen mediante las sumatorias de los diferentes costos como: Costo de materia prima, costo de transformación, costo de mano de obra y costo fabril.

Para realizar el costo de elaboración del producto de resina poliéster y fibra de vidrio se tomó como referencia los datos entregados por la empresa VARMA S.A, debido que la empresa ya tiene establecido los costos y rubros para elaboración de este tipo de componentes.

Se determinará el costo unitario, lo cual servirá como parámetro de comparación frente al costo que toma el nuevo material híbrido.

6.7.3.1 Costo de materia prima producto de resina poliéster y fibra de vidrio.

El costo de materia prima se establece con cada material utilizado para la fabricación tomando en cuenta el total de kilos utilizados y su respectivo precio en la tabla 6.3.

Tabla 6.3 Costos de materiales para producto de resina poliéster y fibra de vidrio.

Costo de materiales					
Materiales	Moldeo	Gelcoat	Kilos totales	PVP sin IVA	Valor total
kg. Fibra de vidrio	1,15		1,15	2,80	3,20
kg. Resina moldeo	2,10	1	3,10	2,50	8,30
kg. estireno	0,55		0,55	2,65	1,40
kg. cobalto 12%	0,004	0,001	0,005	29,00	0,12
kg. mek	0,0053	0,015	0,0203	4,30	0,30
kg.tintes		0,05	0,05	10,00	0,90
Subtotal					\$ 14,22
Imprevistos (Brochascera desmoldante 5%)					\$ 0,71
Total					\$ 14,93

6.7.3.2 Costo de transformación producto de resina poliéster y fibra de vidrio

El costo de mano de obra está en función de determinar el número de trabajadores, el tiempo que se tardan en realizar cada proceso el costo en función del rol de pagos de la empresa y se muestra en la tabla 6.4.

Tabla 6.4 Costo de transformación de producto fibra de vidrio.

Costo de transformación				
	Obreros	Costo /Hora	Tiempo (h)	Valor total
Preparación de la resina	1	2,4	0,10	0,24
Preparación de Geal Coat	1	2,4	0,10	0,24
Limpieza de molde	1	2,4	0,05	0,12
Aplicación de será desmoldante	1	2,4	0,30	0,72
Corte de fibra de vidrio	1	2,4	0,10	0,24
Aplicación y moldeo	1	2,4	0,50	1,20
Desmoldeo	1	2,4	0,15	0,36
Total				\$ 3,24

6.7.3.3 Costo de transformación carga fabril

La carga fabril se determina para todo aquello que esta indirectamente afectando el costo del proceso de producción el valor estimado es aproximadamente \$ 8,30 como se verifica en la tabla 6.5.

Tabla 6.5 Costo de transformación carga fabril fibra de vidrio.

Costo de transformación				
	Obreros	Costo /Hora	Tiempo (h)	Valor total
Costo de supervisión	1	2	1	2,00
Depreciación (d) Moldes: Costo del Molde: \$300,00 Iva 12% \$ 36,00 Vida Útil 100 piezas Valor de Salvamento \$ 80,00	Cálculo de depreciación en línea recta: $d = [(\text{Costo de molde} - \text{Iva}) - \text{Valor de salvamento}] / \text{vida útil}$			1,84
Impuestos (IVA)	Del costo de los materiales y mano de obra			1,79
Diseño y planos	\$120.00 del diseño y planimetría dividido para 100piezas (vida útil)			1,20
Desperdicios	De materiales y tiempo			1,47
Total				\$ 8,30

Del análisis realizado se establece la sumatorio de los valores de costos de materia prima, costo de transformación mano de obra y costos fabril, para el producto de resina poliéster y fibra de vidrio de un guardachoque frontal con un valor de \$ 26,47 dólares.

6.7.3.4 Costo de materia prima producto de resina poliéster y fibra de cabuya reforzado con fibra de carbono.

El costo de materia prima se establece con cada material utilizado para la fabricación tomando en cuenta el total de kilos utilizados y su respectivo precio en la tabla 6.6.

Tabla 6.6 Costos de materia prima de producto de resina poliéster fibra de cabuya reforzado con fibra de carbono

Costo de materiales					
Materiales	Moldeo	Gelcoat	Kilos Total	PVP sin IVA	Valor total
kg. Fibra de cabuya	0,30		0,30	0,50	0,15
kg. Fibra de carbono	0,75		0,75	9,60	7,20
kg. Resina moldeo	2,10	1	3,10	2,50	8,30
kg. estireno	0,55		0,55	2,65	1,40
kg. cobalto 12%	0,004	0,001	0,005	29,00	0,12
kg. mek	0,0053	0,015	0,0203	4,30	0,30
kg.tintes		0,05	0,05	10,00	0,90
Subtotal					\$ 18.37
Imprevistos (Brochas-cera desmoldante 5%)					\$ 0,76
Total					\$ 19,13

6.7.3.5 Costo de transformación producto de resina poliéster, fibra de cabuya reforzado con fibra de carbono.

El costo de mano de obra está en función de determinar el número de trabajadores, el tiempo que se tardan en realizar cada proceso el costo en función del rol de pagos de la empresa y se muestra en la tabla 6.7.

Tabla 6.7 Costo de transformación de producto de resina poliéster, fibra de cabuya reforzado con fibra de carbono.

Costo de transformación				
	Obreros	Costo /Hora	Tiempo (h)	Valor total
Preparación de la resina	1	2,4	0,10	0,24
Proceso de tejido de fibra de cabuya	1	2,4	0,30	0,72
Preparación de Geal Coat	1	2,4	0,10	0,24
Limpieza de molde	1	2,4	0,05	0,12
Aplicación de será desmoldante	1	2,4	0,30	0,72
Corte de fibra de vidrio	1	2,4	0,10	0,24
Aplicación y moldeo	1	2,4	0,50	1,20
Desmoldeo	1	2,4	0,15	0,36
Total				\$ 3,72

Del análisis realizado se establece la sumatorio de los valores de costos de materia prima, costo de transformación mano de obra y costos fabril, para el producto de resina poliéster, fibra de cabuya reforzado con fibra de carbono de un guardachoque frontal con un valor de \$ 31,15 dólares.

Los costos de fabricación del guardachoque frontal de un bus urbano de la empresa utilizando como material híbrido es relativamente mayor al de fabricar un componente con el uso de materiales comunes, teniendo una diferencia del 15%, lo cual se ve compensado que utilizar un material híbrido se obtiene un producto final con altos estándares de calidad, resistencia y tenacidad el cual cumple con requisitos ya preestablecidos.

6.8 Administración

Se establece mediante la tabla 6.8 resumen los valores económicos, que intervinieron en los gastos al momento de realizar esta investigación.

Tabla 6.8 Costos total de la investigación.

Concepto	Cantidad	Unidad	Valor unitario	Valor total
Personal	2	-	\$ 50,00	\$ 100,00
Fibra de cabuya	6	m	\$ 2,00	\$ 12,00
Procesamiento de fibra de cabuya	6	m	\$ 15	\$ 90,00
Fibra de carbono	6	Yarda	\$ 60	\$ 360,00
Resina Poliéster	5	Gal.	\$ 10,00	\$ 50,00
Moldes	1	-	\$ 100,00	\$ 100,00
Equipos de ensayo	3	-	\$ 230,00	\$ 690,00
Material de oficina	1	-	\$ 40,00	\$ 40,00
Transporte	1	-	\$ 50,00	\$ 50,00
Subtotal				\$ 1492,00
Imprevistos (8%)				\$ 119,36
Total				\$ 1611,36

Realizada una valoración económica del total de gastos de la investigación resulta con un total de 1611,36 dorales. En la cuales influye principalmente lo ensayos realizados por los laboratorios y el costo de los diferentes factores que intervinieron en el estudio.

6.9 Previsión de la evaluación

Terminado el trabajo de investigación, el mismo que fue realizado en el laboratorio de Centro de Fomento Carrocero y en el laboratorio de la carrera de Ingeniería Mecánica la Universidad Técnica de Ambato campus Huachi, Se sugiere se tome en cuenta las conclusiones y recomendaciones establecida en la investigación, con la finalidad de no tener inconveniente para la obtención de materiales híbridos lo cual el proceso de conformado es un parámetro fundamental para la obtención de mejores propiedades mecánicas del mismo.

Se sugiere investigaciones posteriores a este trabajo, en la cual se investigue los procesos de curado de las fibras naturales para mejor el tiempo de vida útil de las partes o piezas automotrices.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] J.G. Paredes, “Estudio de Polímeros Híbridos Estratificados de Matriz Poliéster Reforzada con Fibra de Vidrio y Cabuya como Material Alternativo y su incidencia en las propiedades mecánicas en Guardachoques para Buses” Tesis de Maestría Mecánica, Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Ecuador, 2012.
- [2] K. Quesada, P. Alvarado, R. Sibaja, “Utilización de las fibras del rastrojo de piña (Ananas comusus, variedad champaka) como material de refuerzo en resinas de poliéster”, Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica, Revista IPQ, vol. 6(2), junio 2005.
- [3] L. D. Núñez, “Estudio de polímeros híbridos estratificados de matriz epóxica reforzada con tejido mixto elaborado con fibras de carbono y kevlar y su incidencia en las propiedades mecánicas de partes externas de autos” Tesis de Ingeniería Mecánica, Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Ecuador, 2014.
- [4] F. Delgado, S. Galeas, V. Guerrero, “Obtención de Materiales Compuestos Híbridos de Matriz Poliéster Reforzada con Fibras de Coco y Vidrio para la Elaboración de Tableros”, Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Mecánica, Revista EPN, vol. 33, No. 2, enero 2014.
- [5] J. Dipak, P. Manbal, A. Rout, “Efecto de la secuencia simétrica entre capas de carbono / glaseado sobre las propiedades mecánicas de los compuestos de matriz polimérica”, Universidad Bhubaneswar, India, Escuela de Ingeniería Mecánica, Revista PM, No. 20, 2018.
- [6] D. Chung, “Relaciones procesamiento-estructura-propiedad de compuestos de matriz de polímero de fibra de carbono”, Universidad Buffalo, Estados Unidos, Departamento de Mecánica, Revista MSE, No. 113, 2017.
- [7] J. G. Paredes, C. F. Pérez, C. B. Castro, “Análisis de las propiedades mecánicas del compuesto de matriz poliéster reforzado con fibra de vidrio 375 y cabuya aplicado a la industria automotriz”, Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ingeniería Mecánica, Enfoque UTE, vol. 8, No 3, junio 2017.
- [8] W. F. Smith, J. Hashemi, “Fundamentos de ciencia e ingeniería de materiales”, 4ta ed., México D.F., McGraw- Hill, 2014.
- [9] W. D. Callister, “Introducción a la ciencia e ingeniería de los materiales” (2da ed.). México: Limusa., 2009.

- [10] D. B. Miracle, S.L. Donaldson,, “ASM International Handbook Committee ASM Handbook Composites” Vol. 21, Materials Park: ASM International, 2015.
- [11] B. Z. Jang, “Advanced Polymer Composites: Principles and Applications, ASM International”, 2006.
- [12] V. P. Pachacam, “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 capó de la camioneta Mazda BT50 2010,” Tesis de Ingeniería Automotriz, Universidad de Las Fuerzas Armadas (ESPE), Latacunga, Ecuador, 2015.
- [13] M. Shby, D. Jones. “Material Selection in Mechanical design”. Second Edition, Chapter 3, Butterworth – Heinemann. Oxford. (1999).
- [14] A. Mohanty, M. Misra, L. Drzal, “Natural Fibers, Biopolymers, and biocomposites”, Estados Unidos: Taylor & Francis Group. 2005 – 2009.
- [15] A. Simbaña, G. Pabón; “Fibras Naturales de la provincia de Imbabura”, Ibarra; Ecuador; 2006.
- [16] A. Miravete, Materiales compuestos Zaragoza, 2010.
- [17] F. Levy Neto, L. C. Pardina, “Compósitos estruturais: ciência e tecnologia”. São Paulo: Edgard Blücher 2006.
- [18] K. Sanjay “Composites manufacturing, Materials, Product, and Process Engineering”. Estados Unidos: CRC Press, 2002.
- [19] K. Pickering, “Properties and performance of natural-fibre composites”. Estados Unidos: Woodhead Publishing Limited, 2008.
- [20] V.H. Guerrero, J. Davila, S. Gales, P. Pontón, N Rosas. “Nuevos materiales: aplicaciones estructurales e industriales, Primera Edición, Quito, 2011.
- [21] Sistemas de ensayo S.L. “Máquina de ensayos universales”, Primera Edición, 2013.
- [22] S. Poveda. “Representación normalizada de piezas de material compuesto”, Graphics Group, México, 2018.
- [23] S. Reinaldo, “T-Student. Usos y abusos,” Rev. Mex. Cardiol., vol. 26, no. 1, pp. 59–61, 2015.
- [24] S. Glen, “T Test (Student’s T-Test),” Statistics How To, 2016. [Online]. Available: <http://www.statisticshowto.com/t-test/#PairedTTest>.

- [25] P. BEER, Jr. Ferdinand, E. Johnston, “Mecánica de Materiales”. Bogotá, Colombia: McGraw-Hill, 1993. 738p. ISBN 0-07-837340-9.
- [26] Journal of Composite Materials. SAGE Publications: Nueva York, Estados Unidos, 2006. ISSN: 0021-9983. Disponible en: <http://jcm.sagepub.com/>
- [27] J.N, Reddy et al. “Practical Analysis of Composite Laminates”. Boca Ratón, Estados Unidos: CRC Press, 1995. 317p. ISBN 0-8493-9401-5.
- [28] S. Kokkula, OS. Hopperstad, “Offset impact behaviour of bumper beam longitudinal systems: numerical simulations”. Structural Impact Laboratory. Editorial Woodhead Publishing. Trondheim, Noruega. 2005, 21p.
- [29] B. Schmidt, “System based and Momentum analysis of collisions”. Southwest Missouri State University. Missouri, Estados Unidos: Society of Automóvil Engineers, Inc., 1998. 13p.
- [30] D. G. Cuasapud, “Análisis Estructural A Cargas De Impacto Posterior Por Alcance De Un Bus Interprovincial Mediante El Método De Elementos Finitos” Tesis de Maestría Mecánica, Universidad Internacional SEK, Ecuador, 2018.
- [31] J. Condes, “Simulación de ensayos de choque en vehículos: validación”. Universidad Carlos III de Madrid, 2015
- [32] L. A. Santos, “Simulación por el método de los elementos finitos del impacto frontal de un bus interprovincial de fabricación nacional, para proponer la modificación de la norma técnica ecuatoriana NTE INEN 1323:2009” Tesis de Maestría en manufactura y diseño asistidos por computador, Universidad de las Fuerzas Armadas, Ecuador, 2017.

ANEXOS

ANEXO 1

PROBETAS DE TRACCIÓN

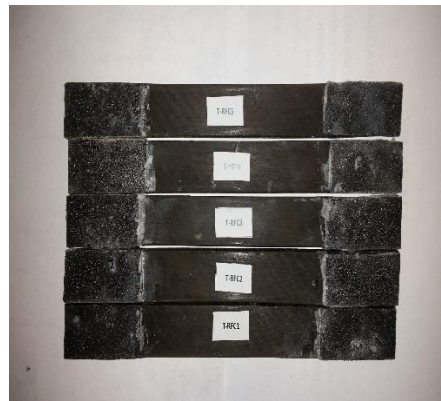
RESINA POLIÉSTER + FIBRA DE CABUYA

TEJIDA



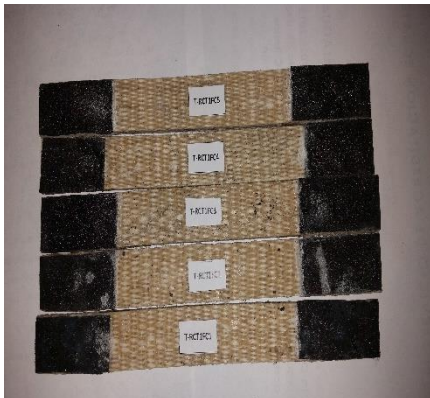
RESINA POLIÉSTER + FIBRA DE CARBONO

TEJIDA



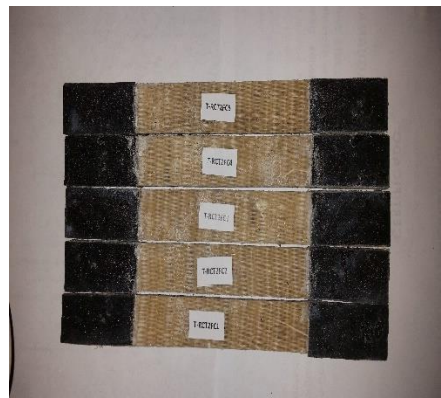
RESINA POLIÉSTER + 1FIBRA DE CABUYA

TEJIDA + FIBRA DE CARBONO TEJIDA



RESINA POLIÉSTER + 2FIBRA DE CABUYA

TEJIDA + FIBRA DE CARBONO TEJIDA



RESINA POLIÉSTER + 2FIBRA DE CABUYA

SIN TEJER + FIBRA DE CARBONO TEJIDA



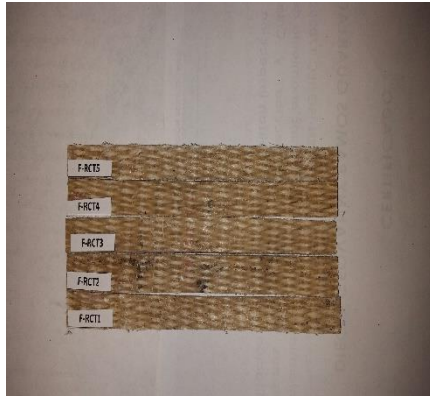
TODAS LA PROBETAS



PROBETAS DE FLEXIÓN

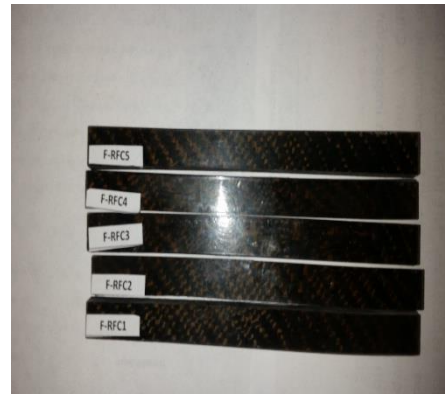
RESINA POLIÉSTER + FIBRA DE CABUYA

TEJIDA



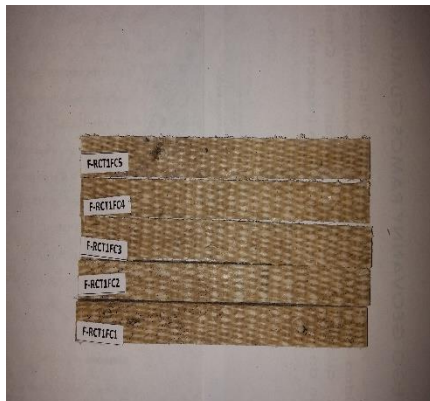
RESINA POLIÉSTER + FIBRA DE CARBONO

TEJIDA



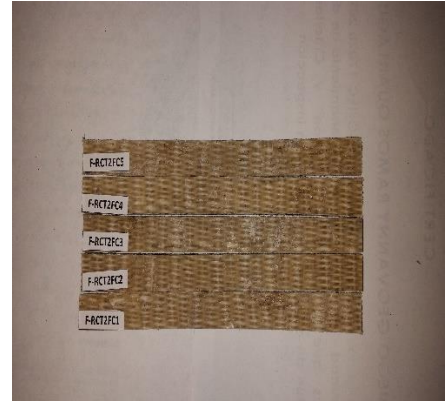
RESINA POLIÉSTER + 1FIBRA DE CABUYA

TEJIDA + FIBRA DE CARBONO TEJIDA



RESINA POLIÉSTER + 2FIBRA DE CABUYA

TEJIDA + FIBRA DE CARBONO TEJIDA



RESINA POLIÉSTER + 2FIBRA DE CABUYA

SIN TEJER + FIBRA DE CARBONO TEJIDA



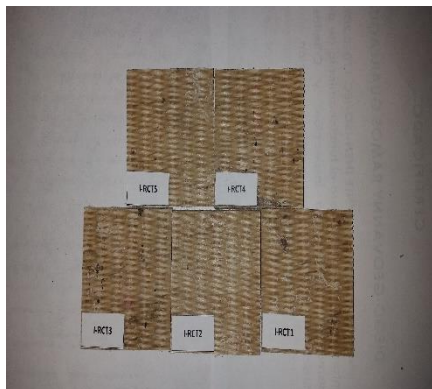
TODAS LA PROBETAS



PROBETAS DE IMPACTO

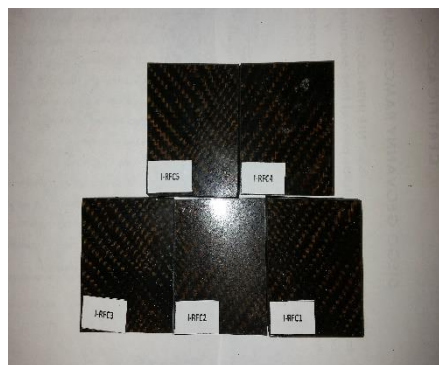
RESINA POLIÉSTER + FIBRA DE CABUYA

TEJIDA



RESINA POLIÉSTER + FIBRA DE CARBONO

TEJIDA



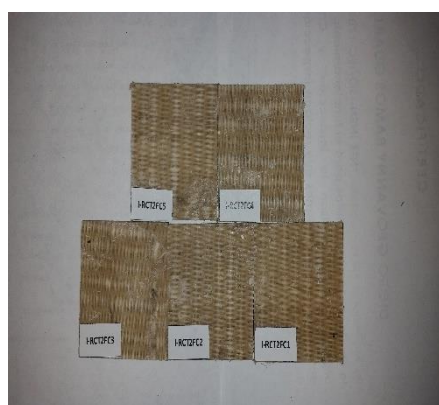
RESINA POLIÉSTER + 1FIBRA DE CABUYA

TEJIDA + FIBRA DE CARBONO TEJIDA



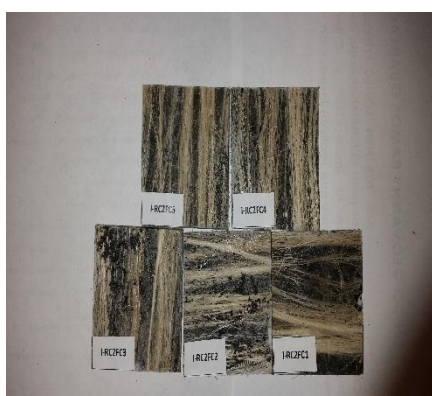
RESINA POLIÉSTER + 2FIBRA DE CABUYA

TEJIDA + FIBRA DE CARBONO TEJIDA



RESINA POLIÉSTER + 2FIBRA DE CABUYA

SIN TEJER + FIBRA DE CARBONO TEJIDA



TODAS LA PROBETAS



ANEXO 2

FICHAS TÉCNICAS DE FIBRA DE VIDRIO

JUSHI GROUP (HK) SINOSIA COMPOSITE MATERIALS CO., LTD.

巨石集團(香港)華夏復合材料有限公司

ROOM 901, BONHAM CENTRE,
79 - 85 BONHAM STRAND EAST,
CENTRAL, HONG KONG.

