

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO



FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

CENTRO DE ESTUDIOS DE POSGRADO

MAESTRÍA EN DISEÑO MECÁNICO

Tema: “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.”

Trabajo de Investigación

Previa a la obtención del Grado Académico de Magíster en Diseño Mecánico

Autor: Ing. Juan Gilberto Paredes Salinas.

Director: Ing. Mg. Manolo Alexander Córdova Suárez

Ambato - Ecuador

2012

PÁGINA DE TRIBUNAL DE DEFENSA

Al Consejo de Posgrado de la UTA.

El tribunal receptor de la defensa del trabajo de investigación con el tema: “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.”, presentado por: Ingeniero. Juan Gilberto Paredes salinas y conformado por: Ing. Mg. Edison Viera Alulema, el Ing. Mg. Pablo Valle Velasco, y la Ing. Mg. Santiago Medina Robalino, Miembros del Tribunal, Ing. Mg. Manolo Alexander Córdova Suárez, Director del trabajo de Investigación y presidido por: Ing. Mg. Francisco Pazmiño Gavilanes Presidente del Tribunal; Ing. Mg. Juan Garcés Chávez Director del CEPOS – UTA, una vez escuchada la defensa oral el Tribunal aprueba y remite el trabajo de investigación para uso y custodia en las bibliotecas de la UTA.

Ing. Mg. Francisco Pazmiño Gavilanes
Presidente del Tribunal de Defensa
CEPOS

Ing. Mg. Juan Garcés Chávez
DIRECTOR

Ing. Mg. Manolo Córdova Suárez
Director de Trabajo de Investigación

Ing. Mg. Edison Viera Alulema
Miembro del Tribunal

Ing. Mg. Pablo Valle Velasco
Miembro del Tribunal

Ing. Mg. Santiago Medina Robalino
Miembro del Tribunal

AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

La responsabilidad de las opiniones, comentarios y críticas emitidas en el trabajo de investigación con el tema “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.”, nos corresponde exclusivamente al Ingeniero Juan Gilberto Paredes Salinas y del Ingeniero Mg. Manolo Alexander Córdova Suárez Director del Trabajo de investigación; y el patrimonio intelectual de la misma a la Universidad Técnica de Ambato.

Ing. Juan Gilberto Paredes Salinas
Autor

Ing. Mg. Manolo Córdova Suárez
Director de Tesis

DERECHOS DE AUTOR

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

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

Ing. Juan Gilberto Paredes Salinas

DEDICATORIA

Al creador de mi vida, quien me ha brindado todas las oportunidades y por quien seguiré construyendo mi futuro, mi DIOS. A mis padres Gilberto y Elvita, mis hermanos Omar, Lucy y Noemí y mi querido sobrino Daniel, quienes han sido mi soporte y ayuda suficiente para el logro alcanzado.

“Todo lo puedo en Cristo que me fortalece”

Filipenses 4:13

AGRADECIMIENTO

A mis Amigos, Docentes y Autoridades de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica quienes han sido facilitadores de sus consejos y enseñanzas. A las empresas fabricantes de carrocerías “Miral” e “Ibimco”, en sus gerentes Ing. José Miranda e Ing. Geovanny Constante por las facilidades y prestación de instalaciones y conocimientos importantes y necesarios para el desarrollo de esta investigación.

“Esfuézate y se valiente, no temas ni desmayes porque Jehová tu Dios estará contigo donde quiera que vayas.”

Josué 1:9

ÍNDICE DE CONTENIDOS

PÁGINAS PRELIMINARES

PORTADA _____	<i>i</i>
PÁGINA DE TRIBUNAL DE DEFENSA _____	<i>ii</i>
AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN _____	<i>iii</i>
DERECHOS DE AUTOR _____	<i>iv</i>
DEDICATORIA _____	<i>v</i>
AGRADECIMIENTO _____	<i>vi</i>
ÍNDICE DE CONTENIDOS _____	<i>vii</i>
ÍNDICE DE ANEXOS _____	<i>xiii</i>
ÍNDICE DE FIGURAS _____	<i>xiii</i>
ÍNDICE DE TABLAS _____	<i>xv</i>
ÍNDICE DE FICHAS _____	<i>xvii</i>
ÍNDICE DE GRÁFICOS _____	<i>xvii</i>
RESUMEN _____	<i>xviii</i>
SUMMARY _____	<i>xix</i>
CAPITULO I _____	<i>20</i>
EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN _____	<i>20</i>
1.1 TEMA DE INVESTIGACIÓN _____	<i>20</i>
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA _____	<i>20</i>
1.2.1 CONTEXTUALIZACIÓN _____	<i>20</i>
1.2.2 ANÁLISIS CRÍTICO _____	<i>26</i>
1.2.3 PROGNOSIS _____	<i>27</i>
1.2.4 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA. _____	<i>28</i>
1.2.5 PREGUNTAS DIRECTRICES. _____	<i>28</i>
1.2.6 DELIMITACIÓN _____	<i>29</i>
1.2.6.1 DELIMITACIÓN DE CONTENIDO _____	<i>29</i>
1.2.6.2 DELIMITACIÓN TEMPORAL _____	<i>29</i>
1.2.6.3 DELIMITACIÓN ESPACIAL _____	<i>29</i>

1.3 JUSTIFICACIÓN	29
1.4 OBJETIVOS GENERALES Y ESPECÍFICOS	31
1.4.1 GENERAL	31
1.4.2 ESPECÍFICOS	32
CAPITULO II	33
MARCO TEÓRICO	33
2.1 ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS	33
2.2 FUNDAMENTACIÓN FILOSÓFICA	36
2.3 FUNDAMENTACIÓN LEGAL	37
2.4 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.	37
2.4.1 INGENIERÍA DE MATERIALES.	37
2.4.2 MATERIALES COMPUESTOS.	39
2.4.2.1 DEFINICIÓN	39
2.4.3 MATERIALES COMPUESTOS DE MATRIZ TERMOESTABLE.	40
2.4.3.1 MATRIZ TERMOESTABLE Y SUS PROPIEDADES.	40
2.4.3.2 REFUERZO DE COMPUESTOS CON FIBRAS.	44
2.4.3.3 COMPUESTOS LIGNOCELULÓSICOS.	45
2.4.3.4 COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LAS FIBRAS VEGETALES	46
2.4.3.5 LONGITUD Y DIÁMETRO DE LAS FIBRAS	49
2.4.3.6 CANTIDAD DE LAS FIBRAS.	51
2.4.3.7 INFLUENCIA DE LA ORIENTACIÓN DE LAS FIBRAS Y LA CONCENTRACIÓN.	51
2.4.3.8 PROPIEDADES MECÁNICAS DE COMPUESTOS REFORZADOS CON FIBRAS	54
2.4.3.8 INFLUENCIA DE LA LONGITUD DE LA FIBRA EN COMPUESTOS REFORZADOS CON FIBRAS DISCONTINUAS ALINEADAS.	55
2.4.3.9 INTERFAZ FIBRA MATRIZ.	56
2.4.4.1 RESINA POLIÉSTER.	64
2.4.4.2 FIBRA DE VIDRIO.	67
2.4.4.3 FIBRA DE CABUYA.	72
2.4.5 MANUFACTURA DE LOS MATERIALES COMPUESTOS HÍBRIDOS.	74
2.4.5.1 ESTRATIFICACIÓN MANUAL	75

2.4.5.2 ESTRATIFICACIÓN DE PREIMPREGNADOS	76
2.4.5.3 MOLDEO POR ASPERSIÓN	76
2.4.6 ENSAYO DE MATERIALES.	80
2.4.6.1 ENSAYO DE TRACCIÓN.	80
2.4.6.2 ENSAYO DE FLEXIÓN	82
2.4.6.3 ENSAYOS DE IMPACTO	83
2.5 CATEGORÍAS FUNDAMENTALES	85
2.6 HIPÓTESIS	86
2.7 SEÑALAMIENTO DE VARIABLES	86
2.7.1 VARIABLE INDEPENDIENTE	86
2.7.2 VARIABLE DEPENDIENTE	86
2.7.3 TERMINO DE RELACIÓN	86
CAPITULO III	87
METODOLOGÍA	87
3.1 ENFOQUE INVESTIGATIVO	87
3.2 MODALIDAD BÁSICA DE LA INVESTIGACIÓN	87
3.2.1 BIBLIOGRÁFICA	87
3.2.2 EXPERIMENTAL	88
3.2.3 APLICADA	88
3.3 NIVEL o TIPO DE INVESTIGACIÓN	88
3.2.1. DESCRIPTIVO	88
3.2.2. ASOCIACIÓN DE VARIABLES	88
3.2.3. EXPLICATIVO	88
3.4 POBLACIÓN Y MUESTRA	89
3.4.1 POBLACIÓN	89
3.4.2 MUESTRA.	89
3.5 OPERALIZACIÓN DE VARIABLES	90
3.6 RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN	92
3.5.1 OBSERVACIÓN.	92
3.5.2 DOCUMENTAL.	92

3.7 PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS _____	92
3.7.1 PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN RECOGIDA. _____	92
3.7.2 ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS. _____	93
CAPITULO IV _____	94
ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS _____	94
4.1 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS. _____	94
4.1.1 PROCESO PROPUESTO PARA EL ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS. _____	94
4.1.2 ENSAYOS PRELIMINARES DEL COMPUESTO (FIBRA DE VIDRIO + RESINA POLIÉSTER). _____	96
4.1.2.1 DETERMINACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICAS. _____	98
4.1.2.2 DETERMINACIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS (TRACCIÓN, FLEXIÓN E IMPACTO). 103	
4.1.2.3 CARACTERÍSTICAS DE RESINA POLIÉSTER UTILIZADA. _____	115
4.1.2.4 CARACTERÍSTICAS DE FIBRA DE VIDRIO UTILIZADA. _____	115
4.1.2.5 DETERMINACIÓN DE LA FRACCIÓN VOLUMÉTRICA _____	115
4.1.3 PROPIEDADES, CONFIGURACIÓN Y FRACCIONES VOLUMÉTRICAS DEL COMPUESTO HIBRIDO EN ESTUDIO. _____	117
4.1.3.1 DETERMINACIÓN DE DENSIDAD DE LA RESINA POLIÉSTER. _____	117
4.1.3.2 DETERMINACIÓN DE DENSIDAD DE LA FIBRA DE VIDRIO. _____	118
4.1.3.3 DETERMINACIÓN DE DENSIDAD DE CABUYA. _____	118
4.1.3.2. PROPUESTA DE CONFIGURACIÓN DEL REFUERZO HIBRIDO. _____	120
4.1.3.3 PROPUESTA DE FRACCIONES VOLUMÉTRICAS DE REFUERZO (FV+FC) Y DE MATRIZ (RP) A UTILIZAR EN EL HIBRIDO PARA LOS PRIMEROS ENSAYOS A TRACCIÓN. 121	
4.1.4 MOLDEO DE PROBETAS DEL HIBRIDO PARA ENSAYOS. _____	125
4.1.4.1 DIMENSIONAMIENTO DE PROBETAS PARA DETERMINAR LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y FÍSICAS DEL NUEVO MATERIAL HIBRIDO EN ESTUDIO Y EN FUNCIÓN DEL ESPESOR PROMEDIO DETERMINADO EN LOS ENSAYOS PRELIMINARES REFERENCIALES. _____	125
4.1.4.2 PROCESO DE OBTENCIÓN DE LAS CONFIGURACIONES DEL MATERIAL HIBRIDO. _____	129
4.1.4.3 PROCESO DE ESTRATIFICACIÓN DE PROBETAS (TRACCIÓN FLEXIÓN E IMPACTO) REQUERIDAS EN EL LITERAL 4.1.4.2. _____	132

4.1.4.4	DIMENSIONAMIENTO, PLANIMETRÍA Y MATERIALES DE MOLDE ÚNICO PARA OBTENCIÓN DE PROBETAS DE TRACCIÓN, FLEXIÓN E IMPACTO.	135
4.1.4.5	CONSTRUCCIÓN DE MOLDE.	136
4.1.4.6	PRUEBAS DE MOLDEO REALIZANDO PROBETAS TESTIGO (FV+RP) Y DETERMINACIÓN DE SUS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS.	138
4.1.4.7	ENSAYO A TRACCIÓN DEL MATERIAL HÍBRIDO	139
4.1.5	ENSAYOS DEL HIBRIDO.	139
4.1.5.1	ENSAYO A FLEXIÓN DEL MATERIAL HÍBRIDO	153
4.1.5.2	ENSAYO A IMPACTO DEL MATERIAL HÍBRIDO	162
4.5.3.	VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS.	169
CAPÍTULO V		170
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		170
5.1	CONCLUSIONES	170
5.2	RECOMENDACIONES	171
CAPITULO VI		172
PROPUESTA		172
6.1	Datos Informativos	172
6.2	Antecedentes de la propuesta	173
6.3	Justificación	174
6.4	Objetivos	175
6.4.1	Objetivo General	175
6.4.2	Objetivos Específicos	175
6.5	Análisis de factibilidad	175
6.5.1	Análisis Tecnológico	176
6.6	Fundamentación	176
6.6.1	Moldes	176
6.6.1.1	Definiciones.	177
6.6.1.2	Moldes Partidos	177
6.6.2	Cálculos de Dilatación Térmica	178
6.6.3	Moldeo por Compresión	179

6.6.4 Fabricación del Molde y Contramolde _____	180
6.6.6 Dosificación los elementos del material compuesto _____	183
6.6.7 Configuración del refuerzo híbrido. _____	183
6.6.8 Comparación de propiedades mecánicas y físicas del compuesto híbrido (resina poliéster + fibra de vidrio + fibra de cabuya) vs el compuesto común (resina poliéster + fibra de vidrio) _____	183
6.6.8.1 Comparación de los esfuerzos máximos a tracción del compuesto híbrido vs el compuesto común. _____	184
6.6.8.2 Comparación de los esfuerzos máximos a Flexión del compuesto híbrido vs el compuesto común. _____	185
6.6.8.3 Comparación de las Resistencias Máximas al Impacto del compuesto híbrido vs el compuesto común. _____	186
6.6.9 Valoración económica por elemento obtenido _____	187
6.6.9.1 Valoración económica por elemento obtenido a través de un compuesto común (Resina Poliéster + Fibra de vidrio) _____	187
6.6.9.2 Valoración económica por elemento obtenido a través de un compuesto híbrido (Resina Poliéster + Fibra de vidrio+ Fibra de cabuya) _____	192
6.6.9.3 Comparación de costos entre elementos fabricados a partir de compuestos híbridos y comunes. _____	196
6.7 Metodología, Modelo operativo _____	197
6.8 Administración _____	212
6.9 Previsión de la evaluación _____	212
BIBLIOGRAFÍA. _____	213
ANEXOS _____	215

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Literatura Técnica	216
Anexo 2: Ficha Técnica de Fibra de Vidrio	219
Anexo 3: Planos de Moldeo	220
Anexo 4: Preparación de Geal Coat 1	224
Anexo 5: Preparación de resina	226
Anexo 6: D 3039 – D 3039M – 00	228
Anexo 7: D 7264D 7264M – 07	241
Anexo 8: D5628 – 10	252
Anexo 9: Gestión de Prevención de Riesgos	263

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Estudio de Materiales Compuestos en Aplicaciones en Países e Industrias	21
Figura 2: Propiedades Mecánica de las Fibras Utilizadas, b.) Resistencia a la flexión de los Compuestos y c.) Pruebas de impacto y densidad.	24
Figura 3: Producción Nacional de Carrocerías para Buses en el Ecuador dentro en la Zona 3.	31
Figura 4: La evolución de materiales de la ingeniería en el tiempo (escala de tiempo no lineal).	33
Figura 5: Tejido 3D de textiles y su micrografía	35
Figura 6: Parámetros del estudio y caracterización del compuesto.	36
Figura 7: Compuestos a.) Madera Contrachapada (laminar); b.) Fibra de Vidrio + Resina Poliéster (Compuesto reforzado); c.) Concreto (compuesto particulado) [9].	38
Figura 8: Diferentes Materiales Compuestos de Ingeniería.	39
Figura 9: Representación esquemática de varias características geométricas y espaciales de partículas en fase dispersa que influyen en las propiedades de los compuestos. a.) Concentración; b.) Tamaño; c.) Forma; d.) Distribución y e.) Orientación (Fuente: Pág. 579[10]).	40
Figura 10: Fibras flemáticas en corte transversal del tallo del lino (Mohanty, 2006)	46
Figura 11: Estructura de la celobiosa, con dos unidades de glucosa.	47
Figura 12: Estructura de celulosa y la celobiosa, con dos unidades de glucosa.	47
Figura 13: Propiedades que la celulosa le confiere a una fibra natura	48
Figura 14: Representación de la relación Resistencia vs Longitud de Fibras (Fibra recortada de Vidrio) en una matriz epóxica cuya fracción en volumen de las fibras de vidrio es de aproximadamente de 0.5.	50
Figura 15: Orientación de la fibra: (a) Continua y alineada (b) discontinua y alineada y (c) discontinua al azar.	51
Figura 16: Orientación de la fibra: (a) continua y alineada	52
Figura 17: (a) Efecto de la orientación de la fibra vs resistencia a la tensión de compuestos epóxidos reforzadas con fibra de vidrio. (b) Variación de las constantes elásticas de un material compuesto con fibra de vidrio continua en función del ángulo de orientación.	52
Figura 18: Relación esfuerzo - deformación entre la fibra y la matriz.	53
Figura 19: Deformación generada en la matriz alrededor de una fibra sometida a una carga de tensión.	55
Figura 20: Efecto de la longitud en la resistencia de la fibra.	56

Figura 21: Microfotografía obtenida por microscopia electrónica de barrido de la superficie de fractura de una aleación plata-cobre, reforzada con fibras de carbono. (Fuente: Askenland. Pág. 528[9]).	57
Figura 22: Humectación de la matriz sobre la superficie del refuerzo.	57
Figura 23: Clasificación de los materiales híbridos.	61
Figura 24: Curvas esfuerzo-deformación obtenidas mediante ensayos de tracción de las mejores formulaciones de los materiales compuestos híbridos de matriz poliéster reforzados con fibra de abacá y fibra de vidrio. (Fuente: [13] Pág. 251)	63
Figura 25: Presentaciones comerciales de la fibra de vidrio	69
Figura 26: Planta de Cabuya	73
Figura 27: Tipos de tejido de cabuya: (a) grueso, (b) normal y (c) fino.	74
Figura 28: Esquema del proceso de producción por laminación manual.	75
Figura 29: Preimpregnado de polieteretercetona (PEEK) y fibra de carbono.	76
Figura 30: Moldeo por compresión de preimpregnado de fibra de carbono.	79
Figura 31: (a) Máquina universal de ensayos Tinius Olsen “H25KS”, (b) mordazas para ensayo de tracción y (c) equipo para ensayo de flexión [13].	81
Figura 32: (a) Máquina universal de ensayos Tinius Olsen modelo Súper L.	82
Figura 33: Configuración de carga a flexión en tres puntos utilizada	82
Figura 34: (a) Máquina de impacto por caída de dardo. (b) Dardo.	84
Figura 35: Variaciones del ensayo IZOD realizado bajo norma ASTM D256-10 [13].	85
Figura 36: Máquina de ensayo Charpy Tinius Olsen IT 504 [13].	85
Figura 37: Probetas Referenciales según norma y dimensiones de la Tabla 21	99
Figura 38: Balanza BOECO y Calibrador Pie de Rey TRUPER	100
Figura 39: Determinación de la densidad aparente del compuesto (FV+RP)	102
Figura 40: Dimensionamiento de la Probeta Bajo la norma ASTM D3039-00 y	104
Figura 41: Esfuerzo Máximo a Tracción Parciales de Ensayos Preliminares (Cinco Probetas)	105
Figura 42: Esfuerzo Máximo a Tracción de Ensayos Preliminares (Promedio)	105
Figura 43: Módulo de Elasticidad Parciales de Ensayos Preliminares (Cinco Probetas)	107
Figura 44: Módulo de Elasticidad de Ensayos Preliminares (Promedios)	107
Figura 45: Representación esquemática del dimensionamiento de las probetas a flexión y el punto de aplicación de carga.	109
Figura 46: Esfuerzo Máximo a Flexión de Ensayos Preliminares (Promedio)	110
Figura 47: Curva Esfuerzo – deformación	111
Figura 48: Modulo de flexión y Modulo de Trabajo	112
Figura 49: Resultados de Resistencia Máxima al Impacto	114
Figura 50: Obtención del cuerpo solido de Resina Poliéster	117
Figura 51: Determinación de la densidad del cuerpo solido de Resina Poliéster	117
Figura 52: Determinación de la densidad de la Fibra de Vidrio Utilizada (375)	118
Figura 53: Resina de Moldeo sin MEK	119
Figura 54: Determinación de la densidad del cuerpo solido de Resina Poliéster	120
Figura 55: Molde de Probetas del Nuevo Material Híbrido	138

ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1: Polímeros de condensación de uso frecuente. [11]</i>	41
<i>Tabla 2: Clasificación de resinas termoestables en función de la temperatura de utilización</i>	43
<i>Tabla 3: Características de las matrices termoestables.</i>	43
<i>Tabla 4: Composición química en porcentaje de algunas fibras vegetales.</i>	47
<i>Tabla 5: Propiedades mecánicas de un material compuesto de matriz poliestireno</i>	60
<i>Tabla 6: Propiedades mecánicas de un material compuesto de matriz</i>	60
<i>Tabla 7: Formulaciones para la fabricación de probetas de material híbrido</i>	62
<i>Tabla 8: Propiedades mecánicas a tracción alcanzadas por las formulaciones de los materiales compuestos híbridos.</i>	63
<i>Tabla 9: Propiedades mecánicas de la resina Poliéster [15]</i>	66
<i>Tabla 10: Propiedades de la Resina Poliéster Líquida Tereftálica RPD105ATIX</i>	66
<i>Tabla 11: Propiedades de la Resina Poliéster Curada Tereftálica RPD105ATIX</i>	67
<i>Tabla 12: Propiedades Mecánicas de la Resina Poliéster Tereftálica RPD105ATIX</i>	67
<i>Tabla 13: Composiciones y Características de Algunos Cristales Comunes Comerciales</i>	68
<i>Tabla 14: Propiedades físicas y mecánicas de algunos tipos de fibra de vidrio</i>	70
<i>Tabla 15: Propiedades mecánicas de materiales compuestos reforzados con fibra de vidrio en distintas configuraciones y cantidades.</i>	71
<i>Tabla 16: Características mecánicas de la fibra de cabuya</i>	73
<i>Tabla 17: Variable Independiente</i>	90
<i>Tabla 18: Variable dependiente</i>	91
<i>Tabla 19: Producción de carrocerías aproximadas en la zona 3 (Chimborazo - Cotopaxi – Tungurahua – Pastaza) 2010</i>	97
<i>Tabla 20: Empresas Referenciales para Desarrollo del Estudio.</i>	97
<i>Tabla 21: Obtención de Probetas de Muestras (300x500)mm.</i>	98
<i>Tabla 22: Determinación de Propiedades Físicas del Compuesto (FV+RP).</i>	101
<i>Tabla 23: Especificaciones Técnicas del Ensayo de Tracción (Preliminares)</i>	103
<i>Tabla 24: Resultados de Propiedades Mecánicas a Tracción de (Ensayos Preliminares).</i>	108
<i>Tabla 25: Especificaciones Técnicas del Ensayo de Flexión (Preliminares)</i>	108
<i>Tabla 26: Resultados de Ensayo a Flexión de (Ensayos Preliminares).</i>	113
<i>Tabla 27: Especificaciones Técnicas de Ensayos Preliminares a Impacto.</i>	113
<i>Tabla 28: Resultados Promedio de Resistencia Máxima al Impacto de (Ensayos Preliminares).</i>	115
<i>Tabla 29: Características mecánicas de la fibra de cabuya.</i>	119
<i>Tabla 30: Determinación de Densidad de la Cabuya.</i>	120
<i>Tabla 31: Configuración del refuerzo híbrido.</i>	121
<i>Tabla 32: Ensayos iniciales en función del porcentaje referencial calculado</i>	122
<i>Tabla 33: Ensayos iniciales en función del porcentaje referencial calculado de refuerzo</i>	127

<i>Tabla 34: Dimensionamiento de probetas para ensayos a tracción según norma</i>	128
<i>Tabla 35 Dimensionamiento de probetas para ensayos a flexión según norma</i>	128
<i>Tabla 36: Dimensionamiento de probetas para ensayos a impacto según norma</i>	129
<i>Tabla 37: Características del Mat de fibra de vidrio</i>	129
<i>Tabla 38: Fibra corta de cabuya (25 – 30 – 40%)</i>	130
<i>Tabla 39: Fibra larga de cabuya (25 – 30 – 40%)</i>	130
<i>Tabla 40: Tejido plano de cabuya (25 – 30 – 40%)</i>	131
<i>Tabla 41: Dimensionamiento de probetas para ensayos a tracción según norma</i>	133
<i>Tabla 42: Pasos de construcción del molde</i>	137
<i>Tabla 43: Evaluación de Ensayos preliminares (Parámetros de Evaluación)</i>	142
<i>Tabla 44: Mejores materiales híbrido respecto a propiedades mecánicas a tracción.</i>	153
<i>Tabla 45: Evaluación de Ensayos preliminares (Parámetros de Evaluación)</i>	157
<i>Tabla 46: Evaluación de Ensayos preliminares (Parámetros de Evaluación)</i>	164
<i>Tabla 47: Resultados de Ensayo a Tracción.</i>	169
<i>Tabla 48: Presiones de moldeo utilizadas en la elaboración de distintos materiales compuestos.</i>	180
<i>Tabla 49: Valores del esfuerzo máximo a tracción del compuesto híbrido y del compuesto común.</i>	184
<i>Tabla 50: Valores del esfuerzo máximo a Flexión del compuesto híbrido y del compuesto común.</i>	185
<i>Tabla 51: Valores de las Resistencias Máximas al Impacto del compuesto híbrido y del compuesto común.</i>	186
<i>Tabla 52: Costo de materiales para una pieza de (FV+RP) con 3 capas de FV.</i>	189
<i>Tabla 53: Costo de Mano de Obra de una pieza de (FV+RP) con 3 capas de FV.</i>	190
<i>Tabla 54: Costo de Carga Fabril de una pieza de (FV+RP) con 3 capas de FV.</i>	191
<i>Tabla 55: Costo de 1m² de material compuesto (FV+RP)</i>	191
<i>Tabla 56: Preparación del moldeo de poliéster</i>	193
<i>Tabla 57: Costo de materiales para una pieza de (FV+RP) con 3 capas de FV.</i>	194
<i>Tabla 58: Costo de Mano de Obra de una pieza de (FV+RP) con 3 capas de FV.</i>	194
<i>Tabla 59: Costo de Carga Fabril de una pieza de (FV+RP) con 3 capas de FV.</i>	195
<i>Tabla 60: Costo de 1m² de material compuesto (FV+RP)</i>	196
<i>Tabla 61: Costos por elementos fabricados a partir de compuestos híbridos y comunes</i>	196
<i>Tabla 62: Costo total de la investigación.</i>	212

ÍNDICE DE FICHAS

<i>Ver Anexo 1: Ficha Técnica de Resina Poliéster</i>	115
<i>Ver Anexo 2: Ficha Técnica de Fibra de Vidrio 375 gr/mm2</i>	115
<i>Ficha técnica 3: Ficha de recolección de datos del material compuesto testigo de las pruebas de moldeo.</i>	140
<i>Ficha técnica 4: Análisis de la Configuración de Refuerzo de Fibra Corta (25–30) %</i>	142
<i>Ficha técnica 5: Análisis de la Configuración de refuerzo de Fibra larga (25–30–40) %</i>	146
<i>Ficha Técnica 6: Análisis de la Configuración Tejido Plano (25–30–40) %</i>	149
<i>Ficha técnica 7: Ficha Técnica (001-F). Evaluación de ensayos testigo a flexión.</i>	155
<i>Ficha técnica 8: Análisis de la Configuración de Refuerzo de Fibra Corta (25–30) %</i>	157
<i>Ficha técnica 9: Ficha Técnica (001-I). Evaluación de ensayos testigo a flexión.</i>	163
<i>Ficha técnica 10: Análisis de la Configuración de Refuerzo de Fibra Corta (25–30) %</i>	165

ÍNDICE DE GRÁFICOS

<i>Gráfico 1: Valores del esfuerzo máximo a tracción del compuesto híbrido vs el compuesto común.</i>	184
<i>Gráfico 2: Valores del esfuerzo máximo a flexión del compuesto híbrido vs el compuesto común.</i>	185
<i>Gráfico 3: Valores de las Resistencias Máximas al Impacto del Compuesto Híbrido vs el Compuesto Común.</i>	186
<i>Gráfico 4: Costos por elementos fabricados a partir de compuestos híbridos y comunes.</i>	197
<i>Gráfico 5: Ubicación de los hilos de algodón</i>	203
<i>Gráfico 6: Tejido de la fibra de cabuya</i>	203
<i>Gráfico 7: Preparación de la fibra de cabuya</i>	204
<i>Gráfico 8: Preparación de la fibra de vidrio</i>	204
<i>Gráfico 9: Limpieza de rebabas</i>	205
<i>Gráfico 10: Limpieza con cera</i>	205
<i>Gráfico 11: Remoción de la cera</i>	206
<i>Gráfico 12: Aplicación de desmoldante</i>	206
<i>Gráfico 13: Aplicación de gel coats</i>	207
<i>Gráfico 14: Laminado de la primera capa de FV</i>	207
<i>Gráfico 15: Laminado de la capa de fibra de cabuya</i>	208
<i>Gráfico 16: Aplicación del contramolde</i>	209
<i>Gráfico 17: Sujeción del molde y contramolde</i>	210
<i>Gráfico 18: Evaluación</i>	211

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
CENTRO DE ESTUDIOS DE POSGRADO
MAESTRÍA EN DISEÑO MECÁNICO

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.

Autor: Ing. Juan Gilberto Paredes Salinas

Tutor: Ing. Mg. Manolo Alexander Córdova Suárez

Fecha: Octubre 01, del 2012

RESUMEN

La investigación se basa en la caracterización mecánica del material compuesto con el que actualmente se fabrican los guardachoques de buses y determinar sus propiedades mecánicas a Tracción, Flexión e Impacto para determinar los parámetros de evaluación de la caracterización del material híbrido propuesto, estratificado a compresión y en función de las configuraciones y fracciones volumétricas ensayadas.

De la caracterización y análisis de los ensayos se determinó que los Materiales de configuración Fibra Corta (FCo 1 - 30%) y Fibra Larga (FL 30%) tuvieron mejor comportamiento mecánico a Flexión e Impacto; sin embargo el material híbrido de configuración Fibra Larga al 30% y en un orden de capas (FV+FC+FV) se determinó como potencial refuerzo del material híbrido alternativo por presentar mejores propiedades a Tracción, realizando al final un procedimiento para la aplicación de este en la fabricación de guardachoques para buses.

Descriptores: Material Híbrido, Tracción, Flexión, Impacto, Fibra Larga, Fibra Corta, Tejido Plano, Refuerzo, Guardachoque, Buses.

**AMBATO TECHNICAL UNIVERSITY
POSTGRADUATE CENTER
MECHANICAL DESIGN MASTER DEGREE PROGRAM**

**STUDY OF POLYESTER MATRIX STRATIFIED HYBRID POLYMERS
REINFORCED WITH FIBERGLASS AND PITA AS ALTERNATIVE
MATERIAL AND ITS INCIDE IN THE MECHANICAL PROPERTIES IN
BUMPERS FOR BUSES.**

Author: Ing. Juan Gilberto Paredes Salinas.

Advisor: Ing. Mg. Manolo Alexander Córdova Suárez

Date: October 01st, 2012

SUMMARY

The investigation is based on the mechanical characterization of the compound material from wich bumpers for buses are made these days and to determine its mechanical properties such as Traction, Bending and Impact and to establish the evaluation parameters of the hybrid compound material, characteristics and the volume tested fractions.

The trials characterization and analysis was determined that the materials configuration: the Short Fiber (FCo 1 - 30%) and Long Fiber (LF 30%) had a better mechanical behavior Through Flexion and Impact; however the Large Fiber configuration hybrid material in a 30% with a layer order (FV+FC+FV) was determined like a potential reinforcement of the alternative hybrid material because it showed better properties with Traction, done at the end of the procedure of this material in the bus bumpers manufacturing.

Describers: Hybrid Material, Traction, Bending, Impact, Large Fiber, Short Fiber, Plain Weave, Reimforcement, Bumpers, Buses.

CAPITULO I

EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 TEMA DE INVESTIGACIÓN

“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.”

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.2.1 CONTEXTUALIZACIÓN

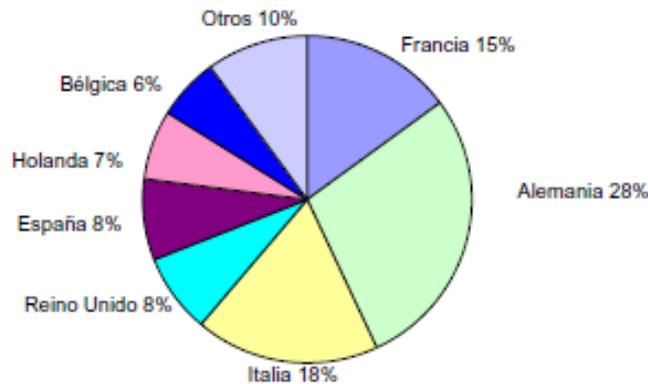
Un material compuesto es un sistema material integrado por una mezcla o combinación de dos o más micro o macroconstituyentes que difieren en forma y composición química y que son esencialmente insolubles entre sí. Asimismo, si los materiales compuestos son usados por sus peculiares propiedades estructurales, la definición de materiales compuestos se puede restringir a aquellos en los que una sustancia componente es el refuerzo (fibra o partícula) soportado por la otra fase que actúa como material aglutinante (matriz)¹.

La inserción de fibras sintéticas como parte de materiales compuestos de matriz polimérica ha venido siendo una gran alternativa para industrias tecnológicamente punteras alrededor del mundo, como la automotriz, aeronáutica y aeroespacial.

¹ [8] Rubén Tino Ramos, Ministerio de Fomento. MATERIALES COMPUESTOS DE MATRIZ POLIMÉRICA REFORZADOS CON FIBRA DE VIDRIO. *Cimbra* - enero-febrero-marzo 2010

En Europa estos tipos de materiales compuestos de matriz polimérica han ayudado mucho a sus diferentes industrias, sin embargo el 16 de julio del 2001, el vertido de materiales compuestos basados en polímeros y refuerzo de fibra de vidrio ha quedado prohibido en todos los países de Unión Europea. Dada esta problemática, las industrias fabricantes de materiales compuestos se han empeñado en la búsqueda de materiales alternativos con prestaciones similares a las existentes, en este sentido las fibras naturales se han convertido en un gran campo de investigación en esta parte del mundo, lográndose ya, en los primeros resultados de investigaciones determinar ciertas propiedades mecánicas, térmicas y acústicas más ventajosas.

Las cuotas de mercado en Europa



Los sectores usuarios (en valor, en %)

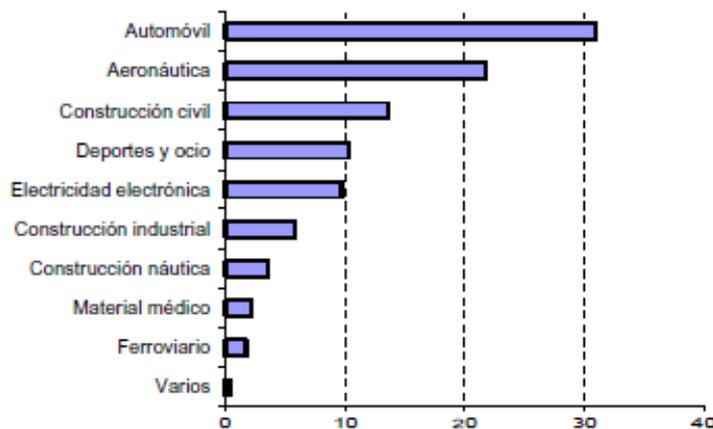


Figura 1: Estudio de Materiales Compuestos en Aplicaciones en Países e Industrias

(Fuente: Estimaciones Nodal Consultants – año 2000 [1].)

Una investigación del NODAL CONSULTANTS – año 2000, indica que el mercado norteamericano es, con mucho, el más importante y representa el 47% de la transformación mundial de materiales compuestos «composites» (3,4 MT). A continuación viene Europa (28%, o sea 2 MT) y Asia (23%, o sea 1,6 MT). El crecimiento del mercado en Asia y Europa es superior a Estados Unidos (el 7 y el 4,5% anual, respectivamente). El mercado sudamericano es muy dinámico, con un incremento anual superior al 8%, si bien es globalmente reducido (2% del consumo mundial).

Esta tendencia también fue concebida para su aplicación en la industria carrocera en Sud América y específicamente en Brasil, que es el país más referente en la construcción de carrocerías para buses, por su historia, evolución y gran capacidad de producción de unidades para esta parte del mundo. La investigación, desarrollo e innovación (I+D+i) de esta industria procuro remplazar el material común “el acero” por material compuesto, de matriz polimérica (poliéster) y de refuerzo (fibra de vidrio), esto ha llevado a que sean llamados los “innovadores” debido a que partes como el forrado exterior e interior de las unidades, así como también en partes expuestas a impacto en caso de choques como son los guardachoques, que eran construidos en su totalidad de acero provocando un exceso de peso el cual afectaba directamente en la eficiencia del motor (relación peso – potencia), sean remplazados por nuevos materiales, como aluminio, fibras + resinas y polímeros, que ha dado ventajas de durabilidad, tenacidad, versatilidad, menor peso y estética en los acabados de buses y automóviles.

Este proceso de cambio que comenzó en la última década de los noventa, trajo gran adelanto para la industria carrocera; sin embargo el costo elevado de producción de partes y piezas en resina poliéster y fibra de vidrio y a pesar de conseguir buenas propiedades físicas y mecánicas han procurado a que en base a la misma matriz se vea la posibilidad de

encontrar nuevos refuerzos que abaraten la producción y se mejoren o se mantengan las propiedades; por lo que una alternativa que permite mantener o mejorar las mismas, es la posible inserción de fibras naturales a estos compuestos, convirtiéndose en compuestos híbridos.

Silvio Delvasto Arjona, Fernando Perdomo y Ruby Mejía de Gutiérrez Profesores Titulares de la Escuela de Ingeniería de Materiales - Facultad de Ingeniería - Universidad del Valle de Colombia, en su artículo “ECOLAMINADOS DE PEAD-FIBRAS DE FIQUE (CABUYA)” publicado presentan resultados de una 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 a la tensión de mezclas de 7 a 55 % (v/v) de fibra de fique y matrices de polietileno de alta densidad (PEAD), tanto en estado virgen (V) como reciclado (R). Se estudió también el efecto en las propiedades mecánicas del laminado al incorporar a la matriz un 20 % de carbonato de calcio como un relleno mineral rigidizante. Se obtuvieron placas de las mezclas con espesor hasta de 2 mm. Mediante prensado en caliente a 180 C. Los resultados muestran ser muy promisorios con respecto a la posibilidad de utilizar este nuevo material compuesto como sustituto de la madera. Los resultados de esta investigación conllevan un beneficio directo para las empresas productoras de empaques de Colombia que utilizan la fibra de fique como materia prima y que tienen disponible un residuo de polvillo (fibras muy cortas de fique) de aproximadamente mil toneladas anuales.

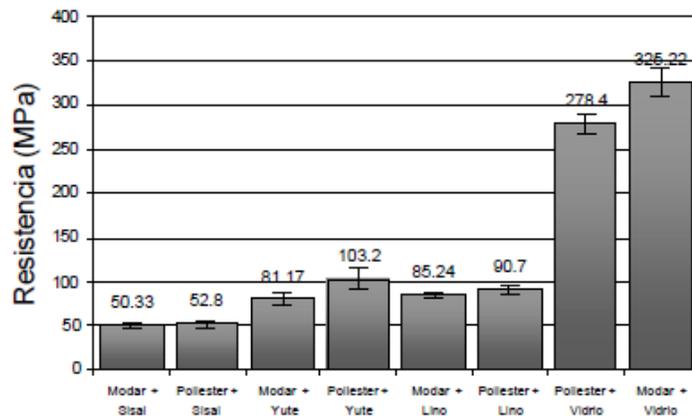
Exequiel Rodríguez, Analía Vásquez de la Universidad Nacional de Mar del Plata de Argentina, en su investigación sobre “PROPIEDADES MECÁNICAS DE MATERIALES COMPUESTOS CON FIBRAS NATURALES OBTENIDOS MEDIANTE LA TECNICA DE VACUM INFUSIÓN”, propone el estudio de las propiedades finales de materiales compuestos basados en fibras naturales y resinas termoestables, evaluándose la factibilidad de reemplazar las fibras de vidrio característico

de los compuestos tradicionales, utilizando un proceso de inyección de resina (Vacum Infusión). Se procesaron placas a partir de distintas fibras naturales (yute, lino y sisal) y fibras de vidrio con resina termoestables comerciales de tipo acrílica y poliéster como matriz. Los compuestos con fibras naturales resultaron competitivos con respecto a los de las fibras de vidrio en cuanto a la resistencia y modulo en flexión aunque no así en pruebas de resistencia al impacto.

a.)

Fibra	Módulo (GPa)	Resistencia en tracción (MPa)	Densidad esp.
Yute	38	393	1.3
Sisal	22	510	1.3
Lino	50	344	1.5
Vidrio	72	3400	2.5

b.)



c.)

Compuesto	Energía (KJ/m ²)	σ_{n-1}	I.D.	δ (Kg/m ³)
Yute + Modar	8.8	1.0	0.63	1254 f
Yute + Poliester	10.6	1.0	0.57	1268 f
Sisal + Modar	12.7	1.4	0.29	1197 f
Sisal + Poliester	12.2	1.7	0.30	1192 f
Lino + Modar	15.0	0.9	0.32	1215 f
Lino + Poliester	13.2	0.9	0.31	1213 f
Vidrio + Modar	98.7	8.0	0.28	1710 p
Vidrio + Poliester	106.5	4.2	0.25	1637 p

Figura 2: Propiedades Mecánica de las Fibras Utilizadas, b.) Resistencia a la flexión de los Compuestos y c.) Pruebas de impacto y densidad.

(Fuente: E, Rodríguez y A, Vásquez [2].)

En el Ecuador en las dos últimas décadas la industria carrocera ha tenido un gran adelanto e incremento de la capacidad de producción para cubrir el mercado nacional y ahora con proyección internacional, para lo cual se ha visto la necesidad de estudiar nuevas alternativas en campo de nuevos materiales. Por lo que en los últimos cinco años se han venido realizando ya algunas investigaciones dentro de estos compuestos, específicamente en (resina poliéster + fibra de vidrio) y también en materiales compuestos híbridos (resina poliéster + fibra de vidrio + fibra natural); pero de aplicación diferente a la industria carrocera, pero que dan un parámetro de factibilidad de la realización de este estudio.

Una de las investigaciones más ajustadas al planteado en este estudio, es la realizada en la Escuela Politécnica Nacional por Héctor Guillermo Villacís Salazar, como tesis de pregrado, bajo el tema “OBTENCIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS HÍBRIDOS DE MATRIZ POLIÉSTER REFORZADOS CON FIBRA DE VIDRIO Y ABACÁ MEDIANTE ESTRATIFICACIÓN” el cual propone obtener y caracterizar mecánicamente materiales compuestos híbridos de matriz poliéster, reforzados con fibras de vidrio y abacá. Inicialmente se formularon dos tipos de material compuesto, el uno reforzado con mantas de fibra corta de vidrio (mats) y el otro con fibra de abacá. La fibra de abacá se usó en cuatro configuraciones distintas

Los materiales resultantes se caracterizaron mediante ensayos de tracción y flexión. La formulación con la mejor combinación de propiedades fue la de 75% de fibra continua unidireccional de abacá y 25% de fibra de vidrio. La resistencia a la tracción y módulo de elasticidad del material fueron de aproximadamente 138 y 4473 MPa, que corresponden a un incremento del 270 y 150% respecto a la matriz. La resistencia al impacto resultó 614% mayor que la del compuesto de fibra de vidrio. Para la aplicación se fabricó un prototipo de una patineta y se comparó su desempeño con el de otra patineta disponible en el mercado mediante ensayos funcionales, que incluyeron ensayos de tracción y

flexión. El modelo desarrollado con el compuesto híbrido fue superior al tradicional en un 96% en cuanto a la resistencia a la tracción, 109% en el módulo de elasticidad, 50% en la resistencia a la flexión pero mostró un decremento del 9% en el módulo a la flexión.

A pesar de que ninguna de estas investigaciones han sido direccionadas al campo de la industria carrocera y en específico a partes críticas como lo son los guardachoques que están expuestas a diferentes fuerzas mecánicas (tracción, flexión e impacto), hace necesario que la propuesta de esta investigación de determinar si la aplicación de material híbrido (resina poliéster + fibra de vidrio + fibra de cabuya) sea realizada y de una alternativa para la industria carrocera en el Ecuador.

1.2.2 ANÁLISIS CRÍTICO

El efecto de la globalización y requerimiento del cumplimiento de normas y reglamentos técnicos de fabricación para unidades de transporte público (INEN RTE 038, 041, 043 y NTE 034, 2205) por la industria carrocera nacional; así como la necesidad de los clientes de obtener un producto con altos estándares de calidad, resistencia, tenacidad, estética y seguridad, obliga a que partes y accesorios que utilizan dichas unidades, sean importadas o que a su vez se compren en el mercado nacional a costos elevados por aranceles en el primer caso y porque a pesar de ser de fabricación nacional la importación de la materia prima hace que se eleven los costos de adquisición.

Por eso hace necesario que en el país se realice (I+D+i) en el campo de nuevos materiales con matriz polimérica y en específico en materiales híbridos, que permita hacer una combinación de materia prima común más la inserción de materiales de producción orgánica que por medio de una correcta transformación y mejoramiento de los procesos actuales de fabricación de partes puedan alcanzar volumen, manteniendo y/o

mejorando las propiedades mecánicas de estos y por consiguiente una disminución del costo de producción de los mismos.

Tecnológicamente es viable la realización de este estudio ya que en el entorno o región donde se va a desarrollar el mismo, se cuenta con la fibra natural (cabuya) y maquila necesaria para obtener la configuraciones requeridas y algunos ensayos se los podrá hacer en los laboratorios de la FICM - UTA; mientras que los restantes se los podrá realizar en los laboratorios de la Escuela Politécnica Nacional – Quito, que cuenta con los equipos necesarios.

1.2.3 PROGNOSIS

Dentro de la industria carrocería nacional la tendencia a reemplazar e incorporar partes y piezas que comúnmente fueron de acero por nuevos materiales poliméricos, por partes construidas en fibra de vidrio con resina poliéster.

Pero la aplicación de estos procesos de fabricación en dichas partes que están expuestas a grandes esfuerzos de tracción, flexión e impacto, hacen que se necesiten reforzarlas con la agregación de más capas de materia prima lo que encarece el producto y si además esto lo contrastamos con lo que el mercado internacional ofrece para diseñar y construir moldes exclusivos en materiales de alta resistencia como por ejemplo en acero HSLA (High-strength low-alloy), pero a costos exageradamente caros.

Por lo que es importante dar una alternativa a este sector; ya que si se deja relegado este estudio la industria seguirá consumiendo este producto a elevados costos y esto influenciaría en la competitividad de la industria carrocería nacional frente a la extranjera.

1.2.4 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.

¿Se podrá utilizar como material alternativo el compuesto híbrido estratificado de matriz poliéster reforzado con Fibra de Vidrio y Cabuya en la fabricación de guardachoques por sus características y propiedades cumpliendo estándares de calidad?

1.2.5 PREGUNTAS DIRECTRICES.

Dentro del estudio que tiene como alcance encontrar nuevos materiales con matriz polimérica, vale plantearse algunas interrogativas como:

¿Las normas que se utilizan para ensayos de materiales poliméricos permitirán determinar las propiedades, mecánicas a tracción, flexión e impacto de los materiales con los que actualmente se elaboran los guardachoques?

¿Las consideraciones de fabricación permitirán determinar las mejores configuraciones y fracciones volumétricas con las que se puedan caracterizar el material híbrido en estudio?

¿Permitirá la norma ASTM D3039-00 determinar el ensayo a tracción del nuevo material híbrido estratificado a compresión?

¿Permitirá la norma ASTM D7264-07 y ASTM D5628-10 determinar el ensayo a flexión e impacto correspondientemente del nuevo material híbrido estratificado a compresión?

¿El método comparativo permitirá determinar el mejor material híbrido después de haber realizado los ensayos a tracción, flexión e impacto?

1.2.6 DELIMITACIÓN

1.2.6.1 DELIMITACIÓN DE CONTENIDO

El presente estudio en su mayoría enfoca su realización en el área de Ingeniería de Materiales, Resistencia de Materiales, Ciencia de los Materiales, Estadística siendo estas las materias principales.

1.2.6.2 DELIMITACIÓN TEMPORAL

El estudio se lo realizara en un periodo que comprende los meses de abril del 2012 - septiembre del 2012, tiempo en el cual se determinara todos los parámetros que sean necesarios para una correcta información sobre el problema planteado.

1.2.6.3 DELIMITACIÓN ESPACIAL

El estudio de nuevos materiales con matriz poliéster, se lo realizara en la provincia de Tungurahua, ciudad de Ambato, específicamente en el Laboratorio de Materiales de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, dentro de la Universidad Técnica de Ambato, Campus Huachi. Así como los ensayos en el laboratorio de Materiales de Escuela Politécnica Nacional (EPN), ubicado en la ciudad de Quito.

1.3 JUSTIFICACIÓN

En la actualidad la industria carrocería nacional ha ido transformando procesos de manufactura clásica donde el acero era el material más común para desarrollar partes y piezas “críticas” como frentes, respaldo y guardachoques, por materiales alternativos como la utilización de matriz poliéster + fibra de vidrio, el cual utiliza resina poliéster y fibra de vidrio

como materia prima y que se ha convertido en el remplazo más rápido y eficiente que se acomodó al proceso.

Un diseño atractivo y que a su vez soporten grandes cargas y esfuerzos son los requerimientos actuales en el mercado de buses en el Ecuador. Este nivel de elegancia, estética y seguridad lo proporciona hoy elementos netamente elaborados con polímeros y que a su vez representan en el costo global de la unidad un gran porcentaje del mismo; por lo que el estudio va dirigido a tratar de dar una alternativa a la industria en proponer nuevos materiales que a partir de utilizar matriz polimérica, permita introducir materiales orgánicos como fibras naturales lignocelulosicas que permitan aumentar el volumen, lo cual implica menos materia prima común, pero manteniendo o mejorando las propiedades mecánicas de los elementos y de esta manera reducir costos de producción de los mismos.

Este ahorro permitirá a la industria ser competitiva en el mercado nacional e internacional; además de que la I+D+i que se lograría en este campo permitirá que la Universidad sea reconocida como Ente de desarrollo y de aseguramiento de la calidad en el contexto dentro del cual se desenvuelve.

Se considera un estudio factible de realizarlo; ya que en el país y la región aún no se han realizado investigaciones para este tipo de material híbrido (resina poliéster + fibra de vidrio + cabuya) como material alternativo en la fabricación de guardachoques para buses y además por estar dentro de la provincia en la cual se concentra la mayor parte de empresas fabricantes de carrocerías a nivel nacional y por tener bibliografía, laboratorios y conocimiento.

**PRODUCCIÓN DE CARROCERÍAS APROXIMADAS EN LA ZONA 3
(CHIMBORAZO - COTOPAXI – TUNGURAHUA – PASTAZA)**

PROVINCIA	COSTO DE CARROCER.	PROD. 2010	%	VALOR	PAGO DE IVA
Chimborazo	45.000,00	300	21,3	13.500.000,00	1.620.000,00
Cotopaxi	45.000,00	24	1,7	.080.000,00	129.600,00
Pastaza	45.000,00	6	0,4	70.000,0	2.400,00
Tungurahua	45.000,00	1080	76,6	48.600.000,00	5.832.000,00
TOTAL		1.410	100	63.450.000,00	7.614.000,00

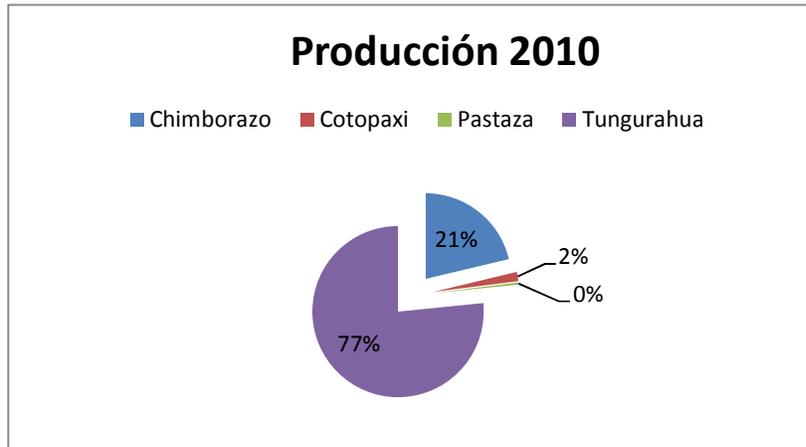


Figura 3: Producción Nacional de Carrocerías para Buses en el Ecuador dentro en la Zona 3.

(Fuente: Proyecto Subsecretaria de MIPYMES y Artesanías - Centro de Fomento Productivo Metalmeccánico, Pág. 5 [3].)

1.4 OBJETIVOS GENERALES Y ESPECÍFICOS

1.4.1 GENERAL

Determinar la configuración y fracción volumétrica ideal del material híbrido estratificado de matriz poliéster reforzado con fibra de vidrio y cabuya para obtener un material alternativo en la producción de guardachoques para buses.

1.4.2 ESPECÍFICOS

Determinar las propiedades mecánicas a tracción, flexión e impacto del material compuesto de estratificación manual con el que actualmente se fabrican los guardachoques para obtener los parámetros de evaluación del nuevo material híbrido en estudio bajo y normas correspondientes.

Proponer las posibles configuraciones del refuerzo híbrido y la fracción volumétrica de los refuerzos en los polímeros híbridos estratificados a compresión de matriz poliéster reforzados con fibra de vidrio y cabuya bajo consideraciones de fabricación para su caracterización mecánica.

Determinar el proceso de obtención de probetas (moldeo) que se utilizaran para los diferentes ensayos que permitan establecer las propiedades mecánicas del compuesto por estratificación a compresión.

Determinar las propiedades mecánicas a tracción de los materiales híbridos de matriz poliéster reforzado con fibra de vidrio y cabuya y estratificado a compresión mediante la elaboración de probetas bajo la norma ASTM D3039-00 para determinar el mejor híbrido respecto a cada configuración.

Determinar las propiedades mecánicas a Flexión e Impacto de los mejores resultados a Tracción de los materiales híbridos bajo las normas ASTM D7264-07 y ASTM 5628-10, antes de la evaluación respecto al material compuesto común.

Evaluar comparativamente el material compuesto que presente la mejor combinación de propiedades mecánicas para determinar el mejor material híbrido alternativo.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

Durante siglos, se han empleado una enorme variedad de materiales reforzados, por ejemplo la paja ha sido utilizada para darle resistencia a los adobes, en las estructuras de hormigón se introducen como refuerzo varillas de acero.

Los primeros materiales compuestos aparecieron durante la Segunda Guerra Mundial. Se trata de materiales heterogéneos, constituidos por una matriz plástica orgánica (polímero) asociada con un refuerzo fibroso, por lo general de vidrio o de carbono². Son termoestables o termoplásticos y su historia se remonta, según los casos, a menos de cincuenta años o apenas una década. Dicha evolución y proyección a utilizar materiales compuestos en el mundo se refiere la figura 4.

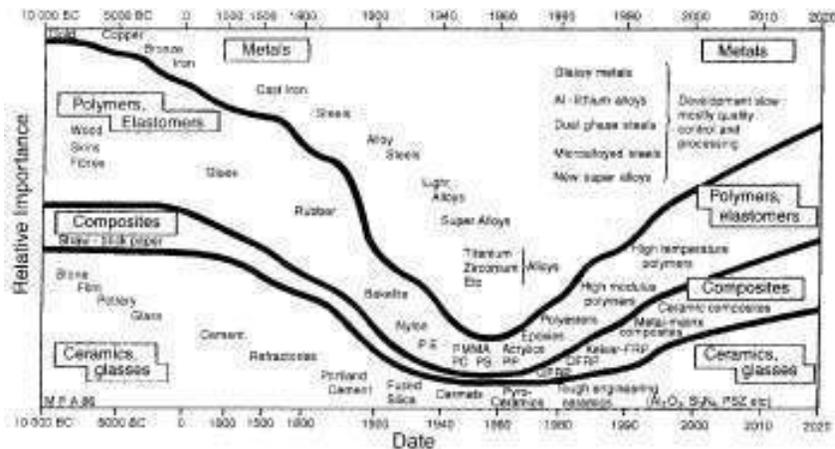


Figura 4: La evolución de materiales de la ingeniería en el tiempo (escala de tiempo no lineal).

(Fuente: From M. F. Ashby, *Materials Selection in Mechanical Design*, 2da ed., Elsevier Butterworth-Heinemann, Oxford, 1999). Fig.1.2. Pág. 4 [4].)

² SESSI, DiGITIP Ministerio del Economía, de Finanzas et del' Industrie, 2002 Los materiales compuestos Dinamismo e innovación. <http://www.industrie.gouv.fr/accueil.htm>

Esto se confirma por medio del estudio “*Materiales Compuestos*” realizado por Nodal Consultants y publicado en el 2002 en la revista *Lee 4 Pages des Statistiques Industrielles* del Ministerio de Economía, Finanzas y de Industria de Francia, el mercado mundial de materiales compuestos (MC) ha crecido desde 1994 hasta el año 2000 en el 5,7% anual en cantidad.

En Colombia en 1990, se inició el programa “Aprovechamiento integral del Fique” con el apoyo de COLCIENCIAS y el “Ministerio de Agricultura de Colombia”, esto como resultado de resultados del proyecto titulado Composites de Fibras Vegetales-Cemento, código CO5PO3 enmarcado dentro del **Programa de Cooperación Científica entre Francia y Colombia: ECOSNORD**, que apoyó las movilizaciones de investigadores de: Universidad de las Antillas de Guyana (UAG) (Grupo Laboratorio COVACHIM Materiales) y de la Universidad del Valle (Grupo de Materiales Compuestos, Cali) entre los años 2005 y 2006.

La cual concluyo que la aplicación de la fibra natural que³:

Si bien la adición de la fibra natural no genera beneficios para la obtención de niveles más elevados de resistencias a la flexión, hay que considerar la sinergia que por sí misma confieren otros materiales componentes para esta propiedad en estado endurecido.

En los elementos ondulados se aprecia un ligero incremento al reforzar con la fibra natural para valores crecientes de esta.

La fibra de fique actúa principalmente como un agente de ayuda para lograr el moldeo de los elementos ondulados.

La Asociación Española de Materiales Compuestos (AEMAC) es una organización sin ánimo de lucro creada en 1993, constituida por la integración de Empresas, Centros de investigación, Universidades y Profesionales que ejercen actividades relacionadas con los materiales compuestos [5].

³ Silvio Delvasto, Edward Fernando Toro, Marie-Ange Arsene, Ketty Bilba, Cristel Onessipe, 2006, Presentación, ECOS-Nord Colombia proyecto C05P03: compuestos fibras vegetales cemento apoyado por COLCIENCIAS/MEN/ICETEX y gobierno francés

En II Reunión Nacional de Grupos de Investigación de AEMAC, Madrid, 15 Noviembre 2006, la Universidad de Zaragoza presento una investigación cuyo objetivo es desarrollar un modelo meso-mecánico que permita obtener una **CARACTERIZACIÓN MECÁNICA COMPLETA** de materiales compuestos reforzados con preformas textiles tipo 3D “Weaving” ó “Tejido”

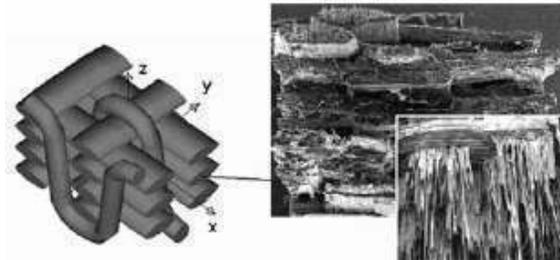


Figura 5: Tejido 3D de textiles y su micrografia

(Fuente: Joshep Costa, Tecnologías textiles: 3D weaviny 3D braiding, 2006, Grupo de Materiales Compuestos, Universidad de Zaragoza [6].)

Donde luego de lograr el tejido se obtuvieron resultados como:

Aumento de la resistencia a la fractura en dirección perpendicular al plano con respecto a materiales laminados equivalentes.

Aumento significativo de la tolerancia al daño, resistencia al impacto, y la vida a fatiga, Posibilidad de obtener altas fracciones volumétricas de refuerzo.

Arrasate Mondragón Guipúzcoa, investigador de la Escuela Politécnica Superior de la Unibertsitatea en el 2006 en su presentación, propone la investigación sobre “Plásticos y Materiales Compuestos de Matriz Orgánica” cuyo objetivo fue la Caracterización mecánica de materiales plásticos, compuestos y multi-material (materia prima y procesada), y concepción de piezas estructurales. Se basó en la siguiente metodología.



Figura 6: Parámetros del estudio y caracterización del compuesto.
 (Fuente: Arrasate- ondragón Guipúzcoa, Plásticos y Materiales Compuestos de Matriz Orgánica, 2006 Escuela Politécnica Superior, Mondragon Unibertsitatea [7].)

