



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

TRABAJO EXPERIMENTAL

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO

TEMA:

“ EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE UN MATERIAL
COMPUESTO DE MATRIZ POLIÉSTER REFORZADO CON FIBRAS DE
TEREFTALATO DE POLIETILENO Y SU POSIBLE APLICACIÓN
INDUSTRIAL”

AUTOR: Christian Mauricio Sailema Moyolema

TUTOR: Ing. Mg. Segundo Espín

Ambato –Ecuador

2017

APROBACIÓN POR EL TUTOR

CERTIFICACIÓN

En mi calidad de tutor del Trabajo experimental, previo a la obtención del título de Ingeniero Mecánico, con el tema “EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE UN MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ POLIÉSTER REFORZADO CON FIBRAS DE TEREFALATO DE POLIETILENO Y SU POSIBLE APLICACIÓN INDUSTRIAL”, elaborado por el Sr. Christian Mauricio Sailema Moyolema, con cedula de ciudadanía: 1803995016, egresado de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Carrera de Ingeniería Mecánica.

Certifico:

- Que el presente trabajo experimental es original de su autor.
- Ha sido revisado cada uno de sus componentes.
- Está concluido en su totalidad.

.....
Ing. Mg. Segundo Espín

TUTOR

AUTORÍA DEL TRABAJO

Yo, Christian Mauricio Sailema Moyolema, portador de la C.I. 1803995016, declaro que el presente trabajo experimental bajo el tema: “EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE UN MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ POLIÉSTER REFORZADO CON FIBRAS DE TEREFTALATO DE POLIETILENO Y SU POSIBLE APLICACIÓN INDUSTRIAL”, es de absoluta autoría mía, tanto las ideas, criterios emitidos en el estudio, como también los contenidos, análisis y conclusiones.

.....
Christian Mauricio Sailema Moyolema

C. I.: 1803995016

DERECHOS DE AUTOR

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

Cedo los derechos de mi trabajo experimental con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de esta dentro de las regulaciones de la Universidad. Siempre y cuando ésta reproducción no suponga una ganancia económica y se realiza respetando mis derechos de autor.

.....
Christian Mauricio Sailema Moyolema

C. I.: 1803995016

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del tribunal de grado aprueban el informe del trabajo experimental realizado por el estudiante Christian Mauricio Sailema Moyolema de la carrera de Ingeniería Mecánica bajo el tema: “EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE UN MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ POLIÉSTER REFORZADO CON FIBRAS DE TEREFTALATO DE POLIETILENO Y SU POSIBLE APLICACIÓN INDUSTRIAL”

Ambato, Mayo del 2017

Para constancia firman:

.....
Ing. Mg. Juan Paredes

.....
Ing. Mg. Henry Vaca

DEDICATORIA

Sobre todas las cosas dedico este trabajo a Dios por ser mi fortaleza y darme sabiduría para seguir adelante, por haberme acompañando a lo largo de mi vida.

A mis padres Bolívar y Herminia, por ser un ejemplo de vida a seguir, por brindarme la oportunidad de tener una buena educación durante toda mi vida y por su apoyo incondicional en todo momento.

A mi hermana Yadira por su compañía, su apoyo incondicional y por hacer de mis días más alegres.

A todos mis familiares y amigos que de una u otra manera me demostraron su apoyo incondicional en el transcurso de toda mi carrera y por ser un ejemplo de unidad familiar.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por permitirme vivir estos momentos inolvidables, por estar con migo en cada paso que doy y por ser mi fortaleza para continuar.

A la prestigiosa Universidad Técnica de Ambato por permitirme ser parte de esta institución darme la oportunidad de formarme como profesional.

A los docentes de la Facultad de la Ingeniería Civil y Mecánica, Carrera de Ingeniería Mecánica porque son a quienes les debo los conocimientos que he adquirido durante toda mi carrera, gracias a su paciencia y enseñanza.

Al Ing. Mg. Segundo Espín, por su tiempo y guía y disposición para ayudarme durante el desarrollo de este trabajo.

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDO

PÁGINAS PRELIMINARES

APROBACIÓN POR EL TUTOR	II
AUTORÍA DEL TRABAJO	III
DERECHOS DE AUTOR	IV
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO	V
DEDICATORIA	VI
AGRADECIMIENTO	VII
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDO	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS	XIII
ÍNDICE DE TABLAS	XVI
RESUMEN EJECUTIVO	XVIII
EXECUTIVE SUMMARY	XIX
CAPÍTULO I	1
ANTECEDENTES	1
1.1. Tema	1
1.2. Antecedentes.....	1
1.3. Justificación	2
1.4. Objetivos.....	3
1.4.1. Objetivo general.....	3
1.4.2. Objetivos específicos	3
CAPÍTULO II	4
FUNDAMENTACIÓN	4
2.1. Fundamentación teórica.....	4

2.1.1.	Ciencia e ingeniería de materiales	4
2.1.2.	Materiales compuestos.....	5
2.1.2.1.	Componentes de los materiales compuestos.....	5
2.1.2.2.	Clasificación de los materiales compuestos.....	8
2.1.2.3.	Importancia de los materiales compuestos	8
2.1.2.4.	Materiales compuestos y sus propiedades	12
2.1.3.	Resina Poliéster.....	12
2.1.3.1.	Resinas pre aceleradas	14
2.1.3.2.	Proceso de curado	14
2.1.3.3.	Catalizador y acelerador	15
2.1.4.	Tereftalato de polietileno (PET)	16
2.1.4.1.	Características del PET	16
2.1.5.	Reglas de la mezcla de los componentes de un material compuesto.....	17
2.1.6.	Ensayo de materiales.....	18
2.1.6.1.	Ensayo de Tracción.....	18
2.1.6.2.	Ensayo de flexión.....	20
2.1.6.3.	Ensayo de impacto	22
2.2.	Hipótesis	24
2.3.	Señalamiento de variables de la hipótesis	24
2.3.1.	Variable independiente	24
2.3.2.	Variable dependiente	24
2.3.3.	Termino de relación	24
	CAPÍTULO III	25
	METODOLOGÍA	25

3.1. Nivel o tipo de investigación	25
3.1.1. Exploratorio	25
3.1.2. Descriptiva	25
3.1.3. Explicativa	25
3.2. Población y muestra.....	25
3.2.1. Población.....	25
3.2.2. Muestra	26
3.3. Operación de variables	27
3.3.1. Variable independiente	27
3.3.2. Variable dependiente	28
3.4. Plan de recolección de información.....	29
3.5. Plan de procesamiento y análisis	29
3.5.1. Plan de procedimiento.....	29
3.5.2. Plan de análisis e interpretación de resultados.....	29
3.6. Determinación del proceso de obtención de las probetas experimentales....	30
3.6.1. Obtención de la materia prima	32
3.6.2. Obtención de químicos	32
3.6.3. Determinación de la densidad de la matriz (Resina Poliéster)	34
3.6.4. Determinación de la densidad del refuerzo (Fibra de PET).....	35
3.6.5. Diseño de probetas	36
3.6.6. Volumen requerido del molde	37
3.6.7. Fracciones volumétricas.....	38
3.6.7.1. Cálculos para la fracción volumétrica del 70% de matriz y el 30% de refuerzo	40

3.6.7.2. Cálculos para la fracción volumétrica del 80% de matriz y el 20% de refuerzo	43
3.6.7.3. Cálculos para la fracción volumétrica del 90% de matriz y el 10% de refuerzo	46
3.6.8. Configuración de la fibra de tereftalato de polietileno	49
3.6.9. Realización de las probetas mediante estratificación a compresión	50
3.6.9.1. Preparación del molde.....	50
3.6.9.2. Preparación del material de refuerzo	51
3.6.9.3. Preparación de la matriz.....	52
3.6.9.4. Sellado del molde.....	53
3.6.9.5. Desmolde	54
3.6.9.6. Corte del material compuesto obtenido	55
3.6.10. Determinación de las propiedades mecánicas del material compuesto ..	57
3.6.11. Ensayo de tracción	58
3.6.12. Ensayo de flexión.....	60
3.6.13. Ensayo de impacto	61
CAPÍTULO IV	62
ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	62
4.1. Recolección de datos	62
4.1.1. Tabulación de resultados de los ensayos de tracción.....	62
4.1.2. Tabulación de resultados de los ensayos a flexión	80
4.1.3. Tabulación de resultados de los ensayos de impacto.....	98
4.2. Análisis de los resultados.....	117
4.2.1. Interpretación de resultados	119

4.2.2.	Posibles aplicaciones industriales	120
4.3.	Verificación de la hipótesis	120
4.3.1.	Ho (Hipótesis Nula)	121
4.3.2.	Ha (Hipótesis Alterna)	121
4.3.3.	Regla de decisión	122
4.3.4.	Verificación de la hipótesis con respecto al grupo 2 y 3	122
4.3.5.	Verificación de la hipótesis con respecto al grupo 1 y 3	124
4.3.6.	Verificación de la hipótesis con respecto al grupo 1 y 4	125
	CAPÍTULO V	127
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	127
5.1.	Conclusiones	127
5.2.	Recomendaciones	128
	MATERIALES DE REFERENCIA	129
	Bibliografía	129
	ANEXOS	131
	Anexo 1: Norma para ensayo de tracción ASTM D3039-00	131
	Anexo 2: Norma para ensayo de flexión ASTM D7264-07	131
	Anexo 3: Norma para ensayo de impacto ASTM D5628-10	131
	Anexo 4: Ficha técnica de la resina poliéster	131
	Anexo 5: Ficha técnica de la fibra de tereftalato de polietileno (PET)	131
	Anexo 6: Tabla de datos de la t calculada	131
	Anexo 7: Informe técnico de los ensayos de tracción y flexión	131
	Anexo 8: Planos	131

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2. 1: Material expuesto a: (a) cargas compresivas (b) expuesto a tracción...6	6
Figura 2. 2: Microfotografía obtenida por microscopía electrónica de barrido de la superficie de fractura de una aleación plata-cobre, reforzada con fibras de carbono.....7	7
Figura 2. 3: Diagrama: Resistencia vs longitud de fibra (material compuesto de matriz epóxica reforzado con fibra de vidrio con una fracción volumétrica de 0.5).10	10
Figura 2. 4: Representación: Resistencia de la tensión vs Ángulo entre fibras y esfuerzo (Efecto de la orientación de las fibras de un material compuesto de matriz epóxica reforzado con fibra de vidrio).11	11
Figura 2. 5: Fibras alineadas: (a) Unidireccionalmente de varias capas. (b) Capas cruzadas.....11	11
Figura 2. 6: Resina poliéster.12	12
Figura 2. 7: Esquema de la máquina utilizada para la realización de ensayos de tracción.....18	18
Figura 2. 8: a) Máquina universal de ensayos TiniusOlsen H25KS, b) Mordazas para ensayo de tracción c) Equipo para ensayo de flexión.19	19
Figura 2. 9: Configuración de carga a flexión en tres puntos (ASTM D7264/D7264M-07).....20	20
Figura 2. 10: Máquina de impacto por caída de dardo.22	22
Figura 3. 1: Diagrama de la caracterización del material compuesto31	31
Figura 3. 2: Fibra de PET.....32	32
Figura 3. 3: Resina Poliéster.33	33
Figura 3. 4: MEK Peróxido33	33
Figura 3. 5: Cera desmoldante.33	33
Figura 3. 6: Masa de la resina poliéster solidificada.....34	34
Figura 3. 7: Cálculo del volumen del material sólido.....34	34

Figura 3. 8: Cálculo del volumen de la fibra de PET	35
Figura 3. 9: Dimensiones de la probeta para ensayos de tracción.	37
Figura 3. 10: Dimensiones de la probeta para ensayos de flexión.....	37
Figura 3. 11: Dimensiones de la probeta para ensayos de impacto.	37
Figura 3. 12: Molde de madera.	38
Figura 3. 13: Masa de la fibra de PET de acuerdo a cada fracción volumétrica. .	49
Figura 3. 14: Fibra corta (10mm).....	49
Figura 3. 15: Medición de la Fibra larga.	50
Figura 3. 16: Limpieza del molde.....	50
Figura 3. 17: Aplicación de la cera desmoldante.....	51
Figura 3. 18: Colocación de la fibra corta de PET en el molde.....	51
Figura 3. 19: Colocación de la fibra larga de PET en el molde.....	51
Figura 3. 20: Volumen de resina de acuerdo a cada fracción volumétrica.....	52
Figura 3. 21: Añadidura de MEK a la resina	52
Figura 3. 22: Mezcla de los componentes.....	53
Figura 3. 23: Colocación de la mezcla en el molde.	53
Figura 3. 24: Sellado del molde.	53
Figura 3. 25: Desajuste de las tuercas.....	54
Figura 3. 26: Desmolde del material compuesto.	54
Figura 3. 27: Verificación del material compuesto obtenido.....	55
Figura 3. 28: Corte a laser del material compuesto.	55
Figura 3. 29: Probetas para ensayos de tracción cortadas bajo las especificaciones de la norma ASTM D3039-00.....	56
Figura 3. 30: Probetas para ensayos de flexión cortadas bajo las especificaciones de la norma ASTM D7264-07.....	56
Figura 3. 31: Probetas para ensayos de impacto cortadas bajo las especificaciones de la norma ASTM D5628-10.....	56
Figura 3. 32: Máquina Universal de Ensayos Electromecánicas MTE-10/50.....	57
Figura 3. 33: Máquina para ensayos de impacto.	58
Figura 3. 34: Probetas para ensayos de tracción con sobremonta.	58

Figura 4. 1: Campana de distribución del grupo 2 y 3 de los ensayos de tracción.....	123
Figura 4. 2: Campana de distribución del grupo 1 y 3 de los ensayos de flexión.	125
Figura 4. 3: Campana de distribución del grupo 1 y 4 de los ensayos de impacto.....	126

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2. 1: Propiedades de la resina poliéster	13
Tabla 3. 1: Variable independiente	27
Tabla 3. 2: Variable dependiente	28
Tabla 3. 3: Cálculo de la densidad de la fibra de PET	36
Tabla 3. 4: Dimensionamiento de las probetas para cada ensayo	36
Tabla 3. 5: Características de las probetas para ensayos a tracción.....	59
Tabla 3. 6: Características de las probetas para ensayos a Flexión.....	60
Tabla 4. 1. Ficha Técnica del ensayo de tracción para probetas con una fracción volumétrica de 70% matriz y 30% refuerzo; fibra larga; orientación longitudinal..	62
Tabla 4. 2: Ficha Técnica del ensayo de tracción para probetas con una fracción volumétrica de 80% matriz y 20% refuerzo; fibra larga; orientación longitudinal..	65
Tabla 4. 3: Ficha Técnica del ensayo de tracción para probetas con una fracción volumétrica de 90% matriz y 10% refuerzo; fibra larga; orientación longitudinal..	68
Tabla 4. 4: Ficha Técnica del ensayo de tracción para probetas con una fracción volumétrica de 70% matriz y 30% refuerzo; fibra corta; orientación al azar.....	71
Tabla 4. 5: Ficha Técnica del ensayo de tracción para probetas con una fracción volumétrica de 80% matriz y 20% refuerzo; fibra corta; orientación al azar.....	74
Tabla 4. 6: Ficha Técnica del ensayo de tracción para probetas con una fracción volumétrica de 90% matriz y 10% refuerzo; fibra corta; orientación al azar.....	77
Tabla 4. 7: Ficha Técnica del ensayo de Flexión para probetas con una fracción volumétrica de 70% matriz y 30% refuerzo; fibra larga; orientación longitudinal..	80
Tabla 4. 8: Ficha Técnica del ensayo de Flexión para probetas con una fracción volumétrica de 80% matriz y 20% refuerzo; fibra larga; orientación longitudinal..	83
Tabla 4. 9: Ficha Técnica del ensayo de Flexión para probetas con una fracción volumétrica de 90% matriz y 10% refuerzo; fibra larga; orientación longitudinal..	86

Tabla 4. 10: Ficha Técnica del ensayo de Flexión para probetas con una fracción volumétrica de 70% matriz y 30% refuerzo; fibra corta; orientación al azar.....	89
Tabla 4. 11: Ficha Técnica del ensayo de Flexión para probetas con una fracción volumétrica de 80% matriz y 20% refuerzo; fibra corta;orientación al azar.....	92
Tabla 4. 12: Ficha Técnica del ensayo de Flexión para probetas con una fracción volumétrica de 90% matriz y 10% refuerzo; fibra corta; orientación al azar.....	95
Tabla 4. 13: Ficha Técnica del ensayo de impacto para probetas con una fracción volumétrica de 70% matriz y 30% refuerzo; fibra larga; orientación longitudinal..	98
Tabla 4. 14: Ficha Técnica del ensayo de impacto para probetas con una fracción volumétrica de 80% matriz y 20% refuerzo; fibra larga; orientación longitudinal..	101
Tabla 4. 15: Ficha Técnica del ensayo de impacto para probetas con una fracción volumétrica de 90% matriz y 10% refuerzo; fibra larga; orientación longitudinal.....	105
Tabla 4. 16: Ficha Técnica del ensayo de impacto para probetas con una fracción volumétrica de 70% matriz y 30% refuerzo; fibra corta; orientación al azar.....	108
Tabla 4. 17: Ficha Técnica del ensayo de impacto para probetas con una fracción volumétrica de 80% matriz y 20% refuerzo; fibra corta;orientación al azar.....	111
Tabla 4. 18: Ficha Técnica del ensayo de impacto para probetas con una fracción volumétrica de 90% matriz y 10% refuerzo; fibra corta; orientación al azar.....	114
Tabla 4. 19: Evaluación de los resultados obtenidos en los respectivos ensayos de tracción, flexión e impacto.	117
Tabla 4. 20: Interpretación de resultados de las propiedades mecánicas.....	119
Tabla 4. 21: Verificación de la hipótesis de las probetas del grupo 2 y 3.....	122
Tabla 4. 22: Verificación de la hipótesis de las probetas del grupo 1 y 3.....	124
Tabla 4. 23: Verificación de la hipótesis de las probetas del grupo 1 y 4.....	125

RESUMEN EJECUTIVO

“EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE UN MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ POLIÉSTER REFORZADO CON FIBRAS DE TEREFTALATO DE POLIETILENO Y SU POSIBLE APLICACIÓN INDUSTRIAL”

Autor: Christian Mauricio Sailema Moyolema

Tutor: Ing. Mg. Segundo Espín

En el Ecuador se producen cada día toneladas de desechos sólidos los cuales se degradan en tiempos muy prolongados por lo que el presente trabajo experimental tuvo como objetivo realizar un material compuesto de matriz poliéster reforzado con fibras de materiales reciclados como el tereftalato de polietileno (PET), por lo que se tomaron diferentes fracciones volumétricas y también diferentes configuraciones del material de refuerzo. Se determinó el grupo de probetas que presenta las mejores propiedades mecánicas, a través de ensayos de tracción, flexión e impacto bajo las especificaciones de las normas ASTM D3039-00, ASTM D7264-07 y ASTM D5628-10 respectivamente.