TEL: (852) 2541 1114 FAX: (852) 2854 0404

To: Poliquim, Polímeros Y Químicos, C.A.

Km. 9.5 Vía A Daule, Zona Industrial Inmaculada,

Entre Calles Acacias Y Cedros, Ecuador.

RUC: 0990842752001

Tel: 00593-2110 777 Fax: 00593-2110 993

FOR INVOICE NO.: JSHK2176352

DATE OF ISSUE: 23-Dec-17

P/I NO.: CO21700261A1

YOUR REF. NO.: 9044

CERTIFICATE OF COMPLIANCE

NO.2171084

JS/04-2JC-54

PRODUCT NAME	E-GLASS CHOPPED STRAND MAT, POWDER BONDED 450GM X 1400MM		PRODUCTION DATE	2017.12.17-12.18
SPECIFICATION AND TYPE	EMC450-1400-P20		TEST DATE	2017.12.17-12.18
SAMPLED SPOT	ROVING FORMING WORKSHOP		TOTAL AMOUNT	12,200 KGS
SAMPLED DEPARTMENT	TESTING CENTER			
VARIOUS TESTS CONDUCTED	ACCEPTED STANDARD		TEST RESULT	
	STANDARD NO.	STANDARD VALUE	AVERAGE VALUE	PASSED ? / YES OR NO
AREA WEIGHT (G/M ²)	ISO 3374-2000	416-484	452	YES
LOSS ON IGNITION (%)	ISO 1887-2014	1.73-3.28	2.79	YES
MOISTURE CONTENT (%)	ISO 3311 1997	≤0.20	0.03	YES
TENSILE BREAKING FORCE (N)	ISO 3342-2011	≥120	490	YES

TEST CONDITIONS	TESTING TEMPERATURE	22°C	RELATIVE HUMIDITY	56%
TEST CONCLUSION	CONFORMED TO ALL ABOVE SPECIFICATION PASSED ALL ABOVE REQUIREMENTS			
TEST CONDUCTED BY :	ZHOU YAN			DATE : 2017.12.18

E-Glass Powder Strand Mats are unwoven fabrics consisting of randomly distributed chopped strands held together with a powder binder.

Product Features

- Uniform density ensures consistent fiberglass content and mechanical properties of parts.
- Uniform powder distribution ensures good mat integrity and low loose fibers.
- Excellent flexibility ensures good moldability with no springback at sharp angles.
- Fast and consistent wet-out speed in resins and rapid air release reduce resin consumption and production cost and enhance productivity and mechanical properties of parts.
- The composite products have high dry and wet tensile strength and good transparency.



Compatible Resins and Applications

Powder Chopped Strand Mats are compatible with unsaturated polyester, vinyl ester, epoxy and phenolic resins.

The products are most widely used in hand lay-up process and can also be used in filament winding, compression molding and continuous laminating processes to manufacture various panels, boats, bathroom equipment, automotive parts and cooling towers.

Product List

Property	Area Weight (%)		Moisture Content (%)	Combustible Content (%)		Breakage Strength (N)	Width (mm)
	Average	Single		PO2	PO4		
	ISO 3374		ISO 3344	ISO 1887		ISO 3342	ISO 5025
EMC225	-0.5 ~ +10.0	-10 ~ +20	≤0.20	3.1 ~ 6.2 (Central value:5.2)	3.0 ~ 6.0(Central value:5.0)	≥60	± 5
EMC300	-0.5 ~ +10.0	-10 ~ +20	≤0.20	2.4 ~ 4.8 (Central value:4.0)	2.2 ~ 4.4(Central value:3.7)	≥90	± 5
EMC375	-0.5 ~ +10.0	-10 ~ +20	≤0.20	1.8 ~ 3.6 (Central value:3.0)	1.9 ~ 3.6(Central value:3.1)	≥100	± 5
EMC450	-0.5 ~ +10.0	-10 ~ +20	≤0.20	1.8 ~ 3.6 (Central value:3.0)	1.6 ~ 3.2(Central value:2.7)	≥120	± 5
EMC600	-0.5 ~ +10.0	-10 ~ +20	≤0.20	1.5 ~ 3.0 (Central value:2.5)	1.5 ~ 3.0(Central value:2.5)	≥150	± 5
EMC900	-0.5 ~ +10.0	-10 ~ +20	≤0.20	1.3 ~ 2.6 (Central value:2.2)	1.5 ~ 3.0(Central value:2.5)	≥200	± 5

Note: Powder Chopped Strand Mats are available with width range of 50mm ~ 3120mm. The products are available with different wet-out and break up speeds, depending on the requirements of customers.

Packaging

Each Powder Chopped Strand Mat is wound onto a paper tube which has an inside diameter of 90mm and the mat roll has a diameter of 265mm. The mat roll is wrapped up with plastic film, and then packed in a cardboard box or wrapped up with kraft paper. The rolls can be packed vertically or horizontally. For transportation, the rolls can be loaded into a container directly or onto pallets.

Storage

Unless otherwise specified, fiberglass products should be stored in a dry, cool and rain-proof area. It is recommended that the room temperature and humidity should be always maintained at 15℃ ~ 35℃ and 35% ~ 65% respectively.



Hoja de Seguridad de Materiales
MAT 723 450 G/M2 1.4 ANCHO

NEGOCIO QUIMICO solicita a los clientes que reciban esta hoja de seguridad de materiales, estudiarla cuidadosamente para enterarse y entender los peligros asociados con el producto. Con el fin de promover el uso seguro de este producto, el cliente o receptor deberá: 1. Notificar a sus empleados o contratistas sobre la información contenido en esta hoja. 2. Proporcionar esta información a cada uno de sus clientes. 3. Solicitar a sus clientes que notifiquen a sus empleados, clientes y otros usuarios sobre los peligros de este producto.

Nombre	Mat 723 450 g/m2 1.4 ancho		
Código	28645		
Fecha Elaboración:	16/01/2006	Fecha Revisión:	16/01/2006

1. IDENTIFICACIÓN DEL MATERIAL Y DE LA COMPAÑÍA	
Nombre Químico:	Filamento continuo de fibra de vidrio.
Sinónimos	Manta de fibra de vidrio cortado, mat.
Fórmula	NA
Familia Química	ÓXIDOS INORGÁNICOS
Registro CAS	
Información de la Compañía:	Nombre: ANDERCOL S.A - INTEQUIM (RIF J-07504842-3) - POLIQUIM - ANDERCOL MEXICO. Dirección: Camera 64C No. 95 - 84 // Avenida Pancho Pepe Croquer, Zona Industrial 1, Sector la Quizanda, Valencia, Estado Carabobo // Km 9.5 Via Daule // Autopista Altamira, Km 4.5 Colonia Nuevo Puerto Industrial C.P. 89608 Ciudad Altamira, Estado Tamaulipas, Mx Teléfono: 4700700 ANDERCOL // 58-241-8742300 INTEQUIM // 593-4-2110777 POLIQUIM // 01-833-219-0100 ANDERCOL MEXICO
Teléfono de emergencia:	01800 051 1414; 01800 094 1414 (Cistema, Suratep) ANDERCOL // 58-241-8742333 INTEQUIM // 593-9-9424139 POLIQUIM // 01-833-219-0111 ANDERCOL MEXICO

2. COMPOSICIÓN E INFORMACIÓN SOBRE INGREDIENTES						
COMPONENTE	# CAS	% POR PESO	OSHA PEL	TLV/TWA	STEL	CEILING
Fibras de vidrio	65997-17-3	>93.0	5 mg/m3	10 mg/m3		
Apresto	NA	<1.0				
Aglomerante superficial poliéster	NA	<6.0				

3. IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS	
Peligros:	No se esperan condiciones inusuales de este producto. No inflamable.
Efectos por exposición aguda	
Contacto ocular	El polvo o las fibras de este producto pueden causar una irritación mecánica al tejido ocular.
Contacto cutáneo	El polvo o las fibras de este producto pueden causar una irritación mecánica en la piel.
Ingestión	La ingestión de este producto es muy poco probable. Sin embargo, su ingestión puede producir irritación gastrointestinal.
Inhalación	El polvo o las fibras de este producto pueden causar una irritación mecánica en los tejidos de la mucosa nasal, de la boca, garganta y tracto respiratorio.
Efectos por exposición crónica	
	No conocidos.

4. PRIMEROS AUXILIOS	
Ingestión	La ingestión de este material es muy poco probable. Si ocurre, observe a la persona por varios días y asegúrese que no ocurra una obstrucción intestinal parcial o completa. No induzca el vómito a menos que sea dirigido por personal médico. Si presenta irritación consulte a un médico.
Inhalación	Retire al afectado hacia un lugar con aire fresco. Si no respira, dar respiración artificial. Si respira con dificultad, suministrar oxígeno. Consulte a un médico en caso de presentar algunos de los síntomas anteriores.

FICHAS TÉCNICAS DE RESINA POLIÉSTER

REICHOLD

[BOLETÍN TÉCNICO]

Abril, 2007

Polylite® 33200-01 Resina Poliéster Química especial

DESCRIPCIÓN

Polylite® 33200-01 es una resina poliéster modificada con un sistema polimérico especial. Esta resina es rígida, tixotrópica, de reactividad y viscosidad medias y está preacelerada, para gelado y curado a temperatura ambiente con la adición de Peróxido de Metil Etil Cetona al 50%.

APLICACIONES SUGERIDAS

- Fabricación de partes automotrices de plástico reforzado con fibra de vidrio.
- Fabricación de embarcaciones marinas.
- Aplicación con pistola de aspersión, o por moldeo manual (picado).
- En general, fabricación de partes reforzadas con fibra de vidrio.

CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES

- Excelente humectación de la fibra de vidrio.
- Excelente resistencia hidrolítica
- exotermia moderada
- sin pegajosidad (tack) residual, con muy buena adherencia entre laminados
- Resistencia superior en temperaturas moderadamente altas comparada contra resinas convencionales de usos generales
- Se obtienen laminados con muy buen acabado superficial, minimizando el fotografiado de la fibra de vidrio sobre el gel coat.
- Rápidos ciclos de curado
- Cumple la norma FMVSS 302 de inflamabilidad para vehículos y autobuses de pasajeros.

Nota: Esta resina es tixotrópica por lo que se recomienda su agitación antes de usarla

La información adjunta es para soportar a nuestros clientes y definir si nuestros productos son los apropiados para sus aplicaciones. Nuestros productos tienen el propósito de venta en clientes industriales y comerciales. Solicitamos a nuestros clientes que inspeccionen y prueben nuestros productos antes de definir la conveniencia de su uso. Garantizamos que todos nuestros productos cumplen con nuestras especificaciones. Nada de lo que se encuentra aquí constituye una garantía expresa o implícita, incluyendo cualquier garantía comercial o convencional. Todos los derechos de patente están registrados. La reparación exclusiva de todas las posibles reclamaciones, será la reposición de nuestros productos y en ningún momento será motivo de aceptación de daños especiales, incidentales o consecuenciales.

919-990-7500 • 800-448-3482 • P.O. Box 13582, Research Triangle Park, NC 27709 USA • 2400 Ellis Road, Durham, NC 27703 USA • www.reichhold.com
Reichhold México, Carretera Atlacomulco-El Oro, Km. 2 Lote 2, Manzana 2ª, 2da Sección Parque Industrial, Atlacomulco 50450, Estado de México

Polylite® 33200-01
Página 1 de 4

PROPIEDADES

ESPECIFICACIONES @ 25°C

Propiedades	Unidades	Especificaciones	Métodos de Análisis
No volátiles	%	58 – 63	RQMPEA 0041
Número ácido base sólidos	mg KOH/g muestra	35 máx.	RQMPEA 0026
Viscosidad Brookfield, LVF, 3/60	cPs	300 – 400	RQMPEA 0002
Índice de tixotropía	s/u	2.7 mín.	RQMPEA 0006
Tiempo de gel *	minutos	15 – 18	RQMPEA 0066
Temperatura de exotermia	°C	190 máx.	RQMPEA 0066
Tiempo de curado	minutos	21 -33	RQMPEA 0066
Peso específico	g/cc	1.04 – 1.18	RQMPEA 0013
Tiempo de vida mínimo en almacenamiento	meses	3	

* 100 g de resina + 1 ml de MEKP (Butanox M-50) @ 25°C

PROPIEDADES FISICAS TIPICAS

Vaciado sin carga ni refuerzo (clear casting)

Propiedades	Unidades	Valor Típico	Métodos
Dureza Barcol	s/u	40	ASTM D 2583-95
HDT (Heat Distortion Temperature)	°C	73.5	ASTM D 648-01
Absorción de agua 2 hrs @ 100°C	%	0.9142	ASTM D 570-98
24 hrs @ 23°C	%	0.1770	
Resistencia a la flexión	Psi	12,097.9	ASTM D 790-00
Módulo de flexión	kPsi	587.2	ASTM D 790-00
Resistencia a la tensión	Psi	5,654.7	ASTM D 638-01
Módulo de tensión	kPsi	501.9	ASTM D 638-01
Elongación hasta ruptura	%	1.2	ASTM D 638-01

La información adjunta es para soportar a nuestros clientes y definir si nuestros productos son los apropiados para sus aplicaciones. Nuestros productos tienen el propósito de venta en clientes industriales y comerciales. Solicitamos a nuestros clientes que inspeccionen y prueben nuestros productos antes de definir la conveniencia de su uso. Garantizamos que todos nuestros productos cumplen con nuestras especificaciones. Nada de lo que se encuentra aquí constituye una garantía expresa o implícita, incluyendo cualquier garantía o comercial o convenida. Todos los derechos de patente están registrados. La reparación exclusiva de todas las posibles reclamaciones, será la reposición de nuestros productos y en ningún momento será motivo de aceptación de daños especiales, incidentales o consecuenciales.

919-990-7500 • 800-440-3482 • P.O. Box 13582, Research Triangle Park, NC 27709 USA • 2400 Ellis Road, Durham, NC 27703 USA • www.reichhold.com
Reichhold México, Carretera Atlacomulco-El Oro, Km. 2 Lote 2, Manzana 2ª, 2da Sección Parque Industrial, Atlacomulco 50450, Estado de México

Polyite® 33200-01
Página 2 de 4

Laminado reforzado con fibra de vidrio¹⁾

Propiedades	Unidades	Valor Típico	Métodos
Dureza Barcol	s/u	55 - 60	ASTM D 2583-95
Absorción de agua			
2 hrs @ 100°C	%	0.5325	ASTM D 570-98
24 hrs @ 23°C	%	0.1341	
Resistencia a la tensión	Psi	14,700.0	ASTM D 638-01
Módulo de tensión	kPsi	1,323.7	ASTM D 638-01
Resistencia a la flexión	Psi	28,909.5	ASTM D 790-00
Módulo de flexión	kPsi	1,295.4	ASTM D 790-00
Resistencia a la compresión	Psi	18,236.8	ASTM D 695-96
Módulo de compresión	kPsi	1,066.0	ASTM D 695-96
Elongación hasta ruptura	%	1.7	ASTM D 638-01
Resistencia al Impacto (Izod Tipo "A")	ft-lb/in	12.3	ASTM D 256-00
Tipo de falla: Completa (100% del total)			
Resistencia al impacto (Izod tipo "E")	ft-lb/in	16.146	ASTM D 256-00
Tipo de falla: Completa (10% del total)			
Tipo de falla: Parcial (90% del total)		14.900	

¹⁾ Construcción del laminado: relación resina/fibra de vidrio: 70/30 (% peso).

CONDICIONES DE CURADO

Adicionar 1 ml de Peróxido de Metil Etil Cetona al 50% por cada 100 g de resina. Se puede curar a temperatura ambiente durante la noche o aplicar un postcurado de 2 - 4 horas a 60°C. Niveles de peróxido abajo de 0.8% resultan en largo gelado y curado, por lo que no se recomiendan.

ALMACENAMIENTO

Para asegurar una máxima estabilidad y mantener las propiedades óptimas de la resina PolyLite® 33200-00, ésta deberá ser almacenada en tambores cerrados, manteniéndolos por abajo de los 25°C (77°F), lejos de fuentes de calor y luz solar. Todo almacén deberá cumplir con los códigos locales de incendios y construcciones. Los tambores en existencia deberán ser almacenados lejos de toda fuente de flama y combustión. Los niveles de inventario deberán guardar un mínimo razonable, con una política de inventarios de primeras entradas - primeras salidas.

PRESENTACION

Tambor metálico no retornable de 230 Kg de peso neto y a granel en carro tanque.

La información adjunta es para soportar a nuestros clientes y definir si nuestros productos son los apropiados para sus aplicaciones. Nuestros productos tienen el propósito de venta en clientes industriales y comerciales. Solicitamos a nuestros clientes que inspeccionen y prueben nuestros productos antes de definir la conveniencia de su uso. Garantizamos que todos nuestros productos cumplen con nuestras especificaciones. Nada de lo que se encuentra aquí constituye una garantía expresa o implícita, incluyendo cualquier garantía comercial o convenida. Todos los derechos de patente están registrados. La reparación exclusiva de todas las posibles reclamaciones, será la reposición de nuestros productos y en ningún momento será motivo de aceptación de daños especiales, incidentales o consecuentes.

919-990-7500 • 800-448-3482 • P.O. Box 13582, Research Triangle Park, NC 27709 USA • 2400 Ellis Road, Durham, NC 27703 USA • www.reichhold.com
 Reichhold México, Carretera Atlacomulco-El Oro, Km. 2 Lote 2, Manzana 2ª, 2da Sección Parque Industrial, Atlacomulco 50450, Estado de México

PolyLite® 33200-01
 Página 3 de 4

SEGURIDAD**LEA Y ENTIENDA LA HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD DEL MATERIAL ANTES DE USAR ESTE PRODUCTO**

Obtenga una copia de la Hoja de Datos de Seguridad del Material (MSDS) antes de usarlo. Las MSDS están disponibles con su representante de ventas en Reichhold. Tal información debe ser solicitada a todos sus proveedores de materiales y entendida antes de usarlos.

ADVERTENCIA: se debe tener precaución para evitar el mezclado directo de cualquier peróxido orgánico con jabones metálicos, aminas o cualquier otro tipo de acelerador o promotor, ya que puede ocurrir una descomposición violenta y explosiva.

INFORMACION GENERAL

Para información especial sobre esta resina le recomendamos ponerse en contacto con nuestros representantes técnicos o llamar a nuestro departamento de Servicio Técnico al tel. (01 712) 122 95 20 en Atlacomulco, Edo. de México.

La información adjunta es para soportar a nuestros clientes y definir si nuestros productos son los apropiados para sus aplicaciones. Nuestros productos tienen el propósito de venta en clientes industriales y comerciales. Solicitamos a nuestros clientes que inspeccionen y prueben nuestros productos antes de definir la conveniencia de su uso. Garantizamos que todos nuestros productos cumplen con nuestras especificaciones. Nada de lo que se encuentra aquí constituye una garantía expresa o implícita, incluyendo cualquier garantía comercial o convenida. Todos los derechos de patente están registrados. La reparación exclusiva de todas las posibles reclamaciones, será la reposición de nuestros productos y en ningún momento será motivo de aceptación de daños especiales, incidentales o consecuenciales.

919-990-7500 • 800-440-3402 • P.O. Box 13582, Research Triangle Park, NC 27709 USA • 2400 Ellis Road, Durham, NC 27703 USA • www.reichhold.com
Reichhold México, Carretera Atlacomulco-El Oro, Km. 2 Lote 2, Manzana 2ª, 2da Sección Parque Industrial, Atlacomulco 50450, Estado de México

Polylite® 33200-01
Página 4 de 4

FICHAS TÉCNICAS DE FIBRA DE SINTÉTICO CARBONO

Tipo de producto: Tela de la fibra del carbón	Tipo de la fuente: fabricar en orden	Material: fibra del carbón
Estilo: Tejido twill	Característica: Abrasión-Resistente, Calor-Aislamiento	Uso: Industria
Peso: 493-gsm	Espesor: 0.254mm	Lugar del origen: China (Continental)
Marca: suretex	Número de Modelo: cah120	el tipo de hilados: De carbono 3k remolque/1500d kevlar
la densidad: $1750 \frac{1''}{1''}$	longitud de rodillo: 100m	hilado de la marca: Hilo chino/tairyfil/toho/toray/hexcel

Paquete

Paquete: caja de cartón

Especificaciones

Tela de carbono de alta resistencia, resistencia a la corrosión, buena conductividad, de alta temperatura y alta resolución.

Tela de carbono introducción:

Por tejido de fibra de fibra de carbono que puede proporcionar un alto rendimiento de carbono. De fibra de carbono disponibles: 3k, 6k la especificación se puede hacer por la demanda del cliente

Parámetro de la técnica:

unidad de peso (gramo/metro cuadrado)	patrón de la armadura	el tipo de hilados		Cuenta del hilado(extremos/cm)		de espesor (mm)	de ancho (mm)
		la urdimbre	la trama	la urdimbre	la trama		
149	llanura	3k	1000	5.5	5	0.27	1000
165	llanura	3k	1000	6	6	0.30	1000
193	llanura	3k	1000	6	7	0.34	1000
193	llanura	3k	1500	5.5	5.5	0.30	1000
193	llanura	1500	3k	5.5	5.5	0.30	1000
149	sarga	3k	1000	5.5	5	0.27	1000
155	sarga	3k	1000	6	6	0.30	1000
193	sarga	3k	1000	6	7	0.34	1000
193	sarga	3k	1500	5.5	5.5		0.30 1000
193	sarga	1500	3k	5.5	5.5		

ANEXO 3

NORMA PARA ENSAYO DE TRACCIÓN ASTM D3039



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} Note—Eq 5 was revised editorially in December 2002.

1. Scope

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

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

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

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:

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

¹ This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee D30 on Composite Materials and is the direct responsibility of Subcommittee D30.04 on Lamina and Laminate Test Methods.

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

² Annual Book of ASTM Standards, Vol 08.01.

³ Annual Book of ASTM Standards, Vol 08.02.

⁴ Annual Book of ASTM Standards, Vol 15.03.

Properties and Equilibrium Conditioning of Polymer Matrix Composite Materials⁴

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

3. Terminology

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

3.2 Definitions of Terms Specific to This Standard:

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

⁵ Annual Book of ASTM Standards, Vol 03.01.

⁶ Annual Book of ASTM Standards, Vol 14.02.

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

3.2.1 *nominal value, n* —a value, existing in name only, assigned to a measurable property for the purpose of convenient designation. Tolerances may be applied to a nominal value to define an acceptable range for the property.

3.2.2 *transition region, n* —a strain region of a stress-strain or strain-strain curve over which a significant change in the slope of the curve occurs within a small strain range.

3.2.3 *transition strain, $\epsilon^{\text{transition}}$ $[nd]$, 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^{tu} —ultimate tensile strength in the test direction.