Una de las investigaciones que es referente para el presente estudio de material híbrido es la realizada en la Escuela Politécnica Nacional en el 2011 y que se refiere a la “Obtención de materiales compuestos híbridos de matriz poliéster reforzados con fibra de vidrio y abacá mediante estratificación” el cual propone obtener y caracterizar mecánicamente materiales compuestos híbridos de matriz poliéster, reforzados con fibras de vidrio y abacá.

2.2 FUNDAMENTACIÓN FILOSÓFICA

La presente investigación sobre materiales híbridos estratificados con matriz poliéster está ubicada dentro del paradigma crítico propositivo; crítico porque conseguirá avances dentro del área de materiales e innovación para la industria carrocería en el Ecuador y propositivo por cuanto busca plantear una alternativa de solución a la escasa disponibilidad de los materiales compuestos o nuevos materiales, y desconocimiento de sus posibles propiedades mecánicas que puedan ayudar al diseño y producción de partes o elementos que necesiten las características que estos puedan ofrecer y que se utilizan en las diferentes industrias con las que cuenta el país.

2.3 FUNDAMENTACIÓN LEGAL

La caracterización mecánica de las probetas para los ensayos de tracción y flexión, estará determinado según las normas:

ASTM D3039/D3039M–00, *Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials.*

ASTM D7264 / D7264M – 07, *Standard Test Method for Flexural Properties of Polymer Matrix Composite Materials.*

Las formulaciones de material compuesto que presenten propiedades mecánicas superiores serán evaluadas por de ensayos de impacto, de acuerdo con la norma:

ASTM D5628-10, *Standard Test Method for Impact Resistance of Flat, Rigid Plastic Specimen by Means of a Striker Impacted by a Falling Weight (Gardner Impact).*

2.4 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.

2.4.1 INGENIERÍA DE MATERIALES.

La investigación y desarrollo dentro de los nuevos materiales en la actualidad ha conllevado a requerir materiales con combinaciones insólitas de propiedades que no pueden ser encontradas por las aleaciones convencionales metálicas, la cerámica, y materiales poliméricos. Esto se ve reflejado en la aplicación de la industria aeronáutica, aeroespacial, automotriz y otras; ya que por medio del desarrollo de estos materiales se busca materiales estructurales de menor densidad, resistentes, rígidos y de gran resistencia a la abrasión, corrosión e impacto. La ingeniería de materiales en el diseño de materiales compuestos, ha logrado combinar varios metales, cerámicos, y polímeros para producir una generación nueva de materiales extraordinarios con propiedades mecánicas mejoradas como rigidez, dureza, y resistencia ambiental y de alta temperatura.

Los compuestos se han clasificado en tres categorías: con partículas, con fibras y laminares, dependiendo de la forma que tengan los materiales. Por ejemplo el concreto (mezcla cemento – grava) es un *compuesto particulado*; materiales de fibra de vidrio + resina poliéster, es un *compuesto reforzado* con fibras; mientras que la madera contrachapada o triplex (capas alternas de chapa de madera), es un *compuesto laminar*.⁴

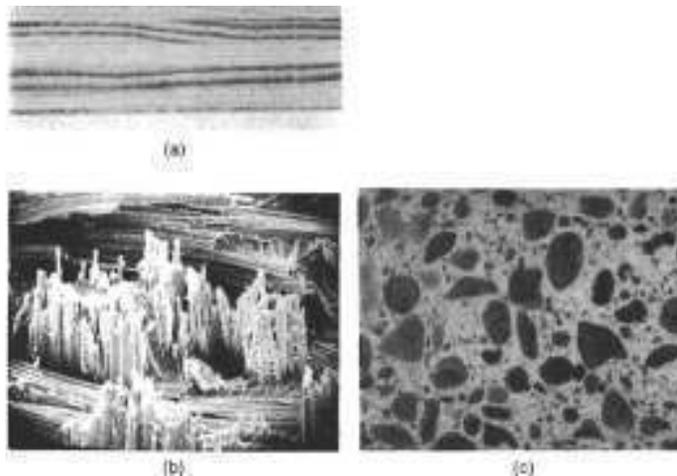


Figura 7: Compuestos a.) Madera Contrachapada (laminar); b.) Fibra de Vidrio + Resina Poliéster (Compuesto reforzado); c.) Concreto (compuesto particulado) [9].)

Fuente: [9] Donald R, Askenland

La distribución de las partículas, tienen discreta relación en la isotropía o no de los compuestos; por ejemplo la distribución uniforme de partículas provocaran propiedades isotrópicas (igual fuerza en todas las direcciones), los compuestos con fibras pueden ser isotrópicos o anisotropicos, los laminares siempre tienen un comportamiento anisotropico.

⁴ [9] Donald R, Askenland. 1998. Ciencia e Ingeniería de Materiales, Tercera Edición. International Thomson Editores - Pág. 509.

2.4.2 MATERIALES COMPUESTOS.

2.4.2.1 DEFINICIÓN

Se define como material compuesto a todo sistema o combinación de materiales constituido a partir de una unión (no química, insolubles entre sí) de dos o más componentes, que da lugar a uno nuevo con propiedades características específicas, no siendo estas nuevas propiedades ninguna de las anteriores. Los compuestos combinan las mejores propiedades de entre las diferentes clases de materiales que forman el material compuesto evitando con ello algunas de sus desventajas, si se los hiciera de manera individual.⁵

2.4.2.2 CLASIFICACIÓN Y DIVISIÓN DE LOS MATERIALES COMPUESTOS.

La clasificación presentada en la Figura 8 muestra los posibles materiales compuestos que se pueden obtener agrupando los diferentes tipos de material, para diferentes aplicaciones.



Figura 8: Diferentes Materiales Compuestos de Ingeniería.

(Fuente: ASHBY 2011, Michael, and Jones David. (1999). Material Selection in Mechanical Desing. Chapter 3. Pag 21[3]).

⁵ [10] William D, Callister Jr. 2007. Material Science and Engineering, Séptima Edición, John Wiley & Sons. Inc, Pág. (579)

Los materiales compuestos son compuestos de solamente dos fases; es decir por medios continuos y discontinuos. El medio continuo se denomina matriz; mientras que el medio discontinuo denominado refuerzo, es más fuerte y resistentes. Las propiedades de un material compuesto dependen de las propiedades de los materiales que lo constituyen, de su distribución orientación e interacción, estas características lo muestra la figura 9.

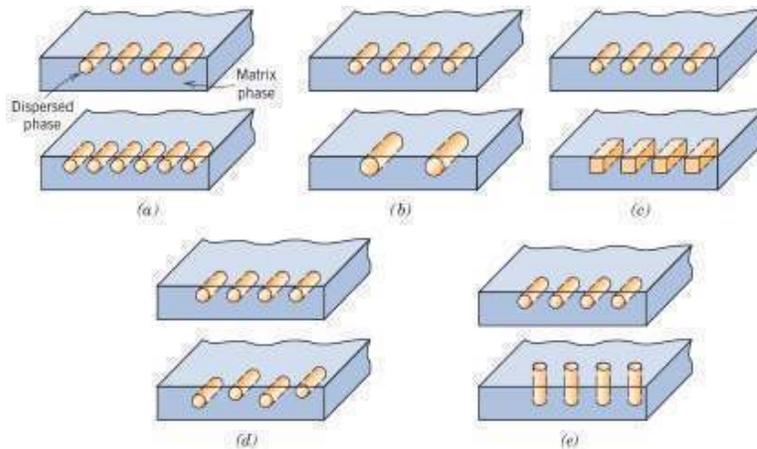


Figura 9: Representación esquemática de varias características geométricas y espaciales de partículas en fase dispersa que influyen en las propiedades de los compuestos. a.) Concentración; b.) Tamaño; c.) Forma; d.) Distribución y e.) Orientación (Fuente: Pág. 579[10]).

Los Materiales Compuestos de Matriz polimérica se dividen en Compuestos Termoplásticos, Termoestables y Elastómeros. Para el estudio propuesto, la investigación se centra en los materiales compuestos de matriz termostables; por lo que el resto del mismo se profundizara solo dentro de estos compuestos.

2.4.3 MATERIALES COMPUESTOS DE MATRIZ TERMOESTABLE.

2.4.3.1 MATRIZ TERMOESTABLE Y SUS PROPIEDADES.

Las matrices poliméricas, en general, son compuestos orgánicos de elevado peso molecular, producto de reacciones de polimerización por adición o condensación de diferentes compuestos de base. La longitud de

la cadena de átomos que constituye cada uno de los polímeros determina una propiedad básica polimérica conocida como peso molecular y puede alcanzar varios cientos de unidades de longitud. Cuando el peso molecular aumenta, las propiedades mecánicas (como la tensión máxima a tracción y tenacidad) mejoran [11].

En los polímeros de adición la unidad estructural de repetición tiene la misma composición que la del monómero de partida; mientras cambio, los polímeros de condensación se forman a partir de monómeros polifuncionales a través de diversas reacciones con la posible eliminación de alguna pequeña molécula, que es el caso del poliéster que es parte del presente estudio. En la Tabla 1 se muestra algunos polímeros de condensación como por ejemplo:

Tabla 1: Polímeros de condensación de uso frecuente. [11]

Polímero	Abreviatura	Unidad de repetición
Poliéster		$-\text{R}-\text{OCO}-\text{R}'-\text{COO}-$
Poliamida	PA	$-\text{NH}-\text{R}-\text{NHCO}-\text{R}'-\text{CO}-$
Polycarbonato	PC	
Poli(etilen terftalato)	PET	$-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{OCO}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{COO}-$
Poliuretano	PU	$-\text{NH}-\text{COO}-\text{R}-\text{OCO}-\text{NH}-\text{R}'-$
Resina de Fenol-formaldehído		

(Fuente: M. Beltrán y A. Marcilla, Tecnología de Polímeros Pág. 5 [11]).

Las macromoléculas se pueden unir entre sí por fuerzas de diversa intensidad. Cuando estas fuerzas son de baja intensidad, podrán ser superadas con un simple calentamiento dando lugar al plástico fundido. Los polímeros con estas características reciben el nombre de **termoplásticos** y se pueden fundir o plastificar con un incremento de

temperatura. Cuando las fuerzas de unión de estos filamentos entre sí son tan intensas que llegan a igualar a las de construcción de ellos mismos, se romperán antes de separarse, lo que implica que al incrementar la temperatura no podrán cambiar de estado sólido a líquido, denominándose a estos polímeros termoendurecibles o **termoestables**.

En el caso de los termoestables que por su estructura entrecruzada, no funden y son insolubles, debido a que las uniones entre cadenas se crean por reacciones químicas de reticulación, también denominado curado.

Estas reticulaciones pueden unir muchas cadenas poliméricas en una única red tridimensional. Cuando el curado se completa, se produce un aumento del peso molecular de una forma drástica, hasta un valor prácticamente imposible de medir. Por otro lado, las propiedades térmicas como el punto de fusión y la temperatura de transición vítrea (Tg), dejan de tener sentido, ya que el polímero se degrada antes de alcanzar cualquiera de estas temperaturas [10].

Las tensiones de contracción generadas durante el proceso de polimerización, que es una reacción exotérmica, y las tensiones térmicas provocadas por las diferencias entre el coeficiente de expansión de la matriz y el refuerzo, pueden afectar a las microtensiones propias de los materiales compuestos. Las tensiones provocadas por la contracción del polímero pueden ser suficientes para producir microfisuras en el proceso de reticulación.

Uno de los factores críticos en las prestaciones de todas las matrices poliméricas es la máxima temperatura a la que pueden ser utilizadas en condiciones de servicio. Este valor normalmente viene caracterizado por la temperatura de transición vítrea⁶ o por la temperatura de distorsión

⁶ Tg, Propiedad de los polímeros en donde debajo de esta temperatura, el material, se considera como cristalino; mientras que por encima de esta, un líquido súper enfriado y finalmente un líquido [10].

térmica (HDT)⁷. Las resinas termoestables son amorfas y difieren bastante en sus T_g y en la resistencia al ataque por disolventes [10]. Se puede realizar una clasificación de las matrices termoestables, en función de la temperatura de utilización. Tabla 2.

Tabla 2: Clasificación de resinas termoestables en función de la temperatura de utilización

BAJAS TEMPERATURAS	Poliéster:	Isoftálica Ortoftálica
MEDIAS TEMPERATURAS	Viniléster, Epoxi	
MEDIAS-ALTAS TEMPERATURAS	Fenólica	
ALTAS TEMPERATURAS	Bismaleimida, Poliimida Esteres cianato, Polieteramida	

(Fuente: Morales, G. Procesado y Caracterización de Materiales Compuestos de Matriz Polimérica Reforzados con Nanofibras de Carbono para Aplicaciones Tecnológicas. Pág. 39 [12]).

Las resinas termoestables son normalmente isotrópicas, pero pierden sus propiedades de rigidez a la temperatura de distorsión térmica, que define un límite superior efectivo para su uso en componentes estructurales.

Tabla 3: Características de las matrices termoestables.

Propiedad	Matriz				
	Poliéster insaturado	Resina Epoxi	Resina Fenólica	Resina Viniléster	Resina Poliimida
Densidad (g/cm ³)	1,17-1,26	1,17-1,25	1,25-1,3	1,17-1,25	1,27-1,42
Alargamiento (%)	< 3	6-8	< 3	3,5-7	6-10
Fluencia	Muy baja				
Temperatura de Moldeo (°C)	T _{amb} hasta 180	T _{amb} hasta 170	150-190	T _{amb} hasta 175	≅ 350

⁷ HDT, Temperatura máxima a la cual un polímero termoplástico puede ser utilizado como un material rígido, arriba de este el material es capaz de soportar una carga para tiempo apreciable [10]

Temperatura de Reblandecimiento	80 - 160	80 - 130	100 – 150	100 - 150	260
Propiedades reológicas	Muy buenas				Función de la resina
Calor de reacción	Reacción exotérmica dependiente de la geometría de la pieza				
Contracción de fraguado (%)	6 - 10	1 -3	0,5 – 1,5	0,1 - 1	0,5 – 0,7
Contracción posterior (%)	Hasta 3	Prácticamente ninguna	Hasta 0,4	Hasta 1	Casi ninguna
Resiste a:	Agua, soluciones acuosas, fuel, gasolina	Alcohol, gasolina, bencol, aceites y grasas	Alcohol, gasolina, bencol, aceites y grasas	37% HCl, ClO ₂ , agua salina, alquitranes	-
No resiste a:	Agua hirviendo, ácidos y lejías, bencol y alcohol	Agua hirviendo, ésteres, ácidos y bases, cetonas.	Ácidos y bases concentradas	H ₂ SO ₄ al 75%, NaCl al 6%, NaOH al 15%, agua hirviendo	-
Inflamabilidad	No auto extingible	Difícilmente inflamable	Difícilmente inflamable	No auto extingible	-

(Fuente: Morales, G. Procesado y Caracterización de Materiales Compuestos de Matriz Polimérica Reforzados con Nanofibras de Carbono para Aplicaciones Tecnológicas. Pág. 40 [12]).

2.4.3.2 REFUERZO DE COMPUESTOS CON FIBRAS.

Como se especificó en la parte introductoria de este estudio, en los posibles refuerzos que pueden tener los materiales compuestos

(partículas, fibras y laminados). La utilización de fibras como refuerzo permiten conseguir una mejor resistencia a la fatiga, mejor rigidez y una mejor relación resistencia – peso. Para esto la selección apropiada del tipo, la cantidad y la orientación de la fibra es muy importante a la hora de fabricar un material compuesto ya que esto tiene directa relación con material de la matriz transmite la fuerza a las fibras, las cuales soportan la mayor parte de la fuerza aplicada.

La presentación o configuración de las fibras (fibras cortas, largas, tejidos y otros) son las responsables de conferir propiedades mecánicas importantes al material (elevada resistencia a la tracción específica y elevado módulo específico). A demás características como: ligereza, resistencia térmica, compatibilidad con las resinas, dureza, rigidez y adaptabilidad al proceso de fabricación.

2.4.3.3 COMPUESTOS LIGNOCELULÓSICOS.

Las fibras lignocelulósicas, son estructuras biológicas compuestas principalmente de celulosa, hemicelulosa y lignina. La finalidad de la hemicelulosa y lignina en las fibras naturales, consiste en establecer una matriz para proteger las fibras de celulosa de las agresiones externas y al mismo o tiempo transmitir las tensiones a las que se somete al conjunto del material, a las fibras de celulosa [12]. Según la parte de la planta en la que se localizan, las fibras poseen distintas características y propiedades, lo cual las clasifica básicamente en tres grupos: las fibras blandas, duras y de superficie [13].

Las fibras blandas provienen del líber de los tallos de las plantas dicotiledóneas. Estas se ubican en la parte liberiana del tallo y actúan como un esqueleto, brindándole resistencia estructural y rigidez. Se denominan blandas por su textura suave al tacto, su flexibilidad, elasticidad y su finura; entre ellas, el lino, el ramio, el yute, y el cáñamo

[13]. Estas fibras forman una red ubicada en una parte del floema, tal como se muestra en la Figura 10

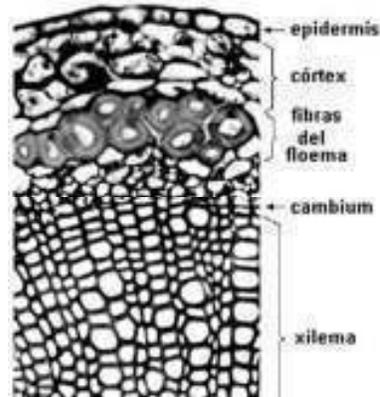


Figura 10: Fibras flemáticas en corte transversal del tallo del lino (Mohanty, 2006)

Fuente: [13] V.H. Guerrero, J. Davila, S. Gales, P. Pontón, N Rosas. Quito 2011.

Nuevos materiales: aplicaciones estructurales e industriales.

Las fibras duras constituyen las hojas de ciertas plantas entre las que se encuentran la cabuya, el abacá, el plátano y el formio. Estas fibras son por lo general de mayor grosor, aspereza y rigidez, pues poseen un alto contenido de lignina. Estas son obtenidas a partir de un proceso de descortezación, que consiste en separar mecánicamente la corteza del tallo mediante el uso de maquinaria industrial; mientras que las fibras de superficie corresponden a los pelos de la epidermis de las semillas, como por ejemplo, el algodón [13].

2.4.3.4 COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LAS FIBRAS VEGETALES

Con excepción del algodón, los componentes de las fibras naturales son celulosa, la hemicelulosa, la lignina, pectinas, ceras y sustancias solubles en aguas; siendo de todos ellos, la celulosa, la lignina y la hemicelulosa, los principales componentes; por lo que se ha establecido que la relación entre ellas es aproximadamente de 4:3:3 [13]. Tanto en la composición de las fibras, como en su estructura los factores que influyen directamente son, las condiciones climáticas, la edad de las fibras y el procesamiento de las mismas [12].

Tabla 4: Composición química en porcentaje de algunas fibras vegetales.

Fibra	Celulosa (% peso)	Hemicelulosa (% peso)	Lignina (% peso)
Lino	71,2	18 - 20	2,2
Cáñamo	70 - 75	17 - 22	3,7 - 5,7
Yute	61 - 71	13 - 20	8,1 - 13
Kenaf	45 - 57	21	8 - 13
Ramio	68 - 76	13 - 16	0,6 - 0,7
Abacá	63 - 70	20 - 21	5 - 6
Sisal	67 - 78	10 - 14	8 - 14
Algodón	82 - 93	3 - 6	---
Bambú	35 - 61	15	27 - 32
Coco	32 - 43	0,15 - 0,25	40 - 45
Banana	63 - 64	10	5
Formio	71,3	---	---

(Fuente: V.H. Guerrero, J. Davila, S. Gales, P. Pontón, N Rosas. Quito 2011. Nuevos Materiales: Aplicaciones Estructurales e Industriales, Pág. 81 [13]).

CELULOSA Es uno de los componentes esenciales de todas las fibras naturales, constituyen aproximadamente el 50% de la biomasa vegetal, en dependencia del tipo de planta. La celulosa es un polisacárido insoluble en agua, rígido y de peso molecular variable, cuya fórmula empírica es $(C_6H_{10}O_5)_n$, con un valor mínimo de $n = 200$. Su estructura corresponde a la de un homopolímero lineal, cuya unidad fundamental es la β -glucosa. La unión de estas unidades forma a la celobiosa, la cual se repite exactamente en la cadena polimérica tal como se observa en la Figura 12 -b y c, donde se indica la configuración de la celulosa en forma de silla



Figura 11: Estructura de la celobiosa, con dos unidades de glucosa.

Fuente: [13]

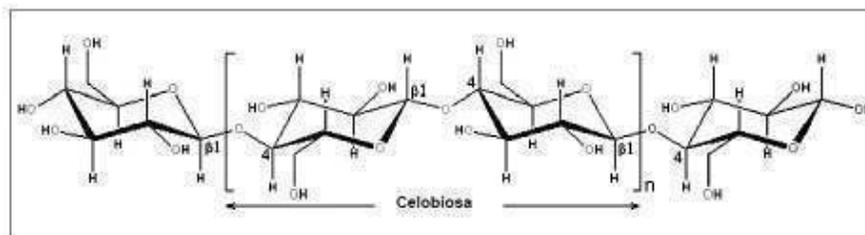


Figura 12: Estructura de celulosa y la celobiosa, con dos unidades de glucosa.

Fuente: [13]

Como se ilustra en la figura 11 y 12, cada unidad de glucosa contiene tres grupos de –OH, que firman puentes de hidrogeno dentro de la propia molécula y con otras macro moléculas de celulosa, además de con otros grupos de –OH de otras especies químicas.

Las propiedades mecánicas de las fibras naturales dependen del tipo de celulosa que contienen; ya que cada tipo de celulosa tiene su propia geometría celular y condiciones geométricas de disposición espacial, que determina las propiedades mecánicas. La celulosa forma una estructura cristalina con regiones de elevada ordenación y regiones amorfas.

Fibra con alto contenido de celulosa	
Ventajas	Desventajas
Gran capacidad de absorber humedad	Baja resiliencia
Capacidad de soportar altas temperaturas	Susceptible a daños por ácidos minerales y orgánicos
Bajo volumen	Alta flamabilidad
Buen conductor de la electricidad	Resistencia moderada a la luz solar

Figura 13: Propiedades que la celulosa le confiere a una fibra natura

Fuente: [13]

HEMICELULOSA La hemicelulosa consta de un grupo de polisacáridos, excluyendo a la pectina, que permanecen asociados a la celulosa, cuando la lignina ha sido eliminada. Los polisacáridos son, en su mayor parte, azucres distintos de la D-glucosa principalmente, D-xilosa, D-glactosa, D-manosa y L-arabinosa; además contiene algunos productos de oxidación de estos azucres y algunos ésteres.

A pesar de ser similares a la celulosa, las hemicelulosas son de menor masa molecular, exhiben mayor solubilidad en agua y presentan mayor facilidad para su extracción y descomposición. Estos presentan una estructura heterogénea y están constituidas por más de un tipo de

monómero. Su clasificación se encuentra en función del número de átomos de carbono en su cadena, aquellos formados por 5 átomos de carbono se denominan “pentosanos” y los conformados por una cadena de 6 átomos de carbono “hexosanos.”

LIGNINA La lignina es el tercer compuesto mayoritario en las paredes celulares de los vegetales, siendo aproximadamente el 25% de la materia celular. Su función principal es la de actuar como agente cementante entre las fibras vegetales y como barrera ante la degradación enzimática de las paredes celulares; además le confiere al tallo resistencia a impactos, compresiones y flexiones. La lignina también aporta rigidez a la pared celular y le brinda protección tanto al ataque de sustancias químicas como a la acción de los microorganismos sobre la célula impidiendo la penetración de enzimas destructivas. La lignina es un polímero mixto formado por moléculas grandes y ramificadas. Presenta una estructura compleja, por lo que no se tiene una estructura definida para este elemento [13].

2.4.3.5 LONGITUD Y DIÁMETRO DE LAS FIBRAS

Las fibras pueden ser cortas, largas o incluso continuas. Para esto se ha definido la **relación forma l/d** , donde l es la longitud de la fibra y d su diámetro. Las fibras comunes o típicas tienen diámetros que van desde 10 micrones ($10 \times 10^{-4} \text{cm}$) hasta 150 micrones ($150 \times 10^{-4} \text{cm}$).

La resistencia del compuesto es mejor cuando se obtiene una relación de forma grande, debido a que a menudo las fibras se fracturan debido a defectos en la superficie. Considerar un diámetro excesivamente pequeño, le da a la fibra menos área superficial, en consecuencia, hay menos defectos que pueden propagarse durante el proceso o bajo carga. La preferencia de obtener o trabajar con fibras largas, posibilita a que los extremos de una fibra soporten menos carga que el resto; por lo tanto, a

menos extremo, mayor capacidad de las fibras de soportar carga. Se ha encontrado relaciones de l/d de 1000 entre la longitud y el ancho. Tal es el caso del lino, ramio, cáñamo, kenaf y yute.

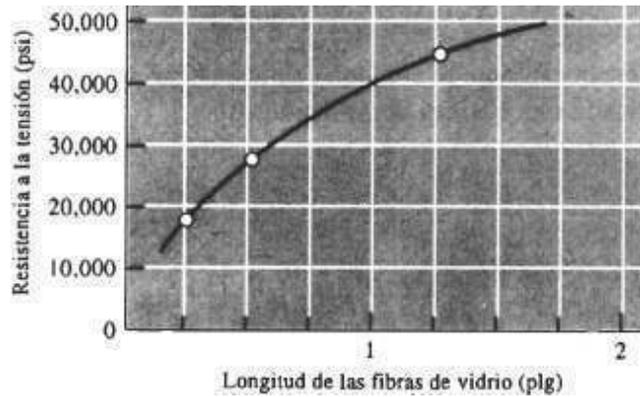


Figura 14: Representación de la relación Resistencia vs Longitud de Fibras (Fibra recortada de Vidrio) en una matriz epóxica cuya fracción en volumen de las fibras de vidrio es de aproximadamente de 0.5.

(Fuente: Donald R, Askenland. Pág. 522[9]).

Para cualquier diámetro de fibra d , se puede determinar una longitud crítica de fibra l_c .

$$l_c = \frac{\sigma_f d}{2\tau_i}$$

Dónde: σ_f es la resistencia de la fibra y τ_i está relacionado con la resistencia de la unión entre la fibra y la matriz o al esfuerzo al que la matriz se empieza a deformar. Si la longitud l de la fibra es menor que l_c se observa poco efecto reforzante; si l es mayor que aproximadamente 15 l_c , la fibra se comporta como si fuera continua. La resistencia del compuesto se puede calcular como:

$$\sigma_c = f_f \sigma_f \left(1 - \frac{l_c}{2l}\right) + f_m \sigma_m$$

Dónde: σ_m es el esfuerzo en la matriz al romperse las fibras.

2.4.3.6 CANTIDAD DE LAS FIBRAS.

Una fracción mayor de volumen de fibras incrementará la resistencia rigidez del compuesto, como lo indica la regla de las mezclas. Sin embargo, la fracción máxima de volumen de fibras es aproximadamente 80%, más allá de esta cantidad las fibras ya no quedan totalmente rodeados por la matriz.

2.4.3.7 INFLUENCIA DE LA ORIENTACIÓN DE LAS FIBRAS Y LA CONCENTRACIÓN.

La orientación de las fibras, su cantidad y distribución tienen una influencia significativa en la resistencia mecánica y en otras propiedades de los materiales compuestos. Con respecto a la alineación de la fibra, básicamente existen dos posibilidades: (i) alineación en la dirección paralela al eje longitudinal de las fibras (fibras continuas y discontinuas) y (ii) alineación totalmente al azar. En la Figura 15 se muestran las alineaciones posibles en un material compuesto reforzado con fibra [13].

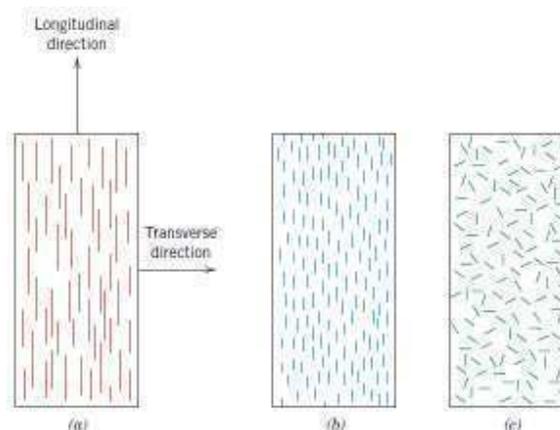


Figura 15: Orientación de la fibra: (a) Continua y alineada (b) discontinua y alineada y (c) discontinua al azar.

Fuente: (Callister, 2007 [10])

Las fibras también pueden ser organizadas en patrones tridimensionales, por lo que existen varias posibilidades en cuanto a la arquitectura de este tipo de refuerzos, pues pueden existir tejidos y no tejidos con diferente

organización, como lo muestra la Figura 16 y que serán analizados con profundidad más adelante.

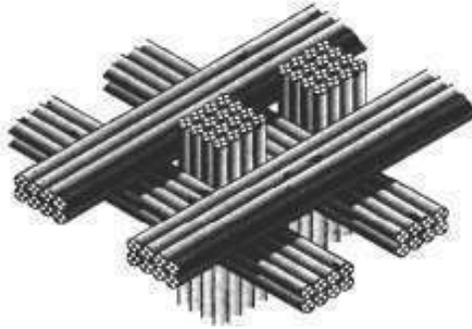


Figura 16: Orientación de la fibra: (a) continua y alineada (b) discontinua y alineada y (c) discontinua al azar. (Fuente: Donald R, Askenland. Pág. 524[9]).

La orientación de la fibra es muy importante para las propiedades finales del material compuesto. Cuando se trabaja con fibra continua y alineada, las propiedades mecánicas dependerán principalmente del ángulo formado entre la dirección de aplicación de la carga y la dirección de la fibra. De esta manera, en la Figura 17 se muestra la influencia del ángulo (0 y 90°) sobre las constantes elásticas de un material compuesto [12].

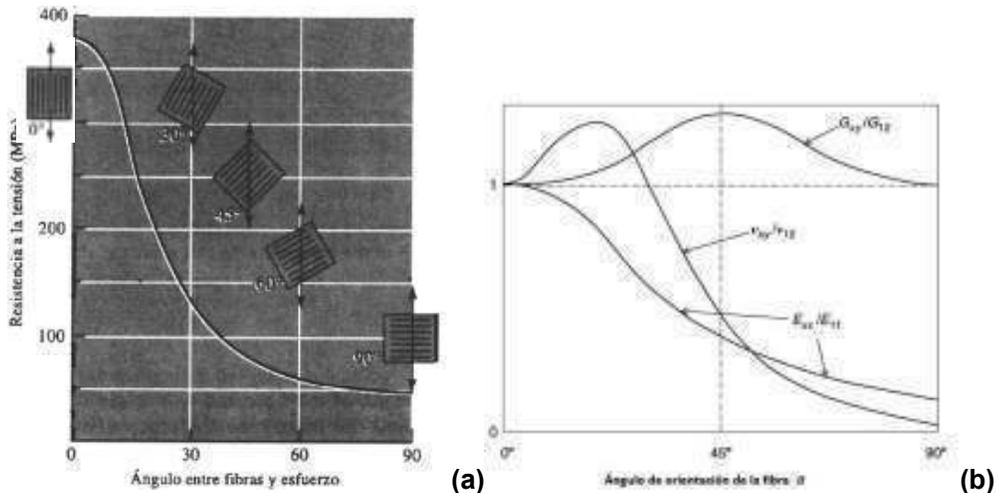


Figura 17: (a) Efecto de la orientación de la fibra vs resistencia a la tensión de compuestos epóxicos reforzadas con fibra de vidrio. (b) Variación de las constantes elásticas de un material compuesto con fibra de vidrio continua en función del ángulo de orientación.

(Fuente: (a) Askenland. Pág. 523[9] y [13]).

De manera general, si se analizan el esfuerzo y la deformación en un material compuesto reforzado con fibras (unidireccionales continuas) en sus componentes, se pueden visualizar mediante la Figura 2. En este caso se presentan las curvas esfuerzo vs. Deformación para un material compuesto por fibras frágiles y una matriz dúctil.

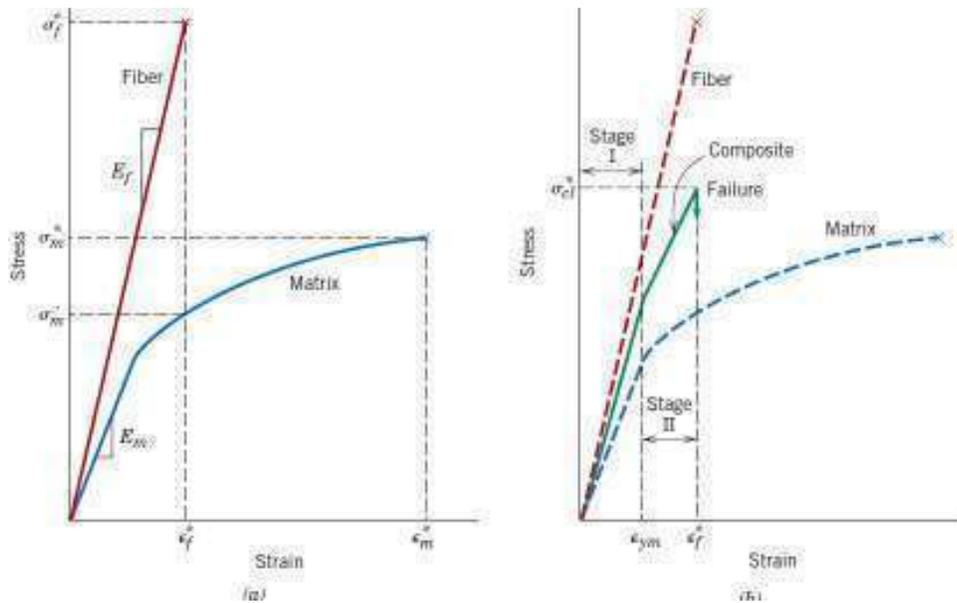


Figura 18: Relación esfuerzo - deformación entre la fibra y la matriz.

Fuente: (Callister, 2007)

Como se puede observar, la fibra tiene un esfuerzo de tracción σ_f y la matriz σ_m . A estos esfuerzos les corresponden elongaciones ϵ_f y ϵ_m , siendo $\epsilon_f > \epsilon_m$. Como se aprecia, el comportamiento del compuesto es una combinación de éstos.

En primera instancia, ambos materiales se deforman elásticamente, mostrando un comportamiento lineal. El compuesto tiene un comportamiento lineal con un módulo más bajo que el de las fibras y donde la cantidad de la carga que soporta la fibra es mayor, por lo que la fractura tendrá lugar cuando las fibras comiencen a fallar, lo cual ocurre

en ϵ_f , según la Figura 18. Esta falla no es catastrófica por dos razones: la primera es que no todas las fibras fallan al mismo tiempo y además la matriz soporta aún los esfuerzos por encontrarse intacta ($\epsilon_f < \epsilon_m$).

2.4.3.8 PROPIEDADES MECÁNICAS DE COMPUESTOS REFORZADOS CON FIBRAS

Generalmente los compuestos reforzados con fibras son anisotrópicos; por lo que algunas propiedades varían dependiendo del eje geométrico o plano a lo largo del cual fueron determinadas.

Para que un compuesto sea isotrópico en cuanto a una propiedad en específico, por ejemplo, el módulo de Young, todos los elementos de refuerzo, sean fibras o partículas deben estar orientados de forma aleatoria. Pero la mayoría de métodos de fabricación provoca cierta orientación de fibras [13].

En la mayor parte de compuestos reforzados con fibras, las propiedades relevantes de las mismas son la alta resistencia, rígidas y de poco peso. Además cuando el compuesto debe estar sometido a diferentes condiciones de trabajo, como el da soportar altas temperaturas se, la fibra deberá tener una alta temperatura de fusión, por lo que las resistencia específica y el módulo de específico son características importantes.

$$\text{Resistencia Específica: } = \frac{\sigma_y}{\rho}$$

$$\text{Módulo Específico: } = \frac{E}{\rho}$$

Dónde: σ_y es el esfuerzo de cadencia, ρ la densidad y E el módulo de elasticidad.

REGLA DE LAS MEZCLAS EN LOS COMPUESTOS POR FIBRAS

Esta regla define algunas características de los materiales compuestos reforzados con fibras como la densidad.

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

Donde ρ_c es la densidad del compuesto, f_m y f_f son las fracciones volumétricas cada constituyente y los subíndices m y f se refieren a la matriz y a la fibra respectivamente.

Hay que considerar que: $f_m = 1 - f_f$

2.4.3.8 INFLUENCIA DE LA LONGITUD DE LA FIBRA EN COMPUESTOS REFORZADOS CON FIBRAS DISCONTINUAS ALINEADAS.

Las características del material compuesto no solo dependen de las propiedades de la fibra, sino del grado en el cual una carga aplicada puede ser transmitida de la matriz a las fibras. Para ello, es muy importante asegurar la unión entre la fibra y la matriz, debido a que la carga es transferida por un mecanismo de corte.

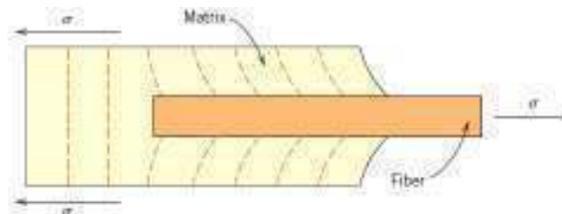


Figura 19: Deformación generada en la matriz alrededor de una fibra sometida a una carga de tensión.

(Fuente: Callister 2007. Pág. 585[10]).

En la figura 19 mostrada se observa el efecto que tiene el extremo de la fibra en la matriz. Es en este punto donde se termina la unión entre la fibra y la matriz. Después del análisis correspondiente, se determina que debe existir una longitud mínima efectiva (l_c) para la transmisión de la carga y esfuerzos para un diámetro de fibra dado.

Para una longitud de fibra menor a la crítica, el esfuerzo inducido en la fibra es menor que el que es capaz de soportar. En este caso la intercara o la matriz pueden fallar antes de que la fibra alcance su esfuerzo potencial; mientras que cuando la longitud de fibra es mayor que la crítica, la fibra puede alcanzar su valor máximo de esfuerzo.

En una fibra de diámetro df y de longitud lc , se tendrá que el esfuerzo máximo es soportado en el punto medio de la fibra. Pero para distancias iguales a $lc/2$ de cada extremo de fibra, esta puede resultar poco efectiva. Por lo cual, para tener un refuerzo efectivo se debe incrementar la longitud del refuerzo, mucho más allá del valor crítico.

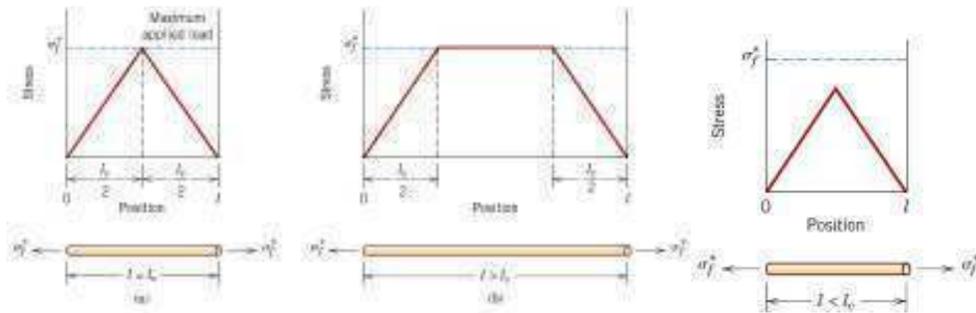


Figura 20: Efecto de la longitud en la resistencia de la fibra.

(Fuente: Callister 2007. Pág. 586[10]).

2.4.3.9 INTERFAZ FIBRA MATRIZ.

Un compuesto de matriz polimérica, está determinado también por el comportamiento de la interfaz o unión entre sus constituyentes (fibra – matriz). Las fibras deben estar unidas al material de la matriz, si la carga debe transferirse correctamente de la matriz a las fibras. Si la unión es pobre, las fibras pueden salirse de la matriz durante la aplicación de la carga, reduciendo la resistencia y la resistencia a la fractura de del compuesto. La figura 21 muestra una unión pobre de fibras de carbono en una matriz de cobre.

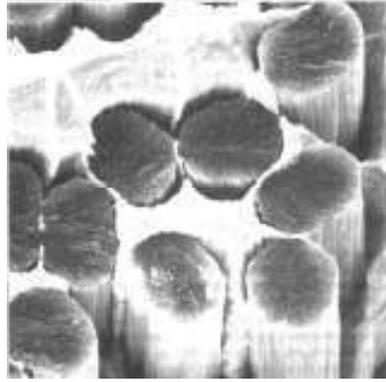


Figura 21: Microfotografía obtenida por microscopia electrónica de barrido de la superficie de fractura de una aleación plata-cobre, reforzada con fibras de carbono.

(Fuente: Askenland. Pág. 528[9]).

La superficie o la zona de unión donde ocurre la discontinuidad, sea física, mecánica, química u otra, es conocida como INTERCARA, En esta zona la matriz debe “mojar” al refuerzo. Por ello, se suelen utilizar agentes de enlace o unión, de tal forma que mejore la mojabilidad y aumente la superficie de intercara y la que se ilustra en la Figura 12.

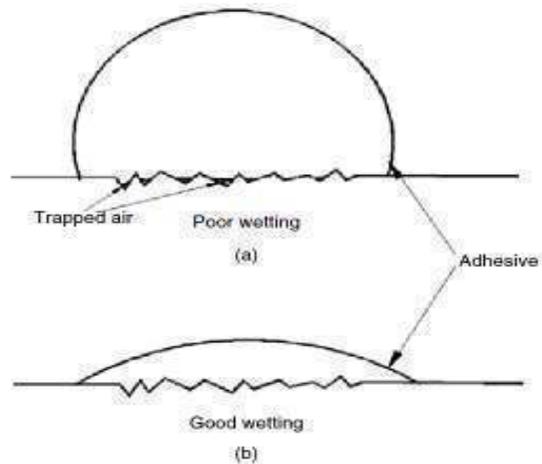


Figura 22: Humectación de la matriz sobre la superficie del refuerzo.

(Fuente: [14]. Pág. 19).

Para obtener propiedades mecánicas deseables en un compuesto, la carga aplicada debe ser transferida de manera efectiva de la matriz hacia el refuerzo a través de la interfaz. Esto significa que la intercara debe tener un tamaño relativamente grande. Asimismo, debe exhibir gran

adhesión entre el refuerzo y la matriz. Algunas teorías sobre la correcta adhesión son más aplicables a un tipo de aplicación que a otras; sin embargo se presentan las siguientes que ayudaran a tener una mejor comprensión.

- Adherencia por bloqueo mecánico.
- Teoría de Adsorción.
- Teoría de la Electrostática y la Difusión.
- Tratamiento de Superficies.

1 Adherencia por bloqueo mecánico El bloqueo mecánico va dirigido a la introducción de la matriz en estado líquido a todas las cavidades, poros y asperezas de la superficie de refuerzo, donde el aumento en la adherencia por bloqueo se puede lograr mediante la mejora de la morfología de la superficie y de las propiedades físico-químicas de superficie de la matriz y del refuerzo. Por lo que la mejora de la adherencia también se puede conseguir con el aumento de la rugosidad de la superficie del refuerzo [14].

2 Teoría de la Adsorción Las fuerzas superficiales secundarias que se producen son las de Van der Waals. Para desarrollar las fuerzas de atracción molecular, debe haber un contacto íntimo entre el adhesivo y la superficie del sustrato, y las superficies no deben estar a las de 5 Angstroms de distancia. Una excelente adherencia en esta teoría se la conoce como adherencia de soldadura [14].

3. Teoría de la Electrostática y la Difusión Se puede considerar a ésta como la combinación de las teorías de adsorción y mecánica. La cual determina que las fuerzas electrostáticas forman una doble capa eléctrica que se forma en la interfaz del adhesivo y el sustrato. Estas fuerzas crean la resistencia contra la separación.

De acuerdo con la teoría de la difusión, la adhesión se produce debido a la interrelación de difusión de moléculas en el adhesivo y las superficies de sustrato. La clave para los procesos de difusión es que los materiales del sustrato y del adhesivo deben ser químicamente compatibles. [14]

En las fibras sintéticas, particularmente en la fibra de vidrio, para garantizar una buena adhesión a la matriz, la superficie de la fibra se recubre con un ensimaje que tiene como función el proporcionar una fuerte unión química entre los grupos óxido de la fibra y las moléculas de polímero de la resina. Por lo que una mejor adhesión se puede obtener con recubrimientos que presenten mejor afinidad.

4. Tratamiento de Superficies- Para mitigar los efectos de las desventajas antes mencionadas, es necesario modificar la superficie de las fibras, por medio de métodos físicos o químicos; estos tratamientos permiten mejorar las propiedades mecánicas de los compuestos. Entre los métodos físicos comúnmente usados están el tratamiento corona, el tratamiento plasma, mercerización y el tratamiento térmico.

Los métodos químicos usualmente usados son el método basado en esterificación y la inclusión de agentes de acoplamiento de silano. Debido a que se ha demostrado que la mejoría en las propiedades mecánicas de materiales compuestos reforzados con fibras naturales.

En el trabajo “Influencia de la modificación de las fibras sobre las características a fractura de un poliestireno reforzado con fibras de yute”, realizado por Llop, López, Vilaseca y Mutjé en la Universidad de Girona, el tratamiento dado a la fibra fue el de mercerización con hidróxido sódico al 0.5% durante cuatro horas. En la Tabla 5 se resumen los resultados obtenidos del material compuesto reforzado con una fracción volumétrica del 0,3 con fibra de yute con y sin tratamiento, además de muestras de poliestireno.

Tabla 5: Propiedades mecánicas de un material compuesto de matriz poliestireno reforzado con fibra de yute con y sin tratamiento superficial.

Muestra	Tenacidad a la fractura [MPa.m^{1/2}]	Porcentaje de diferencia
Poliestireno	1,23	-
Poliestireno/Yute	2,35	91
Poliestireno/Yute Tratado	2,89	135

(Fuente: [14]. Pág. 23)

Un ejemplo de utilización de tratamientos superficiales, que se presentó en el estudio [14], se elaboró un material compuesto de matriz epoxi reforzado con fibras de banano, las cuales fueron sometidas a tres diferentes tratamientos: uno fue el de mercerización, otro con agentes de acoplamiento de silano y finalmente una combinación de los dos tratamientos anteriores. Se fabricó material compuesto con una fracción del 20% en peso de refuerzo. Se realizaron ensayos de flexión a tres puntos, de los cuales se obtuvieron los resultados. Tabla 6.

Tabla 6: Propiedades mecánicas de un material compuesto de matriz Epoxi reforzado con fibra de banano con y sin tratamiento superficial.

	Tratamiento realizado a la fibra			
	Sin tratamiento	Mercerización	Silanización	Mercerización/ n/ Silanización
Ensayo de flexión [MPa]	50	62	78	112

(Fuente: [14]. Pág. 23)

De acuerdo a los resultados, se considera que los tratamientos de mercerización y silanización resultan eficientes para incrementar la compatibilidad a través de la interfaz fibra de banano-matriz epoxi. Las mejores propiedades se obtuvieron con las fibras que fueron tratadas previamente con una solución alcalina. Este procedimiento permite que el silano se fije en forma más efectiva sobre la fibra, debido a la eliminación de componentes como pectina y ceras, provocando que se altere la rugosidad superficial de la fibra. [14]

2.4.4 MATERIALES HÍBRIDOS.

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 de fibras sintéticas o una combinación entre fibras sintéticas y fibras naturales; mientras que Ashby [3] dice que un material híbrido es la combinación de dos o más materiales ensamblados con una configuración y escala predeterminada, de tal forma que se generen propiedades o atributos que no son ofrecidos por ninguno de los componentes por sí solos.

El interés actual en utilizar fibras naturales en compuestos híbridos se debe a la creciente preocupación por la preservación del medio ambiente y el uso de materias primas renovables. Además, existe un gran interés en la búsqueda de fibras naturales que puedan reemplazar adecuadamente a las fibras sintéticas, como la fibra de vidrio o combinarlas, para tener materiales competitivos y con menores costos. Los materiales híbridos se subdividen en: (1) compuestos, (2) materiales tipo sánduche, (3) enrejados y (4) estructuras segmentadas [14]. Esta clasificación se muestra en la Figura 23:

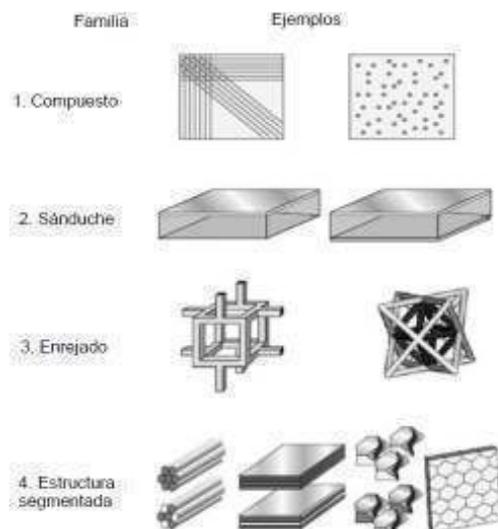


Figura 23: Clasificación de los materiales híbridos.

(Fuente: Ashby, 2011[3]).

Se pueden emplear refuerzos que por un lado amplifiquen las propiedades mecánicas y que por otro generen propiedades multifuncionales, para lo cual, el refuerzo puede involucrar fibras y partículas.

En la Universidad Ecuatoriana se han desarrollado investigaciones dentro de los materiales híbridos como por ejemplo: con la fibra de abacá se han obtenido y caracterizado diferentes materiales compuestos tejidos y no tejidos como refuerzo en aglomerados de fibro - cemento y hormigón reforzado con abacá y cabuya. De manera general, se ha logrado incrementar la resistencia a la tracción, a la flexión y al impacto, sin embargo, se debe considerar que para cada caso estudiado se establecieron los porcentajes de fibra que mejoran las propiedades, ya que si se excede cierta cantidad de fibra, el refuerzo afectaría las propiedades del composite en lugar de mejorarlas [14].

Tabla 7: Formulaciones para la fabricación de probetas de material híbrido abacá-vidrio-poliéster. (Fuente: [13] Pág. 249).

Configuración de la fibra	Fracción volumétrica de refuerzo (vol%)	Configuración del refuerzo (%)
Tejido plano	15 y 20	Fn 100 / Fv 0
Sarga		Fn 25 / Fv 75
Fibra corta aleatoria		Fn 50 / Fv 50
Fibra larga unidireccional		Fn 0 / Fv 100

*Fn50/Fv50 significa "Fn" fibra natural al 50% y "Fv" fibra de vidrio al 50%.

En la tabla 7 se muestra las formulaciones utilizadas en la fabricación de las distintas probetas de material híbrido abacá-vidrio-poliéster.

Se elaboraron también probetas de material compuesto híbrido con fibra continua orientada longitudinalmente, tejido plano y sarga de fibra de abacá. En la Tabla 8 se muestra un resumen de valores promedio de las propiedades mecánicas a tracción alcanzadas por las mejores formulaciones de cada configuración de fibra de abacá; mientras que en la Figura 24 se presentan las curvas esfuerzo vs. Deformación [13].

Tabla 8: Propiedades mecánicas a tracción alcanzadas por las formulaciones de los materiales compuestos híbridos.

Formulaciones del compuesto híbrido	Esfuerzo máximo [MPa]	K_{σ}	Deformación a la ruptura	Módulo de elasticidad [MPa]	K_{ϵ}
Fibra corta de abacá/Mat de fibra de vidrio					
25A/75V	69,77	0,054	0,0242	2770,38	0,812
50A/50V	54,35	0,044	0,0239	2131,92	0,444
75A/25V	32,76	0,008	0,0148	2108,76	0,450
Fibra continua unidireccional de abacá/Mat de fibra de vidrio					
25A/75V	115,02	0,115	0,0318	3356,62	1,168
50A/50V	93,48	0,114	0,0302	2456,60	0,650
75A/25V	137,77	0,286	0,0296	4472,60	2,015
Tejido plano de abacá/Mat de fibra de vidrio					
25A/75V	94,05	0,087	0,0361	2491,44	0,643
50A/50V	85,37	0,099	0,0383	2148,50	0,455
75A/25V	84,61	0,145	0,0328	2521,78	0,723
Tejido sarga de abacá/Mat de fibra de vidrio					
25A/75V	78,54	0,066	0,0263	2682,96	0,759
50A/50V	72,40	0,076	0,0242	2273,80	0,534
75A/25V	52,86	0,061	0,0201	2384,60	0,632

(Fuente: [13] Pág. 250)

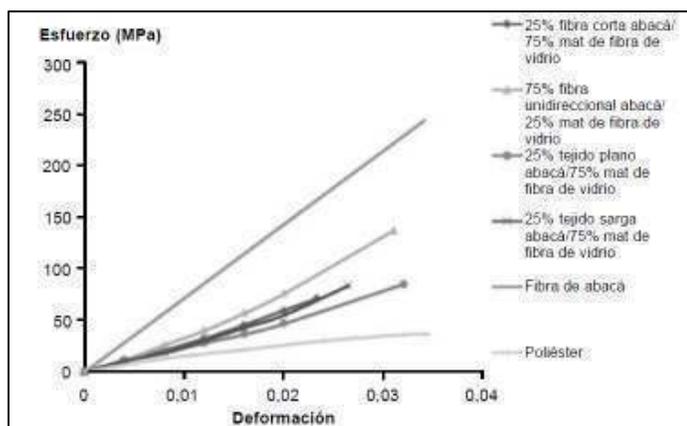


Figura 24: Curvas esfuerzo-deformación obtenidas mediante ensayos de tracción de las mejores formulaciones de los materiales compuestos híbridos de matriz poliéster reforzados con fibra de abacá y fibra de vidrio. (Fuente: [13] Pág. 251)

Además, se han desarrollado materiales de poliéster reforzados con fibra de coco para la fabricación de techos [13]. Con frecuencia también se emplean materiales híbridos en la industria de la construcción, ese es el caso de un material de poliéster reforzado con fibra de vidrio y fibras de sisal y yute.

2.4.4.1 RESINA POLIÉSTER.

La resina poliéster, frecuentemente usada por su bajo costo, tiene un contenido de estireno monómero entre 30 y 50% en peso. Como iniciador se utiliza generalmente octoato de cobalto y como catalizador peróxido de metiletil cetona (MEKP, por sus siglas en inglés).

La resina Poliéster es un plástico termo – estable, es decir que adquiere su forma final mediante reacción química y no existe forma de llevarlo luego a su estado inicial además no es reciclable. La resina poliéster insaturada, comercialmente se consigue como un líquido espeso, de color amarillo, rosa, azul o café, turbio o transparente; donde sus colores y características obedecen a su tipo, grado de preparación y uso recomendado.

En equipos llamados reactores con temperatura y ambiente controlado, se ponen a reaccionar, por lo general, anhídrido ftálico, anhídrido maléico y dietilen glicol para luego de aproximadamente quince horas de proceso, obtener la resina poliéster. En esta etapa inicial el poliéster se presenta como un líquido muy viscoso e inestable. Luego en un proceso complementario llamado dilución el poliéster se ajusta a sus propiedades finales con aditivos especiales y estireno.

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:

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. [15]

PROPIEDADES DE LA RESINA POLIÉSTER

El poliéster usado como material de diseño, tiene propiedades sobresalientes que debemos conocer para sacarles el máximo provecho y son las que se muestran en la Tabla 9.

Aislante térmico y eléctrico.

Anticorrosivo.

Reforzado con fibras de vidrio, puede tener resistencia mecánica igual al acero.

Para igual resistencia mecánica, es más liviano que la mayoría de los materiales convencionales.

Bien seleccionado y formulado, el poliéster resiste el agua, la intemperie y el ataque químico de una amplia gama de productos industriales.

Los productos industriales fabricados con este material, son de fácil transporte, montaje y mantenimiento, lo cual lleva a menor costo en la vida útil del equipo. [15]

Tabla 9: Propiedades mecánicas de la resina Poliéster [15]

PROPIEDAD	VALOR
Peso específico (densidad)	1,28
Dureza	110 RockwellM
Resistencia a la tracción	55 MN/m ²
Resistencia a la compresión	140 MN/m ²
Resistencia al impacto	2 KJ/m ²
Módulo de Young	3,5 GN/m ²
Alargamiento a la rotura	2%
Conductividad Térmica	0,2 W/m°C
Coefficiente de dilatación lineal	100*10 ⁻⁶ /°C
Absorción de agua, 24 hr, 20 °C	0,15%

(Fuente: DÍAZ, Agustín, INTRODUCCIÓN A LA RESINA POLIÉSTER COMO MATERIAL COMPUESTO, Suin S.A., Medellín Colombia, 2008, Pág. 1-2)

Resina Poliéster Tereftálica RPD105ATIX Resistencia a la corrosión de ácidos orgánicos e inorgánicos. Gran resistencia a los solventes, probada para muchos combustibles incluidos la gasolina, kerosene, aceite de calentamiento (térmico) y aceites crudos. [16]. Hay que considerar también una viscosidad adecuada. Tablas 10, 11 y 12.

Tabla 10: Propiedades de la Resina Poliéster Líquida Tereftálica RPD105ATIX

ESPECIFICACIÓN	VALOR
Viscosidad @ 25° C, RVF Brookfield , aguja # 2 a 20 r.p.m. (cps)	550
Índice Tixotrópico	2,5
Densidad @ 25 ° C (gr/ml)	1,075
Color	Rosa
% de Sólidos	54
Dureza Barcol Vaciado sin Refuerzo espesor 3mm en diámetro de 11cm	40

Tabla 11: Propiedades de la Resina Poliéster Curada Tereftálica RPD105ATIX

ESPECIFICACIÓN	VALOR
Tiempo de gel @ 25°C (min, seg.) 100 gr. de resina + 1.0 grs de catalizador Butanox BM-50 temperatura prueba 25°C	10
Tiempo de Curado (minutos)	20
Temperatura de Exotermia (° C)	215

Tabla 12: Propiedades Mecánicas de la Resina Poliéster Tereftálica RPD105ATIX

PROPIEDAD	VALOR
Contenido de Resina	100
Contenido de Fibra de Vidrio	-----
Resistencia a la Tensión (psi/Mpa)	10,100/70
Módulo de Tensión (psi/Gpa)	510,000/3.5
% Elongación en Tensión	2.3
Resistencia a la Flexión (psi/Mpa)	19,400/134
Módulo de Flexión psi/Gpa	570,000/3.9
HDT (°F/°C, 264 psi)	282/139
Dureza Barcol	51

Fuente: [15]

2.4.4.2 FIBRA DE VIDRIO.

La fibra de vidrio es simplemente un compuesto que consiste en fibras de cristal, continua o discontinua, contenida dentro de una matriz de polímero; este tipo de compuesto es producido en grandes cantidades. La composición de cristales que forman las fibras está contenida en la Tabla 13; diámetros de fibra normalmente se encuentran entre 3-20 μm .

Tabla 13: Composiciones y Características de Algunos Cristales Comunes Comerciales

Glass Type	Composition (wt%)						Characteristics and Applications
	SiO ₂	Na ₂ O	CaO	Al ₂ O ₃	B ₂ O ₃	Other	
Fused silica	>99.5						High melting temperature, very low coefficient of expansion (thermally shock resistant)
96% Silica (Vycor™)	96				4		Thermally shock and chemically resistant—laboratory ware
Borosilicate (Pyrex™)	81	3.5		2.5	13		Thermally shock and chemically resistant—ovenware
Container (soda-lime)	74	16	5	1		4MgO	Low melting temperature, easily worked, also durable
Fiberglass	55		16	15	10	4MgO	Easily drawn into fibers—glass-resin composites
Optical flint	54	1				37PbO, 8K ₂ O	High density and high index of refraction—optical lenses
Glass-ceramic (Pyroceram™)	43.5	14		30	5.5	6.5TiO ₂ , 0.5As ₂ O ₃	Easily fabricated; strong; resists thermal shock—ovenware

(Fuente: Callister Pág. 462)

Las principales ventajas de la fibra de vidrio son: su bajo costo, alta resistencia a la tracción y alta resistencia química. Las desventajas radican en el relativamente bajo módulo de elasticidad, alta densidad, sensibilidad a la abrasión y alta dureza, que causa desgaste en herramientas de corte. Principalmente las fibras utilizadas en materiales compuestos son fabricadas con vidrios E (eléctricos) y vidrios S (de alta resistencia). Los últimos poseen una mejor relación resistencia-peso y son más costosos que los tipos E [14].

PRESENTACIÓN COMERCIAL DE LA FIBRA DE VIDRIO

Una vez obtenidas las fibras, a partir de ellas se pueden generar varios productos y diferentes presentaciones, para usos específicos. Entre ellos se encuentran: [14].

Mechas Las mechas de fibra de vidrio, constituidas por un conjunto de filamentos paralelos en un número de 204 o más. A menudo la presentación comercial de este producto son rollos y se usan en procesos de bobinado de filamentos.

Hilados Estas tienen similitud con las mechas, la diferencia radica en que en los hilados se incorpora un giro en los filamentos. Otra presentación de la fibra de vidrio es la fibra picada, que es producida por el corte de

hilados en longitudes que varían entre 1,5 a 50 mm dependiendo la aplicación.