Del análisis realizado a los tres tipos de ensayos se determinó que el material compuesto que presentó mejores características mecánicas corresponde al grupo 4 el cual tiene una fracción volumétrica de 70% de matriz con el 30% de refuerzo y con una configuración de fibra corta (10mm) con una orientación al azar y el tipo de estratificación utilizada fue a compresión.

EXECUTIVE SUMMARY

EVALUATION OF THE MECHANICAL BEHAVIOR OF A COMPOSITE MATERIAL OF POLYESTER MATRIX REINFORCED WITH POLYETHYLENE TEREPHTHALATE FIBERS AND THEIR POSSIBLE INDUSTRIAL APPLICATION

Author: Christian Mauricio Sailema Moyolema

Tutor: Ing. Mg. Segundo Espín

In Ecuador, tons of solid waste are produced every day, which degrade in a very long time, so the present experimental work had as objective to make a composite material of polyester matrix reinforced with fibers of recycled materials such as polyethylene terephthalate (PET), for which different volumetric fractions and also different configurations of the reinforcing material were taken.

The group of test specimens with the best mechanical properties was determined through tensile, flexural and impact tests under the specifications of ASTM D3039-00, ASTM D7264-07 and ASTM D5628-10 respectively.

From the analysis carried out to the three types of tests, it was determined that the composite material presenting the best mechanical characteristics corresponds to group 4 which has a volumetric fraction of 70% matrix with 30% reinforcement and with a short fiber configuration (10mm) with a random orientation and the type of stratification used was compression.

CAPÍTULO I

ANTECEDENTES

1.1. Tema

“EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE UN MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ POLIÉSTER REFORZADO CON FIBRAS DE TEREFTALATO DE POLIETILENO Y SU POSIBLE APLICACIÓN INDUSTRIAL”

1.2. Antecedentes

Se han ejecutado muchos estudios referentes a las propiedades de materiales compuestos basados en fibras sintéticas y en partículas los cuales son ampliamente utilizados en la industria del transporte, construcción, entre otras [1].

La realización de investigaciones que favorezcan el reprocesado y rehúso de materiales de desecho es la exigencia que se da en la actualidad debido al problema de la contaminación, por lo que es necesario realizar diferentes investigaciones, con el propósito de aprovechar los materiales de desecho como es el PET, considerando que el reprocesamiento del mismo es una área de oportunidad. Una de las investigaciones que se debe considerar es la realizada por Rodrigo Emanuel Santamaría, de la Universidad Nacional de Córdoba - Argentina, en su investigación sobre CARACTERIZACIÓN DE MATERIAL COMPUESTO PET-VIDRIO, el cual plantea iniciar las investigaciones sobre la utilización de materiales desechados como el PET y VIDRIO, y poder realizar un material compuesto de matriz polimérica de PET reciclado y reforzado con partículas de VIDRIO, esto con el propósito de promover el reciclado y a la vez utilizarlo en la construcción de viviendas puesto que dicho material se pensó para reemplazar a los materiales tradicionales de construcción [2].

Otra de las investigaciones que se debe tomar como referencia es la realizada por Ricardo Xavier Carrillo J., de la Universidad Internacional SEK, en su investigación acerca del DISEÑO DE UN MATERIAL COMPUESTO CON MATRIZ DE RESINA POLIÉSTER Y FIBRAS DE ASERRÍN Y PET, plantea la reutilización de desechos producidos por nuestra sociedad debido al exceso en ventas de plásticos como es el PET, para así disminuir el nivel de contaminación que produce dicho material, apuntando a una nueva aplicación a los desperdicios y aplicándolos para un uso mejorado [3].

1.3. Justificación

La búsqueda de nuevas formas de combinar materias primas y procesos innovadores de producción, permite la obtención de un conjunto de propiedades y características de un nuevo material que satisfacen las expectativas del diseñador en ingeniería mecánica [4].

Para justificar esta búsqueda, los nuevos materiales obtenidos tendrán ventaja sobre otros, principalmente en la reducción de costos de producción. Lo que se busca es una relación alta entre resistencia mecánica y densidad, facilidad de producción, bajo costo de materias primas y que el proceso de producción, así como el procesamiento y uso del material, no ocasione un impacto ambiental. El presente proyecto tiene la finalidad de la reutilización de los desechos más comunes producidos por la población debido al exceso en ventas de plásticos como es el tereftalato de polietileno (PET) disminuyendo el nivel de contaminación que produce dicho material, sugiriendo una nueva aplicación a estos desperdicios y aplicándolos para un uso mejorado. Para esto se ha desarrollado un material compuesto que se basa en una matriz de una resina de poliéster, que por su fácil manejo y sus favorables propiedades se pueden mejorar implementando dentro de ella fibras o partículas de este elemento que agregan mayor resistencia y mejoran sus propiedades mecánicas, presentando una fórmula simple que permita realizar dicha mezcla en cualquier lugar del país donde los componentes sean accesibles, aplicando conocimientos adquiridos en el diseño, utilizando matrices y moldes para la formación de ejemplares de pruebas y sus posteriores ensayos destructivos y determinando las resistencias mecánicas a la tracción, flexión e impacto [5].

En el Ecuador existen varios lugares donde se encuentran una gran cantidad de desechos que provienen de plásticos, estos desechos son descartados contaminando el ambiente por el lento proceso de descomposición del plástico. La cultura ecuatoriana avanza con el tiempo de manera positiva acerca del reciclaje de todo material, sin embargo se encuentra muy atrasada en sus métodos para favorecerse con los desperdicios que se generan en la producción y en la acumulación de residuos de plástico [6].

Desde el punto de vista económico, se requiere desarrollar un compuesto que utilice fibras de producción nacional, lo cual puede generar plazas de trabajo, y a su vez, disminuir el impacto ambiental que hoy en día generan estas fibras, al ser tratadas como desechos industriales [7]. Adicionalmente, existen ciertas fibras que en la actualidad son residuos de otros procesos y que contribuyen a incrementar los niveles de contaminación. Algunas de estas fibras pueden ser utilizadas como fase de refuerzo para fabricar materiales compuestos, con lo cual se logra reducir el impacto generado por la fibra como desecho. Por estas razones es indispensable atender tanto la teoría como la práctica de este material compuesto, como una forma de ayudar al desarrollo tecnológico de este país [8].

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Evaluar el comportamiento mecánico de un material compuesto de matriz poliéster reforzado con tereftalato de polietileno.

1.4.2. Objetivos específicos

- Determinar la fracción volumétrica, tipo de estratificación y orientación de los materiales utilizados.
- Determinar las propiedades mecánicas del material compuesto de matriz poliéster reforzado con tereftalato de polietileno mediante las normas ASTM.
- Determinar un material compuesto de matriz poliéster reforzado con tereftalato de polietileno (PET) que cumpla con las propiedades mecánicas necesarias para aplicaciones en ingeniería.
- Establecer el proceso de obtención de probetas y el moldeo correspondiente.

CAPÍTULO II

FUNDAMENTACIÓN

2.1. Fundamentación teórica

2.1.1. Ciencia e ingeniería de materiales

Las primeras civilizaciones solo se limitaban a utilizar materiales naturales tales como la madera, cuero, arcilla, entre otros, pero al pasar el tiempo el hombre fue descubriendo diferentes técnicas las cuales les permitieron obtener materiales con mejores propiedades tales como los metales y cerámicas. Asimismo con el pasar del tiempo fueron descubriendo diferentes tratamientos los cuales permitían mejorar las propiedades finales del material.

Aproximadamente en los últimos 50 años se han realizado miles de nuevos materiales con características especiales (plásticos, metales, vidrio, fibras), con el objetivo de satisfacer una determinada demanda, pero no siempre es el material el que se desarrolla para atender una necesidad ya que en ocasiones la aparición de nuevas tecnologías es provocada por el descubrimiento de las propiedades de un determinado material. Actualmente una parte fundamental de la economía actual es la producción de nuevos materiales así como también el procesado de los mismos. La ingeniería de materiales ha logrado combinar varios metales, cerámicos y polímeros con el fin de producir nuevos materiales con propiedades mecánicas mejoradas como rigidez, dureza y resistencia ambiental.

Según Callister [9], la disciplina ciencia de los materiales implica investigar la relación entre la estructura y las propiedades de los materiales. Por el contrario, la ingeniería de los materiales se fundamenta en las relaciones propiedades estructura y diseña o proyecta la estructura de un material para conseguir un conjunto predeterminado de propiedades. Muchos científicos técnicos o ingenieros, sean mecánicos, civiles, químicos o eléctricos, en alguna ocasión se encontraran con un problema de diseño en el cual intervengan materiales.

Para Askeland [10], todos los ingenieros tienen que ver con materiales, de manera cotidiana, en manufactura y procesamientos y el diseño y construcción de

componentes o de estructuras. Deben seleccionar y utilizar materiales y analizar las fallas de los mismos.

2.1.2. Materiales compuestos

Un material compuesto es la combinación entre dos o más materiales diferentes los cuales muestran una interface reconocible y discreta que los separa por lo que son considerados heterogéneos. En la actualidad, en su gran mayoría los materiales compuestos utilizados son diseñados y fabricados por el hombre.

Debido a la necesidad de conseguir materiales con una determinada combinación de propiedades que por lo general es difícil que se encuentren en los plásticos, metales o cerámicos, es que surgen los materiales compuestos. Un ejemplo de ello se da en la industria del transporte, ya que en esta industria es necesario materiales que sean resistentes a la corrosión y el desgaste así como también que sean rígidos, ligeros y resistentes al impacto, dichas propiedades que rara vez se dan juntas, por tal motivo la importancia de diseñar un material de acuerdo a la aplicación que se necesite.

También hay que considerar que al utilizar este tipo de materiales en aplicaciones prácticas no siempre es factible, debido a que estos materiales en ocasiones son caros y además de difícil fabricación, esto a pesar de que estos materiales tengan propiedades excepcionales.

Además es importante señalar que en todos los materiales compuestos se pueden distinguir dos componentes bien diferenciados que son la matriz y el refuerzo, esto como una característica importante de un material compuesto.

2.1.2.1. Componentes de los materiales compuestos

a) La matriz.

La fase continua en la que el refuerzo queda húmedo se la conoce como matriz. Ya sea materiales cerámicos, metálicos o resinas orgánicas pueden ser utilizados como matriz con excepción de los cerámicos. El material que va actuar como matriz por lo general no es tan resistente ni tan rígido como si lo es el material de refuerzo.

Principales funciones de la matriz:

- Define propiedades químicas y físicas.
- Transmite cargas al refuerzo.
- Da conexión y protege al refuerzo.

También permite determinar diferentes características del material compuesto tales como el acabado superficial y la confortabilidad.

La capacidad que tenga el material compuesto para ser conformado con geometrías complejas en procesos que no tendrán posteriores etapas de acabado, dependerá generalmente de las propiedades de la matriz.

En el momento en que un material compuesto es sometido a diferentes tipos de cargas mecánicas la matriz actúa de diferente manera:

- Cuando el material compuesto está sometido a cargas compresivas, la que soporta el esfuerzo es la matriz
- Cuando el material compuesto está sometido a cargas de tracción, las fibras son las que soportan el esfuerzo, debido a que la matriz transfiere la carga aplicada a cada fibra o partícula.



Figura 2. 1. Material expuesto a: (a) cargas compresivas, (b) expuesto a tracción. [11]

b) Material de refuerzo

El material de refuerzo es la fase dispersa que se le agrega a la matriz con la finalidad de otorgar al material compuesto una propiedad que no posea la matriz. El material de refuerzo puede ser en forma de partículas o de fibras el cual es utilizado para aumentar la resistencia, rigidez mecánica y además para mejorar el comportamiento cuando estén sometidos a altas temperaturas o la resistencia a la abrasión.

El material de refuerzo llega a hacer mucho más efectivo cuando:

- Las partículas tienen menor tamaño y están homogéneamente distribuido en la matriz.
- Se aumenta la relación longitud/diámetro de la fibra.

La mayoría de los materiales compuestos que son reforzados con fibras son rígidas, resistentes y además de poco peso. Es importante indicar que si el material compuesto requiere ser utilizado a temperaturas elevadas, las fibras también tendrán que tener una temperatura de fusión elevada.

Entre las fibras más utilizadas están la fibra de vidrio, aramida y carbono debido a que poseen una resistencia a la tracción considerablemente alta.

a) **Interfaz**

Las propiedades del compuesto dependerá de cómo sea la región de contacto entre el material de refuerzo y la matriz, ya que si la interface es débil provocará que la transferencia de carga de la matriz a la fibra sea deficiente, esto hará que la matriz sea la que soporte las cargas aplicadas lo que provocará fallas, como huecos entre las fibras y la matriz, lo que provocará la rotura del material.

Debido a que la matriz y la fibra son materiales de familias diferentes es difícil obtener una buena adhesión entre estos componentes. Una buena adhesión depende del contacto íntimo de los átomos en la superficie de cada componente.

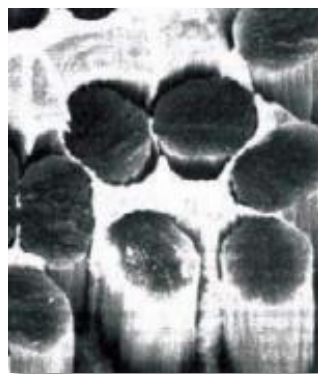


Figura 2. 2. Microfotografía obtenida por microscopía electrónica de barrido de la superficie de fractura de una aleación plata-cobre, reforzada con fibras de carbono. [11]

2.1.2.2. Clasificación de los materiales compuestos

a) En función de la naturaleza de la matriz

- **Matriz polimérica:** Este tipo de compuestos son los más comunes, están formados por una matriz que es un polímero y como material de refuerzo se utiliza fibras de vidrio, carbono o aramídicas.
- **Matriz cerámica:** Estos compuestos son utilizados en aplicaciones en la que el material va a estar expuesto a altas temperaturas. Es un compuesto de matriz cerámica y de refuerzo se utilizan fibras cortas.
- **Matriz metálica:** Estos compuestos están formados por una matriz de metales livianos (aluminio), reforzados generalmente con fibras de carburo de silicio. Además este tipo de compuestos cada vez más son utilizados en la industria automotriz.

b) Por la forma que posee el refuerzo

- **Partículas:** Este material de refuerzo se clásica en refuerzo con partículas grandes y consolidados por dispersión. Los refuerzos con partículas grandes son diseñados para producir combinaciones de propiedades poco comunes más no para mejorar la resistencia mecánica del material. Mientras que los compuestos consolidados por dispersión poseen partículas de 10 a 250nm de diámetro
- **Fibras:** Los compuestos reforzados con fibra son los más comunes ya que al combinar fibras rígidas y resistentes en una matriz más blanda y dúctil el material compuesto obtendrá una mejor resistencia a la fatiga, mejor rigidez y a su vez una mejor relación entre la resistencia y el peso. Las fibras son las que soportan la mayor parte de la fuerza aplicada debido a que la matriz es la encargada de transmitir la fuerza aplicada a las fibras. A temperatura ambiente y a temperaturas elevadas la resistencia del compuesto puede llegar a ser alta.

2.1.2.3. Importancia de los materiales compuestos

Los materiales poliméricos tales como las resinas epoxies y poliéster no tienen propiedades mecánicas muy altas en comparación con la mayoría de metales por lo

que su uso es muy limitado. A su vez estos materiales poliméricos también tienen características importantes tales como: fáciles de conformar en piezas que geométricamente son muy complejas.

Materiales como el vidrio el boro y la aramida poseen una resistencia mecánica muy alta pero cuando consideramos a estos materiales como un sólido macizo su resistencia mecánica no es aparente ya que si sometemos a estos materiales a tensiones, provocaran su ruptura con esfuerzos mucho menores que su resistencia teórica.

Entonces se obtienen propiedades excepcionales al combinar las resinas con las fibras de refuerzo obteniendo así un material compuesto de matriz de resina la cual es la que transmite la carga aplicada a cada fibra individual y a su vez protege al material de refuerzo de daños causados por abrasión o impacto.

La configuración de dos materiales diferentes en la que trabajen brindando sus mejores características hará que se obtenga un material compuesto con características importantes como alta resistencia mecánica y tenacidad, buena resistencia a la corrosión, facilidad de conformado de piezas con geometría compleja y además su baja densidad. Por todas las características antes mencionadas es que los materiales compuestos en muchas ocasiones llegan a ser mejores a los metálicos en distintas aplicaciones.

a) Diseño de un compuesto

En el diseño de un material compuesto reforzado con fibras hay que considerar factores tales como: la orientación, la longitud, la cantidad de fibra y propiedades de las mismas además las propiedades de la matriz y también la unión entre la fibra y la matriz.

- **Longitud y diámetro de las fibras:** Las dimensiones de las fibras son caracterizadas mediante la relación de forma (longitud de la fibra / diámetro de la fibra). Las fibras pueden ser largas, cortas o continuas y además estas tienen un diámetro típico que están entre $10 \times 10^{-3} \text{mm}$ (10 micrones) y $150 \times 10^{-3} \text{mm}$ (150 micrones). Además se debe tener en cuenta que si la resistencia de forma es grande la resistencia del compuesto incrementa.

Para evitar defectos de superficie que provocan que las fibra se fracturen se deben utilizar fibras con un diámetro lo más pequeño posible, para que las

fibras tengan menos área superficial y así disminuir los defectos que pueden propagarse en el proceso o cuando estén bajo carga. Asimismo es mejor utilizar fibras largas debido a que los extremos de la fibra soportan menos carga que el resto por ende a menos extremos obtendremos una mejor capacidad de las fibras para soportar cargas.