3.3.7 F^{ts} —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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

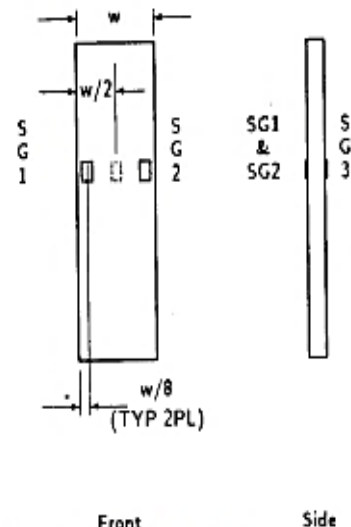


FIG. 1 Gage Locations for System Alignment Check Coupon

maximum advisable amount of system misalignment is material and location dependent, good testing practice is generally able to limit percent bending to a range of 3 to 5 % at moderate strain levels (>1000 $\mu\epsilon$). A system showing excessive bending for the given application should be readjusted or modified.

$$B_y = \frac{\epsilon_{ave} - \epsilon_1}{\epsilon_{ave}} \times 100 \quad (1)$$

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

where:

B_y = percent bending about system y axis (about the narrow plane), as calculated by Eq 1, %;

B_z = percent bending about system z axis (about the wide plane), as calculated by Eq 2, %;

ϵ_1, ϵ_2 , and ϵ_3 = indicated longitudinal strains displayed by Gages 1, 2, and 3, respectively, of Fig. 1, $\mu\epsilon$; and

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

The total bending component is:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

8. Sampling and Test Specimens

8.1 *Sampling*—Test at least five specimens per test condition unless valid results can be gained through the use of fewer specimens, such as in the case of a designed experiment. For statistically significant data, the procedures outlined in Practice E 122 should be consulted. Report the method of sampling.

NOTE 4—If specimens are to undergo environmental conditioning to equilibrium, and are of such type or geometry that the weight change of the material cannot be properly measured by weighing the specimen itself (such as a tabbed mechanical coupon), then use another traveler coupon of the same nominal thickness and appropriate size (but without tabs) to determine when equilibrium has been reached for the specimens being conditioned.

8.2 *Geometry*—Design of mechanical test coupons, especially those using end tabs, remains to a large extent an art rather than a science, with no industry consensus on how to approach the engineering of the gripping interface. Each major composite testing laboratory has developed gripping methods for the specific material systems and environments commonly encountered within that laboratory. Comparison of these methods shows them to differ widely, making it extremely difficult to recommend a universally useful approach or set of approaches. Because of this difficulty, definition of the geometry of the test coupon is broken down into the following three levels, which are discussed further in each appropriate section:

Purpose	Degree of Geometry Definition
8.2.1 <i>General Requirements</i>	Mandatory Shape and Tolerances
8.2.2 <i>Specific Recommendations</i>	Nonmandatory Suggested Dimensions
8.2.3 <i>Detailed Examples</i>	Nonmandatory Typical Practices

8.2.1 *General Requirements:*

8.2.1.1 *Shape, Dimensions, and Tolerances*—The complete list of requirements for specimen shape, dimensions, and tolerances is shown in Table 1.

8.2.1.2 *Use of Tabs*—Tabs are not required. The key factor in the selection of specimen tolerances and gripping methods is the successful introduction of load into the specimen and the prevention of premature failure as a result of a significant discontinuity. Therefore, determine the need to use tabs, and specification of the major tab design parameters, by the end

TABLE 1 Tensile Specimen Geometry Requirements

Parameter	Requirement
Coupon Requirements:	
shape	constant rectangular cross-section
minimum length	gripping + 2 times width + gage length
specimen width	as needed ^a
specimen width tolerance	±1 % of width
specimen thickness	as needed
specimen thickness tolerance	±4 % of thickness
specimen flatness	flat with light finger pressure
Tab Requirements (if used):	
tab material	as needed
fiber orientation (composite tabs)	as needed
tab thickness	as needed
tab thickness variation between tabs	±1 % tab thickness
tab bevel angle	5 to 90°, inclusive
tab step at bevel to specimen	feathered without damaging specimen

^a See 8.2.2 or Table 2 for recommendations.

result: acceptable failure mode and location. If acceptable failure modes occur with reasonable frequency, then there is no reason to change a given gripping method (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 tolerated coupon drawing. Therefore, recommendations on other important dimensions are provided for typical material configurations in Table 2. These geometries have been found by a number of testing laboratories to produce acceptable failure modes on a wide variety of material systems, but use of them does not guarantee success for every existing or future material system.

8.2.2.2 *Gripping/Use of Tabs*—There are many material configurations, such as multidirectional laminates, fabric-based materials, or randomly reinforced sheet-molding compounds, which can be successfully tested without tabs. However, tabs are strongly recommended when testing unidirectional materials (or strongly unidirectionally dominated laminates) to failure in the fiber direction. Tabs may also be required when testing unidirectional materials in the matrix direction to prevent gripping damage.

8.2.2.3 *Tab Geometry*—Recommendations on important dimensions are provided for typical material configurations in Table 2. These dimensions have been found by a number of testing laboratories to produce acceptable failure modes on a wide variety of material systems, but use of them does not guarantee success for every existing or future material system. The selection of a tab configuration that can successfully produce a gage section tensile failure is dependent upon the coupon material, coupon ply orientation, and the type of grips being used. When pressure-operated nonwedge grips are used with care, squared-off 90° tabs have been used successfully. Wedge-operated grips have been used most successfully with tabs having low bevel angles (7 to 10°) and a feathered smooth transition into the coupon. For alignment purposes, it is essential that the tabs be of matched thickness.

8.2.2.4 *Friction Tabs*—Tabs need not always be bonded to the material under test to be effective in introducing the load into the specimen. Friction tabs, essentially nonbonded tabs held in place by the pressure of the grip, and often used with emery cloth or some other light abrasive between the tab and the coupon, have been successfully used in some applications. In specific cases, lightly serrated wedge grips (see Note 2) have been successfully used with only emery cloth as the interface between the grip and the coupon. However, the abrasive used

TABLE 2 Tensile Specimen Geometry Recommendations⁴

Fiber Orientation	Width, mm [in.]	Overall Length, mm [in.]	Thickness, mm [in.]	Tab Length, mm [in.]	Tab Thickness, mm [in.]	Tab Bevel Angle, ^a
0° unidirectional	15 [0.5]	250 [10.0]	1.0 [0.040]	56 [2.25]	1.5 [0.062]	7 or 90
90° unidirectional	25 [1.0]	175 [7.0]	2.0 [0.080]	25 [1.0]	1.5 [0.062]	90
balanced and symmetric	25 [1.0]	250 [10.0]	2.5 [0.100]	emery cloth	—	—
random-discontinuous	25 [1.0]	250 [10.0]	2.5 [0.100]	emery cloth	—	—

^a Dimensions in this table and the tolerances of Fig. 2 or Fig. 3 are recommendations only and may be varied so long as the requirements of Table 1 are met.

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

8.2.2.5 Tab Material—The most consistently used bonded tab material has been continuous E-glass fiber-reinforced polymer matrix materials (woven or unwoven) in a [0/90]ns laminate configuration. The tab material is commonly applied at 45° to the loading direction to provide a soft interface. Other configurations that have reportedly been successfully used have incorporated steel tabs or tabs made of the same material as is being tested.

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

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

where:

- L_{min} = minimum required bonded tab length, mm [in.];
- F^{2u} = ultimate tensile strength of coupon material, MPa [psi];
- h = coupon thickness, mm [in.]; and
- F^{2a} = ultimate shear strength of adhesive, coupon material, or tab material (whichever is lowest), MPa [psi].

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

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

8.3 Specimen Preparation:

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

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

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

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

9. Calibration

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

10. Conditioning

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

11. Procedure

11.1 Parameters To Be Specified Before Test:

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

11.1.2 The tensile properties and data reporting format desired.

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

11.1.3 The environmental conditioning test parameters.

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

11.2 General Instructions:

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

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

DRAWING NOTES

1. INTERPRET DRAWING IN ACCORDANCE WITH ANSI Y14.1M-1993, SUBJECT TO THE FOLLOWING:
2. ALL DIMENSIONS IN MILLIMETRES WITH DECIMAL TOLERANCES AS FOLLOWS:

NO DECIMAL	.X	.XX
± 0	± 1	± 3
3. ALL ANGLES HAVE TOLERANCE OF $\pm 5^\circ$.
4. PLY ORIENTATION DIRECTION TOLERANCE RELATIVE TO \square WITHIN $\pm 5^\circ$.
5. FINISH ON MACHINED EDGES NOT TO EXCEED $1.6\sqrt{R}$ (SYMBOLOLOGY IN ACCORDANCE WITH ASA B46.1, WITH ROUGHNESS HEIGHT IN MICROMETRES).
6. VALUES TO BE PROVIDED FOR THE FOLLOWING, SUBJECT TO ANY RANGES SHOWN ON THE FIELD OF DRAWING MATERIAL LAY-UP, PLY ORIENTATION REFERENCE RELATIVE TO \square : OVERALL LENGTH, GAGE LENGTH, COUPON THICKNESS, TAB MATERIAL, TAB THICKNESS, TAB LENGTH, TAB BEVEL ANGLE, TAB ADHESIVE.
7. NO ADHESIVE BUILDUP ALLOWED IN THIS AREA.

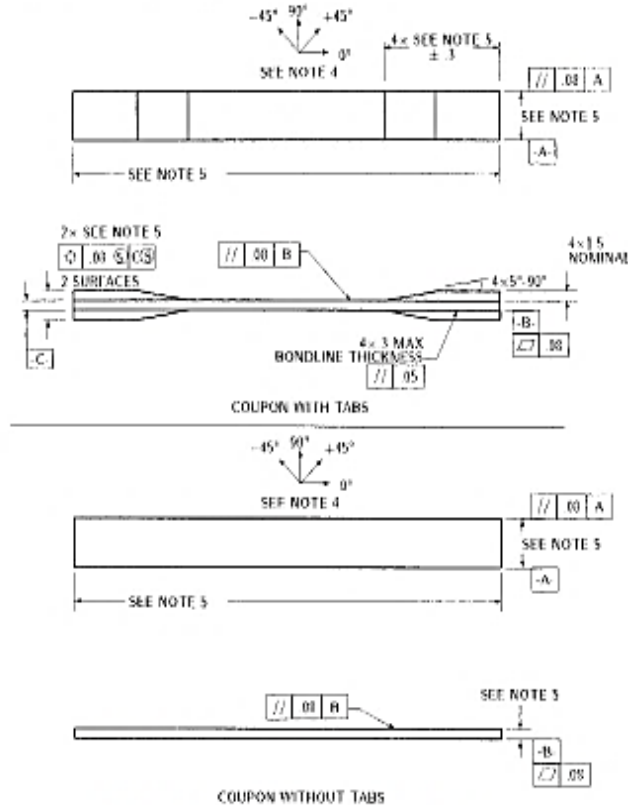


FIG. 2 Tension Test Specimen Drawing (SI)

11.2.2 If specific gravity, density, reinforcement volume, or void volume are to be reported, then obtain these samples from the same panels being tension tested. Specific gravity and density may be evaluated by means of Test Methods D 792. Volume percent of the constituents may be evaluated by one of the matrix digestion procedures of Test Method D 3171, or, for certain reinforcement materials such as glass and ceramics, by the matrix burn-off technique of Test Method D 2584. The void content equations of Test Methods D 2734 are applicable to both Test Method D 2584 and the matrix digestion procedures.

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

11.3 *Speed of Testing*—Set the speed of testing to effect a nearly constant strain rate in the gage section. If strain control is not available on the testing machine, this may be approximated by repeated monitoring and adjusting of the rate of load application to maintain a nearly constant strain rate, as mea-

sured by strain transducer response versus time. The strain rate should be selected so as to produce failure within 1 to 10 min. If the ultimate strain of the material cannot be reasonably estimated, initial trials should be conducted using standard speeds until the ultimate strain of the material and the compliance of the system are known, and the strain rate can be adjusted. The suggested standard speeds are:

11.3.1 *Strain-Controlled Tests*—A standard strain rate of 0.01 min^{-1} .

11.3.2 *Constant Head-Speed Tests*—A standard head displacement rate of 2 mm/min [0.05 in./min].

NOTE 6—Use of a fixed head speed in testing machine systems with a high compliance may result in a strain rate that is much lower than required. Use of wedge grips can cause extreme compliance in the system, especially when using compliant tab materials. In some such cases, actual strain rates 10 to 50 times lower than estimated by head speeds have been observed.

11.4 *Test Environment*—Condition the specimen to the desired moisture profile and, if possible, test under the same conditioning fluid exposure level. However, cases such as

DRAWING NOTES:

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

.X	.XX	.XXX
±.1	±.03	±.01
3. ALL ANGLES HAVE TOLERANCE OF ±5°.
4. PLY ORIENTATION DIRECTION TOLERANCE RELATIVE TO [A] WITHIN ±5°.
5. FINISH ON MACHINED EDGES NOT TO EXCEED 14√ (SYMBOLOLOGY IN ACCORDANCE WITH ASA B46.1, WITH ROUGHNESS HEIGHT IN MICRONS.)
6. VALUES TO BE PROVIDED FOR THE FOLLOWING, SUBJECT TO ANY RANGES SHOWN ON THE FIELD OF DRAWING: MATERIAL, LAY-UP, PLY ORIENTATION REFERENCE RELATIVE TO [A], OVERALL LENGTH, GAGE LENGTH, COUPON THICKNESS, TAB MATERIAL, TAB THICKNESS, TAB LENGTH, TAB BEVEL ANGLE, TAB ADHESIVE.
7. NO ADHESIVE BUILDUP ALLOWED IN THIS AREA.

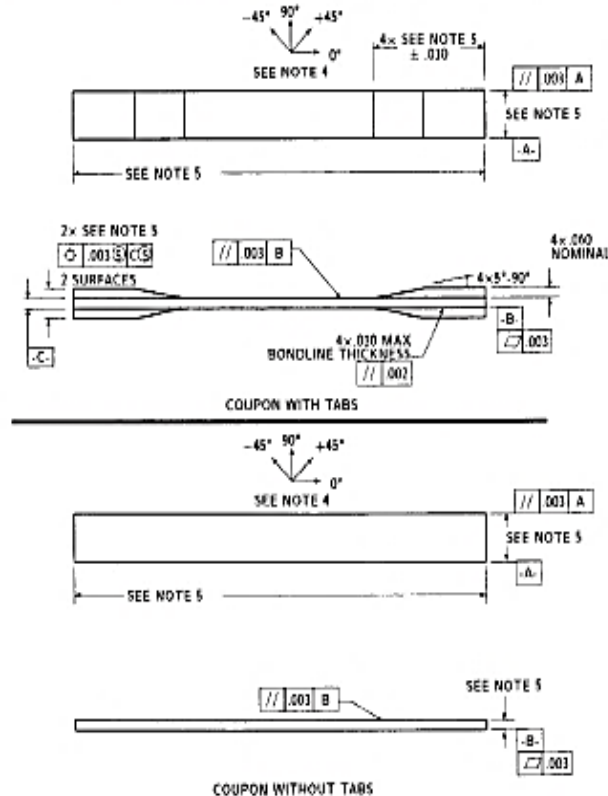


FIG. 3 Tension Test Specimen Drawing (inch-pound)

elevated temperature testing of a moist specimen place unrealistic requirements on the capabilities of common testing machine environmental chambers. In such cases, the mechanical test environment may need to be modified, for example, by testing at elevated temperature with no fluid exposure control, but with a specified limit on time to failure from withdrawal from the conditioning chamber. Modifications to the test environment shall be recorded.

11.4.1 Store the specimen in the conditioned environment until test time, if the testing area environment is different than the conditioning environment.

11.5 *Specimen Insertion*—Place the specimen in the grips of the testing machine, taking care to align the long axis of the gripped specimen with the test direction. Tighten the grips, recording the pressure used on pressure controllable (hydraulic or pneumatic) grips.

NOTE 7—The ends of the grip jaws on wedge-type grips should be even with each other following insertion to avoid inducing a bending moment that results in premature failure of the specimen at the grip. When using

untabbed specimens, a folded strip of medium grade (80 to 150 grit) emery cloth between the specimen faces and the grip jaws (grit-side toward specimen) provides a nonslip grip on the specimen without jaw serration damage to the surface of the specimen. When using tabbed specimens, insert the coupon so that the grip jaws extend approximately 10 to 15 mm [0.5 in.] past the beginning of the tapered portion of the tab. Coupons having tabs that extend beyond the grips are prone to failure at the tab ends because of excessive interlaminar stresses.

11.6 *Transducer Installation*—If strain response is to be determined attach the strain-indication transducer(s) to the specimen, symmetrically about the mid-span, mid-width location. Attach the strain-recording instrumentation to the transducers on the specimen.

11.6.1 When determining modulus of elasticity, it is recommended that at least one specimen per like sample be evaluated with back-to-back axial transducers to evaluate the percent bending, using Eq 5, at the average axial strain checkpoint value (the mid range of the appropriate chord modulus strain range) shown in Table 3. A single transducer can be used if the

TABLE 3 Specimen Alignment and Chord Modulus Calculation Strain Ranges

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

^A 1000 $\mu\epsilon = 0.001$ absolute strain.
^B This strain range is to be contained in the lower half of the stress/strain curve. For materials that fall 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, mm^2 [in.^2].

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

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

where:

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

12.3 Tensile Modulus of Elasticity:

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

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

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

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

where:

- E^{chord} = tensile chord modulus of elasticity, GPa [psi];
- $\Delta\sigma$ = difference in applied tensile stress between the two strain points of Table 3, MPa [psi]; and
- $\Delta\epsilon$ = difference between the two strain points of Table 3 (nominally 0.002).

12.3.2 *Tensile Modulus of Elasticity (Other Definitions)*—Other definitions of elastic modulus may be evaluated and reported at the user's discretion. If such data is generated and reported, report also the definition used, the strain range used,

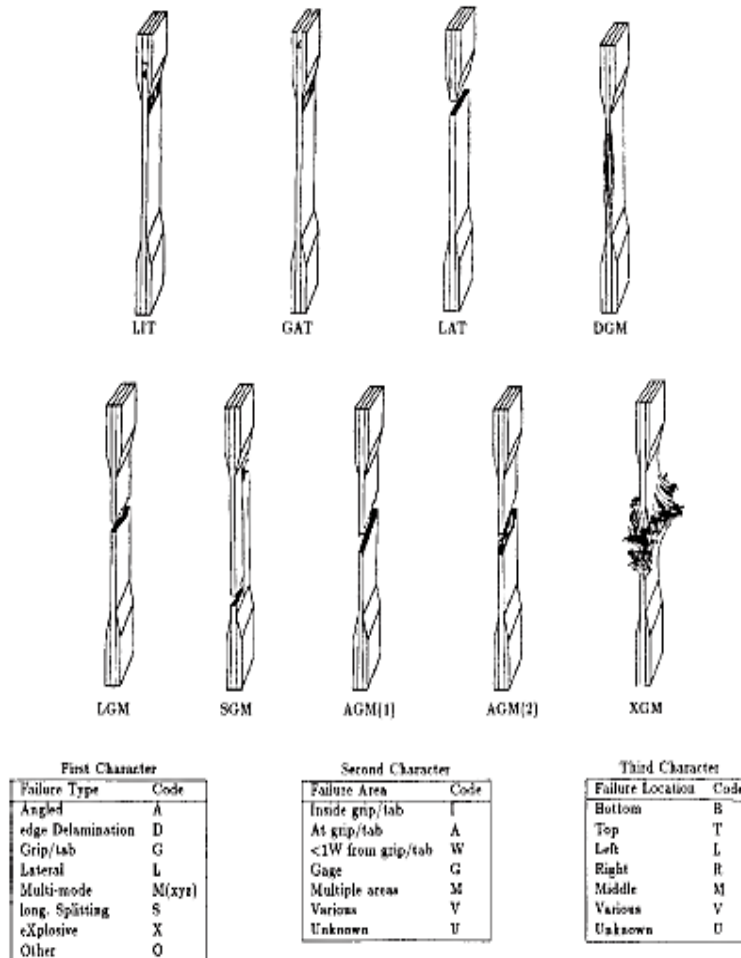


FIG. 4 Tensile Test Failure Codes/Typical Modes

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

NOTE 10—An example of another modulus definition is the secondary chord modulus of elasticity for materials that exhibit essentially bilinear stress-strain behavior. An example of secondary chord modulus is shown in Fig. 5.

12.4 Poisson's Ratio:

NOTE 11—If bonded resistance strain gages are being used, the error produced by the transverse sensitivity effect on the transverse gage will generally be much larger for composites than for metals. An accurate measurement of Poisson's ratio requires correction for this effect. The strain gage manufacturer should be contacted for information on the use of correction factors for transverse sensitivity.

12.4.1 Poisson's Ratio By Chord Method—Select the appropriate chord modulus longitudinal strain range from Table 3. Determine (by plotting or otherwise) the transverse strain (measured perpendicular to the applied load), ϵ_p , at each of the two longitudinal strains (measured parallel to the applied load), ϵ_p strain range end points. If data is not available at the exact strain range end points (as often occurs with digital data), use

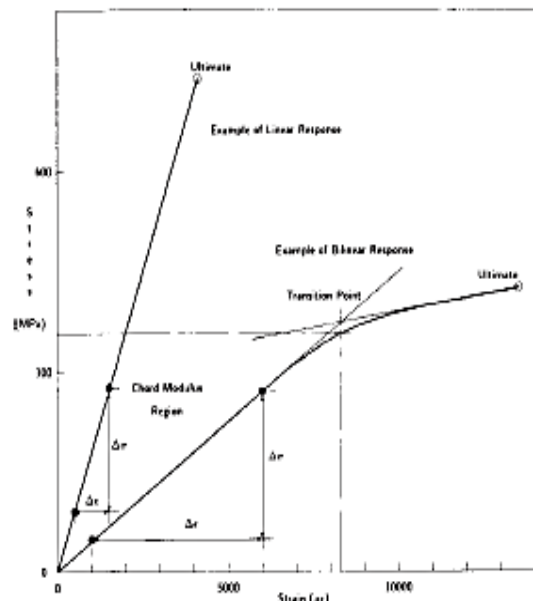


FIG. 5 Typical Tensile Stress-Strain Curves

NORMA PARA ENSAYO DE FLEXIÓN ASTM D7264



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.

¹This 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.

²For 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.

³Available from American National Standards Institute (ANSI), 25 W. 43rd St., 4th Floor, New York, NY 10036, <http://www.ansi.org>.

3.2 Definitions of Terms Specific to This Standard:

3.2.1 *flexural strength, n*—the maximum stress at the outer surface of a flexure test specimen corresponding to the peak applied force prior to flexural failure.

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

3.3 Symbols:

- b* = specimen width
- CV* = sample coefficient of variation, in percent
- E_f^{chord} = flexural chord modulus of elasticity
- E_f^{secant} = flexural secant modulus of elasticity
- h* = specimen thickness
- L* = support span
- m* = slope of the secant of the load-deflection curve
- n* = number of specimens
- P* = applied force
- s_{n-1} = sample standard deviation
- x_i = measured or derived property
- \bar{x} = sample mean
- δ = mid-span deflection of the specimen
- ϵ = strain at the outer surface at mid-span of the specimen
- σ = stress at the outer surface at mid-span of the specimen

4. Summary of Test Method

4.1 A bar of rectangular cross section, supported as a beam, is deflected at a constant rate as follows:

4.1.1 *Procedure A*—The bar rests on two supports and is loaded by means of a loading nose midway between the supports (see Fig. 1).

4.1.2 *Procedure B*—The bar rests on two supports and is loaded at two points (by means of two loading noses), each an equal distance from the adjacent support point. The distance between the loading noses (that is, the load span) is one-half of the support span (see Fig. 2).