Tejido Una serie de mechas que se tejen en distintas formas. La finalidad del tejido es que las fibras estén orientadas en la misma dirección de las cargas aplicadas al material. Se fabrican en pesos por unidad de área que van desde 400-1400 g/m² y con espesores de 0,7 a 1,5 mm. El tejido se usa en materiales compuestos que requieren una rápida acumulación de espesor en áreas relativamente grandes. Este producto se utiliza generalmente en procesos de laminado manual.

Los Mats Son materiales no tejidos, donde las hebras de fibra de vidrio se cortan en longitudes de 2 a 5 cm y son uniformemente distribuidas al azar sobre un plano horizontal, unidas con algún tipo de aglomerante. Los mats se fabrican en pesos por unidad de área que varían entre 2.6-12 g/m². En la figura 25 se muestran las distintas presentaciones comerciales de la fibra de vidrio.

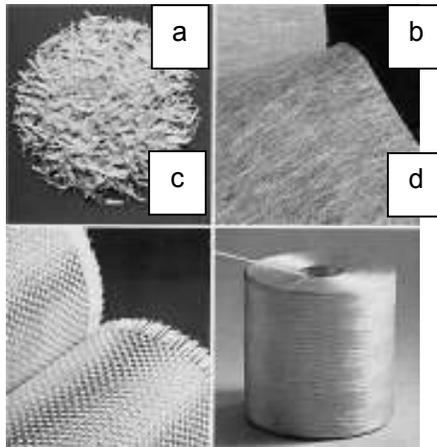


Figura 25: Presentaciones comerciales de la fibra de vidrio
(a) Fibra corta. (b) Mats. (c) Tejidos. (d) Hilados. (Fuente: [14] Pág. 10)

PROPIEDADES LA FIBRA DE VIDRIO

La fibra de vidrio es la más utilizada como refuerzo en materiales compuestos, debido a su reducido precio y versatilidad en comparación a otras fibras sintéticas, a pesar de que presenta menor resistencia y módulo a la tracción. [14]

Las principales características de la fibra de vidrio son:

Alta adherencia fibra-matriz, gracias a recubrimientos apropiados para la mayoría de matrices orgánicas.

Resistencia mecánica, siendo su resistencia específica (tracción/densidad) superior a la del acero.

Características eléctricas adecuadas, es un buen aislante eléctrico incluso en espesores reducidos, además presentan una alta permeabilidad dieléctrica.

Incombustibilidad, al ser un material mineral, la fibra de vidrio es incombustible por naturaleza, no propaga las llamas ni origina con el calor humos ni toxicidad.

Estabilidad dimensional, poco sensible a las variaciones de temperatura e higrometría, tiene un bajo coeficiente de dilatación.

Compatibilidad con la mayoría de matrices orgánicas, la capacidad de recibir diferentes ensamajes creando un puente de unión entre el vidrio y la matriz le confiere la posibilidad de asociarse con numerosas resinas sintéticas, así como ciertas matrices minerales (yeso y cemento).

Alta relación peso-resistencia.

Facilidad de fabricación y costo relativamente bajo.

Tabla 14: Propiedades físicas y mecánicas de algunos tipos de fibra de vidrio

Tipo	Vidrio A	Vidrio E	Vidrio S	Vidrio R
Diámetro de hilo [μm]	5-13	10-20	10	10
Densidad [g/cm^3]	2,5	2,54	2,48	2,59
Módulo de elasticidad [GPa]	69	72,5	86	85
Resistencia a tracción [GPa]	3,1	3,4	4,59	3,4-4,4
Elongación a la Ruptura	4,3	4,5	-	5,2

(Fuente: [14] Pág. 12)

Las propiedades de los materiales compuestos dependen de los materiales que se empleen, su configuración, disposición, cantidades relativas y la forma en la que se unen en la interfaz. La Tabla 15 que se presenta a continuación ilustra la variación de propiedades mecánicas en diferentes tipos de compuestos reforzados con fibra de vidrio.

Tabla 15: Propiedades mecánicas de materiales compuestos reforzados con fibra de vidrio en distintas configuraciones y cantidades.

Fibra de vidrio de refuerzo	CSM (PB)	WR	Tejido satín	UD-CSM combinación mat		WR-CSM combinación mat		SMC
Resina	Orto poliéster	Iso poliéster	Iso poliéster	Iso poliéster		Iso poliéster		Iso poliéster
Curado	16 h 40°C	16 h 40°C	28 días temp. ambiente	16 h 60°C		16 h 40°C		Curado en caliente
Fracción volumétrica de fibra	0,17	0,32	0,37	-		-		24% en peso
R:F proporción (en peso)	2,33 : 1	1 : 1	0,81 : 1	1,3 : 1		1,16 : 1		-
Dirección del esfuerzo	-	0°/90°	0°/90°	0°	90°	0°/90°		-
Propiedades								
SG	1,46	1,70	1,70	-		-		1,87
Resistencia a tracción (MPa)	110	220	260	300	25	180		70
Módulo de elasticidad (GPa)	8	14	17	16	7	12,2		10
Elongación a la ruptura (%)	1,6	1,7	-	2	0,8	1,8		1,4
Relación de Poisson a tracción	0,32	0,14	0,17	-		-		-
Resistencia a la compresión (MPa)	150	230	210	250		110	180	120
Módulo a la	8	15	19	-		-		-

compresión (GPa)						
Relación de Poisson a compresión	0,42	0,25	0,23	-	-	-
Resistencia a la flexión (MPa)	190	270	480	-	320	140
Módulo a la flexión (GPa)	7	14	17	-	11	8
Resistencia al corte (MPa)	80	90	70	-	-	70
Módulo a corte (GPa)	3	3,3	-	-	-	3,8
Resistencia al corte de una viga corta (MPa)	20	25	36	-	-	19
Esfuerzo de corte interlaminar (MPa)	5	7	-	-	7	-
Energía de impacto Charpy (kJ/m ²) (sin muesca)	-	-	-	-	-	60

(Fuente: [14] Pág. 13)

2.4.4.3 FIBRA DE CABUYA.

La cabuya es un tipo de fibra que se encuentra dentro de las fibras duras que constituyen las hojas de ciertas plantas entre las que se encuentran también, el abacá, el plátano y el formio. Estas fibras son por lo general de mayor grosor, aspereza y rigidez, pues poseen un alto contenido de lignina.



Figura 26: Planta de Cabuya
Fuente: Realizada por el Autor

Esta fibra es extraída de la hoja de la cabuya (*Furcraea Andina*), la misma que es una planta que crece en forma silvestre o cultivada en los valles y laderas de los Andes y pertenece a la familia de las agaváceas. La cabuya es ampliamente distribuida en la sierra del Ecuador, esta se cultiva en los valles y en las estribaciones de la cordillera para la obtención de su fibra. Se trata de una planta arrosetada que alcanza hasta 1,5 metros de altura en su parte vegetativa y si se incluye la estructura reproductora. La cabuya es una fibra resistente, durable y áspera, sus propiedades mecánicas se muestran en la Tabla 16

Tabla 16: Características mecánicas de la fibra de cabuya

Resistencia a la tracción	305 (MPa)
Resistencia al corte	112 (MPa)
Módulo de elasticidad	7,5 (MPa)
Elongación a la fractura	5%
Densidad	1,3 g/cm ³

Fuente: [13]

Si se considera que la resistencia a la tracción de la resina poliéster oscila entre 40 y 90 MPa, la fibra de cabuya constituye una buena opción para la elaboración de materiales compuestos. Además, en nuestro país se encuentran disponibles diferentes tipos de fibras y tejidos elaborados con fibra de cabuya, los cuales son utilizados principalmente en aplicaciones artesanales y podrían usarse en la elaboración de materiales compuestos. Básicamente existen dos tipos de hilos de cabuya, el hilo fino y el hilo grueso. Los diámetros aproximados de estos hilos son 0,9 mm y 1,5 mm. Por lo que debido a la caracterización mecánica que requieren las probetas de un material compuesto en el presente trabajo se pretenderá trabajar con fibra fina de cabuya, ya que el hilo grueso dificulta el procesamiento del material dentro de los moldes. Asimismo, existen diferentes tipos de tejidos de fibra de cabuya, los más utilizados son conocidos con los nombres de tejido grueso, normal y fino, tal y como se muestra en la Figura 27

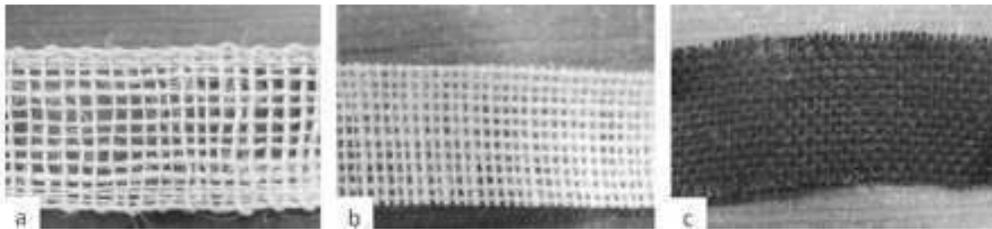


Figura 27: Tipos de tejido de cabuya: (a) grueso, (b) normal y (c) fino.

Fuente: [13]

2.4.5 MANUFACTURA DE LOS MATERIALES COMPUESTOS HÍBRIDOS.

Un adecuado proceso de obtención de materiales compuestos híbridos, determina que el costo de fabricación de un material compuesto represente entre un 50 y 60% del costo total del producto. Esta selección depende de ciertos parámetros, tales como: el tipo de matriz, el tipo y geometría del refuerzo, aplicaciones del producto terminado, entre otros.

2.4.5.1 ESTRATIFICACIÓN MANUAL

La estratificación manual, también llamada hand lay-up, es la técnica más simple y antigua para la obtención de materiales compuestos de matriz termoestable.

Las etapas del proceso de estratificación manual son:

- a. En primer a. lugar se adiciona al molde un agente de desmoldeo para poder retirar con facilidad la pieza final.
- b. Posteriormente el gelcoat es aplicado con una pistola de aspersion o de forma manual con el empleo de un rodillo.
- c. 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.
- d. 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.

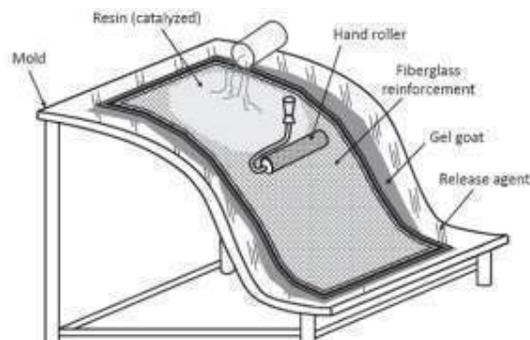


Figura 28: Esquema del proceso de producción por laminación manual.

(Fuente: [14] Pág. 30)

Ventajas 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.

Desventajas 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.

2.4.5.2 ESTRATIFICACIÓN DE PREIMPREGNADOS

Un preimpregnado 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. La técnica para la obtención de preimpregnados permite tener un control preciso de la fracción volumétrica y la dispersión homogénea del polímero en la fibra. Los preimpregnados de matriz termoestable más comunes son los de resina epóxica con refuerzos sintéticos como: fibra de vidrio, carbono, aramidas, etc. Y se pueden obtener por varios métodos, tales como [13]:

Impregnación de solvente, que consiste en disminuir la viscosidad de la resina por adición de un solvente y sumergir las fibras en este líquido. El problema de esta técnica es la posterior eliminación del solvente.

Fusión en caliente, en la cual la resina se aplica sobre las fibras en un estado viscoso, pero existe la dificultad de mojar las fibras. En la Figura 29 Un preimpregnado de matriz de resina epóxica reforzada con fibra de vidrio

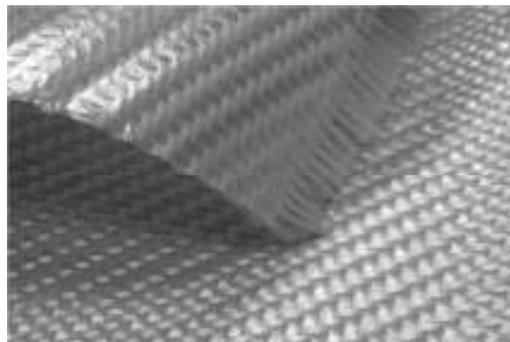


Figura 29: Preimpregnado de polieteretercetona (PEEK) y fibra de carbono.

(Fuente: [13] Pág. 106)

2.4.5.3 MOLDEO POR ASPERSIÓN

Proceso parecido al de estratificación manual e inclusive se utilizan moldes de similares características. La diferencia está en que se emplea

una pistola de aspersión que deposita fibra corta y resina simultáneamente sobre la superficie del molde.

No es necesaria la aplicación de calor, ni presión. El material polimérico más utilizado en esta técnica es la resina poliéster.

Proceso de Aplicación Esta dado por los siguientes pasos a considerar [13]:

Se deposita en el molde un agente desmoldante para el retiro fácil la pieza acabada.

Se aplica una capa de gelcoat y se la deja curar a temperatura ambiente o 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.

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.

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 Difícil 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.

2.4.5.3 MOLDEO POR COMPRESIÓN

Este proceso también es conocido como el de estampado de placas metálicas; esta técnica de moldeo es utilizado tanto para materiales termoplásticos como para termoestables y consiste en intercalar láminas de matriz y refuerzo en forma de preimpregnados en un molde que es posteriormente prensado.

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% [29]. El proceso para las matrices termoestables consiste en cortar las láminas de preimpregnado 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. Finalmente se cura el material, se libera la presión y la pieza es expulsada.

Proceso de Aplicación Existen tres fases que hay que tomar en cuenta en el moldeo por compresión: precalentamiento, moldeo y enfriamiento. Durante estas fases los parámetros que se controlan son la temperatura, la presión y el tiempo [13].

En la fase de precalentamiento se disponen alternadamente a. 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 los intersticios formados por la disposición de las fibras y las moje.

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.

Finalmente, la pieza es retirada del molde.



Figura 30: Moldeo por compresión de preimpregnado de fibra de carbono.

(Fuente: [13] Pág. 110)

Los moldes Los moldes están hechos de acero, acero inoxidable o aluminio. Estos ayudan para producir a gran escala componentes con superficies lisas. Ese es el caso de la industria automotriz, en la que se están produciendo piezas de polipropileno reforzado con fibra natural. Además, esta técnica permite la fabricación de compuestos híbridos tipo sánduche, de bajo peso y de gran resistencia a la flexión

2.4.6 ENSAYO DE MATERIALES.

Para determinar las propiedades mecánicas en la caracterización de los materiales compuestos, se utilizan ensayos destructivos. El proceso de ensayo comienza en tomar determinada cantidad de muestras del material y realizar cierto número de pruebas para caracterizar el comportamiento del mismo. Los ensayos mecánicos se realizan ante circunstancias simuladas y con equipo adecuado, para resultados satisfactorios [13].

La Sociedad Americana para Ensayos y Materiales, ASTM por sus siglas en inglés, ha desarrollado normas para ensayo de materiales entre las cuales se pueden encontrar las normas de caracterización de composites. Para la realización de estos ensayos, se ha considerado el equipamiento del Laboratorio de Análisis de Esfuerzos y Vibraciones “LAEV” de la Escuela Politécnica Nacional, la cual cuenta con los siguientes equipos [13]:

Dos máquinas universales de ensayos Tinius Olsen modelo “Super L”, con capacidades de 132.000 lbf o (587.165 N) y 130.000 lbf o (578.269 N).

Una máquina universal de ensayos Tinius Olsen modelo “H25KS”, con una capacidad de 5.620 lbf (25.000 N)

Máquina de impacto Izod Tinius Olsen modelo “IT 504”.

Máquina de impacto por caída de dardo.

2.4.6.1 ENSAYO DE TRACCIÓN.

Este ensayo es uno de los más comúnmente realizados. 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 cuanto a materiales compuestos reforzados con fibras, el ensayo de tracción se lleva a cabo bajo las regulaciones de la norma D3039/D3039M-00 y se lo realiza utilizando una máquina universal de ensayos como la que se muestra en la Figura 31 (a). 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.

Para esto pueden usarse mordazas cuneiformes como las de la Figura 31 (b). Asimismo, puede o no utilizarse un extensómetro. Cabe indicar que el uso del extensómetro durante la realización del ensayo generará resultados con un menor margen de error.

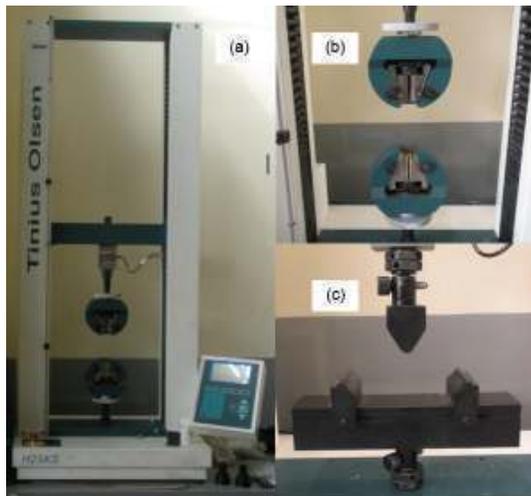


Figura 31: (a) Máquina universal de ensayos Tinius Olsen “H25KS”, (b) mordazas para ensayo de tracción y (c) equipo para ensayo de flexión [13].

Para probetas de mayores dimensiones se puede utilizar la máquina universal de ensayos que se muestra en la Figura 32. Las probetas a ensayar deben presentar dimensiones específicas indicadas en la norma mencionada anteriormente. Además, dichas probetas requieren mostrar superficies libres de defectos visibles, fisuras o imperfecciones. [13].



Figura 32: (a) Máquina universal de ensayos Tinius Olsen modelo Súper L. (b) Mordazas Cuneiformes. (c) Set de flexión a tres puntos [13].

2.4.6.2 ENSAYO DE FLEXIÓN

Este ensayo es realizado mediante la norma D7264/D7264M-07, como lo indica la Figura 33. 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. El equipo que es utilizado para este ensayo se indica en la Figura 33 (c). 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. Las propiedades a flexión también pueden variar de acuerdo al 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.

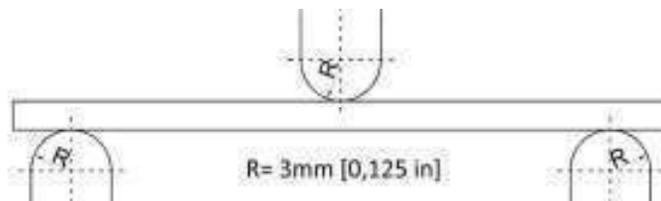


Figura 33: Configuración de carga a flexión en tres puntos utilizada (ASTM D7264/D7264M – 07) (Fuente: [13]).

Para realización de este ensayo, se requieren al menos 5 probetas por cada condición de ensayo, a menos que se puedan obtener resultados válidos mediante el ensayo de menos probetas, como en el caso de un diseño experimental. Las dimensiones de las probetas requeridas para los ensayos se encuentran indicadas en la norma ASTM D7264-07, y de igual manera, las respectivas ecuaciones que permiten calcular valores para las propiedades a flexión.

Al igual que en los ensayos de tracción y de impacto, las probetas deben respetar características solicitadas de aspecto superficial, como es la ausencia de fisuras o defectos que influyan erradamente en los resultados del ensayo. Al igual que en el ensayo de tracción, las marcas ocasionadas por operaciones de corte deben ser cuidadosamente eliminadas con una lima fina o un abrasivo. De esta manera se alcanza una pre-selección y preparación de probetas que serán aptas para la realización del ensayo.

2.4.6.3 ENSAYOS DE IMPACTO

Ensayo de impacto mediante caída de dardo Este ensayo de impacto se realiza bajo las especificaciones de la norma técnica ASTM D5628-10. En la Figura 34 se muestra la máquina de impacto por caída de dardo. 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 aparecimiento de una fisura en la probeta. Esta debe ser detectada a simple vista, bajo condiciones de luz normal [13].

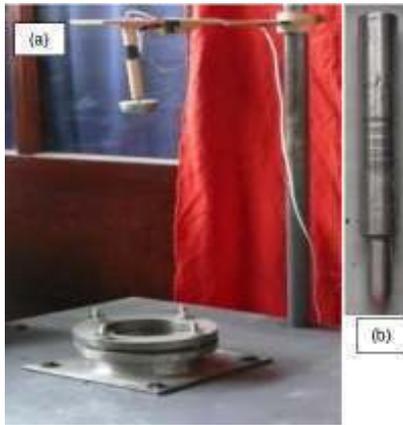


Figura 34: (a) Máquina de impacto por caída de dardo. (b) Dardo.

Además, se debe considerar que la energía de impacto será aquella necesaria para producir fallas en al menos el 50% de las probetas. Este mismo criterio se tomará para definir a la altura y el peso del impactador. También se debe notar que la falla generalmente ocurre en el lado opuesto al golpe de impacto, por lo que es necesario después de cada impacto revisar esta superficie [13].

Ensayo para determinar la resistencia al impacto IZOD mediante péndulo Este método de ensayo se refiere a la determinación de la resistencia al impacto de materiales plásticos. La máquina usada para este ensayo tiene un martillo tipo péndulo, siendo el objetivo romper la probeta al momento del impacto y registrar la energía durante el mismo.

Asimismo, se puede variar el lado sobre el que impacta el martillo, es decir, este puede impactar sobre el lado muescado o se puede girar la probeta 180° de tal forma que se impacte el lado que no tiene muesca. En la Figura 35 se muestran las variaciones del ensayo de impacto bajo la norma ASTM D256-10, la cual contiene los métodos de ensayo que permiten la determinación de la resistencia al impacto. En la Figura 36 se

muestra el equipo para realización de este ensayo [13]. Las dimensiones de las probetas se encuentran especificadas en la norma ASTM.

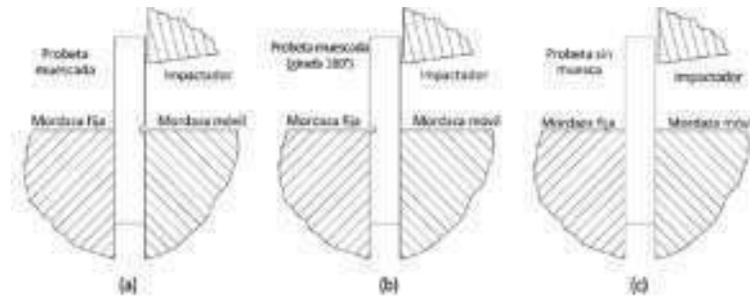
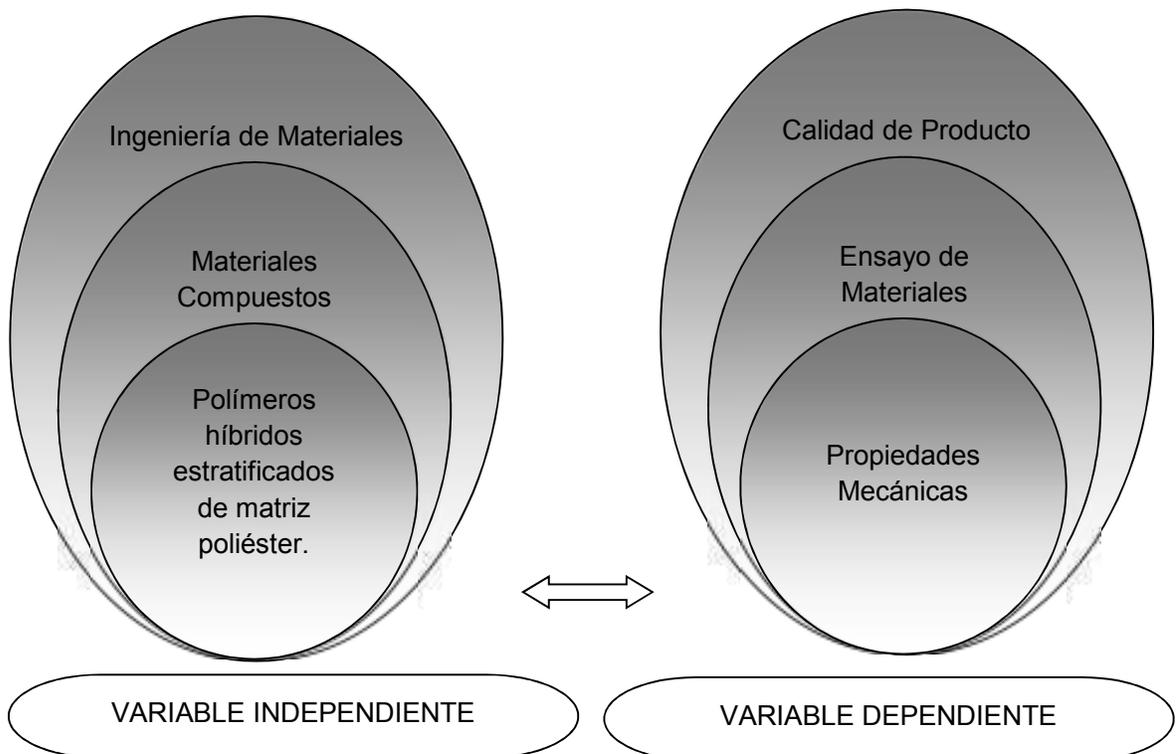


Figura 35: Variaciones del ensayo IZOD realizado bajo norma ASTM D256-10 [13].



Figura 36: Máquina de ensayo Charpy Tinius Olsen IT 504 [13].

2.5 CATEGORÍAS FUNDAMENTALES



2.6 HIPÓTESIS

La obtención de polímeros híbridos estratificados de matriz poliéster reforzado con fibra de vidrio y cabuya mejorará la combinación de propiedades mecánicas de los guardachoques para buses.

2.7 SEÑALAMIENTO DE VARIABLES

2.7.1 VARIABLE INDEPENDIENTE

Polímeros híbridos estratificados de matriz poliéster reforzado con fibra de vidrio y cabuya.

2.7.2 VARIABLE DEPENDIENTE

Propiedades Mecánicas

2.7.3 TERMINO DE RELACIÓN

Mejorará

CAPITULO III

METODOLOGÍA

3.1 ENFOQUE INVESTIGATIVO

En el proceso de investigación de este estudio se manejaron variables predominantemente cuantitativos; ya que se manejaron datos numéricos los cuales a su vez fueron explicativos, debido a que se realizó diferentes tipos de ensayos que ayudaron a determinar las Propiedades Mecánicas de los nuevos Materiales Compuestos con Matriz Polimérica; sin embargo también se realizaron en una parte de este estudio análisis cualitativo para identificar aspectos físicos.

La información que se requirió para el presente estudio, tuvo como fuentes primarias a libros, tesis, artículos, internet y más; mientras que las fuentes secundarias se requirieron a las publicaciones y/o artículos técnicos en las áreas de los materiales compuestos; así también para el análisis de resultados se manejaron tablas, gráficas de barras, gráficas de dispersión de datos y más.

3.2 MODALIDAD BÁSICA DE LA INVESTIGACIÓN

3.2.1 BIBLIOGRÁFICA

El presente estudio por su contextualización necesito la aplicación de la modalidad de investigación bibliográfica por requerir fuentes como libros, tesis, publicaciones, artículos técnicos de internet y más para su desarrollo.

3.2.2 EXPERIMENTAL

La investigación fue de modalidad experimental, debido a que los resultados de los ensayos obtenidos luego de las pruebas realizadas permitieron generar un estándar experimental para su futura aplicación en la industria carrocera.

3.2.3 APLICADA

Ya que la pretensión de la caracterización del material híbrido fue que a través de los resultados de ésta investigación sean utilizadas como material alternativo para la producción de guardachoques de buses.

3.3 NIVEL o TIPO DE INVESTIGACIÓN

3.2.1. DESCRIPTIVO

El estudio fue *descriptivo* pues uno de los fines del mismo fue describir el origen, propiedades y formulación de cada material que se pretendió utilizar para formar el nuevo material compuesto híbrido de matriz polimérica. A más de describir la obtención de las diferentes propiedades mecánicas y el proceso para su determinación.

3.2.2. ASOCIACIÓN DE VARIABLES

El nivel de la investigación es de tipo de *asociación de variables* por qué se interpretaron los datos de las variables ya mencionadas.

3.2.3. EXPLICATIVO

El estudio fue *explicativo* porque los resultados obtenidos permitieron dar una explicación a la industria carrocera sobre las ventajas mecánicas y económicas de poder aplicar nuevos materiales en su producción.

3.4 POBLACIÓN Y MUESTRA

3.4.1 POBLACIÓN

La población para esta investigación es:

Material compuesto común (resina poliéster + fibra de vidrio) utilizado en la producción actual de guardachoques para buses, de las tres empresas fabricantes mas importantes de la provincia de Tungurahua; así como del material híbrido (poliéster + fibra de vidrio + fibra de cabuya) propuesto en el estudio, obtenidos mediante moldes y caracterizados mecánicamente bajo normativa a tracción, flexión e impacto en las maquinas correspondientes, en la Escuela Politécnica Nacional (Quito – Ecuador.)

3.4.2 MUESTRA.

En nuestro caso la muestra es:

Probetas con un mínimo de cinco por tipo de ensayo y bajo lo establecido en las Normas correspondientes (Tracción ASTM D3039-00, Flexión ASTM D7264-07 e Impacto ASTM D5628-10), en función de la configuración y fracción volumétrica del material compuesto común y material híbrido propuesto (poliéster + fibra de vidrio + fibra de cabuya), mediante moldes y probetas, para luego del análisis correspondiente determinar el material que presente la mejor combinación de propiedades mecánicas.

3.5 OPERALIZACIÓN DE VARIABLES

Tabla 17: Variable Independiente

POLÍMEROS HÍBRIDOS ESTRATIFICADOS DE MATRIZ POLIÉSTER REFORZADO CON FIBRA DE VIDRIO Y CABUYA.

CONCEPTUALIZACIÓN	CATEGORÍAS	INDICADORES	ÍNDICE	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS
Un material compuesto reforzado con fibras relativamente nuevo es el denominado híbrido, que se obtiene utilizando dos o más clases diferentes de fibras en una única matriz.	-Materiales Compuestos	- Configuración de fibras - Fracción Volumétrica	Mat de Fibra de Vidrio (20 – 40) %	-Observación directa -Observación - Fichas de datos - Bibliográfica. - Normas ASTM D
	-Materiales Híbridos.	- Fracción Volumétrica - Configuración de fibras - Capas de fibras	(20 – 40) % Corta, Continua, Tejido Plano (1FV- 2FC)% (2FV -1 FC)% (1 FV -1 FC)%	

Fuente: Realizada por el Autor

Tabla 18: 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	(50-90) Kg/mm ² (4000-6500) Kg/mm ²	Observación directa: Formatos o fichas para toma de datos de Ensayos.
	Flexión	- Esfuerzo de flexión - Módulo a la flexión	(110 – 180) Kg/mm ² (6500-13700) Kg/mm ²	Observación directa: Formatos o fichas para toma de datos de Ensayos.
	Impacto	- Resistencia al Impacto.	Energía de Impacto. (1.5 – 3.0) (E=hwf) [J]	Observación directa: Formatos o fichas para toma de datos de Ensayos.

Fuente: Realizada por el Autor

3.6 RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

De acuerdo al desarrollo de la operacionalización de variables se recolectó la información por medio de la siguiente técnica con sus respectivos instrumentos:

3.5.1 OBSERVACIÓN.

Para lo cual 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.

3.5.2 DOCUMENTAL.

Para la recolección de información de libros, publicaciones, artículos, estudios, fichas técnicas y tabulaciones de datos resultado de los diferentes ensayos de las probetas del material híbrido, (resina poliéster + fibra de vidrio + fibra de cabuya).

3.7 PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS

3.7.1 PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN RECOGIDA.

Los datos que se obtuvieron de los ensayos de las probetas del material híbrido se procesaron mediante:

Tablas, Fichas de recolección de información, fotografías y planos que permitieron la tabulación de los datos de acuerdo a los parámetros y a la relación que tienen las variables de la hipótesis.

Relación porcentual con respecto al total de los indicadores, con el resultado numérico y con esta herramienta se elaboraron cuadros de resultados.

Representación de los resultados a través de gráficas estadísticas y curvas que permitieron identificar las propiedades mecánicas del material; por ejemplo: esfuerzo - deformación para ensayos a tracción, flexión, módulo de elasticidad, módulo de flexión, etc.

3.7.2 ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.

Se analizaron los resultados de los ensayos preliminares concernientes a la determinación de la fracción volumétrica de refuerzo utilizado y sus correspondientes propiedades mecánicas a tracción, flexión e impacto.

La caracterización mecánica del material híbrido propuesto se realizó mediante los mismos ensayos anteriores.

Por eficiencia de la investigación se realizó primeramente ensayos a tracción del material híbrido propuesto en función de la configuración y fracción volumétrica establecida para ello. Con base a la recolección de datos, tabulación y análisis estos resultados se determinan los materiales que pasan a los siguientes ensayos a flexión e impacto,

Finalmente una vez sometidos a estas caracterizaciones mecánicas se llega a determinar un análisis global del material híbrido que mejor se comportó a la combinación de propiedades mecánicas analizadas, con el objetivo de comprobar la hipótesis.

CAPITULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.

4.1.1 PROCESO PROPUESTO PARA EL ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.

En el presente estudio se ha considerado el siguiente proceso para el desarrollo y análisis de resultados del estudio del material híbrido estratificado de Matriz Poliéster (RP), reforzada con Fibra de Vidrio (FV) y Fibra de Cabuya (FC) y su incidencia en las Propiedades Mecánicas de interés.

1. ENSAYOS PRELIMINARES – REFERENCIALES DEL COMPUESTO ACTUAL (FIBRA DE VIDRIO + RESINA POLIÉSTER)

Se tomaron muestras del material compuesto actual (matriz poliéster + fibra de vidrio) con los que están hechos los guardachoques de buses para determinar las propiedades físicas y mecánicas, correspondientes a tres empresas fabricantes de Carrocerías de Tungurahua: Carrocerías Ibimco, Carrocerías Miral y Cepolfi (proveedor de partes de fibra de para el Grupo Cepeda – fabricantes de carrocerías).

- 1.1 Determinar Propiedades Físicas: Espesor, Volumen, Peso, Densidad
- 1.2 Determinar Propiedades Mecánicas: Flexión, Tracción, Impacto.
- 1.3 Características de Resina Poliéster utilizada (Ficha Técnica).
- 1.4 Características de Fibra de Vidrio Utilizada (Ficha Técnica).

1.5 Determinación de la Fracción Volumétrica utilizada (3 Capas de FV+RP).

2. PROPIEDADES, CONFIGURACIÓN Y FRACCIONES VOLUMÉTRICAS DEL COMPUESTO HIBRIDO EN ESTUDIO.

2.1. Determinación de Densidad de Resina Poliéster a utilizar.

2.2. Determinación de Densidad de Fibra de Vidrio a utilizar.

2.1 Determinación de Densidad de Cabuya a utilizar.

2.2 Propuesta de configuración del refuerzo híbrido.

2.3 Propuesta de Fracciones Volumétricas de refuerzo (FV+FC) y de matriz (RP) a utilizar en el Híbrido para los primeros ensayos a Tracción.

3. MOLDEO DE PROBETAS DEL HIBRIDO PARA ENSAYOS.

3.1. Dimensionamiento de probetas según norma y en función del espesor promedio determinado en los ensayos preliminares referenciales y del número de probetas requeridas para los ensayos de tracción.

3.2. Proceso de obtención de las configuraciones del material híbrido.

3.3. Proceso de estratificación de probetas de Tracción Flexión e Impacto.

3.4. Dimensionamiento, planimetría y materiales de molde único para obtención de probetas de tracción, flexión e impacto

3.5. Construcción de Molde.

3.6. Pruebas de moldeo realizando probetas testigo (FV+RP) y determinación de sus propiedades físicas y mecánicas.

4. ENSAYOS DEL COMPUESTO HIBRIDO EN ESTUDIO.

4.1. Caracterización Mecánica respecto al ítem 2.3 (Ensayos de Tracción).

4.2. Tabulación y Análisis del mejor compuesto híbrido sujeto a Tracción respecto a las propuestas de Fracciones Volumétricas del ítem 2.3

- 4.3. Caracterización Mecánica de los compuestos resultantes del ítem 4.2 (Ensayo a Flexión).
- 4.4. (Tabulación y Análisis) del mejor compuesto híbrido sujeto a Tracción y Flexión respecto a la realización del ítem 4.1 y 4.3.
- 4.5. Caracterización Mecánica (Ensayo de Impacto a la mejor formulación resultado del cumplimiento del ítem 4.4).
- 4.6. Determinación (Tabulación y Análisis) del mejor compuesto híbrido sujeto a Impacto respecto al cumplimiento del ítem 4.2.

4.1.2 ENSAYOS PRELIMINARES DEL COMPUESTO (FIBRA DE VIDRIO + RESINA POLIÉSTER).

Para el inicio del estudio propuesto se ha considerado importante determinar las propiedades tanto físicas como mecánicas de los guardachoques que actualmente se están fabricando; es decir en función de los materiales con los cuales están constituidos, con el fin de obtener un parámetro referencial que permita evaluar cualitativa y cuantitativamente el nuevo material híbrido.

Para este análisis se ha considerado al sector carroceros de Tungurahua, ya que es uno de los principales constructores del desarrollo económico del país, ya que aporta con aproximadamente \$ 5.000.000,00 por pago de IVA (Datos del Mipro -Tungurahua del 2011). Este sector perteneciente a la zona 3 se ha convertido en el mayor fabricante de carrocerías para buses del sistema de transporte en el Ecuador, como lo muestra el siguiente cuadro estadístico (Mipro en año 2011).

Tabla 19: Producción de carrocerías aproximadas en la zona 3 (Chimborazo - Cotopaxi – Tungurahua – Pastaza) 2010

PROVINCIA	COSTO DE CARROCERÍA	PRODUCCIÓN	%	VALOR	PAGO DE IVA
Chimborazo	45.000,00	300	21,3	13.500.000	1.620.000,00
Cotopaxi	45.000,00	24	1,7	1.080.000	129.600,00
Pastaza	45.000,00	6	0,4	270.000	32.400,00
Tungurahua	45.000,00	1080	76,6	48.600.000	5.832.000,00
TOTAL		1.410	100	63.450.000	7.614.000,00

(Fuente: Proyecto Subsecretaría de MIPYMES y Artesanías - Centro de Fomento Productivo Metalmecánico, Pág. 5 [3].)

De la Provincia de Tungurahua se ha considerado proponer a tres empresas importantes como referentes para el estudio en desarrollo. Dos de estas son fabricantes de carrocerías para buses; mientras que la tercera será la empresa proveedora de partes y piezas en fibra de vidrio más importante por su capacidad de producción de la provincia, entre ellos los guardachoques.

En la siguiente tabla se indican las empresas y sus consideraciones con las cuales fueron escogidas como referentes para el estudio.

Tabla 20: Empresas Referenciales para Desarrollo del Estudio.

Empresa Característica	IBIMCO (IB) (Fabricante)	MIRAL (MI) (Fabricante)	CEPOLFI (CE) (Proveedor)
Año de Inicio	2001	2001	2001
Tipos de Productos	Bus Urbano Bus Interprovincial Bus Escolar Turismo Unid. Especiales	Bus Urbano Bus Interprovincial Bus Escolar Turismo Unid. Especiales	Frentes Respaldos Guardachoques. Mascarillas Tableros, etc.
Clientes	Policía Nacional Austral	Mavesa Austral	Carr. CEPEDA. Carr. IMCE

	OBM - GM	Scania	Carr. P.CEPEDA. Carr. SERMAN.
Producción Representativa	2005-2009(12 u/m) 2009-150 Unid/Exp. 2010-40 UMAC 2010-90 Unid/Año	2009 - 150 (Export.) 2010 - 40 (UMAC)	-
Material de Guardachoque	Material Compuesto (FV + RP)	Material Compuesto (FV + RP)	Material Compuesto (FV + RP)

Fuente: Realizada por el Autor

4.1.2.1 DETERMINACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICAS.

Mediante solicitud aceptada por las empresas antes descritas se obtuvo una muestra rectangular de 300mm x 500mm del material compuesto con las características físicas, químicas y de manufactura con las que actualmente ellas fabrican los guardachoques.

De estas muestras se obtuvieron probetas para la realización de los ensayos referenciales de propiedades mecánicas, las mismas que fueron aprovechadas para la determinación de sus propiedades físicas, bajo el dimensionamiento de las normas correspondientes como se detalla a continuación en la Tabla 21

Tabla 21: Obtención de Probetas de Muestras (300x500)mm.

DETERMINACIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS Y FÍSICAS RESINA POLIÉSTER + FIBRA DE VIDRIO					
	NUM. DE CAPAS (FV)	NUM. DE PROBE TAS	ENSAYOS	NORMA	DIMENSI ÓN. (mm)
EMPRESA	3	5	TRACCIÓN	ASTM-D 3039	25x250xe

1 - MI		5	FLEXIÓN	ASTM-D 5628	13x160xe
		5	IMPACTO	ASTM-D 7264	58x58xe
EMPRESA 2 - IB	3	5	TRACCIÓN	ASTM-D 3039	25x250xe
		5	FLEXIÓN	ASTM-D 5628	13x160xe
		5	IMPACTO	ASTM-D 7264	58x58xe
EMPRESA 3 - CE	3	5	TRACCIÓN	ASTM-D 3039	25x250xe
		5	FLEXIÓN	ASTM-D 5628	13x160xe
		5	IMPACTO	ASTM-D 7264	58x58xe

*e (Espesor de la probeta en función del mero de capas del refuerzo o FV)

Fuente: Realizada por el Autor



Probetas Referenciales para ensayos a Tracción (25x250xe)mm



Probetas Referenciales para ensayos a Flexión (13x160xe)mm



Probetas Referenciales de ensayos a Impacto (58x58xe)mm

Figura 37: Probetas Referenciales según norma y dimensiones de la Tabla 21

Fuente: (Realizada por el Autor)

Las propiedades físicas a determinar fueron realizadas individualmente entre las cuales están el peso, volumen y densidad, siguiendo algunos métodos experimentales como:

Peso y Volumen Por el proceso de obtención mediante guillotina hidráulica de las probetas y por el tipo de estratificación manual utilizado por los fabricantes, conlleva a obtener pequeñas diferencias dimensionales entre las cinco probetas que se obtuvieron para cada ensayo, por lo que habrán variaciones de ancho y largo que influenciará directamente en la determinación del peso y volumen de las mismas, Además de tener espesores no constantes en la superficie de las mismas por el proceso de estratificación manual.

Para la determinación del peso de cada probeta se ha utilizado una balanza digital, de marca BOECO, de procedencia Alemana y con una capacidad máxima de 6100 gramos y una tolerancia de $\pm 0,1$ gramos



Figura 38: Balanza BOECO y Calibrador Pie de Rey TRUPER

Fuente Realizada por el Autor

Para la determinación de las dimensiones de ancho se utilizó un calibrador pie de rey digital, de marca TRUPER - STANLEY mientras que para el largo un flexo metro de marca TRUPER CALIBRADO, de unidades en mm y 5m de longitud.

Espesor La determinación del espesor se lo hizo con el calibrador pie de rey antes descrito, considerando que el espesor del material compuesto (FV+RP) no esta referencia a las normas de aplicación de los ensayos

detallados en la Tabla 21; ya que el espesor está en función del número de capas del refuerzo actual (fibra de vidrio) que son en todos los casos un número de *TRES*, por lo que para el estudio se ha de determinar el espesor promedio como referente para el dimensionamiento y aplicación del nuevo material híbrido que se desea obtener.

Tabla 22: Determinación de Propiedades Físicas del Compuesto (FV+RP).

#	COMP.	ENSA YO	COD	PESO (gr)	ESPE SOR (mm)	ANCH O (mm)	LARG O (mm)	VOL. (cm ³)	DENSID AD (gr/cm ³)
1	FV+RP (MI-IB- CE)	TRAC CIÓN	P-MI	24,82	3,14	24,24	250,40	19,06	1,50
			P-IB	30,40	3,70	26,18	250,00	24,22	1,62
			P-CE	23,34	3,00	25,52	250,00	19,14	1,55
PROMEDIO TRACCIÓN			P-TT	26,19	3,28	25,31	250,13	20,81	1,56

2	FV+RP (MI-IB- CE)	FLEXI ÓN	P-MI	9,64	3,05	14,56	160,00	7,11	1,46
			P-IB	10,98	3,90	14,64	160,00	9,14	1,58
			P-CE	8,78	3,34	13,82	160,00	7,39	1,52
PROMEDIO FLEXIÓN			P-TF	9,80	3,43	14,34	160,00	7,88	1,53

3	FV+RP (MI-IB- CE)	IMPAC TO	P-MI	12,42	2,96	58,00	57,60	9,89	1,52
			P-IB	17,66	3,92	59,00	58,80	13,59	1,60
			P-CE	16,26	3,56	59,60	59,00	12,52	1,52
PROMEDIO IMPACTO			P-TI	15,45	2,96	58,87	58,47	12,00	1,55

ESPESOR PROMEDIO=3,20

**DENSIDAD
PROMEDIO=1,55**

Fuente: Realizada por el Autor

El espesor promedio del global de probetas y que servirá como parámetro para el resto de la investigación entonces será de **e=3,2mm**, mientras que la densidad promedio del compuesto ha sido de **ρ=1,55 gr/cc**.

Densidad La densidad fue calculada mediante el proceso de obtención de densidad por gravimetría; es decir se utilizó un vaso de precipitación de capacidad de 250 ml o cc, al cual se lo lleno de agua a temperatura ambiente (18 – 20) °C hasta 210 ml, tomando como ejemplo se cubrió el tamaño de la probeta de flexión (13 x 160)mm de donde se observó un incremento de volumen promedio aproximado es de 6 ml, considerando su masa de 9 gr determinado en la balanza digital de marca BOECO y mediante la fórmula de determinación de:

Densidad = masa / volumen ($\rho=m/v$), provocó una densidad de 1,55 gr/cc.



Figura 39: Determinación de la densidad aparente del compuesto (FV+RP)
(Fuente: Realizada por el Autor)

4.1.2.2 DETERMINACIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS (TRACCIÓN, FLEXIÓN E IMPACTO).

De la muestra que se obtuvo de las tres empresas más crecientes en la producción de Carrocerías de la zona 3 del país (MIRAL, IBIMCO Y CEPOFI) y que colaboraron con esta investigación, se procedió a caracterizar mecánicamente mediante ensayos destructivos (Tracción, Flexión e Impacto) bajo las siguientes consideraciones:

ENSAYO DE TRACCIÓN.

Tabla 23: Especificaciones Técnicas del Ensayo de Tracción (Preliminares)

#	CARACTERÍSTICA	DETALLE	OBS.
1	Dimensionamiento de Probeta (mm)	250x25x3,2	
2	Componente de Matriz (c/empresa)	Resina Poliéster	
3	Componente de Refuerzo(c/empresa)	Mat de Fibra de Vidrio	e=0,52mm c/c
4	Tipo de Estratificación	Manual	
5	Tiempo de Curado antes del ensayo.	10 días	
6	Norma a Utilizar.	ASTM D3039-00	En f(e)=3,2mm
7	Equipo de Ensayo	Maquina Universal de ensayos Tinius Olsen, modelo H25KS	
8	Velocidad de Ensayo	2mm/min	

Fuente: Realizado por el Autor

Con estas consideraciones y bajo el sentido de carga que muestra la figura 40, se procedió a ejecutar el ensayo a tracción donde se determinó y evaluó el esfuerzo máximo a tracción (σ_{max}), elongación de ruptura (ϵ) con su correspondiente porcentaje de deformación y módulo de elasticidad (E).

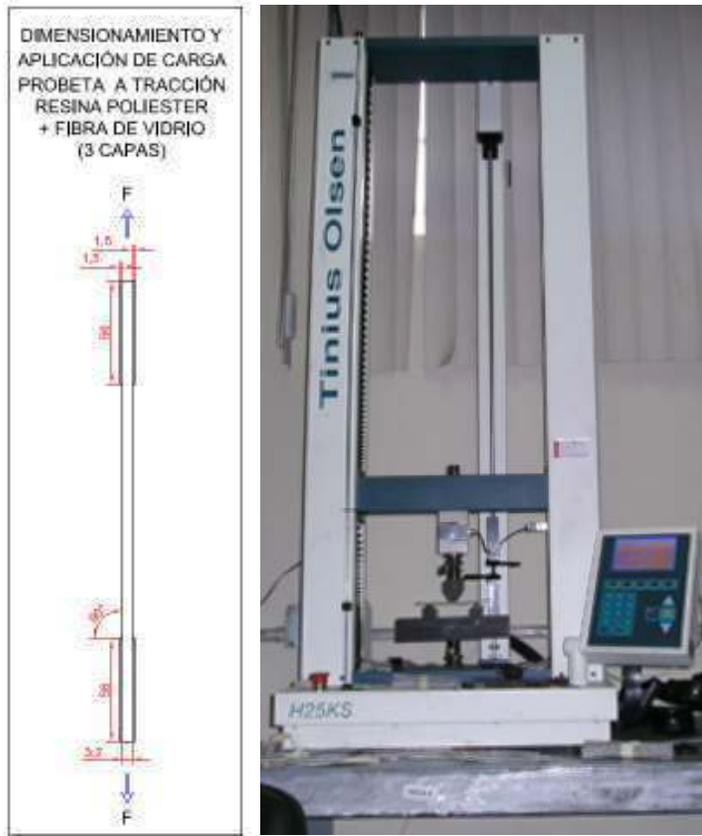


Figura 40: Dimensionamiento de la Probeta Bajo la norma ASTM D3039-00 y Maquina Universal de ensayos Tinius Olsen, modelo H25KS

Fuente: Realizada por el Autor

ESFUERZO MÁXIMO A TRACCIÓN Se caracterizaron cinco probetas de cada empresa en análisis, bajo características geométricas establecidas en la Norma ASTM D3039-00 (Tabla 21), se sometieron a carga constante, utilizando una celda de carga de 25 kN axialmente a lo largo de cada probeta en la maquina Universal de ensayos Tinius Olsen, modelo H25KS, la cual luego de un tiempo determinado y a una velocidad constante de aplicación de carga se espera su colapso o ruptura obteniendo un espesor en esta zona, menor a la original, la cual sirve para determinar el área de la sección transversal y que en relación a la carga máxima de ruptura que es aquella que se necesitó para producir la fractura, se obtiene el esfuerzo máximo que dicho material puede alcanzar a tracción, bajo la relación:

$$\sigma_{\max} = \frac{F}{A}, \text{ donde:}$$

σ_{\max} . = esfuerzo máximo (Mpa).

F = carga máxima o fuerza necesaria para producir la fractura (N).

A = área de la sección transversal de la probeta (mm²).

La tabulación de datos después de la caracterización de cinco probetas bajo las condiciones indicadas en la tabla anterior. Obteniendo los siguientes resultados.

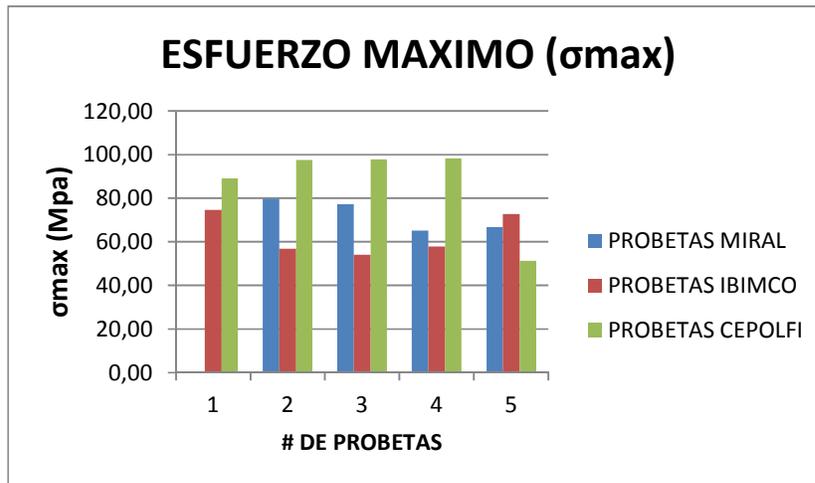


Figura 41: Esfuerzo Máximo a Tracción Parciales de Ensayos Preliminares (Cinco Probetas)

Fuente: Realizada por el Autor

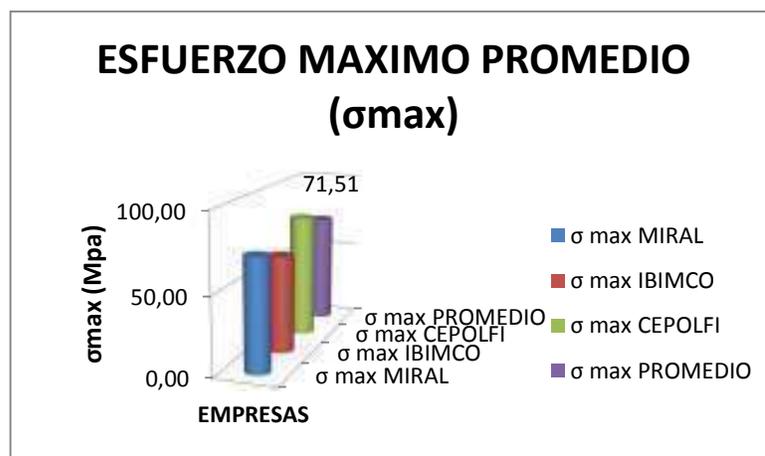


Figura 42: Esfuerzo Máximo a Tracción de Ensayos Preliminares (Promedio)

Fuente: Realizada por el Autor

Del análisis estadístico se puede determinar que el esfuerzo máximo promedio a tracción de los guardachoques utilizados en los buses que se producen actualmente en la zona 3 del Ecuador, respecto a los materiales (RESINA POLIÉSTER + 3 CAPAS DE FV) y estratificación manual utilizada, provocan un esfuerzo máximo promedio de 71,54 Mpa.

PORCENTAJE DE DEFORMACIÓN El porcentaje de deformación está en estricta relación entre la longitud inicial (antes de aplicar la carga) y la longitud final (después de aplicar la carga) que alcanza las probetas luego del ensayo, como se indica en la siguiente ecuación:

$$\varepsilon(\text{elongación}) = \frac{l_f - l_i}{l_i}$$

$$\% \text{ _ deformación} = \frac{l_f - l_i}{l_i} * 100, \text{ donde:}$$

l_f = longitud final (mm).

l_i = longitud inicial (mm).

Nota: Según la Normativa se considera una longitud inicial de 50mm.

MODULO DE ELASTICIDAD (E) El módulo de elasticidad o módulo de Young⁸, se ha determinado siguiendo la relación de Hooke y bajo lo especificado en la norma ASTM D3039-08:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}, \text{ donde:}$$

σ máx.= esfuerzo máximo.

ε = elongación

La tabulación de datos después de la caracterización de cinco probetas bajo las condiciones establecidas se obtiene el siguiente módulo de elasticidad promedio.

⁸ Módulo de Young, pendiente de la curva esfuerzo – deformación en su región elástica [9] Donald R, Askenland. 1998. Ciencia e Ingeniería de Materiales, Tercera Edición. International Thomson Editores - Pág. 135.

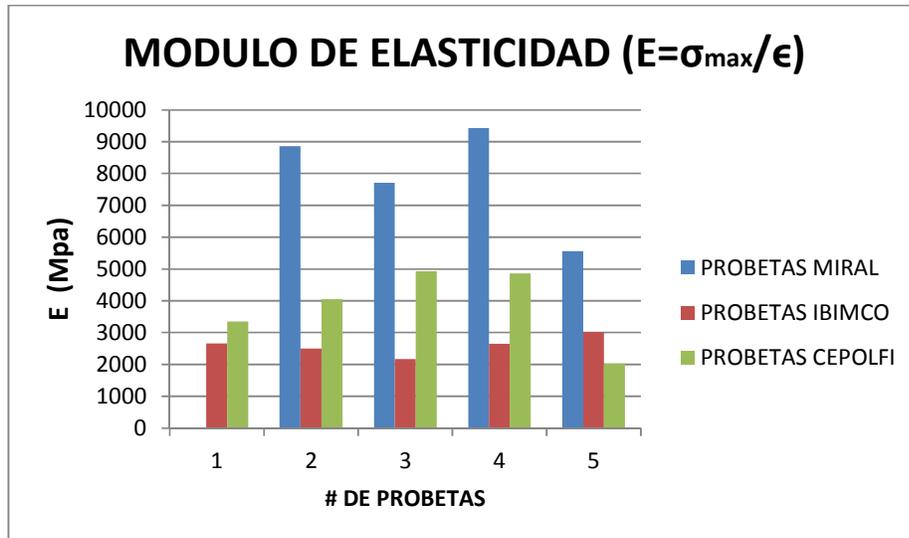


Figura 43: Módulo de Elasticidad Parciales de Ensayos Preliminares (Cinco Probetas)

Fuente: Realizada por el Autor

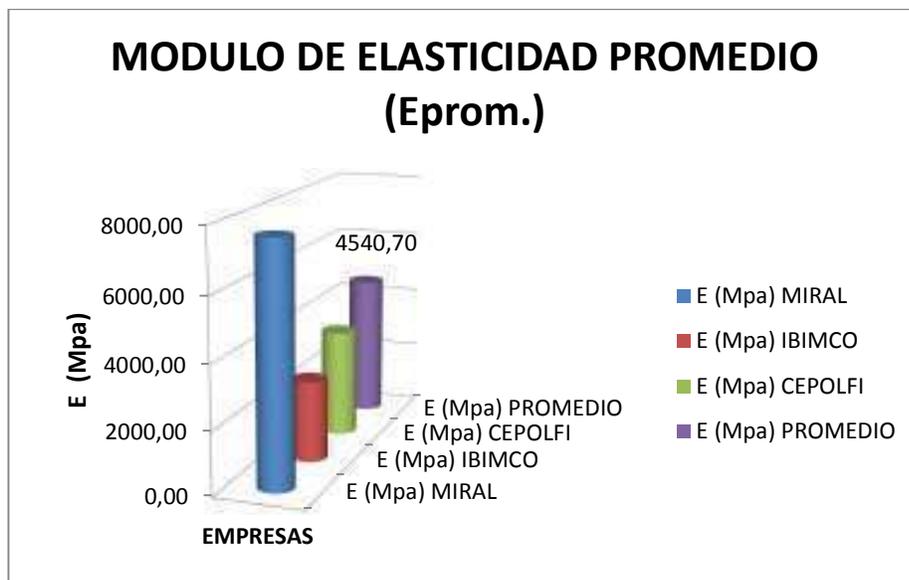


Figura 44: Módulo de Elasticidad de Ensayos Preliminares (Promedios)

Fuente: Realizada por el Autor

Del análisis estadístico se puede determinar que el módulo de elasticidad promedio a tracción de los guardachoques utilizados en los buses que se producen actualmente en la zona 3 del Ecuador, respecto a los materiales (RESINA POLIÉSTER + 3 CAPAS DE FV) y estratificación manual utilizada, provocan un módulo de elasticidad promedio de *4540,70 Mpa*.

Tabla 24: Resultados de Propiedades Mecánicas a Tracción de (Ensayos Preliminares).

Refuerzo y Fracción volumétrica	Empresa	σ_{max} (Mpa)	Elongación mm/mm	Módulo de Elasticidad (Mpa)
Mat de FV (3 Capas) 30%	Miral	71,10	0,0095	7609,54
	Ibimco	62,77	0,0243	2578,92
	Cepolfi	79,66	0,0232	3433,63
	Promedio	71,51	-	4540,70

Fuente: Realizado por el Autor

ENSAYO DE FLEXIÓN.

El análisis de la deflexión y el esfuerzo máximo a flexión se realizó en la misma maquina Tinius Olsen modelo H25KS ya especificada y siguiendo la norma ASTM D 7264-07, para el dimensionamiento de las probetas que fue de 160mm de largo, 13 mm de ancho y se consideró un espesor de 4 mm para la determinación de distancia entre puntos de apoyo que fue de 128 mm (Procedimiento A⁹ de Norma ASTM D 7264-07) que corresponde a 32 veces el espesor. La cantidad de probetas que fueron un mínimo de cinco y características propias del procedimiento del ensayo, como la velocidad de ensayo que fue de 1 mm/min.

Tabla 25: Especificaciones Técnicas del Ensayo de Flexión (Preliminares)

#	CARACTERÍSTICA	DETALLE	OBS.
1	Dimensionamiento de Probeta (mm)	160x13x3,2	
2	Componente de Matriz (c/empresa)	Resina Poliéster	
3	Componente de Refuerzo(c/empresa)	Mat de Fibra de Vidrio	e=0,52mm c/c

⁹ Procedimiento A de la Norma ASTM D 726429-1, ensayo a tres puntos, dos de apoyo (L) y en L/2 la aplicación de la carga

4	Tipo de Estratificación	Manual	
5	Tiempo de Curado antes del ensayo.	10 días	
6	Norma a Utilizar.	ASTM D7264	En f(e)=3,2 mm
7	Equipo de Ensayo	Maquina Universal de ensayos Tinius Olsen, modelo H25KS	
8	Velocidad de Ensayo	1mm/min	

Fuente: Realizado por el Autor

Con estas consideraciones y bajo el sentido de carga que muestra la figura 40, se procedió a ejecutar el ensayo a flexión donde se determinó y evaluó el esfuerzo máximo a flexión (σ_{maxf}), deflexión máxima (ϵ_f) y el módulo de flexión (E_f).