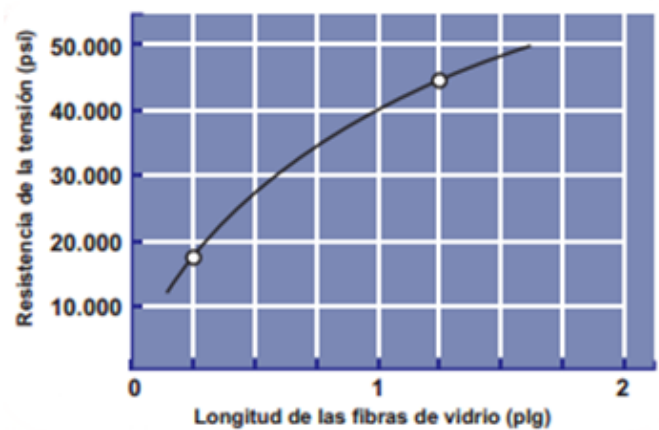


Figura 2. 3. Diagrama: Resistencia vs longitud de fibra (material compuesto de matriz epóxica reforzado con fibra de vidrio con una fracción volumétrica de 0.5). [11]

- **Cantidad de fibras:** Las fibras poseen mayores propiedades mecánicas intrínsecas por lo que al aplicar una mayor fracción volumétrica de fibra pueden incrementar la resistencia y la rigidez del compuesto. Pero hay que considerar que la fracción máxima de volumen de fibras es aproximadamente el 80 % ya que si se sobrepasa esta cantidad la matriz ya no rodeara totalmente a las fibras por lo tanto la transferencia de carga no será eficiente.
- **Orientación de las fibras:** La orientación de las fibras de refuerzo en un compuesto puede ser diversas. Al utilizar fibras cortas con una orientación aleatoria estas se pueden introducir con facilidad en la matriz dando un comportamiento isotrópico es decir que posee las mismas propiedades físicas en todas las direcciones. Mientras que al utilizar fibras largas o continuas con un arreglo unidireccional producen propiedades anisotrópicas con buena resistencia y rigidez paralelas a las fibras. A estas fibras se las conoce como capas de 0° haciendo referencia a que las fibras están alineadas en dirección del esfuerzo aplicado pero se debe tomar en cuenta que si la carga es perpendicular a las fibras se producirán propiedades pobres. Los materiales

compuestos reforzados con fibras tienen como característica que sus propiedades pueden ser diseñadas para resistir condiciones de diferentes cargas. Los arreglos ortogonales mediante los cuales se obtienen mejores resistencias en dos direcciones perpendiculares son las denominadas capas de 0° y 90° . Además se puede introducir fibras largas y continuas a la matriz en disposiciones más complejas que proporcionan refuerzo en varias direcciones tales como las capas de 0° , 45° y 90° .

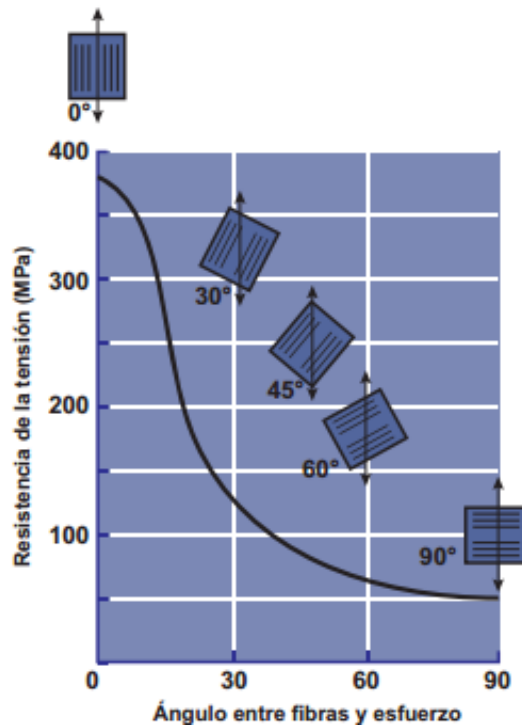


Figura 2. 4. Representación: Resistencia de la tensión vs Ángulo entre fibras y esfuerzo (Efecto de la orientación de las fibras de un material compuesto de matriz epóxica reforzado con fibra de vidrio). [11]

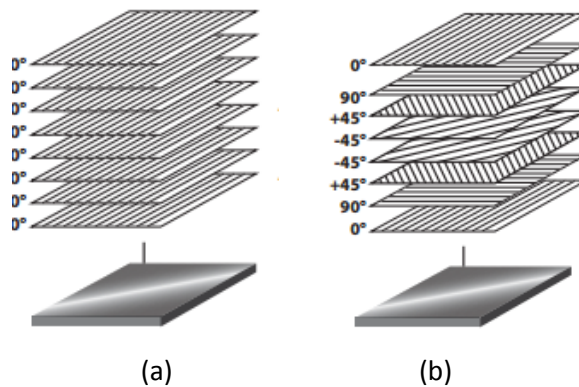


Figura 2. 5. Fibras alineadas: (a) Unidireccionalmente de varias capas. (b) Capas cruzadas. [11]

2.1.2.4. Materiales compuestos y sus propiedades

a) Propiedades Mecánicas

Un material compuesto está formado por una resina y un material de refuerzo por lo que las propiedades de este material serán las propiedades que en combinación brinden cada uno de los componentes. Por lo tanto las propiedades del material resultante estarán determinadas por las propiedades de la fibra, la matriz, la fracción volumétrica, la orientación y geometría de la fibra.

En un material compuesto al utilizar una matriz polimérica obtenemos una baja densidad mientras que la resistencia mecánica son aportadas por las fibras de refuerzo y estas a su vez al ser la fase minoritaria no adicionan mucho peso al compuesto. Por lo tanto se puede decir que los materiales compuestos en su mayoría poseen una alta resistencia mecánica y a la vez una baja densidad por lo que se pueden realizar materiales resistentes y livianos.

b) Resistencia a la corrosión

Los metales en muchos medios agresivos son susceptibles a la corrosión, como por ejemplo los relacionados con la industria petrolera. Pero los polímeros y los cerámicos son más resistentes por tal motivo los materiales compuestos son preferidos en lugar de los metales porque nos pueden ofrecer mejor resistencia a los medios corrosivos. Ya que si obtenemos un material compuesto apto para aplicaciones en la industria petrolera con una tenacidad y resistencia adecuadas este material resistirá mejor las condiciones de servicio [11].

2.1.3. Resina Poliéster



Figura 2. 6. Resina poliéster. [14]

Las resinas son sustancias que se encuentran en estado líquido pero mediante una reacción química provocada por un agente externo pueden pasar a estado sólido. Las resinas no tienen la resistencia suficiente por tal motivo es que se utilizan fibras de refuerzo las cuales aportan dureza y flexibilidad, propiedades necesarias para la realización de materiales con mejores propiedades físico mecánicas.

Se pueden encontrar diferentes clases de resinas tales como la resina poliéster la cual es la más utilizada por su economía, además las resinas vinilister y epoxi las cuales tienen un elevado precio pero brindan mejores características de adhesión y resistencia al agua.

Existen dos tipos de resina poliéster, las resina isoftálicas y las resinas ortoftálicas.

- Las resinas ortoftálicas comúnmente son utilizadas en embarcaciones, pero estas deben ser utilizadas en las capas exteriores de las embarcaciones.
- Las resinas isoftálicas presentan mejores propiedades que las anteriores principalmente porque este tipo de resinas son más resistentes al agua debido a que tienen una absorción de humedad casi nula.

En la Tabla 2.1 se puede observar las propiedades de la resina poliéster sin carga.

Tabla 2. 1. Propiedades de la resina poliéster

Propiedades de la Resina Poliéster	
Peso Especifico	1,28 g/cm ³
Resistencia a la Tracción	55Mpa
Resistencia a la Flexión	100Mpa
Resistencia a la Compresión	140Mpa
Resistencia al Impacto	2Kj/m ²
Dureza Rockwell escala M	110
Dureza Barcol (GYZJ 934-1)	50
Módulo de Young	3,5 GN/m ²
Alargamiento a la Rotura	2%
Absorción de agua, 24h, 20°C	0,15%
Conductividad Térmica	0,2 W/m°C
Coefficiente de dilatación lineal	100*10 ⁻⁶ /°C

(Fuente: [14])

2.1.3.1. Resinas pre aceleradas

Las resinas pre aceleradas son las que tienen un sistema acelerador previamente incorporado y controlado para que características como la gelificación y endurecimiento sean las más óptimas para el fabricante. Además estas resinas solo necesitan la adición del catalizador para que la reacción de fraguado comience.

2.1.3.2. Proceso de curado

Al agregar el catalizador a la resina poliéster es cuando inicia el proceso de curado. Esta resina puede durar en el envase durante horas o incluso días pero sin la adición de un acelerador, calor o radiación ultravioleta. Al ser muy lenta esta velocidad de curado se debe añadir un acelerador para que la reacción sea más rápida y bajo condiciones de temperatura ambiente, ya que el tiempo que tarda en gelificarse la resina y la velocidad de endurecimiento depende de la cantidad de acelerador que se añada.

Debido a la duración limitada que tiene la resina catalizada es conveniente primero añadir a la resina la cantidad adecuada de acelerador antes que nada ya que esto permite que la resina con el acelerador añadido se pueda conservar durante días o incluso semanas.

Fases en la reacción de curado:

- a) Tiempo de gelificación: se refiere al tiempo que pasa desde que se adiciono el acelerador hasta que la resina cuaja
- b) Tiempo de endurecimiento: Se refiere al tiempo que pasa desde que la resina fragua hasta que se endurezca lo suficiente como para proceder al desmolde.
- c) Tiempo de maduración: Es el tiempo que se demora el objeto moldeado en obtener dureza, estabilidad y resistencia química. Generalmente el tiempo que tarda en obtener estas propiedades puede ser horas, días o incluso semanas pero esto depende del sistema de curado y de la resina [12].

Las siguientes variables permitirán controlar los tiempos de curado de las resinas a temperatura ambiente:

- Cantidad de catalizador
- Cantidad de acelerador
- Temperatura

Factores que intervienen en el proceso de curado

- El tipo de resina empleada.
- La temperatura del ambiente
- La naturaleza y cantidad de catalizador y acelerador.
- Espesor del laminado
- La humedad relativa Ambiente
- Proceso de curado
- Exposición al sol.
- Presencia o ausencia de cargas [13].

2.1.3.3. Catalizador y acelerador

Con el objetivo de acelerar el proceso se utiliza una cantidad mayor de estos químicos para así tener un menor tiempo de gel, mayor temperatura exotérmica y además menor tiempo de desmolde pero este acelere provocaría que una parte de la resina se endurezca sin haberse aplicado o también provocaría daños en el molde o en la pieza por causa de las altas temperaturas ya que pueden alcanzar hasta 170° C. Al aplicar una dosis alta de catalizador neutralizaría la reacción de curado lo que provocaría que se obtenga una resina sin dureza y sin propiedades mecánicas.

Por otro lado se evitan algunos problemas al bajar la cantidad de acelerador o catalizador adicionado pero también aumentaría el tiempo de trabajo. Asimismo se debe considerar que una cantidad insuficiente de catalizador y/o acelerador provocaría que la pieza tarde mucho en secar o también podría provocar que nunca alcance sus propiedades finales.

El objetivo de los aceleradores es activar la reacción química y descomponer el catalizador para que se produzca el endurecimiento del poliéster. Mientras que el catalizador hace reaccionar el poliéster con el estireno y así obtener una estructura sólida tridimensional.

En las resinas poliéster los catalizadores que generalmente son utilizados son el Metil Etil Cetona, peróxido (MEK peróxido) y Benzoil peróxido (BPO) y el acelerante o acelerador es el octoato de cobalto.

Además hay que considerar los siguientes rangos de adición tanto de catalizador como de acelerador para obtener un tiempo de trabajo lo más adecuado posible dependiendo el volumen de la pieza, la resina y la temperatura ambiente con que se esté trabajando.

- Entre 0.05% y 0.5% de cobalto
- Entre 0.5% y 3% de MEK Peróxido

Cabe mencionar que la cantidad de adición del catalizador y acelerador no puede ser ni en exceso ni en defecto [14].

2.1.4. Tereftalato de polietileno (PET)

J.T. Dickinson y J.R. Whinfield en 1941 patentaron el tereftalato de polietileno (PET), como un polímero para fibra, posteriormente en el año 1951 inicio la producción comercial de fibra de poliéster. A partir de entonces se ha mostrado un continuo desarrollo tecnológico en la fabricación de PET. Para el año 1976 aparecen ya las fabricaciones de envases ligeros, transparentes y resistentes, pero estos envases eran utilizados principalmente para bebidas, los que en un principio eran botellas gruesas y hasta rígidas, en la actualidad son mucho más ligeros sin que esto quiera decir que se haya perdido sus excelentes propiedades como envase.

El tereftalato de polietileno se identifica con las siglas PET, o PETE en inglés, o a su vez con el número uno el cual está rodeado por tres flechas en el fondo de los envases que estén fabricados con este material, según el sistema de identificación SPI.

2.1.4.1. Características del PET

- 100% reciclable
- Conserva el aroma y sabor de los alimentos
- Alto grado de transparencia y brillo
- Barrera contra los gases
- Resistencia mecánica a la compresión y a las caídas
- Gran ligereza
- Procesable por soplado, inyección, extrusión.
- Alta resistencia al plegado y baja absorción de humedad que lo hacen muy adecuado para la fabricación de fibras [15].

2.1.5. Reglas de la mezcla de los componentes de un material compuesto

La regla de mezcla para materiales compuestos reforzados con fibras define características como por ejemplo la densidad.

$$\rho_c = f_m \rho_m + f_f \rho_f \quad \text{Ec. (2.1)}$$

Donde:

ρ_c = Densidad del compuesto

f_m = Fracción volumétrica de la matriz

ρ_m = Densidad de la matriz

f_f = Fracción volumétrica del refuerzo

ρ_f = Densidad del refuerzo

Además se debe considerar para los cálculos que:

$$f_m = 1 - f_f \quad \text{Ec. (2.2)}$$

El volumen requerido se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$V_r = l \cdot a \cdot e \quad \text{Ec. (2.3)}$$

Donde:

V_r = Volumen requerido

l = largo

a = ancho

e = espesor

Para la determinación de la masa del material de refuerzo se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$d = \frac{m}{v} \quad \text{Ec. (2.4)}$$

Donde:

M = masa del sólido

V = volumen del sólido [16].

2.1.6. Ensayo de materiales

La realización de los ensayos mecánicos se lo hace con el equipo adecuado y ante circunstancias simuladas, para que los resultados tengan validez. Para la realización del ensayo se toma un número determinado de muestras del material a ensayar para posteriormente realizar una cierta cantidad de pruebas para caracterizar el comportamiento del material.

2.1.6.1. Ensayo de Tracción

El ensayo de tracción se utiliza para determinar diferentes propiedades del material analizado que son importantes para el diseño. Este ensayo consiste en deformar una probeta hasta su rotura con la aplicación de una carga de tracción la cual es aplicada uniaxialmente a lo largo del eje principal y que va en aumento de forma gradual [16].

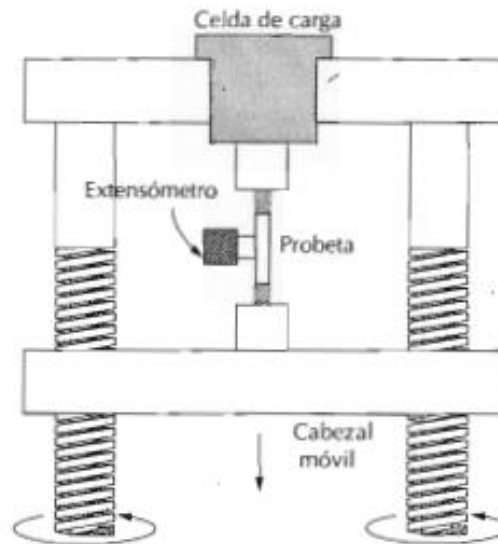


Figura 2. 7.Esquema de la máquina utilizada para la realización de ensayos de tracción. [17]

Los ensayos de tracción que se realizan bajo la norma ASTM D3039-00 son para materiales compuestos reforzados con fibras, para este ensayo se utiliza una máquina universal de ensayo como se muestra en la Figura 2.8:

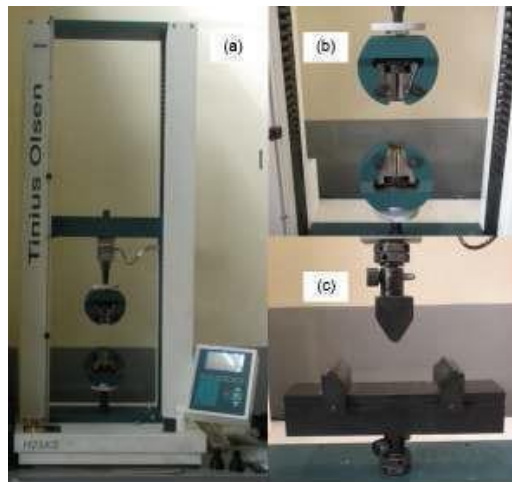


Figura 2. 8. a) Máquina universal de ensayos TiniusOlsen H25KS, b) Mordazas para ensayo de tracción c) Equipo para ensayo de flexión. [18]

Además que las probetas a ensayar tienen que tener superficies que estén libres de defectos visibles, imperfecciones o fisuras. Asimismo las probetas deben tener dimensiones específicas las cuales se indican en la norma correspondiente [18].

a) Esfuerzo máximo a tracción

Las probetas son sometidas a una carga a una velocidad constante de aplicación que después de un tiempo determinado se produce el colapso o ruptura de la probeta, por lo cual se obtiene un espesor en esta zona la cual es menor a la de un inicio, la misma que nos permitirá determinar el área de sección transversal. Una vez realizado el ensayo se obtiene los datos necesarios para poder determinar el esfuerzo máximo que el material puede alcanzar a tracción, utilizando la siguiente ecuación:

$$\sigma_{max} = \frac{F}{A} \quad \text{Ec. (2.5)}$$

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 (mm^2).

b) Porcentaje de deformación

Para determinar el porcentaje de deformación se debe obtener la longitud final e inicial de la probeta es decir la longitud después de la ruptura y antes de aplicar la carga y así poder aplicar la siguiente ecuación:

$$\varepsilon(\text{elongación}) = \frac{l_f - l_i}{l_i} \quad \text{Ec. (2.6)}$$

$$\% \text{ deformación} = \frac{l_f - l_i}{l_i} \times 100$$

Donde:

l_i = longitud inicial (mm) (Antes de aplicar la carga)

l_f = longitud final (mm) (Después de aplicar la carga) [19].

c) Módulo de elasticidad

Para determinar el módulo de elasticidad o módulo de Young se debe considerar las especificaciones de la norma ASTM D3039-00 y además siguiendo la relación de Hooke.

$$E = \frac{\sigma_{max}}{\varepsilon} \quad \text{Ec. (2.7)}$$

Donde:

ε = Elongación

σ_{max} = Esfuerzo máximo [20].