4.2 Force applied to the specimen and resulting specimen deflection at the center of span are measured and recorded until the failure occurs on either one of the outer surfaces, or the deformation reaches some pre-determined value.

4.3 The major difference between four-point and three-point loading configurations is the location of maximum bending moment and maximum flexural stress. With the four-point configuration the bending moment is constant between the central force application members. Consequently, the maximum flexural stress is uniform between the central force application members. In the three-point configuration, the maximum flexural stress is located directly under the center

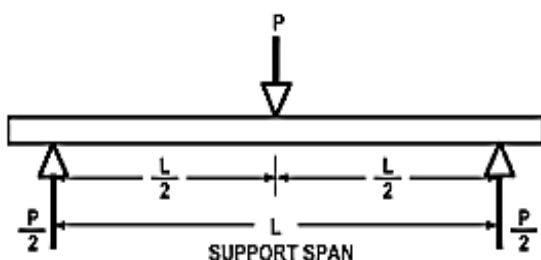


FIG. 1 Procedure A—Loading Diagram

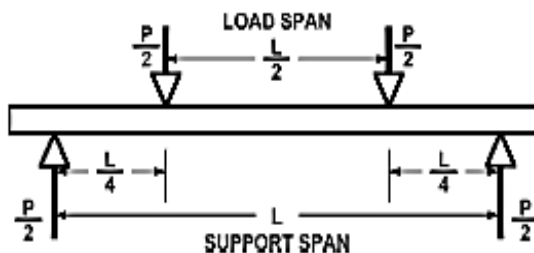


FIG. 2 Procedure B—Loading Diagram

force application member. Another difference between the three-point and four-point configurations is the presence of resultant vertical shear force in the three-point configuration everywhere in the beam except right under the mid-point force application member whereas in the four-point configuration, the area between the central force application members has no resultant vertical shear force. The distance between the outer support members is the same as in the equivalent three-point configuration.

4.4 The test geometry is chosen to limit out-of-plane shear deformations and avoid the type of short beam failure modes that are interrogated in Test Method D 2344/D 2344M.

5. Significance and Use

5.1 This test method determines the flexural properties (including strength, stiffness, and load/deflection behavior) of polymer matrix composite materials under the conditions defined. Procedure A is used for three-point loading and Procedure B is used for four-point loading. This test method was developed for optimum use with continuous-fiber-reinforced polymer matrix composites and differs in several respects from other flexure methods, including the use of a standard span-to-thickness ratio of 32:1 versus the 16:1 ratio used by Test Methods D 790 (a plastics-focused method covering three-point flexure) and D 6272 (a plastics-focused method covering four-point flexure).

5.2 This test method is intended to interrogate long-beam strength in contrast to the short-beam strength evaluated by Test Method D 2344/D 2344M.

5.3 Flexural properties determined by these procedures can be used for quality control and specification purposes, and may find design applications.

5.4 These procedures can be useful in the evaluation of multiple environmental conditions to determine which are design drivers and may require further testing.

5.5 These procedures may also be used to determine flexural properties of structures.

6. Interferences

6.1 Flexural properties may vary depending on which surface of the specimen is in compression, as no laminate is perfectly symmetric (even when full symmetry is intended); such differences will shift the neutral axis and will be further affected by even modest asymmetry in the laminate. Flexural properties may also vary with specimen thickness, conditioning and/or testing environments, and rate of straining. When evaluating several datasets these parameters should be equivalent for all data in the comparison.

6.2 For multidirectional laminates with a small or moderate number of laminae, flexural modulus and flexural strength may be affected by the ply-stacking sequence and will not necessarily correlate with extensional modulus, which is not stacking-sequence dependent.

6.3 The calculation of the flexural properties in Section 13 of this standard is based on beam theory, while the specimens in general may be described as plates. The differences may in some cases be significant, particularly for laminates containing a large number of plies in the $\pm 45^\circ$ direction. The deviations from beam theory decrease with decreasing width.

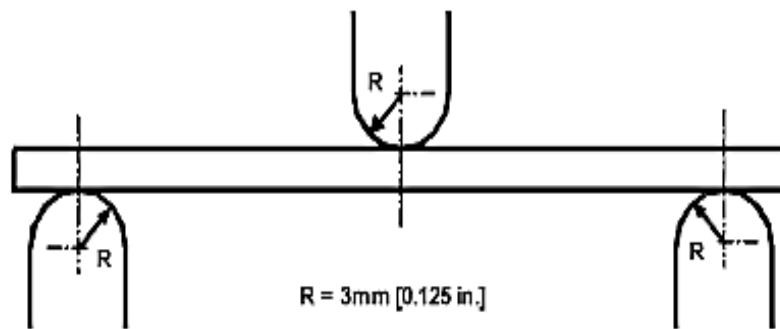
6.4 Loading noses may be fixed, rotatable or rolling. Typically, for testing composites, fixed or rotatable loading noses are used. The type of loading nose can affect results, since non-rolling paired supports on either the tension or compression side of the specimen introduce slight longitudinal forces and resisting moments on the beam, which superpose with the intended loading. The type of supports used is to be reported as described in Section 14. The loading noses should also uniformly contact the specimen across its width. Lack of

uniform contact can affect flexural properties by initiating damage by crushing and by non-uniformly loading the beam. Formulas used in this standard assume a uniform line loading at the specimen supports across the entire specimen width; deviations from this type of loading is beyond the scope of this standard.

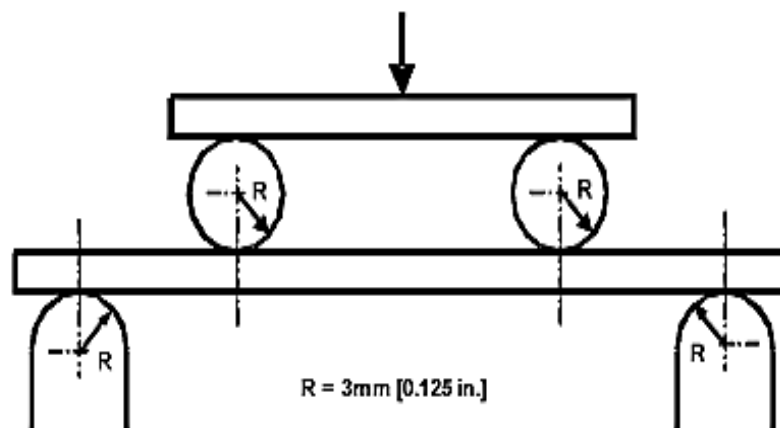
7. Apparatus

7.1 *Testing Machine*—Properly calibrated, which can be operated at a constant rate of crosshead motion, and in which the error in the force application system shall not exceed $\pm 1\%$ of the full scale. The force indicating mechanism shall be essentially free of inertia lag at the crosshead rate used. Inertia lag shall not exceed 1% of the measured force. The accuracy of the testing machine shall be verified in accordance with Practices E 4.

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



Three-Point Loading Configuration with Fixed Supports and Loading Nose



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

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

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 tooling surfaces. A micrometer or caliper with flat anvil faces shall be used to measure the length of the specimen. The accuracy of the instrument(s) shall be suitable for reading to within 1 % or better of the specimen dimensions. For typical section geometries, an instrument with an accuracy of ± 0.02 mm [± 0.001 in.] is desirable for thickness and width measurement, while an instrument with an accuracy of ± 0.1 mm [± 0.004 in.] is adequate for length measurement.

7.4 *Deflection Measurement*—Specimen deflection at the common center of the loading span shall be measured by a properly calibrated device having an accuracy of ± 1 % or better of the expected maximum displacement. The device shall automatically and continuously record the deflection during the test.

7.5 *Conditioning Chamber*—When conditioning materials at non-laboratory environments, a temperature/vapor-level controlled environmental conditioning chamber is required that shall be capable of maintaining the required temperature to within $\pm 1^\circ\text{C}$ [$\pm 2^\circ\text{F}$] and the required vapor level to within ± 3 % relative humidity, as outlined in Test Method D 5229/ D 5229M. Chamber conditions shall be monitored either on an automated continuous basis or on a manual basis at regular intervals.

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

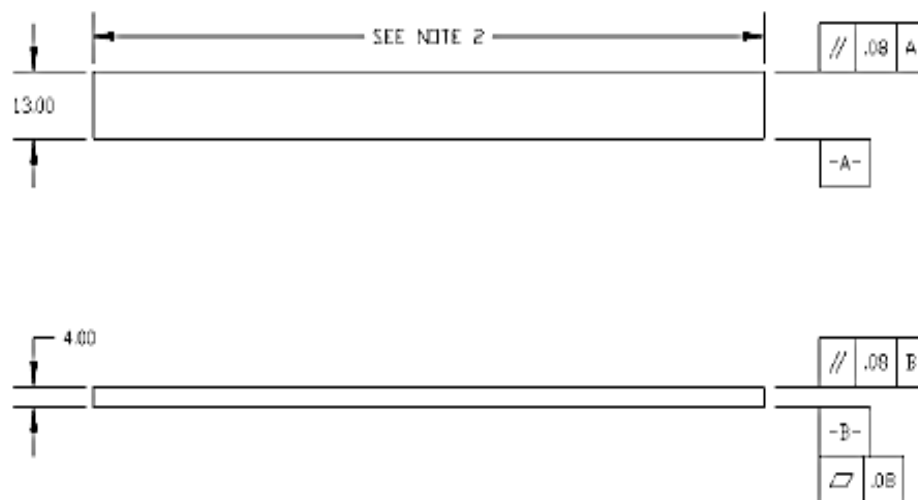
within $\pm 3^\circ\text{C}$ [$\pm 5^\circ\text{F}$] and the required vapor level to within ± 5 % relative humidity.

8. Test Specimens

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

8.2 *Specimen Size* is chosen such that the flexural properties are determined accurately from the tests. For flexural strength, the standard support span-to-thickness ratio is chosen such that failure occurs at the outer surface of the specimens, due only to the bending moment (see Notes 2 and 3). The standard span-to-thickness ratio is 32:1, the standard specimen thickness is 4 mm [0.16 in.], and the standard specimen width is 13 mm [0.5 in.] with the specimen length being about 20 % longer than the support span. See Figs. 4 and 5 for a drawing of the standard test specimen in SI and inch-pound units, respectively. For fabric-reinforced textile composite materials, the width of the specimen shall be at least two unit cells, as defined in Guide D 6856. If the standard specimen thickness cannot be obtained in a given material system, an alternate specimen thickness shall be used while maintaining the support span-to-thickness ratio [32:1] and specimen width. Optional support span-to-thickness ratios of 16:1, 20:1, 40:1, and 60:1 may also be used provided it is so noted in the report. Also, the data obtained from a test using one support span-to-thickness ratio may not be compared with the data from another test using a different support span-to-thickness ratio.

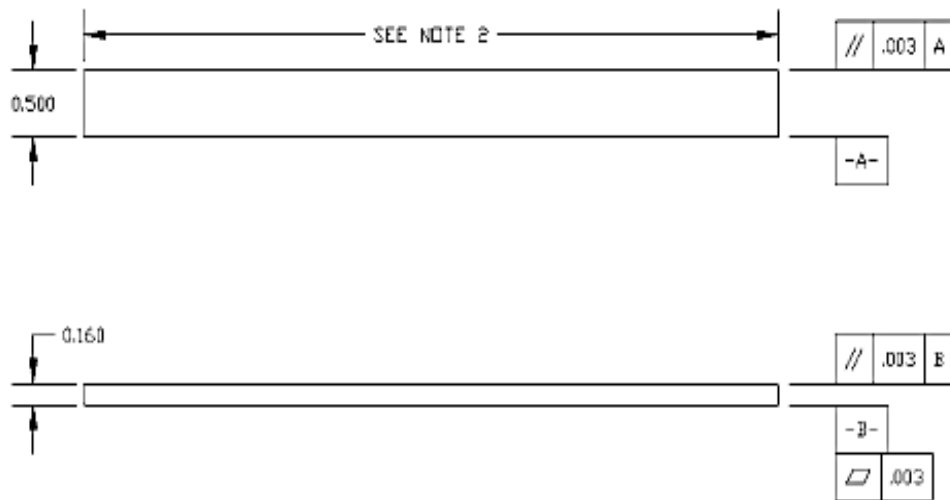
8.2.1 Shear deformations can significantly reduce the apparent modulus of highly orthotropic laminates when they are tested at low support span-to-thickness ratios. For this reason, a high support span-to-thickness ratio is recommended for flexural modulus determinations. In some cases, separate sets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



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

NOTE 2—See 8.2 and 11.3 of this test standard for the required values of span and overall length.

FIG. 4 Standard Flexural Test Specimen Drawing (SI)



NOTE 1—Drawing interpretation per ANSI Y14.5-1999 and ANSI B46.1-1995.
 NOTE 2—See 8.2 and 11.3 of this test standard for the required values of span and overall length.

FIG. 5 Standard Flexural Test Specimen Drawing (Inch-Pound)

NOTE 2—A support span-to-thickness ratio of less than 32:1 may be acceptable for obtaining the desired flexural failure mode when the ratio of the lower of the compressive and tensile strength to out-of-plane shear strength is less than 8, but the support span-to-thickness ratio must be increased for composite laminates having relatively low out-of-plane shear strength and relatively high in-plane tensile or compressive strength parallel to the support span.

NOTE 3—While laminate stacking sequence is not limited by this test method, significant deviations from a lay-up of nominal balance and symmetry may induce unusual test behaviors and a shift in the neutral axis.

9. Number of Test Specimens

9.1 Test at least five specimens per test condition unless valid results can be gained through the use of fewer specimens, such as in the case of a designed experiment. For statistically significant data the procedures outlined in Practice E 122 should be consulted. Report the method of sampling.

10. Conditioning

10.1 The recommended pre-test specimen condition is effective moisture equilibrium at a specific relative humidity as established by Test Method D 5229/D5229M; however, if the test requester does not explicitly specify a pre-test conditioning environment, conditioning is not required and the test specimens may be tested as prepared.

NOTE 4—The term *moisture*, as used in Test Method D 5229/D5229M, includes not only the vapor of a liquid and its condensate, but the liquid itself in large quantities, as for immersion.

10.2 The pre-test specimen conditioning process, to include specified environmental exposure levels and resulting moisture content, shall be reported with the data.

10.3 If there is no explicit conditioning process, the conditioning process shall be reported as “unconditioned” and the moisture content as “unknown.”

11. Procedure

11.1 Condition the specimens as required. Store the specimens in the conditioned environment until test time.

11.2 Following final specimen machining and any conditioning but before testing, measure and record the specimen width and thickness at the specimen mid-section, and the specimen length, to the specified accuracy.

11.3 Measure the span accurately to the nearest 0.1 mm [0.004 in.] for spans less than 63 mm [2.5 in.] and the nearest 0.3 mm [0.012 in.] for spans greater than or equal to 63 mm [2.5 in.]. Use the measured span for all calculations. See Annex A1 for information on the determination of and setting of the span.

11.4 *Speed of Testing*—Set the speed of testing at a rate of crosshead movement of 1.0 mm/min [0.05 in./min] for a specimen with standard dimensions. For specimens with dimensions that vary greatly from the standard dimensions, a crosshead rate that will give a similar rate of straining at the outer surface can be obtained via the method outlined in Test Methods D 790 for Procedure A and Test Method D 6272 for Procedure B.

11.5 Align the loading nose(s) and supports so that the axes of the cylindrical surfaces are parallel. For Procedure A, the loading nose shall be midway between the supports. For Procedure B, the load span shall be one-half of the support span and symmetrically placed between the supports. The parallelism may be checked by means of plates with parallel grooves into which the loading nose(s) and supports will fit when properly aligned. Center the specimen on the supports, with the long axis of the specimen perpendicular to the loading noses and supports. See Annex A1 for setting and measuring span.

11.6 Apply the force to the specimen at the specified crosshead rate. Measure and record force-deflection data at a

rate such that a minimum of 50 data points comprise the force deflection curve. (A higher sampling rate may be required to properly capture any nonlinearities or progressive failure of the specimen.) Measure deflection by a transducer under the specimen in contact with it at the center of the support span, the transducer being mounted stationary relative to the specimen supports. Do not use the measurement of the motion of the loading nose relative to the supports as this will not take into account the rotation of the specimen about the load and support noses, nor account for the compliance in the loading nose or crosshead.

11.7 Failure Modes—To obtain valid flexural strength, it is necessary that the specimen failure occurs on either one of its outer surfaces, without a preceding interlaminar shear failure or a crushing failure under a support or loading nose. Failure on the tension surface may be a crack while that on the compression surface may be local buckling. Buckling may be manifested as fiber micro-buckling or ply-level buckling. Ply-level buckling may result in, or be preceded by delamination of the outer ply.

11.7.1 Failure Identification Codes—Record the mode, area, and location of failure for each specimen. Choose a standard failure identification code based on the three-part code shown in Fig. 6. A multimode failure can be described by including each of the appropriate failure-mode codes between the parentheses of the M failure mode.

12. Validation

12.1 Values for properties at failure shall not be calculated for any specimen that breaks at some obvious, fortuitous flaw, unless such flaws constitute a variable being studied. Specimens that fail in an unacceptable failure mode shall not be included in the flexural property calculations. Retests shall be made for any specimen for which values are not calculated. If a significant fraction (>50 %) of the specimens fail in an unacceptable failure mode then the span-to-thickness ratio (for excessive shear failures) or the loading nose diameter (crushing under the loading nose) should be reexamined.

13. Calculation

Note 5—In determination of the calculated value of some of the properties listed in this section it is necessary to determine if the toe compensation (see Annex A2) adjustment must be made. This toe compensation correction shall be made only when it has been shown that the toe region of the curve is due to take up of the slack, alignment, or seating of the specimen and is not an authentic material response.

13.1 Maximum Flexural Stress, Procedure A—When a beam of homogenous, elastic material is tested in flexure as a

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

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

where:

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

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

13.2 Maximum Flexural Stress, Procedure B—When a beam of homogeneous, elastic material is tested in flexure as a beam simply supported at two outer points and loaded at two central points separated by a distance equal to 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):

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

where:

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

⁴For 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

14. Report

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

14.1.1 The revision level or date of issue of the test method used.

14.1.2 The date(s) and location(s) of the testing.

14.1.3 The name(s) of the test operator(s).

14.1.4 The test Procedure used (A or B).

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

14.1.6 Identification of the material tested including: material specification, material type, material designation, manufacturer, manufacturer's lot or batch number, source (if not from the manufacturer), date of certification, expiration of certification, filament diameter, tow or yarn filament count and twist, sizing, form or weave, fiber areal weight, matrix type, prepreg matrix content, and prepreg volatiles content.

14.1.7 Description of the fabrication steps used to prepare the laminate including: fabrication start date, fabrication end date, process specification, cure cycle, consolidation method, and a description of the equipment used.

14.1.8 Ply orientation stacking sequence of the laminate.

14.1.9 If requested, report density, reinforcement volume fraction, and void content test methods, specimen sampling method and geometries, test parameters, and test data.

14.1.10 Average ply thickness of the material.

14.1.11 Results of any nondestructive evaluation tests.

14.1.12 Method of preparing the test specimens, including specimen labeling scheme and method, specimen geometry, sampling method, and specimen cutting method.

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

14.1.14 Type of test machine, grips, jaws, alignment data, and data acquisition sampling rate and equipment type.

14.1.15 Dimensions of each specimen to at least three significant figures, including specimen width, thickness, and overall length.

14.1.16 Conditioning parameters and results, and the procedure used if other than that specified in this test method.

14.1.17 Relative humidity and temperature of the testing laboratory.

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

14.1.19 Number of specimens tested.

14.1.20 Load-span length, support-span length, and support span-to-thickness ratio.

14.1.21 Loading and support nose type and dimensions.

14.1.22 Speed of testing.

14.1.23 Transducer placement on the specimen, transducer type, and calibration data for each transducer used.

14.1.24 Force-deflection curves for each specimen. Note method and offset value if toe compensation was applied to force-deflection curve.

14.1.25 Tabulated data of flexural stress versus strain for each specimen.

14.1.26 Individual flexural strengths and average value, standard deviation, and coefficient of variation (in percent) for the population. Note if the failure load was less than the maximum load prior to failure.

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

14.1.28 Strain range used for the flexural chord modulus of elasticity determination.

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

14.1.30 If an alternate definition of flexural modulus of elasticity is used in addition to chord modulus, describe the method used, the resulting correlation coefficient (if applicable), and the strain range used for the evaluation.

14.1.31 Individual values of the alternate (see above) flexural modulus of elasticity, and the average value, standard deviation, and coefficient of variation (in percent) for the population.

14.1.32 Individual maximum flexural stresses, and the average, standard deviation, and coefficient of variation (in percent) values for the population. Note any test in which the failure load was less than the maximum load before failure.

14.1.33 For flexural modulus only tests: maximum load applied, strain at maximum applied load, and calculated flexural modulus of elasticity (E_f).

14.1.34 Individual maximum flexural strains and the average, standard deviation, and coefficient of variation (in percent) values for the population. Note any test that was truncated to 2% strain.

14.1.35 Failure mode and location of failure for each specimen.

15. Precision and Bias

15.1 *Precision*—The data required for the development of precision is not currently available for this test method.

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

16. Keywords

16.1 fiber-reinforced composites; flexural properties; stiffness; strength

A1. MEASURING AND SETTING SPAN

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

A1.2 *Measurement of Span:*

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

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

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

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

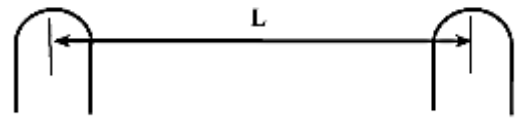


FIG. A1.1 Markings on Fixed Specimen Supports

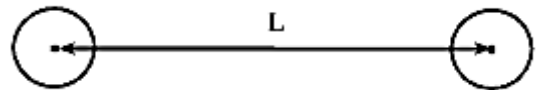


FIG. A1.2 Markings on Rotatable Specimen Supports

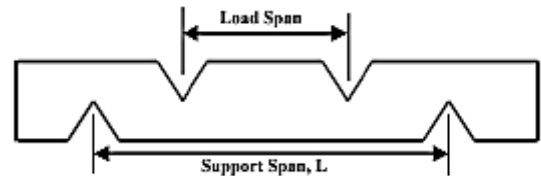


FIG. A1.3 Fixture Used to Align Loading Noses and Supports

A2. TOE COMPENSATION

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

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

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

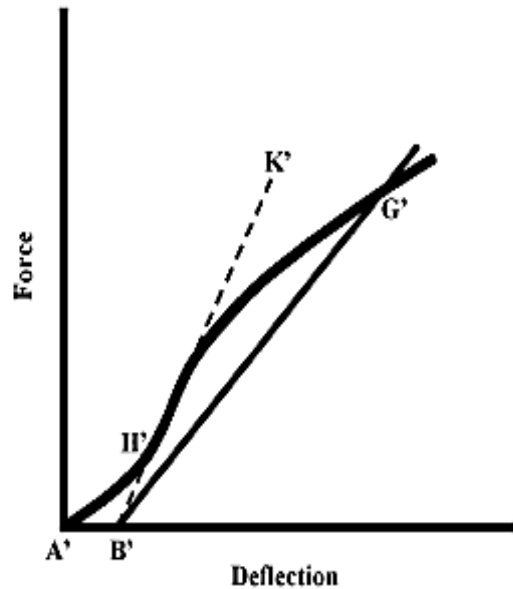


FIG. A2.2 Material without a Hookean Region

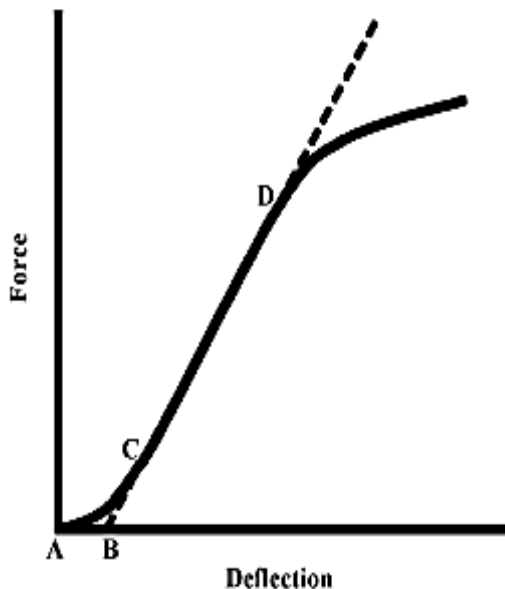



FIG. A2.1 Material with a Hookean Region

 D 7264/D 7264M – 07

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

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

This standard is copyrighted by ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2950, 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).