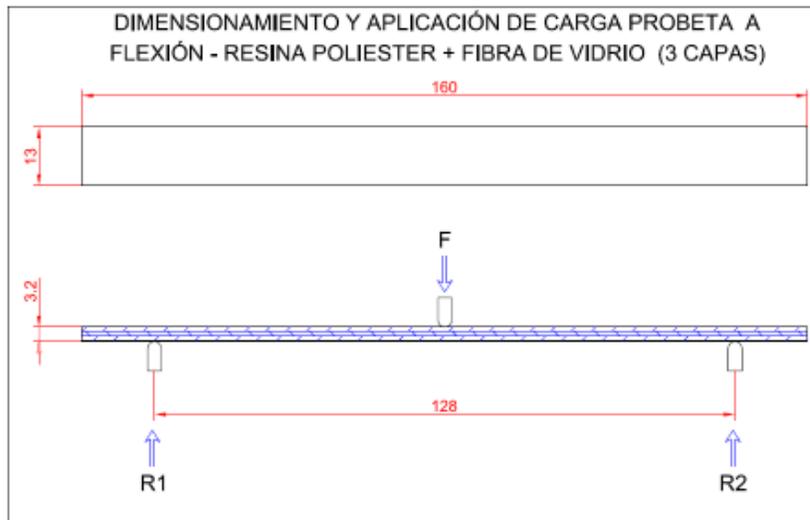


Figura 45: Representación esquemática del dimensionamiento de las probetas a flexión y el punto de aplicación de carga.

Fuente: Realizada por el Autor

ESFUERZO MÁXIMO A FLEXIÓN Se caracterizaron cinco probetas de cada empresa en análisis, bajo características geométricas establecidas en la Norma ASTM D7264-07 (Tabla 21), se sometieron a carga constante, aplicado en $L/2$ ($128/2$)mm, utilizando la máquina Universal de

ensayos Tinius Olsen, modelo H25KS, la cual luego de un tiempo determinado y a una velocidad constante de aplicación de carga se espera su colapso o ruptura obteniendo la deflexión máxima a razón de la carga máxima soportada por la probeta, el esfuerzo máximo que dicho material puede alcanzar a flexión, está bajo la relación:

$$\sigma_{\max f} = \frac{3PL}{2bh^2}, \text{ donde:}$$

$\sigma_{\max f}$. = esfuerzo máximo producido en la superficie exterior (Mpa).

P = fuerza aplicada (N).

L = longitud entre apoyos (mm).

b = ancho de la probeta (mm).

h = espesor de la probeta (mm).

DEFLEXIÓN DE RUPTURA Los resultados del ensayo de flexión son similares a las curvas esfuerzo – deformación; sin embargo, el esfuerzo se traza en función de deflexiones, en vez de deformaciones, por lo que es necesario determinar el valor de la deflexión máxima que soporta la probeta antes de su fractura o colapso.

La tabulación de datos después de la caracterización de cinco probetas bajo las condiciones indicadas en la tabla anterior. Obteniendo los siguientes resultados para el esfuerzo máximo de flexión.

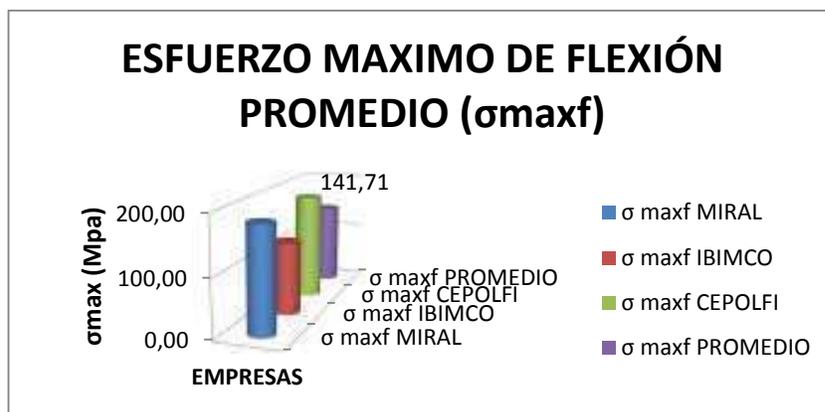


Figura 46: Esfuerzo Máximo a Flexión de Ensayos Preliminares (Promedio)

Fuente: Realizada por el Autor

Del análisis estadístico se puede determinar que el esfuerzo máximo de flexión promedio de los guardachoques utilizados en los buses que se producen actualmente en la zona 3 del ecuador, respecto a los materiales (RESINA POLIÉSTER + 3 CAPAS DE FV) y estratificación manual utilizada, provocan un esfuerzo máximo a flexión promedio de 141,71 Mpa.

MODULO DE FLEXIÓN (Ef) El módulo de elasticidad a la flexión o modulo en flexión, se calcula en la región elástica de la curva esfuerzo vs deflexión, y bajo la siguiente relación¹⁰.

$$E_f = \frac{L^3 P}{4bh^3 \delta}, \text{ donde:}$$

P = fuerza aplicada (N).

L = longitud entre apoyos (mm).

b = ancho de la probeta (mm).

h = espesor de la probeta (mm).

δ = deflexión de la probeta al aplicarse una fuerza (mm)

La tabulación de datos después de la caracterización de cinco probetas bajo las condiciones establecidas se obtiene el siguiente módulo de elasticidad promedio.

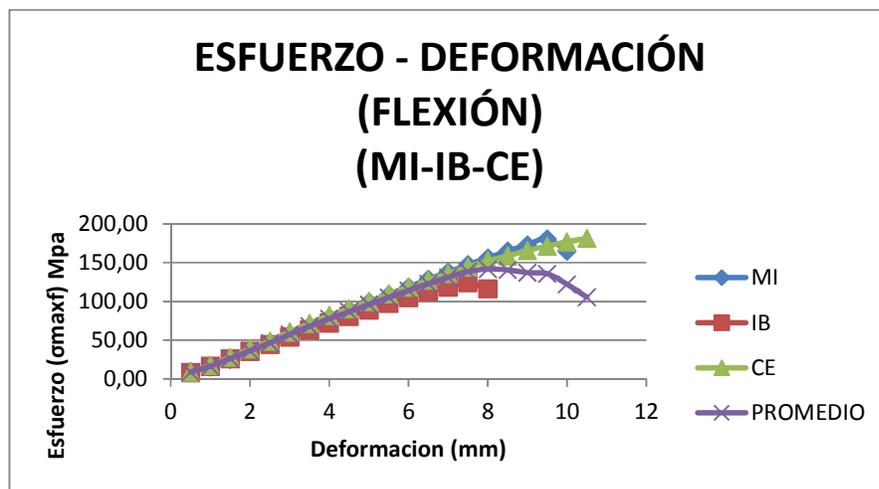


Figura 47: Curva Esfuerzo – deformación

Fuente: Realizada por el Autor

¹⁰ Ecuación del cálculo del módulo de flexión. [9] Donald R, Askenland. 1998. Ciencia e Ingeniería de Materiales, Tercera Edición. International Thomson Editores - Pág. 139.

Se calcularon dos módulos a la flexión, considerando la forma de las curvas esfuerzo deformación obtenida. El primer módulo es el de flexión y se encuentra determinado la pendiente de la región del la curva esfuerzo – deformación despreciando el primer punto hasta el 50% del esfuerzo máximo, esto por la sugerencia de la norma ASTM D 7264-07. El segundo módulo que es el de trabajo se obtiene de determinar la pendiente de la región que va desde el 50% al 75% del esfuerzo máximo, como se indica en la siguiente figura:

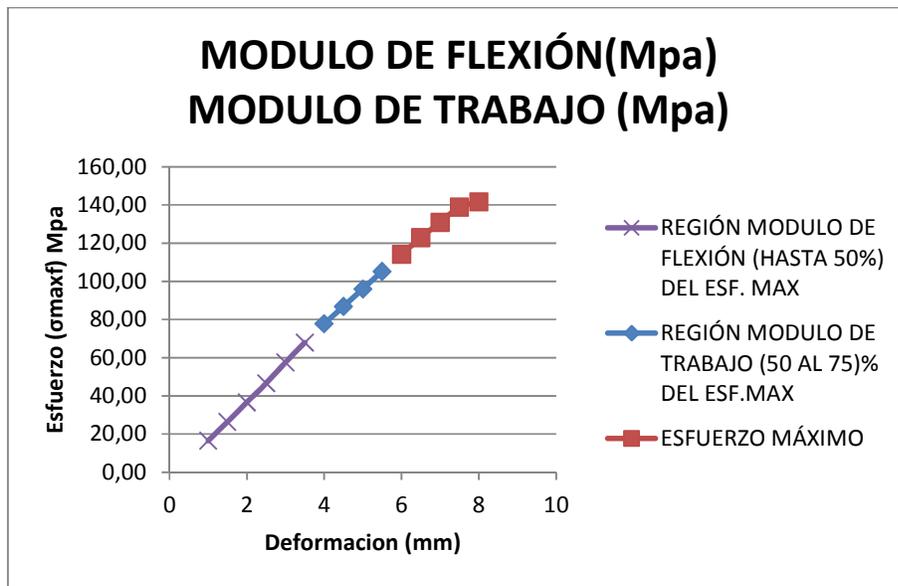


Figura 48: Modulo de flexión y Modulo de Trabajo

Fuente: Realizado por el Autor.

Del análisis estadístico se puede determinar que el módulo de trabajo promedio a flexión y el módulo de trabajo de guardachoques utilizados en los buses que se producen actualmente en la zona 3 del ecuador, respecto a los materiales (RESINA POLIÉSTER + 3 CAPAS DE FV) y estratificación manual utilizada, provocan un módulo de flexión de promedio de *15507,63 Mpa*. Y un módulo de trabajo de *15256,30 Mpa*

Tabla 26: Resultados de Ensayo a Flexión de (Ensayos Preliminares).

Refuerzo y Fracción volumétrica	Empresa	σ_{maxf} (Mpa)	Deflexión máx. Ruptura	Modulo a la Flexión (Mpa)	Módulo de Trabajo
Mat de FV (3 Capas) 30%	Miral	180,98	9,5	17807,42	17740,60
	Ibimco	124,59	7,5	12705,70	12477,77
	Cepolfi	181,63	10,5	16463,96	16050,87
	Promedio	141,51	8,0	15507,63	15256,30

Fuente: Realizado por el Autor

ENSAYO DE IMPACTO.

El ensayo de impacto busca determinar la resistencia al impacto por caída de dardo, el cual tiene un diámetro de 20 mm y bajo las siguientes características:

Tabla 27: Especificaciones Técnicas de Ensayos Preliminares a Impacto.

#	CARACTERÍSTICA	DETALLE	OBS.
1	Dimensionamiento de Probeta (mm)	58x58xespesor	
2	Componente de Matriz (c/empresa)	Resina Poliéster	
3	Componente de Refuerzo(c/empresa)	Mat de Fibra de Vidrio	e=0,52mm c/c
4	Tipo de Estratificación	Manual	
5	Tiempo de Curado antes del ensayo.	10 días	
6	Norma a Utilizar.	ASTM D 5628	En f(e)=4 mm
7	Equipo de Ensayo	Máquina de Impacto por caída de dardo para polímeros	
8	Variación de la Altura	100 mm	
9	Geometría y Diámetro de dardo	FE - 20 mm	Norma ASTM D5628
10	Masa del Impactador o dardo	0,1687 kg.	

Fuente: Realizado por el Autor

La altura inicial se determinó de realizar tres ensayos preliminares, los cuales consistieron en impactar una probeta con defectos de producción a

diferentes altura, hasta que se rompa, esta altura (h) fue la inicial para todos los ensayos ($h = 600\text{mm}$).

RESISTENCIA AL IMPACTO Se caracterizaron cinco probetas de cada empresa en análisis, bajo características geométricas establecidas en la Norma ASTM D5628 (Tabla 21), se sometieron a impacto de dardo a diferentes alturas a partir de la altura inicial de 600mm en la máquina de impacto de dardo para polímeros, hasta determinar la altura a la que las probetas se rompían, determinando así la altura máxima de ruptura de impacto y considerando la masa del dardo y sabiendo el factor de conversión a (J) que es de $9,80665 \times 10^{-3}$, esto si la altura (h) está dada en mm y la masa (w) está dada en kg, como lo muestra la siguiente relación¹¹:

$$MEF = hwf, \text{ donde:}$$

MEF = Resistencia Máxima al Impacto o Energía Máxima de Ruptura (J)

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 $w=\text{kg}$.

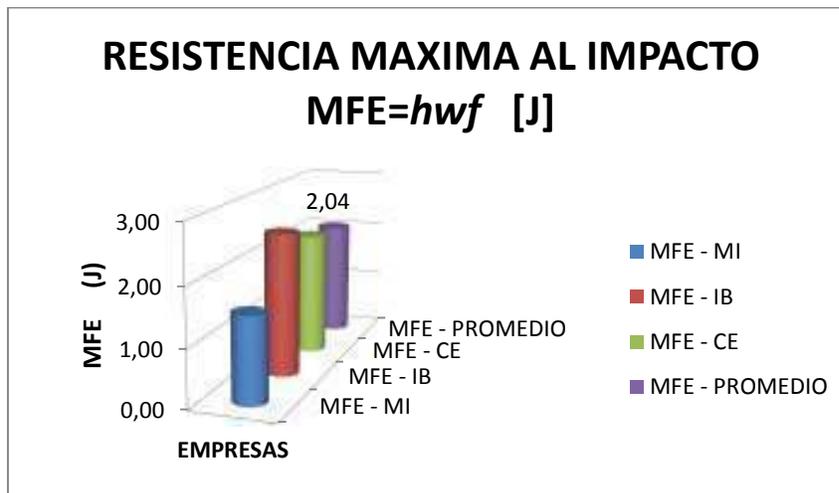


Figura 49: Resultados de Resistencia Máxima al Impacto

Fuente: Realizado por el Autor.

¹¹ Cálculo de Resistencia Máxima al Impacto (Principal Energía de Ruptura MFE); (n) Norma ASTM D 5628. Pág. 7

Tabla 28: Resultados Promedio de Resistencia Máxima al Impacto de (Ensayos Preliminares).

Refuerzo y Fracción volumétrica	Empresa	Resistencia Máxima al Impacto MFE= hwf [J]
Mat de FV (3 Capas) 30%	Miral	1,49
	Ibimco	2,48
	Cepolfi	2,15
	Promedio	2,04

Fuente: Realizado por el Autor

4.1.2.3 CARACTERÍSTICAS DE RESINA POLIÉSTER UTILIZADA.

Ver Anexo 1: Ficha Técnica de Resina Poliéster

4.1.2.4 CARACTERÍSTICAS DE FIBRA DE VIDRIO UTILIZADA.

Ver Anexo 2: Ficha Técnica de Fibra de Vidrio 375 gr/mm²

4.1.2.5 DETERMINACIÓN DE LA FRACCIÓN VOLUMÉTRICA

La determinación de las fracciones volumétricas de los constituyentes del compuesto (FV+RP); es decir del refuerzo que es la fibra de vidrio y de la matriz que es la resina poliéster se parte de considerar la regla de las mezclas de los compuestos por fibras, que se planteó en el literal 2.4.3.8 del capítulo II, el cual establece que:

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

Donde ρ_c es la densidad del compuesto, f_m y f_f son las fracciones volumétricas de cada constituyente y los subíndices m y f se refieren a la matriz y a la fibra de vidrio respectivamente¹². Hay que considerar

además que: $f_m = 1 - f_f$

¹² Propuesta de determinación de fracciones volumétricas de un material compuesto e híbrido por Askenland [9]

De las variables presentes en esta ecuación, se ha establecido la densidad del compuesto y de la matriz mediante los literales 4.1 2.1 y 4.1.2.3 de esta parte del estudio respectivamente. Ahora entramos en el proceso de cálculo de la fracción volumétrica de la fibra de vidrio que actúa como refuerzo del compuesto (ρ_c).

Densidad del Compuesto - FV+RP (ρ_c)=1,55 gr/cc

Densidad de la Matriz – RP (ρ_m) = 1,20 gr/cc

Densidad del Refuerzo – FV (ρ_f) = 2,40 gr/cc

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

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

$$1,55 \frac{\text{gr}}{\text{cc}} = (1 - f_f) 1,20 \frac{\text{gr}}{\text{cc}} + f_f 2,40 \frac{\text{gr}}{\text{cc}}$$

$$1,55 \frac{\text{gr}}{\text{cc}} = 1,20 \frac{\text{gr}}{\text{cc}} - f_f 1,20 \frac{\text{gr}}{\text{cc}} + f_f 2,40 \frac{\text{gr}}{\text{cc}}$$

$$1,55 \frac{\text{gr}}{\text{cc}} - 1,20 \frac{\text{gr}}{\text{cc}} = -f_f 1,20 \frac{\text{gr}}{\text{cc}} + f_f 2,40 \frac{\text{gr}}{\text{cc}}$$

$$0,35 \frac{\text{gr}}{\text{cc}} = 1,2 \frac{\text{gr}}{\text{cc}} f_f$$

$$f_f = 0,29 = 30\%$$

De este cálculo determinamos que la *fracción volumétrica del refuerzo* en el compuesto ha sido de **30%**; mientras que para determinar la fracción volumétrica de la matriz, aplicamos el siguiente cálculo.

$$f_m = 1 - f_f$$

$$f_m = 1 - 0,30$$

$$f_m = 0,70 = 70\%$$

De este cálculo determinamos que la *fracción volumétrica del matriz* en el compuesto ha sido de **70%**.

4.1.3 PROPIEDADES, CONFIGURACIÓN Y FRACCIONES VOLUMÉTRICAS DEL COMPUESTO HIBRIDO EN ESTUDIO.

4.1.3.1 DETERMINACIÓN DE DENSIDAD DE LA RESINA POLIÉSTER.

La densidad se determinó utilizando el proceso gravimétrico, mediante la obtención de un cuerpo solido de resina poliéster catalizada, a temperatura ambiente de entre 18 – 20 °C y humedad relativa de 43% y a presión atmosférica; la cual produjo una densidad de 1,2 gr/cc.



Figura 50: Obtención del cuerpo solido de Resina Poliéster
(80 ml de RP y 0,8 gr de Catalizador MEK)
(Fuente: Realizada por el Autor)



Figura 51: Determinación de la densidad del cuerpo solido de Resina Poliéster
Método Gravimétrico (densidad = 1,2 gr/cc)
(Fuente: Realizada por el Autor)

4.1.3.2 DETERMINACIÓN DE DENSIDAD DE LA FIBRA DE VIDRIO.

La fibra de vidrio que actúa como refuerzo del compuesto y utilizada en esta investigación tiene las siguientes características:

La densidad de se determinó mediante el proceso gravimétrico, mediante la selección de un cierto volumen de mats de fibra de vidrio el cual fue pesado en la balanza digital de marca BOECO, para su posterior introducción en un volumen específico de resina, contenido en un vaso de precipitación de 100 ml o cc, a temperatura ambiente de entre 18 – 20 °C y a presión atmosférica; la cual produjo una densidad de 2,4 gr/cc.



Figura 52: Determinación de la densidad de la Fibra de Vidrio Utilizada (375)

Método Gravimétrico (densidad = 2,4 gr/cc)

(Fuente: Realizada por el Autor)

4.1.3.3 DETERMINACIÓN DE DENSIDAD DE CABUYA.

La fibra de cabuya (*Furcraea Andina*) perteneciente a la familia de las agaváceas y utilizada en el estudio es una planta crecida en forma silvestre en la zona oriental de la provincia de Tungurahua, específicamente en la ciudad de Salasaca perteneciente al Cantón Pelileo

La cabuya es una planta arrosetada que alcanza hasta 1,5 metros de altura en su parte vegetativa y si se incluye la estructura reproductora, puede alcanzar hasta los 10 metros. La cabuya es una fibra resistente, durable y áspera, sus propiedades mecánicas referenciales para el estudio se muestran en la Tabla 33:

Tabla 29: Características mecánicas de la fibra de cabuya.

Resistencia a la tracción	305 (MPa)
Resistencia al corte	112 (MPa)
Módulo de elasticidad	7,5 (MPa)
Elongación a la fractura	5%
Densidad	1,3 g/cm ³

Fuente: Realizada por el Autor

Mediante la selección de un cierto volumen de fibra de cabuya seca y despulpada (libre de celulosa), el cual fue pesado en la balanza digital de marca BOECO, para su posterior introducción en un volumen específico resina de moldeo (sin MEK o catalizador) contenido en un vaso de precipitación de 100 ml o cc, a temperatura ambiente de entre 18 - 20 °C y a presión atmosférica; la cual produjo una densidad de 1,3 gr/cc.



Figura 53: Resina de Moldeo sin MEK
(80 ml de RP y 0,12 ml de Catalizador MEK)

Fuente: Realizada por el Autor



Figura 54: Determinación de la densidad del cuerpo solido de Resina Poliéster
 Método Gravimétrico (densidad = 1,3 gr/cc)
 (Fuente: Realizada por el Autor)

Se hicieron tres mediciones bajo las mismas condiciones de la cual se obtuvo una densidad promedio de 1,3 gr/cc. Como lo muestra la siguiente Tabla.

Tabla 30: Determinación de Densidad de la Cabuya.

DENSIDADES DE FIBRA DE CABUYA EN RESINA DE MOLDEO A TEMPERATURA AMBIENTE		
Peso (gr)	Δ Vol. (cm ³)	Densidades (gr/cm ³)
1,5	1,16	1,29
3,4	2,6	1,31
3,1	2,42	1,28
Densidad Promedio		1,30

Fuente: Realizada por el Autor

4.1.3.2. PROPUESTA DE CONFIGURACIÓN DEL REFUERZO HIBRIDO.

Para el estudio preliminar se determinan dos tipos de variables con las que se ira iterando para determinar el mejor compuesto hibrido; siendo estas la *configuración del refuerzo* y las *fracciones volumétricas*, tanto en el material compuesto de referencia (RP+FV) como para el nuevo material hibrido propuesto (RP+FV+FC); por lo que se propone la siguiente tabla para detallar la propuesta de configuración primeramente del *refuerzo hibrido*:

Tabla 31: Configuración del refuerzo híbrido.

CONFIGURACIÓN DEL REFUERZO HIBRIDO.		
<p style="text-align: center;">COMPUESTO</p> <p style="text-align: center;">HIBRIDO</p> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 15px; padding: 5px; width: fit-content; margin: auto;"> <p style="text-align: center;">Resina Poliéster + Fibra de Vidrio + Fibra de Cabuya</p> </div>	Resina Poliéster	Ortoftalica
	Fibra de Vidrio	Mat (375 gr/m ²)
	Fibra de Cabuya	Fibra Corta – 10mm
		Fibra Larga
Tejido Plano		

Fuente: Realizada por el Autor

4.1.3.3 PROPUESTA DE FRACCIONES VOLUMÉTRICAS DE REFUERZO (FV+FC) Y DE MATRIZ (RP) A UTILIZAR EN EL HIBRIDO PARA LOS PRIMEROS ENSAYOS A TRACCIÓN.

La propuesta de configuración de los refuerzos del material compuesto y del nuevo material compuesto híbrido que se utilizaron en la investigación, hace necesario proponer las posibles fracciones volumétricas que estas pueden alcanzar, pasando por un análisis lógico y de experiencia en el manejo del proceso de manufactura en partes y piezas en fibra de vidrio. Las fracciones volumétricas que se proponen están en directa relación a las siguientes consideraciones:

Materiales de Compuesto Referencial = Resina Poliéster (RP) que es la matriz + Fibra de Vidrio (FV) que es el refuerzo.

Porcentaje Ideal de Matriz del Compuesto = 70 % según literal 4.1.2.5.

Porcentaje Ideal de Refuerzo Total = Es el 30 % según literal 4.1.2.5.

Porcentaje de Refuerzo Total vs el Número de Capas = Se determina que el 30% de refuerzo corresponde a utilizar 3 capas de fibra de vidrio por unidad de área.

Porcentaje de Refuerzo Parcial vs Número de Capas = Se determina que 1 capa de fibra de vidrio corresponde al 10 % del compuesto.

Se determina además que existe una razón o un factor entre el espesor ideal vs el espesor real (KER); es decir que si se considera una espesor de cada capa de fibra vidrio de 0,52 mm y si la matriz solo serviría para cubrir

este volumen, idealmente se debería obtener en tres capas un espesor de 1,58mm \approx 1,6mm, de lo cual bajo una estratificación manual se obtiene un espesor final de 3,2mm. De donde se obtiene que el $KER=3,2/1,6=2$.

En el estudio se utilizó tanto porcentaje de refuerzo como número de capas del mismo, como variables de configuración.

Por proceso de manufactura y acabados de las piezas del compuesto se determina que siempre se debe iniciar con una capa de fibra de vidrio.

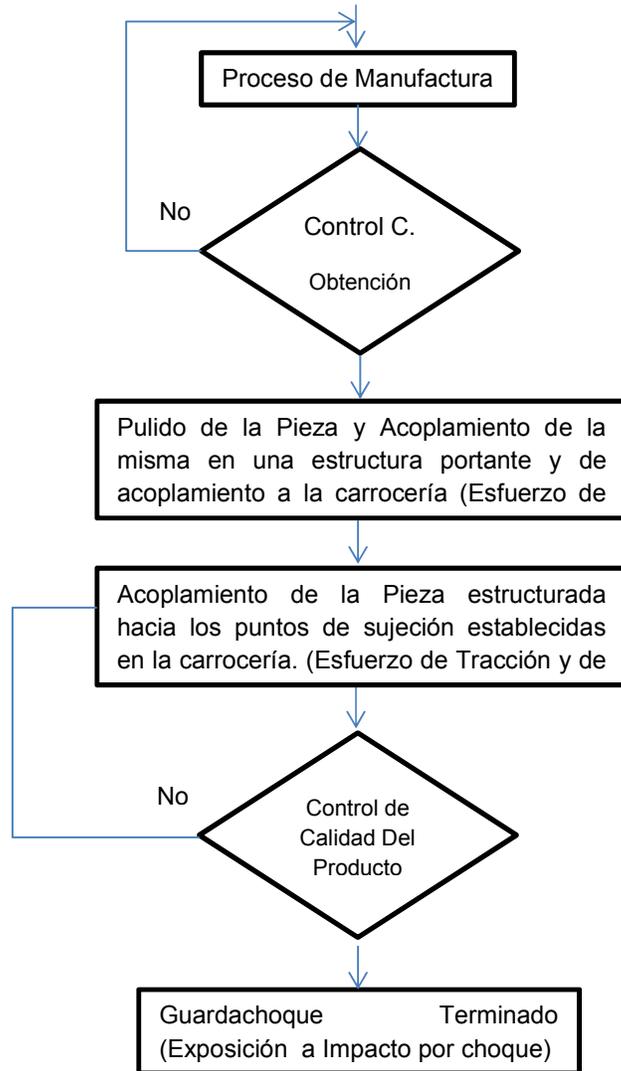
Tabla 32: Ensayos iniciales en función del porcentaje referencial calculado

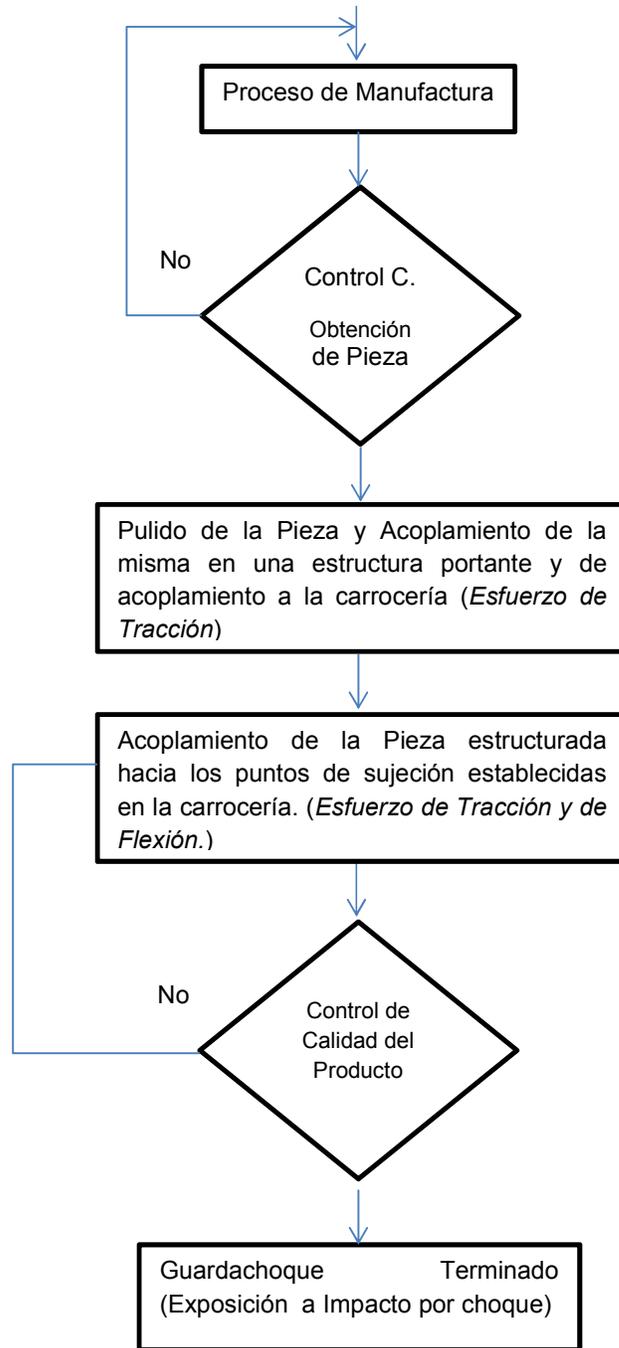
ENSAYOS INICIALES EN FUNCIÓN DEL PORCENTAJE REFERENCIAL CALCULADO DE REFUERZO (30%) - NUMERO DE CAPAS QUE COMERCIALMENTE SE OFRECEN LAS FIBRAS vs (25% - 30% - 40%) DE REFUERZO.								
#	CONFIGURACIÓN DEL REFUERZO	% REF APROX.	# DE CAPAS DE F.V - 375	# DE CAPAS DE F.C	ORDEN DE CAPAS	# DE PROBETAS - ENSAYOS		
						TRACCIÓN	FLEXIÓN	IMPACTO
1	MAT DE FV - 375	30%	3 (30%)	3 (30%)	FV-FV-FV	7		
2	FIBRA CORTA (10 mm)	25%	1 (10%)	1 (15%)	FV-FC	7	LOS MEJORES RESULTADOS A TRACCIÓN	EL MEJOR RESULTADO A TRACCIÓN Y FLEX
		30%	1 (10%)	2 (20%)	FV-FC-FC	7		
			2 (20%)	1 (10%)	FV-FC-FV	7		
3	FIBRA LARGA DE CABUYA	25%	1 (10%)	1 (15%)	FV-FC	7	LOS MEJORES RESULTADOS A TRACCIÓN	EL MEJOR RESULTADO A TRACCIÓN Y FLEX
		30%	2 (20%)	1 (12%)	FV-FC-FV	7		
		40%	2 (20%)	2 (20%)	FV-FC-FC-FV	7		
4	TEJIDO PLANO	25%	1 (10%)	1 (15%)	FV-FC	7	LOS MEJORES RESULTADOS A TRACCIÓN	EL MEJOR RESULTADO A TRACCIÓN Y FLEX
		30%	2 (20%)	1 (12%)	FV-FC-FV	7		
		40%	2 (20%)	1 (20%)	FV-FC-FV	7		
Número Total de Probetas						77	0	0

Fuente: Realizado por el Autor

En esta primera parte de los ensayos y en función de la configuración detallada en la tabla anterior, se realizaron únicamente ensayos a tracción; ya que si se hace un análisis de solicitaciones de esfuerzos al que un guardachoque está expuesto desde la obtención de la pieza hasta

su inserción en un bus terminado, hace que se considere que el primer esfuerzo solicitado sea a Tracción, como se indica en el siguiente diagrama de proceso de la obtención de un guardachoque:





La determinación del nuevo material híbrido, entonces tendrá un proceso de optimización al iniciar solo ensayando las probetas a Tracción, luego de los mejores resultados se procederá a ensayar las mismas a Flexión e Impacto.

Por lo que se analizara finalmente cuál de las configuraciones (Fibra Corta, Larga y Tejido Plano) y fracciones volumétricas (25%, 30% y 40%) ensayadas provoque una mejor combinación que determinada el nuevo mejor material híbrido y que se propondrá para su consideración o utilización.

4.1.4 MOLDEO DE PROBETAS DEL HIBRIDO PARA ENSAYOS.

Para la ejecución de los diferentes ensayos propuestos se ha determinado el siguiente desarrollo en el proceso de establecer un molde que permita la estratificación a compresión con la cual se van a obtener las probetas requeridas.

El molde que se obtuvo tiene un área útil de $526,5 \text{ cm}^2$ con un ancho de 19,5 cm y largo de 27 cm como se muestra en el plano del Anexo 3. Esto con el fin de entender el desarrollo siguiente de éste literal.

4.1.4.1 DIMENSIONAMIENTO DE PROBETAS PARA DETERMINAR LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y FÍSICAS DEL NUEVO MATERIAL HIBRIDO EN ESTUDIO Y EN FUNCIÓN DEL ESPESOR PROMEDIO DETERMINADO EN LOS ENSAYOS PRELIMINARES REFERENCIALES.

El dimensionamiento de las probetas está determinado para cada tipo de ensayo (Tracción, Flexión e Impacto) sugeridas en el estudio y que corresponden a lo determinado en las normativas correspondientes, las cuales se detallan en las tablas siguientes. Hay que considerar que el dimensionamiento de la normativa a utilizar tiene el alcance al largo y ancho de la probeta, así como su método de análisis de propiedades mecánicas correspondientes, lo que no ocurre para el espesor ya que éste está en función del espesor promedio determinado en la primera parte del estudio y que se obtuvo de la caracterización preliminar del

material con el que actualmente se están construyendo los guardachoques.

Otro factor importante es que de la fracción volumétrica determinada se debe transformar correspondientemente a su peso, pues es la magnitud con la cual las fibras tanto de vidrio como de cabuya se pueden manipular, controlar y preparar para su aplicación el híbrido. Este cálculo se muestra en la siguiente tabla y que sirvió como guía para todo el estudio.

Tabla 33: Ensayos iniciales en función del porcentaje referencial calculado de refuerzo

ENSAYOS INICIALES EN FUNCIÓN DEL PORCENTAJE REFERENCIAL CALCULADO DE REFUERZO (30%) NUMERO DE CAPAS QUE COMERCIALMENTE SE OFRECEN LAS FIBRAS vs (25% - 30% - 40%) DE REFUERZO.															
TÉRMINOS Y DEFINICIONES: V=Volumen M=Masa		Fv=Fibra de vidrio Fc= Fibra de Cabuya m= Matriz					VOLUMEN DEL COMPUESTO (Vc) En f (Geometría del molde y % Ref)				MASA DEL COMPUESTO (Vc) En función (Vol. parcial y densidad)				
		Área cm ²	526,5	Espesor cm	0,316	Mc=MFv+MFc+Mm									
PROP. COMERCIALES	FV	Peso (gr/m ²)	375	Espesor (mm)	0,52		Vol - Molde	166	cm ³	Factor de Espesor Real		KER=2			
		FIBRA DE VIDRIO		VIBRA DE CABUYA			Vc=VF+Vm		100%	ρFv=	2,4	gr/cc			
#	CONFIGURACIÓN DEL REFUERZO	% REF APROX.	# DE CAPAS DE F.V - 375	% REF DE F.V - 375	# DE CAPAS DE F.C	% REF DE F.C	ORDEN DE CAPAS	Vc=(VFv+VFc)+Vm		100%	ρFc=	1,3	gr/cc		
								Vc=Vfv(%ref)+Vfc(%ref)+Vm(%)		ρm=	1,2	gr/cc			
							VFv(cc)	VFc(cc)	Vm(cc)	Vc(cc)	MFv(gr)	MFc(gr)	Mm(gr)	Mc(gr)	
1	MAT DE FV - 375	30%	3	30%	FV-FV-FV	25	...	58	166	60	70	130	
2	FIBRA CORTA (10 mm)	25%	1	10%	1	15%	FV-FC	8	12	62	166	20	16	75	111
		30%	1	10%	2	20%	FV-FC-FC	8	17	58	166	20	22	70	111
			2	20%	1	10%	FV-FC-FV	17	8	58	166	40	11	70	121
		40%	2	20%	1	20%	FV-FC-FV	17	17	50	166	40	22	60	121
3	FIBRA LARGA DE CABUYA	25%	1	10%	1	15%	FV-FC	8	12	62	166	20	16	75	111
		30%	2	20%	1	10%	FV-FC-FV	17	8	58	166	40	11	70	121
		40%	2	20%	2	20%	FV-FC-FC-FV	17	17	50	166	40	22	60	121
4	TEJIDO PLANO	25%	1	10%	1	15%	FV-FC	8	12	62	166	20	16	75	111
		30%	2	20%	1	10%	FV-FC-FV	17	8	58	166	40	11	70	121
		40%	2	20%	1	20%	FV-FC-FV	17	17	50	166	40	22	60	121

Tabla 34: Dimensionamiento de probetas para ensayos a tracción según norma
ASTM D3039-00

DIMENSIONAMIENTO DE PROBETAS PARA ENSAYOS A TRACCIÓN SEGÚN NORMA ASTM D3039-00						
#		% REF APROX.	No. DE PROBE TAS	ENSAYOS	NORMA	DIMENSIÓN (mm)
1	MAT FV	30	7	TRACCIÓN	ASTM-D 3039	25x250x3,2
2	FIBRA CORTA	25	7	TRACCIÓN	ASTM-D 3039	25x250x3,2
		30	7	TRACCIÓN	ASTM-D 3039	25x250x3,2
			7	TRACCIÓN	ASTM-D 3039	25x250x3,2
		40	7	TRACCIÓN	ASTM-D 3039	25x250x3,2
2	FIBRA LARGA	25	7	TRACCIÓN	ASTM-D 3039	25x250x3,2
		30	7	TRACCIÓN	ASTM-D 3039	25x250x3,2
		40	7	TRACCIÓN	ASTM-D 3039	25x250x3,2
2	TEJIDO PLANO	25	7	TRACCIÓN	ASTM-D 3039	25x250x3,2
		30	7	TRACCIÓN	ASTM-D 3039	25x250x3,2
		40	7	TRACCIÓN	ASTM-D 3039	25x250x3,2
No. TOT DE PROBETAS			77	Se trabajó con el espesor promedio 3,2mm		

Fuente: Realizado por el Autor

Tabla 35 Dimensionamiento de probetas para ensayos a flexión según norma
ASTM D7264-07

DIMENSIONAMIENTO DE PROBETAS PARA ENSAYOS A FLEXIÓN SEGÚN NORMA ASTM D7264-07						
#		% REF APROX	No. DE PROBE TAS	ENSAYOS	NORMA	DIMENSIÓN (mm)
1	MAT FV	30	n	FLEXIÓN	ASTM-D 7264	13x160x3,2
2	FIBRA CORTA	25	n	FLEXIÓN	ASTM-D 7264	13x160x3,2
		30				
		40				
2	FIBRA LARGA	25	n	FLEXIÓN	ASTM-D 7264	13x160x3,2
		30				
		40				
2	TEJIDO PLANO	25	n	FLEXIÓN	ASTM-D 7264	13x160x3,2
		30				
		40				
No. TOT DE PROBETAS			N	N, en dependencia de la cantidad de mejores resultados obtenidos de los ensayos a Tracción.		

Fuente: Realizado por el Autor.

Tabla 36: Dimensionamiento de probetas para ensayos a impacto según norma ASTM D5628-10

DIMENSIONAMIENTO DE PROBETAS PARA ENSAYOS A IMPACTO SEGÚN NORMA ASTM D5628-10						
#		% REF APROX.	No. DE PROBETAS	ENSAYOS	NORMA	DIMENSIÓN (mm)
1	MAT FV	30	n	IMPACTO	ASTM-D 5628	58x58x3,2
2	FIBRA CORTA	?	EN DEPENDENCIA DE LOS MEJORES RESULTADOS A TRACCIÓN Y FLEXIÓN	IMPACTO	ASTM-D 5628	58x58x3,2
2	FIBRA LARGA	?		IMPACTO	ASTM-D 5628	58x58x3,2
2	TEJIDO PLANO			n	IMPACTO	ASTM-D 5628
No. TOT DE PROBETAS			N	N, en dependencia de la cantidad de mejores resultados obtenidos de los ensayos a Tracción y Flexión.		

Fuente: Realizado por el Autor.

4.1.4.2 PROCESO DE OBTENCIÓN DE LAS CONFIGURACIONES DEL MATERIAL HIBRIDO.

Tabla 37: Características del Mat de fibra de vidrio

MAT DE FIBRA DE VIDRIO			
#	Descripción	Detalle	Observaciones
1	Materia Prima:	Mat de Fibra de Vidrio Peso=375 gr/m ²	
2	Obtención	Mercado Nacional	\$ 1,20 c/m ²
2	Dimensión	Ancho x Largo x Espesor	(270x195x0,52) mm
3	Peso	Área de 5,265 cm ²	20 gr (10% del compuesto)

Fuente: Realizado por el Autor.

Tabla 38: Fibra corta de cabuya (25% – 30% – 40%)

FIBRA CORTA DE CABUYA (25% – 30% – 40%)			
#	Descripción	Detalle	Observaciones
1	Materia Prima:	Fibra de Cabuya Salasaca - Tungurahua 1 Obtención de la Cabuya. 2 Picado (10mm) 3 Pesado en Balanza	 
2	Obtención	Producción Artesanal	\$ 0,50 c/kg
2	Dimensión	Ancho x Largo x Espesor	(270x195x0,52) mm
3	Peso 10%, 15% y 20%	Área de 526,5 cm ²	11, 16 y 22 gr Respectivamente.

Fuente: Realizado por el Autor.

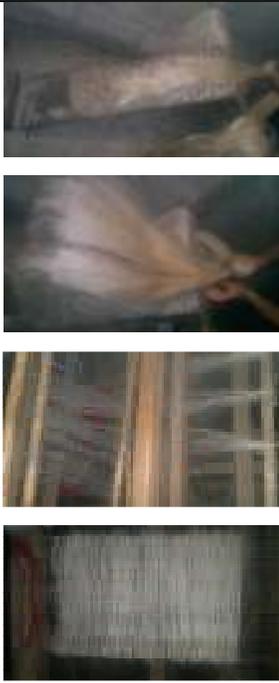
Tabla 39: Fibra larga de cabuya (25 – 30 – 40%)

FIBRA LARGA DE CABUYA (25% – 30% – 40%)			
#	Descripción	Detalle	Observaciones
1	Materia Prima:	Fibra de Cabuya Salasaca – Tungurahua 1 Obtención de la Cabuya. 2 Desmembramiento de Celulosa adherida aun en la fibra de cabuya. 3 Peinado de la fibra 4 Secado de la Fibra. 5 Pesado de fibras en	  

		<p>correspondencia a lo necesitado (25,30 y 40)%</p> <p>5 Cálculo de numero de fibras para por trama para el tejido.</p> <p>6 Tejido en Telar Manual (Salasaca - Tungurahua)</p>	
2	Obtención	Producción Artesanal	\$ 0,50 c/kg
2	Dimensión	Ancho x Largo x Espesor	(270x195x0,52) mm
3	Peso 10%, 15% y 20%	Área de 526,5 cm ²	11, 16 y 22 gr Respectivamente

Fuente: Realizado por el Autor.

Tabla 40: Tejido plano de cabuya (25% – 30% – 40%)

TEJIDO PLANO DE CABUYA (25% – 30% – 40%)			
#	Descripción	Detalle	Observaciones
1	Materia Prima:	<p>Fibra de Cabuya</p> <p>Salasaca – Tungurahua</p> <p>1.- Obtención de la Cabuya.</p> <p>2.- Desmembramiento de Celulosa adherida aun en la fibra de cabuya.</p> <p>3.- Peinado de la fibra</p> <p>4.- Secado de la Fibra.</p> <p>5.- Pesado de fibras en correspondencia a lo necesitado (25,30 y 40)%</p> <p>6.- Cálculo de número de fibras para la base y la trama (Ej se considera que en 11 gr de Fibra</p>	

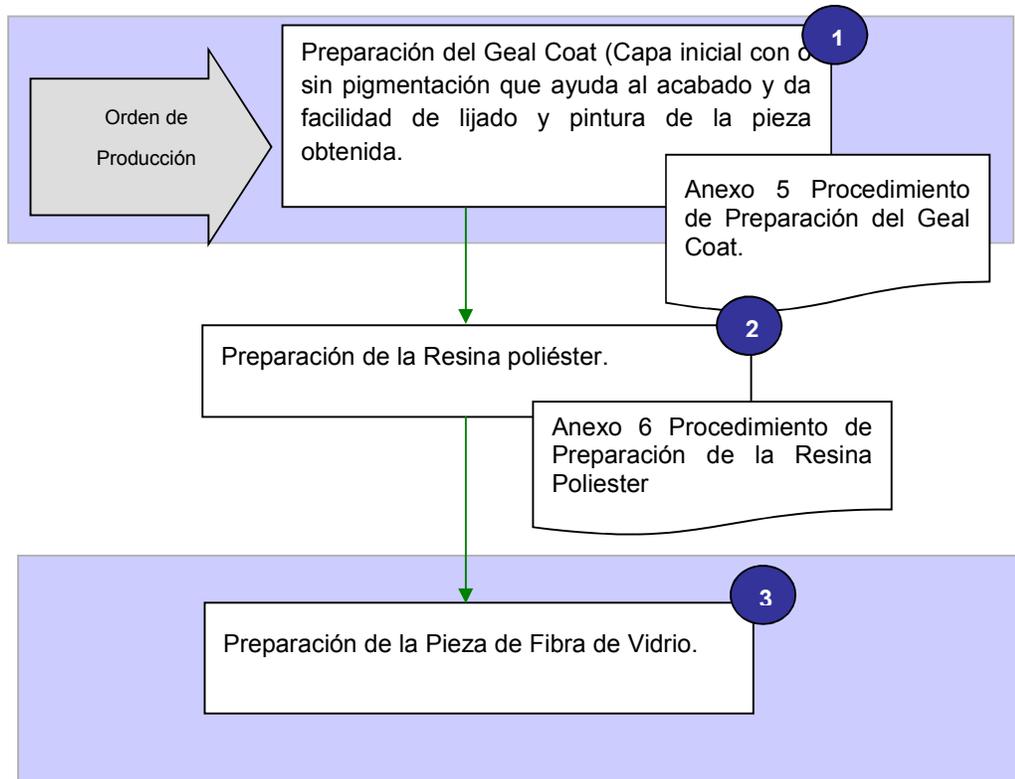
		de cabuya existen 340 fibras de 2 metros c/u; para lo cual se hacen las relaciones para que todas estas foibra ingresen en el área de moldeo, estimando que para este peso de 11 gr se necesitan realizar pases de 10 fibras por pasada para el tejido) 7.- Tejido en Telar Manual (Salasaca - Tungurahua)	
2	Obtención	Producción Artesanal	\$ 1,50 c/kg
2	Dimensión	Ancho x Largo x Espesor	(270x195x0,52) mm
3	Peso 10%, 15% y 20%	Área de 526,5 cm ²	11, 16 y 22 gr Respectivamente.

Fuente: Realizado por el Autor.

4.1.4.3 PROCESO DE ESTRATIFICACIÓN DE PROBETAS (TRACCIÓN FLEXIÓN E IMPACTO) REQUERIDAS EN EL LITERAL 4.1.4.2.

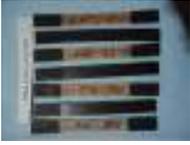
El proceso de obtención de las probetas requeridas para la caracterización mecánicas de las probetas de tracción, flexión e impacto está bajo el procedimiento establecido para la obtención de un componente, pieza o accesorio en Fibra de Vidrio por la Empresa “Carrocerías IBIMCO” y que gracias a la apertura de su gerente se me facilito los procedimientos requeridos y que se detallan en el siguiente Diagrama de Procesos.

Cabe recalcar que este procedimiento se lo aplico también a la obtención de las probetas del nuevo material hibrido; ya que están sujetas a la utilización de la misma matriz que es la Resina Poliéster.



Una vez utilizado este procedimiento se obtuvo las diferentes probetas como se muestran a continuación:

Tabla 41: Dimensionamiento de probetas para ensayos a tracción según norma ASTM D3039-00

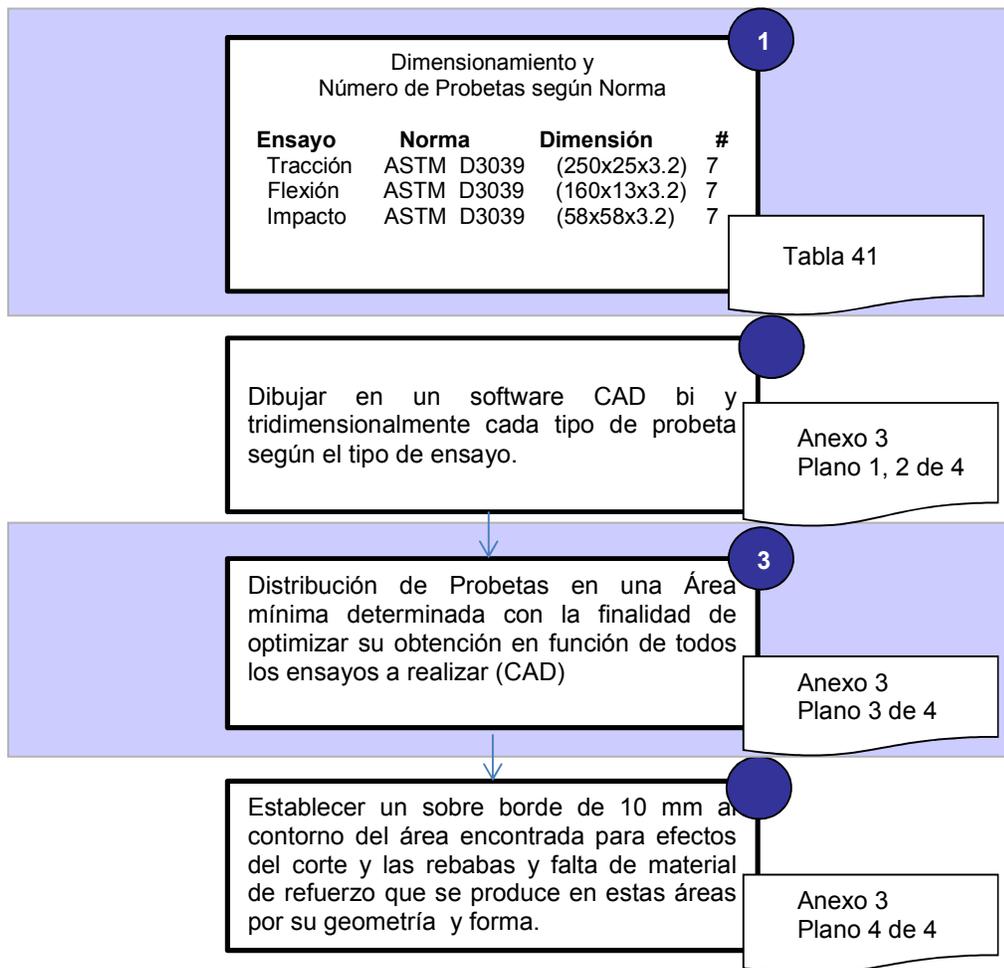
DIMENSIONAMIENTO DE PROBETAS PARA ENSAYOS A TRACCIÓN SEGÚN NORMA ASTM D3039					
#	CONFIGURACIÓN	% REF APROX.	No. DE PROBETAS	DIMENSIÓN. (mm)	FOTOGRAFÍA
1	MAT FV	30	7	25x250x3,2 	
2	FIBRA CORT A	25	7	25x250x3,2 	

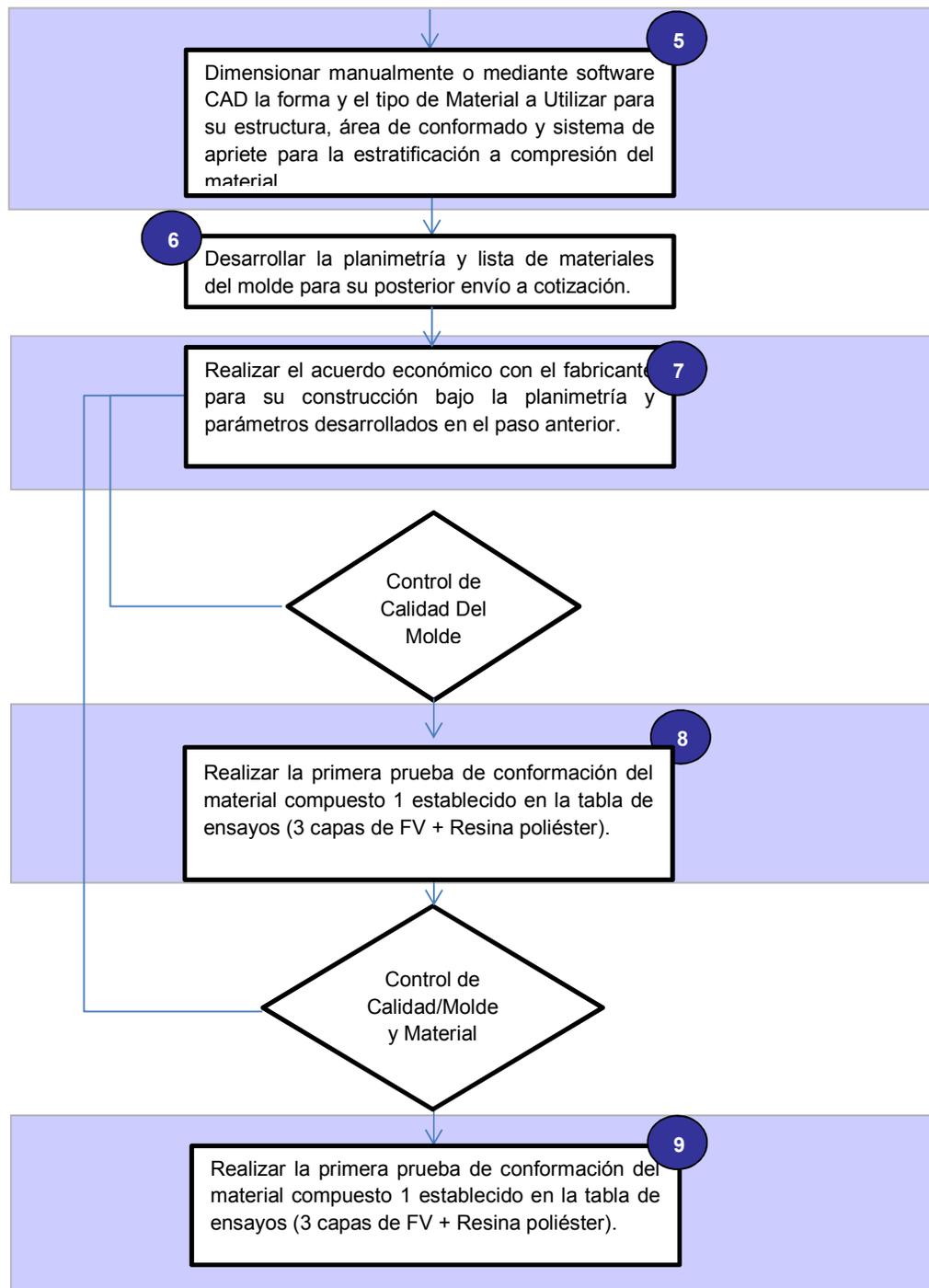
		30	7	25x250x3,2 	
			7		
		40	N/A	Espesor aprox. de 4mm (fuera de rango)	Falta de cobertura de Matriz (60%) no suficiente para el volumen de refuerzo
2	FIBRA LARGA	25	7	25x250x3,2 	
		30	7	25x250x3,2 	
		40	7	25x250x3,2 	
2	TEJIDO PLANO	25	7	25x250x3,2 	
		30	7	25x250x3,2 	
		40	7	25x250x3,2 	
No. TOT DE PROBETAS			70	Se trabajó con el espesor promedio 3,2mm	

Fuente: Realizado por el Autor.

4.1.4.4 DIMENSIONAMIENTO, PLANIMETRÍA Y MATERIALES DE MOLDE ÚNICO PARA OBTENCIÓN DE PROBETAS DE TRACCIÓN, FLEXIÓN E IMPACTO.

El molde fue construido con la finalidad de obtener el número máximo de probetas para cada ensayo (siete); ya que se considera este número como suficiente de tal manera que se esperaría dos pudieran tener ciertos problemas de dimensionamiento, de proceso de manufactura y corte.





4.1.4.5 CONSTRUCCIÓN DE MOLDE.

La construcción del molde se lo hizo en “Talleres Nitro” del sector de Ingahurco la ciudad de Ambato, bajo la planimetría establecida (Anexo 3_

Plano 4 de 4) y criterios técnicos como la alternabilidad de ejecución de los cordones de soldadura, esto con el objetivo de no calentar demasiado el material para no obtener deformaciones en el molde.

El proceso de construcción se detalla en la siguiente Tabla 47:

Tabla 42: Pasos de construcción del molde

CONSTRUCCIÓN DEL MOLDE (Anexo 3)			
#	Parte	Detalle	Observaciones
1	Marco	Rayado y Corte del perfil L y encuadramiento del perímetro que formara la estructura.	
		Soldadura previa para verificación de aristas y nivel de la superficie exterior.	
2	Placa Base	Rayado y Corte de la plancha base (360 x 285)mm	\$ 1,20 c/m ²
		Biselado de las aristas vivas de la placa base para no encontrar interferencia con el radio interno del perfil L del marco.	
		Perforación de diámetro 3/8" en seis 12 partes de la plancha considerando que deben coincidir en la superficie interna del marco para su ubicación en esta.	
		Ubicación y soldado en la parte interna dejada por el perímetro del perfil L del marco	
		Soldadura de 8 tuercas para perno 7/16" en la parte inferior de la placa base para ajuste de tapa.	
3	Tapa	Rayado y corte de la tapa del molde (370 x 295)mm	
		Biselado de las aristas del contorno del molde	
		Perforado (ocho) de 7/16" para	

Fuente: Realizado por el Autor.



Figura 55: Molde de Probetas del Nuevo Material Hibrido

4.1.4.6 PRUEBAS DE MOLDEO REALIZANDO PROBETAS TESTIGO (FV+RP) Y DETERMINACIÓN DE SUS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS.

Las pruebas que se realizaron luego de obtener el molde fue el de elaborar nuevamente el material compuesto con el que actualmente se están realizando los guardachoques (3 capas de FV + RP), pero ya con la limitación del espesor que ahora provee el molde ($e=3,2\text{mm}$) y bajo el procedimiento de elaboración de una pieza de fibra de vidrio ya establecida en el literal 4.1.4.2

Cabe recalcar que el procedimiento que se expone y se sigue para la producción de partes de fibra de vidrio, corresponde a una producción grande, donde se preparan 100 kg de resina y 100 kg de Geal Coat; pero nuestros ensayos correspondieron a la utilización de tan solo (1,2 -1,5) kg de resina de moldeo y de (0,5 – 0,7) kg de Geal Coat, por lo que se utilizó Geal Coat y Resina de Moldeo ya preparada y que corresponde a la que utiliza Carrocerías IBIMCO.

4.1.4.7 ENSAYO A TRACCIÓN DEL MATERIAL HÍBRIDO

4.1.5 ENSAYOS DEL HIBRIDO.

El ensayo de tracción para el nuevo material híbrido se calcula o determina mediante lo establecido y enunciado en los literales 4.1.4.1 y 4.1.2.2; es decir bajo las mismas consideraciones del ensayo a tracción de los ensayos preliminares.

ESFUERZO MÁXIMO A TRACCIÓN Se caracterizaron siete probetas del nuevo compuesto en función del tipo de configuración y fracción volumétrica establecido en el literal 4.1.4.1, bajo características geométricas establecidas en la Norma ASTM D3039-00. El esfuerzo máximo se obtuvo de igual manera que se lo realizó para los ensayos preliminares; es decir bajo la relación:

$$\sigma_{\max} = \frac{F}{A}, \text{ donde:}$$

σ_{\max} . = esfuerzo máximo (Mpa).

F = carga máxima o fuerza necesaria para producir la fractura (N).

A = área de la sección transversal de la probeta (mm²).

En la siguiente parte se irán evaluando cada tipo de configuración, bajo la ficha técnica de toma de datos y descripción del ensayo.

PORCENTAJE DE DEFORMACIÓN El porcentaje de deformación también se determinó de la misma forma de cálculo que la utilizada en los ensayos preliminares, como se indica en la siguiente ecuación:

$$\varepsilon(\text{elongación}) = \frac{l_f - l_i}{l_i}$$

$$\% \text{ _ deformación} = \frac{l_f - l_i}{l_i} * 100, \text{ donde:}$$

l_f = longitud final (mm).

l_i = longitud inicial (mm).

MODULO DE ELASTICIDAD (E) El módulo de elasticidad o módulo de Young, se ha determinado siguiendo la relación de Hooke y bajo lo especificado en la norma ASTM D3039-00:

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon}, \text{ donde:}$$

σ máx.= esfuerzo máximo.

ϵ = elongación

La tabulación de datos y el análisis después de la caracterización de las siete probetas bajo las condiciones establecidas, se detalla en las siguientes *fichas técnicas* que se han elaborado por el Autor, en función de las necesidades y desarrollo del estudio y que se adaptan tanto para ensayos a materiales compuestos y materiales híbridos de matriz polimérica.

Ficha técnica 3: Ficha de recolección de datos del material compuesto testigo de las pruebas de moldeo.