2.1.6.2. Ensayo de flexión

Mediante las especificaciones de la norma ASTM D7264-07 se realiza este tipo de ensayos, como se puede apreciar en la Figura 2.9:

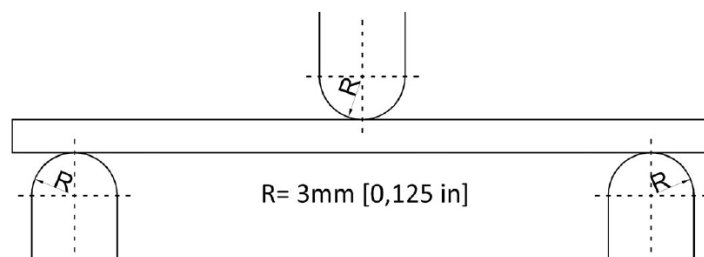


Figura 2. 9.Configuración de carga a flexión en tres puntos (ASTM D7264/D7264M-07). [18]

Mediante este ensayo se puede determinar la rigidez a la flexión y también las propiedades de resistencia de un material compuesto de matriz polimérica. Para la realización de estos ensayos se utiliza el equipo que se puede observar en la anterior

Figura 2.8(c). Además para realizar el ensayo el procedimiento consiste en un sistema de carga en tres puntos y utilizando una carga central en una viga con apoyos simples. Dependiendo de la superficie de la probeta, las propiedades a flexión pueden cambiar ya que ningún laminado es perfectamente simétrico, estas diferencias provocarán que el eje neutral se desvíe y los resultados se verán afectados inclusive por una pequeña asimetría que se encuentre en el laminado. Para la realización del ensayo a flexión se necesitan por lo menos cinco probetas por cada condición de ensayo pero en el caso de un diseño experimental se pueden obtener resultados validos con el ensayo de menos probetas. Las probetas requeridas para los ensayos deben tener dimensiones específicas las cuales se indican en la norma ASTM D7264-07, y también nos muestran las respectivas ecuaciones que permiten calcular valores para las propiedades a flexión. De la misma manera que los ensayos de impacto y tracción, las probetas a ensayar deben tener características solicitadas de aspecto superficial tales como la ausencia de defectos o fisuras que provoquen resultados erróneos del ensayo.

a) Esfuerzo máximo a flexión

Las probetas son sometidas a una carga a determinada velocidad constante de aplicación de carga, que después de un tiempo determinado se produce el colapso o ruptura de la probeta obteniendo así la deflexión máxima.

El esfuerzo máximo a flexión que el material puede alcanzar se lo calcula mediante la siguiente ecuación:

$$\sigma_{\max f} = \frac{3PL}{2bh^2} \tag{Ec. (2.8)}$$

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) [21].

b) Módulo de Flexión

Para el cálculo del módulo de flexión se lo realiza mediante la siguiente ecuación:

$$E_f = \frac{L^3 F}{4bh^3 \delta} \quad \text{Ec. (2.9)}$$

Donde:

E_f = Módulo de rotura a la flexión

L = Longitud entre apoyos (mm)

F = Fuerza aplicada (N)

b = Ancho de probeta (mm)

h = Espesor de probeta (mm)

δ = Deflexión de probeta (mm)

2.1.6.3. Ensayo de impacto

El ensayo de impacto mediante caída de dardo se realiza bajo la norma ASTM D5628-10. Para evitar que los resultados obtenidos no se vean afectados, el área de impacto del dardo tiene que estar libre de fallas.

En la Figura 2.10 se puede observar la máquina para ensayos de impacto por caída de dardo:



Figura 2. 10. Máquina de impacto por caída de dardo. [18]

Este tipo de ensayo nos permite determinar la energía de falla del material. El procedimiento del ensayo consiste en dejar caer el dardo sobre la probeta colocada en la máquina, tomando en cuenta que el dardo no debe rebotar. Posteriormente se retira la probeta y se procede a examinar si la probeta ha sufrido o no algún daño ya que se considera como falla al aparecimiento de alguna fisura en la probeta la cual debe ser detectado a simple vista y bajo condiciones de luz natural.

También es importante considerar que la energía de impacto será aquella necesaria para producir fallas en por lo menos el 50% de las probetas. Y considerando el mismo criterio se podrá definir la altura y el peso del impactador, además hay que tomar en cuenta que la falla ocurre generalmente en el lado opuesto al golpe del impacto por tal motivo es importante revisar esta superficie después de cada impacto.

Para determinar la resistencia máxima al impacto se lo realiza mediante la siguiente ecuación:

$$MEF = hwf \quad \text{Ec. (2.10)}$$

Donde:

MEF = Resistencia máxima al impacto

f = Factor de conversión de Joules

w = La masa máxima de rotura (kg)

h = Altura máxima de rotura (mm)

Además se debe considerar que el factor de conversión de Joules (f) es 9.806×10^{-3} si la masa y la altura esta en kilogramos (kg) y milímetros (mm) respectivamente. [18].

2.2. HIPÓTESIS

Con la evaluación del material compuesto de matriz poliéster reforzado con fibras de tereftalato de polietileno (PET) se podrá determinar el material con las mejores propiedades mecánicas.

2.3. SEÑALAMIENTO DE VARIABLES DE LA HIPÓTESIS

2.3.1. VARIABLE INDEPENDIENTE

Material compuesto de matriz poliéster reforzado con fibras de tereftalato de polietileno.

2.3.2. VARIABLE DEPENDIENTE

Propiedades mecánicas

2.3.3. TERMINO DE RELACIÓN

Podrá

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. Nivel o tipo de investigación

3.1.1. Exploratorio

El nivel de investigación seleccionado en el presente proyecto es de tipo exploratorio debido a que nos permitirá determinar la fracción volumétrica y la configuración de la fibra, con lo cual, nos permitirá realizar una evaluación de la calidad del producto y así determinar si el material obtenido podría ser utilizado en aplicaciones industriales.

3.1.2. Descriptiva

El estudio de este proyecto tiene un nivel de investigación descriptiva, ya que es necesario describir las diferentes propiedades mecánicas que el material compuesto presente luego de realizar los respectivos ensayos de flexión, tracción e impacto y además describir el proceso de su determinación.

3.1.3. Explicativa

El estudio también tiene un nivel explicativo, ya que con los resultados obtenidos nos permitirá dar una explicación de las ventajas y desventajas que presente el material compuesto, así como también de las características que este tipo de material posee y su posible aplicación en la industria.

3.2. Población y muestra

3.2.1. Población

La investigación tiene como población una serie de probetas de materia compuesto de matriz poliéster reforzado con fibras de tereftalato de polietileno (PET) propuesto en el estudio, con un proceso de estratificación de moldeo a compresión y con la realización de ensayos mecánicos (tracción, flexión e impacto) los cuales se realizarán bajo las normas ASTM.

3.2.2. Muestra

En el presente trabajo, la muestra para los ensayos destructivos se analizó con un mínimo de cinco probetas para los ensayos de tracción y flexión, mientras que para el ensayo de impacto se realizaron 8 probetas para cada caso y además se consideró dos probetas adicionales en el caso que exista alguna anomalía. Todo el proceso se realizó bajo las normas correspondientes como la ASTM D3039-00 para ensayos de tracción, ASTM D7264-07 para ensayos de flexión y ASTM D 5628-10 para ensayos de Impacto, para posteriormente del análisis correspondiente poder determinar el material con la configuración y fracción volumétrica que proporcione mejores propiedades mecánicas.

3.3. Operación de variables

3.3.1. Variable independiente

Material compuesto de matriz poliéster reforzado con fibras de tereftalato de polietileno (PET).

Tabla 3. 1. Variable independiente

CONTEXTUALIZACIÓN	CATEGORIZACIÓN	INDICADORES	ÍTEMS		TÉCNICAS E INSTRUMENTOS
Un Material compuesto es un material combinado el cual se obtiene por medio de la unión de dos o más componentes para así de esta manera obtener mejores propiedades del conjunto que de los componentes por separado. A dichos materiales se deben considerar las matrices cargas y refuerzos.	Material Compuesto	Fracción volumétrica	Resina Poliéster	Fibra de PET	Observación directa
			70%	30%	
			80%	20%	
		90%	10%	Fichas de datos	
		Orientación del refuerzo	Longitudinal (0°) Azar		Normas ASTM
		Tipo de fibra	Fibra Larga Fibra Corta		Cuaderno de notas

(Fuente: El Autor)

3.3.2. Variable dependiente

Propiedades Mecánicas

Tabla 3. 2: Variable dependiente

CONTEXTUALIZACIÓN	CATEGORÍAS	INDICADORES	ÍNDICE	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS
El comportamiento mecánico o propiedades mecánicas de un material son aquellas propiedades que se manifiestan cuando aplicamos una fuerza externa y son evaluadas mediante ensayos específicos y bajo las normas correspondientes.	Tracción	Resistencia a la tracción Módulo de elasticidad	¿Cuál será la resistencia a la tracción? ¿Cuál será el módulo de elasticidad?	Observación directa
	Flexión	Esfuerzo de flexión Módulo a la flexión	¿Cuál será el esfuerzo a flexión? ¿Cuál será el módulo de flexión?	Formatos o ficha para toma de datos de los ensayos Investigación Bibliográfica
	Impacto	Resistencia al impacto	Energía de impacto ($E=hwf$) [J]	Cuaderno de notas

(Fuente: El Autor)

3.4. Plan de recolección de información

Para esta investigación se procederá a realizar tanto estudios de tipo bibliográfico como experimental, para lo cual se utilizarán diferentes técnicas que nos ayuden en la recolección de información, estas pueden ser mediante la observación y el análisis de información además la recolección de información se lo realizará de diferentes fuentes como artículos técnicos, libros, internet y también en los análisis y pruebas de laboratorio. Y para obtener una base informativa suficiente se toman notas de todo lo que se considere necesario para describir y analizar hechos que tengan gran relevancia.

3.5. Plan de procesamiento y análisis

3.5.1. Plan de procedimiento

Los datos que se obtienen de esta investigación serán procesados y analizados de la siguiente manera:

Evaluar de una forma crítica toda la información que se pudo obtener de los diferentes tipos de ensayos realizados.

Tabulación de los datos obtenidos mediante la información recolectada de fichas de recolección de información, tablas, fotografías, entre otros.

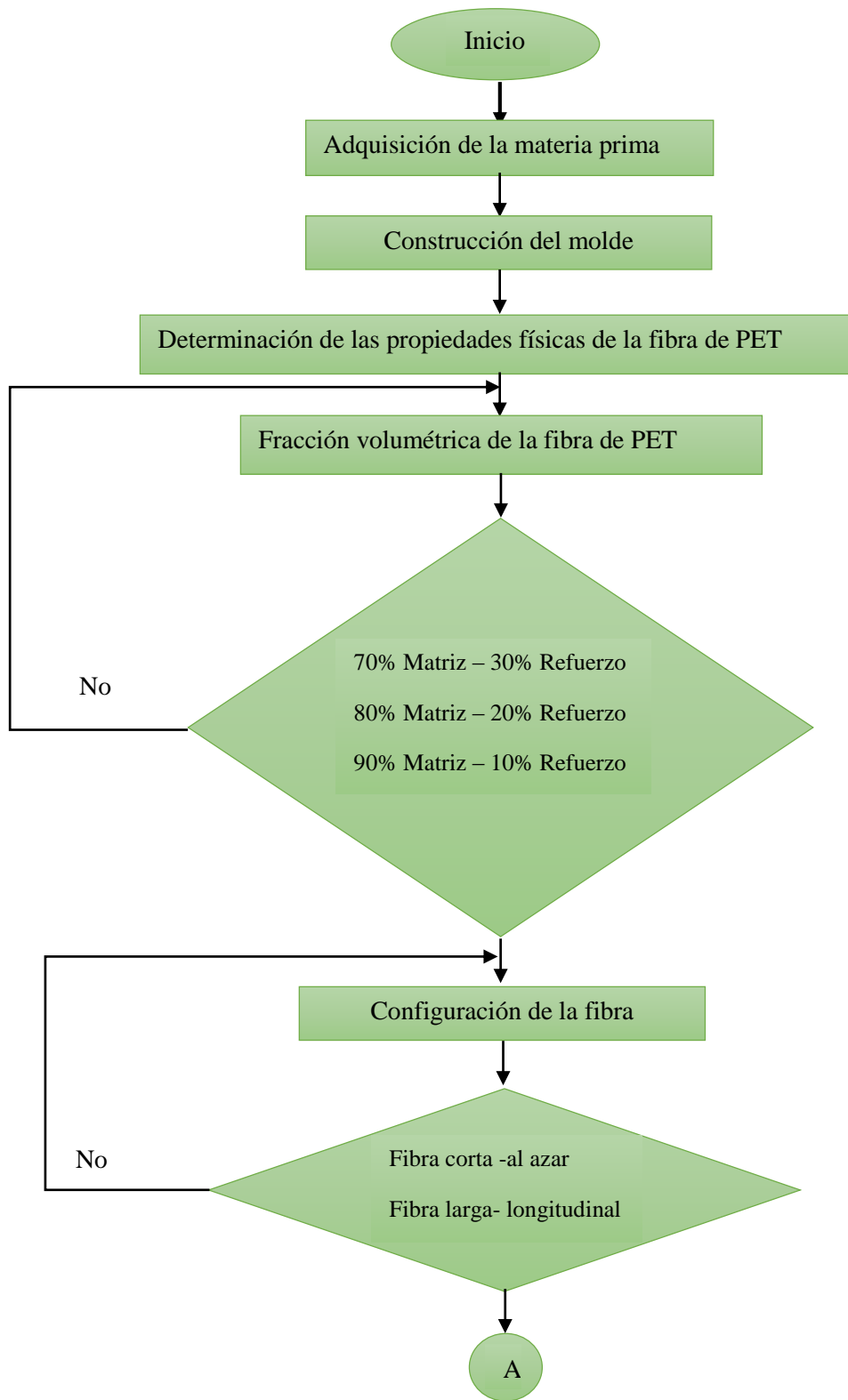
Se procederá a analizar e interpretar los resultados que se obtuvieron en el estudio en relación a la hipótesis para así poder verificarla o rechazarla.

La información será representada gráficamente, para que permitan identificar las respectivas propiedades mecánicas del material y para de esta manera facilitar el entendimiento.

3.5.2. Plan de análisis e interpretación de resultados

Con las probetas ya sometidas a los respectivos ensayos y con los datos obtenidos procedemos a realizar el análisis e interpretación de resultados del material compuesto para así poder determinar la mejor configuración y fracción volumétrica con el fin de comprobar la hipótesis y para finalmente establecer las conclusiones y recomendaciones.

3.6. Determinación del proceso de obtención de las probetas experimentales



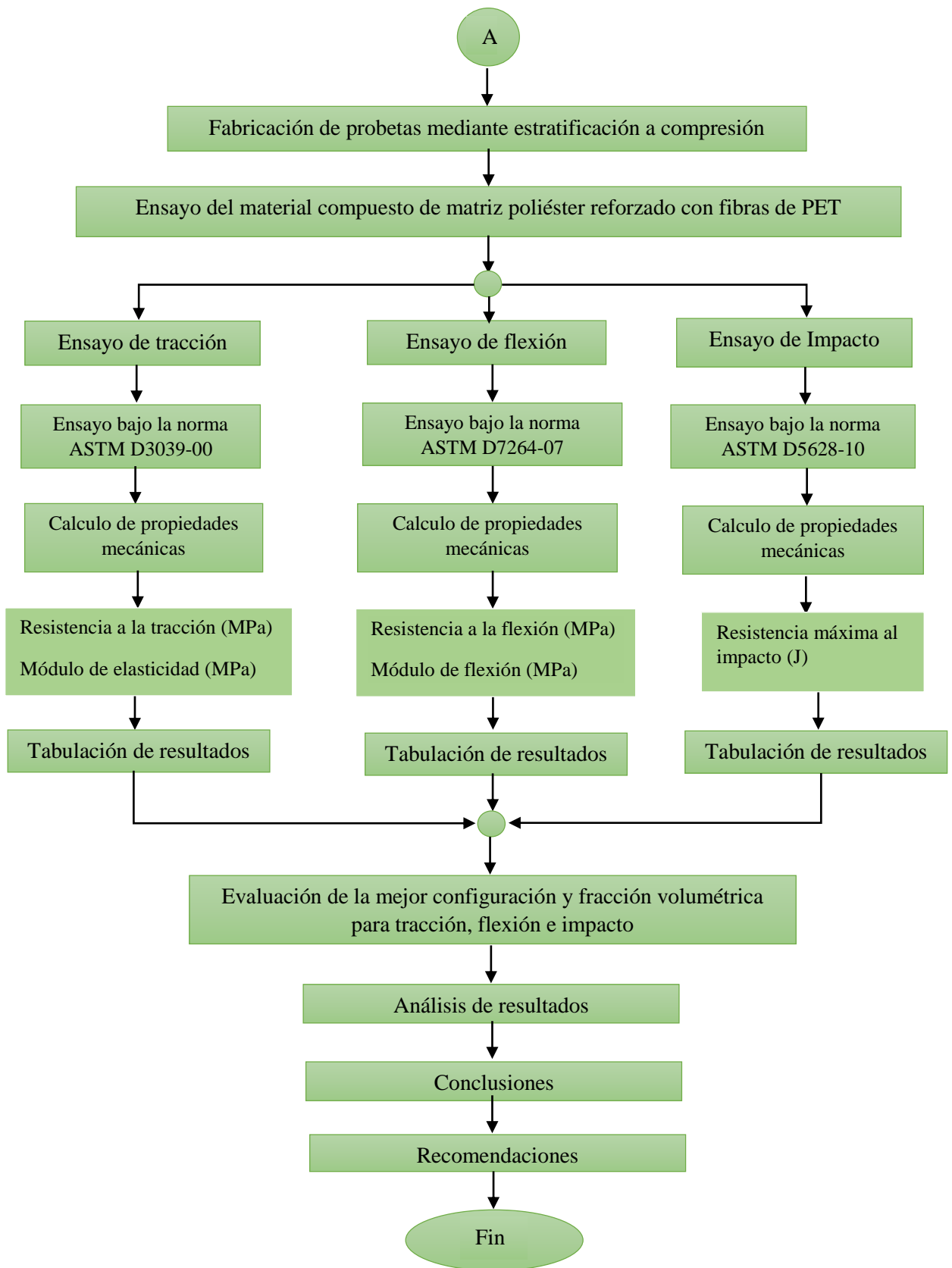


Figura 3. 1: Diagrama de la caracterización del material compuesto.
(Fuente: El Autor)

3.6.1. Obtención de la materia prima

El material de refuerzo que se utilizó en este trabajo experimental es el tereftalato de polietileno (PET), el cual se lo pudo adquirir en la empresa ENKADOR S.A., dicha empresa explica que para la obtención de la fibra de PET se lo realiza mediante el siguiente proceso: Inicialmente se recolecta las botellas plásticas, una vez recolectadas las botellas pasan por un proceso de limpieza y desinfección antes de ser trituradas, esto debido a que suelen contener residuos de su contenido, además contiene el pegamento de sus etiquetas y también suelen presentar impurezas dentro y fuera del envase. Al material triturado se lo denomina escama. Después de fundir el material que fue triturado se forman unos pequeños gránulos denominados chips, el mismo que tras pasar el área de hilatura se convertirán en filamentos de tereftalato de polietileno (PET).