NORMA PARA ENSAYO DE IMPACTO ASTM D5628



INTERNATIONAL D5628 – 10

Standard Test Method for Impact Resistance of Flat, Rigid Plastic Specimens by Means of a Falling Dart (Tup or Falling Mass)¹

This standard is issued under the fixed designation D5628; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ε) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

1. Scope*

1.1 This test method covers the determination of the threshold value of impact-failure energy required to crack or break flat, rigid plastic specimens under various specified conditions of impact of a free-falling dart (tup), based on testing many specimens.

1.2 The values stated in SI units are to be regarded as the standard. The values in parentheses are for information only.

1.3 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.* Specific hazard statements are given in Section 8.

NOTE 1—This test method and ISO 6603-1 are technically equivalent only when the test conditions and specimen geometry required for Geometry FE and the Bruceon Staircase method of calculation are used.

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards.²

D618 Practice for Conditioning Plastics for Testing

D883 Terminology Relating to Plastics

D1600 Terminology for Abbreviated Terms Relating to Plastics

D1709 Test Methods for Impact Resistance of Plastic Film by the Free-Falling Dart Method

D2444 Test Method for Determination of the Impact Resistance of Thermoplastic Pipe and Fittings by Means of a Tup (Falling Weight)

D3763 Test Method for High Speed Puncture Properties of Plastics Using Load and Displacement Sensors

D4000 Classification System for Specifying Plastic Materials
D5947 Test Methods for Physical Dimensions of Solid Plastics Specimens

D6779 Classification System for Polyamide Molding and Extrusion Materials (PA)

E691 Practice for Conducting an Interlaboratory Study to Determine the Precision of a Test Method

2.2 ISO Standards:³

ISO 291 Standard Atmospheres for Conditioning and Testing

ISO 6603-1 Plastics—Determination of Multiaxial Impact Behavior of Rigid Plastics—Part 1: Falling Dart Method

3. Terminology

3.1 Definitions:

3.1.1 For definitions of plastic terms used in this test method, see Terminologies D883 and D1600.

3.2 Definitions of Terms Specific to This Standard:

3.2.1 *failure (of test specimen)*—the presence of any crack or split, created by the impact of the falling tup, that can be seen by the naked eye under normal laboratory lighting conditions.

3.2.2 *mean-failure energy (mean-impact resistance)*—the energy required to produce 50 % failures, equal to the product of the constant drop height and the mean-failure mass, or, to the product of the constant mass and the mean-failure height.

3.2.3 *mean-failure height (impact-failure height)*—the height at which a standard mass, when dropped on test specimens, will cause 50 % failures.

NOTE 2—Cracks usually start at the surface opposite the one that is struck. Occasionally incipient cracking in glass-reinforced products, for example, is difficult to differentiate from the reinforcing fibers. In such cases, a penetrating dye can confirm the onset of crack formation.

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

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

² For referenced ASTM standards, visit the ASTM website, www.astm.org, or contact ASTM Customer Service at service@astm.org. For *Annual Book of ASTM Standards* volume information, refer to the standard's Document Summary page on the ASTM website.

³ Available from American National Standards Institute (ANSI), 25 W. 43rd St., 4th Floor, New York, NY 10036, <http://www.ansi.org>.

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

4. Summary of Test Method

4.1 A free-falling dart (*tup*) is allowed to strike a supported specimen directly. Either a dart having a fixed mass is dropped from various heights, or a dart having an adjustable mass is dropped from a fixed height. (See Fig. 2).

4.2 The procedure determines the energy (mass \times height) that will cause 50 % of the specimens tested to fail (mean failure energy).

4.3 The technique used to determine mean failure energy is commonly called the Brucceton Staircase Method or the Up-and-Down Method (1).⁴ Testing is concentrated near the mean, reducing the number of specimens required to obtain a reasonably precise estimate of the impact resistance.

4.4 Each test method permits the use of different *tup* and test specimen geometries to obtain different modes of failure, permit easier sampling, or test limited amounts of material. There is no known means for correlating the results of tests made by different impact methods or procedures.

5. Significance and Use

5.1 Plastics are viscoelastic and therefore are likely to be sensitive to changes in velocity of the mass falling on their surfaces. However, the velocity of a free-falling object is a function of the square root of the drop height. A change of a factor of two in the drop height will cause a change of only 1.4 in velocity. Hagan et al (2) found that the mean-failure energy of sheeting was constant at drop heights between 0.30 and 1.4 m. This suggests that a constant mass-variable height method will give the same results as the constant height-variable mass technique. On the other hand, different materials respond differently to changes in the velocity of impact. Equivalence of these methods should not be taken for granted. While both constant-mass and constant-height techniques are permitted by these methods, the constant-height method should be used for those materials that are found to be rate-sensitive in the range of velocities encountered in falling-weight types of impact tests.

5.2 The test geometry FA causes a moderate level of stress concentration and can be used for most plastics.

5.3 Geometry FB causes a greater stress concentration and results in failure of tough or thick specimens that do not fail with Geometry FA (3). This approach can produce a punch shear failure on thick sheet. If that type of failure is undesirable, Geometry FC should be used. Geometry FB is suitable for research and development because of the smaller test area required.

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

5.4 The test conditions of Geometry FC are the same as those of Test Method A of Test Method D1709. They have been

used in specifications for extruded sheeting. A limitation of this geometry is that considerable material is required.

5.5 The test conditions of Geometry FD are the same as for Test Method D3763.

5.6 The test conditions of Geometry FE are the same as for ISO 6603-1.

5.7 Because of the nature of impact testing, the selection of a test method and *tup* must be somewhat arbitrary. Although a choice of *tup* geometries is available, knowledge of the final or intended end-use application shall be considered.

5.8 Clamping of the test specimen will improve the precision of the data. Therefore, clamping is recommended. However, with rigid specimens, valid determinations can be made without clamping. Unclamped specimens tend to exhibit greater impact resistance.

5.9 Before proceeding with this test method, reference should be made to the specification of the material being tested. Table 1 of Classification System D4000 lists the ASTM materials standards that currently exist. Any test specimens preparation, conditioning, dimensions, or testing parameters or combination thereof covered in the relevant ASTM materials specification shall take precedence over those mentioned in this test method. If there are no relevant ASTM material specifications, then the default conditions apply.

6. Interferences

6.1 Falling-mass-impact-test results are dependent on the geometry of both the falling mass and the support. Thus, impact tests should be used only to obtain relative rankings of materials. Impact values cannot be considered absolute unless the geometry of the test equipment and specimen conform to the end-use requirement. Data obtained by different procedures within this test method, or with different geometries, cannot, in general, be compared directly with each other. However, the relative ranking of materials is expected to be the same between two test methods if the mode of failure and the impact velocities are the same.

6.1.1 Falling-mass-impact types of tests are not suitable for predicting the relative ranking of materials at impact velocities differing greatly from those imposed by these test methods.

6.2 As cracks usually start at the surface opposite the one that is struck, the results can be greatly influenced by the quality of the surface of test specimens. Therefore, the composition of this surface layer, its smoothness or texture, levels of and type of texture, and the degree of orientation introduced during the formation of the specimen (such as during injection molding) are very important variables. Flaws in this surface will also affect results.

6.3 Impact properties of plastic materials can be very sensitive to temperature. This test can be carried out at any reasonable temperature and humidity, thus representing actual use environments. However, this test method is intended primarily for rating materials under specific impact conditions.

7. Apparatus

7.1 *Testing Machine*—The apparatus shall be constructed essentially as is shown in Fig. 2. The geometry of the specimen clamp and *tup* shall conform to the dimensions given in 7.1.1 and 7.2.

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

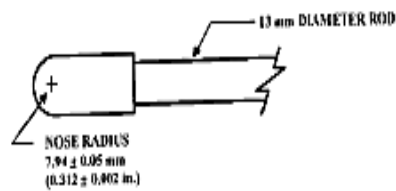


FIG. 1 (a)

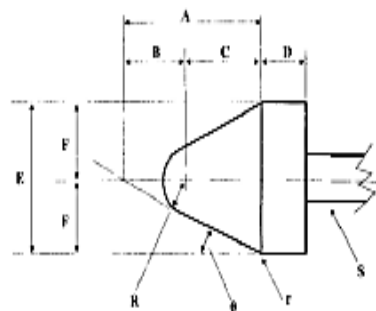


FIG. 1 (b)

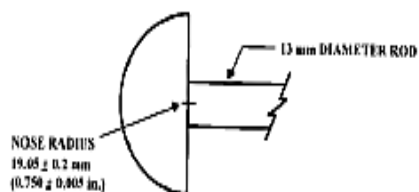


FIG. 1 (c)

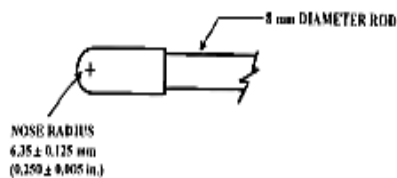


FIG. 1 (d)

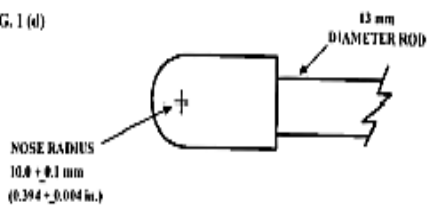


FIG. 1 (e)

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

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

Position	Dimension, mm	Dimension, in.
A	27.2	1.07
B	15	0.59
C	12.2	0.48
D	8.4	0.25
E	25.4	1
F	12.7	0.5
R	6.35 \pm 0.05	0.250 \pm 0.002
(nose radius)		
r (radius)	0.8	0.03
S (diameter) ^A	6.4	0.25
u	25 \pm 1 ^B	25 \pm 1 ^B

^A Larger diameter shafts shall be used.

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

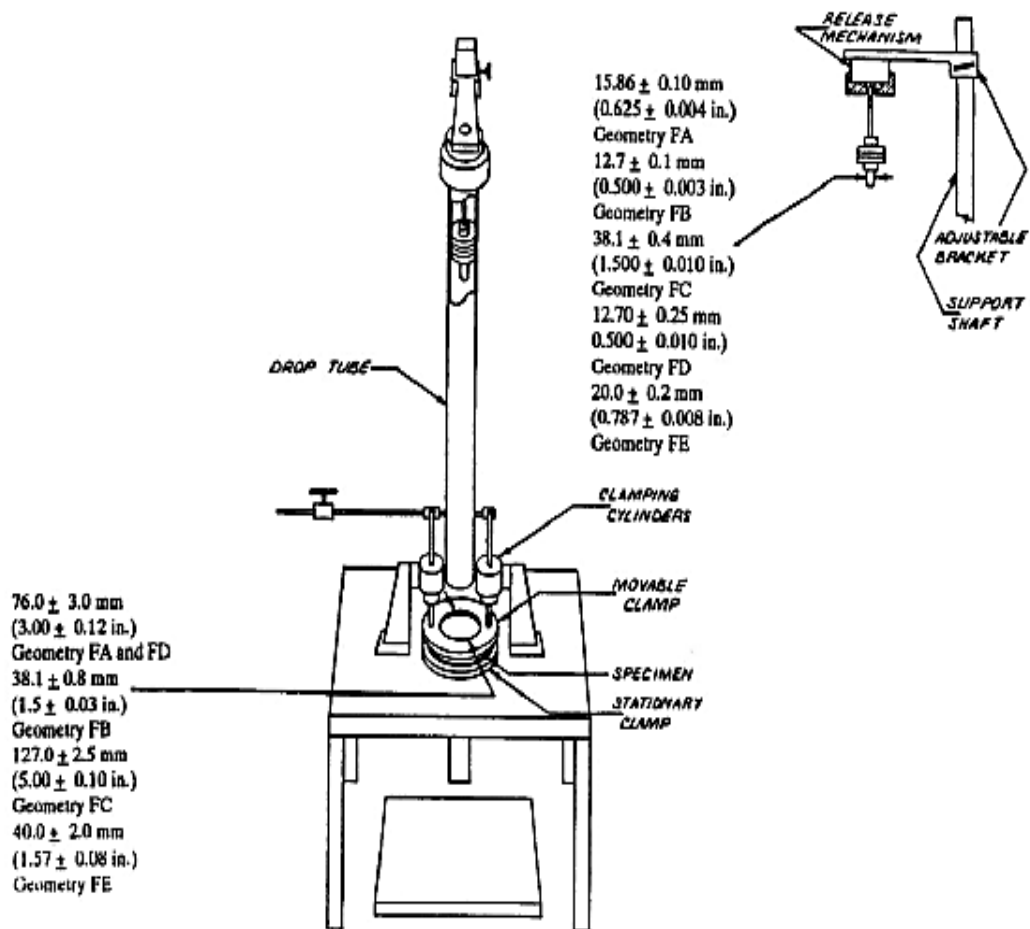


FIG. 2 One Type of Falling Mass Impact Tester

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.). For Geometry FC, the inside diameter should be 127.0 ± 2.5 mm (5.00 ± 0.10 in.). For Geometry FE an annular specimen clamp similar to that shown in Fig. 4 is required. The inside diameter should be 40 ± 2 mm (1.57 ± 0.08 in.) (see Table 1). For Geometries FA, FB, FC, and FD, the inside edge of the upper or supporting surface of the lower clamp should be rounded slightly; a radius of 0.8 mm (0.03 in.) has been found to be satisfactory. For Geometry FE this radius should be 1 mm (0.04 in.).

7.1.1.1 Contoured specimens shall be firmly held in a jig so that the point of impact will be the same for each specimen.

7.1.2 *Tup Support*, capable of supporting a 13.5-kg (30-lb) mass, with a release mechanism and a centering device to ensure uniform, reproducible drops.

NOTE 3—Reproducible drops are ensured through the use of a tube or cage within which the tup falls. In this event, care should be exercised so that any friction that develops will not reduce the velocity of the tup appreciably.

7.1.3 *Positioning Device*—Means shall be provided for positioning the tup so that the distance from the 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 steel shaft about 13 mm (0.5 in.) in diameter shall be attached to the center of the flat surface of the head with its longitudinal

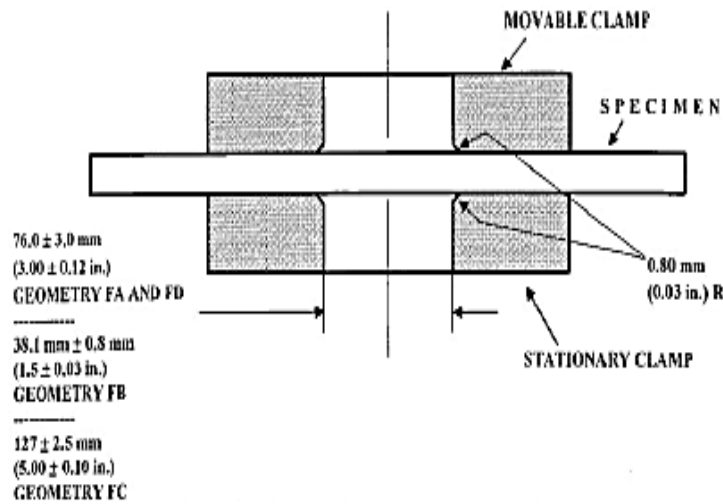


FIG. 3 Support Plate/Specimen/Clamp Configuration for Geometries FA, FB, FC, and FD

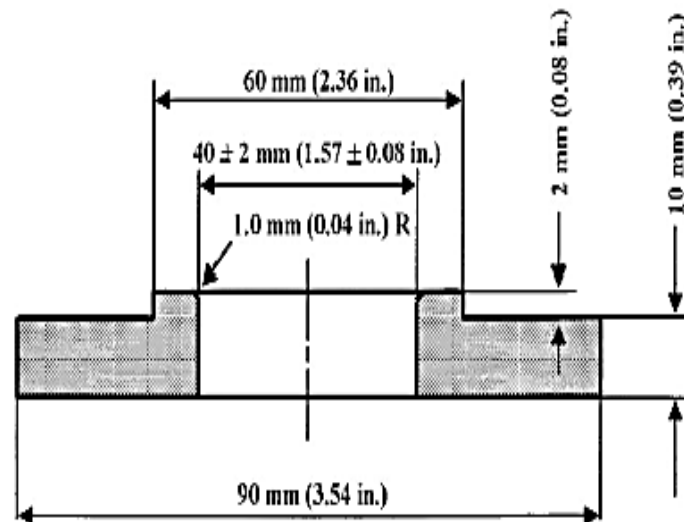


FIG. 4 Test-Specimen Support for Geometry FE

TABLE 1 Tip and Support Ring Dimensions

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

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(a) 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

TABLE 2 Minimum Size of Specimen

Geometry	Specimen Diameter, mm (in.)	Square Specimen, mm (in.)
FA	25 (1.0)	25 by
25 (1.0 by 1.0)		
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	25 (1.0)	25 by
25 (1.0 by 1.0)		
FE	25 (1.0)	25 by
25 (1.0 by 1.0)		

tested. The optimal increments in tup mass range from 10 g or less for materials of low impact resistance, to 1 kg or higher for materials of high impact resistance.

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

7.5 The mass of the tup head and shaft assembly and the additional mass required must be known to within an accuracy of ± 1 %.

8. Hazards

8.1 Safety Precautions:

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

8.1.2 When heavy weights are used, it is hazardous for an operator to attempt to catch a rebounding tup. Figure 2 of Test Method D2444 shows an effective mechanical "rebound catcher" employed in conjunction with a drop tube.

9. Sampling

9.1 Sample the material to meet the requirements of Section 14.

10. Test Specimens

10.1 Flat test specimens shall be large enough so that they can be clamped firmly if clamping is desirable. See Table 2 for the minimum size of specimen that can be used for each test geometry.

10.2 The thickness of any specimen in a sample shall not differ by more than 5 % from the average specimen thickness of that sample. However, if variations greater than 5 % are unavoidable in a sample that is obtained from parts, the data shall not be used for referee purposes. For compliance with ISO 6603-1 the test specimen shall be 60 ± 2 mm (2.4 ± 0.08 in.) in diameter or 60 ± 2 mm (2.4 ± 0.08 in.) square with a thickness of 2 ± 0.1 mm (0.08 ± 0.004 in.). Machining specimens to reduce thickness variation is not permissible.

10.3 When the approximate mean failure mass for a given sample is known, 20 specimens will usually yield sufficiently precise results. If the approximate mean failure mass is unknown, six or more additional specimens should be used to determine the appropriate starting point of the test. For compliance with ISO 6603-1 a minimum of 30 specimens must be tested.

10.4 Carefully examine the specimen visually to ensure that samples are free of cracks or other obvious imperfections or damages, unless these imperfections constitute variables under study. Samples known to be defective should not be tested for specification purposes. Production parts, however, should be tested in the as-received condition to determine conformance to specified standards.

10.5 Select a suitable method for making the specimen that will not affect the impact resistance of the material.

10.6 Specimens range from having flat smooth surfaces on both sides, being textured on one side and smooth on the other side, or be textured on both surfaces. When testing, special attention must be paid to how the specimen is positioned on the support.

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

11. Conditioning

11.1 Unless otherwise specified, by contract or relevant ASTM material specification, condition the test specimens in accordance with Procedure A of Practice D618, for those tests where conditioning is required. Temperature and humidity tolerances shall be in accordance with Section 7 of Practice D618, unless otherwise specified by contract or relevant ASTM material specification. For compliance with ISO requirements, the specimens must be conditioned for a minimum of 16 h prior to testing or post conditioning in accordance with ISO 291, unless the period of conditioning is stated in the relevant ISO specification for the material.

11.1.1 Note that for some hygroscopic materials, such as polyamides, the material specifications (for example, Classification System D6779) call for testing "dry as-molded specimens". Such requirements take precedence over the above routine preconditioning to 50 % RH and require sealing the specimens in water vapor-impermeable containers as soon as molded and not removing them until ready for testing.

11.2 Conduct tests at the same temperature and humidity used for conditioning with tolerances in accordance with Section 7 of Practice D618, unless otherwise specified by contract or relevant ASTM material specification.

11.3 When testing is desired at temperatures other than 23°C, transfer the materials to the desired test temperature within 30 min, preferably immediately, after completion of the preconditioning. Hold the specimens at the test temperature for no more than 5 h prior to test, and, in no case, for less than the time required to ensure thermal equilibrium in accordance with Section 10 of Test Method D618.

12. Procedure

12.1 Determine the number of specimens for each sample to be tested, as specified in 10.3.

12.2 Mark the specimens and condition as specified in 11.1.

12.3 Prepare the test apparatus for the geometry (FA, FB, FC, FD, FE) selected.

12.4 Measure and record the thickness of each specimen in the area of impact. In the case of injection molded specimens, it is not necessary to measure each specimen. It is sufficient to

$$B \leq C_{s1} / n_i \quad (5)$$

The above calculation is valid for $[B/N - (AN)^2] > 0.3$. 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:

$$s_{\bar{h}} \leq G s_w / \sqrt{N} \quad (6)$$

or

$$s_{\bar{h}} \leq G s_k / \sqrt{N} \quad (7)$$

where:

$s_{\bar{h}}$ = estimated standard deviation of the mean height, mm,

s_w = estimated standard deviation of the mean mass, kg,

and

G = factor that is a function of s/d (see Appendix X2).

A sample computation of s_w is found in Appendix X1.

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

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

$$S_{MEZ} \leq S_{\bar{h}} w f \quad (8)$$

or

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

where:

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

14. Report

14.1 Report the following information:

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

14.1.2 Method of preparation of specimens,

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

14.1.4 If the specimen is textured, report whether textured surface faces upward towards the dart or downward away from the dart,

14.1.5 Means of clamping, if any,

14.1.6 Statement of geometry (FA, FB, FC, FD, FE) and procedure used—constant mass or constant height,

14.1.7 Thickness of specimens tested (average and range),

14.1.8 Number of test specimens employed to determine the mean failure height or mass,

14.1.9 Mean-failure energy,

14.1.10 Types of failure, for example: (a) crack or cracks on one surface only (the plaque could still hold water), (b) cracks that penetrate the entire thickness (water would probably penetrate through the plaque), (c) brittle shatter (the plaque is in several pieces after impact), or (d) ductile failure (the plaque is penetrated by a blunt tear). Report other observed deformation due to impact, whether the specimens fail or not,

TABLE 3 Precision, Method FB

Material	Mean, J	Values Expressed as Percent of the Mean	
		V_r	r
Polymethyl Methacrylate (PMMA)	0.35	12.6	35.7
Styrene-Butadiene (SB) ^a	9.28	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.