 MAT. COMPUESTO		FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS Y EVALUACIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN MATERIAL COMPUESTO E HIBRIDO		REG: MCH 001 - T	
COMPUESTO – FIBRA DE VIDRIO					
Fecha:	07-jul-2012	Ciudad:	Quito		
Lugar:	Laboratorio de materiales de la Escuela Politécnica Nacional				
Maquina:	Máquina Universal Tinius Olsen				
Tipo de Ensayo:	Tracción	Norma:	ASTM D 3039		
Configuración:	Mat de FV	Estratificación:	Compresión		
Matriz:	Resina Poliéster	Frac. Volumétrica:	70%		
Refuerzo:	Fibra de Vidrio	Frac. Volumétrica:	30%		
Orden de Capas	FV+FV+FV	Número. de Probetas	7		
Dimensión de Probeta (mm)	250 x 25 x espesor	Velocidad / Ensayo	2mm/min		
Espesor Promedio (mm)	3,2 mm	Responsable:	Ing. J. Paredes		
DATOS Y RESULTADOS					
#	Deformación Máxima (mm)	Carga Máxima (N)	Esfuerzo Máximo (Mpa)	Elongación (mm)	Módulo de Elasticidad (Mpa)
1	0,62	6415	93,64	0,0124	7552
2	0,77	6599	97,98	0,0154	6363
3	0,30	6209	89,18	0,0118	7579
4	0,51	6088	88,52	0,0102	8679

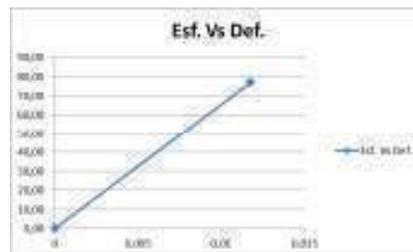
5	0,54	5970	90,26	0,0107	8420
6	N/R	6075	90,23	0,0118	7668
7	0,80	4932	75,45	0,0160	4716
Promedio	0,59	6041	78,40	0,0120	6549
Desv.Est.	0,28	535	6,93	0,0022	1353

FOTOGRAFÍAS DEL ENSAYO



Zona de fractura:	Parte inferior de agarre de mordaza
Tipo de falla:	Comportamiento frágil
Inicio de falla:	Falla tanto en la matriz como en la fibra.
Observación:	Buena adhesión entre fibra y matriz debido a ensimajes en la FV.

GRÁFICAS



EVALUACIÓN Y OBSERVACIONES

Del análisis de este material compuesto se determina que:

Esfuerzo Máximo Promedio: 77,06 Mpa

Módulo de Elasticidad Promedio: 6549 Mpa

Espesor real promedio: 3,2 mm

Fuente: Realizada por el Autor

De la toma de datos y el análisis de las propiedades mecánicas a Tracción que se obtuvo para el ensayo testigo de material compuesto FV+RP y de fracción volumétrica 30% de matriz (RP) y 70% de refuerzo (Tres capas de FV), se realizó una comparación estadística de éste compuesto vs el promedio obtenido de los ensayos preliminares, para que este sea el parámetro de evaluación del material híbrido en estudio.

Tabla 43: Evaluación de Ensayos preliminares (Parámetros de Evaluación)

DATOS Y RESULTADOS				
# o Tipo de Ensayo	Espesor Promedio	Esfuerzo Máximo (Mpa)	Módulo de Elasticidad (Mpa)	Obs.
Ensayo Preliminar 1	3,28	71,10	7610	
	3,43	62,77	2578	
	2,96	79,66	3433	
Ensayo Testigo	3,20	77,06	6549	
Promedio	3,21	72,64	5042	
Desviación Estándar	0,20	7,50	2417	

Fuente: Realizada por el Autor

Ficha técnica 4: Análisis de la Configuración de Refuerzo de Fibra Corta (25–30) %

 MATERIAL HIBRIDO		FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS Y EVALUACIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN MATERIAL COMPUESTO E HIBRIDO			REG: MCH 002 - T
HIBRIDO – FIBRA CORTA					
Fecha:	07-jul-2012	Ciudad:	Quito		
Lugar:	Laboratorio de materiales de la Escuela Politécnica Nacional				
Maquina:	Máquina Universal Tinius Olsen				
Tipo de Ensayo:	Tracción	Norma:	ASTM D 3039		
Configuración:	FCo – 25%	Estratificación:	Compresión		
Matriz:	Resina Poliéster	Frac. Volumétrica:	75%		
Refuerzo:	Fibra de Vidrio	Frac. Volumétrica:	25%		
Orden de Capas	FV+FC	Número de Probetas	7		
Dimensión de Probeta (mm)	250 x 25 x espesor	Velocidad / Ensayo	2mm/min		
Espesor Promedio (mm)	3,22 mm	Responsable:	Ing. J. Paredes		
DATOS Y RESULTADOS 1					
#	Deformación Máxima (mm)	Carga Máxima (N)	Esfuerzo Máximo (Mpa)	Elongación (mm)	Módulo de Elasticidad (Mpa)
1	0,42	2291	29,76	0,0084	3542
2	0,41	2369	30,27	0,0082	3691
3	0,29	2060	25,68	0,0059	4367
4	0,34	2310	28,78	0,0068	4233
5	0,35	2456	32,21	0,0070	4602
6	0,34	2805	34,81	0,0068	5119
7	0,214	2032	25,72	0,0043	6009
Promedio	0,338	2332	29,59	0,007	4373
Desv.Est.	0,07	260	3,30	0,0014	850

Fecha:	07-jul-2012	Ciudad:	Quito
Lugar:	Laboratorio de materiales de la Escuela Politécnica Nacional		
Maquina:	Máquina Universal Tinius Olsen		
Tipo de Ensayo:	Tracción	Norma:	ASTM D 3039
Configuración:	FCo 1 – 30%	Estratificación:	Compresión
Matriz:	Resina Poliéster	Frac. Volumétrica:	70%
Refuerzo:	Fibra de Vidrio	Frac. Volumétrica:	30%
Orden de Capas	FV+FC+FC	Número. de Probetas	7
Dimensión de Probeta (mm)	250 x 25 x espesor	Velocidad / Ensayo	2mm/min
Espesor Promedio (mm)	4,10 mm	Responsable:	Ing. J. Paredes

DATOS Y RESULTADOS 2

#	Deformación Máxima (mm)	Carga Máxima (N)	Esfuerzo Máximo (Mpa)	Elongación n (mm)	Módulo de Elasticidad (Mpa)
1	0,68	2636	26,65	0,0136	1960
2	0,488	2181	22,39	0,0097	2297
3	0,488	2529	23,84	0,0097	2445
4	0,36	2240	21,20	0,0072	2945
5	0,50	2309	25,17	0,0100	2517
6	0,41	2471	23,16	0,0082	2824
7	0,488	2374	25,88	0,0097	2655
Promedio	0,488	2391	23,98	0,01	2459
Desv.Est.	0,279	163	1,96	0,002	332

Fecha:	07-jul-2012	Ciudad:	Quito
Lugar:	Laboratorio de materiales de la Escuela Politécnica Nacional		
Maquina:	Máquina Universal Tinius Olsen		
Tipo de Ensayo:	Tracción	Norma:	ASTM D 3039
Configuración:	FCo 2 – 30%	Estratificación:	Compresión
Matriz:	Resina Poliéster	Frac. Volumétrica:	70%
Refuerzo:	Fibra de Vidrio	Frac. Volumétrica:	30%
Orden de Capas	FV+FC+FV	Número. de Probetas	7
Dimensión de Probeta (mm)	250 x 25 x espesor	Velocidad / Ensayo	2mm/min
Espesor Promedio (mm)	3,30 mm	Responsable:	Ing. J. Paredes

DATOS Y RESULTADOS 3

#	Deformación Máxima (mm)	Carga Máxima (N)	Esfuerzo Máximo (Mpa)	Elongación n (mm)	Módulo de Elasticidad (Mpa)
1	0,415	4105	50,68	0,0083	6114
2	0,415	3901	50,18	0,0083	6053
3	0,34	3659	44,79	0,0068	6587
4	0,41	4466	55,67	0,0082	6789
5	0,398	4408	56,38	0,0080	7082
6	0,51	4651	58,32	0,0102	5717
7	0,415	3770	47,37	0,0083	5714
Promedio	0,415	4137	51,88	0,008	6258
Desv.Est.	0,23	379,86	5,02	0,0010	534

GRÁFICAS PARCIALES



FOTOGRAFÍAS DEL ENSAYO

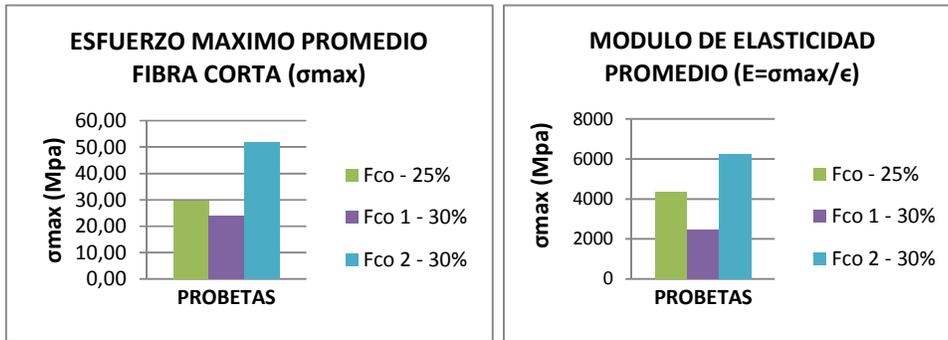


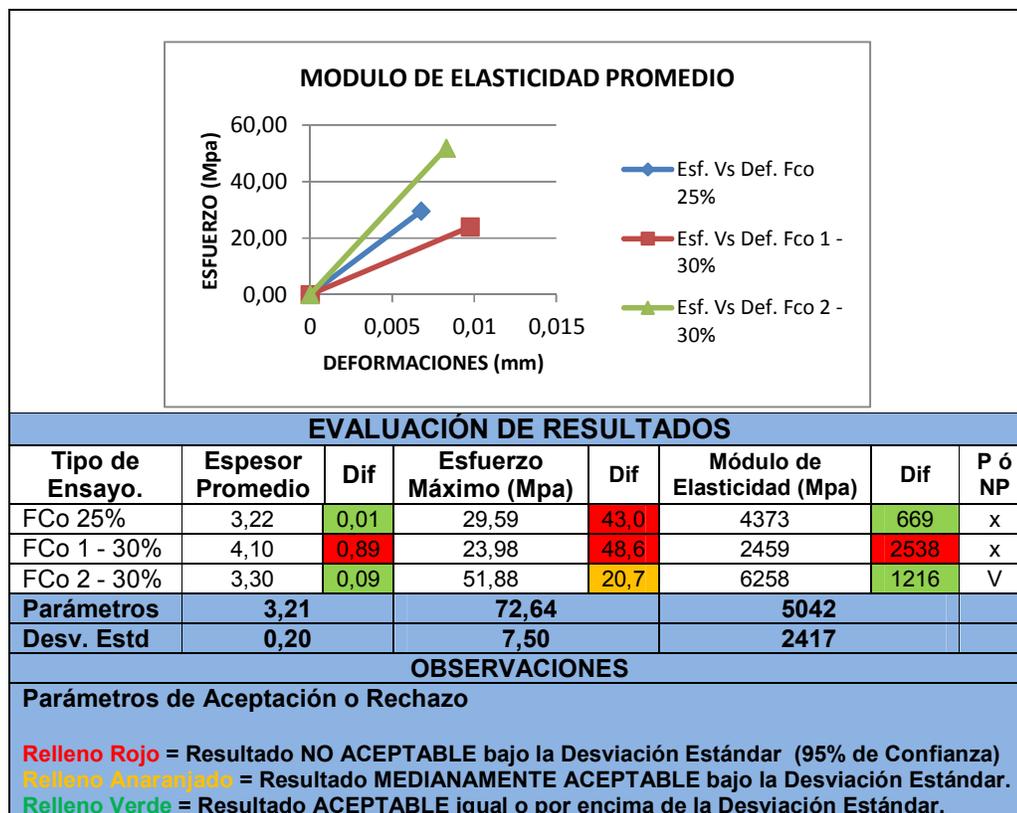
Zona de fractura:	Parte central y superior de la parte media de la probeta
Tipo de falla:	Comportamiento frágil
Inicio de falla:	Inicio de falla tanto en la matriz luego en la fibra.
Observación:	Regular adhesión entre fibra y matriz debido a tamaño de la Fibra Corta (10mm) y las fibras que no estuvieron en la misma dirección de la carga actuaron como concentradores de esfuerzos.

RESULTADOS PROMEDIO

#	Deformación Máxima (mm)	Carga Máxima (N)	Esfuerzo Máximo (Mpa)	Elongación n (mm)	Módulo de Elasticidad (Mpa)
Fco.	0,338	2332	29,59	0,007	4373
FCo1 25%	0,488	2391	23,98	0,01	2459
FCo2 30%	0,415	4137	51,88	0,008	6258

GRÁFICAS PROMEDIO





Fuente: Realizado por el Autor.

De la toma de datos y el análisis de las propiedades mecánicas a Tracción que se obtuvo para la configuración de fibra corta, respecto a los resultados promedio de Espesor Promedio, Esfuerzo Máximo y Modulo de Elasticidad se determina que los compuesto FCo 25% y FCo 1 – 30% ofrecieron menor comportamiento a la combinación de propiedades mecánicas a tracción; mientras que el compuesto y FCo 2 30%, a pesar de tener un bajo esfuerzo máximo a tracción y que no está dentro de la desviación estándar esperada, respecto al 95% de nivel de confianza; por lo que se determina que este Tipo de configuración es quien pasa a la siguiente etapa del estudio y que se refleja en la siguiente tabla de evaluación de resultados.

Ficha técnica 5: Análisis de la Configuración de refuerzo de Fibra larga (25–30–40) %.

 MATERIAL HIBRIDO		FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS Y EVALUACIÓN DE PROPIEDADES MECANICAS DE UN MATERIAL COMPUESTO E HIBRIDO			REG: MCH 002 - T	
HIBRIDO – FIBRA LARGA						
Fecha:	12-jul-2012	Ciudad:	Quito			
Lugar:	Laboratorio de materiales de la Escuela Politécnica Nacional					
Maquina:	Máquina Universal Tinius Olsen					
Tipo de Ensayo:	Tracción	Norma:	ASTM D 3039			
Configuración:	FL – 25%	Estratificación:	Compresión			
Matriz:	Resina Poliéster	Frac. Volumétrica:	75%			
Refuerzo:	Fibra de Vidrio	Frac. Volumétrica:	25%			
Orden de Capas	FV+FC	Número de Probetas	7			
Dimensión de Probeta (mm)	250 x 25 x espesor	Velocidad / Ensayo	2mm/min			
Espesor Promedio (mm)	3,02 mm	Responsable:	Ing. J. Paredes			
DATOS Y RESULTADOS 1						
#	Deformación Máxima (mm)	Carga Máxima (N)	Esfuerzo Máximo (Mpa)	Elongación (mm)	Módulo de Elasticidad (Mpa)	
1	0,323	2511	36,99	0,0065	5731	
2	0,317	2840	35,90	0,0063	5662	
3	0,268	3059	40,64	0,0054	7583	
4	0,456	3380	43,60	0,0091	4781	
5	0,323	3340	45,97	0,0065	7122	
6	0,323	3251	43,38	0,0065	6720	
7	0,25	2418	39,04	0,0050	7808	
Promedio	0,323	2971	40,84	0,0006	6327	
Desv.Est.	0,18	392,46	3,72	0,0013	1123	
DATOS Y RESULTADOS 2						
Fecha:	07-jul-2012	Ciudad:	Quito			
Lugar:	Laboratorio de materiales de la Escuela Politécnica Nacional					
Maquina:	Máquina Universal Tinius Olsen					
Tipo de Ensayo:	Tracción	Norma:	ASTM D 3039			
Configuración:	FL – 30%	Estratificación:	Compresión			
Matriz:	Resina Poliéster	Frac. Volumétrica:	70%			
Refuerzo:	Fibra de Vidrio	Frac. Volumétrica:	30%			
Orden de Capas	FV+FC+FV	Número de Probetas	7			
Dimensión de Probeta (mm)	250 x 25 x espesor	Velocidad / Ensayo	2mm/min			
Espesor Promedio (mm)	3,01 mm	Responsable:	Ing. J. Paredes			
DATOS Y RESULTADOS 2						
#	Deformación Máxima (mm)	Carga Máxima (N)	Esfuerzo Máximo (Mpa)	Elongación (mm)	Módulo de Elasticidad (Mpa)	
1	0,74	5695	77,64	0,0148	5231	

2	0,832	4859	66,17	0,0166	3977
3	0,74	6052	82,51	0,0148	5560
4	0,74	5312	73,78	0,0148	4972
5	0,74	6180	86,15	0,0148	5805
6	0,652	6108	83,37	0,0130	6393
7	0,74	5701,00	78,24	0,01	5272,51
Promedio	0,39	525,09	7,39	0,00	822,00
Desv.Est.	0,74	5695	77,64	0,0148	5231

Fecha:	07-jul-2012	Ciudad:	Quito
Lugar:	Laboratorio de materiales de la Escuela Politécnica Nacional		
Maquina:	Máquina Universal Tinius Olsen		
Tipo de Ensayo:	Tracción	Norma:	ASTM D 3039
Configuración:	FL – 40%	Estratificación:	Compresión
Matriz:	Resina Poliéster	Frac. Volumétrica:	70%
Refuerzo:	Fibra de Vidrio	Frac. Volumétrica:	30%
Orden de Capas	FV+FC+FC+FV	Número. de Probetas	7
Dimensión de Probeta (mm)	250 x 25 x espesor	Velocidad / Ensayo	2mm/min
Espesor Promedio (mm)	3,00 mm	Responsable:	Ing. J. Paredes

DATOS Y RESULTADOS 3

#	Deformación Máxima (mm)	Carga Máxima (N)	Esfuerzo Máximo (Mpa)	Elongación n (mm)	Módulo de Elasticidad (Mpa)
1	0,32	6974	97,95	0,0064	15305
2	0,554	6250	81,99	0,0111	7400
3	2,42	7533	105,83	0,0484	2186
4	0,798	7045	98,32	0,0160	6160
5	0,58	7160	101,58	0,0116	8757
6	0,34	5618	72,08	0,0068	10600
7	0,574	6640	90,38	0,0115	7873
Promedio	0,798	6746	92,20	0,016	5777
Desv.Est.	0,79	640,54	11,94	0,0147	4031

GRÁFICAS PARCIALES



FOTOGRAFÍAS DEL ENSAYO

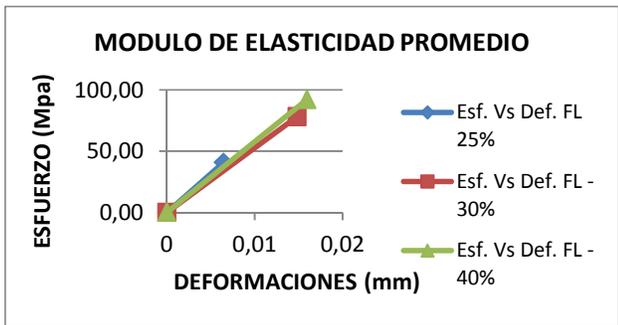
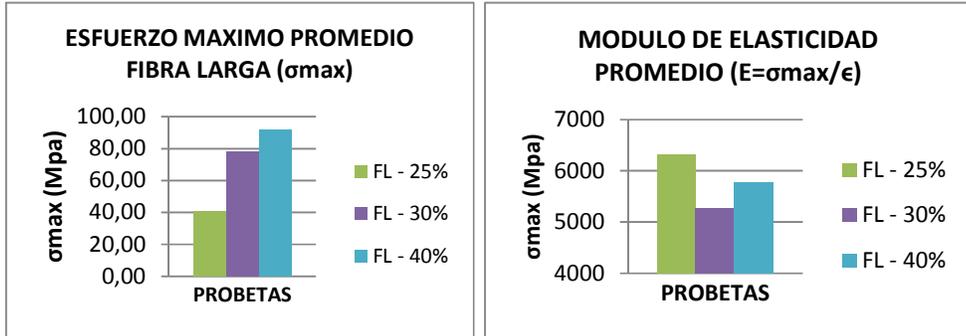


Zona de fractura:	Parte central y superior de la parte media de la probeta
Tipo de falla:	Comportamiento frágil
Inicio de falla:	Inicio de falla en la matriz, las fibras no se rompieron con facilidad.
Observación:	Excelente adhesión entre fibra y matriz , es un buen indicador que mejorara las propiedades mecánicas.

RESULTADOS PROMEDIO

#	Deformación Máxima (mm)	Carga Máxima (N)	Esfuerzo Máximo (Mpa)	Elongación n (mm)	Módulo de Elasticidad (Mpa)
FL 25%.					
FL 30%					
FL 40%					

GRÁFICAS PROMEDIO



EVALUACIÓN DE RESULTADOS							
Tipo de Ensayo.	Espesor Promedio	Dif	Esfuerzo Máximo (Mpa)	Dif	Módulo de Elasticidad (Mpa)	Dif	P ó NP
FL 25%	3,02		40,84		6327		x
FL - 30%	3,01		78,24		5272		V
FL - 40%	3,00		92,20		5577		V
Parámetros	3,21		72,64		5042		
Desv. Estd	0,20		7,50		2417		
OBSERVACIONES							
Parámetros de Aceptación o Rechazo							
Relleno Rojo = Resultado NO ACEPTABLE bajo la Desviación Estándar (95% de Confianza) Relleno Anaranjado = Resultado MEDIANAMENTE ACEPTABLE bajo la Desviación Estándar. Relleno Verde = Resultado ACEPTABLE igual o por encima de la Desviación Estándar.							

Fuente: Realizada por el Autor

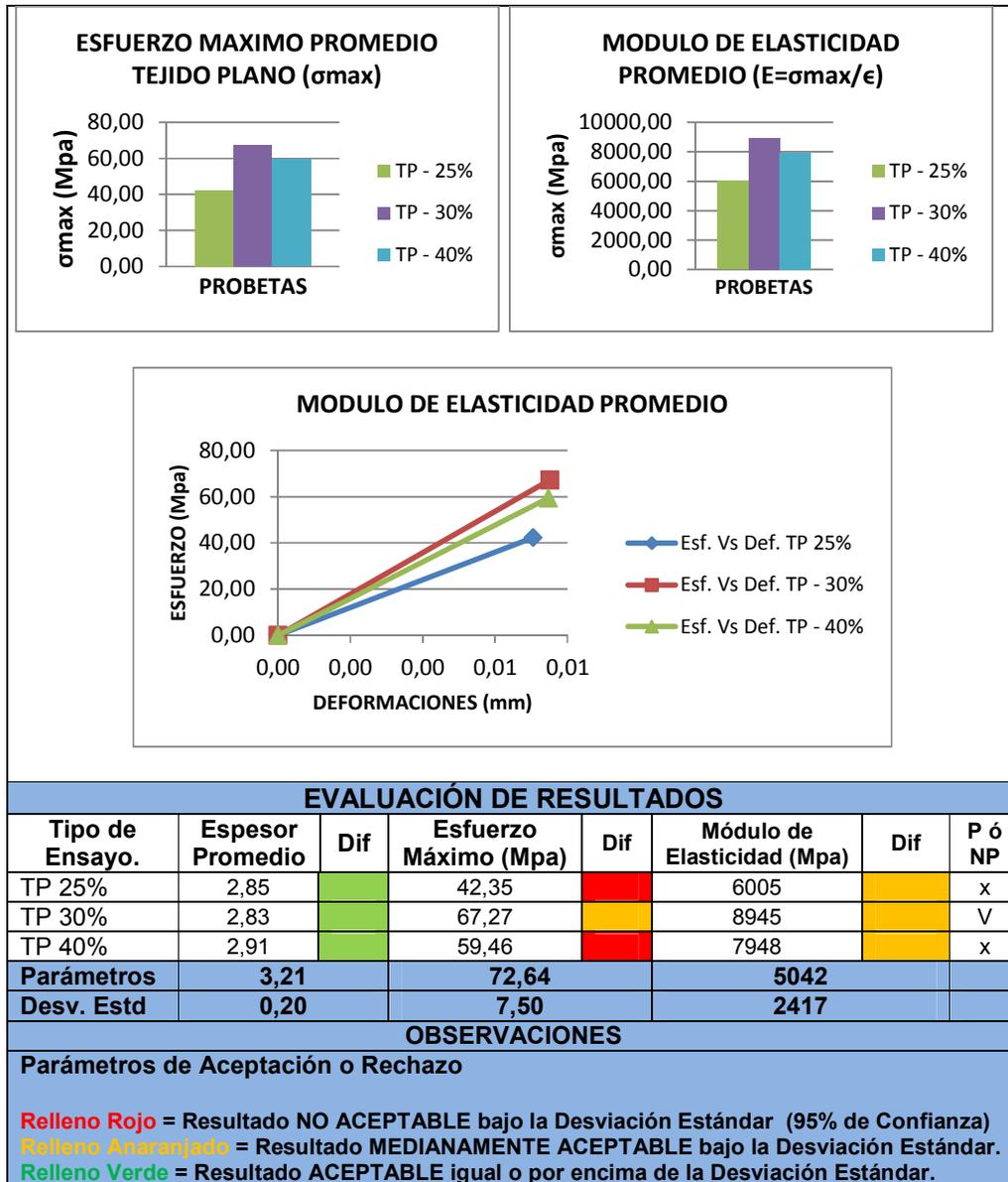
De la toma de datos y el análisis de las propiedades mecánicas a Tracción que se obtuvo para la configuración de fibra larga, respecto a los resultados promedio de Espesor Promedio, Esfuerzo Máximo y Modulo de Elasticidad se determina que los compuesto FL 25% es quien ofreció menor comportamiento a la combinación de propiedades mecánicas a tracción; mientras que los compuesto y FL 30% y FL 40%, tuvieron el mejor comportamiento, sobrepasando los niveles esperados y se determina que éstos dos tipos de configuraciones son quienes pasan a la siguiente etapa del estudio y que se refleja en la siguiente tabla de evaluación de resultados.

Ficha Técnica 6: Análisis de la Configuración Tejido Plano (25–30–40) %

 MATERIAL HIBRIDO		FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS Y EVALUACIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN MATERIAL COMPUESTO E HIBRIDO		REG: MCH 002 - T	
HIBRIDO – TEJIDO PLANO					
Fecha:	12-jul-2012	Ciudad:	Quito		
Lugar:	Laboratorio de materiales de la Escuela Politécnica Nacional				
Maquina:	Máquina Universal Tinius Olsen				
Tipo de Ensayo:	Tracción	Norma:	ASTM D 3039		
Configuración:	TP – 25%	Estratificación:	Compresión		
Matriz:	Resina Poliéster	Frac. Volumétrica:	75%		
Refuerzo:	Fibra de Vidrio	Frac. Volumétrica:	25%		
Orden de Capas	FV+FC Número de Probetas	6			
Dimensión de Probeta	250 x 25 x	Velocidad / Ensayo	2mm/min		

(mm)	espesor				
Espesor Promedio (mm)	2,85 mm		Responsable:	Ing. J. Paredes	
DATOS Y RESULTADOS 1					
#	Deformación Máxima (mm)	Carga Máxima (N)	Esfuerzo Máximo (Mpa)	Elongación (mm)	Módulo de Elasticidad (Mpa)
1	0,428	2936	42,54	0,0086	4970
2	0,294	2722	40,06	0,0059	6812
3	0,31	2880	38,69	0,0062	6240
4	0,35	2827	38,76	0,0071	5497
5	0,38	3504	55,79	0,0076	7341
6	0,351	2550	39,66	0,0070	5650
Promedio	0,35	2903,17	42,35	0,01	6004,69
Desv.Est.	0,15	324,33	6,62	0,00	884,37
Fecha: 07-jul-2012 Ciudad: Quito					
Lugar: Laboratorio de materiales de la Escuela Politécnica Nacional					
Maquina: Máquina Universal Tinius Olsen					
Tipo de Ensayo:		Tracción	Norma:	ASTM D 3039	
Configuración:		TP – 30%	Estratificación:	Compresión	
Matriz:		Resina Poliéster	Frac. Volumétrica:	70%	
Refuerzo:		Fibra de Vidrio	Frac. Volumétrica:	30%	
Orden de Capas		FV+FC+FV	Número de Probetas	4	
Dimensión de Probeta (mm)		250 x 25 x espesor	Velocidad / Ensayo	2mm/min	
Espesor Promedio (mm)		2,83 mm	Responsable:	Ing. J. Paredes	
DATOS Y RESULTADOS 2					
#	Deformación Máxima (mm)	Carga Máxima (N)	Esfuerzo Máximo (Mpa)	Elongación (mm)	Módulo de Elasticidad (Mpa)
1	0,38	4726	68,50	0,0075	9109
2	0,376	4377	62,16	0,0075	8266
3	0,38	4596	67,54	0,0075	8981
4	0,38	4731	71,16	0,0075	9462
Promedio	0,38	4607,50	67,27	0,01	8944,92
Desv.Est.	0,19	165,89	3,78	0,00	502,17
Fecha: 07-jul-2012 Ciudad: Quito					
Lugar: Laboratorio de materiales de la Escuela Politécnica Nacional					
Maquina: Máquina Universal Tinius Olsen					
Tipo de Ensayo:		Tracción	Norma:	ASTM D 3039	
Configuración:		TP – 40%	Estratificación:	Compresión	
Matriz:		Resina Poliéster	Frac. Volumétrica:	70%	
Refuerzo:		Fibra de Vidrio	Frac. Volumétrica:	30%	
Orden de Capas		FV+FC+FV	Número de Probetas	5	
Dimensión de Probeta (mm)		250 x 25 x espesor	Velocidad / Ensayo	2mm/min	
Espesor Promedio (mm)		2,92 mm	Responsable:	Ing. J. Paredes	

DATOS Y RESULTADOS 3					
#	Deformación Máxima (mm)	Carga Máxima (N)	Esfuerzo Máximo (Mpa)	Elongación (mm)	Módulo de Elasticidad (Mpa)
1	0,37	3768	50,75	0,0075	6784
2	0,334	4025	57,57	0,0067	8618
3	0,37	4675	67,50	0,0074	9122
4	0,41	4100	59,43	0,0082	7248
5	0,382	4656	62,44	0,0076	8172
Promedio	0,37	4244,80	59,46	0,01	7948,67
Desv.Est.	0,17	403,35	6,18	0,00	963,44
GRÁFICAS PARCIALES					
FOTOGRAFÍAS DEL ENSAYO					
Zona de fractura:	Parte central y superior de la parte media de la probeta				
Tipo de falla:	Comportamiento frágil				
Inicio de falla:	Inicio de falla en la matriz, más dificultad en romper las fibras.				
Observación:	Buena adhesión entre fibra y matriz, es un buen indicador que mejorara las propiedades mecánicas.				
RESULTADOS PROMEDIO					
#	Deformación Máxima (mm)	Carga Máxima (N)	Esfuerzo Máximo (Mpa)	Elongación (mm)	Módulo de Elasticidad (Mpa)
TP 25%					
TP 30%					
TP 40%					
GRÁFICAS PROMEDIO					



Fuente: Realizado por el Autor

De la toma de datos y el análisis de las propiedades mecánicas a Tracción que se obtuvo para la configuración de Tejido Plano, respecto a los resultados promedio de Espesor Promedio, Esfuerzo Máximo y Modulo de Elasticidad se determina que los compuesto TP 25% y TP 40% ofrecieron menor comportamiento a la combinación de propiedades mecánicas a tracción; mientras que el compuesto y TP 30%, es quien tiene mejor esfuerzo máximo a la tracción lo que hace esperar que este

sea un buen prospecto de configuración y que está dentro de la desviación estándar esperada, respecto al 95% de nivel de confianza; por lo que se determina que este Tipo de configuración es quien pasa a la siguiente etapa del estudio y que se refleja en la siguiente tabla de evaluación de resultados.

Del análisis de los ensayos a tracción del material híbrido, en sus diferentes configuraciones y fracciones volumétricas se concluye en la Tabla siguiente quienes pasan a la siguiente parte del estudio.

Tabla 44: Mejores materiales híbrido respecto a propiedades mecánicas a tracción.

MEJORES MATERIALES HÍBRIDO RESPECTO A PROPIEDADES MECÁNICAS A TRACCIÓN.								
#	CONFIG. DEL REFUERZO	% REF APROX.	# DE CAPAS DE F.V - 375	# DE CAPAS DE F.C	ORDEN DE CAPAS	# DE PROBETAS - ENSAYOS		
						TRACCIÓN	FLEXIÓN	IMPACTO
1	MAT DE FV - 375	30%	3 (30%)	3(30%)	FV-FV-FV	-	7	7
2	FIBRA CORTA	30%	2 (20%)	1(10%)	FV-FC-FV	-	7	7
3	FIBRA LARGA	30%	2 (20%)	1(12%)	FV-FC-FV	-	7	7
		40%	2 (20%)	2(20%)	FV-FC-FC-FV	-	7	7
4	TEJIDO PLANO	30%	2 (20%)	1(12%)	FV-FC-FV	-	7	7
Número Total de Probetas						-	35	35

Fuente: Realizada por el Autor

4.1.5.1 ENSAYO A FLEXIÓN DEL MATERIAL HÍBRIDO

El ensayo de flexión para el nuevo material híbrido se calcula o determina mediante lo establecido y enunciado en los literales 4.1.2.2 y 4.1.4.1; es decir bajo las mismas consideraciones de dimensionamiento, norma y procedimiento del ensayo a flexión de los ensayos preliminares.

Cabe recalcar que el análisis de la deflexión y el esfuerzo máximo a flexión se realizó en la misma maquina Tinius Olsen modelo H25KS ya

especificada y siguiendo la norma ASTM D 7264-07, para el dimensionamiento de las probetas que fue de 160mm de largo, 13 mm de ancho y se consideró un espesor de 3,2 mm para la determinación de distancia entre puntos de apoyo que fue de 102,4 mm (Procedimiento A¹³ de Norma ASTM D 7264-07) que corresponde a 32 veces el espesor. La cantidad de probetas que fueron un mínimo de siete y velocidad de ensayo que fue de 1 mm/min.

ESFUERZO MÁXIMO A FLEXIÓN Se caracterizaron siete probetas bajo características geométricas establecidas en la Norma ASTM D7264 (Tabla 21), se sometieron a carga constante, aplicado en L/2 (102/2)mm, utilizando la maquina Universal de ensayos Tinius Olsen, modelo H25KS, la cual luego de un tiempo determinado y a una velocidad constante de aplicación de carga se espera su colapso o ruptura obteniendo la deflexión máxima a razón de la carga máxima soportada por la probeta, el esfuerzo máximo que dicho material puede alcanzar a flexión, está bajo la relación:

$$\sigma_{\max f} = \frac{3PL}{2bh^2}, \text{ donde:}$$

σ máxf.= esfuerzo máximo producido en la superficie exterior (Mpa).

P = fuerza aplicada (N).

L = longitud entre apoyos (mm).

b = ancho de la probeta (mm).

h = espesor de la probeta (mm).

DEFLEXIÓN DE RUPTURA Los resultados del ensayo de flexión son similares a las curvas esfuerzo – deformación; sin embargo, el esfuerzo se traza en función de deflexiones, en vez de deformaciones, por lo que

¹³ Procedimiento A de la Norma ASTM D 7264-07, ensayo a tres puntos, dos de apoyo (L) y en L/2 la aplicación de la carga

es necesario determinar el valor de la deflexión máxima que soporta la probeta antes de su fractura o colapso.

MODULO DE FLEXIÓN (Ef) El módulo de elasticidad a la flexión o modulo en flexión, se calcula en la región elástica de la curva esfuerzo vs deflexión, y bajo la siguiente relación.

$$E_f = \frac{L^3 P}{4bh^3 \delta}, \text{ donde:}$$

P = fuerza aplicada (N).

L = longitud entre apoyos (mm).

b = ancho de la probeta (mm).

h = espesor de la probeta (mm).

δ = deflexión de la probeta al aplicarse una fuerza (mm)

La tabulación de datos y el análisis después de la caracterización a Flexión de las siete probetas bajo las condiciones establecidas, se detalla en las siguientes *Fichas Técnicas* que se han elaborado por el Autor, en función de las necesidades y desarrollo del estudio y que se adaptan tanto para ensayos a materiales compuestos y materiales híbridos de matriz polimérica.

Ficha técnica 7: Ficha Técnica (001-F). Evaluación de ensayos testigo a flexión.

DATOS Y RESULTADOS			
 MAT. COMPUESTO	FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS Y EVALUACIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN MATERIAL COMPUESTO E HIBRIDO		REG: MCH 001 - F
	COMPUESTO – FIBRA DE VIDRIO		
Fecha:	18-ago-2012	Ciudad:	Quito
Lugar:	Laboratorio de materiales de la Escuela Politécnica Nacional		
Maquina:	Máquina Universal Tinius Olsen		
Tipo de Ensayo:	Flexión	Norma:	ASTM D 7264

Configuración:	Mat de FV	Estratificación:	Compresión
Matriz:	Resina Poliéster	Frac. Volumétrica:	70%
Refuerzo:	Fibra de Vidrio	Frac. Volumétrica:	30%
Orden de Capas	FV+FV+FV	Número. de Probetas	7
Dimensión de Probeta (mm)	160x13x espesor	Velocidad / Ensayo	1mm/min
Espesor Promedio (mm)	3,2 mm	Responsable:	Ing. J. Paredes

FOTOGRAFIAS DEL ENSAYO



Zona de fractura:	Parte central de la probeta
Tipo de falla:	Comportamiento frágil
Inicio de falla:	Inicio de falla en la matriz, mas dificultad en romper las fibras.
Observación:	Buena adhesión entre fibra y matriz.

DATOS Y RESULTADOS

#	Deflexión Max Ruptura (mm)	Carga Máxima (N)	Esfuerzo Máximo (Mpa)	Módulo de Flexión (Mpa)	Módulo de Trabajo (Mpa)
1	19	43,33	60,38	3671	3423

Del análisis de este material compuesto se determina que:

Esfuerzo Máximo Promedio: 60,38 Mpa

Módulo de Flexión Promedio: 3672 Mpa

Deflexión Máxima a la Ruptura: 19 mm

Espesor real promedio: 3,2 mm

Fuente: Realizada por el Autor

De la toma de datos y el análisis de las propiedades mecánicas a Flexión que se obtuvo para el ensayo testigo de material compuesto FV+RP y de fracción volumétrica 30% de matriz (RP) y 70% de refuerzo (Tres capas de FV), se realizó una comparación estadística de éste compuesto vs el promedio obtenido de los ensayos preliminares, para que este sea el parámetro de evaluación del material híbrido en estudio.

Tabla 45: Evaluación de Ensayos preliminares (Parámetros de Evaluación)

DATOS Y RESULTADOS				
# o Tipo de Ensayo	Espesor Promedio	Deflexión Max Ruptura (mm)	Esfuerzo Máximo (Mpa)	Módulo de Flexión (Mpa)
Ensayo Preliminar 1	3,28	9,5	180,98	17807
Ensayo Preliminar 1	3,43	7,5	124,59	12706
Ensayo Preliminar 1	2,96	10,5	181,63	16464
Ensayo Testigo	3,20	n/a	n/a	n/a
Promedio	3,21	9,17	162,64	15659
Desviación Estándar	0,20	4,75	85,49	8121

Ficha técnica 8: Análisis de la Configuración de Refuerzo de Fibra Corta (25–30) %

 MATERIAL HIBRIDO		FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS Y EVALUACIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN MATERIAL COMPUESTO E HIBRIDO		REG: MCH 002 - F
HIBRIDO 1 – FIBRA CORTA				
Fecha:	18-ago-2012	Ciudad:	Quito	
Lugar:	Laboratorio de materiales de la Escuela Politécnica Nacional			
Maquina:	Máquina Universal Tinius Olsen			
Tipo de Ensayo:	Flexión	Norma:	ASTM D 7264	
Configuración:	F _{Co} 2 – 30%	Estratificación:	Compresión	
Matriz:	Resina Poliéster	Frac. Volumétrica:	70%	
Refuerzo:	Fibra de Vidrio	Frac. Volumétrica:	30%	
Orden de Capas	FV+FC+FV	Número. de Probetas	7	
Dimensión de Probeta (mm)	160 x 13 x espesor	Velocidad / Ensayo	1mm/min	
Espesor Promedio (mm)	3,15	Responsable:	Ing. J. Paredes	
FOTOGRAFÍAS DEL ENSAYO				

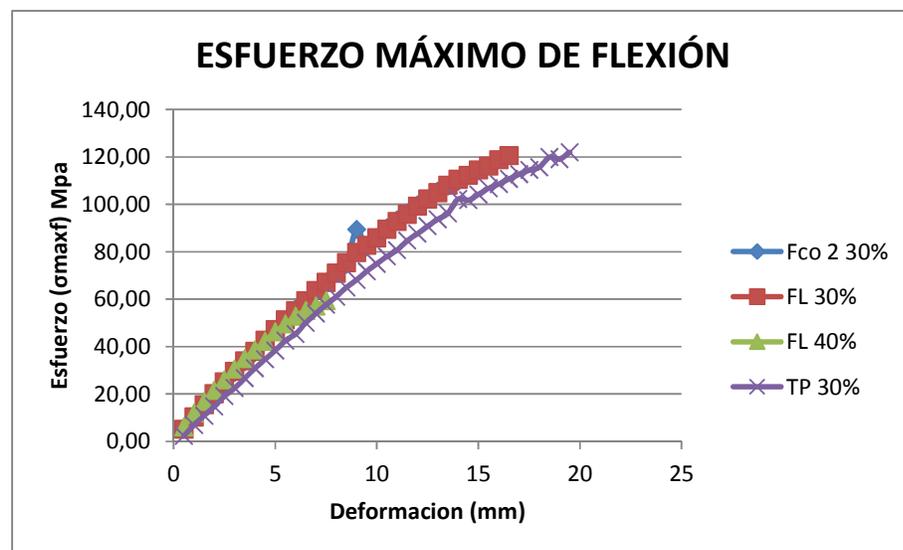
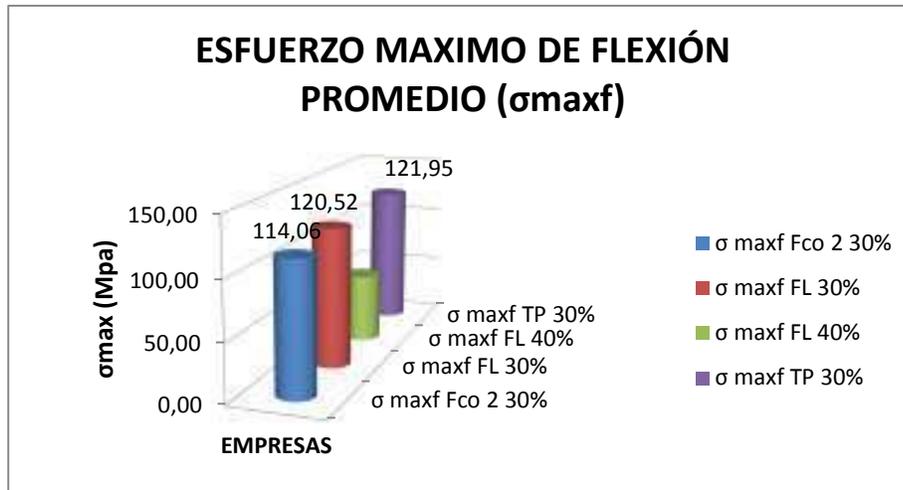
					
Zona de fractura:	Parte central de la probeta				
Tipo de falla:	Comportamiento frágil				
Inicio de falla:	Inicio de falla en la matriz, dificultad en romper las fibras.				
Observación:	Buena adhesión entre fibra y matriz.				
DATOS Y RESULTADOS 1 - FIBRA CORTA					
#	Deflexión Max Ruptura (mm)	Carga Máxima (N)	Esfuerzo Máximo (Mpa)	Módulo de Flexión (Mpa)	Módulo de Trabajo (Mpa)
Promedio	15	82,08	114,06	8229	7584
HIBRIDO 2 – FIBRA LARGA					
Fecha:	18-ago-2012	Ciudad:	Quito		
Lugar:	Laboratorio de materiales de la Escuela Politécnica Nacional				
Maquina:	Máquina Universal Tinius Olsen				
Tipo de Ensayo:	Flexión	Norma:	ASTM D 7264		
Configuración:	FL – 30%	Estratificación:	Compresión		
Matriz:	Resina Poliéster	Frac. Volumétrica:	70%		
Refuerzo:	Fibra de Vidrio	Frac. Volumétrica:	30%		
Orden de Capas	FV+FC+FV	Número. de Probetas	7		
Dimensión de Probeta (mm)	160 x 13 x espesor	Velocidad / Ensayo	1mm/min		
Espesor Promedio (mm)	3,05	Responsable:	Ing. J. Paredes		
FOTOGRAFÍAS DEL ENSAYO					
					

Zona de fractura:	Parte central de la probeta				
Tipo de falla:	Comportamiento frágil				
Inicio de falla:	Inicio de falla en la matriz, dificultad en romper las fibras.				
Observación:	Buena adhesión entre fibra y matriz.				
DATOS Y RESULTADOS 2 – FIBRA LARGA					
#	Deflexión Max Ruptura (mm)	Carga Máxima (N)	Esfuerzo Máximo (Mpa)	Módulo de Flexión (Mpa)	Módulo de Trabajo (Mpa)
Promedio	16,5	85,32	120,52	8053	7548
HIBRIDO 3 – FIBRA LARGA					
Fecha:	18-ago-2012	Ciudad:	Quito		
Lugar:	Laboratorio de materiales de la Escuela Politécnica Nacional				
Maquina:	Máquina Universal Tinius Olsen				
Tipo de Ensayo:	Flexión	Norma:	ASTM D 7264		
Configuración:	FL – 40%	Estratificación:	Compresión		
Matriz:	Resina Poliéster	Frac. Volumétrica:	60%		
Refuerzo:	Fibra de Vidrio	Frac. Volumétrica:	40%		
Orden de Capas	FV+FC+FC+FV	Número. de Probetas	7		
Dimensión de Probeta (mm)	160 x 13 x espesor	Velocidad / Ensayo	1mm/min		
Espesor Promedio (mm)	3,54	Responsable:	Ing. J. Paredes		
FOTOGRAFÍAS DEL ENSAYO					
					
Zona de fractura:	Parte central de la probeta				
Tipo de falla:	Comportamiento frágil				
Inicio de falla:	Inicio de falla en la matriz, dificultad en romper las fibras.				
Observación:	Mala adhesión entre fibra y matriz.				
DATOS Y RESULTADOS 3 – FIBRA LARGA					
#	Deflexión Max Ruptura (mm)	Carga Máxima (N)	Esfuerzo Máximo (Mpa)	Módulo de Flexión (Mpa)	Módulo de Trabajo (Mpa)

Promedio	7,5	56,84	59,28	1799	1634
HIBRIDO 4 – TEJIDO PLANO					
Fecha:	18-ago-2012	Ciudad:	Quito		
Lugar:	Laboratorio de materiales de la Escuela Politécnica Nacional				
Maquina:	Máquina Universal Tinius Olsen				
Tipo de Ensayo:	Flexión	Norma:	ASTM D 7264		
Configuración:	TP – 30%	Estratificación:	Compresión		
Matriz:	Resina Poliéster	Frac. Volumétrica:	70%		
Refuerzo:	Fibra de Vidrio	Frac. Volumétrica:	30%		
Orden de Capas	FV+FC+FV	Número. de Probetas	7		
Dimensión de Probeta (mm)	160 x 13 x espesor	Velocidad / Ensayo	1mm/min		
Espesor Promedio (mm)	2,87	Responsable:	Ing. J. Paredes		
FOTOGRAFIAS DEL ENSAYO					
					
Zona de fractura:	Parte central de la probeta				
Tipo de falla:	Comportamiento frágil				
Inicio de falla:	Inicio de falla en la matriz, dificultad en romper las fibras.				
Observación:	Buena adhesión entre fibra y matriz.				
DATOS Y RESULTADOS 4 – TEJIDO PLANO					
#	Deflexión Max Ruptura (mm)	Carga Máxima (N)	Esfuerzo Máximo (Mpa)	Módulo de Flexión (Mpa)	Módulo de Trabajo (Mpa)
Promedio	19,5	88,16	121,95	6751	6427
RESULTADOS PROMEDIO					
#	Deflexión Max Ruptura (mm)	Carga Máxima (N)	Esfuerzo Máximo (Mpa)	Módulo de Flexión (Mpa)	Módulo de Trabajo (Mpa)
FCo2 30%	15	82,08	114,06	8229	7584
FL – 30%	16,5	85,32	120,52	8053	7548

FL- 40%	7,5	56,84	59,28	1799	1634
FCo2 30%	19,5	88,16	121,95	6751	6427

GRÁFICAS PROMEDIO



EVALUACIÓN DE RESULTADOS

Tipo de Ensayo.	Espesor Promedio	Dif	Esfuerzo Máximo (Mpa)	Dif	Módulo de Flexión (Mpa)	Dif	P ó NP
FCo2 - 30%	3,15	Verde	114,06	Verde	8229	Verde	V
FL 30%	3,05	Verde	120,52	Verde	8053	Verde	V
FL 40%	3,54	Rojo	59,28	Rojo	1799	Rojo	x
TP 30%	2,87	Verde	121,95	Verde	6751	Rojo	x

Parámetros	3,21	162,64	15659	
Desv. Estd	0,20	85,49	8121	
OBSERVACIONES				
Parámetros de Aceptación o Rechazo				
Relleno Rojo = Resultado NO ACEPTABLE bajo la Desviación Estándar (95% de Confianza)				
Relleno Anaranjado = Resultado MEDIANAMENTE ACEPTABLE bajo la Desviación Estándar.				
Relleno Verde = Resultado ACEPTABLE igual o por encima de la Desviación Estándar.				

Fuente: Realizada por el Autor

De la toma de datos y el análisis de las propiedades mecánicas a Flexión que se obtuvo para las configuraciones caracterizadas en las fichas precedentes a este párrafo, respecto a los resultados promedio de Espesor Promedio, Esfuerzo Máximo y Modulo de Flexión se determina que los compuesto FL 40% y TP 30% ofrecieron menor comportamiento a la combinación de propiedades mecánicas a flexión; mientras que el compuesto FL 30% a pesar de tener un bajo esfuerzo máximo a flexión y que no está dentro de la desviación estándar esperada, respecto al 95% de nivel de confianza presenta el mejor comportamiento. Por lo que se determina que este Tipo de configuración es potencialmente un material híbrido alternativo.

4.1.5.2 ENSAYO A IMPACTO DEL MATERIAL HÍBRIDO

Se caracterizaron seis probetas de cada uno de los compuestos híbridos que dieron mejores resultados de los ensayos anteriores a tracción y flexión, bajo características geométricas establecidas en la Norma ASTM D5628, las cuales se sometieron a impacto de dardo a diferentes alturas a partir de la altura inicial de 500mm en la máquina de impacto de dardo para polímeros, hasta determinar la altura a la que las probetas se rompían, determinando así la altura máxima de ruptura de impacto y considerando la masa del dardo y sabiendo el factor de conversión a (J)

que es de $9,80665 \times 10^{-3}$, esto si la altura (h) está dada en mm y la masa (w) está dada en kg, como lo muestra la siguiente relación¹⁴:

$$MEF = hwf, \text{ donde:}$$

La tabulación de datos y el análisis después de la caracterización a Impacto de las seis probetas bajo las condiciones establecidas, se detalla en las siguientes *Fichas Técnicas* que se han elaborado por el Autor, en función de las necesidades y desarrollo del estudio y que se adaptan tanto para ensayos a materiales compuestos y materiales híbridos de matriz polimérica.

Ficha técnica 9: Ficha Técnica (001-I). Evaluación de ensayos testigo a flexión.

DATOS Y RESULTADOS			
 MAT. COMPUESTO	FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS Y EVALUACIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN MATERIAL COMPUESTO E HIBRIDO		REG: MCH 001 - I
	COMPUESTO – FIBRA DE VIDRIO		
Fecha:	08-sep-2012	Ciudad:	Quito
Lugar:	Laboratorio de materiales de la Escuela Politécnica Nacional		
Maquina:	-		
Tipo de Ensayo:	Impacto	Norma:	ASTM D 7264
Configuración:	Mat de FV	Estratificación:	Compresión
Matriz:	Resina Poliéster	Frac. Volumétrica:	70%
Refuerzo:	Fibra de Vidrio	Frac. Volumétrica:	30%
Orden de Capas	FV+FV+FV	Número. de Probetas	6
Dimensión de Probeta (mm)	58 x 58 x espesor	Geometría / Diámetro / Masa de dardo	FE / 40mm / 0,2855 kg.
Espesor Promedio (mm)	3,2 mm	Responsable:	Ing. J. Paredes
DATOS Y RESULTADOS			

¹⁴ Calculo de Resistencia Máxima al Impacto (Principal Energía de Ruptura MFE); (n) Norma ASTM D 5628. Pág. 7

#	Altura de Lanzamiento de Falla (mm)	Resistencia Máxima al Impacto MFE= hwf [J]
El mejor	800	2,24
FOTOGRAFÍAS DEL ENSAYO		
		
Zona de fractura:	Parte central de la probeta	
Tipo de falla:	Comportamiento frágil	
Inicio de falla:	Inicio de falla en la matriz, dificultad en romper las fibras.	
Observación:	Buena adhesión entre fibra y matriz.	

Fuente: Realizada por el Autor

De la toma de datos y el análisis de las propiedades mecánicas a Impacto se obtuvo para el ensayo testigo de material compuesto FV+RP y de fracción volumétrica 30% de matriz (RP) y 70% de refuerzo (Tres capas de FV), una resistencia máxima al impacto de 2,24 J.

Tabla 46: Evaluación de Ensayos preliminares (Parámetros de Evaluación)

DATOS Y RESULTADOS			
# o Tipo de Ensayo	Espesor Promedio	Altura de Lanzamiento de Falla (mm)	Resistencia Máxima al Impacto MFE= hwf [J]
Ensayo Preliminar 1	3,28	900	1,49
Ensayo Preliminar 1	3,43	1500	2,48
Ensayo Preliminar 1	2,96	1300	2,15
Ensayo Testigo	3,20	800	2,24
Promedio	3,21	1233	2,00
Desviación Estándar	0,20	330	0,42

Fuente: Realizada por el Autor

Ficha técnica 10: Análisis de la Configuración de Refuerzo de Fibra Corta (25–30) %

 MATERIAL HIBRIDO		FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS Y EVALUACIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN MATERIAL COMPUESTO E HIBRIDO		REG: MCH 002 - I
HIBRIDO 1 – FIBRA CORTA				
Fecha:	08-sep-2012	Ciudad:	Quito	
Lugar:	Laboratorio de materiales de la Escuela Politécnica Nacional			
Maquina:	-			
Tipo de Ensayo:	Impacto	Norma:	ASTM D 5628	
Configuración:	FCo 2 – 30%	Estratificación:	Compresión	
Matriz:	Resina Poliéster	Frac. Volumétrica:	70%	
Refuerzo:	Fibra de Vidrio	Frac. Volumétrica:	30%	
Orden de Capas	FV+FC+FV	Número. de Probetas	6	
Dimensión de Probeta (mm)	58 x 58 x espesor	Geometría / Diámetro / Masa de dardo	FE / 40mm / 0,2855 kg.	
Espesor Promedio (mm)	3,15 mm	Responsable:	Ing. J. Paredes	
DATOS Y RESULTADOS				
#	Altura de Lanzamiento de Falla (mm)	Resistencia Máxima al Impacto MFE=hwf [J]		
El Mejor	850	2,38		
HIBRIDO 2 – FIBRA LARGA				
Fecha:	08-sep-2012	Ciudad:	Quito	
Lugar:	Laboratorio de materiales de la Escuela Politécnica Nacional			
Maquina:	-			
Tipo de Ensayo:	Impacto	Norma:	ASTM D 5628	
Configuración:	FL - 30%	Estratificación:	Compresión	
Matriz:	Resina Poliéster	Frac. Volumétrica:	70%	
Refuerzo:	Fibra de Vidrio	Frac. Volumétrica:	30%	
Orden de Capas	FV+FV+FV	Número. de Probetas	6	
Dimensión de Probeta	58 x 58 x	Geometría /	FE / 40mm	

(mm)	espesor	Diámetro / Masa de dardo	/ 0,2855 kg.
Espesor Promedio (mm)	3,05 mm	Responsable:	Ing. J. Paredes
DATOS Y RESULTADOS			
#	Altura de Lanzamiento de Falla (mm)	Resistencia Máxima al Impacto MFE=hwf [J]	
El Mejor	850	2,38	
HIBRIDO 3 – FIBRA LARGA			
Fecha:	08-sep-2012	Ciudad:	Quito
Lugar:	Laboratorio de materiales de la Escuela Politécnica Nacional		
Maquina:	-		
Tipo de Ensayo:	Impacto	Norma:	ASTM D 5628
Configuración:	FL - 40%	Estratificación:	Compresión
Matriz:	Resina Poliéster	Frac. Volumétrica:	60%
Refuerzo:	Fibra de Vidrio	Frac. Volumétrica:	40%
Orden de Capas	FV+FC+FC+F V	Número. de Probetas	6
Dimensión de Probeta (mm)	58 x 58 x espesor	Geometría / Diámetro / Masa de dardo	FE / 40mm / 0,2855 kg.
Espesor Promedio (mm)	3,54	Responsable:	Ing. J. Paredes
DATOS Y RESULTADOS			
#	Altura de Lanzamiento de Falla (mm)	Resistencia Máxima al Impacto MFE=hwf [J]	
El Mejor	550	1,54	
HIBRIDO 4 – TEJIDO PLANO			
Fecha:	08-sep-2012	Ciudad:	Quito
Lugar:	Laboratorio de materiales de la Escuela Politécnica Nacional		
Maquina:	-		
Tipo de Ensayo:	Impacto	Norma:	ASTM D 5628
Configuración:	TP - 30%	Estratificación:	Compresión
Matriz:	Resina Poliéster	Frac. Volumétrica:	60%
Refuerzo:	Fibra de Vidrio	Frac. Volumétrica:	40%

Orden de Capas	FV+FC+FV	Número. de Probetas	6		
Dimensión de Probeta (mm)	58 x 58 x espesor	Geometría / Diámetro / Masa de dardo	FE / 20mm / 0,1687 kg.		
Espesor Promedio (mm)	2,87	Responsable:	Ing. J. Paredes		
DATOS Y RESULTADOS					
#	Altura de Lanzamiento de Falla (mm)	Resistencia Máxima al Impacto MFE=hwf [J]			
Promedio	850	2,38			
RESULTADOS PROMEDIO					
#	Altura de Lanzamiento de Falla (mm)	Resistencia Máxima al Impacto MFE=hwf [J]			
FCo2 30%	850	2,38			
FL - 30%	850	2,38			
FL- 40%	550	1,54			
TP- 30%	850	2,38			
FOTOGRAFÍAS DEL ENSAYO					
					
<p>FCo 2 - 30% FL - 30% FL - 40% TP - 30%</p>					
Zona de fractura:	Parte central de la probeta				
Tipo de falla:	Comportamiento en FL - 40%				
Inicio de falla:	Inicio de falla en la matriz, dificultad en romper las fibras.				
Observación:	Buena adhesión entre fibra y matriz.				
EVALUACIÓN DE RESULTADOS					
Tipo de Ensayo.	Espesor Promedio (mm)	Dif	Resistencia Máxima Impacto MFE=hwf [J]	Dif	Acepta ó No se Acepta
FCo2 - 30%	3,15		2,38		V
FL 30%	3,05		2,38		V
FL 40%	3,54		1,54		X
TP 30%	2,87		2,38		V
Parámetros	3,21		2,00		

Desv. Estd	0,20	0,42	
OBSERVACIONES			
Parámetros de Aceptación o Rechazo			
<p>Relleno Rojo = Resultado NO ACEPTABLE bajo la Desviación Estándar (95% de Confianza)</p> <p>Relleno Anaranjado = Resultado MEDIANAMENTE ACEPTABLE bajo la Desviación Estándar.</p> <p>Relleno Verde = Resultado ACEPTABLE igual o por encima de la Desviación Estándar.</p>			

Fuente: Realizada por el Autor

De la toma de datos y el análisis de las propiedades mecánicas a Impacto se obtuvo para las configuraciones caracterizadas en las fichas precedentes a este párrafo, respecto a los resultados promedio de Espesor Promedio y resistencia Máxima al Impacto que los compuestos FCo 2 - 30%, FL 30% y TP 30% ofrecen una muy buena resistencia a la impacto.

INTERPRETACIÓN DE DATOS.

Del análisis realizado en las fichas técnicas correspondientes a la caracterización mecánica a tracción, flexión e impacto, propongo la siguiente Tabla de resumen de resultados de las mismas, luego de lo cual haremos el análisis o la evaluación del comportamiento del material híbrido respecto a la combinación de propiedades mecánicas.

Tabla 47: Resultados de Ensayo a Tracción.

EVALUACIÓN DE COMBINACIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS													
Tipo de Ensayo.	Espesor Promedio	Dif	TRACCIÓN				FLEXIÓN				IMPACTO		Acepta ó No Acepta (sobre 10)
			Esfuerzo Máximo (Mpa)	Dif	Módulo Elasticidad (Mpa)	Dif	Esfuerzo Máximo (Mpa)	Dif	Módulo de Flexión (Mpa)	Dif	Rest. Máx. Impacto MFE= hwf [J]	Dif	
FCo 2 - 30%	3,30	0,09	51,88	20,76	6258	1216	114,06	48,6	8229	7430	2,38	0,38	7,5
FL 30%	3,01	0,2	78,24	5,6	5272	230	120,52	42,1	8053	7606	2,38	0,38	9,3
FL 40%	3,00	0,21	92,20	19,56	5577	535	59,28	103	1799	13860	1,54	0,46	5,5
TP 30%	2,83	0,38	59,46	13,18	7948	2906	121,95	40,7	6751	8908	2,38	0,38	6,3
Parámetros	3,21		72,64		5042		162,64		15659		2,00		
Desv. Estd	0,20		7,50		2417		85,49		8121		0,42		

OBSERVACIONES

Parámetros de Aceptación o Rechazo

Se aceptara de los seis parámetros de evaluación, quien alcance el mayor promedio, respecto al puntaje de ponderación de igualdad o mejoramiento de la propiedad.