Figura 3. 2: Fibra de PET.
(Fuente: El Autor)

3.6.2. Obtención de químicos

La resina poliéster el cual actúa como matriz principal se la pudo adquirir en Quivensa situado en la ciudad de Ambato cuyas propiedades se especifican en el Anexo 4.



Figura 3. 3: Resina Poliéster.
(Fuente: El Autor)

Al igual que la resina poliéster el químico MEK Peróxido (Peróxido de Metil Etil Cetona) también se lo adquirió en Quivensa.



Figura 3. 4: MEK Peróxido
(Fuente: El Autor)

Para que el material solidificado no se pegue al molde se utilizó cera desmoldante la cual se puede observar en la Figura 3.5:



Figura 3. 5: Cera desmoldante.
(Fuente: El Autor)

3.6.3. Determinación de la densidad de la matriz (Resina Poliéster)

Para la determinar la densidad de la matriz se lo realizó mediante el proceso gravimétrico el cual consiste en colocar un cuerpo sólido, en este caso de resina poliéster catalizado, en un vaso de precipitación con resina y de esta manera poder obtener una diferencia de volúmenes. Después de obtener todos los datos necesarios procedemos a determinar la densidad requerida mediante la ecuación 2.4:



Figura 3. 6: Masa de la resina poliéster solidificada
(Fuente: El Autor)



Figura 3. 7: Cálculo del volumen del material sólido.
(Fuente: El autor)

Datos conocidos:

$$m = 16.5 \text{ g}$$

$$v = 13.5 \text{ cm}^3$$

Cabe recalcar que este proceso se lo realizó a temperatura ambiente y a presión atmosférica.

Finalmente el resultado obtenido de la densidad de la resina poliéster es $1.2 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$

3.6.4. Determinación de la densidad del refuerzo (Fibra de PET)

Para la obtención de la densidad de la fibra de PET se lo realizó mediante el proceso gravimétrico, a temperatura ambiente y a presión atmosférica, para lo cual se tomaron 3 muestras del refuerzo de diferentes cantidades, posteriormente se coloca resina poliéster en 3 vasos de precipitación, cada vaso con igual volumen de resina poliéster, luego se colocó las tres cantidades de fibra en cada vaso de precipitación con resina.



Figura 3. 8: Cálculo del volumen de la fibra de PET
(Fuente: El Autor)

Por lo tanto podemos, observar que existe una diferencia de volumen, volumen inicial de resina sin fibra y el volumen final de resina con fibra, con la diferencia de volumen adquirido de cada vaso de precipitación y con la masa de la fibra previamente calculada se procedió a determinar la densidad de la fibra de PET mediante la aplicación de la ecuación 2.4:

La densidad promedio de la fibra de tereftalato de polietileno PET obtenida mediante el método de gravimetría es 1.45 g/cm^3 como se observa en la Tabla 3.3:

Tabla 3. 3: Cálculo de la densidad de la fibra de PET

Densidad de la fibra de tereftalato de polietileno					
Muestra	Masa(g)	Volumen cm^3			Densidad $(d = \frac{m}{v}) g/cm^3$
		Vol. Inicial	Vol. Final	ΔV	
1	4	150	152.76	2.76	1.45
2	4,5	150	153.10	3.10	1.45
3	5	150	153.45	3.45	1.45
Densidad promedio					1.45

(Fuente: El Autor)

3.6.5. Diseño de probetas

Con la finalidad de obtener los diagramas de esfuerzo versus deformación del material, se deben elaborar probetas con formas específicas, para lo cual tomamos en cuenta la utilización de las normas: ASTM D3039M-00 para ensayos de tracción, ASTM D7264-07 para ensayos de flexión y ASTM D5628-10 para ensayos de impacto. Estas normas nos proporcionan las dimensiones con las que se deben realizar las probetas y también el número de probetas necesarias que se deben realizar tal como se especifica en la Tabla 3.4:

Tabla 3. 4: Dimensionamiento de las probetas para cada ensayo

DIMENSIONAMIENTO DE PROBETAS PARA ENSAYOS A TRACCIÓN, FLEXIÓN E IMPACTO DE ACUERDO A SU RESPECTIVA NORMA					
TIPO DE FIBRA	% DE REFUERZO	NÚMERO DE PROBETAS	ENSAYO	NORMA	DIMENSIONES (mm)
FIBRA LARGA	30	5	TRACCIÓN	ASTM D3039-00	25x250x3
	20	5	TRACCIÓN	ASTM D3039-00	25x250x3
	10	5	TRACCIÓN	ASTM D3039-00	25x250x3
	30	5	FLEXIÓN	ASTM D7264-07	13x160x3
	20	5	FLEXIÓN	ASTM D7264-07	13x160x3
	10	5	FLEXIÓN	ASTM D7264-07	13x160x3
	30	8	IMPACTO	ASTM D5628	58x58x3
	20	8	IMPACTO	ASTM D5628	58x58x3
FIBRA CORTA	10	8	IMPACTO	ASTM D5628	58x58x3
	30	5	TRACCIÓN	ASTM D3039-00	25x250x3
	20	5	TRACCIÓN	ASTM D3039-00	25x250x3
	10	5	TRACCIÓN	ASTM D3039-00	25x250x3
	30	5	FLEXIÓN	ASTM D7264-07	13x160x3
	20	5	FLEXIÓN	ASTM D7264-07	13x160x3
	10	5	FLEXIÓN	ASTM D7264-07	13x160x3
	30	8	IMPACTO	ASTM D5628	58x58x3
	20	8	IMPACTO	ASTM D5628	58x58x3
10	8	IMPACTO	ASTM D5628	58x58x3	

(Fuente: El Autor)

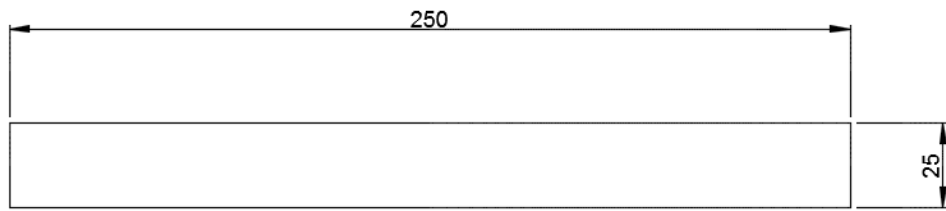


Figura 3. 9: Dimensiones de la probeta para ensayos de tracción.
(Fuente: El Autor)

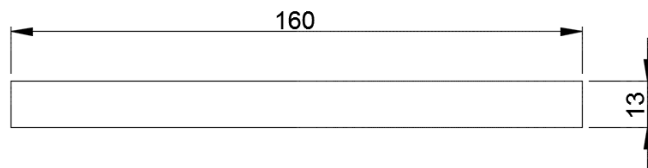


Figura 3. 10: Dimensiones de la probeta para ensayos de flexión.
(Fuente: El Autor)

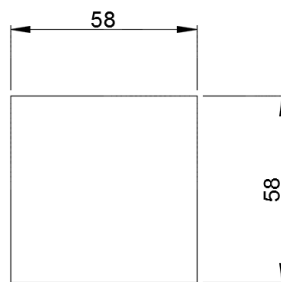


Figura 3. 11: Dimensiones de la probeta para ensayos de impacto.
(Fuente: El Autor)

Para la realización de las probetas se optó por utilizar un molde hecho de acero A36 en forma de caja cuyas dimensiones se especifica en el Anexo 7. Este molde tiene un área de trabajo de 430x256 mm y espesor de 3mm.

Las probetas se realizaron con un espesor de 3mm ya que se tomó como referencia las posibles aplicaciones que este material puede tener como por ejemplo en la fabricación de partes tanto internas como externas de una carrocería.

3.6.6. Volumen requerido del molde

El volumen requerido se calcula mediante la ecuación 2.3 como se especifica en el literal 2.1.5.

Para determinar el volumen requerido se debe considerar el área de trabajo del molde la cual tiene las siguientes dimensiones:

Base = 430mm

Altura = 256mm

Espesor = 3mm

$$V_{requerido} = (43 \times 25.6 \times 0.3) \text{ cm}$$

$$V_{requerido} = 330.24 \text{ cm}^3$$

3.6.7. Fracciones volumétricas

Las fracciones volumétricas consideradas para el presente trabajo son las siguientes:

70% de matriz (resina poliéster) y 30% de refuerzo (Fibra de PET).

80% de matriz (resina poliéster) y 20% de refuerzo (Fibra de PET).

90% de matriz (resina poliéster) y 10% de refuerzo (Fibra de PET).

Para conocer la masa exacta de la fibra de PET que se debe utilizar, se realizaron probetas preliminares con una fracción volumétrica de 70% de matriz con el 30% de refuerzo con una configuración de fibra larga con orientación longitudinal, estas probetas se realizaron en un molde de madera con se observa en la figura 3.12 cuyas dimensiones son las siguientes:

Largo = 100mm

Ancho = 50mm

Espesor = 10mm



Figura 3. 12: Molde de madera.
(Fuente: El Autor)

Con los datos que previamente fueron obtenidos procedemos a realizar los cálculos respectivos

Volumen requerido del molde

$$V = 10\text{cm} \times 5\text{cm} \times 1\text{cm}$$

$$V = 50 \text{ cm}^3$$

Volumen de la matriz (70%)

$$50 \text{ cm}^3 \longrightarrow 100\%$$

$$V_m \longrightarrow 70\%$$

$$V_m = \frac{50 \times 70}{100}$$

$$V_m = 35 \text{ cm}^3$$

Volumen de refuerzo (30%)

$$50 \text{ cm}^3 \longrightarrow 100\%$$

$$V_r \longrightarrow 30\%$$

$$V_m = \frac{50 \times 30}{100}$$

$$V_m = 15 \text{ cm}^3$$

Una vez obtenido el volumen del refuerzo procedemos a calcular su masa utilizando la ecuación 2.4

$$m = 1.45 \text{ g/cm}^3 \times 15 \text{ cm}^3$$

$$m = 21.75 \text{ g}$$

$$m_{\text{utilizada}} = 7.25 \text{ g}$$

Ya en la realización de la probeta se determinó que la masa real de fibra que se utilizó fue el 1/3 de la masa calculada debido a que con esa cantidad de fibra se llenó el molde. Por lo tanto tomaremos esta consideración para la realización de todas las probetas.

3.6.7.1. Cálculos para la fracción volumétrica del 70% de matriz y el 30% de refuerzo

Para la realización de los cálculos respectivos se debe considerar los datos que anteriormente fueron determinados tales como densidad de la matriz (ρ_{matriz}), la densidad de la fibra (ρ_{fibra}) y el volumen requerido ($V_{requerido}$) los cuales se especifican a en los literales 3.6.3, 3.6.4 y 3.6.6 respectivamente.

Datos conocidos:

$$\rho_{fibra} = 1.45 \frac{g}{cm^3}$$

$$\rho_{matriz} = 1.2 \frac{g}{cm^3}$$

$$V_{requerido} = 330.24 \text{ cm}^3$$

$$\text{Fracción volumétrica de la matriz } (f_m) = 0.70$$

$$\text{Fracción volumétrica del refuerzo } (f_f) = 0.30$$

Luego se procede a calcular la densidad del material compuesto (resina poliéster +fibra de PET) utilizando la ecuación 2.1:

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

$$\rho_c = (0.7 \times 1.2 \frac{gr}{cm^3}) + (0.3 \times 1.45 \frac{gr}{cm^3})$$

$$\rho_c = 1.275 \frac{gr}{cm^3}$$

Posteriormente se procede a calcular la fracción volumétrica del material de refuerzo (fibra de PET).

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

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

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

$$1.275 = 1.2 - 1.2f_f + 1.45f_f$$

$$f_f = 0.3$$

$$f_f = 30\%$$

Con el cálculo obtenido procedemos a determinar la fracción volumétrica de la matriz (resina poliéster) aplicando la ecuación 2.2:

$$f_m = 1 - f_f$$

$$f_m = 1 - 0.3$$

$$f_m = 0.7$$

$$f_m = 70\%$$

Una vez conocidas las fracciones volumétricas requeridas por el material compuesto, procedemos a calcular el volumen de la matriz y la masa del refuerzo.

Cálculo del volumen de la matriz

Datos conocidos:

$$f_m = 70\%$$

$$V_{requerido} = 330.24 \text{ cm}^3$$

$$330.24 \text{ cm}^3 \longrightarrow 100\%$$

$$V_m \longrightarrow 70\%$$

$$V_m = \frac{330.24 \times 70}{100}$$

$$V_m = 231.16 \text{ cm}^3$$

Donde:

$V_m = \text{Volumen de la matriz}$

El volumen de la matriz que se requiere para el moldeo es 231.16 cm^3 , pero además se debe considerar que a esta resina se tiene que añadir un 2% de MEK con relación al volumen de la resina.

$$231.160 \text{ cm}^3 \longrightarrow 100\%$$

$$V_{MEK} \longrightarrow 2\%$$

$$V_{MEK} = 4.6 \text{ cm}^3$$

Por lo tanto el volumen que se debe añadir de MEK a la resina es 4.6 cm^3

Cálculo de la masa del material de refuerzo (fibra de PET)

Datos conocidos:

$$f_f = 30\%$$

$$V_{requerido} = 330.24 \text{ cm}^3$$

$$330.24 \text{ cm}^3 \longrightarrow 100\%$$

$$V_f \longrightarrow 30\%$$

$$V_f = \frac{330.24 \times 30}{100}$$

$$V_f = 99.072 \text{ cm}^3$$

Donde:

$$V_f = \text{Volumen del refuerzo}$$

Ya conocido el volumen de refuerzo que se requiere procedemos a determinar la masa del material de refuerzo aplicando la ecuación 2.4:

$$\rho_f = \frac{m}{v_f}$$

$$m = \rho_f \cdot v_f$$

$$m = (1.45 \text{ gr/cm}^3)(99.07 \text{ cm}^3)$$

$$m = 143.65 \text{ gr}$$

$$m_{utilizada} = 47.88 \text{ gr}$$

Después de realizar los cálculos correspondientes se determinó que para el volumen requerido de 330.24 cm^3 , se requiere un volumen de matriz de 231.16 cm^3 esto según la fracción volumétrica correspondiente al 70% y la cantidad de fibra calculada fue de 143.65 gr lo cual corresponde a una fracción volumétrica del 30% pero la masa real que se utilizó corresponde al 1/3 de la masa calculada que es de 47.88 gr.

3.6.7.2. Cálculos para la fracción volumétrica del 80% de matriz y el 20% de refuerzo

Datos conocidos:

$$\rho_{fibra} = 1.45 \frac{g}{cm^3} \quad (\text{Densidad de la fibra})$$

$$\rho_{matriz} = 1.2 \frac{g}{cm^3} \quad (\text{Densidad de la matriz})$$

$$V_{requerido} = 330.24 \text{ cm}^3 \quad (\text{Volumen requerido})$$

$$f_m = 0.80 \quad (\text{Fracción volumétrica de la matriz})$$

$$f_f = 0.20 \quad (\text{Fracción volumétrica del refuerzo})$$

Ya que el procedimiento para el cálculo es igual al de la fracción volumétrica anterior, primero procedemos a calcular la densidad del material compuesto (resina poliéster + fibra de PET) utilizando la ecuación 2.1:

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

$$\rho_c = (0.8 \times 1.2 \frac{gr}{cm^3}) + (0.2 \times 1.45 \frac{gr}{cm^3})$$

$$\rho_c = 1.25 \frac{gr}{cm^3}$$

Luego procedemos a calcular la fracción volumétrica del material de refuerzo (fibra de PET).

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

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

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

$$1.25 = 1.2 - 1.2f_f + 1.45f_f$$

$$f_f = 0.2$$

$$f_f = 20\%$$

Con el dato obtenido procedemos a determinar la fracción volumétrica de la matriz (resina poliéster) aplicando la ecuación 2.2:

$$f_m = 1 - f_r$$

$$f_m = 1 - 0.2$$

$$f_m = 0.8$$

$$f_m = 80\%$$

Una vez obtenidos los cálculos de las fracciones volumétricas requeridas por el material compuesto procedemos a calcular el volumen de la matriz y la masa del refuerzo.

Cálculo del volumen de la matriz

Datos conocidos:

$$f_m = 80\%$$

$$V_{requerido} = 330.24 \text{ cm}^3$$

$$330.24 \text{ cm}^3 \longrightarrow 100\%$$

$$V_m \longrightarrow 80\%$$

$$V_m = \frac{330.24 \times 80}{100}$$

$$V_m = 264.19 \text{ cm}^3$$

Donde:

$$V_m = \text{Volumen de la matriz}$$

En este caso el volumen de la matriz que se requiere para el moldeado es 264.19 pero de igual manera se debe considerar que a esta resina se tiene que añadir un 2% de MEK con relación al volumen de la resina.

$$264.19 \text{ cm}^3 \longrightarrow 100\%$$

$$V_{MEK} \longrightarrow 2\%$$

$$V_{MEK} = 5.28 \text{ cm}^3$$

Por lo tanto el volumen que se debe añadir de MEK a la resina es 5.28 cm^3

Cálculo de la masa del material de refuerzo (fibra de PET)

Datos conocidos:

$$f_f = 20\%$$

$$V_{requerido} = 330.24 \text{ cm}^3$$

$$330.24 \text{ cm}^3 \longrightarrow 100\%$$

$$V_f \longrightarrow 20\%$$

$$V_f = \frac{330.24 \times 20}{100}$$

$$V_f = 66.05 \text{ cm}^3$$

Una vez calculado el volumen de refuerzo que se requiere correspondiente a la fracción volumétrica del 20%, procedemos a determinar la masa aplicando la ecuación 2.4:

$$\rho_f = \frac{m}{v_f}$$

$$m = \rho_f \cdot v_f$$

$$m = (1.45 \text{ gr/cm}^3)(66.05 \text{ cm}^3)$$

$$m = 95.77 \text{ gr}$$

$$m_{utilizada} = 31.92 \text{ gr}$$

Finalmente con los datos obtenidos se determinó que para el volumen requerido de 330.24 cm^3 para el moldeo, el volumen requerido de matriz es de 264.19 cm^3 correspondiente a la fracción volumétrica del 80% y la cantidad de fibra calculada fue de 95.77 gr lo cual corresponde a una fracción volumétrica del 20% pero la masa real que se utilizó corresponde al 1/3 de la masa calculada que es de 31.92 gr .