$r = 2.63 V_r$.

14.1.11 If atypical deformation for any specimen within a sample for that material is observed, note the assignable cause, if known,

14.1.12 Date of test and operator's identification,

14.1.13 Test temperature,

14.1.14 In no case shall results obtained with arbitrary geometries differing from those contained in these test methods be reported as values obtained by this test method (D5628), and

14.1.15 The test method number and published/revision date.

15. Precision and Bias

15.1 Tables 3 and 4 are based on a round robin⁵ conducted in 1972 involving three materials tested by six laboratories. Data from only four laboratories were used in calculating the values in these tables. Each test result was the mean of multiple individual determinations (Bruceton Staircase Procedure). Each laboratory obtained one test result for a material.

NOTE 8—The number of laboratories participating in the 1972 round robin and the number of results collected do not meet the minimum requirements of Practice E691. Data in Tables 3 and 4 should be used only for guidance, and not as a referee when there is a dispute between users of this test method.

15.1.1 *Polymethylmethacrylate (PMMA)*—Specimens were cut from samples of 3.18-mm (0.125-in.) thickness extruded sheet.

15.1.2 *Styrene-Butadiene (SB)*—Specimens were cut from samples of 2.54-mm (0.100-in.) thickness extruded sheet.

15.1.3 *Acrylonitrile-Butadiene-Styrene (ABS)*—Specimens were cut from samples of 2.64-mm (0.104-in.) thickness extruded sheet. (Warning—The following explanations of r and R (15.2-15.2.3) are only intended to present a meaningful way of considering the approximate precision of this test method. The data in Tables 3 and 4 should not be rigorously applied to acceptance or rejection of material, as those data are specific to the round robin and not necessarily representative of other lots, conditions, materials, or laboratories. Users of this test method should apply the principles outlined in Practice E691 to generate data specific to their laboratory and materials, or between specific laboratories. The principles of 15.2-15.2.3 would then be valid for such data.)

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

⁵ Supporting data are available from ASTM Headquarters. Request RR.D20-1090.

TABLE 4 Precision, Method FC

Material	Mean, J	of the Mean	
		V_r	r
Polymethyl Methacrylate (PMMA)	1.93	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

X1.1 See below.

Total Dart Mass, kg	Outcome of Test (X = failure; O = non-failure)																				n_x	n_o	f	n_1	n_2	βn_1
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20						
9.00						X															1	0	2	1	2	4
8.00					O		X		X				X		X						4	1	1	4	4	4
7.00		X		O			O		X		O		O		X		X		O	4	5	0	4	0	0	
6.00	O		O							O							O		O	0	5					
Totals																					9	11		8	8	8
																					(N_x)	(N_o)		(N)	(A)	(B)

$w_o = 7.00; N = N_x = 9; d = 1.00$
 $w = w_o + d(A/N - 0.5)$
 $= 7.00 + 1.00(8/9 - 0.5)$
 $= 7.17 \text{ kg}$
 $s = 1.620 \sqrt{[(w/B - A^2)/9^2] + 0.029}$
 $= 1.620 \sqrt{[(1.00/((9.8 - 6^2)/9^2) + 0.029]}$
 $= 0.77 \text{ kg}$
 $s/d = 0.77/1.00 = 0.77; G = 1.035 \text{ (from Table X1.1)}$
 $s_w = Gs/\sqrt{N} = 1.035(0.77)/\sqrt{9} = 0.27 \text{ kg}$

ANEXO 4

RESULTADOS PREVIOS DE ENSAYOS DE TRACCIÓN Y FLEXIÓN DE LABORATORIO DE FIBRA DE VIDRIO Y RESINA POLIÉSTER.



Centro de Fomento Productivo
Metalmecánico Carrocero



Honorable Gobierno
Provincial de Tungurahua

RECEPCIÓN E IDENTIFICACIÓN DE MUESTRAS

Informe N°: 180462675020190718-EFC	
DATOS DEL CLIENTE	
Empresa / Cliente: Diego Geovanny Ramos Guallaguaman	
Dirección: Pelileo, Via a Huambalo	
Núm. de cédula / RUC: 1804626750	Teléfono: 0969572259
E-mail: rdiegeovanny@yahoo.es	

DATOS INFORMATIVOS
Laboratorio: Resistencia de Materiales
Designación del material: Resina poliéster – con fibra de vidrio.
Método de ensayo: ASTM D7264-2015 Método de prueba estándar para propiedades de flexión de Polímeros de matriz de material compuesto.

Número de Probetas cuantificadas

N°	Identificación del grupo	Fracción volumétrica	Denominación	Probetas a Ensayar
1	180462675020190718-EFC 01	25% DE RESINA POLIÉSTER 75 % DE FIBRA DE VIDRIO	F-RPFV	5
			Total	5

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



Centro de Fomento Productivo
Metalmecánico Carrocero



ENSAYO SOLICITADO			
No.	No. DE PROBETA	DESCRIPCIÓN	FECHAS RECEPCIÓN
1	180462675020190718-EFC 01-1	Cumple con los criterios dimensionales	2019/07/19

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.

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.

Elaborado por:	Aprobado por:
Ing. Fernando Galarza Mg. Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC	Ing. Esteban López Espinel MEng. Director Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC
Cliente	

LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES
ENSAYO DE FLEXIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS
INFORME DE RESULTADOS N°: 180462675020190718-EFC

DATOS GENERALES

DATOS INFORMATIVOS:

N° de proforma: RM_2019_047

Empresa / Cliente: Ing. Diego Geovanny Ramos Guailaguaman.

RUC/C.I.: 1804626750

Ciudad: Pelileo

Dirección: Pelileo, vía a Huambalo. Teléfono: 0969572259

Correo: rdiegegeovanny@yahoo.es

DATOS DEL ENSAYO:

Lugar de Ejecución del Ensayo: Laboratorio de Resistencia de Materiales.

Dirección: Ambato/Catigata, Toronto y Río de Janeiro,

Método de ensayo: ASTM D7264-2015: Método de prueba estándar para propiedades de flexión de materiales compuestos de matriz de polímero,

Tipo de ensayo: Cuantitativo Procedimiento: A

Equipo utilizado: Máquina de ensayos universal Polímeros Metrotest 50 KN

Modelo: MTE 50. Serie: 8210M002

Velocidad de ensayo: 10 mm/min, Precarga: 0,01 N Distancia entre apoyos: 128 mm

Fecha de Inicio de Ensayo: 2019/07/19 Fecha de Finalización de Ensayo: 2019/07/19

Los resultados obtenidos en el presente informe corresponden a ensayos realizados en probetas de **resina poliéster con fibra de vidrio**. Las probetas fueron recibidas en el Laboratorio de Resistencia de Materiales del CFPMC del H.G.P. Tungurahua.


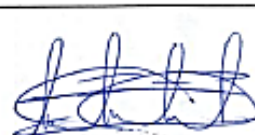
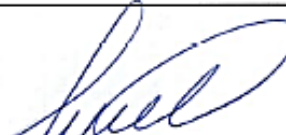
OBJETOS DE ENSAYO

Número de Probetas cuantificadas

N°	Identificación del grupo	Fracción volumétrica	Denominación	Probetas a Ensayar
1	180462675020190718-EFC 01	25% DE RESINA POLIÉSTER 75 % DE FIBRA DE VIDRIO	F-RPFV	5
			Total	5

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

Observaciones: Ninguna.

		
Elaborado por:		Aprobado por:
Ing. Fernando Galarza Mg.	Ing. Fernando Tibán R.	Ing. Esteban López E. MEng.
Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC	Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC	Director Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC



Lugar y Fecha de emisión de Informe: Ambato, 22 de julio de 2019
N°. Factura: 001-002-000007470



Centro de Fomento Productivo
Metalmeccánico Carrotero



Honorable Gobierno
Provincial de Tungurahua

Resultados:

Probeta	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones mm		Fuerza máxima (N)	Esfuerzo máximo de tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (Calculado) (MPa)	% Elongación (Calculado)	Tipo de falla evaluado	
				Ancho	Espesor						
1	180462675020190718-ETC 01-1	22,8	54,3	25,330	3,333	6519,50	67,22	1124,81	6,87	LGM	
2	180462675020190718-ETC 01-2	22,8	54,3	25,67	3,90	9910,20	68,99	1698,17	5,83	LAT	
3	180462675020190718-ETC 01-3	22,8	54,3	25,11	3,93	6771,95	68,62	1337,90	5,13	LAT	
4	180462675020190718-ETC 01-4	22,8	54,3	25,18	4,11	8936,70	66,35	1359,90	6,35	LAB	
5	180462675020190718-ETC 01-5	22,8	54,3	25,45	3,59	10052,21	68,11	1750,44	6,29	LAB	
				Promedio \bar{X}		8438,112	68,242	1454,242	6,092		
				Desviación estándar S_{n-1}		1693,968	16,581	263,722	0,652		
				Coeficiente de variación CV		20,075	18,791	18,135	10,695		

Nomenclatura:

De tipo de falla evaluado: El tipo de falla evaluado se lo realiza mediante los criterios de la norma ASTM D3039-2015.

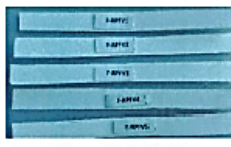
Primer carácter	Tipo de falla	Segundo carácter	Area de la falla	Tercer carácter	Localización de falla
L	Lateral	A	En el agarre	T	Parte superior
G	Agarre	I	Dentro del agarre	U	Desconocido
A	Angular	G	Zona calibrada	M	Medio



HOJA DE ALMACENAMIENTO DE MUESTRAS

Informe N°: 180462675020190718-EFC	
DATOS DEL CLIENTE	
Empresa / Cliente: Diego Geovanny Ramos Guallaguanan	
Dirección: Pelileo, Vía a Huambalo	
Núm. de cédula / RUC: 1804626750	Teléfono: 0969572259
E-mail: rdiegogeovanny@yahoo.es	

DATOS INFORMATIVOS
Laboratorio: Resistencia de Materiales
Designación del material: Resina poliéster con fibra de vidrio.
Método de ensayo: ASTM D 7264-2015 Método de prueba estándar para propiedades de flexión de Polímeros de matriz de material compuesto.

N°	IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	FECHA INGRESO	FECHA ELIMINACIÓN	RESPONSABLE	OBSERVACIONES	EVIDENCIAS
1	180462675020190718-EFC 01-1	2019/07/19	2019/07/22	Cliente	Se entrega al cliente	
2	180462675020190718-EFC 01-2	2019/07/19	2019/07/22	Cliente	Se entrega al cliente	
3	180462675020190718-EFC 01-3	2019/07/19	2019/07/22	Cliente	Se entrega al cliente	
4	180462675020190718-EFC 01-4	2019/07/19	2019/07/22	Cliente	Se entrega al cliente	
5	180462675020190718-EFC 01-5	2019/07/19	2019/07/22	Cliente	Se entrega al cliente	



Centro de Fomento Productivo
Metalmecánico Carrocero



RECEPCIÓN E IDENTIFICACIÓN DE MUESTRAS

Informe N°: 180462675020190718-ETC	
DATOS DEL CLIENTE	
Empresa / Cliente: Diego Geovanny Ramos Guallaguanan.	
Dirección: Pelileo, Vía a Huambalo	
Núm. de cédula / RUC: 1804626750	Teléfono: 0969572259
E-mail: rdiegogeovanny@yahoo.es	

DATOS INFORMATIVOS
Laboratorio: Resistencia de Materiales
Designación del material: Resina poliéster con fibra de vidrio.
Método de ensayo: ASTM D3039-2015 Método de prueba estándar para propiedades de tracción de Polímeros de matriz de material compuesto.

Número de Probetas cuantificadas

N°	Identificación del grupo	Fración volumétrica	Denominación	Probetas a Ensayar
1	180462675020190718-ETC 01	25% DE RESINA POLIÉSTER 75 % DE FIBRA DE VIDRIO	F-RPFV	5
			Total	5

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



LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES
ENSAYO DE TRACCIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS
INFORME DE RESULTADOS N°: 180462675020190718-ETC

DATOS GENERALES

DATOS INFORMATIVOS:

N° de proforma: RM_2019_047

Empresa / Cliente: Ing. Diego Geovanny Ramos Guallaguaman.

RUC/C.I.: 1804626750

Ciudad: Pelileo.

Dirección: Pelileo, vía a Huambalo.

Teléfono: 0969572259

Correo: rdiegogcovanny@yahoo.es

DATOS DEL ENSAYO:

Lugar de Ejecución del Ensayo: Laboratorio de Resistencia de Materiales.

Dirección: Ambato/Catiglata. Toronto y Río de Janeiro.

Método de ensayo: ASTM D3039-2015: Método de prueba estándar para propiedades de tracción de materiales compuestos de matriz de polimérica.

Tipo de ensayo: Cuantitativo

Tipo de probeta: Plana

Equipo utilizado: Máquina de ensayos universal Polímeros Metrotest 50KN

Modelo: MTE-50.

Serie: 8210M002

Velocidad de ensayo: 10 mm/min

Precarga: 0,1 kN.

Fecha de Inicio de Ensayo: 2019/07/19. Fecha de Finalización de Ensayo: 2019/07/19.

Los resultados obtenidos en el presente informe corresponden a ensayos realizados en probetas de resina poliéster con fibra de vidrio. Las probetas fueron recibidas en el Laboratorio de Resistencia de Materiales del CFPMC del H.G.P. Tungurahua.

OBJETOS DE ENSAYO

Número de Probetas cuantificadas

N°	Identificación del grupo	Fracción volumétrica	Denominación	Probetas a Ensayar
1	180462675020190718-ETC 01	25% DE RESINA POLIÉSTER 75 % DE FIBRA DE VIDRIO	F-RPFV	5
Total				5

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

Observaciones: Ninguna.

Elaborado por:	Aprobado por:	
Ing. Fernando Galarza Mg. Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC	Ing. Fernando Tióan R. Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC	Ing. Esteban López E. MEng. Director Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC



Lugar y fecha de emisión de informe: Ambato, 22 de julio de 2019
N°. de Factura: 001-002-000007470



Centro de Fomento Productivo
Metalmeccánico Carrizosa



Honorable Gobierno
Provincial de Tungurahua

Resultados:

Probeta	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones mm		Fuerza máxima (N)	Esfuerzo máximo de tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (Calculado) (MPa)	% Elongación (Calculado)	Tipo de falla evaluado
				Ancho	Espesor					
1	180462675020190718-ETC-01-1	22.8	54.3	25,330	3,333	6519,50	77,22	1124,81	6,87	LGM
2	180462675020190718-ETC-01-2	22.8	54.3	25,67	3,90	9910,20	98,99	1698,17	5,83	LAT
3	180462675020190718-ETC-01-3	22.8	54.3	25,11	3,93	6771,95	68,62	1337,90	5,13	LAT
4	180462675020190718-ETC-01-4	22.8	54.3	25,18	4,11	8936,70	86,35	1359,90	6,35	LAB
5	180462675020190718-ETC-01-5	22.8	54.3	25,45	3,59	10052,21	110,02	1750,44	6,29	LAB
				Promedio \bar{X}		8438,112	88,242	1454,242	6,092	
				Desviación estándar S_{n-1}		1693,968	16,581	263,722	0,652	
				Coeficiente de variación CV		20,075	18,791	18,135	10,695	

Nomenclatura:

De tipo de falla evaluado: El tipo de falla evaluado se lo realiza mediante los criterios de la norma ASTM D3039-2015.

Primer carácter	Tipo de falla	Segundo carácter	Área de la falla	Tercer carácter	Localización de falla
L	Lateral	A	En el agarre	T	Parte superior
G	Agarre	I	Dentro del agarre	U	Desconocido
A	Angular	G	Zona calibrada	M	Medio



Centro de Fomento Productivo
Metalmeccánico Carrocero



HOJA DE ALMACENAMIENTO DE MUESTRAS

Informe N°: 180462675020190718-ETC	
DATOS DEL CLIENTE	
Empresa / Cliente: Diego Geovanny Ramos Gualluaman	
Dirección: Peñileo, Vía a Huambalo	
Núm. de cédula / RUC: 1804626750	Teléfono: 0969572259
E-mail: rdiegegeovanny@yahoo.es	

DATOS INFORMATIVOS
Laboratorio: Resistencia de Materiales
Designación del material: Resina poliéster con fibra de vidrio.
Método de ensayo: ASTM D3039-2015 Método de prueba estándar para propiedades de tracción de Polímeros de matriz de material compuesto.

N°	IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	FECHA INGRESO	FECHA ELIMINACIÓN	RESPONSABLE	OBSERVACIONES	EVIDENCIAS
1	180462675020190718-ETC 01-1	2019/07/19	2019/07/22	Cliente	Se entrega al cliente	
2	180462675020190718-ETC 01-2	2019/07/19	2019/07/22	Cliente	Se entrega al cliente	
3	180462675020190718-ETC 01-3	2019/07/19	2019/07/22	Cliente	Se entrega al cliente	
4	180462675020190718-ETC 01-4	2019/07/19	2019/07/22	Cliente	Se entrega al cliente	
5	180462675020190718-ETC 01-5	2019/07/19	2019/07/22	Cliente	Se entrega al cliente	

Código: RG-RM-003
Fecha de Elaboración: 06-07-2016
Fecha de última aprobación: 17-01-2017
Revisión: 3

HOJA DE ALMACENAMIENTO DE MUESTRAS

Página 1 de 2

RESULTADOS DE ENSAYOS DE TRACCIÓN EN LABORATORIO DE LAS 5 COMBINACIONES



Centro de Fomento Productivo
Metalmeccánico Carrocero



Honorable Gobierno
Provincial de Tungurahua

RECEPCIÓN E IDENTIFICACIÓN DE MUESTRAS

Informe N°: 180462675020190212-ETC	
DATOS DEL CLIENTE	
Empresa / Cliente: Diego Geovanny Ramos Guallaguaman.	
Dirección: Vía a Huambaló, Pelileo.	
Núm. de cédula / RUC: 1804626750	Teléfono: 0969572259
E-mail: rdiegegeovanny@yahoo.es	

DATOS INFORMATIVOS
Laboratorio: Resistencia de Materiales
Designación del material: Material compuesto con: Matriz Resina Poliéster- Fibra de cabuya reforzado por fibra de carbono.
Método de ensayo: ASTM D 3039/D 3039M Método de prueba estándar para propiedades de tracción de los materiales compuestos de matriz de polímero.

Número de Probetas cuantificadas

N°	Identificación del grupo	Fracción volumétrica	Denominación	Probetas a Ensayar
1	180462675020190212-ETC 01	25% de Resina Poliéster 75 % de Fibra de Cabuya (tejida)	T-RCT	5
2	180462675020190212-ETC 02	25% de Resina Poliéster 75 % de Fibra de Carbono(tejida)	T-RFC	5
3	180462675020190212-ETC 03	25% de Resina Poliéster 50 % de Fibra de Cabuya (tejida) y 25 % de Fibra de Carbono (tejida)	T-RCT1FC	5
4	180462675020190212-ETC 04	10% de Resina Poliéster 40 % de Fibra de Cabuya (tejida) y 50 % de Fibra de Carbono (tejida)	T-RCT2FC	5
5	180462675020190212-ETC 05	10% de Resina Poliéster 40 % de Fibra de Cabuya (sin tejer) y 50 % de Fibra de Carbono (tejida)	T-RC2FC	5
Total				25

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



ENSAYO SOLICITADO				
No.	No. DE PROBETA	Denominación	DESCRIPCIÓN	FECHAS RECEPCIÓN
1	180462675020190212-ETC 01-1	T-RCT1	Cumple con criterios dimensionales	2019/02/15
2	180462675020190212-ETC 01-2	T-RCT2	Cumple con criterios dimensionales	2019/02/15
3	180462675020190212-ETC 01-3	T-RCT3	Cumple con criterios dimensionales	2019/02/15
4	180462675020190212-ETC 01-4	T-RCT4	Cumple con criterios dimensionales	2019/02/15
5	180462675020190212-ETC 01-5	T-RCT5	Cumple con criterios dimensionales	2019/02/15
6	180462675020190212-ETC 02-1	T-RFC1	Cumple con criterios dimensionales	2019/02/15
7	180462675020190212-ETC 02-2	T-RFC2	Cumple con criterios dimensionales	2019/02/15
8	180462675020190212-ETC 02-3	T-RFC3	Cumple con criterios dimensionales	2019/02/15
9	180462675020190212-ETC 02-4	T-RFC4	Cumple con criterios dimensionales	2019/02/15
10	180462675020190212-ETC 02-5	T-RFC5	Cumple con criterios dimensionales	2019/02/15
11	180462675020190212-ETC 03-1	T-RCT1FC1	Cumple con criterios dimensionales	2019/02/15
12	180462675020190212-ETC 03-2	T-RCT1FC2	Cumple con criterios dimensionales	2019/02/15
13	180462675020190212-ETC 03-3	T-RCT1FC3	Cumple con criterios dimensionales	2019/02/15
14	180462675020190212-ETC 03-4	T-RCT1FC4	Cumple con criterios dimensionales	2019/02/15
15	180462675020190212-ETC 03-5	T-RCT1FC5	Cumple con criterios dimensionales	2019/02/15
16	180462675020190212-ETC 04-1	T-RCT2FC1	Cumple con criterios dimensionales	2019/02/15
17	180462675020190212-ETC 04-2	T-RCT2FC2	Cumple con criterios dimensionales	2019/02/15
18	180462675020190212-ETC 04-3	T-RCT2FC3	Cumple con criterios dimensionales	2019/02/15
19	180462675020190212-ETC 04-4	T-RCT2FC4	Cumple con criterios dimensionales	2019/02/15
20	180462675020190212-ETC 04-5	T-RCT2FC5	Cumple con criterios dimensionales	2019/02/15
21	180462675020190212-ETC 05-1	T-RC2FC1	Cumple con criterios dimensionales	2019/02/15
22	180462675020190212-ETC 05-2	T-RC2FC2	Cumple con criterios dimensionales	2019/02/15
23	180462675020190212-ETC 05-3	T-RC2FC3	Cumple con criterios dimensionales	2019/02/15
24	180462675020190212-ETC 05-4	T-RC2FC4	Cumple con criterios dimensionales	2019/02/15
25	180462675020190212-ETC 05-5	T-RC2FC5	Cumple con criterios dimensionales	2019/02/15

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.

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.

Elaborado por: Ing. Fernando Tibán R. Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC	Aprobado por: Ing. Esteban López Espinel MEng. Director Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC
Cliente	

LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES
ENSAYO DE TRACCIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS
INFORME DE RESULTADOS N°: 180462675020190212-ETC

DATOS GENERALES

DATOS INFORMATIVOS:

N° de proforma: RM_2019_015

Empresa / Cliente: Diego Geovanny Ramos Guallaguaman.

RUC/C.I.: 1804626750

Ciudad: Pelileo.

Dirección: Vía a Huambaló.

Teléfono: 0969572259

Correo: rdiegegeovanny@yahoo.es

DATOS DEL ENSAYO:

Lugar de Ejecución del Ensayo: Laboratorio de Resistencia de Materiales.