PONDERACIÓN SOBRE 10:

Relleno Rojo (valorado a 3)= Resultado **NO ACEPTABLE** bajo la Desviación Estándar (95% de Confianza) -

Relleno Anaranjado (valorado a 6)= Resultado **MEDIANAMENTE ACEPTABLE** bajo la Desviación Estándar.

Relleno Verde (valorado a 10)= Resultado **ACEPTABLE** igual o por encima de la Desviación Estándar.

Fuente: Realizada por el Autor

De lo evaluado en la tabla de resultados, se establece que el material híbrido que presento mejor comportamiento a la combinación de propiedades mecánicas aplicadas a guardachoques para buses es el HIBRIDO DE FIBRA LARGA AL 30 %, es decir con 70 % de matriz y 30 % de refuerzo a estratificación a compresión y mediante el siguiente orden de capas de refuerzo FV + FC + FV; mientras que el siguiente en presentar mejoramiento de propiedades es el material HIBRIDO DE FIBRA CORTA AL 30% a estratificación a compresión e igual orden de capas del material híbrido de fibra larga al 30%.

4.5.3. VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS.

Como parte final del desarrollo del presente estudio establezco que la hipótesis que se planteó para dicha investigación se comprueba estadísticamente y comparativamente; es decir me he ayudado de establecer la media aritmética y la desviación estándar de cada una de las caracterizaciones mecánicas y de determinación de propiedades físicas, tanto del material compuesto original (RP + FV) como de los nuevos materiales híbridos propuestos en sus diferentes configuraciones y fracciones volumétricas.

Esto ha servido para llegar a la Tabla 45, donde el material que mejor se comportó a la evaluación de la combinación de propiedades mecánicas y que es el HIBRIDO DE FIBRA LARGA AL 30 %, es decir con 70 % de matriz y 30 % de refuerzo a estratificación a compresión y mediante el siguiente orden de capas de refuerzo FV + FC + FV mejoro por ejemplo:

Se disminuyó el espesor a lo esperado (3,2mm) en un 6% (3 mm).

El esfuerzo máximo a Tracción en un 7,8 % respecto al material original.

El esfuerzo máximo a flexión se mantiene dentro de la desviación estándar esperado a un nivel de confianza del 95%.

Aumentó la resistencia a Impacto en un 19 %, respecto al original.

Por lo que se comprueba que la obtención de polímeros híbridos estratificados de matriz poliéster reforzado con fibra de vidrio y cabuya mejoró la combinación de propiedades mecánicas de los guardachoques para buses.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

Mediante la revisión 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 los guardachoques respecto a las posibles configuraciones y fracciones volumétricas del nuevo material híbrido estudiado, se obtienen las siguientes conclusiones:

- La aplicación de las normas para materiales poliméricos ASTM D3039-00, ASTM D7264-07 y ASTM D5628-10 para caracterización a Tracción, Flexión e Impacto respectivamente se pudieron aplicar también a los materiales híbridos propuestos, sin la consideración del espesor indicado en las mismas, puesto que este ya fue un parámetro establecido y determinado mediante el cálculo de la media aritmética y que fue de 3,2mm.
- Se determinó que la fracción volumétrica del material compuesto actual es del 70% de matriz y 30% de refuerzo siendo éste el parámetro que se le dio al refuerzo del material híbrido al cual también se lo varió en 25% y 40%, respecto a las configuraciones que éste tomó (fibra corta (10mm), fibra larga y tejido plano).)
- La estratificación a compresión por ajuste normal permitió establecer una buena compactación de los dos tipos de refuerzos (FV y FC) por el pobre poder de absorción de la cabuya, estableciendo además que siempre será necesario ubicar como refuerzo de inicio una capa de FV.

- Las configuraciones de fibra larga al 30% y fibra larga al 40% sobrepasaron el esfuerzo máximo a tracción en un 7,7% y 27% respectivamente respecto al material compuesto común, siendo estos posibles potenciales de refuerzo alternativo.
- Los materiales de configuración Fibra Corta (FCo 1 - 30%) y Fibra Larga al (FL - 30 %) tuvieron mejor comportamiento mecánico a Flexión e Impacto por lo que estos se consideraron potenciales alternativas para ser un material híbrido.
- El material híbrido de configuración Fibra Larga al 30% y en un orden de capas (FV+FC+FV) presentó el mejor comportamiento del análisis de combinaciones de propiedades mecánicas, siendo este el potencial material híbrido alternativo que presenta esta investigación para la fabricación de un guardachoque para bus.

5.2 RECOMENDACIONES

Con la culminación de las pruebas realizadas en el presente estudio se ha considerado establecer las siguientes recomendaciones:

- Por proceso de manufactura de un guardachoque comenzar con una capa de FV para la aplicación de la configuración que se decida aplicar de las que dieron mejores resultados.
- Se debe tomar en cuenta que el espesor de los materiales de refuerzo en las configuraciones de mejor comportamiento ayudan a aproximar el espesor final del guardachoque o pieza cualquiera; ya que la sumatoria de las capas de refuerzo multiplicado por dos será el espesor final que se obtenga.
- Ensayar por lo menos dos probetas más al número que establecen las NORMAS correspondientes, pues se dan este rango como ayuda para no tener datos anómalos en la evaluación.
- Considerar siempre que la capa de inicio debe ser FV, pues este presenta mejor mojabilidad y humectación y adherencia, provocando una configuración regular de la superficie de servicio de la parte fabricada.

CAPITULO VI

PROPUESTA

6.1 Datos Informativos

El presente estudio de Polímeros Híbridos Estratificados de Matriz Poliéster Reforzada con Fibra de Vidrio y Cabuya como Material Alternativo, se lo realizó en la provincia de Tungurahua, ciudad de Ambato, específicamente en el Laboratorio de Materiales de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, dentro de la Universidad Técnica de Ambato, Campus Huachi. Así como también en el laboratorio de Materiales de Escuela Politécnica Nacional (EPN), ubicado en la ciudad de Quito.

Por tratarse de un material compuesto, los datos básicos para la ejecución de esta propuesta son los obtenidos en los capítulos anteriores tales como las configuraciones del refuerzo híbrido y la fracción volumétrica de los mismos.

Además se establece que la fibra de refuerzo utilizada en ésta investigación es de la variedad *Furcraea Andina* perteneciente a la familia de las agaváceas, producida en la provincia de Tungurahua. Esta fibra es producida por los artesanos de la zona. Por otra parte, la matriz del material compuesto empleada es resina poliéster insaturada, fabricada por *Poliquim C.A.*, la misma que es diluida con estireno monómero. Como iniciador del proceso de curado de la resina, se utiliza octoato de cobalto al 12% y como catalizador peróxido de metil-etil-cetona (mek) al 1%.

Para la elaboración de los materiales compuestos se utilizaron moldes metálicos, los cuales están constituidos por dos piezas de acero ASTM A36. Además, durante el proceso de moldeo es necesario utilizar un agente desmoldante para facilitar la extracción de los materiales compuestos. En este caso, y para el desarrollo de las actividades, se utiliza cera desmoldante marca SIMONIZ y moldes fabricados de acuerdo con las normas ASTM-D3039-00, ASTM D5628-10 y ASTM-D7264M-07, para ensayos de tracción, flexión e impacto respectivamente. Es así que las dimensiones nominales de las probetas para ensayos de tracción son 25x250x3,2 mm, para los ensayos de flexión 13x160x3,2 mm y para la elaboración de las probetas de impacto de 58x58x3,2 mm ; el espesor de 3,2 mm se toma a partir de un valor promedio obtenido de las mediciones realizadas a las probetas en función del número de capas del refuerzo o fibra de vidrio.

6.2 Antecedentes de la propuesta

Existen diversos proyectos de investigación en el campo de los materiales, los cuales se centran en el desarrollo y estudio de aplicaciones de materiales compuestos reforzados con fibras naturales. Entre las fibras más utilizadas para la elaboración de estos materiales compuestos están el coco y abacá.

Es así que en la Escuela Politécnica Nacional se desarrolló una investigación bajo el tema “OBTENCIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS HÍBRIDOS DE MATRIZ POLIÉSTER REFORZADOS CON FIBRA DE VIDRIO Y ABACÁ MEDIANTE ESTRATIFICACIÓN” la cual fue ejecutada por el Sr. Héctor Guillermo Villacís Salazar, como tesis de pregrado, en la cual propone obtener y caracterizar mecánicamente materiales compuestos híbridos de matriz poliéster, reforzados con fibras de vidrio y abacá.

Además, existen estudios de la influencia del abacá como refuerzo en aglomerados de fibro - cemento y hormigón reforzado con abacá y

cabuya. De manera general, se ha logrado incrementar la resistencia a la tracción, a la flexión y al impacto, sin embargo, se debe considerar que para cada caso estudiado se establecieron los porcentajes de fibra que mejoran las propiedades, ya que si se excede cierta cantidad de fibra, el refuerzo afectaría las propiedades del composite en lugar de mejorarlas. En otros estudios realizados en instituciones de educación superior del Ecuador como la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL), también se han utilizado refuerzos de fibras obtenidas del bagazo de caña y la cascarilla del arroz conjuntamente con matrices poliméricas de polietileno de alta densidad.

6.3 Justificación

En el país se están desarrollando varios tipos de materiales compuestos e híbridos, para lo cual es deseable la incorporación de fibras naturales con el fin de sustituir en algunas aplicaciones a la fibra de vidrio y para formar híbridos de fibra natural y fibra de vidrio. De esta forma, se trata de dar un valor agregado a los recursos naturales y no limitarse a la producción de bienes artesanales y exportación de fibras, además de generar nuevas alternativas de materiales con mejores características. Sin embargo, los estudios e investigaciones son recientes, y ninguno de ellos está direccionado a la industria carrocería 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 carrocería, con el fin de determinar si la aplicación de un material híbrido (resina poliéster + fibra de vidrio + fibra de cabuya) es una alternativa para la industria carrocería en el Ecuador. Así como también establecer las propiedades de este material híbrido frente a los materiales comúnmente utilizados (poliéster + fibra de vidrio) y realizar un procedimiento, el cual se pueda seguir a fin

de obtener un producto con altos estándares de calidad, resistencia, tenacidad, estética y seguridad, usando Polímeros Híbridos Estratificados de Matriz Poliéster Reforzada con Fibra de Vidrio y Cabuya como Material Alternativo.

6.4 Objetivos

6.4.1 Objetivo General

Elaborar un procedimiento para la realización de un guardachoque posterior para bus de servicio Urbano, usando Polímeros Híbridos Estratificados de Matriz Poliéster Reforzada con Fibra de Vidrio y Cabuya como Material Alternativo, a fin de mejorar las propiedades mecánicas de dicho elemento.

6.4.2 Objetivos Específicos

Definir los pasos a seguir para la preparación de la fibra larga de cabuya a través de un tejido de fácil manipulación y aplicación.

Establecer la fracción volumétrica de los refuerzos y de los elementos que conforman el material compuesto, a fin de obtener un producto con altos estándares de calidad, resistencia y tenacidad.

Analizar y evaluar los costos de elaborar un guardachoque con el uso de Polímeros Híbridos Estratificados de Matriz Poliéster Reforzada con Fibra de Vidrio y Cabuya como Material Alternativo.

6.5 Análisis de factibilidad

Se determina que la elaboración de la propuesta es factible de realizarse, ya que se cuenta con información necesaria, como son las normas ASTM-D3039-00, ASTM-D7264M-07 y ASTM D5628-10 (Anexo 7, Anexo 8 y

Anexo 9) respectivamente, además del recurso humano, materiales e instrumentos que fueron facilitados por el Laboratorio de Materiales de la carrera de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, sumado a esto se toma en cuenta que todos los elementos considerados para el desarrollo de la propuesta son de costo moderado y se encuentran en el mercado por lo que son de fácil adquisición haciendo que este proyecto sea factible de realizarse.

6.5.1 Análisis Tecnológico

Con la culminación de los ensayos realizados sobre el material compuesto, utilizando como parte del refuerzo la Cabuya como Material Alternativo, se determina que tecnológicamente también es factible realizar dicho estudio, pues en el entorno o región donde se va a desarrollar el mismo, se cuenta con la fibra natural (cabuya) y maquila necesaria para obtener la configuraciones requeridas y los ensayos pueden ejecutarse en los laboratorios de la FICM - UTA y en los laboratorios de la Escuela Politécnica Nacional – Quito.

6.6 Fundamentación

6.6.1 Moldes

Los moldes o matrices son dispositivos generalmente fabricados en Resina Poliéster Reforzada con fibra de vidrio, y sirven para elaborar piezas de exacta geometría e idénticas características de superficie y acabado que el modelo del cual salió el molde. Pudiendo ser reforzados o no, giratorios o rotatorios para dar facilidad en la labor de moldeado, fijos o móviles, en una sola pieza o moldes partidos o embridados. El tiempo de duración o el número de piezas que se fabriquen dependerá del proceso de fabricación, el mantenimiento, las condiciones de embodegaje, las condiciones de uso, etc. Y la calidad de las piezas tanto

en su forma geométrica como en su aspecto dependerá fundamentalmente del procedimiento de fabricación del modelo y el molde y su mantenimiento.

6.6.1.1 Definiciones.

Modelo

Se conoce como modelo, a la pieza original a partir de la cual se fabricará el molde, ésta pieza es definitoria en la calidad del molde y luego de las piezas.

Molde o matriz

El molde o matriz es el dispositivo que se origina del modelo y sirve para la fabricación de piezas, es invertido y en negativo, de tal manera que las piezas salgan en positivo idénticas al modelo.

Refuerzos

En el proceso de fabricación de moldes a veces es necesario el uso de refuerzos o estructura, que impida la deformación del molde, el material de refuerzo depende de la complejidad del molde, su tamaño y su geometría. Puede emplearse, tubería o perfilera de acero, madera, o la misma fibra de vidrio. Un refuerzo va anclado al molde “ahogándolo” en la misma pieza con resina y fibra y el apoyo de masilla de fibra.

6.6.1.2 Moldes Partidos

En ocasiones es imprescindible fabricar moldes que no poseen ángulo de salida de desmolde, para esos casos se puede fabricar moldes que se los llama como moldes partidos. Los moldes partidos, son moldes, que poseyendo las características antes señaladas son producidos en 2 o más piezas, que se juntan, por medio de pernos u otro mecanismo que permita el des ensamble para poder desmoldar la pieza entera. Estos dispositivos

a manera de bridas, se los asegurará firmemente a cada uno de los moldes con apoyo de masilla y fibra de vidrio “ahogándolos”.

6.6.2 Cálculos de Dilatación Térmica

Para reflejar un aseguramiento de dimensiones, se debe considerar los siguientes cálculos:

DATOS

La exotermia (calentamiento propio por reacción química entre MEK y Cobalto) presentada tanto en la fabricación del molde como de las piezas de resina poliéster reforzada con fibra de vidrio (RPRFV) no excede los 60°C

Coefficiente de dilatación lineal de la RPRFV: $100 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$

Temperatura en la cara que se halla la pieza laminada (t1)= 20°C

Temperatura en el espesor de la pieza laminada (t2)= 60°C

L1 = Longitud inicial de una sección de una piezas laminada (mm)

L2 = Longitud final de una sección de una piezas laminada (mm) luego de incrementar la temperatura en la exotermia.

A manera de ejemplo tomamos una porción lineal de RPRFV de 1000 mm de longitud.

Para calcular la dilatación lineal de la RPRFV, se tiene

$$L2 = L1[1+K(t2-t1)]$$

$$L2 = 1000 [1+100 \times 10^{-6}(60 - 20)]$$

$$L2 = 1000 [1 + 100 \times 10^{-6}(40)]$$

$$L2 = 1000 [1 + 4 \times 10^{-3}]$$

$$L2 = 1000 [1.004]$$

$$L2 = 1001.004 \text{ [mm]}$$

Es decir el incremento de longitud ΔL lineal en de 1.004 mm en 1 metro analizado.

Para éste análisis se ha considerado, que el material es solo RPRFV, y no con los refuerzos metálicos que se ha analizado anteriormente. Este quiere decir que sin refuerzos se dilataría 1 mm por cada metro, sin embargo con los refuerzos que son extremadamente rígidos, éste mm por metro realmente no sucede y el molde se mantiene completamente rígido e indeformable a causa de la exotropía en la fabricación de piezas, por tanto todas las piezas que se fabriquen en ese molde son idénticas en su geometría volumétrica.

6.6.3 Moldeo por Compresión

El proceso de conformado de moldeo por compresión emplea moldes macho hembra (molde y contramolde) de una determinada geometría, la cual está relacionada con la pieza o parte estructural a conformar. Una cantidad adecuada de material compuesto es colocada dentro del molde al cual se le aplica una presión hidráulica adecuada.

Este proceso puede ser realizado a temperatura ambiente o con la adición de calor. Con la incorporación de calor se puede incrementar la fluidez de la matriz logrando así la forma requerida de la pieza y optimizar las condiciones de curado de la resina. En cambio el rol de la presión es el de expulsar el aire atrapado al interior del molde.

Las piezas obtenidas por este método son de fabricación simple. Minimiza los costos de preparación de los materiales y se reduce el desperdicio de los mismos. Además, los procesos de acabado posteriores al moldeo por compresión son de fácil elaboración. Las principales aplicaciones de este proceso comprenden la fabricación de techos, paneles tipo pared, soportes de radiador de automóvil, alerones, componentes del motor, tales como tapas de balancines, cárter de aceite, entre otros.

La presión de moldeo depende de la aplicación a realizarse, de la matriz del compuesto, del espesor del producto, entre otros. A continuación en la tabla 48 se presenta varias presiones de moldeo utilizadas en la elaboración de distintos materiales compuestos. Estos valores servirán de guía para seleccionar la presión de moldeo a utilizarse en la experimentación.

Tabla 48: Presiones de moldeo utilizadas en la elaboración de distintos materiales compuestos.

Autor	Material compuesto	Fracción	Presión de moldeo [psi]	Temperatura de moldeo [°C]
Vilarim	Coco/Poliuretano	18% en volumen	1840	ambiente
Carvalho	Sisal-Vidrio/Poliéster	20% en peso, 13,6% sisal-6,5% de vidrio	421	ambiente
Paiva	Bagazo de caña/Fenólico	15% en peso	711	125

Fuente: [Vilarim, 2003; Carvalho, 2006; Paiva, 1999]

6.6.4 Fabricación del Molde y Contramolde

Antes de proceder a la fabricación del molde y para evitar inconvenientes en los moldes y futuras reparaciones, se debe tener en cuenta:

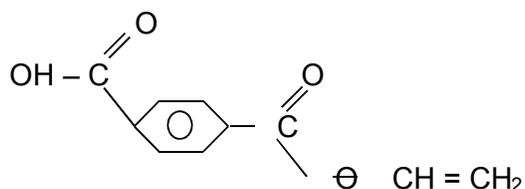
- Verificar que el modelo se halle rígido y firmemente asegurado (por su propio peso o anclado al piso u otro elemento firme)
- Que el sitio donde se va “cargar” el molde, se halle cubierto, es decir evitar el sol directo y lluvia. Así como también evitar la existencia de polvo u otros elementos contaminantes en el aire.
- La ubicación del modelo se halle al alcance de operador.
- Verificar que se tengan las cantidades de componentes necesarios, así como también las herramientas necesarias como brochas, rodillos, recipientes de medida, waípe, etc.
- Verificando éstas condiciones, se procede a la fabricación del molde como si fuera una pieza, aplicando Gel Coat, resina y fibra.

Con las siguientes precauciones adicionales:

- Laminar la primera capa de fibra de vidrio luego del Gel Coat, de manera permanente con ayuda de rodillo y brocha, hasta que se halle sin fallas y burbujas o partes descubiertas, hasta que llegue a su estado de gelación. Dejar secar ésta primera capa completamente por un lapso de 24 horas.
- Luego de esto, a la primera capa, lijar toda la superficie con lija 80, hasta que quede totalmente lisa y sin fibra seca levantada.
- Laminar la segunda y demás capas normalmente
- Las láminas de manta de Fibra de vidrio deben ir trabadas en el tejido, esto es entre capa y capa.
- Laminar dos capas adicionales de aproximadamente 100mm de ancho en los bordes del molde, es decir en las partes que estarán sujetas a esfuerzos para el desmolde de piezas
- Laminar en el abra de corte.
- No cortar los filos sobrantes en el proceso de laminado, esto se lo hará posteriormente con la ayuda de un disco de corte/amoladora.
- El espesor del molde en las aéreas mayores debe ser de por lo menos 10 mm, y en los bordes y abra de corte 15mm.
- Una vez realizada ésta actividad, se deberá dejar secar por lo menos 48 horas, evitando los rayos solares y lluvia.
- El molde y contramolde se harán de similar manera en procedimientos diferentes; el molde por el frente y el contramolde por detrás del modelo.

6.6.5 Reacción Química de la Resina Poliéster.

La Resina Poliéster se presenta en forma de líquido algo viscoso. La estructura química de ésta es la siguiente:



Para que la Resina Poliéster adquiera un estado sólido se requieren del agregado de un catalizador y de un acelerador.

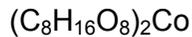
El catalizador es el que inicia la reacción, su estructura química es:

Catalizador: Hidroxi Metil Etil Cetona (HMEC ó meck)

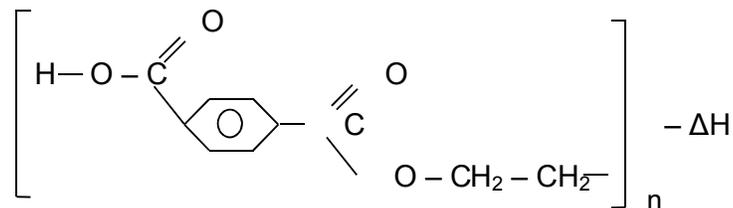


A los compuestos anteriores se adiciona el acelerador, éste es el componente que regula los tiempos de la reacción de secado.

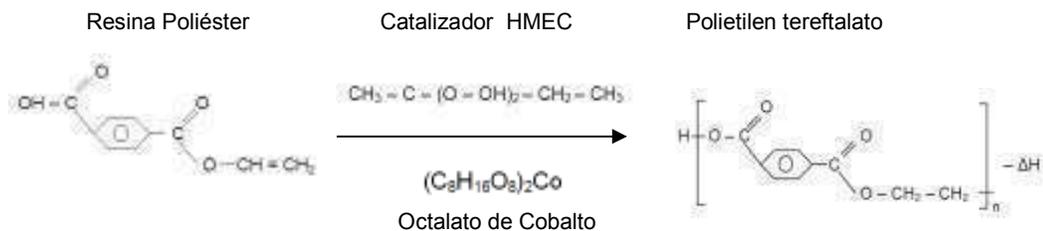
Cobalto: Octalato de Cobalto



Dando como resultado el Polietilen tereftalato cuya estructura química es:



Entonces la ecuación química es¹⁵:



¹⁵ Ecuación de reacción química de la resina poliéster [16].

6.6.6 Dosificación los elementos del material compuesto

Con base en el análisis global de los resultados obtenidos en el CAPITULO IV se determina que la fracción volumétrica de los elementos que forman parte del material compuesto que presento mejor comportamiento es de: 70% de matriz (resina poliéster) + 20% de fibra de vidrio + 10 % fibra de cabuya.

6.6.7 Configuración del refuerzo híbrido.

La configuración del refuerzo híbrido juega un papel muy importante en las propiedades físicas y mecánicas de un material compuesto, por lo cual luego del análisis de los resultados se obtiene que al dosificar un 10% de fibra de cabuya como material de refuerzo y distribuirla de forma Continua (Fibra Larga) y mediante el siguiente orden de capas de refuerzo FV + FC + FV, se obtienen propiedades mecánicas y físicas superiores a las obtenidas con los demás tipos de configuraciones.

6.6.8 Comparación de propiedades mecánicas y físicas del compuesto híbrido (resina poliéster + fibra de vidrio + fibra de cabuya) vs el compuesto común (resina poliéster + fibra de vidrio)

Al ser uno de los objetivos de esta investigación el obtener un producto con altos estándares de calidad, resistencia y tenacidad, en esta parte de la investigación, es necesario realizar la comparación de las propiedades entre el nuevo compuesto híbrido y el compuesto comúnmente utilizado. En la primera parte de esta investigación se establecieron las propiedades del compuesto común (resina poliéster + fibra de vidrio), por lo cual las comparaciones se realizarán con respecto a dichos resultados.

6.6.8.1 Comparación de los esfuerzos máximos a tracción del compuesto híbrido vs el compuesto común.

Tabla 49: Valores del esfuerzo máximo a tracción del compuesto híbrido y del compuesto común.

ESFUERZO MÁXIMO A TRACCIÓN		
Compuesto	Configuración de las fibras	Esfuerzo Máximo Promedio (Mpa)
Híbrido (FV+FC+RP)	Continua (fibra larga)	78,24
Común (FV+RP)		72,64

Fuente: Realizada por el Autor

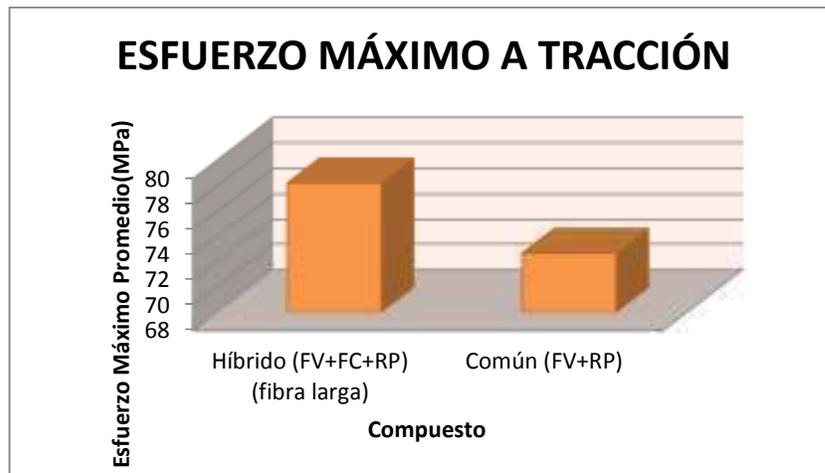


Gráfico 1: Valores del esfuerzo máximo a tracción del compuesto híbrido vs el compuesto común.

Fuente: Realizada por el Autor

En el gráfico 1 se observa que el esfuerzo máximo a tracción del **compuesto híbrido (FV+FC+RP)** con una distribución continua de fibra larga de cabuya es mayor al esfuerzo máximo a tracción del **compuesto común (FV+RP)**, y al comprar estos valores se evidencia que el compuesto híbrido mejora ésta propiedad en un 7,2% frente al compuesto común.

6.6.8.2 Comparación de los esfuerzos máximos a Flexión del compuesto híbrido vs el compuesto común.

Tabla 50: Valores del esfuerzo máximo a Flexión del compuesto híbrido y del compuesto común.

ESFUERZO MÁXIMO A FLEXIÓN		
Compuesto	Configuración de las fibras	Esfuerzo Máximo Promedio (Mpa)
Híbrido (FV+FC+RP)	Continua (fibra larga)	120,52
Común (FV+RP)		162,64

Fuente: Realizada por el Autor

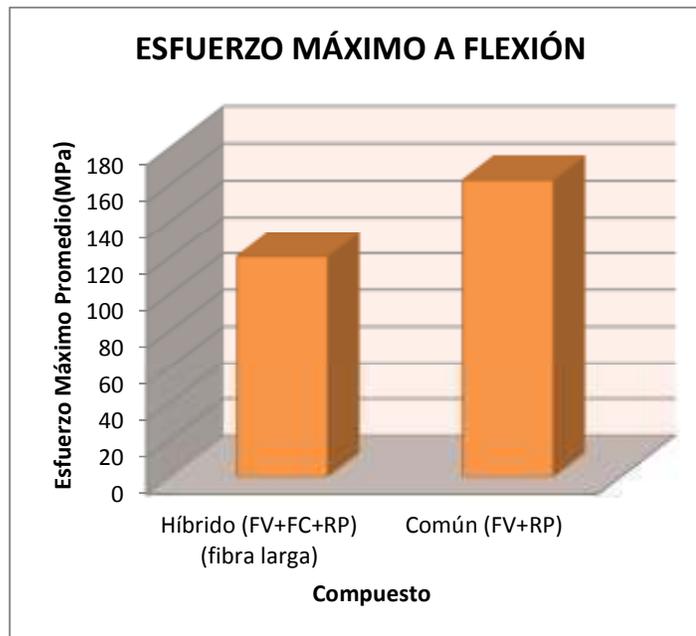


Gráfico 2: Valores del esfuerzo máximo a flexión del compuesto híbrido vs el compuesto común.

Fuente: Realizada por el Autor

Al observar el gráfico 2 se observa que la resistencia máxima a flexión descendió con el uso del compuesto híbrido (FV+FC+RP) en un 25,9% frente al compuesto común (FV+RP).

6.6.8.3 Comparación de las Resistencias Máximas al Impacto del compuesto híbrido vs el compuesto común.

Tabla 51: Valores de las Resistencias Máximas al Impacto del compuesto híbrido y del compuesto común.

RESISTENCIA MÁXIMA AL IMPACTO		
Compuesto	Configuración de las fibras	Resistencia Máxima Promedio (J)
Híbrido (FV+FC+RP)	Continua (fibra larga)	2,38
Común (FV+RP)		2,00

Fuente: Realizada por el Autor

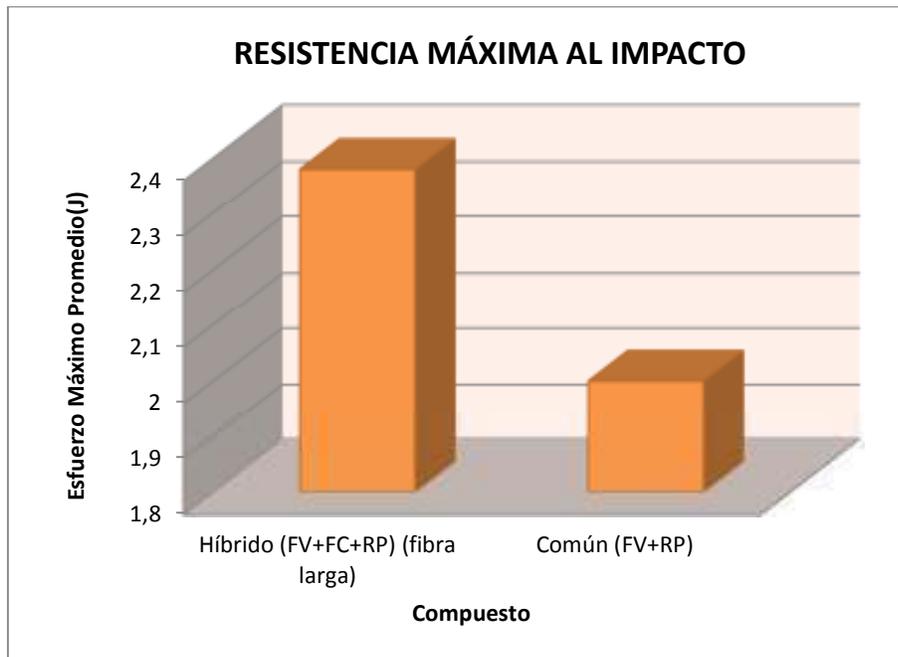


Gráfico 3: Valores de las Resistencias Máximas al Impacto del Compuesto Híbrido vs el Compuesto Común.

Fuente: Realizada por el Autor

En el gráfico 3 se observa que la resistencia máxima al impacto del compuesto híbrido (FV+FC+RP) aumenta en un 16% frente a la resistencia máxima al impacto del compuesto común (FV+RP).

Del análisis anterior es evidente que al realizar la comparación de las propiedades del compuesto híbrido y el compuesto común se tiende a mejorar dos de estas tres propiedades, sin embargo se debe tomar en cuenta el aporte de este estudio al sector carrocerero ya que se disminuye en gran parte la aplicación monopolizada de la fibra de vidrio, formando híbridos de fibra natural, dando un valor agregado a los recursos naturales.

6.6.9 Valoración económica por elemento obtenido

6.6.9.1 Valoración económica por elemento obtenido a través de un compuesto común (Resina Poliéster + Fibra de vidrio)

La determinación de costos de este proceso fueron determinados mediante la guía de cálculo establecida en el “Manual de Aplicaciones de Poliéster” [15] y un programa u hoja de cálculo facilitado por uno de los principales proveedores de materiales para la elaboración de partes en fibra de vidrio considerando costos actuales, es decir a la fecha de realización de esta investigación.

El costo aproximado de la pieza (Guardachoque) a construir mediante el material compuesto (FV+RP) se consigue mediante las consideraciones y sumatoria de los siguientes costos:

- Costo de materia prima.
- Costos de Transformación.
- Costo de Mano de Obra.
- Carga fabril.

Para lo cual la determinación del costo de materia prima se utilizó la hoja de cálculo facilitada por el proveedor “Ing. Pablo Garcés” mientras que para los costos de transformación se lo hizo mediante la determinación de rubros y costos que se manejan en la Empresa Carrocerías Ibimco:

COSTOS DE MATERIA PRIMA.

La hoja de cálculo está basada en la determinación inicial de cantidades de componentes en peso y sus correspondientes porcentajes de los tres principales tipos de constituyentes como el GealCoat, Resina Poliéster (preparada o de moldeo) y el Mat de Fibra de Vidrio.

El costo se establece para la preparación de un volumen de 100 litros de GealCoat y 100 litros de resina de Moldeo pues por eficiencia de preparación “IBIMCO” que es el referente ha establecido ésta cantidad como punto de re-orden para su proceso. Este volumen de preparación será entonces el referente para cálculos de proporción en función del área de la pieza a trabajar y el número de capas a insertar para calcular los demás costos.

PREPARACIÓN Y COSTOS DEL MOLDEO DE POLIÉSTER			
MATERIALES PARA PREPARAR 120 KILOS (100 LITROS) DE RESINA DE MOLDEO.			
PRODUCTO	FORMULACIÓN (%)	PESO (kg)	OBSERVACIONES
RESINA	100%	120	
ESTIRENO	25%	30	
COBALTO 12%	0,1%-0,12%	0,15-0,18	Corresponde a 150-180 cm3.
Catalizar con 1.5%-2% mek-Peróxido para un tiempo de gel de 25-30 min a T=15°C			

MATERIALES PARA PREPARAR 120 KILOS (100 LITROS) DE GELCOAT.			
RESINA	100%	120	
COBALTO 12%	0,1%-0,12%	0,12-0,144	Corresponde a 120-144 cm3.
AEROSIL	1,50%	1,8	
TINTE NEGRO/BLANCO	5%	6	
Catalizar con 1.5%-2% mek-Peroxido para un tiempo de gel de 25-30 min a T=15°C			

El costo unitario y que sirvió como parámetro de comparación frente al costo que tomó el nuevo material híbrido estudiado, está dado para un área de 1m² y tres capas de mat de fibra de vidrio.

Tabla 52: Costo de materiales para una pieza de (FV+RP) con 3 capas de FV.

# capas pieza	3	Área pieza (m2)	1		
COSTO DE MATERIALES					
PRODUCTO	MOLDEO	GELCOAT	KILOS TOTAL	PVP SIN IVA	SUBTOTAL
kg. fibra vidrio	1,13		1,13	2,70	3,04
kg. resina+estireno	2,62				
kg. resina moldeo	2,10	1	3,10	2,68	8,30
kg. estireno	0,52		0,52	2,65	1,39
kg. cobalto 12%	0,003	0,001	0,00	28,00	0,12
kg. mek	0,052	0,015	0,07	4,30	0,29
kg. aerosil		0,015	0,015	10,00	0,15
kg. tintes		0,05	0,05	18,00	0,90
VARIOS(BROCHAS-DESMOLDANTE-CERA-etc) 5%					0,71
TOTAL					14,89

Fuente: Hoja de Cálculo de costo de materiales

Realizado por Ing. Pablo Garcés

COSTOS DE TRANSFORMACIÓN – MANO DE OBRA.

El costo de mano de obra está en función de estimar el número de obreros, el tiempo estimado para cada proceso y el costo hora del mismo en función de la planilla de pagos de “IBIMCO”

Tabla 53: Costo de Mano de Obra de una pieza de (FV+RP) con 3 capas de FV.

COSTO MANO DE OBRA				
	OBREROS	COSTO/HORA	T/HORA	COSTO TOTAL
PREPARACIÓN DE GEAL COAT	1	2,3	0,10	0,23
PREPARACIÓN DE RESINA	1	2,3	0,10	0,23
LIMPIEZA DEL MOLDE	1	2,3	0,08	0,19
DESENGRASANTE	1	2,3	0,33	0,76
CORTE DE MAT DE FV	1	2,3	0,10	0,23
APLICACIÓN Y MOLDEO	1	2,3	0,50	1,15
DESMOLDEO	1	2,3	0,15	0,35
EXTRAS	1	2,3	0,04	0,092
TOTAL			1,40	3,23

Fuente: Hoja de Cálculo de costo de mano de obra

Realizado por el Autor

COSTOS DE TRANSFORMACIÓN – CARGA FABRIL.

La carga Fabril se establece para todo aquello que esta indirectamente afectando el costo del proceso de producción, como lo detalla la siguiente

Tabla:

Tabla 54: Costo de Carga Fabril de una pieza de (FV+RP) con 3 capas de FV.

COSTO CARGA FABRIL				
	OBREROS	COSTO/ HORA USD	T/HORA	COSTO
			USD	TOTAL USD
COSTO DE SUPERVISIÓN	1	2	1,00	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: $d = [(\text{costo de molde} - \text{iva}) - \text{valor de salvamento}] / \text{vida util}$			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 100 piezas (vida útil)			1,20
DESPERDICIOS	De materiales y tiempo			1,42
TOTAL				8,25

Fuente: Hoja de Cálculo de costo de carga fabril

Realizado por el Autor

Del análisis realizado se establece que el costo total de un metro cuadrado y de tres capas de FV, (consideraciones con los que actualmente se fabrican los guardachoques) está en función de la sumatoria de los costos de materiales + mano de obra + carga fabril dando un resultado de 26,30 usd c/m².

Tabla 55: Costo de 1m² de material compuesto (FV+RP)

COSTO TOTAL DEL MATERIAL COMPUESTO (FV + RP) PARA 1 METRO CUADRADO Y 3 CAPAS DE FV		
COSTOS	VALOR (USD)	OBS.
COSTO DE MATERIALES	14,89	
COSTO DE MANO DE OBRA	3,23	
COSTO DE CARGA FABRIL	8,25	
TOTAL	26,30	

Fuente: Hoja de Cálculo de Costo Total

6.6.9.2 Valoración económica por elemento obtenido a través de un compuesto híbrido (Resina Poliéster + Fibra de vidrio+ Fibra de cabuya)

La determinación de costos de este proceso de obtención de material híbrido (Fibra larga al 30%), fueron determinados mediante la guía de cálculo establecida en el “Manual de Aplicaciones de Poliéster” [15] y la estimación de costos de la materia prima o más puntualmente del proceso de obtención del manto de fibra larga, todo lo anterior basándose en el programa u hoja de cálculo facilitado por uno de los principales proveedores de materiales para la elaboración de partes en fibra de vidrio que considera costos actuales.

El costo aproximado de la pieza (Guardachoque) a construir mediante el material híbrido de refuerzo (FV+FC+FV) se consigue mediante las consideraciones y sumatoria de los siguientes costos:

- Costo de materia prima.
- Costos de Transformación.
- Costo de mano de obra.
- Carga fabril.

COSTOS DE MATERIA PRIMA.

La hoja de cálculo está basada en la determinación de cantidades de componentes en peso y sus correspondientes porcentajes de los tres principales tipos de constituyentes como GealCoat, Resina Poliéster (preparada o de moldeo), el Mat de Fibra de Vidrio – 375 (dos capas) y ahora agregaremos el costo del manto de fibra larga de cabuya (una capa)

El costo se establece para la preparación de un volumen de 100 litros de GealCoat y 100 litros de resina de Moldeo pues por eficiencia de

preparación "IBIMCO" que es el referente ha establecido ésta cantidad como punto de re-orden para su proceso. Este volumen de preparación será entonces el referente para cálculos de proporción en función del área de la pieza a trabajar y el número de capas a insertar para calcular los demás costos.

Tabla 56: Preparación del moldeo de poliéster

MATERIALES PARA PREPARAR 120 KILOS (100 LITROS) DE RESINA DE MOLDEO.			
PRODUCTO	FORMULACIÓN (%)	PESO (kg)	OBSERVACIONES
RESINA	100%	120	
ESTIRENO	25%	30	
COBALTO 12%	0,1%-0,12%	0,15-0,18	Corresponde a 150-180 cm ³ .
Catalizar con 1.5%-2% mek-Peroxido para un tiempo de gel de 25-30 min a T=15°C			
MATERIALES PARA PREPARAR 120 KILOS (100 LITROS) DE GELCOAT.			
RESINA	100%	120	
COBALTO 12%	0,1%-0,12%	0,12-0,144	Corresponde a 120-144 cm ³ .
AEROSIL	1,50%	1,8	
TINTE NEGRO/BLANCO	5%	6	
Catalizar con 1.5%-2% mek-Peroxido para un tiempo de gel de 25-30 min a T=15°C			

Fuente: Hoja de Cálculo de costo de materiales

Realizado por Ing. Pablo Garcés

El costo unitario que tomara el nuevo material híbrido estudiado, está dado para un área de 1m² y tres capas de (dos de mat de fibra de vidrio y uno de manto de fibra larga-cabuya).

Tabla 57: Costo de materiales para una pieza de (FV+RP) con 3 capas de FV.

# capas pieza	3	Área pieza (m2)	1		
COSTO DE MATERIALES					
PRODUCTO	MOLDEO	GELCOAT	KILOS TOTAL	PVP SIN IVA	SUBTOTAL
kg. fibra cabuya	0,29		0,29	0,50	0,50
kg. fibra vidrio	0,75		0,75	2,70	2,03
kg. resina+estireno	2,62				
kg. resina moldeo	2,10	1	3,10	2,68	8,30
kg. estireno	0,52		0,52	2,65	1,39
kg. cobalto 12%	0,003	0,001	0,00	28,00	0,12
kg. mek	0,052	0,015	0,07	4,30	0,29
kg.aerosil		0,015	0,015	10,00	0,15
kg.tintes		0,05	0,05	18,00	0,90
VARIOS(BROCHAS-DESMOLDANTE-CERA-etc) 5%					0,68
TOTAL					14,36

Fuente: Hoja de Cálculo de costo de materiales

Realizado por Ing. Pablo Garcés

COSTOS DE TRANSFORMACIÓN – MANO DE OBRA.

El costo de mano de obra está en función de estimar el número de obreros, el tiempo estimado para cada proceso y el costo hora de los mismos y en función de la planilla de pagos de “IBIMCO” y TELAR ARTESANAL (Salasaca)

Tabla 58: Costo de Mano de Obra de una pieza de (FV+RP) con 3 capas de FV.

COSTO MANO DE OBRA				
	OBREROS	COSTO/HORA	T/HORA	COSTO TOTAL
ELABORACIÓN DE TEJIDO – FIBRA LARGA EN TELAR ARTESANAL	1	\$ 1,5	6,00	9,00

PREPARACIÓN DE GEAL COAT	1	\$ 2,3	0,10	0,23
PREPARACIÓN DE RESINA	1	\$ 2,3	0,10	0,23
LIMPIEZA DEL MOLDE	1	\$ 2,3	0,08	0,19
DESENGRASANTE	1	\$ 2,3	0,33	0,76
CORTE DE MAT DE FV	1	\$ 2,3	0,10	0,23
APLICACIÓN Y MOLDEO	1	\$ 2,3	0,50	1,15
DESMOLDEO	1	\$ 2,3	0,15	0,35
EXTRAS	1	\$ 2,3	0,04	0,09
TOTAL			1,40	12,22

Fuente: Hoja de Cálculo de costo de mano de obra

Realizado por el Autor

COSTOS DE TRANSFORMACIÓN – CARGA FABRIL.

La carga Fabril se establece para todo aquello que esta indirectamente afectando el costo del proceso de producción, como lo detalla Tabla 59:

Tabla 59: Costo de Carga Fabril de una pieza de (FV+RP) con 3 capas de FV.

COSTO CARGA FABRIL				
	OBREROS	COSTO/HORA USD	T/HORA USD	COSTO TOTAL USD
COSTO DE SUPERVISIÓN	1	2	1,00	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: $d = \frac{[(\text{costo de molde} - \text{iva}) - \text{valor de salvamento}]}{\text{vida util}}$			0,68
IMPUESTOS (IVA)	Del costo de los materiales y mano de obra			1,43
DISEÑO Y PLANOS	\$120.00 del diseño y			0,00

	planimetría dividido para 100piezas (vida útil)	
DESPERDICIOS	De materiales y tiempo	1,20
TOTAL		5,31

Fuente: Hoja de Cálculo de costo de carga fabril

Realizado por el Autor

Del análisis realizado se establece que el costo total de un metro cuadrado y de tres capas de FV, (consideraciones con los que actualmente se fabrican los guardachoques) está en función de la sumatoria de los costos de materiales + mano de obra + carga fabril dando un resultado de 32,48 dólares americanos por metro cuadrado.

Tabla 60: Costo de 1m² de material compuesto (FV+RP)

COSTO TOTAL DEL MATERIAL COMPUESTO (FV + RP) PARA 1 METRO CUADRADO Y 3 CAPAS DE FV		
COSTOS	VALOR (USD)	OBS.
COSTO DE MATERIALES	14,36	
COSTO DE MANO DE OBRA	12,22	
COSTO DE CARGA FABRIL	5,31	
TOTAL	31,89	

Fuente: Hoja de Cálculo de Costo Total

Realizado por el Autor

6.6.9.3 Comparación de costos entre elementos fabricados a partir de compuestos híbridos y comunes.

Tabla 61: Costos por elementos fabricados a partir de compuestos híbridos y comunes

Costo por elemento fabricado		
Compuesto	Configuración de las fibras	Valor (\$)
Híbrido (FV+FC+RP)	Continua (fibra larga)	31,89
Común (FV+RP)		26,30

Fuente: Realizada por el Autor

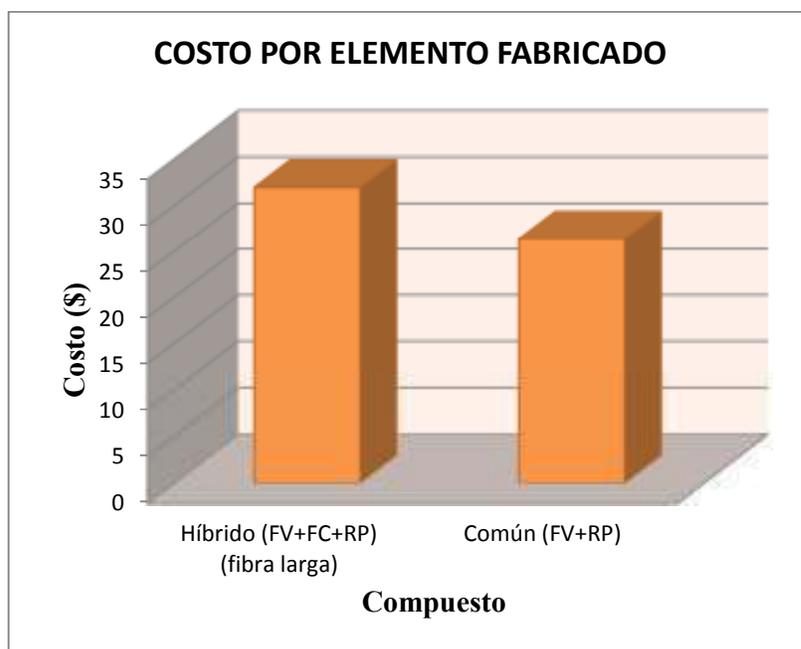


Gráfico 4: Costos por elementos fabricados a partir de compuestos híbridos y comunes.

Fuente: Realizada por el Autor

Al observar el gráfico 4 se puede apreciar que el costo de fabricar un elemento con el uso de materiales híbridos es relativamente mayor al de fabricar un elemento con el uso de materiales comunes, teniendo una diferencia entre estos costos del 17,5 %, lo cual se ve compensado con el hecho de que al usar un material híbrido se obtiene un producto final con altos estándares de calidad, resistencia y tenacidad el cual cumple con requisitos ya preestablecidos.

6.7 Metodología, Modelo operativo

Para el establecimiento de la metodología, se ejecuta un procedimiento para elaborar guardachoques con el uso de Polímeros Híbridos Estratificados de Matriz Poliéster Reforzada con Fibra de Vidrio y Cabuya como Material Alternativo, dicho procedimiento toma en cuenta la estructura recomendada por el instituto de seguridad e higiene del trabajo INSHT en el cual se enuncia que un procedimiento debe seguir siempre un mismo guión en cuanto a su estructura (Anexo 10). Así:

A. OBJETO: Establece con claridad el "por qué" del procedimiento.

B. ALCANCE: Define los límites de aplicación del procedimiento.

C. DOCUMENTACIÓN DE REFERENCIA: Cita la documentación en base a la cual se ha elaborado el procedimiento.

D. GENERALIZACIÓN: Da información de carácter general que ayude a comprender el procedimiento.

E. REALIZACIÓN: Describe:

Las actividades que son objeto del procedimiento.

Formas de realizar las actividades.

Responsabilidades.

Registros a efectuar y formatos.

F. ANEXOS: Se relaciona un ejemplo de cada registro o formato, así como cualquier otra información que se precise.

Todos los procedimientos contendrán obligatoriamente los apartados A, B, C y E, siendo los D y F opcionales, según sean o no necesarios.



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**



Procedimiento para la obtención de guardachoques con el uso de Polímeros Híbridos Estratificados de Matriz Poliéster Reforzada con Fibra de Vidrio y Cabuya como Material Alternativo.

6.7.1 Procedimiento para la obtención de guardachoques con el uso de Polímeros Híbridos Estratificados de Matriz Poliéster Reforzada con Fibra de Vidrio y Cabuya como Material Alternativo.

OBJETO: Establecer las distintas acciones a seguir para la obtención de un guardachoque con el uso de Polímeros Híbridos Estratificados de Matriz Poliéster Reforzada con Fibra de Vidrio y Cabuya como Material Alternativo.

2. ALCANCE: Este procedimiento está desarrollado para la obtención de un guardachoque posterior para bus de servicio Urbano, bajo la supervisión de un Técnico especialista en la producción de partes en fibra de vidrio.

3. DOCUMENTACIÓN DE REFERENCIA: El desarrollo del presente procedimiento se encuentra sustentado en el marco teórico investigado en el capítulo II.

4. GENERALIZACIÓN:
El mundo actual requiere y demanda de nuevos materiales para aplicaciones en la industria automotriz, en la que uno de los requerimientos es disminuir el consumo de combustible, para lo que se tiene como estrategia la reducción del peso de los vehículos utilizando piezas que cumplan con altos estándares de calidad, resistencia,

Elaborado por (Nombre/Firma):	Fecha:	Verificado por (Nombre/Firma):	Fecha:
Revisado por (Nombre/Firma):	Fecha:	Validado por (Nombre/Firma):	Fecha:

PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN Y/O DISTRIBUCIÓN SIN PREVIA AUTORIZACIÓN

Pág.:



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**



**Procedimiento para la obtención de guardachoques
con el uso de Polímeros Híbridos Estratificados de
Matriz Poliéster Reforzada con Fibra de Vidrio y
Cabuya como Material Alternativo.**

tenacidad, estética y seguridad, de esta forma, se ha extendido el uso de plásticos y composites de matriz polimérica tal es el caso de los compuestos reforzados con fibras, dentro de estos compuestos existe la posibilidad de utilizar más de un tipo de refuerzo. A este tipo de materiales se los denomina híbridos. Los materiales compuestos híbridos pueden formarse utilizando varios tipos fibras sintéticas o una combinación entre fibras sintéticas y fibras naturales.

Este es el caso de los compuestos híbridos reforzados con fibra de cabuya y fibra de vidrio. El interés actual en utilizar fibras naturales en compuestos híbridos se debe a la creciente preocupación por la preservación del medio ambiente y el uso de materias primas renovables. Además, existe un gran interés en la búsqueda de fibras naturales que puedan reemplazar adecuadamente a las fibras sintéticas, como la fibra de vidrio o combinarlas con estas para la obtención de materiales compuestos altamente competitivos y con menores costos.

5. REALIZACIÓN:

El proceso para la fabricación del guardachoque será desarrollado por el Técnico del proceso en Fibra de Vidrio, el mismo registrará las características y estado del molde que se utilizará para elaborar el guardachoque.

Elaborado por (Nombre/Firma):	Fecha:	Verificado por (Nombre/Firma):	Fecha:
Revisado por (Nombre/Firma):	Fecha:	Validado por (Nombre/Firma):	Fecha:

PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN Y/ O DISTRIBUCIÓN SIN PREVIA AUTORIZACIÓN

Pág.:



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**



Procedimiento para la obtención de guardachoques con el uso de Polímeros Híbridos Estratificados de Matriz Poliéster Reforzada con Fibra de Vidrio y Cabuya como Material Alternativo.

5.1 Actividades a realizar para la obtención del guardachoque con el uso de Polímeros Híbridos Estratificados de Matriz Poliéster Reforzada con Fibra de Vidrio y Cabuya como Material Alternativo.

Las actividades necesarias para la obtención del guardachoque se han dividido en las siguientes etapas:

Preparación de las fibras

Preparación del molde y contramolde

Moldeo

Aplicación del contramolde

Desmolde

Evaluación y almacenamiento

5.2 Reglas de Seguridad

Antes de empezar con las actividades lea detenidamente las siguientes reglas de seguridad.

He aquí las reglas básicas:

Guardar todo material combustible a una distancia prudente.

No usar guantes ni otra ropa que contenga aceite, grasa o polvo.

Elaborado por (Nombre/Firma):	Fecha:	Verificado por (Nombre/Firma):	Fecha:
Revisado por (Nombre/Firma):	Fecha:	Validado por (Nombre/Firma):	Fecha:

PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN Y/ O DISTRIBUCIÓN SIN PREVIA AUTORIZACIÓN

Pág.:



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**



**Procedimiento para la obtención de guardachoques
con el uso de Polímeros Híbridos Estratificados de
Matriz Poliéster Reforzada con Fibra de Vidrio y
Cabuya como Material Alternativo.**

Verificar que el sitio donde se va desarrollar las actividades, se halle cubierto, es decir evitar el sol directo y lluvia. Así como también evitar la existencia de polvo u otros elementos contaminantes en el aire.

Verificar stock “in situ”, y proveerse de las cantidades de componentes necesarios, es decir resina cobaltada, Gel Coat, MEK, desmoldante (cera y/o alcohol polivinílico), fibra de vidrio, fibra de cabuya, etc. Así como también las herramientas necesarias como brochas, rodillos, recipientes de medida, waipe, etc.

Identifique la ubicación de los materiales a utilizar y verifique que se hallen al alcance del operador es decir un previo y leve estudio ergonómico

Utilice elementos de seguridad personal como guantes, mascarilla, gafas, etc.

Siempre procure tener equipo extinguidor de fuego al fácil alcance en todo momento.

5.3 Preparación de las fibras

Para la preparación de las fibras tome en cuenta que las fracciones volumétricas de los elementos que forman parte del material compuesto híbrido son de: 70% de resina poliéster + 20% de fibra de vidrio + 10 % fibra de cabuya.

<i>Elaborado por (Nombre/Firma):</i>	<i>Fecha:</i>	<i>Verificado por (Nombre/Firma):</i>	<i>Fecha:</i>
<i>Revisado por (Nombre/Firma):</i>	<i>Fecha:</i>	<i>Validado por (Nombre/Firma):</i>	<i>Fecha:</i>
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN Y/O DISTRIBUCIÓN SIN PREVIA AUTORIZACIÓN			<i>Pág.:</i>



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA



Procedimiento para la obtención de guardachoques con el uso de Polímeros Híbridos Estratificados de Matriz Poliéster Reforzada con Fibra de Vidrio y Cabuya como Material Alternativo.

5.3.1 Preparación de la fibra de cabuya

Luego de adquirir la fibra de cabuya es necesario prepararla de tal modo que ésta tenga una distribución uniforme, por lo cual es necesario llevarla a un telar para realizar el tejido de la misma.

En el telar se ubican hilos de algodón en forma vertical a una distancia de 0,5 cm, como se indica en la figura:



Gráfico 5: Ubicación de los hilos de algodón
Fuente: Realizada por el Autor

Posteriormente se teje la fibra de cabuya en forma horizontal para lo cual se debe tener en cuenta que serán 10 hilos por pasada.

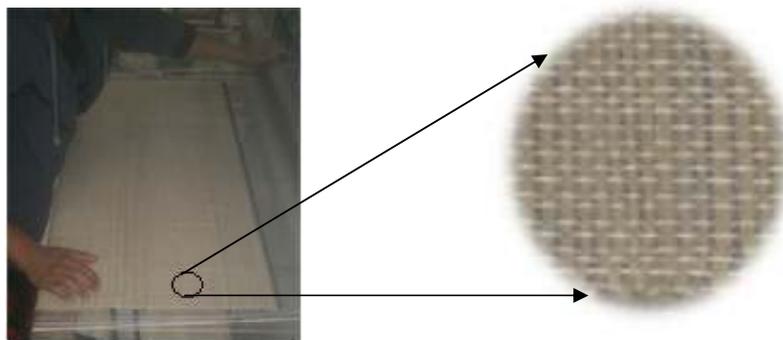


Gráfico 6: Tejido de la fibra de cabuya
Fuente: Realizada por el Autor

Elaborado por (Nombre/Firma):	Fecha:	Verificado por (Nombre/Firma):	Fecha:
Revisado por (Nombre/Firma):	Fecha:	Validado por (Nombre/Firma):	Fecha:

PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN Y/O DISTRIBUCIÓN SIN PREVIA AUTORIZACIÓN

Pág.:



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**



**Procedimiento para la obtención de guardachoques
con el uso de Polímeros Híbridos Estratificados de
Matriz Poliéster Reforzada con Fibra de Vidrio y
Cabuya como Material Alternativo.**

Una vez obtenido el tejido de fibra de cabuya, se procese a cortar la cantidad de tejido necesario de acuerdo a la pieza a fabricar, tomando las medidas de largo y ancho.



Gráfico 7: Preparación de la fibra de cabuya
Fuente: Realizada por el Autor

5.3.2 Preparación de la fibra de vidrio

Medir y cortar la cantidad de fibra de vidrio de acuerdo a la pieza a fabricar, tomando las medidas de largo y ancho para aplicar dos capas de la misma.



Gráfico 8: Preparación de la fibra de vidrio
Fuente: Realizada por el Autor

Elaborado por (Nombre/Firma):	Fecha:	Verificado por (Nombre/Firma):	Fecha:
Revisado por (Nombre/Firma):	Fecha:	Validado por (Nombre/Firma):	Fecha:

PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN Y/O DISTRIBUCIÓN SIN PREVIA AUTORIZACIÓN

Pág.:



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA



Procedimiento para la obtención de guardachoques con el uso de Polímeros Híbridos Estratificados de Matriz Poliéster Reforzada con Fibra de Vidrio y Cabuya como Material Alternativo.

5.4 Preparación del molde y contramolde

5.4.1 Limpieza del molde y contramolde:

Limpiar las rebabas del molde y del contramolde con una espátula.



Gráfico 9: Limpieza de rebabas
Fuente: Realizada por el Autor

Pasar al molde y contramolde un waipe con cera.



Gráfico 10: Limpieza con cera
Fuente: Realizada por el Autor

Elaborado por (Nombre/Firma):	Fecha:	Verificado por (Nombre/Firma):	Fecha:
Revisado por (Nombre/Firma):	Fecha:	Validado por (Nombre/Firma):	Fecha:
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN Y/O DISTRIBUCIÓN SIN PREVIA AUTORIZACIÓN			Pág.:



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**



**Procedimiento para la obtención de guardachoques
con el uso de Polímeros Híbridos Estratificados de
Matriz Poliéster Reforzada con Fibra de Vidrio y
Cabuya como Material Alternativo.**

Limpiar el molde y contramolde con waipe limpio y seco, para remover la cera.



Gráfico 11: Remoción de la cera

Fuente: Realizada por el Autor

Pasar por segunda vez un waipe limpio y seco, para abrillantar el molde y contramolde.

5.4.2 Aplicación de desmoldante.

Pasar al molde y contramolde un waipe embebido de desmoldante y esperar que se seque aproximadamente por 20min



Gráfico 12: Aplicación de desmoldante

Fuente: Realizada por el Autor

<i>Elaborado por (Nombre/Firma):</i>	<i>Fecha:</i>	<i>Verificado por (Nombre/Firma):</i>	<i>Fecha:</i>
<i>Revisado por (Nombre/Firma):</i>	<i>Fecha:</i>	<i>Validado por (Nombre/Firma):</i>	<i>Fecha:</i>

PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN Y/O DISTRIBUCIÓN SIN PREVIA AUTORIZACIÓN

Pág.:



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA



Procedimiento para la obtención de guardachoques
con el uso de Polímeros Híbridos Estratificados de
Matriz Poliéster Reforzada con Fibra de Vidrio y
Cabuya como Material Alternativo.