3.6.7.3. Cálculos para la fracción volumétrica del 90% de matriz y el 10% de refuerzo

Datos conocidos:

$$\rho_{fibra} = 1.45 \frac{g}{cm^3} \quad (\text{Densidad de la fibra})$$

$$\rho_{matriz} = 1.2 \frac{g}{cm^3} \quad (\text{Densidad de la matriz})$$

$$V_{requerido} = 330.24 \text{ cm}^3 \quad (\text{Volumen requerido})$$

$$f_m = 0.90 \quad (\text{Fracción volumétrica de la matriz})$$

$$f_f = 0.10 \quad (\text{Fracción volumétrica del refuerzo})$$

De igual manera que los procedimientos anteriores, primero se procede a calcular la densidad del material compuesto (resina poliéster + fibra de PET) utilizando la ecuación 2.1:

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

$$\rho_c = (0.9 \times 1.2 \frac{gr}{cm^3}) + (0.1 \times 1.45 \frac{gr}{cm^3})$$

$$\rho_c = 1.23 \frac{gr}{cm^3}$$

Ya conocido la densidad del material compuesto, procedemos a calcular la fracción volumétrica correspondiente al material de refuerzo (fibra de PET)

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

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

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

$$1.23 = 1.2 - 1.2f_f + 1.45f_f$$

$$f_f = 0.1$$

$$f_f = 10\%$$

A continuación determinamos la fracción volumétrica correspondiente a la matriz (resina poliéster)

$$f_m = 1 - f_f$$

$$f_m = 1 - 0.1$$

$$f_m = 0.9$$

$$f_m = 90\%$$

Con los datos obtenidos de las fracciones volumétricas requeridas por el material compuesto procedemos a calcular el volumen de la matriz y la masa del refuerzo.

Cálculo del volumen de la matriz

Datos conocidos:

$$f_m = 90\%$$

$$V_{requerido} = 330.24 \text{ cm}^3$$

$$330.24 \text{ cm}^3 \longrightarrow 100\%$$

$$V_m \longrightarrow 90\%$$

$$V_m = \frac{330.24 \times 90}{100}$$

$$V_m = 297.22 \text{ cm}^3$$

Donde:

$$V_m = \text{Volumen de la matriz}$$

Con el cálculo obtenido se determinó que el volumen de la matriz que se requiere para el moldeo es 297.22 cm^3 , pero al igual que los anteriores procedimientos se debe añadir un 2% de MEK con relación al volumen de la resina.

$$297.22 \text{ cm}^3 \longrightarrow 100\%$$

$$V_{MEK} \longrightarrow 2\%$$

$$V_{MEK} = 5.94 \text{ cm}^3$$

Por lo tanto el volumen que se debe añadir de MEK a la resina es 5.94 cm^3 .

Cálculo de la masa del material de refuerzo (fibra de PET)

Datos conocidos:

$$f_f = 10\%$$

$$V_{requerido} = 330.24 \text{ cm}^3$$

$$330.24 \text{ cm}^3 \longrightarrow 100\%$$

$$V_f \longrightarrow 10\%$$

$$V_f = \frac{330.24 \times 10}{100}$$

$$V_f = 33.024 \text{ cm}^3$$

Donde:

$$V_f = \text{Volumen de refuerzo}$$

Una vez conocido el volumen de refuerzo que se requiere procedemos a determinar la masa aplicando la ecuación 2.4:

$$\rho_f = \frac{m}{v_f}$$

$$m = \rho_f \cdot v_f$$

$$m = (1.45 \text{ gr/cm}^3)(33.02 \text{ cm}^3)$$

$$m = 47.88 \text{ gr}$$

$$m_{utilizada} = 15.96 \text{ gr}$$

Finalmente con los cálculos realizados se determinó que para el volumen requerido de 330.24 cm^3 para el moldeo, se requiere un volumen de matriz de 297.22 cm^3 esto según la fracción volumétrica correspondiente al 90% y la cantidad de fibra calculada fue de 47.88 gr lo cual corresponde a una fracción volumétrica del 10% pero la masa real que se utilizó corresponde al 1/3 de la masa calculada que es de 15.96 gr.

3.6.8. Configuración de la fibra de tereftalato de polietileno

Para este estudio se propuso que la configuración de la fibra, sea fibra corta con una longitud de 10mm y también fibra larga la cual tendrá una medida igual a la longitud del molde.

El material de refuerzo se pesa de acuerdo a las fracciones volumétricas que se vayan a utilizar.



Figura 3. 13: Masa de la fibra de PET de acuerdo a cada fracción volumétrica.
(Fuente: El Autor)

A continuación se realizaron cortes de acuerdo a la configuración correspondiente, primero se realizaron cortes de 10mm correspondiente a la fibra corta tal como se observa en la Figura 3.14:



Figura 3. 14: Fibra corta (10mm).
(Fuente: El Autor)

Luego se realizaron cortes de 43cm correspondiente a la fibra larga como se observa en la Figura 3.15:



Figura 3. 15: Medición de la Fibra larga.
(Fuente: El Autor)

3.6.9. Realización de las probetas mediante estratificación a compresión

Ya determinadas las cantidades requeridas como la masa de la fibra y el volumen de la matriz para sus respectivas fracciones volumétricas se procede a elaborar las probetas.

La elaboración de las probetas se lo realizo mediante el siguiente proceso:

3.6.9.1. Preparación del molde

Inicialmente se procede a realizar una limpieza del molde esto con la finalidad de evitar que se encuentren impurezas que puedan causar imperfecciones en las probetas

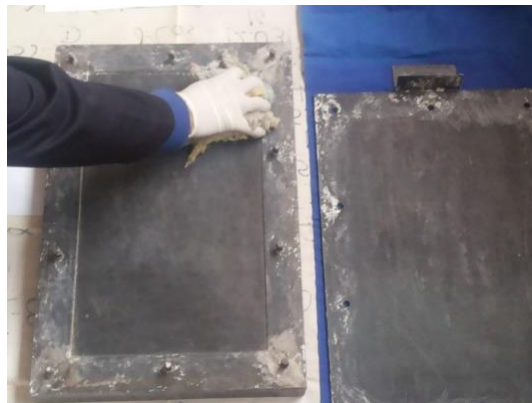


Figura 3. 16: Limpieza del molde.
(Fuente: El Autor)

Posteriormente se procede a aplicar la cera desmoldante en toda la parte interna del molde y también en la tapa, con la finalidad de que el material no se adhiera al molde. Cabe señalar que se aplicó 2 capas de cera desmoldante, cada capa fue aplicada después de un tiempo de 5 minutos.

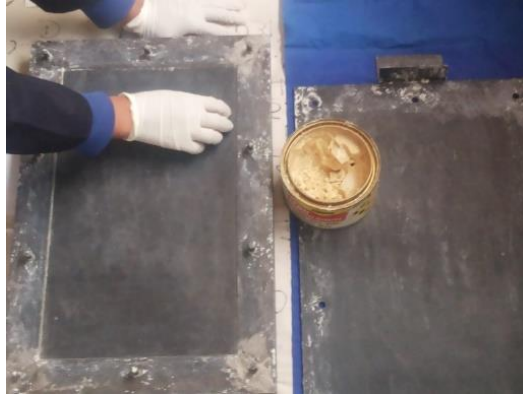


Figura 3. 17: Aplicación de la cera desmoldante.
(Fuente: El Autor)

3.6.9.2. Preparación del material de refuerzo

El material de refuerzo (Fibra de PET) debe estar previamente cortado con las dimensiones antes mencionadas y principalmente libres de impurezas que puedan afectar al material y tener complicaciones en el momento del moldeo.

Posteriormente la cantidad de fibra correspondiente a la fracción volumétrica que se va aplicar, se coloca en el molde de acuerdo a la configuración que se esté trabajando (fibra corta o fibra larga).



Figura 3. 18: Colocación de la fibra corta de PET en el molde.
(Fuente: El Autor)



Figura 3. 19: Colocación de la fibra larga de PET en el molde.
(Fuente: El Autor)

3.6.9.3. Preparación de la matriz

Para la preparación de la matriz se utilizó vasos de precipitación de 250ml, 100ml y una jeringuilla de 3ml, para así poder obtener el volumen necesario según la fracción volumétrica que se va a aplicar.

Posteriormente se vierte la resina poliéster en un envase que previamente fue medido con el volumen requerido de acuerdo a la fracción volumétrica que se esté aplicando.



Figura 3. 20: Volumen de resina de acuerdo a cada fracción volumétrica.
(Fuente: El Autor)

Luego a la resina poliéster se le añadió el volumen requerido de MEK el cual fue previamente calculado de acuerdo a la fracción volumétrica con el que se esté trabajando y con la utilización de una jeringuilla.



Figura 3. 21: Añadidura de MEK a la resina.
(Fuente: El Autor)

A continuación se procede a mezclar los componentes.



Figura 3. 22: Mezcla de los componentes.
(Fuente: El Autor)

Luego se procede a verter la mezcla en el molde



Figura 3. 23: Colocación de la mezcla en el molde.
(Fuente: El Autor)

3.6.9.4. Sellado del molde

Después de moldear el material se procede a sellar el molde, para esto se debe acoplar la tapa con la base y ajustar la tapa con los pernos para así tener un correcto sellado del molde.



Figura 3. 24: Sellado del molde.
(Fuente: El Autor)

3.6.9.5. Desmolde

Para desmoldar se esperó un tiempo prudente de 24 horas, para que el material se seque, esto de acuerdo a la recomendación de los productores de esta resina poliéster (Anexo 4).

Inicialmente para desmoldar se procede aflojar las tuercas para poder retirar la tapa del molde.



Figura 3. 25: Desajuste de las tuercas.
(Fuente: El Autor)

Y por último con la ayuda de una espátula se procede a retirar el material compuesto del molde.



Figura 3. 26: Desmolde del material compuesto.
(Fuente: El Autor)

Después de obtener el material compuesto procedemos a realizar una inspección visual con la finalidad de que el material compuesto no posea ningún tipo de fallas como poros o fisuras los cuales podrían afectar o alterar los resultados de los ensayos a los cuales estarán sometidas las probetas posteriormente.

Además se debe verificar las dimensiones (largo, ancho, espesor) del material compuesto obtenido con la utilización de un calibrador.



Figura 3. 27: Verificación del material compuesto obtenido.
(Fuente: El Autor)

3.6.9.6. Corte del material compuesto obtenido

Antes de realizar el corte al material compuesto obtenido, se dejó secar durante 8 días, con la finalidad de que el material alcance sus mejores propiedades.

Después de ese tiempo se procedió a realizar el corte de las probetas a laser con las medidas correspondientes de acuerdo a cada norma.

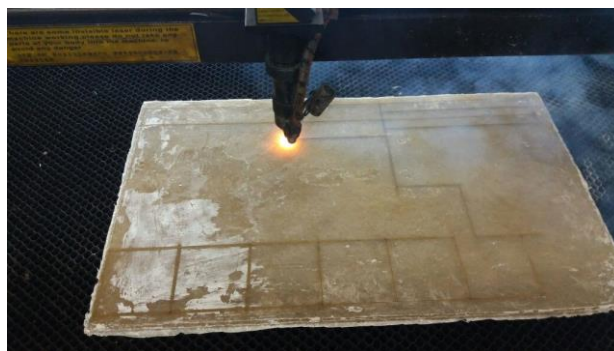


Figura 3. 28: Corte a laser del material compuesto.
(Fuente: El Autor)



Figura 3. 29: Probetas para ensayos de tracción cortadas bajo las especificaciones de la norma ASTM D3039-00.
(Fuente: El Autor)

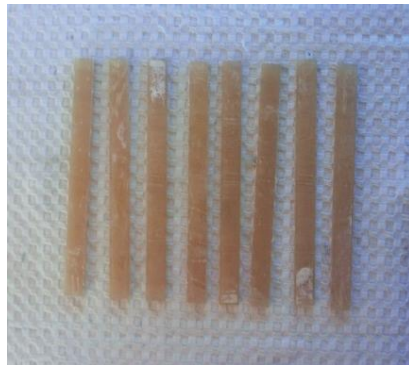


Figura 3. 30: Probetas para ensayos de flexión cortadas bajo las especificaciones de la norma ASTM D7264-07.
(Fuente: El Autor)

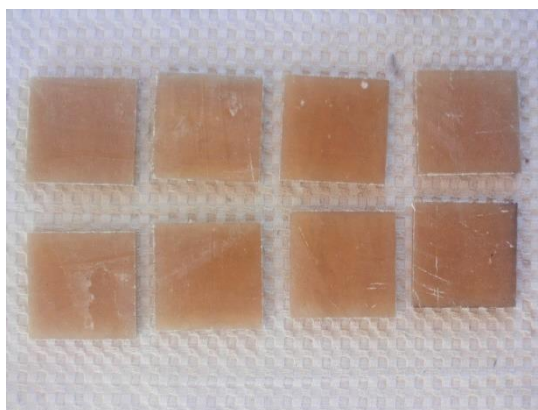


Figura 3. 31: Probetas para ensayos de impacto cortadas bajo las especificaciones de la norma ASTM D5628-10.
(Fuente: El Autor)

3.6.10. Determinación de las propiedades mecánicas (tracción, flexión e impacto) del material compuesto

Los ensayos tanto de tracción como de flexión se los realizaron en los laboratorios del Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero localizado en la ciudad de Ambato y mediante la utilización de las normas ASTM D3039-00 y ASTM D7264-07 para los ensayos de tracción y flexión respectivamente. Para la realización de estos ensayos se utilizó una Máquina Universal de Ensayos Electromecánicas MTE-10/50 la cual se puede observar en la Figura 3.32:



Figura 3. 32: Máquina Universal de Ensayos Electromecánicas MTE-10/50.
(Fuente: El Autor)

Mientras que los ensayos de impacto se los realizaron en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato y mediante la utilización de la norma ASTM D5628-10. Este ensayo se realizó en una máquina de impacto por caída de dardo para polímeros la cual se puede observar en la Figura 3.33:



Figura 3. 33: Máquina para ensayos de impacto.
(Fuente: El Autor)

3.6.11. Ensayo de tracción

Antes de realizar los ensayos se colocó en todos los extremos y a cada lado de las probetas una sobremonta de agarre, con la finalidad de que las probetas no resbalen al momento del ensayo:



Figura 3. 34: Probetas para ensayos de tracción con sobremonta.
(Fuente: El Autor)

Las especificaciones técnicas que se deben tomar en cuenta para la realización del ensayo a tracción de las probetas se muestran a continuación en la Tabla 3.5:

Tabla 3. 5: Características de las probetas para ensayos a tracción.

	Características	Detalle
1	Dimensionamiento de la Probeta (mm)	250x25x3
2	Componente de la Matriz	Resina Poliéster
3	Componente de Refuerzo	Tereftalato de polietileno (PET)
4	Tiempo de curado antes del ensayo	8 días
5	Tipo de Estratificación	Compresión
6	Norma Utilizada	ASTM D3039-00
7	Equipo de ensayo	Máquina Universal de Ensayos Electromecánicas MTE-10/50
8	Velocidad de ensayo	10 mm/min
9	Dimensionamiento de Sobremonta de agarre(mm)	56x25x1.5

(Fuente: El Autor)

Con estas especificaciones se procede a realizar el ensayo a tracción para así determinar y evaluar el esfuerzo máximo a la tracción, porcentaje de deformación y también el módulo de elasticidad.

a) Esfuerzo máximo a tracción

Se utilizaron 5 probetas de acuerdo a las características establecidas en la norma ASTM D3039-00 y de acuerdo a cada fracción volumétrica y configuraciones establecidas anteriormente.

Para poder determinar el esfuerzo máximo que el material puede alcanzar a tracción, utilizamos la ecuación 2.5:

b) Porcentaje de deformación

Para determinar el porcentaje de deformación se debe aplicar la ecuación 2.6 como se indica en el literal 2.1.6.1.

c) Módulo de elasticidad

Para determinar el módulo de elasticidad o módulo de Young se debe aplicar la ecuación 2.7 como se indica en el literal 2.1.6.1.

3.6.12. Ensayo de flexión

El ensayo de flexión se lo realizo en la misma máquina en la que se realizó el ensayo de tracción es decir en la Máquina Universal de Ensayos Electromecánicas MTE-10/50 y bajo las especificaciones de la norma ASTM D7264-07. La cantidad de probetas que se utilizaron para este ensayo fueron cinco para cada configuración y fracción volumétrica.

Tabla 3. 6: Características de las probetas para ensayos a Flexión.

	Características	Detalle
1	Dimensionamiento de la Probeta (mm)	160x13x3
2	Componente de la Matriz	Resina Poliéster
3	Componente de Refuerzo	Tereftalato de polietileno (PET)
4	Tiempo de curado antes del ensayo	8 días
5	Tipo de Estratificación	Compresión
6	Norma Utilizada	ASTM D7264-07
7	Equipo de ensayo	Máquina Universal de Ensayos Electromecánicas MTE-10/50
8	Velocidad de ensayo	10 mm/min

(Fuente: El Autor)

Ya con las especificaciones estipuladas se procede a realizar el ensayo de flexión para así determinar y evaluar el esfuerzo máximo a la flexión, deflexión máxima y el módulo de flexión.

a) Esfuerzo máximo a flexión

Para este ensayo se utilizaron 5 probetas con las características establecidas en la norma ASTM D7264-07 y de acuerdo a cada fracción volumétrica y configuraciones establecidas anteriormente.

El esfuerzo máximo a flexión que el material puede alcanzar se lo calcula mediante la ecuación 2.8 tal como se indica en el literal 2.1.6.2.

b) Módulo de Flexión

Para el cálculo del módulo de flexión se lo realiza mediante la ecuación 2.9 tal como se indica en el literal 2.1.6.2.

3.6.13. Ensayo de impacto

Para la realización de este ensayo se utilizaron ocho probetas de acuerdo a la configuración y fracciones volumétricas establecidas y bajo la norma ASTM D5628.

Este ensayo se lo realizó en la máquina de impacto de dardo para polímeros en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato. En este ensayo se sometieron a las probetas a impacto de dardo a distintas alturas partiendo de una altura de 200mm hasta determinar la altura en la que las probetas llegan a romperse.

Para determinar la resistencia máxima al impacto se lo realizó mediante la ecuación 2.10 como se indica en el literal 2.1.6.3.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1. Recolección de datos

4.1.1. Tabulación de resultados de los ensayos de tracción

Una vez realizado el ensayo respectivo, bajo las especificaciones de la norma ASTM D3039-00 y de acuerdo a su respectiva configuración y fracción volumétrica se presenta las siguientes fichas técnicas con los resultados obtenidos del respectivo ensayo.

Tabla 4. 1. Ficha Técnica del ensayo de tracción para probetas con una fracción volumétrica de 70% matriz y 30% refuerzo; fibra larga; orientación longitudinal.