Dirección: Ambato/Catiglatá. Toronto y Río de Janeiro.

Método de ensayo: ASTM D3039-2015: Método de prueba estándar para propiedades de tracción de materiales compuestos de matriz de polimérica.

Tipo de ensayo: Cuantitativo

Tipo de probeta: Plana

Equipo utilizado: Máquina de ensayos universal Polímeros Metrotest 50KN

Modelo: MTE-50.

Serie: 8210M002

Velocidad de ensayo: 10 mm/min.

Precarga: 0 KN.

Fecha de Inicio de Ensayo: 2019/02/25. Fecha de Finalización de Ensayo: 2019/02/26.

Los resultados obtenidos en el presente informe corresponden a ensayos realizados en probetas de *Material compuesto*. Las probetas fueron recibidas en el Laboratorio de Resistencia de Materiales del CFPMC del H.G.P. Tungurahua.


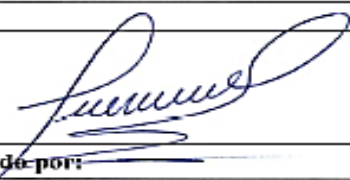
OBJETOS DE ENSAYO

Número de Probetas cuantificadas

N°	Identificación del grupo	Fracción volumétrica	Denominación	Probetas a Ensayar
1	180462675020190212-ETC 01	25% de Resina Poliéster 75 % de Fibra de Cabuya (tejida)	T-RCT	5
2	180462675020190212-ETC 02	25% de Resina Poliéster 75 % de Fibra de Carbono(tejida)	T-RFC	5

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

Observaciones: Ninguna.

	
Elaborado por:	Aprobado por:
Ing. Fernando Tibán R.	Ing. Esteban López Espinel MEng.
Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC	Director Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC

Lugar y fecha de emisión de informe: Ambato, 02 de marzo de 2019

N°. de Factura: 001-002-000006578





3	180462675020190212-ETC 03	25% de Resina Poliéster 50 % de Fibra de Cabuya (tejida) y 25 % de Fibra de Carbono (tejida)	T-RCT1FC	5
4	180462675020190212-ETC 04	10% de Resina Poliéster 40 % de Fibra de Cabuya (tejida) y 50 % de Fibra de Carbono (tejida)	T-RCT2FC	5
5	180462675020190212-ETC 05	10% de Resina Poliéster 40 % de Fibra de Cabuya (sin tejer) y 50 % de Fibra de Carbono (tejida)	T-RC2FC	5
Total				25





Centro de Fomento Productivo
Metalmeccánico Carrizero



Honorable Gobierno
Provincial de Tungurahua

Resultados:

Prob eta	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones mm		Fuerza máxima (N)	Esfuerzo máximo de tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (Calculado) (MPa)	% Elongación (Calculado)	Tipo de falla evaluado	
				Ancho	Espesor						
1	180462675020190212-E1C-01-1	24,5	50,6	24,74	6,94	7103,29	41,37	1087,92	3,80	LGM	
2	180462675020190212-E1C-01-2	24,5	50,6	24,91	7,07	8389,20	47,64	1219,29	3,91	LGT	
3	180462675020190212-E1C-01-3	24,5	50,6	25,38	7,10	8109,93	45,01	1191,00	3,78	LGM	
4	180462675020190212-E1C-01-4	24,5	50,6	24,46	7,01	8439,69	49,22	1270,42	3,87	LGT	
5	180462675020190212-E1C-01-5	24,5	50,6	24,95	6,82	7477,23	43,94	1205,76	3,64	LGM	
				Promedio \bar{X}		7903,868	45,435	1194,878	3,801		
				Desviación estándar S_{n-1}		589,080	3,086	66,850	0,102		
				Coeficiente de variación CV		7,453	6,793	5,595	2,683		

Prob eta	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones mm		Fuerza máxima (N)	Esfuerzo máximo de tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (Calculado) (MPa)	% Elongación (Calculado)	Tipo de falla evaluado	
				Ancho	Espesor						
6	180462675020190212-E1C-02-1	24,2	52,8	24,9	6,5	17777,15	109,84	3132,12	3,51	LIT	
7	180462675020190212-E1C-02-2	24,2	52,8	24,16	6,77	11885,62	72,67	2888,19	2,52	AIT	
8	180462675020190212-E1C-02-3	24,2	52,8	24,16	6,77	15063,32	92,09	2898,98	3,18	SGM	
9	180462675020190212-E1C-02-4	24,2	52,8	24,9	6,82	15486,17	91,19	2567,36	3,55	AIT	
10	180462675020190212-E1C-02-5	24,2	52,8	24,76	6,46	18621,28	116,42	3292,04	3,54	LIT	
				Promedio \bar{X}		15766,708	96,442	2955,738	3,258		
				Desviación estándar S_{n-1}		2637,554	17,250	275,149	0,442		
				Coeficiente de variación CV		16,729	17,886	9,309	13,582		

Código: ICG-RM-004
Fecha de Elaboración: 11-05-2016
Fecha de última aprobación: 21-06-2017
Revisión: 7

INFORME DE ENSAYO DE TRACCIÓN MATERIALES COMPUESTOS

Página 3 de 5



Centro de Fomento Productivo
Metalmecánico Ca.rocero



Honorable Gobierno
Provincial de Tungurahua

Prob eta	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones mm		Fuerza máxima (N)	Esfuerzo máximo de tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (Calculado) (MPa)	% Elongación (Calculado)	Tipo de falla evaluado	
				Ancho	Espesor						
11	180462675020190212-ETC 03-1	23,7	54,2	25,59	6,86	7038,6	40,10	1484,57	2,70	LIT	
12	180462675020190212-ETC 03-2	23,7	54,2	25,31	7,31	6931,30	37,46	1552,69	2,41	LGM	
13	180462675020190212-ETC 03-3	23,7	54,2	25,31	7,31	7227,93	39,07	1462,51	2,67	AGT	
14	180462675020190212-ETC 03-4	23,7	54,2	25,14	6,82	6891,86	40,20	1280,30	3,14	LGT	
15	180462675020190212-ETC 03-5	23,7	54,2	24,86	7,67	5542,84	29,07	1339,85	2,17	LGM	
						Promedio \bar{X}	37,178	1423,982	2,619		
						Desviación estándar S_{p-1}	674,384	4,664	111,177	0,362	
						Coefficiente de variación CV	10,026	7,807	13,833		

Prob eta	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones mm		Fuerza máxima (N)	Esfuerzo máximo de tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (Calculado) (MPa)	% Elongación (Calculado)	Tipo de falla evaluado	
				Ancho	Espesor						
16	180462675020190212-ETC 04-1	23,8	56,9	24,69	6,04	10505,04	70,44	2157,66	3,26	AIT	
17	180462675020190212-ETC 04-2	23,8	56,9	24,19	6,27	9654,60	63,65	2143,55	2,97	LGT	
18	180462675020190212-ETC 04-3	23,8	56,9	24,9	6,40	7712,32	48,40	1770,92	2,73	AIT	
19	180462675020190212-ETC 04-4	23,8	56,9	25,22	6,13	8769,45	56,72	1296,84	4,37	LGT	
20	180462675020190212-ETC 04-5	23,8	56,9	24,62	6,01	9291,7	62,80	2076,59	3,02	LGT	
						Promedio \bar{X}	60,403	1889,112	3,273		
						Desviación estándar S_{p-1}	1038,734	8,289	366,318	0,644	
						Coefficiente de variación CV	11,307	13,723	19,671		

Código: RG-RM-004
Fecha de Elaboración: 11-05-2016
Fecha de última aprobación: 21-06-2017
Revisión: 7

INFORME DE ENSAYO DE TRACCIÓN MATERIALES COMPUESTOS

Página 4 de 5



Centro de Fomento Productivo
Metalmeccánico Carrocero



Honorable Gobierno
Provincial de Tungurahua

Prob eta	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones mm		Fuerza máxima (N)	Esfuerzo máximo de tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (Calculado) (MPa)	% Elongación (Calculado)	Tipo de falla evaluado	
				Ancho	Espesor						
21	180462675020190212-EITC 05-1	25.1	56.1	24.32	6.27	9802.92	64.29	1850.74	3.47	LGT	
22	180462675020190212-EITC 05-2	25.1	56.1	24.94	6.24	9457.37	60.77	2155.88	2.82	LGT	
23	180462675020190212-EITC 05-3	25.1	56.1	26.07	6.48	8491.76	50.27	1649.82	3.05	AGT	
24	180462675020190212-EITC 05-4	25.1	56.1	25.46	6.44	8968.25	54.70	1743.50	3.14	LGM	
25	180462675020190212-EITC 05-5	25.1	56.1	25.1	6.35	9968.58	62.54	2197.30	2.85	LGT	
				Promedio \bar{X}		9337.776	58.513	1919.449	3.065		
				Desviación estándar S_{n-1}		608.455	5.858	245.704	0.265		
				Coeficiente de variación CV		6.516	10.011	12.801	8.647		

Nomenclatura:

De tipo de falla evaluado: El tipo de falla evaluado se lo realiza mediante los criterios de la norma ASTM D3039-2015.

Primer carácter	Tipo de falla	Segundo carácter	Area de la falla		Tercer carácter	Localización de falla
			En el agarre	Dentro del agarre		
L	Lateral	A			T	Parte superior
G	Agarre	I			U	Desconocido
A	Angular	G			M	Medio
S	A lo largo, partido					

Código: RG-RM-004
Fecha de Elaboración: 11-05-2016
Fecha de última aprobación: 21-06-2017
Revisión: 7

INFORME DE ENSAYO DE TRACCIÓN MATERIALES COMPUESTOS

Página 5 de 5



Centro de Fomento Productivo
Metalmecánico Carrizero



Honorable Gobierno
Provincial de Tungurahua

HOJA DE ALMACENAMIENTO DE MUESTRAS

Informe N°: 180462675020190212-ETC
DATOS DEL CLIENTE
Empresa / Cliente: Diego Geovanny Ramos Guallaguaman.
Dirección: Vía a Huambaló, Pelileo.
Núm. de cédula / RUC: 1804626750
E-mail: rdiegeovanny@yahoo.es
Teléfono: 0969572259

DATOS INFORMATIVOS

Laboratorio: Resistencia de Materiales.
Designación del material:
Material compuesto con: Matriz Resina Poliéster- Fibra de cabuya reforzado por fibra de carbono.
Método de ensayo:
ASTM D3039-2015: Método de prueba estándar para propiedades de tracción de materiales compuestos de matriz de polimérica.

N°	IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	FECHA INGRESO	FECHA ELIMINACIÓN	RESPONSABLE	OBSERVACIONES	EVIDENCIAS
1	180462675020190212-ETC 01-1	2019/02/15	2019/02/27	Cliente	Se entrega al cliente.	
2	180462675020190212-ETC 01-2	2019/02/15	2019/02/27	Cliente	Se entrega al cliente.	
3	180462675020190212-ETC 01-3	2019/02/15	2019/02/27	Cliente	Se entrega al cliente.	
4	180462675020190212-ETC 01-4	2019/02/15	2019/02/27	Cliente	Se entrega al cliente.	
5	180462675020190212-ETC 01-5	2019/02/15	2019/02/27	Cliente	Se entrega al cliente.	

Código: RG-RM-003
Fecha de Elaboración: 06-07-2016
Fecha de última aprobación: 17-01-2017
Revisión: 3

HOJA DE ALMACENAMIENTO DE MUESTRAS

Página 1 de 3



Centro de Fomento Productivo
Metalmeccánico Carroceiro



Honorable Gobierno
Provincial de Tungurahua

Nº	IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	FECHA INGRESO	FECHA ELIMINACIÓN	RESPONSABLE	OBSERVACIONES	EVIDENCIAS
6	180462675020190212-ETC 02-1	2019/02/15	2019/02/27	Cliente	Se entrega al cliente.	
7	180462675020190212-ETC 02-2	2019/02/15	2019/02/27	Cliente	Se entrega al cliente.	
8	180462675020190212-ETC 02-3	2019/02/15	2019/02/27	Cliente	Se entrega al cliente.	
9	180462675020190212-ETC 02-4	2019/02/15	2019/02/27	Cliente	Se entrega al cliente.	
10	180462675020190212-ETC 02-5	2019/02/15	2019/02/27	Cliente	Se entrega al cliente.	
11	180462675020190212-ETC 03-1	2019/02/15	2019/02/27	Cliente	Se entrega al cliente.	
12	180462675020190212-ETC 03-2	2019/02/15	2019/02/27	Cliente	Se entrega al cliente.	
13	180462675020190212-ETC 03-3	2019/02/15	2019/02/27	Cliente	Se entrega al cliente.	
14	180462675020190212-ETC 03-4	2019/02/15	2019/02/27	Cliente	Se entrega al cliente.	
15	180462675020190212-ETC 03-5	2019/02/15	2019/02/27	Cliente	Se entrega al cliente.	
16	180462675020190212-ETC 04-1	2019/02/15	2019/02/27	Cliente	Se entrega al cliente.	
17	180462675020190212-ETC 04-2	2019/02/15	2019/02/27	Cliente	Se entrega al cliente.	
18	180462675020190212-ETC 04-3	2019/02/15	2019/02/27	Cliente	Se entrega al cliente.	
19	180462675020190212-ETC 04-4	2019/02/15	2019/02/27	Cliente	Se entrega al cliente.	
20	180462675020190212-ETC 04-5	2019/02/15	2019/02/27	Cliente	Se entrega al cliente.	
21	180462675020190212-ETC 05-1	2019/02/15	2019/02/27	Cliente	Se entrega al cliente.	
22	180462675020190212-ETC 05-2	2019/02/15	2019/02/27	Cliente	Se entrega al cliente.	
23	180462675020190212-ETC 05-3	2019/02/15	2019/02/27	Cliente	Se entrega al cliente.	
24	180462675020190212-ETC 05-4	2019/02/15	2019/02/27	Cliente	Se entrega al cliente.	
25	180462675020190212-ETC 05-5	2019/02/15	2019/02/27	Cliente	Se entrega al cliente.	

Código: RG-RM-003
Fecha de Elaboración: 06-07-2016
Fecha de última aprobación: 17-01-2017
Revisión: 3

HORA DE ALMACENAMIENTO DE MUESTRAS

Página 2 de 3

Todas las muestras de los grupos por acuerdo, son entregadas al cliente, el CFPMC no se responsabiliza por el mantenimiento y almacenamiento de las mismas, quedando a responsabilidad del cliente su resguardo.

	
<p>Elaborado por: Ing. Fernando Tibán R. Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC</p>	<p>Aprobado por: Ing. Esteban López Espinel MEng. Director Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC</p>
<p>Cliente</p>	



RESULTADOS DE ENSAYOS DE FLEXIÓN EN EL LABORATORIO DE LAS 5 COMBINACIONES



Centro de Fomento Productivo
Metalmecánico Carrocero



Honorable Gobierno
Provincial de Tungurahua

LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES ENSAYO DE FLEXIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS INFORME DE RESULTADOS N°: 180462675020190212-EFC

DATOS GENERALES

DATOS INFORMATIVOS:

N° de proforma: RM_2019_015

Empresa / Cliente: Ing. Diego Geovanny Ramos Guallaguaman,

RUC/C.I.: 1804626750

Ciudad: Pelileo

Dirección: Pelileo, vía a Huambalo. Teléfono: 0980568361

Correo: rdiegegeovanny@yahoo.es

DATOS DEL ENSAYO:

Lugar de Ejecución del Ensayo: Laboratorio de Resistencia de Materiales,

Dirección: Ambato/Catiglata, Toronto y Río de Janeiro,

Método de ensayo: ASTM D7264-2015: Método de prueba estándar para propiedades de flexión de materiales compuestos de matriz de polímero,

Tipo de ensayo: Cuantitativo

Procedimiento: A

Equipo utilizado: Máquina de ensayos universal Polímeros Metrotest 50 KN

Modelo: MTE 50.

Serie: 8210M002

Velocidad de ensayo: 10 mm/min, Precarga: 0,01 N Distancia entre apoyos: 128 mm

Fecha de Inicio de Ensayo: 2019/02/26 Fecha de Finalización de Ensayo: 2019/10/26

Los resultados obtenidos en el presente informe corresponden a ensayos realizados en probetas de *resina poliéster – fibra de cabuya reforzado con fibra de carbono*, Las probetas fueron recibidas en el Laboratorio de Resistencia de Materiales del CFPMC del H.G.P. Tungurahua.

OBJETOS DE ENSAYO

Número de Probetas cuantificadas

N°	Identificación del grupo	Fración volumétrica	Denominación	Probetas a Ensayar
1	180462675020190212-EFC 01	25% de Resina Poliéster 75 % de Fibra de Cabuya (tejida)	T-RCT	5
2	180462675020190212-EFC 02	25% de Resina Poliéster 75 % de Fibra de Carbono(tejida)	T-RFC	5

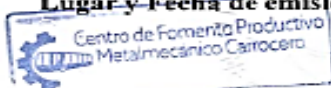
Nota: La fabricación de las probetas en tipo y cantidad es declarada por el cliente,

Observaciones: Ninguna,

Elaborado por:	Aprobado por:	
Ing. Fernando Galarza Mg. Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC	Ing. Fernando Tibán R. Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC	Ing. Esteban López E, MEng. Director Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC

Lugar y Fecha de emisión de Informe: Ambato, 01 de febrero de 2019

N° Factura: 001-002-000006578



Código: RG-RM-005
Fecha de Elaboración: 11-05-2016
Fecha de última aprobación: 18-04-2018
Revisión: 9

INFORME DE ENSAYO DE FLEXIÓN
MATERIALES COMPUESTOS

Página 1 de 5

3	180462675020190212-EFC 03	25% de Resina Poliéster 50 % de Fibra de Cabuya (tejida) y 25 % de Fibra de Carbono (tejida)	T-RCT1FC	5
4	180462675020190212-EFC 04	10% de Resina Poliéster 40 % de Fibra de Cabuya (tejida) y 50 % de Fibra de Carbono (tejida)	T-RCT2FC	5
5	180462675020190212-EFC 05	10% de Resina Poliéster 40 % de Fibra de Cabuya (sin tejer) y 50 % de Fibra de Carbono (tejida)	T-RC2FC	5
Total				25





Centro de Fomento Productivo
Metalmeccánico Carrocero



RECEPCIÓN E IDENTIFICACIÓN DE MUESTRAS

Informe N°: 180462675020190212-EFC	
DATOS DEL CLIENTE	
Empresa / Cliente: Diego Geovanny Ramos Guallaguaman	
Dirección: Pelileo, Via a Huambalo	
Núm. de cédula / RUC: 1804626750	Teléfono: 0969572259
E-mail: rdiegegovanny@yahoo.es	

DATOS INFORMATIVOS
Laboratorio: Resistencia de Materiales
Designación del material: Resina poliéster – fibra de cabuya reforzado con fibra de carbono.
Método de ensayo: ASTM D7264-2015 Método de prueba estándar para propiedades de flexión de Polímeros de matriz de material compuesto.

Número de Probetas cuantificadas

N°	Identificación del grupo	Fracción volumétrica	Denominación	Probetas a Ensayar
1	180462675020190212-ETC 01	25% de Resina Poliéster 75 % de Fibra de Cabuya (tejida)	T-RCT	5
2	180462675020190212-ETC 02	25% de Resina Poliéster 75 % de Fibra de Carbono(tejida)	T-RFC	5
3	180462675020190212-ETC 03	25% de Resina Poliéster 50 % de Fibra de Cabuya (tejida) y 25 % de Fibra de Carbono (tejida)	T-RCT1FC	5
4	180462675020190212-ETC 04	10% de Resina Poliéster 40 % de Fibra de Cabuya (tejida) y 50 % de Fibra de Carbono (tejida)	T-RCT2FC	5
5	180462675020190212-ETC 05	10% de Resina Poliéster 40 % de Fibra de Cabuya (sin tejer) y 50 % de Fibra de Carbono (tejida)	T-RC2FC	5
Total				25

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



ENSAYO SOLICITADO			
No.	No. DE PROBETA	DESCRIPCIÓN	FECHAS RECEPCIÓN
1	180462675020190212- EFC 01-1	Cumple con los criterios dimensionales	2019/02/15
2	180462675020190212- EFC 01-2	Cumple con los criterios dimensionales	2019/02/15
3	180462675020190212- EFC 01-3	Cumple con los criterios dimensionales	2019/02/15
4	180462675020190212- EFC 01-4	Cumple con los criterios dimensionales	2019/02/15
5	180462675020190212- EFC 01-5	Cumple con los criterios dimensionales	2019/02/15
6	180462675020190212- EFC 02-1	Cumple con los criterios dimensionales	2019/02/15
7	180462675020190212- EFC 02-2	Cumple con los criterios dimensionales	2019/02/15
8	180462675020190212- EFC 02-3	Cumple con los criterios dimensionales	2019/02/15
9	180462675020190212- EFC 02-4	Cumple con los criterios dimensionales	2019/02/15
10	180462675020190212- EFC 02-5	Cumple con los criterios dimensionales	2019/02/15
11	180462675020190212- EFC 03-1	Cumple con los criterios dimensionales	2019/02/15
12	180462675020190212- EFC 03-2	Cumple con los criterios dimensionales	2019/02/15
13	180462675020190212- EFC 03-3	Cumple con los criterios dimensionales	2019/02/15
14	180462675020190212- EFC 03-4	Cumple con los criterios dimensionales	2019/02/15
15	180462675020190212- EFC 03-5	Cumple con los criterios dimensionales	2019/02/15
16	180462675020190212- EFC 04-1	Cumple con los criterios dimensionales	2019/02/15
17	180462675020190212- EFC 04-2	Cumple con los criterios dimensionales	2019/02/15
18	180462675020190212- EFC 04-3	Cumple con los criterios dimensionales	2019/02/15
19	180462675020190212- EFC 04-4	Cumple con los criterios dimensionales	2019/02/15
20	180462675020190212- EFC 04-5	Cumple con los criterios dimensionales	2019/02/15
21	180462675020190212- EFC 05-1	Cumple con los criterios dimensionales	2019/02/15
22	180462675020190212- EFC 05-2	Cumple con los criterios dimensionales	2019/02/15
23	180462675020190212- EFC 05-3	Cumple con los criterios dimensionales	2019/02/15
24	180462675020190212- EFC 05-4	Cumple con los criterios dimensionales	2019/02/15
25	180462675020190212- EFC 05-5	Cumple con los criterios dimensionales	2019/02/15



Centro de Fomento Productivo
Metalmeccánico Carroceros



Honorable Gobierno
Provincial de Tungurahua

Resultados:

Probeta	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones mm		Fuerza máxima (N)	Deflexión (mm)	Esfuerzo máximo de flexión (MPa)	Módulo de elasticidad (Calculado) (MPa)	Deformación máxima (%) (Calculado)	Tipo de falla evaluado
				Ancho	Espesor						
1	180462675020190212- EFC 01-1	22,8	53,5	11,68	7,24	222,47	17,259	69,77	1524,64	4,58	OAB
2	180462675020190212- EFC 01-2	22,8	53,5	13,72	7,18	257,18	17,768	69,81	1494,31	4,67	OAB
3	180462675020190212- EFC 01-3	22,8	53,5	13,20	7,18	235,09	16,744	66,33	1506,60	4,40	OAB
4	180462675020190212- EFC 01-4	22,8	53,5	12,94	7,06	225,63	17,491	67,17	1468,17	4,57	OAB
5	180462675020190212- EFC 01-5	22,8	53,5	12,60	7,10	238,25	18,173	72,02	1524,16	4,73	OAB
				Promedio \bar{X}		235,724	17,53	69,02	1503,64	4,59	
				Desviación estándar S_{N-1}		13,645	0,54	2,28	23,42	0,12	
				Coeficiente de variación CV		5,788	3,11	3,31	1,56	2,68	