Aplicar gel coats mezclado con MECK PERÓXIDO sobre la superficie del molde y contramolde con una brocha y dejar que se seque unos 20 min



Gráfico 13: Aplicación de gel coats
Fuente: Realizada por el Autor

Verificar que el gel coats se encuentre completamente seco en toda la superficie.

5.5 Moldeo

Colocar la primera capa de fibra de vidrio en el molde y aplicar resina mezclada con MECK PERÓXIDO con la ayuda de una brocha y un rodillo para moldear la pieza.



Gráfico 14: Laminado de la primera capa de FV
Fuente: Realizada por el Autor

Elaborado por (Nombre/Firma):	Fecha:	Verificado por (Nombre/Firma):	Fecha:
Revisado por (Nombre/Firma):	Fecha:	Validado por (Nombre/Firma):	Fecha:

PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN Y/O DISTRIBUCIÓN SIN PREVIA AUTORIZACIÓN

Pág.:



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**



Procedimiento para la obtención de guardachoques con el uso de Polímeros Híbridos Estratificados de Matriz Poliéster Reforzada con Fibra de Vidrio y Cabuya como Material Alternativo.

Aplicar la capa de fibra de cabuya sobre la capa de fibra de vidrio aplicada anteriormente, distribuyéndola en forma continua como se muestra en el gráfico 15 y aplicar resina mezclada con MECK PERÓXIDO con la ayuda de una brocha y un rodillo para moldear la pieza.



Gráfico 15: Laminado de la capa de fibra de cabuya
Fuente: Realizada por el Autor

Colocar la segunda capa de fibra de vidrio y aplicar resina mezclada con MECK PERÓXIDO con la ayuda de una brocha y un rodillo para moldear la pieza. Al aplicar la última capa de fibra, verificar que la resina no se chorree.

Nota: “El espesor del guardachoque no debe ser mayor de 3,2 mm”

Elaborado por (Nombre/Firma):	Fecha:	Verificado por (Nombre/Firma):	Fecha:
Revisado por (Nombre/Firma):	Fecha:	Validado por (Nombre/Firma):	Fecha:

PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN Y/O DISTRIBUCIÓN SIN PREVIA AUTORIZACIÓN

Pág.:



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**



**Procedimiento para la obtención de guardachoques
con el uso de Polímeros Híbridos Estratificados de
Matriz Poliéster Reforzada con Fibra de Vidrio y
Cabuya como Material Alternativo.**

5.5 Aplicación del contramolde

Una vez aplicadas todas las capas de fibra y de haber verificado el espesor de la pieza, se procede a aplicar el contramolde previamente preparado como se indica:



Gráfico 16: Aplicación del contramolde
Fuente: Realizada por el Autor

Se debe aplicar una presión de aproximadamente 300 psi entre el molde y contramolde para asegurar la obtención de un guardachoque que cumpla con los requerimientos establecidos. El molde y contramolde se sujetarán entre sí con la ayuda de prensas y/o vinchas, a fin de asegurar que en el proceso de secado la presión se mantenga constante.

<i>Elaborado por (Nombre/Firma):</i>	<i>Fecha:</i>	<i>Verificado por (Nombre/Firma):</i>	<i>Fecha:</i>
<i>Revisado por (Nombre/Firma):</i>	<i>Fecha:</i>	<i>Validado por (Nombre/Firma):</i>	<i>Fecha:</i>

PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN Y/O DISTRIBUCIÓN SIN PREVIA AUTORIZACIÓN

Pág.:



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**



Procedimiento para la obtención de guardachoques con el uso de Polímeros Híbridos Estratificados de Matriz Poliéster Reforzada con Fibra de Vidrio y Cabuya como Material Alternativo.



Gráfico 17: Sujeción del molde y contramolde
Fuente: Realizada por el Autor

Dejar secar la pieza por 24 horas para evitar que se dañe y poder desmoldar.

5.6 Desmolde

Liberar la unión del molde y contramolde.

Desmoldar la pieza, ayudándose con un desarmador y una palanca de madera, tomar en cuenta que no se debe golpear el molde con herramientas que tengan filo.

Finalmente retirar la pieza del molde.

Elaborado por (Nombre/Firma):	Fecha:	Verificado por (Nombre/Firma):	Fecha:
Revisado por (Nombre/Firma):	Fecha:	Validado por (Nombre/Firma):	Fecha:

PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN Y/O DISTRIBUCIÓN SIN PREVIA AUTORIZACIÓN

Pág.:



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**



Procedimiento para la obtención de guardachoques con el uso de Polímeros Híbridos Estratificados de Matriz Poliéster Reforzada con Fibra de Vidrio y Cabuya como Material Alternativo.

5.7 Evaluación y almacenamiento

Una vez obtenido el guardachoque, revisar el estado del mismo, la porosidad en la superficie que contiene al Gel Coat en la pieza de Fibra y almacenar provisionalmente en el sitio designado hasta que sea retirada para su utilización.



Gráfico 18: Evaluación
Fuente: Realizada por el Autor

Elaborado por (Nombre/Firma):	Fecha:	Verificado por (Nombre/Firma):	Fecha:
Revisado por (Nombre/Firma):	Fecha:	Validado por (Nombre/Firma):	Fecha:
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN Y/O DISTRIBUCIÓN SIN PREVIA AUTORIZACIÓN			Pag:

6.8 Administración

En esta sección se redacta en una tabla con los valores económicos, los cuales se presentaron durante el desarrollo de ésta investigación:

Tabla 62: Costo total de la investigación.

CONCEPTO	UNIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
Personal	3	\$ 100,00	\$ 200,00
Equipos para ensayos	3	\$ 300,00	\$ 900,00
Material compuesto/hibrido	3	\$ 300,00	\$ 900,00
Resina Poliéster	1	\$ 150,00	\$ 150,00
Moldes	3	\$ 120,00	\$ 360,00
Material de escritorio	1	\$ 50,00	\$ 50,00
Bibliografía	2	\$ 20,00	\$ 40,00
Transporte	2	\$ 60,00	\$ 120,00
Transcripción informe	1	\$ 25,00	\$ 25,00
-	-	-	-
Subtotal			\$ 2845,00
Imprevistos (10%)			\$ 248,50
Total			\$ 3129,50

Fuente: Realizada por el Autor

6.9 Previsión de la evaluación

Una vez culminado el trabajo de investigación, el mismo que fue realizado tanto en el laboratorio de la carrera de Ingeniería Mecánica la Universidad Técnica de Ambato campus Huachi, como en los laboratorios de Materiales de la Escuela Politécnica Nacional (Quito-Ecuador), se sugiere tomar en cuenta todas las conclusiones y recomendaciones presentes en éste trabajo, a fin de prevenir inconvenientes al momento de ejecutar la caracterización mecánica.

Adicionalmente se sugiere una investigación posterior a este trabajo, en la cual se investigue la aplicabilidad de la propuesta a otro tipo de elementos o partes mecánicas.

BIBLIOGRAFÍA.

[1] CAMINO, Jeaueline. (2005). Manual de Elaboración del Perfil del Proyecto y Estructura del Informe Final de Investigación. Biblioteca FICM. Aprobado por HCU.

[2]. ASHBY, Michael, and Jones David. (1998). Engineering Materials I. Elsevier Butterworth – Heinemann. Oxford.

[3]. ASHBY, Michael, and Jones David. (1999). Material Selection in Mechanical Desing. Second Edition, Chapter 3, Butterworth – Heinemann. Oxford.

[4]. SHIGLEY, Joseph & Mischke, Charles R. (2006). Mechanical Engineering Design. Eighth Edition. Budynas – Nisbett. Mc. Graw- Hill.

[5] Asociación española de materiales compuestos, AEMAC,
Link: <http://www.aemac.org/index.htm>

[6] Joshep Costa, Tecnologías textiles: 3D weavingy 3D braiding, 2006, Grupo de Materiales Compuestos, Universidad de Zaragoza
Link: http://www.aemac.org/pdf/reunion_Grupos/AEMAC_%20Zaragoza.pdf

[7] Arrasate-Mondragón Guipúzcoa, Plásticos y Materiales Compuestos de Matriz Orgánica, 2006 Escuela Politécnica Superior, Mondragon Unibertsitatea
Link: http://www.aemac.org/pdf/reunion_Grupos/AEMAC_Mondragon-Univ.pdf

[8] Ruben Tino Ramos, Jefe de sección de la unidad de carreteras de Zamora del Ministerio de Fomento. Materiales compuestos de matriz polimérica reforzados con fibra de vidrio. *Cimbra* · ENERO-FEBRERO-MARZO 2010

[9] Donald R, Askenland. 1998. Ciencia e Ingeniería de Materiales, Tercera Edición. International Thomson Editores - Pág. (508-541).

[10] William D, Callister Jr. 2007. Material Science and Engineering, Séptima Edición, John Wiley & Sons. Inc, Pág. (577-619)

- [11] M. Beltrán y A. Marcilla, Tecnología de Polímeros
- [12] MORALES ANTIGUEDAD, G. Madrid 2008. Tesis Doctoral PROCESADO Y CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS DE MATRIZ POLIMÉRICA REFORZADOS CON NANOFIBRAS DE CARBONO PARA APLICACIONES TECNOLÓGICAS, Universidad Complutense de Madrid. ISBN: 978-84-692-2929-3.
- [13] V.H. Guerrero, J. Davila, S. Gales, P. Pontón, N Rosas. Quito 2011. NUEVOS MATERIALES: APLICACIONES ESTRUCTURALES E INDUSTRIALES, Primera Edición, ISBN: 978-9978-383-20-9
- [14] H. Villasis, Quito – EPN, 2011. TESIS “OBTENCIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS HÍBRIDOS DE MATRIZ POLIÉSTER REFORZADOS CON FIBRA DE VIDRIO Y ABACÁ MEDIANTE ESTRATIFICACIÓN”.
- [15] DIEZ, Agustín, INTRODUCCIÓN A LA RESINA POLIÉSTER COMO MATERIAL COMPUESTO, Suin S.A., Medellín Colombia, 2008, Pág 1-2
- [16] AOC Mexicana, Líder Mundial en Tecnología de Resinas.
Link: www.meresa@aoc-mexicana.com.mx
- [17] LASCANO, Alejandra. 2012. Tesis “ccd”

ANEXOS



ANDERPOL 836



Fecha de revisión: 03/04/07

Literatura Técnica

Fecha de entrega: 20/01/10

Revisión: 2

Generalidades

La resina **ANDERPOL 836** es una resina poliéster insaturado preacelerada y tixotrópica.

Presenta rápido curado y desarrollo de la dureza que, junto con una excelente impregnación en procesos de moldeo por contacto y aspersión minimizan los requerimientos de mano de obra y permiten obtener laminados de mejor desempeño mecánico, generando beneficios en reducción de costos y tiempos de proceso.

Campos de aplicación

Los laminados fabricados con **ANDERPOL 836** tienen muy buena resistencia al agua y excelentes propiedades mecánicas, haciéndola apropiada para fabricaciones artículos de construcción como tanques de bajo volumen, bañeras y autopartes entre otros tipos de laminaciones generales.

Formulación

Para curado a temperatura ambiente (Temperatura recomendada entre 20 - 25°C. No se recomienda trabajar por debajo de 15°C) se sugiere la siguiente formulación:

Partes en peso

ANDERPOL **836** 100

MEK peróxido

(9 % oxígeno. activo) 1.0 – 2.5

Debido a que la resina es preacelerada, sólo se requiere la adición de catalizador (MEK peróxido) para realizar el curado.

Curado

La temperatura ambiente y la cantidad de catalizador controlan el tiempo de gel de la resina **ANDERPOL 836**. El curado debe realizarse a temperaturas superiores a 15 °C, que es la temperatura mínima de activación de la reacción de reticulación. La catalización por debajo de ésta temperatura afecta notablemente las propiedades mecánicas de los laminados evitando el proceso de curado del producto.

Con el curado a temperatura ambiente (Temperatura recomendada entre 20 - 25 °C) se obtienen laminados satisfactorios para muchas aplicaciones. Sin embargo, cuando se requieren óptimas propiedades y buen desempeño a largo plazo, el laminado se debe postcurar mínimo durante un período de tres horas a 80 °C o por más tiempo a menor temperatura.

¹⁶ La información y recomendaciones que aparecen en esta publicación son, a nuestro entender enteramente confiables. Las sugerencias ofrecidas para usos o aplicaciones son solamente la opinión de andercol s.a. Los consumidores deberán hacer sus propias pruebas para determinar el comportamiento de estos productos en sus objetivos específicos.

Aditivos

La resina **ANDERPOL 836** se puede pigmentar hasta con 5 % (en peso) de nuestras pastas pigmento **Cristacolor**. Si se requieren laminados con retardancia al fuego se puede adicionar entre 10 % a 20 % (phr) de nuestra pasta retardante al fuego **Cristafuego 190**.

También puede cargarse hasta con 20 % (phr) de carbonato de calcio u otra carga mineral.

Debe tenerse en cuenta el efecto que cualquier aditivo tiene sobre las características de manejo de las resinas y sobre las propiedades finales del producto terminado antes de implementar la producción a nivel industrial. Si requiere de alguna formulación especial debe consultar al personal de Marketing Técnico en andercol s.a.

Manipulación y almacenamiento

La información detallada para el manejo seguro de este material se encuentra en la respectiva Hoja de Seguridad de Materiales.

Asistencia técnica

La parte primordial de cada producto de andercol s.a. es el soporte técnico que garantizamos a nuestro cliente.

Cada despacho de nuestros productos está respaldado por un laboratorio de servicio técnico con personal altamente calificado, el cual, con un conocimiento completo de los procesos, trabaja con una gran variedad de equipos de laboratorio y planta piloto

La resina **ANDERPOL 836** está clasificada como "líquido inflamable" según código NFPA 30 (división 3.3.25.2), por tener un punto de inflamación de 31 °C en crisol cerrado. Debe mantenerse alejado de llamas abiertas.

Se suministra en tambores metálicos de 230 Kg.

La resina **ANDERPOL 836** tiene un tiempo de vida equivalente a seis meses desde el momento de su fabricación, siempre y cuando el producto esté almacenado a condiciones de temperatura (25°C) y humedad (menor a 80%) adecuadas para obtener una mejor estabilidad.

Dada la naturaleza química de este producto, se presentará la separación y precipitación de partículas durante el almacenamiento. Se recomienda agitar el producto antes de su utilización, tener una buena limpieza de equipos y boquillas de aspersión para evitar problemas en la aplicación.

para proveer los datos necesarios y obtener así el mejor comportamiento de nuestros productos. Éste laboratorio además de servir de soporte a las aplicaciones existentes está encargado de desarrollar nuevos usos para los productos fabricados por andercol s.a. El usuario de a nuestros productos será siempre el beneficiario de ésta constante búsqueda de mejores métodos y tecnologías.

Datos técnicos

Propiedad	Norma	Unidad	Valores
Propiedades físicas y químicas de ANDERPOL 836 líquida			
Apariencia	ASTM D2090		Azul Turbia
Viscosidad 1	ASTM D2196	cps @ 25 °C	1400 -170 0
Viscosidad 2	ASTM D2196	cps @ 25 °C	400 - 6 00
Índice tixotrópico	ASTM D2196		2.2 – 3.8
Sólidos	ASTM D1259	% nvm	54 – 56
Peso específico	ASTM D1963	@ 25 °C	1.109-1.111

Reactividad con 100 g de **ANDERPOL 836** y 1.0 ml del MEK peróxido BUTANOX M-50 o NOROX 9 (9 % de oxígeno activo)

Tiempo de gel	ASTM D2471	min @ 25 °C	9-12
Tiempo de máxima exoterma		min @ 25 °C	20-50
Temperatura de máxima exoterma		°C	130-160

Propiedades mecánicas de **ANDERPOL 836** sin reforzar y postcurada a 24 horas a 20°C, 3 horas @ 80°C

Dureza	ASTM D2583	Barcol	38-42
Contracción volumétrica	ASTM D955	%	3
Resistencia a tracción	ASTM D638	MPa	53
Módulo a la tracción	ASTM D638	GPa	2.9
Elongación a tracción	ASTM D638	% @ 25 °C	5
Resistencia a flexión	ASTM D790	MPa	94
Módulo a la flexión	ASTM D790	GPa	3.2

Propiedades mecánicas de **ANDERPOL 836** reforzada y postcurada a 24 horas a 20°C, 3 horas @ 80°C

Resistencia a tracción	ASTM D638	MPa	108
Módulo a la tracción	ASTM D638	GPa	-----
Elongación a tracción	ASTM D638	% @ 25 °C	1.9
Resistencia a flexión	ASTM D790	MPa	244
Módulo a la flexión	ASTM D790	GPa	7.7

andercol s.a. no da garantías de tipo alguno exceptuando las que se ajustan a las especificaciones estándar del producto.

andercol s.a. se reserva el derecho de modificar esta literatura técnica sin previo aviso.

¹⁷ La información y recomendaciones que aparecen en esta publicación son, a nuestro entender enteramente confiables. Las sugerencias ofrecidas para usos o aplicaciones son solamente la opinión de andercol s.a. Los consumidores deberán hacer sus propias pruebas para determinar el comportamiento de estos productos en sus objetivos específicos.

Anexo 2: Ficha Técnica de Fibra de Vidrio

P20 Powder Chopped Strand Mat is made of randomly distributed chopped E6 glass strands held together by a powder binder.

P20 is compatible with unsaturated polyester, vinyl ester, epoxy and phenolic resins.

P20 is designed mainly for use in the hand lay-up process and also suitable for use in filament winding, compression molding and continuous laminating processes. Its end-use applications include boats, bath equipment, automotive parts, chemical corrosion resistant pipes, tanks, cooling towers and building components.



Product Features

Soft mat, ease of manual tearing apart, good conformability

Good wet-through and fast wet-out in resins, rapid air release

reducing rolling out time and increasing productivity ow resin consumption

High mechanical strength of the composite products

Superior acid corrosion resistance

Product Specifications

Property	Area Weight (%)	Moisture Content (%)	Size Content (%)	Breakage Str (N)
Methods	ISO 3374	ISO 3344	ISO1887	ISO 334
EMC225	±7.5	±0.20	4.5±1.5	≥60
EMC300	±7.5	±0.20	3.5±1.1	≥80
EMC375	±7.5	±0.20	2.8±0.9	≥100
EMC450	±7.5	±0.20	2.5±0.8	≥120
EMC600	±7.5	±0.20	2.4±0.8	≥150
EMC900	±7.5	±0.20	2.1±0.6	≥200

Unless otherwise specified, powder chopped strand mats should be stored in a cool, dry, water-proof area. It is recommended that the room temperature and humidity be always maintained at 15°C to 35 °C and 35% to 65% respectively.

Packaging

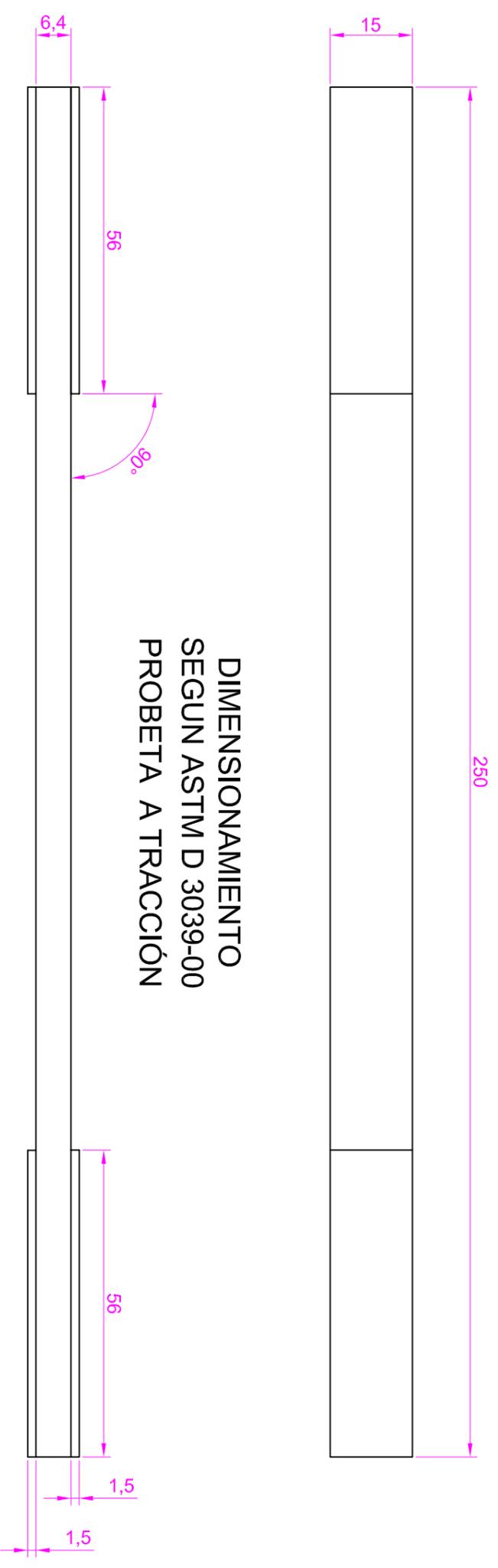
Each Powder Chopped Strand Mat is wound onto a paper tube which has an inside diameter of 90mm. The roll outside diameter is approximately 265mm.

Storage

Each roll is wrapped up in plastic film and then packed in a cardboard box. The rolls are stacked horizontally or vertically onto pallets. All pallets are stretch wrapped and strapped to maintain stability during transport.

Size	1040		1270		1024	
	Length, m	Weight, kg	Length, m	Weight, kg	Length, m	Weight, kg
EMC225	119.7	28	119.7	34	119.7	41
EMC300	96.2	30	96.2	37	96.2	44
EMC375	76.9	30	76.9	37	76.9	44
EMC450	79.1	37	79.1	45	79.1	54
EMC600	59.3	37	59.3	45	59.3	54
EMC900	39.5	37	39.5	45	39.5	54





**DIMENSIONAMIENTO
 SEGUN ASTM D 3039-00
 PROBETA A TRACCION**

**APLICACION DE CARGA
 SEGUN ASTM D 3039-00
 PROBETA A TRACCION**

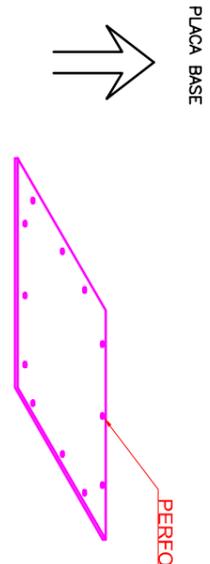
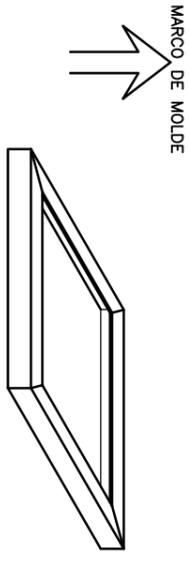
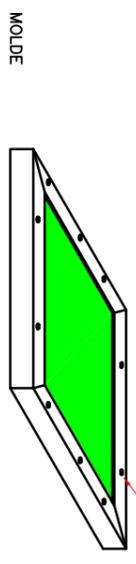
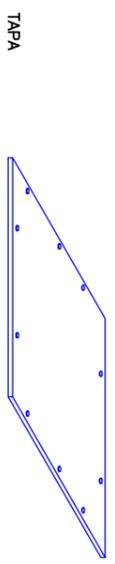
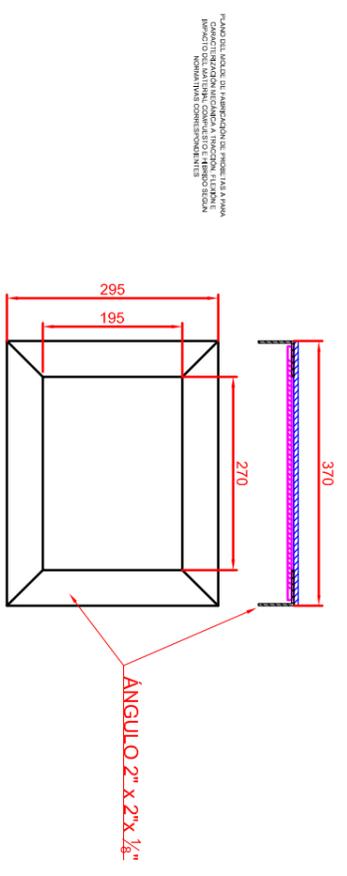


**MATERIAL
 COMPUESTO
 O HIBRIDO**

**SOBREMONTA
 DE AGARRE
 LIJA # 80**

1	2	3	4	5	6	7	8																																																								
A	B	C	D	E	F	A	B																																																								
<p>TOLERANCIAS GENERALES PARA DIMENSIONES LINEALES</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>CLASES DE TOLERANCIAS</th> <th>DESVIACION ADMISIBLE RESPECTO AL NOMINAL (en milímetros)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Designación</td> <td>Descripción</td> <td>0,51 hasta 3</td> <td>0,1 hasta 6</td> <td>0,15 hasta 30</td> <td>0,2 hasta 120</td> <td>0,3 hasta 400</td> <td>0,5 hasta 1200</td> <td>0,5 hasta 2000</td> <td>1 hasta 4000</td> </tr> <tr> <td>f</td> <td>Fina</td> <td>± 0,05</td> <td>± 0,08</td> <td>± 0,1</td> <td>± 0,15</td> <td>± 0,2</td> <td>± 0,3</td> <td>± 0,5</td> <td>± 1</td> </tr> <tr> <td>m</td> <td>Media</td> <td>± 0,1</td> <td>± 0,1</td> <td>± 0,2</td> <td>± 0,3</td> <td>± 0,5</td> <td>± 0,8</td> <td>± 1,2</td> <td>± 2</td> </tr> <tr> <td>c</td> <td>Gruesa</td> <td>± 0,2</td> <td>± 0,3</td> <td>± 0,5</td> <td>± 0,8</td> <td>± 1,2</td> <td>± 2</td> <td>± 3</td> <td>± 4</td> </tr> <tr> <td>v</td> <td>Muy Gruesa</td> <td>± 0,5</td> <td>± 1</td> <td>± 1,5</td> <td>± 2,5</td> <td>± 4</td> <td>± 6</td> <td>± 8</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>				CLASES DE TOLERANCIAS	DESVIACION ADMISIBLE RESPECTO AL NOMINAL (en milímetros)	Designación	Descripción	0,51 hasta 3	0,1 hasta 6	0,15 hasta 30	0,2 hasta 120	0,3 hasta 400	0,5 hasta 1200	0,5 hasta 2000	1 hasta 4000	f	Fina	± 0,05	± 0,08	± 0,1	± 0,15	± 0,2	± 0,3	± 0,5	± 1	m	Media	± 0,1	± 0,1	± 0,2	± 0,3	± 0,5	± 0,8	± 1,2	± 2	c	Gruesa	± 0,2	± 0,3	± 0,5	± 0,8	± 1,2	± 2	± 3	± 4	v	Muy Gruesa	± 0,5	± 1	± 1,5	± 2,5	± 4	± 6	± 8		<p>Denominación: PROBETA A TRACCION SEGUN ASTM D3039</p>				<p>Tratamiento térmico: Ninguno</p>			
CLASES DE TOLERANCIAS	DESVIACION ADMISIBLE RESPECTO AL NOMINAL (en milímetros)																																																														
Designación	Descripción	0,51 hasta 3	0,1 hasta 6	0,15 hasta 30	0,2 hasta 120	0,3 hasta 400	0,5 hasta 1200	0,5 hasta 2000	1 hasta 4000																																																						
f	Fina	± 0,05	± 0,08	± 0,1	± 0,15	± 0,2	± 0,3	± 0,5	± 1																																																						
m	Media	± 0,1	± 0,1	± 0,2	± 0,3	± 0,5	± 0,8	± 1,2	± 2																																																						
c	Gruesa	± 0,2	± 0,3	± 0,5	± 0,8	± 1,2	± 2	± 3	± 4																																																						
v	Muy Gruesa	± 0,5	± 1	± 1,5	± 2,5	± 4	± 6	± 8																																																							
<p>Tolerancias Media</p>				<p>Peso _ Kg.</p>				<p>Observaciones:</p>																																																							
<p>ACTV/ FECHA</p>				<p>NOMBRE</p>				<p>Proyección</p>																																																							
<p>Dib. Sep 2012</p>				<p>Ing. J. Paredes</p>				<p>Escala</p>																																																							
<p>Rev. Sep 2012</p>				<p>Ing. J. Paredes</p>				<p>1 : 1</p>																																																							
<p>Apr. Sep 2012</p>				<p>Ing. J. Paredes</p>				<p>Dimensiones Lámina</p>																																																							
<p>Verif. Sep 2012</p>				<p>---</p>				<p>1 de 4</p>																																																							
<p>Edición</p>				<p>Modificación</p>				<p>Fecha</p>																																																							
<p>Número</p>				<p>UTA</p>				<p>mm</p>																																																							

CONSTRUCCIÓN DEL MOLDE (Anexo n.n)			
#	Parte	Detalle	Observaciones
1	Marco	Rayado y Corte del perfil L y encuadramiento del perímetro que formara la estructura	
		Soldadura previa para verificación de aristas y nivel de la superficie exterior	
		Soldadura de remate según Plano n.n	
		Rayado y Corte de la plancha base (360 x 285)mm	\$ 1,2 c/m²
		Biselado de las aristas vivas de la placa base para no encontrar interferencia con el radio interno del perfil L del marco	
2	Placa Base	Perforación de diámetro $\frac{3}{8}$ " en seis $\frac{1}{2}$ partes de la plancha considerando que deben coincidir en la superficie interna del marco para su ubicación de esta. Ubicación y soldado en la parte interna dejada por el perímetro del perfil L del marco	
		Soldadura de 8 tuercas para perno $\frac{7}{16}$ " en la parte inferior de la placa base para ajuste de tapa.	
		Rayado y corte de la tapa del molde (370 x 295)mm	
3	Tapa	Biselado de las aristas del contorno del molde	
		Perforado (ocho) de $\frac{7}{16}$ "	



Tolerancias Media		Peso _ Kg.		Denominación: CONSTRUCCION DEL MOLDE	
ACTV	FECHA	NOMBRE		Recurrimiento: Ninguno	
Dib.	Sep 2012	Ing. J. Paredes		Tratamiento térmico: Ninguno	
Rev.	Sep 2012	Ing. J. Paredes		Proyección Escala	
Apr.	Sep 2012	Ing. J. Paredes		1 : 10	
Verif.	Sep 2012	---		Observaciones:	
Edición		Modificación		Fecha	
Nom bre		UTA		Dimensiones mm	

TOLERANCIAS GENERALES PARA DIMENSIONES LINEALES

CLASES DE TOLERANCIAS DESVIACION ADMISIBLE RESPECTO AL NOMINAL (en milímetros)

Designación	Descripción	0,51 hasta 3	3 hasta 6	6 hasta 30	30 hasta 120	120 hasta 400	400 hasta 1200	1200 hasta 2000	2000 hasta 4000
f	Fina	± 0,05	± 0,05	± 0,1	± 0,15	± 0,2	± 0,3	± 0,5	± 1,2
m	Media	± 0,1	± 0,1	± 0,2	± 0,3	± 0,5	± 0,8	± 1,2	± 2
c	Gruesa	± 0,2	± 0,3	± 0,5	± 0,8	± 1,2	± 2	± 3	± 4
v	Muy Gruesa	± 0,5	± 1	± 1,5	± 2,5	± 4	± 6	± 8	---

OBJETIVO:	Proporcionar al personal una guía para la preparación de Gel Coat que se utiliza en la fabricación de piezas de resina poliéster reforzada con fibra de vidrio.	RESPONSABLE EJECUCION:	Operario Fibra de Vidrio
------------------	---	-------------------------------	--------------------------

DETALLE DE ACTIVIDADES:

1. Colocar el tanque de la resina en la posición indicada para añadir el producto al recipiente vacío.



2. Colocar la cantidad requerida de resina en el recipiente.



3. En un recipiente vacío colocar cobalto en la relación de 2 a 1cc por 2.4 Kg. De resina diluida 1 cc cobalto (60 Kg. a 24 cc de cobalto.)



4. Añadir el cobalto en la resina.



5. Agitar la mezcla con el taladro móvil, hasta que el cobalto se combine completamente con la resina (350 RPM.)



6. Añadir 1kg de tinte color negro (T-8113) a la mezcla.



Fecha de Revisión	Elaborado por:	Aprobado por:	No. Página
14 – Ene. – 10	<u>Gerente de Planta Estructuras y Revestimiento Exterior</u>	Gerente de Producción	(Nº)

7. Añadir 2kg de tinte color blanco (T-8114) a la mezcla.

Si se necesita variar el tono del color de la mezcla a más oscuro o más claro se varía la cantidad de tintes ya que esto no modifica en absoluto las propiedades de la mezcla.



8. Agitar la mezcla con el taladro móvil, hasta que los tintes se combinen completamente con la mezcla (350 RPM.)



9. Añadir en un 1 kg resina diluida 0.007 kg de Aerosil (60 kg resina 0.4 kg Aerosilcada).



10. Agitar la mezcla con el taladro móvil (350 RPM.), hasta que el Aerosil se combine completamente con la mezcla.



11. Añadir en un 1 kg resina diluida 0.167 kg de Talco (60 kg resina 10 kg Talco).



12. Agitar la mezcla con el taladro móvil aproximadamente de 3 a 4 horas para que el Aerosil se disuelva completamente (350 RPM.)



Fecha de Revisión	Elaborado por:	Aprobado por:	No. Página
14 - Ene. - 10	<u>Gerente de Planta Estructuras y Revestimiento Exterior</u>	Gerente de Producción	<Nº>

OBJETIVO: Proporcionar al personal una guía para la preparación de Resina que se utiliza que en la fabricación de piezas de resina poliéster reforzada con fibra de vidrio.

RESPONSABLE EJECUCION: Operario Fibra de Vidrio

DETALLE DE ACTIVIDADES:

1. Solicitar orden de producción a Gerente de Planta Estructuras y Revestimiento Exterior.
2. Colocar el tanque de la resina en la posición indicada para añadir el producto al recipiente vacío.



3. Añadir 1kg. de estireno por 4 Kg. de resina (es decir 25kg. de estireno por 100 Kg. de resina.)



4. A medida que se va añadiendo el estireno, agitar la mezcla para que se combinen los 2 productos.



5. Continuar agitando la mezcla hasta que ésta quede completamente uniforme.



Fecha de Revisión	Elaborado por:	Aprobado por:	No. Página
14 - Ene. - 10	<u>Gerente de Planta Estructuras y Revestimiento Exterior</u>	Gerente de Producción	(Nº)

6. Con un recipiente adecuado, colocar de 3 a 1 cc de cobalto por 3 Kg. de resina diluida 1 cc de cobalto (en 60Kg. aplicar 20cc de cobalto.)



7. Añadir el cobalto a la resina diluida.



8. Agitar la mezcla con un taladro móvil (350 RPM.) hasta que el cobalto se disuelva completamente en la resina diluida.



Fecha de Revisión	Elaborado por:	Aprobado por:	No. Página
14 – Ene. – 10	<u>Gerente de Planta Estructuras y Revestimiento Exterior</u>	Gerente de Producción	(Nº)



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

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

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.

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, $[Q]$ 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, $e^{transition}$ [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^{su} —ultimate shear strength in the test direction.

3.3.8 h —coupon thickness.

3.3.9 L_g —extensometer gage length.

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

3.3.11 n —number of coupons per sample population.

3.3.12 P —load carried by test coupon.

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

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

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

3.3.16 w —coupon width.

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

3.3.18 \bar{x} —mean or average (estimate of mean) of a sample population for a given property.

3.3.19 d —extensional displacement.

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

3.3.21 e —indicated normal strain from strain transducer or extensometer.

3.3.22 s —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 $62.5 \mu\text{m}$ [60.0001 in.] is adequate for thickness measurement, while an instrument with an accuracy of $625 \mu\text{m}$ [60.001 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 61 % 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 [$25 \text{ serrations/in.}$], 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

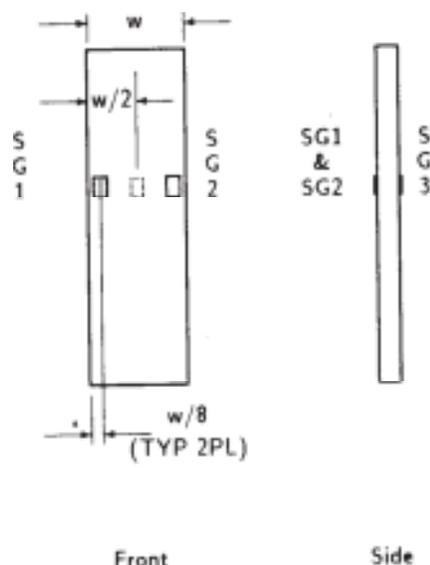


FIG. 1 Gage Locations for System Alignment Check Coupon

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.

$$B_y \leq \frac{e_{ave} \sum e_3}{e_{ave}} \leq 100 \quad (1)$$

$$B_z \leq \frac{4/3 \sum e_2 \sum e_1}{e_{ave}} \leq 100 \quad (2)$$

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, %;

e_1 , e_2 , and e_3 = indicated longitudinal strains displayed by Gages 1, 2, and 3, respectively, of Fig. 1, $\mu\epsilon$; and

e_{ave} = $(|e_1 + |e_2|)/2 + |e_3|/2$.

The total bending component is:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

8. Sampling and Test Specimens

8.1 *Sampling*—Test at least five specimens per test condition unless valid results can be gained through the use of fewer specimens, such as in the case of a designed experiment. For statistically significant data, the procedures outlined in Practice E 122 should be consulted. Report the method of sampling.

NOTE 4—If specimens are to undergo environmental conditioning to equilibrium, and are of such type or geometry that the weight change of the material cannot be properly measured by weighing the specimen itself (such as a tabbed mechanical coupon), then use another traveler coupon of the same nominal thickness and appropriate size (but without tabs) to determine when equilibrium has been reached for the specimens being conditioned.

8.2 *Geometry*—Design of mechanical test coupons, especially those using end tabs, remains to a large extent an art rather than a science, with no industry consensus on how to approach the engineering of the gripping interface. Each major composite testing laboratory has developed gripping methods for the specific material systems and environments commonly encountered within that laboratory. Comparison of these methods shows them to differ widely, making it extremely difficult to recommend a universally useful approach or set of approaches. Because of this difficulty, definition of the geometry of the test coupon is broken down into the following three levels, which are discussed further in each appropriate section:

Purpose	Degree of Geometry Definition
8.2.1 General Requirements	Mandatory Shape and Tolerances
8.2.2 Specific Recommendations	Nonmandatory Suggested Dimensions
8.2.3 Detailed Examples	Nonmandatory Typical Practices

8.2.1 General Requirements:

8.2.1.1 *Shape, Dimensions, and Tolerances*—The complete list of requirements for specimen shape, dimensions, and tolerances is shown in Table 1.

8.2.1.2 *Use of Tabs*—Tabs are not required. The key factor in the selection of specimen tolerances and gripping methods is the successful introduction of 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 toleranced coupon drawing. Therefore, recommendations on other important dimensions are provided for typical material configurations in Table 2. These geometries have been found by a number of testing laboratories to produce acceptable failure modes on a wide variety of material systems, but use of them does not guarantee success for every existing or future material system.

8.2.2.2 *Gripping/Use of Tabs*—There are many material configurations, such as multidirectional laminates, fabric-based materials, or randomly reinforced sheet-molding compounds, which can be successfully tested without tabs. However, tabs are strongly recommended when testing unidirectional materials (or strongly unidirectionally dominated laminates) to failure in the fiber direction. Tabs may also be required when testing unidirectional materials in the matrix direction to prevent gripping damage.

8.2.2.3 *Tab Geometry*—Recommendations on important dimensions are provided for typical material configurations in Table 2. These dimensions have been found by a number of testing laboratories to produce acceptable failure modes on a wide variety of material systems, but use of them does not guarantee success for every existing or future material system. The selection of a tab configuration that can successfully produce a gage section tensile failure is dependent upon the coupon material, coupon ply orientation, and the type of grips being used. When pressure-operated nonwedge grips are used with care, squared-off 90° tabs have been used successfully. Wedge-operated grips have been used most successfully with tabs having low bevel angles (7 to 10°) and a feathered smooth transition into the coupon. For alignment purposes, it is essential that the tabs be of matched thickness.

8.2.2.4 *Friction Tabs*—Tabs need not always be bonded to the material under test to be effective in introducing the load into the specimen. Friction tabs, essentially nonbonded tabs held in place by the pressure of the grip, and often used with emery cloth or some other light abrasive between the tab and the coupon, have been successfully used in some applications. In specific cases, lightly serrated wedge grips (see Note 2) have been successfully used with only emery cloth as the interface between the grip and the coupon. However, the abrasive used

TABLE 2 Tensile Specimen Geometry Recommendations^A

Fiber Orientation	Width, mm [in.]	Overall Length, mm [in.]	Thickness, mm [in.]	Tab Length, mm [in.]	Tab Thickness, mm [in.]	Tab Bevel Angle, °
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:

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

where:

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

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

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

8.3 Specimen Preparation:

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

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

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

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

9. Calibration

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

10. Conditioning

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

11. Procedure

11.1 Parameters To Be Specified Before Test:

- 11.1.1 The tension specimen sampling method, coupon type and geometry, and conditioning travelers (if required).
- 11.1.2 The tensile properties and data reporting format desired.

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

11.1.3 The environmental conditioning test parameters.

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

11.2 General Instructions:

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

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 Y14.5M-1982, SUBJECT TO THE FOLLOWING:
2. ALL DIMENSIONS IN MILLIMETRES WITH DECIMAL TOLERANCES AS FOLLOWS:

NO DECIMAL	.X	.XX
± 3	± 1	± 3
3. ALL ANGLES HAVE TOLERANCE OF $\pm 5^\circ$.
4. PLY ORIENTATION DIRECTION TOLERANCE RELATIVE TO [0] WITHIN $\pm 5^\circ$.
5. FINISH ON MACHINED EDGES NOT TO EXCEED $3.2\sqrt{r}$ (SYMBOLY IN ACCORDANCE WITH ASA B46.1), WITH ROUNDNESS HEIGHT IN MICROMETRES.)
6. VALUES TO BE PROVIDED FOR THE FOLLOWING, SUBJECT TO ANY RANGES SHOWN ON THE FIELD OF DRAWING: MATERIAL, LAY-UP, PLY ORIENTATION REFERENCE RELATIVE TO [-A], OVERALL LENGTH, GAGE LENGTH, COUPON THICKNESS, TAB MATERIAL, TAB THICKNESS, TAB LENGTH, TAB BEVEL ANGLE, TAB ADHESIVE.
7. NO ADHESIVE BUILDUP ALLOWED IN THIS AREA.

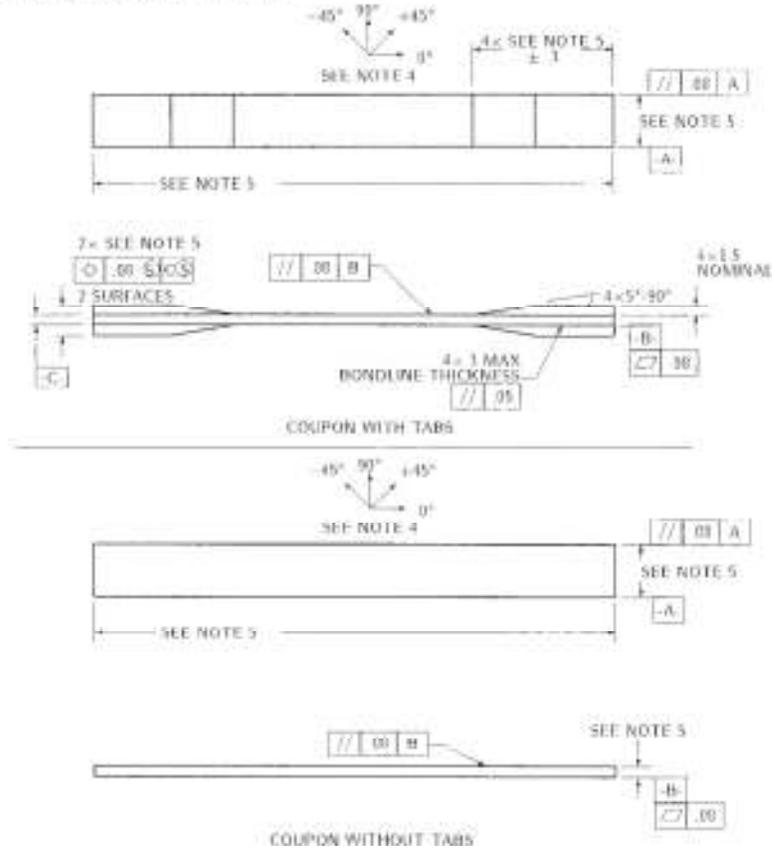


FIG. 2 Tension Test Specimen Drawing (SI)

11.2.2 If specific gravity, density, reinforcement volume, or void volume are to be reported, then obtain these samples from the same panels being tension tested. Specific gravity and density may be evaluated by means of Test Methods D 792. Volume percent of the constituents may be evaluated by one of the matrix digestion procedures of Test Method D 3171, or, for certain reinforcement materials such as glass and ceramics, by the matrix burn-off technique of Test Method D 2584. The void content equations of Test Methods D 2734 are applicable to both Test Method D 2584 and the matrix digestion procedures.

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

11.3 *Speed of Testing*—Set the speed of testing to effect a nearly constant strain rate in the gage section. If strain control is not available on the testing machine, this may be approximated by repeated monitoring and adjusting of the rate of load application to maintain a nearly constant strain rate, as mea-

sured by strain transducer response versus time. The strain rate should be selected so as to produce failure within 1 to 10 min. If the ultimate strain of the material cannot be reasonably estimated, initial trials should be conducted using standard speeds until the ultimate strain of the material and the compliance of the system are known, and the strain rate can be adjusted. The suggested standard speeds are:

11.3.1 *Strain-Controlled Tests*—A standard strain rate of 0.01 min^{-1} .

11.3.2 *Constant Head-Speed Tests*—A standard head displacement rate of 2 mm/min [0.05 in./min].

NOTE 6—Use of a fixed head speed in testing machine systems with a high compliance may result in a strain rate that is much lower than required. Use of wedge grips can cause extreme compliance in the system, especially when using compliant tab materials. In some such cases, actual strain rates 10 to 50 times lower than estimated by head speeds have been observed.

11.4 *Test Environment*—Condition the specimen to the desired moisture profile and, if possible, test under the same conditioning fluid exposure level. However, cases such as

DRAWING NOTES:

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

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

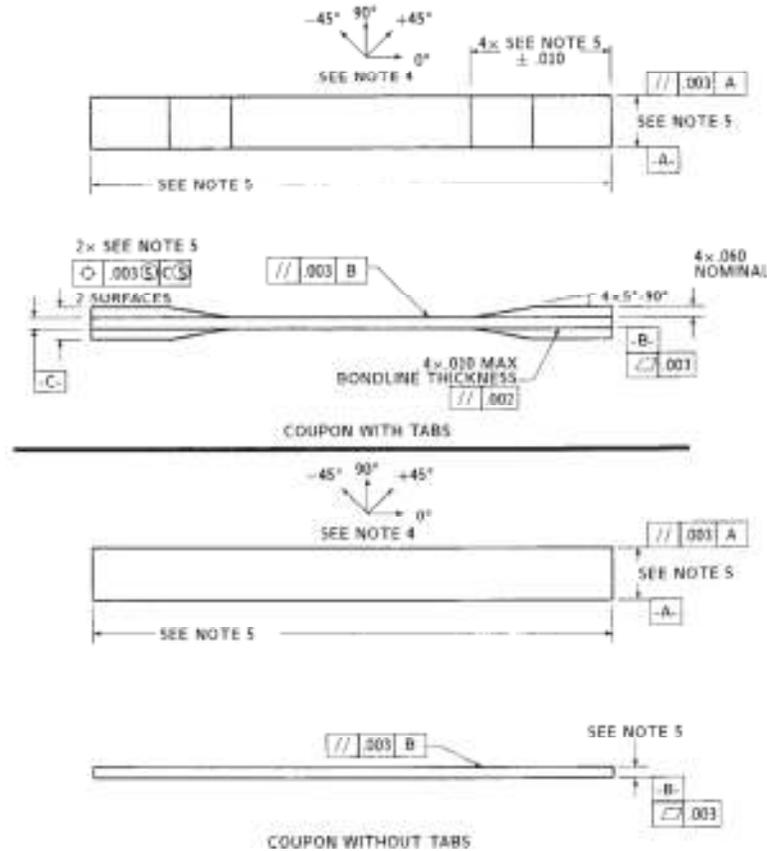


FIG. 3 Tension Test Specimen Drawing (inch-pound)

elevated temperature testing of a moist specimen place unrealistic requirements on the capabilities of common testing machine environmental chambers. In such cases, the mechanical test environment may need to be modified, for example, by testing at elevated temperature with no fluid exposure control, but with a specified limit on time to failure from withdrawal from the conditioning chamber. Modifications to the test environment shall be recorded.

11.4.1 Store the specimen in the conditioned environment until test time, if the testing area environment is different than the conditioning environment.

11.5 *Specimen Insertion*—Place the specimen in the grips of the testing machine, taking care to align the long axis of the gripped specimen with the test direction. Tighten the grips, recording the pressure used on pressure controllable (hydraulic or pneumatic) grips.

NOTE 7—The ends of the grip jaws on wedge-type grips should be even with each other following insertion to avoid inducing a bending moment that results in premature failure of the specimen at the grip. When using

untabbed specimens, a folded strip of medium grade (80 to 150 grit) emery cloth between the specimen faces and the grip jaws (grit-side toward specimen) provides a nonslip grip on the specimen without jaw serration damage to the surface of the specimen. When using tabbed specimens, insert the coupon so that the grip jaws extend approximately 10 to 15 mm [0.5 in.] past the beginning of the tapered portion of the tab. Coupons having tabs that extend beyond the grips are prone to failure at the tab ends because of excessive interlaminar stresses.

11.6 *Transducer Installation*—If strain response is to be determined attach the strain-indication transducer(s) to the specimen, symmetrically about the mid-span, mid-width location. Attach the strain-recording instrumentation to the transducers on the specimen.

11.6.1 When determining modulus of elasticity, it is recommended that at least one specimen per like sample be evaluated with back-to-back axial transducers to evaluate the percent bending, using Eq 5, at the average axial strain checkpoint value (the mid range of the appropriate chord modulus strain range) shown in Table 3. A single transducer can be used if the

TABLE 3 Specimen Alignment and Chord Modulus Calculation Strain Ranges

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

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

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

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

$$B_y \leq \frac{|e_f - 2e_b|}{|e_f + e_b|} \quad (5)$$

where:

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

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

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

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

11.9 *Failure Mode*—Record the mode and location of failure of the specimen. Choose, if possible, a standard description using the three-part failure mode code that is shown in Fig. 4.

11.10 *Grip/Tab Failures*—Reexamine the means of load introduction into the material if a significant fraction of failures in a sample population occur within one specimen width of the tab or grip. Factors considered should include the tab alignment, tab material, tab angle, tab adhesive, grip type, grip pressure, and grip alignment.

12. Calculation

12.1 *Tensile Stress/Tensile Strength*—Calculate the ultimate tensile strength using Eq 6 and report the results to three significant figures. If the tensile modulus is to be calculated, determine the tensile stress at each required data point using Eq 7.

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

$$s_i \leq P_i/A \quad (7)$$

where:

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

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

$$e_i \leq d_i/L_g \quad (8)$$

where:

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

12.3 Tensile Modulus of Elasticity:

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

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

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

$$E^{chord} \leq Ds/De \quad (9)$$

where:

E^{chord} = tensile chord modulus of elasticity, GPa [psi];
 Ds = difference in applied tensile stress between the two strain points of Table 3, MPa [psi]; and
 De = 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,

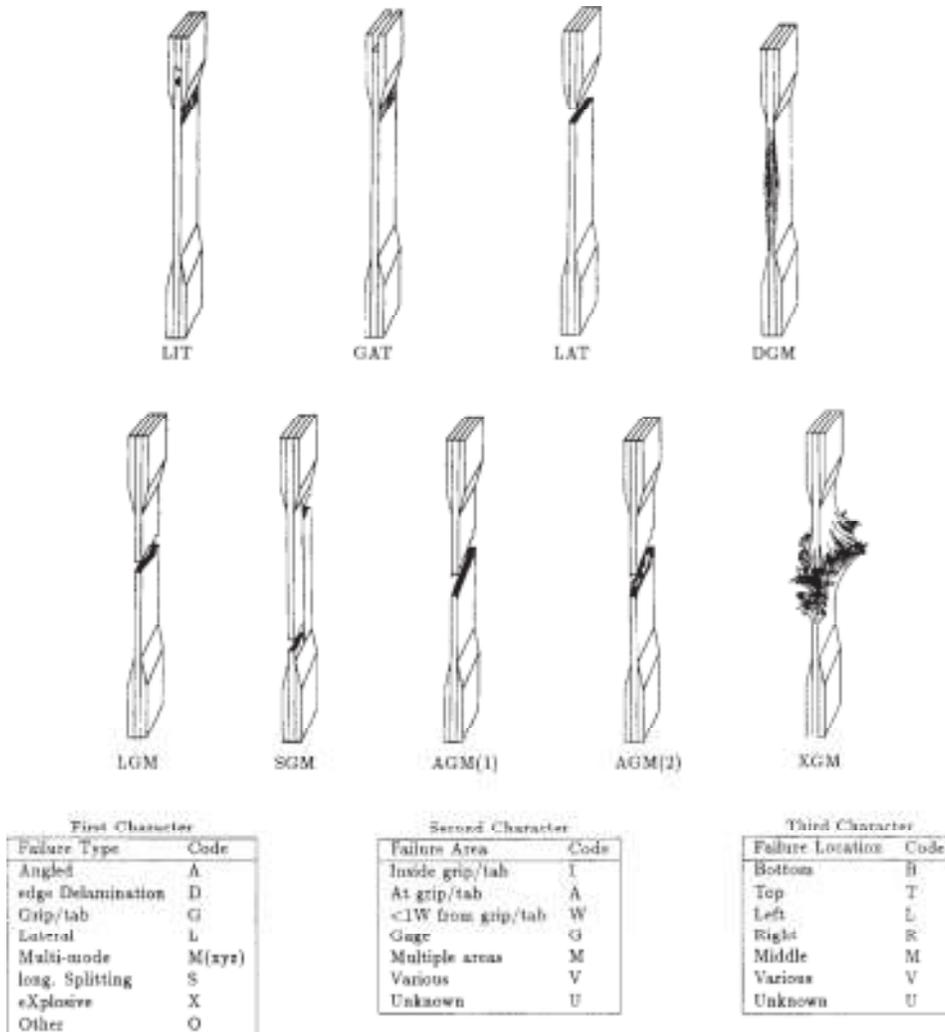


FIG. 4 Tensile Test Failure Codes/Typical Modes

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

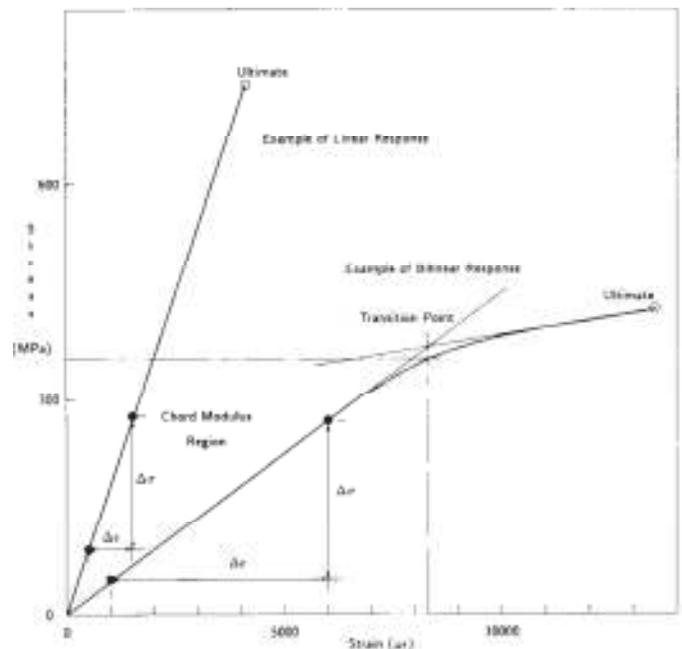


FIG. 5 Typical Tensile Stress-Strain Curves

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

$$\nu = 2De_l/De_t \quad (10)$$

where:

ν = Poisson's ratio;

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

De_l = difference between the two longitudinal strain points of Table 3 (nominally either 0.001, 0.002, or 0.005).

12.4.2 *Tensile Poisson's Ratio (Other Definitions)*—Other definitions of Poisson's ratio may be evaluated and reported at the user's direction. If such data is generated and reported, report also the definition used, the strain range used, and the results to three significant figures. Test Method E 132 provides additional guidance in the determination of Poisson's ratio.

12.5 *Transition Strain*—Where applicable, determine the transition strain from either the bilinear longitudinal stress versus longitudinal strain curve or the bilinear transverse strain versus longitudinal strain curve. Create a best linear fit or chord line for each of the two linear regions and extend the lines until they intersect. Determine to three significant digits the longitudinal strain that corresponds to the intersection point and record this value as the transition strain. Report also the method of linear fit (if used) and the strain ranges over which the linear fit or chord lines were determined. A graphical example of transition strain is shown in Fig. 5.

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

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

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

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

where:

\bar{x} = sample mean (average);

s_{n-1} = sample standard deviation;

CV = sample coefficient of variation, in percent;

n = number of specimens; and

x_i = measured or derived property.

13. Report

13.1 Report the following information, or references pointing to other documentation containing this information, to the maximum extent applicable (reporting of items beyond the control of a given testing laboratory, such as might occur with material details or panel fabrication parameters, shall be the responsibility of the requestor):

13.1.1 The revision level or date of issue of this test method.

13.1.2 The date(s) and location(s) of the test.

13.1.3 The name(s) of the test operator(s).

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

13.1.5 Identification of the material tested including: material specification, material type, material designation, manufacturer, manufacturer's lot or batch number, source (if not from manufacturer), date of certification, expiration of certification, filament diameter, tow or yarn filament count and twist, sizing, form or weave, fiber areal weight, matrix type, prepreg matrix content, and prepreg volatiles content.

13.1.6 Description of the fabrication steps used to prepare the laminate including: fabrication start date, fabrication end date, process specification, cure cycle, consolidation method, and a description of the equipment used.

13.1.7 Ply orientation stacking sequence of the laminate.

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

13.1.9 Average ply thickness of the material.

13.1.10 Results of any nondestructive evaluation tests.

13.1.11 Method of preparing the test specimen, including specimen labeling scheme and method, specimen geometry, sampling method, coupon cutting method, identification of tab geometry, tab material, and tab adhesive used.

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

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

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

13.1.15 Dimensions of each test specimen.

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

13.1.17 Relative humidity and temperature of the testing laboratory.

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

13.1.19 Number of specimens tested.

13.1.20 Speed of testing.

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

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

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

13.1.24 Percent bending results for each specimen so evaluated.

13.1.25 Individual strengths and average value, standard deviation, and coefficient of variation (in percent) for the population. Note if the failure load was less than the maximum load before failure.

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

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

13.1.28 If another definition of modulus of elasticity is used in addition to chord modulus, describe the method used, the resulting correlation coefficient (if applicable), and the strain range used for the evaluation.

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

13.1.30 If another definition of Poisson's ratio is used in addition to the chordwise definition, describe the method used, the resulting correlation coefficient (if applicable), and the strain range used for the evaluation.

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

13.1.32 If transition strain is determined, the method of linear fit (if used) and the strain ranges over which the linear fit or chord lines were determined.

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

13.1.34 Failure mode and location of failure for each specimen.

14. Precision and Bias

14.1 Precision:

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

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

14.1.3 Material factors that can affect test results include: material quality and representativeness, sampling scheme, and specimen preparation (dimensional accuracy, tab material, tab taper, tab adhesive, and so forth).

14.1.4 The mean tensile strength for a strain rate sensitive, glass/epoxy tape composite testing in the fiber direction was found to increase by approximately two standard deviations with decreasing time to failure tested at the limits of the recommended time to failure prescribed in Test Method D 3039/D 3039M. This result suggest that caution must be used when comparing test data obtained for strain rate sensitive composite materials tested in accordance with this standard.

14.1.5 Measurement errors arise from the use of specialized measuring instruments such as load cells, extensometers and strain gages, micrometers, data acquisition devices, and so forth.

14.1.6 Data obtained from specimens that fracture outside the gage are should be used with caution as this data may not be representative of the material. Failure in the grip region indicates the stress concentration at the tab is greater than the

natural strength variation of the material in the gage section. A tapered tab, bonded with a ductile low-modulus adhesive has a relatively low-stress concentration and should result in the lowest frequency of grip failures. Low-strength bias increases with the frequency of grip failures by an amount proportional to the stress concentration at the tab.

14.1.7 An interlaboratory test program was conducted where an average of five specimens each, of six different materials and lay-up configurations, were tested by nine different laboratories.¹⁰ Table 4 presents the precision statistics generated from this study as defined in Practice E 691 for tensile strength, modulus, and failure strain. All data except that for Material B (90° lay-up) was normalized with respect to an average thickness. The materials listed in Table 15 are defined as:

A	IM-6/3501-6 uni-tape (0)n
B	IM-6/3501-6 uni-tape (90)n
C	IM-6/3501-6 uni-tape (90/0)n
F	Glass/epoxy fabric (7781 glass/Ciba R 7376 Epoxy)- warp aligned
G	Carbon/epoxy fabric (66108 carbon/Ciba R 6376

TABLE 4 Precision Statistics

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

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

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

TABLE 5 Averages of the Coefficients of Variation

Parameter	Average of S_r/X , %	Average of S_R/X , %
Strength	5.11	6.00
Modulus	2.22	3.22
Failure strain	5.94	7.32

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

14.2 *Bias*—Bias cannot be determined for this test method

14.1.9 The consistency of agreement for repeated tests of the same material is dependent on lay-up configuration, material, and no acceptable reference standard exists.