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA				
EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN MATERIAL COMPUESTO (Resina Poliéster + Fibra de Tereftalato de Polietileno)					
ENSAYO A TRACCIÓN- NORMA ASTM D3039-00					
Lugar:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero				
Máquina:	Máquina Universal de Ensayos Electromecánicas MTE-10/50				
Fecha:	24-ene-17	Ciudad:	Ambato		
Responsable:	Sr. Christian Sailema	Revisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín		
PARÁMETROS ESTABLECIDOS PARA EL ENSAYO					
Fracción volumétrica del compuesto	Fracción volumétrica de la matriz:	70%	Fracción volumétrica del refuerzo:	30%	
Dimensiones de las probetas	Longitud:	250mm	Ancho:	25mm	Espesor Promedio: 3.43mm
Material de Matriz :	Resina Poliéster		Material de Refuerzo :	Fibras de tereftalato de polietileno (PET)	
Configuración de la fibra :	Longitudinal		Tipo de Estratificación:	Compresión	
Número de probetas:	5		Velocidad de ensayo:	10mm/min	

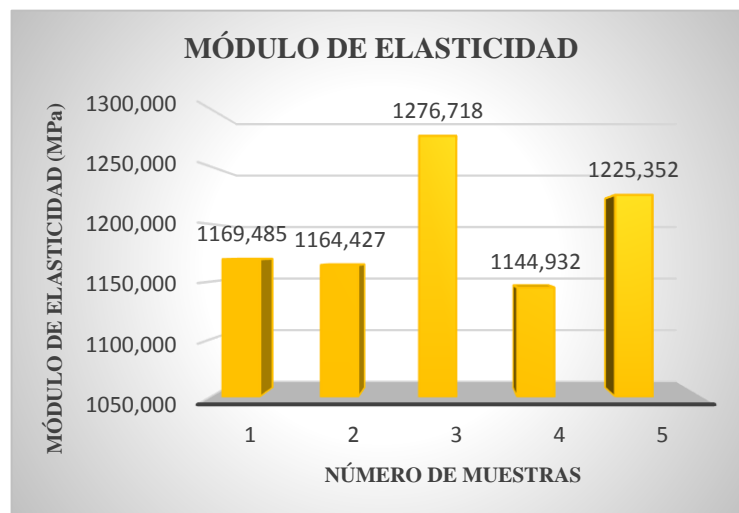
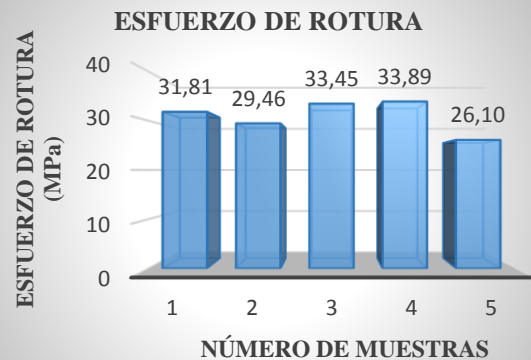
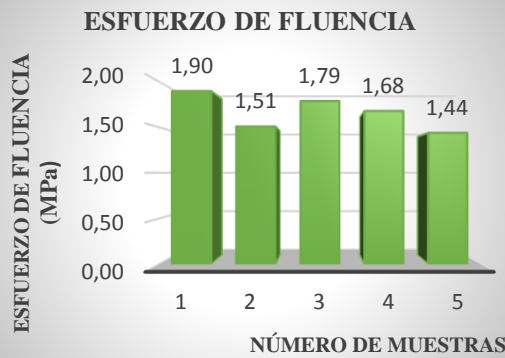
DATOS Y RESULTADOS DEL ENSAYO REALIZADO

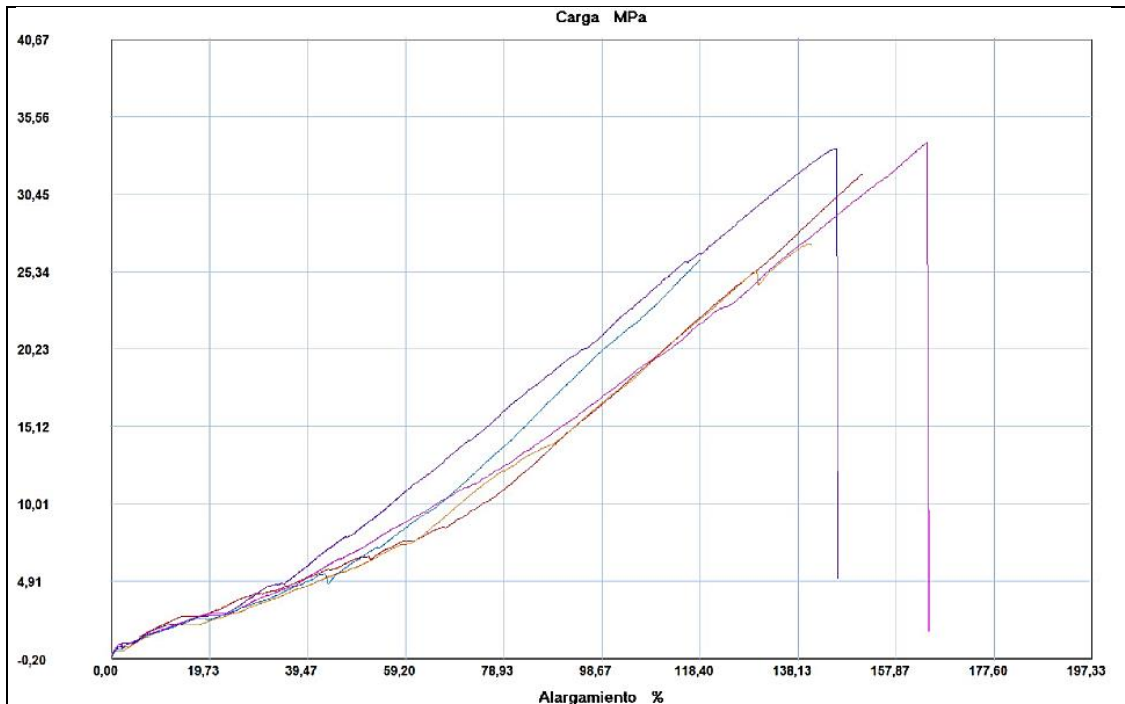
Muestra	Carga Máxima (N)	Esfuerzo de fluencia (MPa)	Esfuerzo de rotura (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Elongación %	Tipo de Falla
1	2856.57	1.90	31.81	1169.49	2.72	AGM
2	2426.97	1.51	29.46	1164.43	2.53	LIT
3	2785.17	1.79	33.45	1276.72	2.62	LIT
4	2860.03	1.68	33.89	1144.93	2.96	AGM
5	2183.58	1.44	26.10	1225.35	2.13	AGM
Promedio:	2622.46	1.66	30.94	1196.18	2.59	---
Desviación Estándar	303.54	0.19	3.22	54.05	0.30	---

FOTOGRAFÍAS DE PROBETAS SOMETIDAS AL ENSAYO



GRÁFICAS DE RESULTADOS





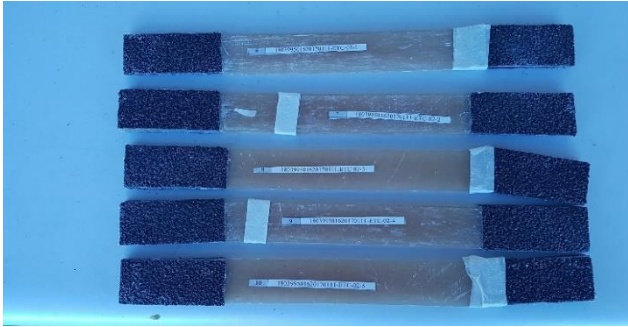


Probeta	FMax N	FYield N	FRot N	CMax MPa	C.Yield MPa	CRot MPa
1	2856,67	170,54	2856,67	31,81	1,90	31,81
2	2426,97	134,79	2272,71	27,18	1,51	25,46
3	2785,17	148,72	2785,00	33,46	1,79	33,45
4	2860,03	141,50	2860,03	33,89	1,68	33,89
5	2183,58	120,35	2183,58	26,10	1,44	26,10
Media	2622,484	143,180	2591,598	30,488	1,662	30,142
Desv. Std	303,562	18,532	334,623	3,615	0,190	4,064
Coef. V.	0,116	0,129	0,129	0,119	0,114	0,135
+3 Sigma	3533,171	198,775	3595,468	41,333	2,233	42,334

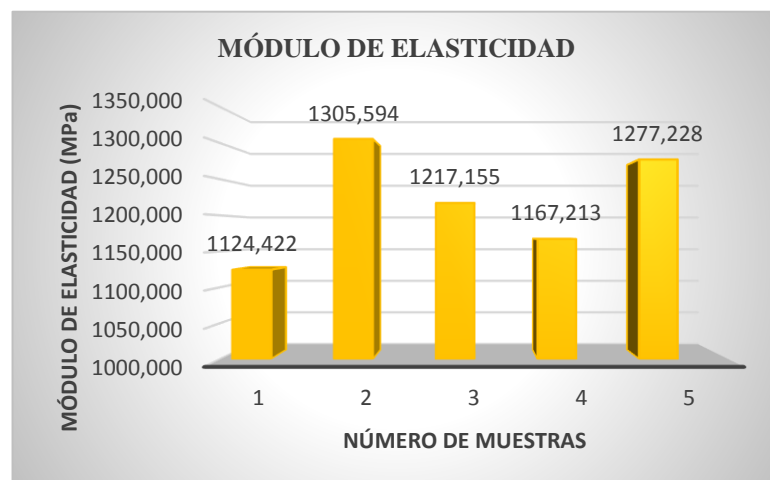
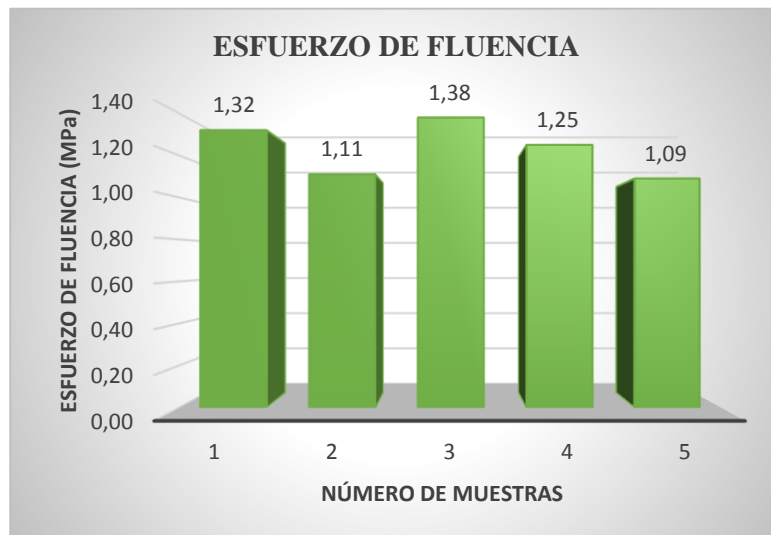
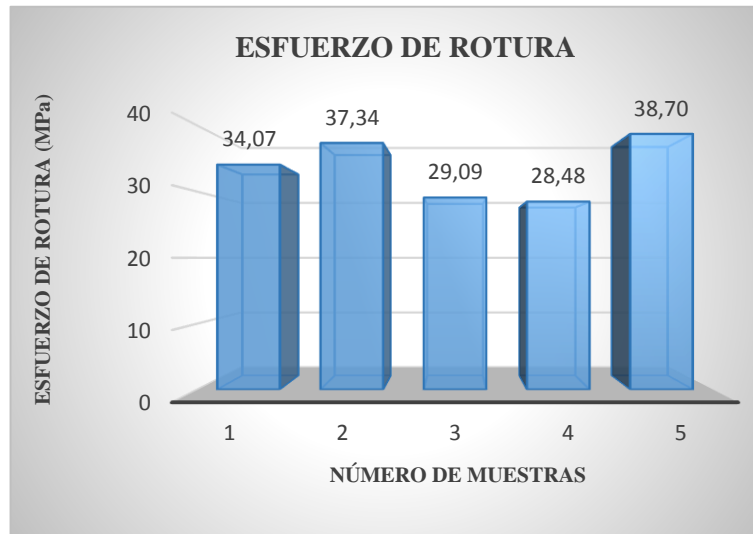
OBSERVACIONES		EVALUACIÓN	
-De las 5 probetas que fueron ensayadas, 2 se descartaron y 3 se reportan. -El tipo de falla LIT hace referencia a la rotura producida en la parte superior de la probeta, dentro del agarre -El tipo de falla AGM hace referencia a la rotura producida en la zona calibrada es decir en la parte media de la probeta		Esfuerzo Máximo Promedio:	30,94 (MPa)
		Módulo de elasticidad promedio:	1196,18 (MPa)
		Espesor real promedio:	3,43 mm
Elaborado por :	Sr. Christian Sailema	Aprobado por:	Ing. Mg. Segundo Espín
Revisado por :	Ing. Esteban López	Validado por:	Ing. Mg. Segundo Espín

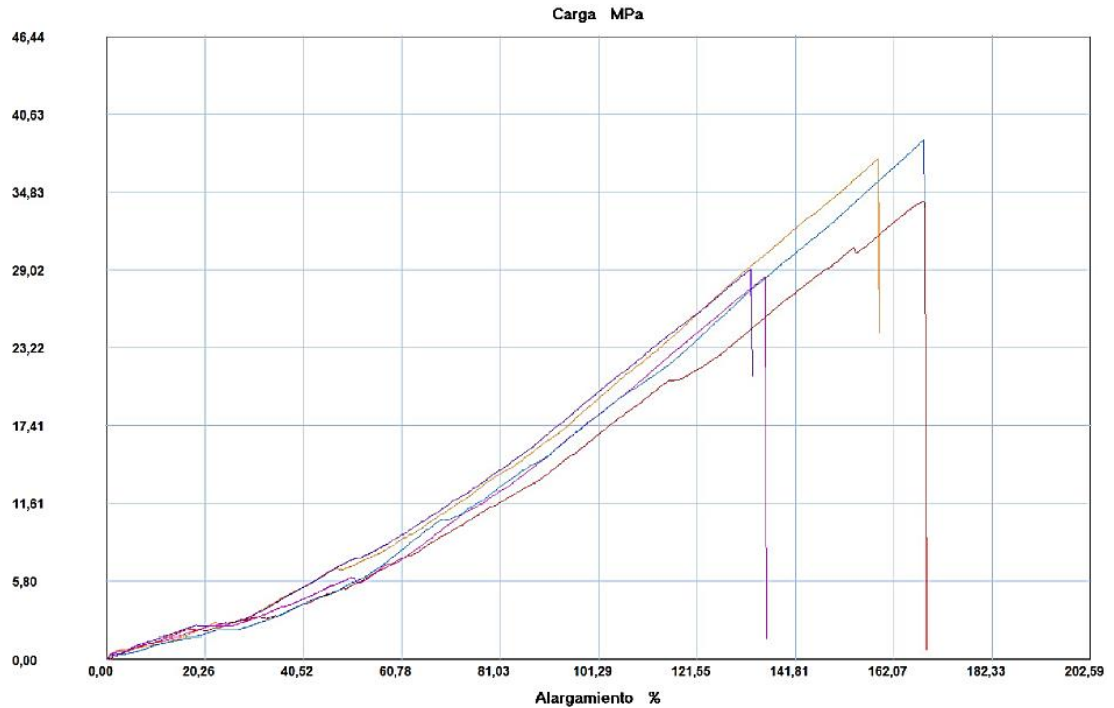
(Fuente: El Autor)

Tabla 4. 2: Ficha Técnica del ensayo de tracción para probetas con una fracción volumétrica de 80% matriz y 20% refuerzo; Fibra larga; orientación longitudinal

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA					
EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN MATERIAL COMPUESTO (Resina Poliéster + Fibra de Tereftalato de Polietileno)							
ENSAYO A TRACCIÓN- NORMA ASTM D3039-00							
Lugar:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero						
Máquina:	Máquina Universal de Ensayos Electromecánicas MTE-10/50						
Fecha:	24-ene-17			Ciudad:	Ambato		
Responsable:	Sr. Christian Sailema			Revisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín		
PARÁMETROS ESTABLECIDOS PARA EL ENSAYO							
Fracción volumétrica del compuesto	Fracción volumétrica de la matriz:		80%	Fracción volumétrica del refuerzo:		20%	
Dimensiones de las probetas	Longitud:		250mm	Ancho:	25mm	Espesor Promedio:	3.46mm
Material de Matriz :	Resina Poliéster			Material de Refuerzo :	Fibras de tereftalato de polietileno (PET)		
Configuración de la fibra :	longitudinal			Tipo de Estratificación:	Compresión		
Número de probetas:	5			Velocidad de ensayo:	10 mm/min		
DATOS Y RESULTADOS DEL ENSAYO REALIZADO							
Muestra	Carga Máxima (N)	Esfuerzo de fluencia (MPa)	Esfuerzo de rotura (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Elongación %	Tipo de Falla	
1	2967.79	1.32	34.07	1124.42	3.03	LIT	
2	3192.21	1.11	37.34	1305.59	2.86	AGM	
3	2509.38	1.38	29.09	1217.16	2.39	LIT	
4	2454.16	1.25	28.48	1167.21	2.44	LAT	
5	3385.91	1.09	38.70	1277.23	3.03	LIT	
Promedio:	2901.89	1.23	33.54	1218.32	2.75	---	
Desviación Estándar	411.53	0.127	4.66	75.03	0.31	---	
FOTOGRAFÍAS DE PROBETAS SOMETIDAS AL ENSAYO							
							

GRÁFICAS DE RESULTADOS








Probeta	FMax N	FYield N	FRot N	CMax MPa	C.Yield MPa	CRot MPa
1	2967,79	115,15	2963,42	34,12	1,32	34,07
2	3192,21	95,17	3192,21	37,34	1,11	37,34
3	2509,38	118,67	2509,38	29,09	1,38	29,09
4	2454,16	107,93	2454,16	28,48	1,25	28,48
5	3385,91	95,51	3385,91	38,70	1,09	38,70
Media	2901,890	106,486	2901,016	33,546	1,231	33,536
Desv. Std	411,531	10,887	411,360	4,655	0,126	4,653
Coef. V.	0,142	0,102	0,142	0,139	0,102	0,139
+3 Sigma	4136,482	139,148	4135,097	47,511	1,609	47,496