Probeta	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones mm		Fuerza máxima (N)	Deflexión (mm)	Esfuerzo máximo de flexión (MPa)	Módulo de elasticidad (Calculado) (MPa)	Deformación máxima (%) (Calculado)	Tipo de falla evaluado
				Ancho	Espesor						
6	180462675020190212- EFC 02-1	23,5	52,4	12,58	6,28	364,47	9,499	141,05	6456,46	2,18	OAB
7	180462675020190212- EFC 02-2	23,5	52,4	12,66	6,42	353,43	8,73	130,05	6336,07	2,05	OAB
8	180462675020190212- EFC 02-3	23,5	52,4	12,58	6,42	350,27	9,389	129,70	5875,81	2,21	OAB
9	180462675020190212- EFC 02-4	23,5	52,4	12,40	6,28	318,72	9,167	125,13	5935,42	2,11	OAB
10	180462675020190212- EFC 02-5	23,5	52,4	12,32	6,22	339,23	9,011	136,65	6657,47	2,05	OAB
				Promedio \bar{X}		345,224	9,16	132,52	6252,25	2,12	
				Desviación estándar S_{N-1}		17,332	0,31	6,29	337,28	0,07	
				Coeficiente de variación CV		5,021	3,34	4,75	5,39	3,42	

Código: RG-RM-005
Fecha de Elaboración: 11-05-2016
Fecha de última aprobación: 18-04-2018
Revisión: 9

INFORME DE ENSAYO DE FLEXIÓN MATERIALES COMPUESTOS

Página 3 de 5

Probeta	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones mm		Fuerza máxima (N)	Deflexión (mm)	Esfuerzo máximo de flexión (MPa)	Módulo de elasticidad (Calculado) (MPa)	Deformación máxima (%) (Calculado)	Tipo de falla evaluado	
				Ancho	Espesor							
11	180462675020190212- EFC 03-1	23,7	56,7	13,40	6,56	149,89	17,775	49,91	1168,74	4,27	OAB	
12	180462675020190212- EFC 03-2	23,7	56,7	12,84	6,76	156,2	20,87	51,11	989,29	5,17	OAV	
13	180462675020190212- EFC 03-3	23,7	56,7	13,82	6,92	171,98	16,049	49,90	1226,80	4,07	OAV	
14	180462675020190212- EFC 03-4	23,7	56,7	13,10	7,40	159,36	14,812	42,65	1062,60	4,01	OAV	
15	180462675020190212- EFC 03-5	23,7	56,7	13,70	6,66	157,78	16,095	49,85	1269,95	3,93	OAB	
				Promedio \bar{X}		159,042	17,12	48,68	1143,48	4,29		
				Desviación estándar S_{n-1}		8,077	2,35	3,41	116,07	0,51		
				Coeficiente de variación CV		5,078	13,70	7,01	10,15	11,82		

Probeta	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones mm		Fuerza máxima (N)	Deflexión (mm)	Esfuerzo máximo de flexión (MPa)	Módulo de elasticidad (Calculado) (MPa)	Deformación máxima (%) (Calculado)	Tipo de falla evaluado	
				Ancho	Espesor							
16	180462675020190212- EFC 04-1	23,7	55,2	13,40	6,10	211,43	13,148	81,41	2771,93	2,94	OAB	
17	180462675020190212- EFC 04-2	23,7	55,2	12,18	6,26	239,83	7,516	96,47	5599,08	1,72	OAT	
18	180462675020190212- EFC 04-3	23,7	55,2	12,84	6,48	255,6	9,379	91,02	4089,63	2,23	OAT	
19	180462675020190212- EFC 04-4	23,7	55,2	12,48	6,80	208,27	8,86	69,29	3140,66	2,21	OAV	
20	180462675020190212- EFC 04-5	23,7	55,2	12,76	5,98	239,83	9,368	100,91	4918,95	2,05	OAT	
				Promedio \bar{X}		230,992	9,65	87,82	4104,05	2,23		
				Desviación estándar S_{n-1}		20,376	2,10	12,66	1183,43	0,44		
				Coeficiente de variación CV		8,821	21,71	14,41	28,84	19,93		

Probeta	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones mm		Fuerza máxima (N)	Deflexión (mm)	Esfuerzo máximo de flexión (MPa)	Módulo de elasticidad (Calculado) (MPa)	Deformación máxima (%) (Calculado)	Tipo de falla evaluado	
				Ancho	Espesor							
21	180462675020190212- EFC 05-1	24,9	58,9	12,90	6,12	266,65	11,36	105,96	4161,88	2,55	OAB	
22	180462675020190212- EFC 05-2	24,9	58,9	12,72	6,16	261,91	11,364	104,18	4064,07	2,56	OAB	
23	180462675020190212- EFC 05-3	24,9	58,9	12,76	6,24	261,91	11,047	101,21	4009,34	2,52	OAB	
24	180462675020190212- EFC 05-4	24,9	58,9	13,30	6,12	260,34	11,878	100,34	3769,31	2,66	OAB	
25	180462675020190212- EFC 05-5	24,9	58,9	12,82	6,14	246,14	12,063	97,78	3604,99	2,71	OAB	
				Promedio \bar{X}		259,390	11,54	101,90	3921,92	2,60		
				Desviación estándar S_{n-1}		7,776	0,42	3,22	228,67	0,08		
				Coeficiente de variación CV		2,998	3,61	3,16	5,83	3,12		

Nomenclatura de tipo de falla evaluado:

El tipo de falla evaluado se lo realiza mediante los criterios de la norma ASTM D7264-2015,

Primer carácter	Segundo carácter	Área de falla	Tercer carácter	Ubicación de falla
O	A	En el punto de carga	B	Fondo
	L	Entre la carga y el punto de apoyo	V	Varios
	U	No conocido	R	Derecha
			M	Medio
			U	Desconocido
			L	Izquierda
			T	Parte superior



Centro de Fomento Productivo
Metalmeccánico Carrizosa



Honorable Gobierno
Provincial de Tungurahua

HOJA DE ALMACENAMIENTO DE MUESTRAS

Informe N°: 180462675020190212-EFC	
DATOS DEL CLIENTE	
Empresa / Cliente: Diego Geovanny Ramos Guailaguaman	
Dirección: Pelileo, Vía a huambalo	
Núm. de cédula / RUC: 1804626750	Teléfono: 0969572259
E-mail: rdiegeovanny@yahoo.es	

DATOS INFORMATIVOS
Laboratorio: Resistencia de Materiales
Designación del material: Resina poliéster – fibra de cabuya reforzado con fibra de carbono.
Método de ensayo: ASTM D 7264-2015 Método de prueba estándar para propiedades de flexión de Polímeros de matriz de material compuesto.

N°	IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	FECHA INGRESO	FECHA ELIMINACIÓN	RESPONSABLE	OBSERVACIONES	EVIDENCIAS
1	180462675020190212- EFC 01-1	2019/02/15	2019/02/28	Cliente	Se entrega al cliente	
2	180462675020190212- EFC 01-2	2019/02/15	2019/02/28	Cliente	Se entrega al cliente	
3	180462675020190212- EFC 01-3	2019/02/15	2019/02/28	Cliente	Se entrega al cliente	
4	180462675020190212- EFC 01-4	2019/02/15	2019/02/28	Cliente	Se entrega al cliente	
5	180462675020190212- EFC 01-5	2019/02/15	2019/02/28	Cliente	Se entrega al cliente	

Código: RG-RM-003
Fecha de Elaboración: 06-07-2016
Fecha de última aprobación: 17-01-2017
Revisión: 3

HOJA DE ALMACENAMIENTO DE MUESTRAS

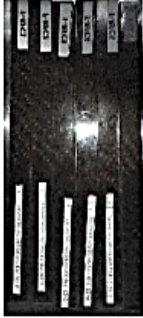

Página 1 de 3




Centro de Fomento Productivo
Metalmecánico Camarero



Honorable Gobierno
Provincial de Tungurahua

1	180462675020190212- EFC 02-1	2019/02/15	2019/02/28	Cliente	Se entrega al cliente	
2	180462675020190212- EFC 02-2	2019/02/15	2019/02/28	Cliente	Se entrega al cliente	
3	180462675020190212- EFC 02-3	2019/02/15	2019/02/28	Cliente	Se entrega al cliente	
4	180462675020190212- EFC 02-4	2019/02/15	2019/02/28	Cliente	Se entrega al cliente	
5	180462675020190212- EFC 02-5	2019/02/15	2019/02/28	Cliente	Se entrega al cliente	
1	180462675020190212- EFC 03-1	2019/02/15	2019/02/28	Cliente	Se entrega al cliente	
2	180462675020190212- EFC 03-2	2019/02/15	2019/02/28	Cliente	Se entrega al cliente	
3	180462675020190212- EFC 03-3	2019/02/15	2019/02/28	Cliente	Se entrega al cliente	
4	180462675020190212- EFC 03-4	2019/02/15	2019/02/28	Cliente	Se entrega al cliente	
5	180462675020190212- EFC 03-5	2019/02/15	2019/02/28	Cliente	Se entrega al cliente	

N°	IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	FECHA INGRESO	FECHA ELIMINACIÓN	RESPONSABLE	OBSERVACIONES	EVIDENCIAS
1	180462675020190212- EFC 04-1	2019/02/15	2019/02/28	Cliente	Se entrega al cliente	
2	180462675020190212- EFC 04-2	2019/02/15	2019/02/28	Cliente	Se entrega al cliente	
3	180462675020190212- EFC 04-3	2019/02/15	2019/02/28	Cliente	Se entrega al cliente	
4	180462675020190212- EFC 04-4	2019/02/15	2019/02/28	Cliente	Se entrega al cliente	
5	180462675020190212- EFC 04-5	2019/02/15	2019/02/28	Cliente	Se entrega al cliente	

Código: RG-RM-003
Fecha de Elaboración: 06-07-2016
Fecha de última aprobación: 17-01-2017
Revisión: 3

HOJA DE ALMACENAMIENTO DE MUESTRAS






Página 2 de 3





Centro de Fomento Productivo
Metalmeccánico Carrocero



Honorable Gobierno
Provincial de Tungurahua

1	180-462675020190212- EFC 05-1	2019/02/15	2019/02/28	Cliente	Se entrega al cliente	
2	180-462675020190212- EFC 05-2	2019/02/15	2019/02/28	Cliente	Se entrega al cliente	
3	180-462675020190212- EFC 05-3	2019/02/15	2019/02/28	Cliente	Se entrega al cliente	
4	180-462675020190212- EFC 05-4	2019/02/15	2019/02/28	Cliente	Se entrega al cliente	
5	180-462675020190212- EFC 05-5	2019/02/15	2019/02/28	Cliente	Se entrega al cliente	

Todas las muestras del grupo por acuerdo, son entregadas al cliente, el CFPMC no se responsabiliza por el mantenimiento y almacenamiento, quedando a responsabilidad del cliente su resguardo.


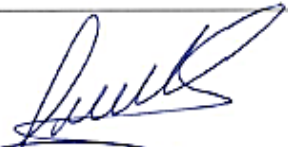

	
Elaborado por: Ing. Fernando Galarza Chacón Mg. Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC	Aprobado por: Ing. Esteban López Espinel MEng. Director Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC
Cliente	





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.

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.

	
Elaborado por:	Aprobado por:
Ing. Fernando Galarza Mg. Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC	Ing. Esteban López Espinel MEng. Director Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC
	
Cliente	

ANEXO 5

DIRECTIVA 96/79/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO

1996L0079 — ES — 10.02.1997 — 000.001 — 1

Este documento es un instrumento de documentación y no compromete la responsabilidad de las instituciones

- B DIRECTIVA 96/79/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO
de 16 de diciembre de 1996
relativa a la protección de los ocupantes de los vehículos de motor en caso de colisión frontal y por la que se
modifica la Directiva 70/156/CEE
(DO L 18 de 21.1.1997, p. 7)

Rectificada por:

- C1 Rectificación, DO L 83 de 25.3.1997, p. 23 (96/79)



**DIRECTIVA 96/79/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL
CONSEJO**

de 16 de diciembre de 1996

**relativa a la protección de los ocupantes de los vehículos de motor en caso
de colisión frontal y por la que se modifica la Directiva 70/156/CEE**

EL PARLAMENTO EUROPEO Y EL CONSEJO DE LA UNIÓN
EUROPEA,

Visto el Tratado constitutivo de la Comunidad Europea y, en particular, su
artículo 100 A,

Vista la Directiva 70/156/CEE del Consejo, de 6 de febrero de 1970, relativa a
la aproximación de las legislaciones de los Estados miembros sobre la
homologación de vehículos de motor y de sus remolques ⁽¹⁾ y, en particular, el
apartado 4 de su artículo 13,

Vista la propuesta de la Comisión ⁽²⁾,

Visto el dictamen del Comité Económico y Social ⁽³⁾,

De conformidad con el artículo 189 B del Tratado ⁽⁴⁾,

Considerando que la armonización total de los requisitos técnicos para los
vehículos de motor es necesaria para alcanzar el mercado interior;

Considerando que, con el fin de reducir el número de víctimas en accidentes
de carretera en Europa es necesario introducir medidas legislativas que
mejoren, en la medida de lo posible, la protección de los ocupantes de los
vehículos de motor en caso de colisión frontal; que la presente Directiva
establece criterios para los ensayos de colisión frontal, en particular criterios
biomecánicos, con el objeto de garantizar un elevado nivel de protección en
caso de colisión frontal;

Considerando que el objetivo de la presente Directiva es introducir requisitos
basados en los resultados de investigaciones realizadas por el European
Experimental Vehicles Committee, que permitirán establecer criterios de
ensayo más acordes con los accidentes de carretera reales;

Considerando que los fabricantes de automóviles deben disponer de un plazo
para aplicar criterios de ensayo aceptables;

Considerando que, con el fin de evitar la duplicación de normas, es necesario
eximir a los vehículos que cumplen los requisitos de la presente Directiva de
la exigencia de reunir requisitos actualmente obsoletos de otra Directiva
referentes al comportamiento del volante y la columna de dirección en caso de
colisión;

Considerando que la presente Directiva debe añadirse a la lista de Directivas
específicas que deben cumplirse para ajustarse a la normativa de
homologación comunitaria establecida en la Directiva 70/156/CEE; que,
por lo tanto, son aplicables a la presente Directiva las disposiciones de la
Directiva 70/156/CEE referentes a los sistemas, componentes y unidades
técnicas independientes de los vehículos;

Considerando que el procedimiento para determinar el punto de referencia en
la posición de sentado en los vehículos de motor figura en el Anexo III de la
Directiva 77/649/CEE del Consejo, de 27 de septiembre de 1977, relativa a la
aproximación de las legislaciones de los Estados miembros sobre el campo de
visión del conductor de los vehículos de motor ⁽⁵⁾; que, por lo tanto, no es
necesario repetirlo en la presente Directiva; que ésta debe referirse a la
Directiva 74/297/CEE del Consejo, de 4 de junio de 1974, relativa a la
aproximación de las legislaciones de los Estados miembros sobre el

⁽¹⁾ DO n° L 42 de 23. 2. 1970, p. 1. Directiva cuya última modificación la constituye
la Directiva 95/54/CE de la Comisión (DO n° L 266 de 8. 11. 1995, p. 1).

⁽²⁾ DO n° C 396 de 31. 12. 1994, p. 34.

⁽³⁾ DO n° C 256 de 2. 10. 1995, p. 21.

⁽⁴⁾ Dictamen del Parlamento Europeo de 12 de julio de 1995 (DO n° C 249 de 25. 9.
1995, p. 50), Posición común del Consejo de 28 de mayo de 1996 (DO n° C 219 de
27. 7. 1996, p. 22) y Decisión del Parlamento Europeo de 19 de septiembre de
1996 (DO n° C 320 de 28. 10. 1996, p. 149). Decisión del Consejo de 25 de octubre
de 1996.

⁽⁵⁾ DO n° L 267 de 19. 10. 1977, p. 1. Directiva cuya última modificación la
constituye la Directiva 90/630/CEE de la Comisión (DO n° L 341 de 6. 12. 1990, p.
20).

3. PROPULSIÓN Y TRAYECTORIA DEL VEHÍCULO

- 3.1. El vehículo será movido por su propio motor o por cualquier otro dispositivo de propulsión.
- 3.2. En el momento de la colisión el vehículo no estará bajo la acción de ningún dispositivo auxiliar de guía o de propulsión.
- 3.3. La trayectoria del vehículo deberá cumplir los requisitos de los puntos 1.2 y 1.3.1.

4. VELOCIDAD DE ENSAYO

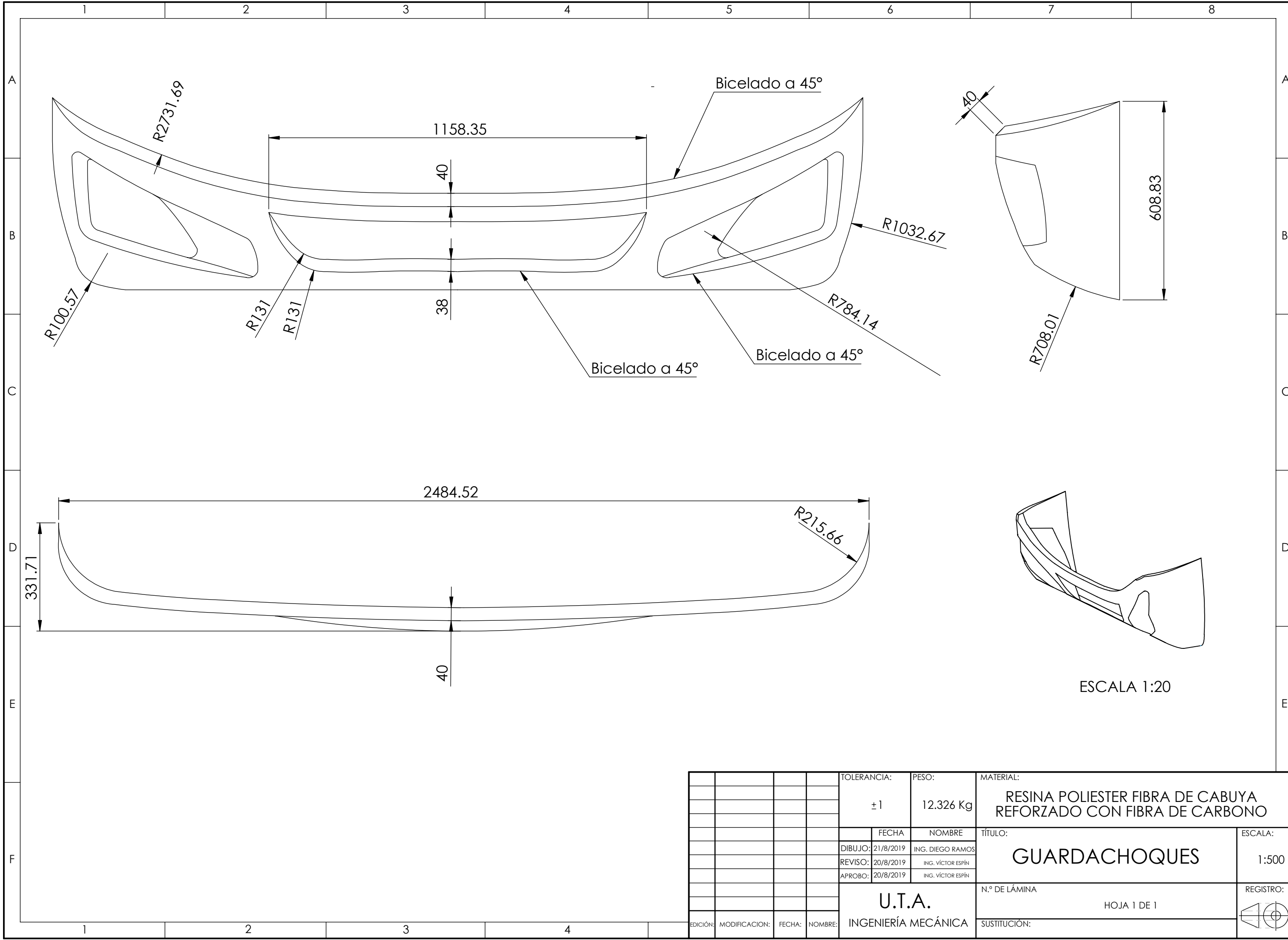
La velocidad del vehículo en el momento del impacto será de $56 - 0 + 1$ km/h. Sin embargo, si el ensayo se efectuara a mayor velocidad y el vehículo cumple los requisitos, se considerará que los resultados son satisfactorios.

5. MEDICIONES EN LOS MANIQUÍES DE LOS ASIENTOS DELANTEROS

- 5.1. Todas las mediciones necesarias para comprobar el cumplimiento de los criterios de comportamiento se realizarán con sistemas de medición que cumplan los requisitos del apéndice 5.
- 5.2. Se registrarán los diferentes parámetros a través de canales de datos independientes pertenecientes a la siguiente clase de canal de frecuencia (CFC):
 - 5.2.1. *Mediciones en la cabeza del maniquí*

La aceleración (a) correspondiente al centro de gravedad se calculará a partir de las componentes triaxiales de la aceleración registradas con una CFC de 1 000.
 - 5.2.2. *Mediciones en el cuello del maniquí*
 - 5.2.2.1. La fuerza de tracción axial y la fuerza de cisión anterior/posterior en la zona de separación cuello/cabeza se medirá con una CFC de 1 000.
 - 5.2.2.2. El momento de flexión alrededor de un eje lateral en la zona de separación cuello/cabeza se medirá con una CFC de 600.
 - 5.2.3. *Mediciones en el tórax del maniquí*

La deformación del tórax entre el esternón y la columna vertebral se medirá con una CFC de 180.
 - 5.2.4. *Mediciones en el fémur y la tibia del maniquí*
 - 5.2.4.1. La fuerza axial de compresión y los momentos de flexión se medirán con una CFC de 600.
 - 5.2.4.2. El desplazamiento de la tibia respecto al fémur se medirá en la articulación móvil de la rodilla con una CFC de 180.



ESCALA 1:20

				TOLERANCIA:	PESO:	MATERIAL:	
				±1	12.326 Kg	RESINA POLIESTER FIBRA DE CABUYA REFORZADO CON FIBRA DE CARBONO	
				FECHA	NOMBRE	TÍTULO:	ESCALA:
				DIBUJO: 21/8/2019	ING. DIEGO RAMOS	GUARDACHOQUES	1:500
				REVISO: 20/8/2019	ING. VÍCTOR ESPÍN		
				APROBO: 20/8/2019	ING. VÍCTOR ESPÍN		
				U.T.A. INGENIERÍA MECÁNICA		N.º DE LÁMINA	REGISTRO:
						HOJA 1 DE 1	
EDICIÓN:	MODIFICACION:	FECHA:	NOMBRE:			SUSTITUCIÓN:	