15. Keywords

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

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

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

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



Standard Test Method for Flexural Properties of Polymer Matrix Composite Materials¹

This standard is issued under the fixed designation D 7264/D 7264M; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

1. Scope

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

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

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

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

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

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

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

2. Referenced Documents

2.1 *ASTM Standards:*²

D 790 Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials

D 2344/D 2344M Test Method for Short-Beam Strength of

Polymer Matrix Composite Materials and Their Laminates

D 3878 Terminology for Composite Materials

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

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

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

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

E 4 Practices for Force Verification of Testing Machines

E 6 Terminology Relating to Methods of Mechanical Testing

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

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

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

E 456 Terminology Relating to Quality and Statistics

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

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

2.2 *Other Documents:*

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

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

3. Terminology

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

¹ This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee D30 on Composite Materials and is the direct responsibility of Subcommittee D30.04 on Lamina and Laminate Test Methods.

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

² For referenced ASTM standards, visit the ASTM website, www.astm.org, or contact ASTM Customer Service at service@astm.org. For *Annual Book of ASTM Standards* volume information, refer to the standard’s Document Summary page on the ASTM website.

³ Available from American National Standards Institute (ANSI), 25 W. 43rd St., 4th Floor, New York, NY 10036, <http://www.ansi.org>.

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

chord

E_f = flexural chord modulus of elasticity

E_{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

d = mid-span deflection of the specimen

e = strain at the outer surface at mid-span of the specimen

s = 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

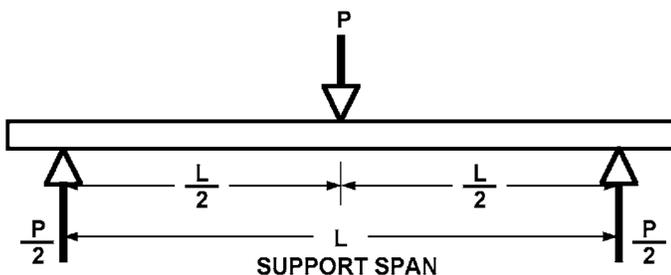


FIG. 1 Procedure A—Loading Diagram

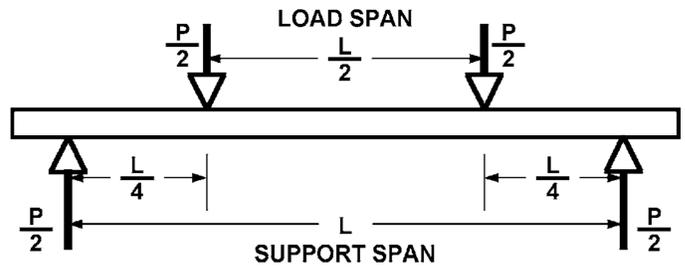


FIG. 2 Procedure B—Loading Diagram

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 645° direction. The deviations from beam theory decrease with decreasing width.

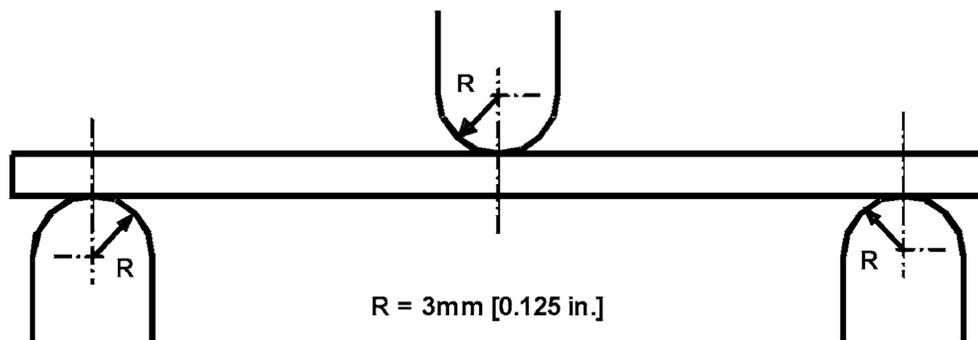
6.4 Loading noses may be fixed, rotatable or rolling. Typically, for testing composites, fixed or rotatable loading noses are used. The type of loading nose can affect results, since non-rolling paired supports on either the tension or compression side of the specimen introduce slight longitudinal forces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

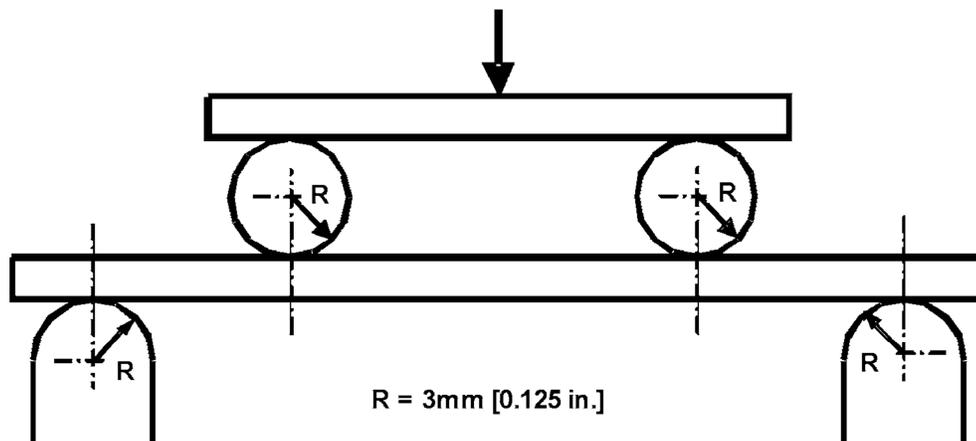
7. Apparatus

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 61 % 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 tooled surfaces. A micrometer or caliper with flat anvil faces shall be used to measure the length of the specimen. The accuracy of the instrument(s) shall be suitable for reading to within 1 % or better of the specimen dimensions. For typical section geometries, an instrument with an accuracy of 0.02 mm [0.001 in.] is desirable for thickness and width measurement, while an instrument with an accuracy of 0.1 mm [0.004 in.] is adequate for length measurement.

7.4 *Deflection Measurement*—Specimen deflection at the common center of the loading span shall be measured by a properly calibrated device having an accuracy of 1 % or better of the expected maximum displacement. The device shall automatically and continuously record the deflection during the test.

7.5 *Conditioning Chamber*—When conditioning materials at non-laboratory environments, a temperature/vapor-level controlled environmental conditioning chamber is required that shall be capable of maintaining the required temperature to within 1°C [2°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

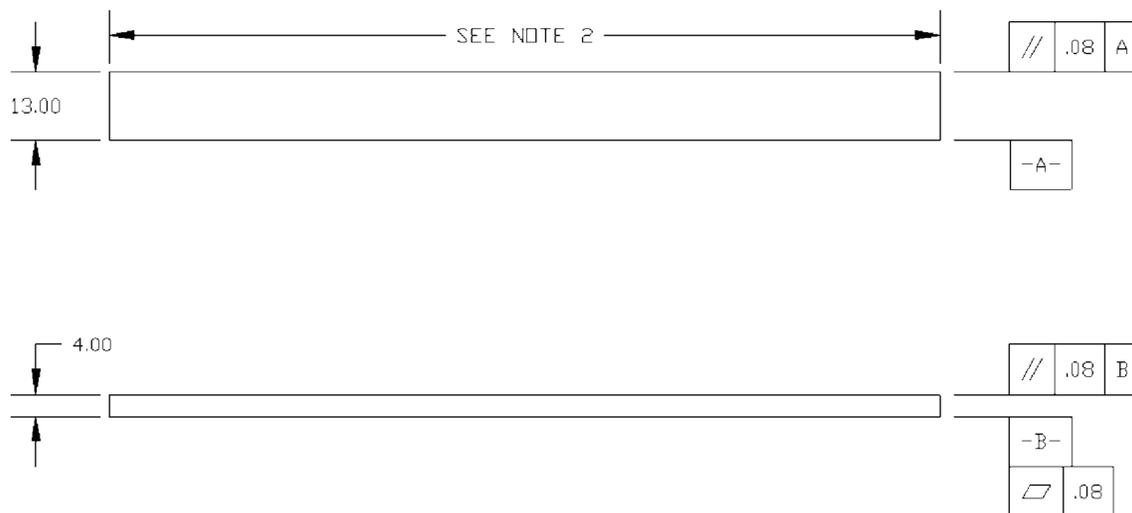
within 1°C [2°F] and the required vapor level to within 3 % relative humidity.

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.

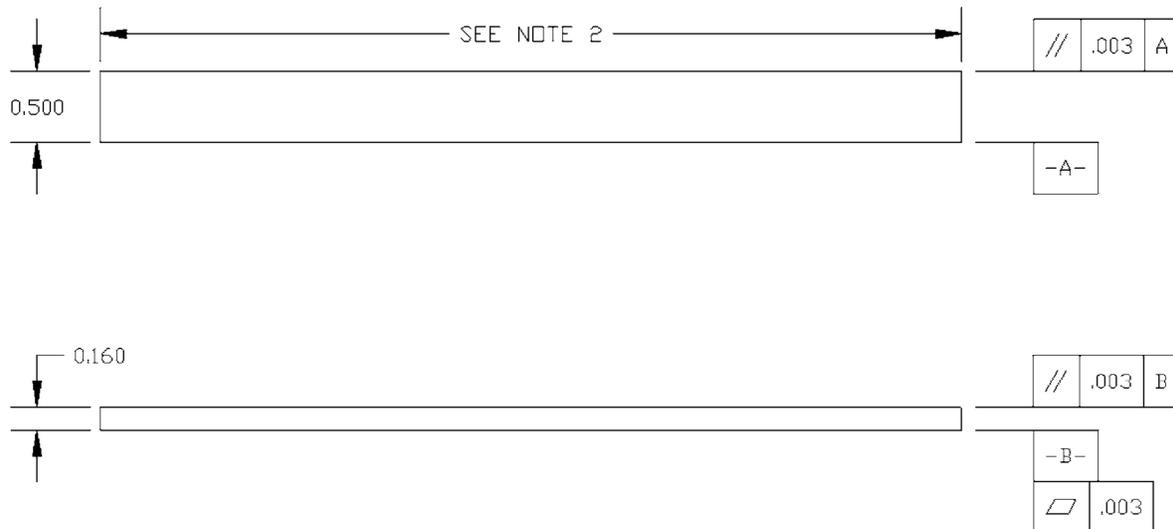
8.2.1 Shear deformations can significantly reduce the apparent modulus of highly orthotropic laminates when they are tested at low support span-to-thickness ratios. For this reason, a high support span-to-thickness ratio is recommended for flexural modulus determinations. In some cases, separate sets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

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

where:

s = 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):

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

where:

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

⁴ For the theoretical details, see Whitney, J. M., Browning, C. E., and Mair, A., "Analysis of the Flexure Test for Laminated Composite Materials," *Composite Materials: Testing and Design (Third Conference)*, ASTM STP 546, 1974, pp. 30-45.

First Character		Second Character		Third Character	
Failure Mode	Code	Failure Area	Code	Failure Location	Code
Tension	T	At loading nose	A	Top	T
Compression	C	Between loading noses	B	Bottom	B
Buckling	B	at Support nose	S	Left	L
interlaminar Shear	S	between Load and support nose	L	Right	R
Multi-mode	M(xyz)	Unknown	U	Middle	M
Other	O			Various	V
				Unknown	U

FIG. 6 Flexure Test Specimen Three-Part Failure Identification Code

h = thickness of beam, mm [in.].

NOTE 7—The limitations defined for Eq 1 in Note 6 apply also to Eq 2.

13.3 *Flexural Strength*—The flexural strength is equal to the maximum stress at the outer surface corresponding to the peak applied force prior to failure. (for multidirectional laminates, see Note 6). It is calculated in accordance with Eq 1 and 2 by letting P equal the peak applied force.

13.4 *Flexural Stress at a Given Strain*—The maximum flexural stress at any given strain may be calculated in accordance with Eq 1 and 2 by letting P equal the applied force read from the force-deflection curve at the deflection corresponding to the desired strain (for multidirectional laminates, see Note 6). Equations for calculating strains from the measured deflection are given in 13.5 and 13.6.

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

$$e = \frac{6dh}{L^2} \quad (3)$$

where:

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

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

$$e = \frac{4.36dh}{L^2} \quad (4)$$

where:

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

13.7 *Flexural Modulus of Elasticity:*

chord modulus of elasticity is the ratio of stress range and corresponding strain range. For calculation of flexural chord

point of 0.001 and an end point 0.003. If the data is not

available at the exact strain range end points (as often occurs with digital data), use the closest available data point. Calculate the flexural chord modulus of elasticity from the stress-strain data using Eq 5 (for multidirectional or highly orthotropic composites, see Note 8).

$$E_f^{chord} = \frac{Ds}{De} \quad (5)$$

where:
 E_f^{chord} = flexural chord modulus of elasticity, MPa [psi],

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

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

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

13.7.2.1 *For Procedure A:*

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

where:

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

13.7.2.2 *For Procedure B:*

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

where E_f^{secant} , m , L , b , and h are the same as for Eq 6.

13.7.3 Chord modulus of elasticity shall be reported although other definitions of moduli may also be used. However, when other definitions of moduli are used, it should be clearly indicated in the report.

13.8 *Statistics*—For each series of tests calculate the average value, standard deviation, and coefficient of variation for each property determined:

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



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

where:

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

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

D_s = difference in flexural stress between the two selected strain points, MPa [psi], and
 D_e = difference between the two selected strain points (nominally 0.002).

⁵ For discussion of these effects, see Zweben C., Smith, W. S., and Wardle, M. W., "Test Methods for Fiber Tensile Strength, Composite Flexural Modulus, and Properties of Fabric-Reinforced Laminates," *Composite Materials: Testing and Design (Fifth Conference)*, ASTM STP 674, 1979, pp. 228-262.

14. Report

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

14.1.1 The revision level or date of issue of the test method used.

14.1.2 The date(s) and location(s) of the testing.

14.1.3 The name(s) of the test operator(s).

14.1.4 The test Procedure used (A or B).

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

14.1.6 Identification of the material tested including: material specification, material type, material designation, manufacturer, manufacturer's lot or batch number, source (if not from the manufacturer), date of certification, expiration of certification, filament diameter, tow or yarn filament count and twist, sizing, form or weave, fiber areal weight, matrix type, prepreg matrix content, and prepreg volatiles content.

14.1.7 Description of the fabrication steps used to prepare the laminate including: fabrication start date, fabrication end date, process specification, cure cycle, consolidation method, and a description of the equipment used.

14.1.8 Ply orientation stacking sequence of the laminate.

14.1.9 If requested, report density, reinforcement volume fraction, and void content test methods, specimen sampling method and geometries, test parameters, and test data.

14.1.10 Average ply thickness of the material.

14.1.11 Results of any nondestructive evaluation tests.

14.1.12 Method of preparing the test specimens, including specimen labeling scheme and method, specimen geometry, sampling method, and specimen cutting method.

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

14.1.14 Type of test machine, grips, jaws, alignment data, and data acquisition sampling rate and equipment type.

14.1.15 Dimensions of each specimen to at least three significant figures, including specimen width, thickness, and overall length.

14.1.16 Conditioning parameters and results, and the procedure used if other than that specified in this test method.

14.1.17 Relative humidity and temperature of the testing laboratory.

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

14.1.19 Number of specimens tested.

14.1.20 Load-span length, support-span length, and support span-to-thickness ratio.

14.1.21 Loading and support nose type and dimensions.

14.1.22 Speed of testing.

14.1.23 Transducer placement on the specimen, transducer type, and calibration data for each transducer used.

14.1.24 Force-deflection curves for each specimen. Note method and offset value if toe compensation was applied to force-deflection curve.

14.1.25 Tabulated data of flexural stress versus strain for each specimen.

14.1.26 Individual flexural strengths and average value, standard deviation, and coefficient of variation (in percent) for the population. Note if the failure load was less than the maximum load prior to failure.

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

14.1.28 Strain range used for the flexural chord modulus of elasticity determination.

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

14.1.30 If an alternate definition of flexural modulus of elasticity is used in addition to chord modulus, describe the method used, the resulting correlation coefficient (if applicable), and the strain range used for the evaluation.

14.1.31 Individual values of the alternate (see above) flexural modulus of elasticity, and the average value, standard deviation, and coefficient of variation (in percent) for the population.

14.1.32 Individual maximum flexural stresses, and the average, standard deviation, and coefficient of variation (in percent) values for the population. Note any test in which the failure load was less than the maximum load before failure.

14.1.33 For flexural modulus only tests: maximum load applied, strain at maximum applied load, and calculated flexural modulus of elasticity (E_f).

14.1.34 Individual maximum flexural strains and the average, standard deviation, and coefficient of variation (in percent) values for the population. Note any test that was truncated to 2 % strain.

14.1.35 Failure mode and location of failure for each specimen.

15. Precision and Bias

15.1 *Precision*—The data required for the development of precision is not currently available for this test method.

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

16. Keywords

16.1 fiber-reinforced composites; flexural properties; stiffness; strength

ANNEXES

(Mandatory Information)

A1. MEASURING AND SETTING SPAN

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

A1.2 *Measurement of Span:*

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

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

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

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

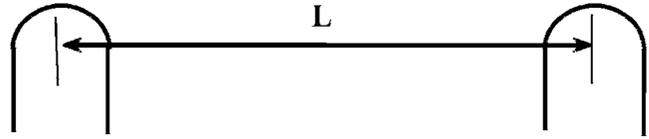


FIG. A1.1 Markings on Fixed Specimen Supports

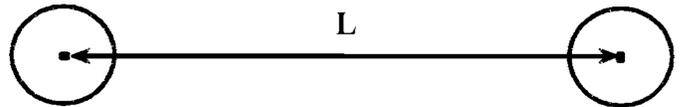


FIG. A1.2 Markings on Rotatable Specimen Supports

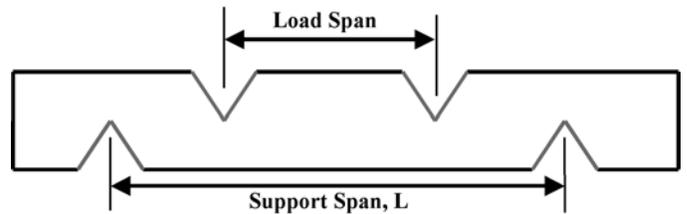


FIG. A1.3 Fixture Used to Align Loading Noses and Supports

A2. TOE COMPENSATION

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

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

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

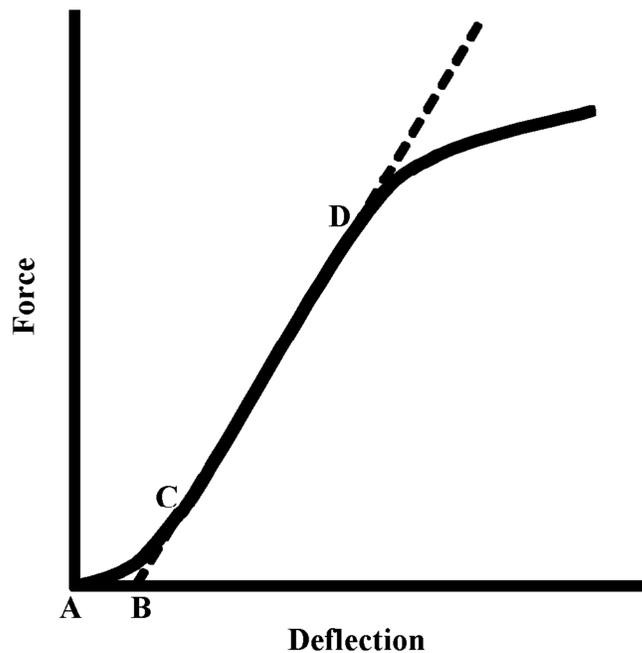


FIG. A2.1 Material with a Hookean Region

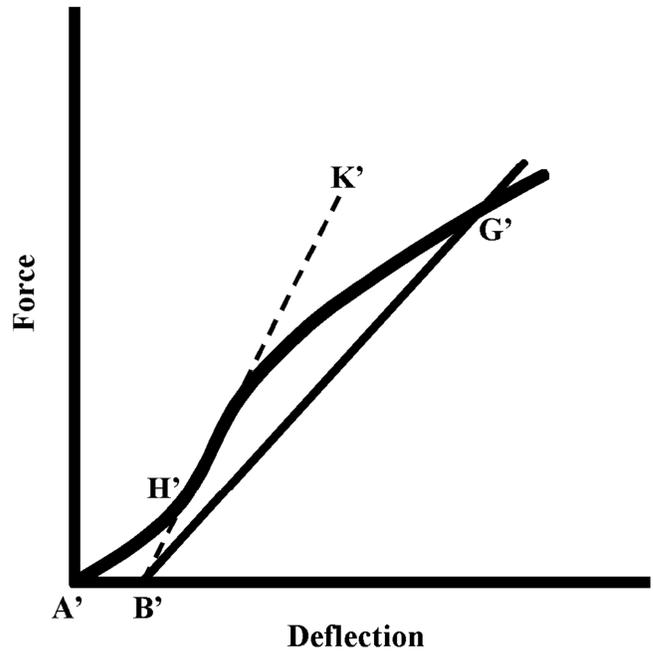


FIG. A2.2 Material without a Hookean Region

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

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

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

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 Bruceton 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.

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

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

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

4. Summary of Test Method

4.1 A free-falling dart (*tup*) is allowed to strike a supported specimen directly. Either a dart having a fixed mass is dropped from various heights, or a dart having an adjustable mass is dropped from a fixed height. (See Fig. 2).

4.2 The procedure determines the energy (mass \times height) that will cause 50 % of the specimens tested to fail (mean failure energy).

4.3 The technique used to determine mean failure energy is commonly called the Bruceton Staircase Method or the Up-and-Down Method (1).⁴ Testing is concentrated near the mean, reducing the number of specimens required to obtain a reasonably precise estimate of the impact resistance.

4.4 Each test method permits the use of different *tup* and test specimen geometries to obtain different modes of failure, permit easier sampling, or test limited amounts of material. There is no known means for correlating the results of tests made by different impact methods or procedures.

5. Significance and Use

5.1 Plastics are viscoelastic and therefore are likely to be sensitive to changes in velocity of the mass falling on their surfaces. However, the velocity of a free-falling object is a function of the square root of the drop height. A change of a factor of two in the drop height will cause a change of only 1.4 in velocity. Hagan et al (2) found that the mean-failure energy of sheeting was constant at drop heights between 0.30 and 1.4 m. This suggests that a constant mass-variable height method will give the same results as the constant height-variable mass technique. On the other hand, different materials respond differently to changes in the velocity of impact. Equivalence of these methods should not be taken for granted. While both constant-mass and constant-height techniques are permitted by these methods, the constant-height method should be used for those materials that are found to be rate-sensitive in the range of velocities encountered in falling-weight types of impact tests.

5.2 The test geometry FA causes a moderate level of stress concentration and can be used for most plastics.

5.3 Geometry FB causes a greater stress concentration and results in failure of tough or thick specimens that do not fail with Geometry FA (3). This approach can produce a punch shear failure on thick sheet. If that type of failure is undesirable, Geometry FC should be used. Geometry FB is suitable for research and development because of the smaller test area required.

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

5.4 The test conditions of Geometry FC are the same as those of Test Method A of Test Method D1709. They have been

used in specifications for extruded sheeting. A limitation of this geometry is that considerable material is required.

5.5 The test conditions of Geometry FD are the same as for Test Method D3763.

5.6 The test conditions of Geometry FE are the same as for ISO 6603-1.

5.7 Because of the nature of impact testing, the selection of a test method and *tup* must be somewhat arbitrary. Although a choice of *tup* geometries is available, knowledge of the final or intended end-use application shall be considered.

5.8 Clamping of the test specimen will improve the precision of the data. Therefore, clamping is recommended. However, with rigid specimens, valid determinations can be made without clamping. Unclamped specimens tend to exhibit greater impact resistance.

5.9 Before proceeding with this test method, reference should be made to the specification of the material being tested. Table 1 of Classification System D4000 lists the ASTM materials standards that currently exist. Any test specimens preparation, conditioning, dimensions, or testing parameters or combination thereof covered in the relevant ASTM materials specification shall take precedence over those mentioned in this test method. If there are no relevant ASTM material specifications, then the default conditions apply.

6. Interferences

6.1 Falling-mass-impact-test results are dependent on the geometry of both the falling mass and the support. Thus, impact tests should be used only to obtain relative rankings of materials. Impact values cannot be considered absolute unless the geometry of the test equipment and specimen conform to the end-use requirement. Data obtained by different procedures within this test method, or with different geometries, cannot, in general, be compared directly with each other. However, the relative ranking of materials is expected to be the same between two test methods if the mode of failure and the impact velocities are the same.

6.1.1 Falling-mass-impact types of tests are not suitable for predicting the relative ranking of materials at impact velocities differing greatly from those imposed by these test methods.

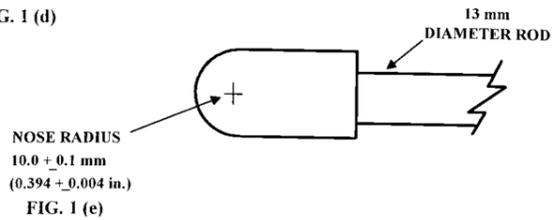
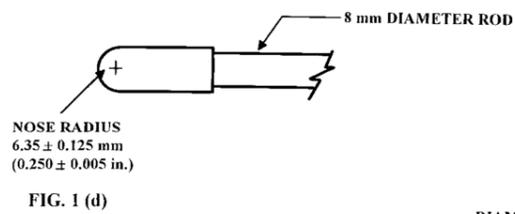
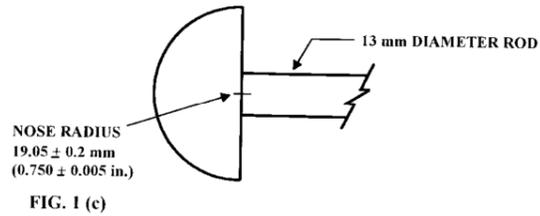
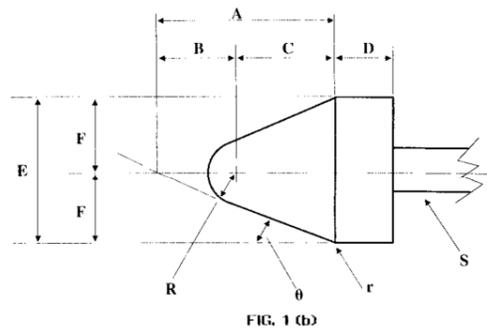
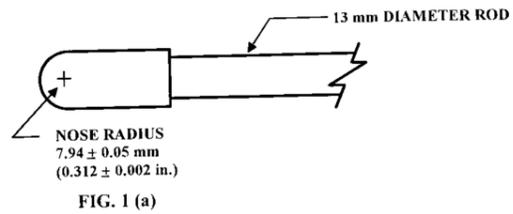
6.2 As cracks usually start at the surface opposite the one that is struck, the results can be greatly influenced by the quality of the surface of test specimens. Therefore, the composition of this surface layer, its smoothness or texture, levels of and type of texture, and the degree of orientation introduced during the formation of the specimen (such as during injection molding) are very important variables. Flaws in this surface will also affect results.

6.3 Impact properties of plastic materials can be very sensitive to temperature. This test can be carried out at any reasonable temperature and humidity, thus representing actual use environments. However, this test method is intended primarily for rating materials under specific impact conditions.

7. Apparatus

7.1 *Testing Machine*—The apparatus shall be constructed essentially as is shown in Fig. 2. The geometry of the specimen clamp and *tup* shall conform to the dimensions given in 7.1.1 and 7.2.

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



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	6.4	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°	25 \pm 1°

^A Larger diameter shafts shall be used.

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

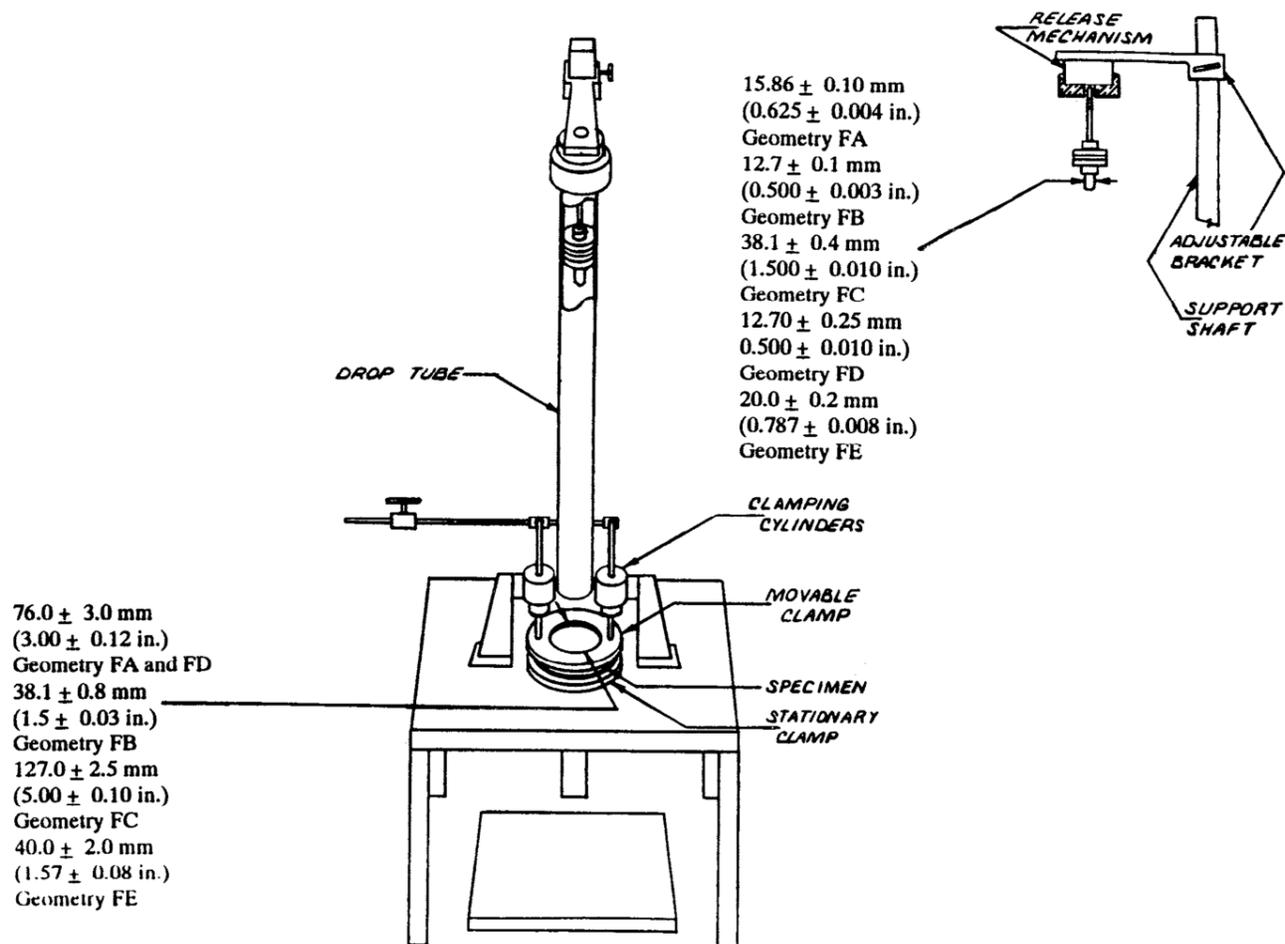


FIG. 2 One Type of Falling Mass Impact Tester

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 \pm 3.0 mm (3.00 \pm 0.12 in.). For Geometry FB, the inside diameter should be 38.1 \pm 0.80 mm (1.5 \pm 0.03 in.). For Geometry FC, the inside diameter should be 127.0 \pm 2.5 mm (5.00 \pm 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 \pm 2 mm (1.57 \pm 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 \pm 0.10-mm (0.625 \pm 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 \pm 0.1 mm (0.500 \pm 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 \pm 0.4 mm (1.5 \pm 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

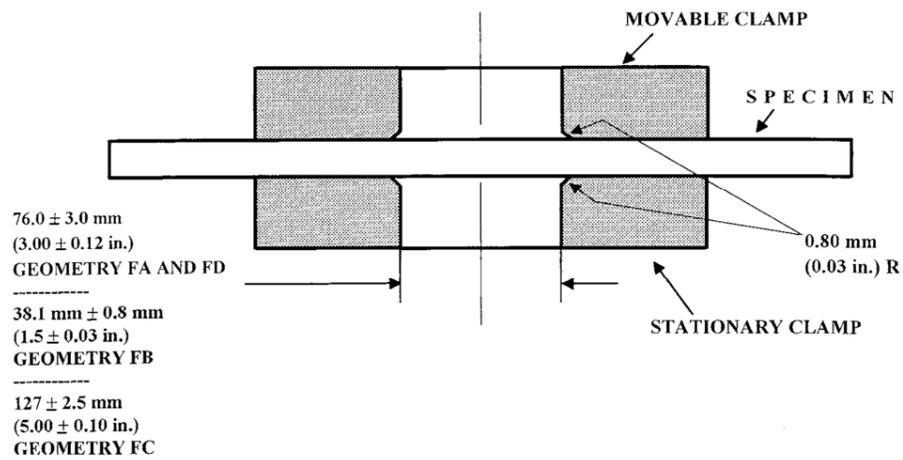


FIG. 3 Support Plate/Specimen/Clamp Configuration for Geometries FA, FB, FC, and FD

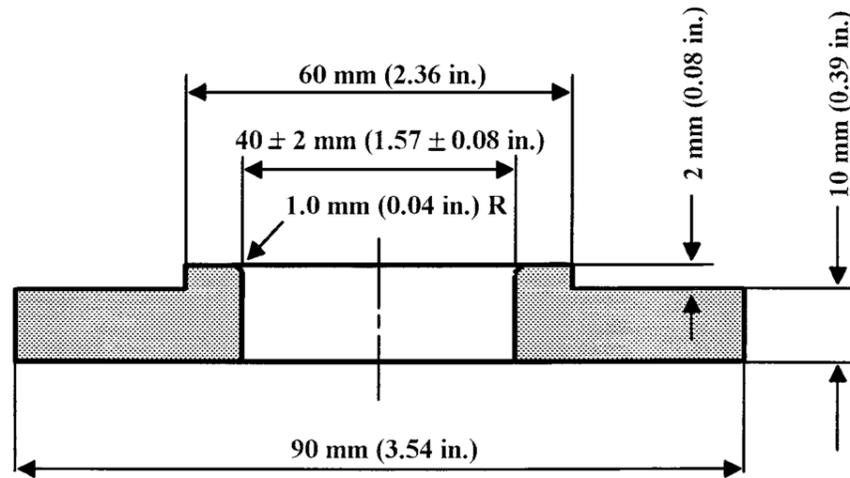


FIG. 4 Test-Specimen Support for Geometry FE

TABLE 1 Tup and Support Ring Dimensions

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

axis at 90° to that surface. The length of the shaft shall be great enough to accommodate the maximum mass (see Fig. 1(c) and Table 1).

7.2.4 The tup used in Geometry FD shall have a 12.70 ± 0.25-mm (0.500 ± 0.010-in.) diameter hemispherical head of tool steel hardened to 54 HRC or harder. A steel shaft about 8

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

7.2.5 The tup used in Geometry FE shall have a 20.0 ± 0.2-mm (0.787 ± 0.008-in.) diameter hemispherical head of tool steel hardened to 54 HRC or harder. A steel shaft about 13 mm (0.5 in.) in diameter shall be attached to the center of the flat surface of the head with its longitudinal axis at 90° to the surface. The length of the shaft shall be great enough to accommodate the maximum mass required (see Fig. 1(e) and Table 1).

7.2.6 The tup head shall be free of nicks, scratches, or other surface irregularities.

7.3 Masses—Cylindrical steel masses are required that have a center hole into which the tup shaft will fit. A variety of masses are needed if different materials or thicknesses are to be

TABLE 2 Minimum Size of Specimen

Geometry	Specimen Diameter, mm (in.)	Square Specimen, mm (in.)
FA 89 (3.5 by 3.5)	89 (3.5)	89 by
FB 51 (2.0 by 2.0)	51 (2.0)	51 by
FC	140 (5.5)	140 by 140 (5.5 by 5.5)
FD 89 (3.5 by 3.5)	89 (3.5)	89 by
FE 58 (2.3 by 2.3)	58 (2.3)	58 by

tested. The optimal increments in tup mass range from 10 g or less for materials of low impact resistance, to 1 kg or higher for materials of high impact resistance.

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

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

8. Hazards

8.1 Safety Precautions:

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

8.1.2 When heavy weights are used, it is hazardous for an operator to attempt to catch a rebounding tup. Figure 2 of Test Method [D2444](#) shows an effective mechanical “rebound catcher” employed in conjunction with a drop tube.

9. Sampling

9.1 Sample the material to meet the requirements of Section [14](#).

10. Test Specimens

10.1 Flat test specimens shall be large enough so that they can be clamped firmly if clamping is desirable. See [Table 2](#) for the minimum size of specimen that can be used for each test geometry.

10.2 The thickness of any specimen in a sample shall not differ by more than 5 % from the average specimen thickness of that sample. However, if variations greater than 5 % are unavoidable in a sample that is obtained from parts, the data shall not be used for referee purposes. For compliance with [ISO 6603-1](#) the test specimen shall be 60 ± 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

measure and record thickness for one specimen when it has been previously demonstrated that the thickness does not vary by more than 5 %.

12.5 Choose a specimen at random from the sample.

12.6 Clamp or position the specimen. The same surface or area should be the target each time (see 6.2). When clamping is employed, the force should be sufficient to prevent motion of the clamped portion of the specimen when the tup strikes.

12.7 Unless otherwise specified, initially position the tup 0.660 \pm 0.008 m (26.0 \pm 0.3 in.) from the surface of the specimen.

12.8 Adjust the total mass of the tup or the height of the tup, or both, to that amount expected to cause half the specimens to fail.

NOTE 5—If failures cannot be produced with the maximum available missile mass, the drop height can be increased. The test temperature could be reduced by (a) use of an ice-water mixture, or (b) by air-conditioned environment to provide one of the temperatures given in 3.3 of Test Methods D618. Conversely, if the unloaded tup causes failures when dropped 0.660 m, the drop height can be decreased. A moderate change in dart velocity will not usually affect the mean-failure energy appreciably. Refer to 5.1.

12.9 Release the tup. Be sure that it hits the center of the specimen. If the tup bounces, catch it to prevent multiple impact damage to the specimen's surface (see 8.1.2).

12.10 Remove the specimen and examine it to determine whether or not it has failed. Permanent deformation alone is not considered failure, but note the extent of such deformation (depth, area). For some polymers, for example, glass-reinforced polyester, incipient cracking is difficult to determine with the naked eye. Exposure of the stressed surface to a penetrating dye, such as gentian violet, confirms the onset of cracking. As a result of the wide range of failure types observed with different materials, the definition of failure defined in the material specification, or a definition agreed upon by supplier and user, shall take precedence over the definition stated in 3.2.1.

12.11 If the first specimen fails, remove one increment of mass from the tup while keeping the drop height constant, or decrease the drop height while keeping the mass constant (see 12.12). If the first specimen does not fail, add one increment of mass to the tup or increase the drop height one increment, as above. Then test the second specimen.

12.12 In this manner, select the impact height or mass for each test from the results observed with the specimen just previously tested. Test each specimen only once.

12.13 For best results, the mass or height increment used should be approximately equivalent to s , the estimated standard deviation of the test for that sample. An increment of 0.5 to 2 times s is satisfactory (see section 13.4).

NOTE 6—An increment of 10 % of the estimated mean-failure mass or mean-failure height has been found to be acceptable in most instances.

12.14 Keep a running plot of the data, as shown in Appendix X1. Use one symbol, such as X , to indicate a failure and a different symbol, such as O , to indicate a non-failure at each mass or height level.

12.15 For any specimen that gives a break behavior that appears to be an outlier, the conditions of that impact shall be

examined. The specimen shall be discarded only if a unique cause for the anomaly can be found, such as an internal flaw visible in the broken specimen. Note that break behavior can vary widely within a set of specimens. Data from specimens that show atypical behavior shall not be discarded simply on the basis of such behavior.

13. Calculation

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

$$w \leq w_o + 1 d_w \sim A/N \leq 0.5! \quad (1)$$

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

$$h \leq h_o + 1 d_h \sim A/N \leq 0.5! \quad (2)$$

where:

w = mean-failure mass, kg,

h = mean-failure height, mm,

d_w = increment of tup weight, kg,

d_h = increment of tup height, mm,

N = total number of failures or non-failures, whichever is smaller. For ease of notation, call whichever are used events,

w_o = smallest mass at which an event occurred, kg

h_o = lowest height at which an event occurred, mm (or in.),

k = $\sum_{i \leq 0} i n_i$,

i = 0, 1, 2... k (counting index, starts at h_o or w_o),

n_i = number of events that occurred at h_i or w_i ,

w_i = $w_o + i d_w$, and

h_i = $h_o + i d_h$.

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

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

where:

MFE = mean-failure energy, J,

h = mean-failure height or constant height as applicable, mm

w = mean-failure mass or constant mass as applicable, kg, and

f = factor for conversion to joules.

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

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

$$s_w \leq 1.62 d_w \sqrt{B/N} \leq A/N! \leq 1 0.047 d_w \text{ or} \quad (3)$$

$$s_h \leq 1.62 d_h \sqrt{B/N} \leq A/N! \leq 1 0.047 d_h \quad (4)$$

where:

s_w = estimated standard deviation, mass, kg

s_h = estimated standard deviation, height, mm, and

$$B \leq C_{i \leq 0} i n_i \quad (5)$$

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

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

$$S_{\bar{w}} \leq G s_w / \sqrt{N} \quad (6)$$

or

$$S_{\bar{h}} \leq G s_h / \sqrt{N} \quad (7)$$

where:

$s_{\bar{h}}$ = estimated standard deviation of the mean height, mm,

$s_{\bar{w}}$ = estimated standard deviation of the mean mass, kg,

and

G = factor that is a function of s/d (see Appendix X2).

A sample computation of s_w is found in Appendix X1.

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

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

$$S_{MFE} \leq s_{\bar{h}} w f \quad (8)$$

or

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

where:

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

14. Report

14.1 Report the following information:

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

14.1.2 Method of preparation of specimens,

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

14.1.4 If the specimen is textured, report whether textured surface faces upward towards the dart or downward away from the dart,

14.1.5 Means of clamping, if any,

14.1.6 Statement of geometry (FA, FB, FC, FD, FE) and procedure used—constant mass or constant height,

14.1.7 Thickness of specimens tested (average and range).

14.1.8 Number of test specimens employed to determine the mean failure height or mass,

14.1.9 Mean-failure energy,

14.1.10 Types of failure, for example: (a) crack or cracks on one surface only (the plaque could still hold water), (b) cracks that penetrate the entire thickness (water would probably penetrate through the plaque), (c) brittle shatter (the plaque is in several pieces after impact), or (d) ductile failure (the plaque is penetrated by a blunt tear). Report other observed deformation due to impact, whether the specimens fail or not,

TABLE 3 Precision, Method FB

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

^A Data generated in three laboratories.

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

$r = 2.83 V_r$.

14.1.11 If atypical deformation for any specimen within a sample for that material is observed, note the assignable cause, if known,

14.1.12 Date of test and operator's identification,

14.1.13 Test temperature,

14.1.14 In no case shall results obtained with arbitrary geometries differing from those contained in these test methods be reported as values obtained by this test method (D5628), and

14.1.15 The test method number and published/revision date.

15. Precision and Bias

15.1 Tables 3 and 4 are based on a round robin⁵ conducted in 1972 involving three materials tested by six laboratories. Data from only four laboratories were used in calculating the values in these tables. Each test result was the mean of multiple individual determinations (Bruceston Staircase Procedure). Each laboratory obtained one test result for a material.

NOTE 8—The number of laboratories participating in the 1972 round robin and the number of results collected do not meet the minimum requirements of Practice E691. Data in Tables 3 and 4 should be used only for guidance, and not as a referee when there is a dispute between users of this test method.

15.1.1 *Polymethylmethacrylate (PMMA)*—Specimens were cut from samples of 3.18-mm (0.125-in.) thickness extruded sheet.

15.1.2 *Styrene-Butadiene (SB)*—Specimens were cut from samples of 2.54-mm (0.100-in.) thickness extruded sheet.

15.1.3 *Acrylonitrile-Butadiene-Styrene (ABS)*—Specimens were cut from samples of 2.64-mm (0.104-in.) thickness extruded sheet. (**Warning**—The following explanations of r and R (15.2-15.2.3) are only intended to present a meaningful way of considering the approximate precision of this test method. The data in Tables 3 and 4 should not be rigorously applied to acceptance or rejection of material, as those data are specific to the round robin and not necessarily representative of other lots, conditions, materials, or laboratories. Users of this test method should apply the principles outlined in Practice E691 to generate data specific to their laboratory and materials, or between specific laboratories. The principles of 15.2-15.2.3 would then be valid for such data.)

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

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

TABLE 4 Precision, Method FC

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

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

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

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

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

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

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

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

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

16. Keywords

16.1 dart impact; falling-mass impact; impact; impact resistance; mean-failure energy; mean-failure height; mean-failure mass; rigid plastic; tup

APPENDIX

(Nonmandatory Information) X1. SAMPLE CALCULATIONS

X1.1 See below.

Total Dart Mass, kg	Outcome of Test (X = failure; O = non-failure)																				<i>n_x</i>	<i>n_o</i>	<i>i</i>	<i>n_i</i>	<i>in₁</i>	<i>i²n₁</i>
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20						
9.00						X															1	0	2	1	2	4
8.00					O	X	X				X		X								4	1	1	4	4	4
7.00		X		O			O	X		O		O		X		X			O	4	5	0	4	0	0	
6.00	O		O							O						O			O	0	5					
											Totals		9	11		9	6	8								
													(<i>N_x</i>)	(<i>N_o</i>)		(<i>N</i>)	(<i>A</i>)	(<i>B</i>)								

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

TABLE X1.1 Values of G for Obtaining the Estimated Standard Deviation of the Mean

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

REFERENCES

(1) Brownlee, K. A., Hodgest, J. L., Jr., and Rosenblatt, Murray, "The Up-and-Down Method with Small Samples," *American Statistical Association Journal*, Vol 48, 1953, pp. 262-277.

(2) Hagan, R. S., Schmitz, J. V., and Davis, D. A., "Impact Testing of High Impact Thermoplastic Sheet," *Technical Papers, 17th Annual Technical Conference of SPE, SPPPB*, Vol VIII, January 1961.

(3) "Test Method A—Falling Dart Impact, Proposed Method of Test for Impact Resistance of Fabricated Plastics Parts," *Proposed Test Methods for Plastics Parts Used in Appliances*, the Society of the Plastics Industry, New York, NY, January 1965.

(4) Weaver, O. R., "Using Attributes to Measure a Continuous Variable in Impact Testing Plastic Bottles," *Materials Research and Standards, MR & S*, Vol 6, No. 6, June 1966, pp. 285-291.

(5) Natrella, M. G., *Experimental Statistics*, National Bureau of Standards Handbook 91, October 1966, pp. 10-22 and 10-23.

SUMMARY OF CHANGES

Committee D20 has identified the location of selected changes to this standard since the last issue (D5628 - 07) that may impact the use of this standard. (July 1, 2010)

(1) Revised 11.1 and 11.2 for consistency with Practice D618. (2) Revised 12.4 to allow measurement of only one specimen for injection molded specimens.

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

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

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

**MÓDULO 7. GESTIÓN DE LA PREVENCIÓN DE RIESGOS
LABORALES**

**U.D. 7.4: Sistemas de gestión de la prevención de riesgos
laborales: Comunicación y formación**

Para el cumplimiento por parte de la empresa de los requisitos normativos debe llevar a establecer un procedimiento de "selección, actualización, distribución y registro de la legislación aplicable en P.R.L."

Este procedimiento debe contener:

- a) Cómo y qué persona en la empresa debe obtener información y de qué fuentes.
- b) A qué personas de la empresa hay que facilitar la información obtenida.
- c) Quién ha de diseñar y poner en marcha la cadena de acciones necesaria para cumplir con la nueva información.
- d) Quién y con qué método se comprobará la eficacia de las sesiones emprendidas.
- e) Qué tipo de registros documentales han de guardarse que justifiquen las acciones emprendidas.
- f) Quién debe y cómo debe actuar ante fallos detectados.

Un procedimiento debe seguir siempre un mismo guión en cuanto a su estructura.

A. **OBJETO:** Establece con claridad el "por qué" del procedimiento.

B. **ALCANCE:** Define los límites de aplicación del procedimiento.

C. **DOCUMENTACIÓN DE REFERENCIA:** Cita la documentación en base a la cual se ha elaborado el procedimiento.

D. **GENERALIZACIÓN:** Da información de carácter general que ayude a comprender el procedimiento.

E. **REALIZACIÓN:** Describe:

- Las actividades que son objeto del procedimiento.

- Formas de realizar las actividades.
- Responsabilidades.
- Interrelaciones entre los departamentos.
- Registros a efectuar y formatos.

F. ANEXOS: Se relaciona un ejemplo de cada registro o formato, así como cualquier otra información que se precise.

Todos los procedimientos contendrán obligatoriamente los apartados a, b, c y e, siendo los d y f opcionales, según sean o no necesarios.

Fuente: ASOCIACIÓN PARA LA PREVENCIÓN DE ACCIDENTES (1997)
Guía de un plan de acción preventivo en la empresa, Madrid: Fundación Confemetal.



INFORME TÉCNICO

LAEV – OCT.02

Quito, 08 de octubre de 2012

TRABAJO SOLICITADO POR: UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
Ing. Juan Paredes

Los resultados contenidos en el presente informe corresponden a ensayos realizados en muestras de materiales compuestos pertenecientes al Ing. Juan Paredes. Las muestras fueron entregadas en el Laboratorio de Análisis de Esfuerzos y Vibraciones de la Escuela Politécnica Nacional.

RESULTADOS

1. **MUESTRA:** Ochenta y cuatro (84) probetas de material compuesto para ensayo de tracción según norma según norma ASTM D 3039, cuarenta y dos (42) probetas de material compuesto para ensayo de flexión según norma ASTM D 7264 y treinta y siete (37) probetas de material compuesto para ensayo de impacto según norma ASTM D 5628.

2. ENSAYO DE TRACCIÓN SEGÚN NORMA ASTM D 3039

Identificación	Ancho	Espesor	Elongación	Carga última registrada
	mm	mm	mm	N
Empresa MI-1	23,98	3,04	No se registró	Probeta dañada
Empresa MI-2	23,96	2,76	0,9	5.276
Empresa MI-3	23,86	2,92	1	5.387
Empresa MI-4	23,71	2,73	0,69	4.217
Empresa MI-5	23,88	3,12	1,2	4.986
Empresa IB-1	26,31	3,29	2,81	6.450
Empresa IB-2	26,02	3,60	2,28	5.333
Empresa IB-3	27,22	3,43	2,49	5.071
Empresa IB-4	25,96	3,69	2,19	5.547
Empresa IB-5	25,38	3,32	2,40	6.107
Empresa CE-1	25,69	2,75	2,66	6.306
Empresa CE-2	24,13	2,46	2,41	5.808
Empresa CE-3	25,46	2,53	1,98	6.278

Empresa CE-4	25,74	2,98	2,02	7.541
Empresa CE-5	25,68	3,50	2,50	4.520
Empresa EP-1	24,52	2,75	2,66	5.000
Empresa EP-2	23,86	1,96	2,41	4.840
Empresa EP-3	23,47	2,52	1,98	4.884
Empresa EP-4	24,90	2,98	2,02	4.768
Empresa MI-1-1	23,73	2,86	2,96	6.459
Empresa MI-1-2	24,29	2,84	2,74	7.464

Identificación	Ancho	Espesor	Elongación	Carga última registrada
	mm	mm	mm	N
Fibra corta (FCo1) 30%-1	24,42	4,05	0,68	2.636
Fibra corta (FCo1) 30%-2	24,34	4,34	0,36	2.224
Fibra corta (FCo1) 30%-3	24,3	3,77	0,50	2.309
Fibra corta (FCo1) 30%-4	24,25	4,4	0,41	2.471
Fibra corta (FCo1) 30%-5	24,33	3,77	No se registra	2.374
Tejido plano (TP) 30%-1	24,38	2,83	No se registra	4.729
Tejido plano (TP) 30%-2	23,87	2,95	0,37	4.377
Tejido plano (TP) 30%-3	24,39	2,79	No se registra	4.596
Tejido plano (TP) 40%-1	24,75	3,00	No se registra	3.768
Tejido plano (TP) 40%-2	24,36	2,87	0,34	4.025
Tejido plano (TP) 40%-3	24,56	2,87	0,37	4.675
Tejido plano (TP) 40%-4	24,55	2,81	0,41	4.100
Tejido plano (TP) 40%-5	24,45	3,05	0,38	4.656
Fibra larga de cabuya(FL) 25%-1	24,12	3,28	0,31	2.480
Fibra larga de cabuya(FL) 25%-2	23,97	3,14	0,26	3.059
Fibra larga de cabuya(FL) 25%-3	24,15	3,21	0,45	3.380
Fibra larga de cabuya(FL) 25%-4	24,1	3,11	No se registra	3.251
Fibra larga de cabuya(FL) 25%-5	24,1	2,57	0,25	2.418
Fibra corta de abacá 25% (Fco)-1	24,52	3,14	0,42	2.291
Fibra corta de abacá 25% (Fco)-2	24,77	3,16	0,41	2.369
Fibra corta de a-3bacá 25% (Fco)-3	24,46	3,28	0,29	2.060
Fibra corta de a-4bacá 25% (Fco)-4	24,03	3,34	0,34	2.310
Fibra corta de abacá 25% (Fco)-5	24,36	3,13	0,35	2.456
Fibra larga de cabuya (FL) 40%-1	24,30	2,93	0,32	6.974
Fibra larga de cabuya (FL) 40%-2	24,75	3,08	0,55	6.250
Fibra larga de cabuya (FL) 40%-3	24,13	2,95	2,42	7.533
Fibra larga de cabuya (FL) 40%-4	24,56	2,87	0,58	7.160
Fibra larga de cabuya (FL) 40%-5	24,28	3,21	0,34	5.618
MAT fibra de vidrio (FL)30%-1	24,38	2,81	0,62	6.415

MAT fibra de vidrio (FL)30%-2	24,49	2,75	0,77	6.599
MAT fibra de vidrio (FL)30%-3	24,65	2,79	0,51	6.088
MAT fibra de vidrio (FL)30%-4	24,68	2,68	0,53	5.970
MAT fibra de vidrio (FL)30%-5	24,39	2,68	0,80	4.932
Fibra larga de cabuya (FL) 30%-1	24,29	3,02	No se registra	5.695
Fibra larga de cabuya (FL) 30%-2	23,84	3,08	0,83	4.859
Fibra larga de cabuya (FL) 30%-3	24,4	2,94	No se registra	6.180
Fibra larga de cabuya (FL) 30%-4	24,26	3,02	0,65	6.108
Fibra larga de cabuya (FL) 30%-5	24,53	2,99	No se registra	6.052
Tejido plano (TP) 25%-1	23,88	2,89	0,428	2.936
Tejido plano (TP) 25%-2	23,76	2,86	0,294	2.722
Tejido plano (TP) 25%-3	24,73	3,01	0,31	2.880
Tejido plano (TP) 25%-4	23,61	2,66	0,38	3.504
Tejido plano (TP) 25%-5	24,54	2,60	0,35	2.550
Fibra corta (FCo2) 30%-1	24,07	3,23	No se registra	3.901
Fibra corta (FCo2) 30%-2	24,17	3,38	0,34	3.659
Fibra corta (FCo2) 30%-3	24,46	3,28	0,41	4.466
Fibra corta (FCo2) 30%-4	23,34	3,35	0,39	4.408
Fibra corta (FCo2) 30%-5	24,39	3,27	0,51	4.651

3. ENSAYO DE FLEXIÓN SEGÚN NORMA ASTM D 7264

Identificación	Espesor	Ancho	Carga máxima registrada	Deflexión
	mm	mm	N	mm
Empresa MI-1	3,28	12,60	129,2	9,5
Empresa MI-2	3,40	12,62	138,3	10,0
Empresa MI-3	3,39	12,68	137,5	10,5
Empresa MI-4	3,25	12,70	134,2	11,5
Empresa MI-5	3,41	12,74	133,3	10,0
Empresa IB-1	3,31	12,83	133,3	7,5
Empresa IB-2	3,38	12,76	182,5	8,0
Empresa IB-3	3,42	12,63	172,5	7,5
Empresa IB-4	3,22	12,60	120	9,0
Empresa IB-5	3,36	12,82	162,5	9,5
Empresa CE-1	3,39	12,62	117,5	12,0
Empresa CE-2	3,27	12,80	146,5	10,5
Empresa CE-3	3,42	12,68	160,8	10,5
Empresa CE-4	3,37	12,74	140,0	11,0
Empresa CE-5	3,30	12,80	174,2	10,5
Empresa MI-1-1	3,36	12,80	308,0	15,5
Empresa MI-1-2	3,29	12,84	254,0	13,0

Identificación	Espesor	Ancho	Carga máxima registrada	Deflexión
	mm	mm	N	mm
Probetas fibra corta (FCo1) 30%-1	3,12	12,85	79,16	18,0
Probetas fibra corta (FCo1) 30%-2	3,12	12,85	67,50	15,0
Probetas fibra corta (FCo1) 30%-3	3,12	12,85	93,33	17,5
Probetas fibra corta (FCo1) 30%-4	3,20	12,85	88,33	16,5
Probetas fibra corta (FCo1) 30%-5	3,12	12,85	87,50	16,5
Tejido plano (TP) 30%-1	2,80	12,65	87,50	23,0
Tejido plano (TP) 30%-2	2,80	12,67	85,00	19,5
Tejido plano (TP) 30%-3	2,90	12,80	87,50	24,5
Tejido plano (TP) 30%-4	2,90	12,80	91,66	25,5
Tejido plano (TP) 30%-5	3,00	12,60	89,16	28,0
Fibra larga de cabuya (FL) 40%-1	3,45	12,80	41,70	7,5
Fibra larga de cabuya (FL) 40%-2	3,90	12,80	132,50	17,5
Fibra larga de cabuya (FL) 40%-3	3,60	12,80	27,50	9,5
Fibra larga de cabuya (FL) 40%-4	3,50	12,80	48,30	18,0
Fibra larga de cabuya (FL) 40%-5	3,50	12,80	34,20	11,0
MAT fibra de vidrio (FL)30%-1	2,71	12,90	47,50	25,5
MAT fibra de vidrio (FL)30%-2	2,72	12,86	36,70	17,5
MAT fibra de vidrio (FL)30%-3	2,73	12,84	47,50	18,5
MAT fibra de vidrio (FL)30%-4	2,70	12,86	36,70	17,5
MAT fibra de vidrio (FL)30%-5	2,74	12,90	47,50	18,5
Fibra larga de cabuya (FL) 30%-1	3,12	12,72	77,50	16,5
Fibra larga de cabuya (FL) 30%-2	3,14	12,68	90,00	17,5
Fibra larga de cabuya (FL) 30%-3	3,26	12,74	90,80	20,5
Fibra larga de cabuya (FL) 30%-4	3,08	12,70	78,30	18,0
Fibra larga de cabuya (FL) 30%-5	3,04	12,74	90,00	21,5

4. ENSAYO DE IMPACTO SEGÚN NORMA ASTM D 5628

Peso del impactador: 168,7 g

Identificación	Altura de caída	Energía de impacto	Observación
	mm	J	
Fibra de vidrio + rubín -1	900	1,49	No falla
Fibra de vidrio + rubín -2	1000	1,65	Falla
Empresa MI-1	600	0,99	No falla
Empresa MI-2	700	1,16	No falla
Empresa MI-3	800	1,32	No falla
Empresa MI-4	900	1,49	Falla

Empresa MI-5	1000	1,65	Falla
Empresa IB-1	1100	1,82	No falla
Empresa IB-2	1200	1,99	No falla
Empresa IB-3	1500	2,48	Falla
Empresa IB-4	1400	2,32	No falla
Empresa IB-5	1300	2,15	No falla
Empresa CE-1	1000	1,65	No falla
Empresa CE-2	1100	1,82	No falla
Empresa CE-3	1200	1,99	No falla
Empresa CE-4	1300	2,15	Falla
Empresa CE-5	1400	2,32	Falla

Peso del impactador: 285,5 g

Identificación	Altura de caída	Energía de impacto	Observación
	mm	J	
RP + fibra de vidrio 375 (material compuesto)	800	2,24	Falla
Fibra corta 30% (FV+FC+FV)	850	2,38	Falla
Fibra larga 30% (FV+FC+FV)	850	2,38	Falla
Fibra larga 40% (FV+FC+FC+FV)	550	1,54	Falla
Tejido plano 30% (FV+FC+FV)	850	2,38	Falla



Víctor Hugo Guerrero, Ph.D.
**JEFE DEL LABORATORIO DE
ANÁLISIS DE ESFUERZOS Y VIBRACIONES**