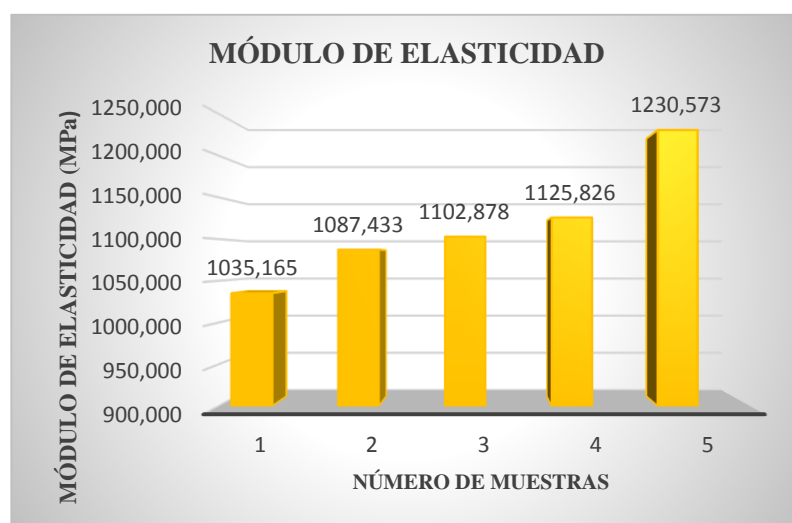
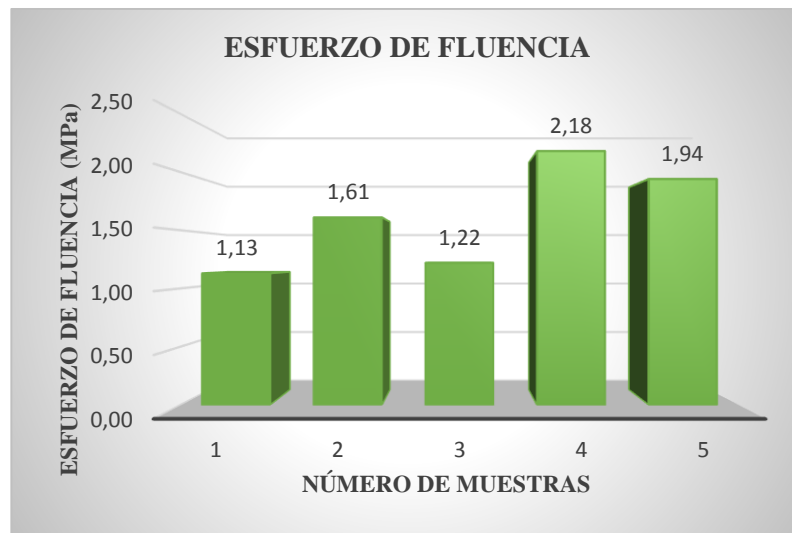
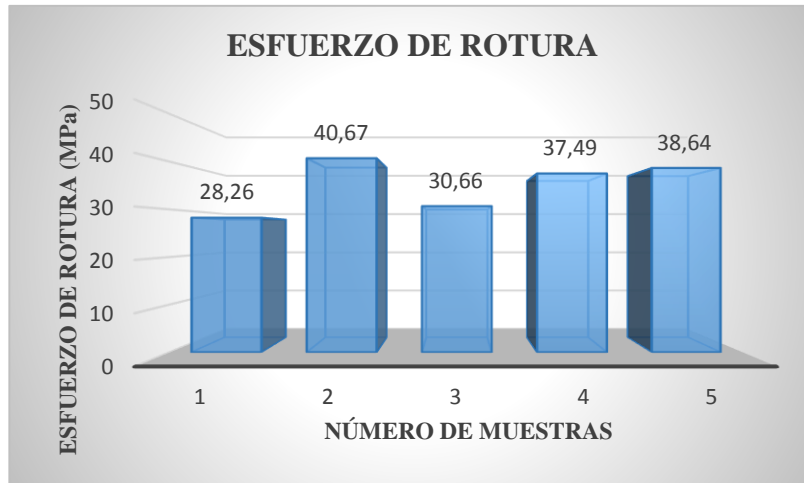
OBSERVACIONES		EVALUACIÓN	
-De las 5 probetas que fueron ensayadas, 3 se descartaron y 2 se reportan. -El tipo de falla LIT hace referencia a la rotura producida en la parte superior de la probeta, dentro del agarre -El tipo de falla AGM hace referencia a la rotura producida en la zona calibrada es decir en la parte media de la probeta -El tipo de falla LAT hace referencia a la rotura producida en la parte superior de la probeta		Esfuerzo Máximo Promedio :	33.56 (MPa)
		Módulo de elasticidad promedio:	1218.32(MPa)
		Espesor real promedio:	3.46 mm
Elaborado por :	Sr. Christian Sailema	Aprobado por:	Ing. Mg. Segundo Espín
Revisado por :	Ing. Esteban López	Validado por:	Ing. Mg. Segundo Espín

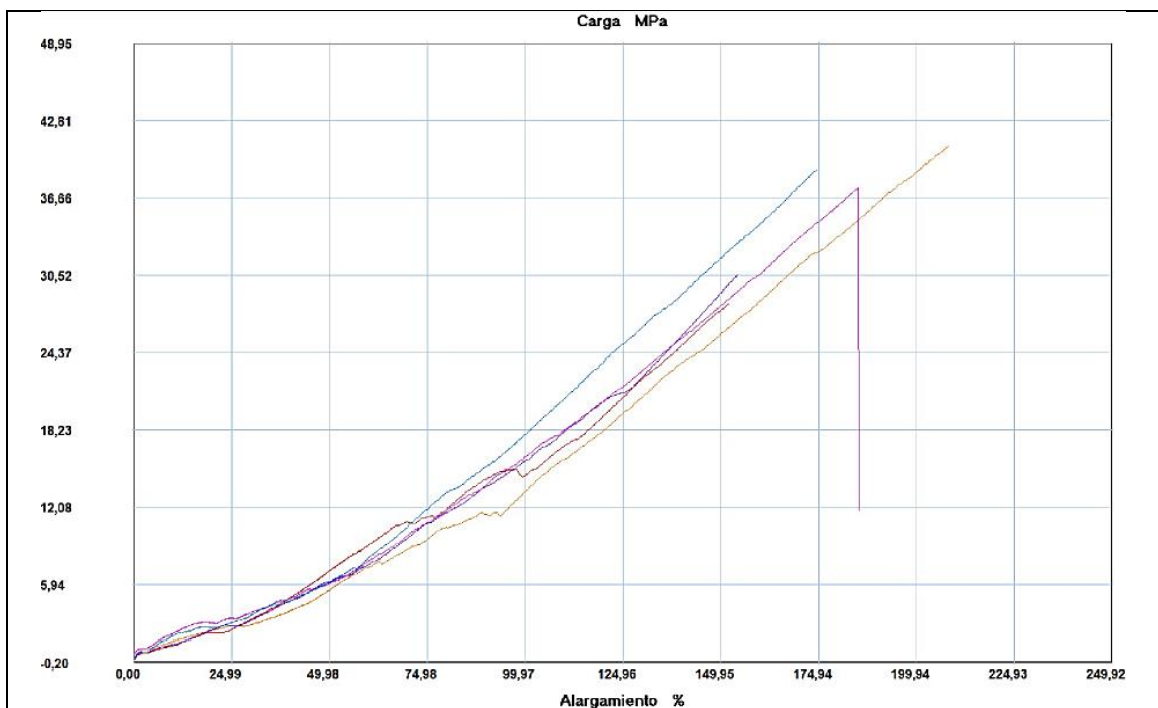
(Fuente: El Autor)

Tabla 4. 3: Ficha Técnica del ensayo de tracción para probetas con una fracción volumétrica de 90% matriz y 10% refuerzo; orientación longitudinal

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA					
EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN MATERIAL COMPUESTO (Resina Poliéster + Fibra de Tereftalato de Polietileno)							
ENSAYO A TRACCIÓN- NORMA ASTM D3039-00							
Lugar:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero						
Máquina:	Máquina Universal de Ensayos Electromecánicas MTE-10/50						
Fecha:	24-ene-17			Ciudad:	Ambato		
Responsable:	Sr. Christian Sailema			Revisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín		
PARÁMETROS ESTABLECIDOS PARA EL ENSAYO							
Fracción volumétrica del compuesto	Fracción volumétrica de la matriz:	90%	Fracción volumétrica del refuerzo:	10%			
Dimensiones de las probetas	Longitud:	250mm	Ancho:	25mm	Espesor Promedio:	3.23mm	
Material de Matriz :	Resina Poliéster			Material de Refuerzo :	Fibras de tereftalato de polietileno (PET)		
Configuración de la fibra :	longitudinal			Tipo de Estratificación:	Compresión		
Número de probetas:	5			Velocidad de ensayo:	10 mm/min		
DATOS Y RESULTADOS DEL ENSAYO REALIZADO							
Muestra	Carga Máxima (N)	Esfuerzo de fluencia (MPa)	Esfuerzo de rotura (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Elongación %	Tipo de Falla	
1	2437.38	1.13	28.26	1035.17	2.73	LIT	
2	3161.32	1.61	40.67	1087.43	3.74	AGM	
3	2404.48	1.22	30.66	1102.88	2.78	LIT	
4	2999.34	2.18	37.49	1125.83	3.33	LAT	
5	3128.09	1.94	38.64	1230.57	3.14	LIT	
Promedio:	2826.12	1.62	35.14	1116.38	3.14	-----	
Desviación Estándar	374.98	0.45	5.38	72.02	0.42	-----	
FOTOGRAFÍAS DE PROBETAS SOMETIDAS AL ENSAYO							
							

GRÁFICAS DE RESULTADOS








Probeta	FMax N	FYield N	FRot N	CMax MPa	C.Yield MPa	CRot MPa
1	2437,38	97,86	2437,38	28,26	1,13	28,26
2	3161,32	124,55	3151,59	40,79	1,61	40,67
3	2404,48	95,68	2404,48	30,66	1,22	30,66
4	2999,34	174,57	2999,34	37,49	2,18	37,49
5	3128,09	156,27	3115,83	38,89	1,94	38,74
Media	2826,122	129,786	2821,724	35,217	1,617	35,162
Desv. Std	374,983	35,060	370,361	5,453	0,452	5,395
Coef. V.	0,133	0,270	0,131	0,155	0,279	0,153
+3 Sigma	3951,071	234,967	3932,808	51,576	2,972	51,348

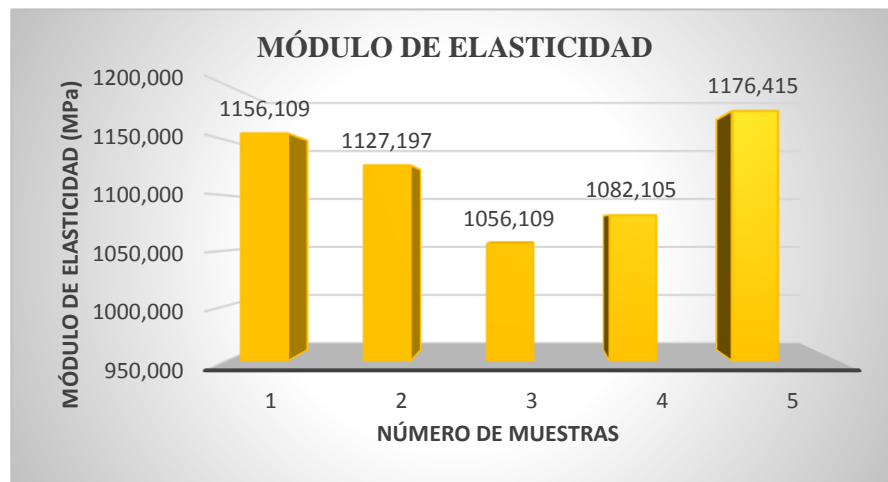
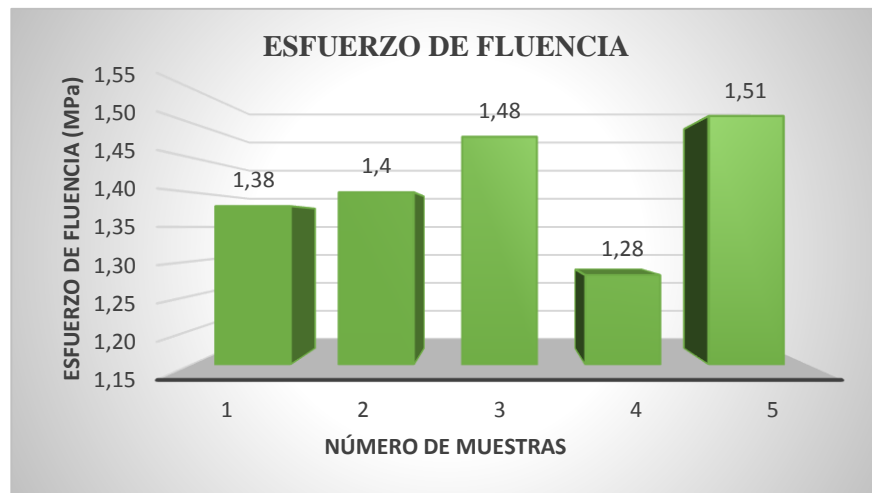
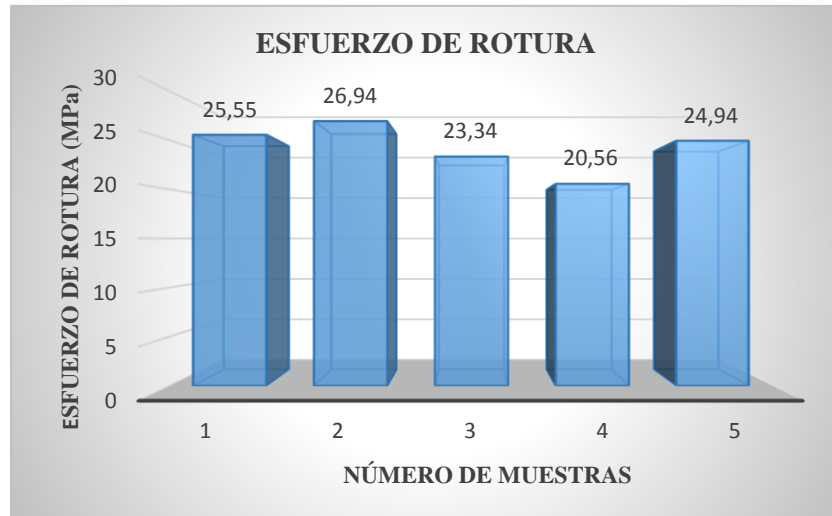
OBSERVACIONES		EVALUACIÓN	
-De las 5 probetas que fueron ensayadas, 3 se descartaron y 2 se reportan. -El tipo de falla LIT hace referencia a la rotura producida en la parte superior de la probeta, dentro del agarre -El tipo de falla AGM hace referencia a la rotura producida en la zona calibrada es decir en la parte media de la probeta -El tipo de falla LAT hace referencia a la rotura producida en la parte superior de la probeta		Esfuerzo Máximo Promedio :	35.14 (MPa)
		Módulo de elasticidad promedio:	1116.38 (MPa)
		Espesor real promedio:	3.23 mm
Elaborado por :	Sr. Christian Sailema	Aprobado por:	Ing. Mg. Segundo Espín
Revisado por :	Ing. Esteban López	Validado por:	Ing. Mg. Segundo Espín

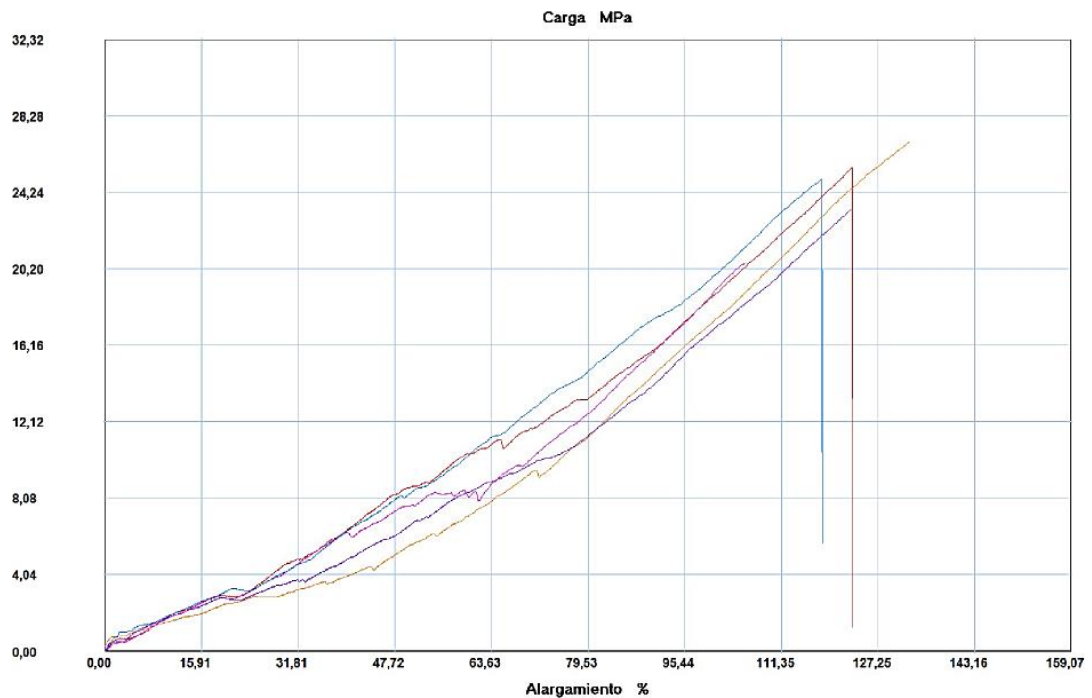
(Fuente: El Autor)

Tabla 4. 4: Ficha Técnica del ensayo de tracción para probetas con una fracción volumétrica de 70% matriz y 30% refuerzo; fibra corta; orientación al azar

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA					
EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN MATERIAL COMPUESTO (Resina Poliéster + Fibra de Tereftalato de Polietileno)							
ENSAYO A TRACCIÓN- NORMA ASTM D3039-00							
Lugar:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero						
Máquina:	Máquina Universal de Ensayos Electromecánicas MTE-10/50						
Fecha:	24-ene-17			Ciudad:	Ambato		
Responsable:	Sr. Christian Sailema			Revisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín		
PARÁMETROS ESTABLECIDOS PARA EL ENSAYO							
Fracción volumétrica del compuesto	Fracción volumétrica de la matriz:	70%	Fracción volumétrica del refuerzo:	30%			
Dimensiones de las probetas	Longitud:	250mm	Ancho:	25mm	Espesor Promedio:	3.01mm	
Material de Matriz :	Resina Poliéster			Material de Refuerzo :	Fibras de tereftalato de polietileno (PET)		
Configuración de la fibra :	Azar			Tipo de Estratificación:	Compresión		
Numero de probetas:	5			Velocidad de ensayo:	10 mm/min		
DATOS Y RESULTADOS DEL ENSAYO REALIZADO							
Muestra	Carga Máxima (N)	Esfuerzo de fluencia (MPa)	Esfuerzo de rotura (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Elongación %	Tipo de Falla	
1	1884.30	1.38	25.55	1156.11	2.21	AGM	
2	1999.95	1.40	26.94	1127.19	2.39	LIT	
3	1867.35	1.48	23.34	1056.11	2.21	LIT	
4	1484.31	1.28	20.56	1082.11	1.90	AGM	
5	1870.2	1.51	24.94	1176.42	2.12	AGM	
Promedio:	1821.22	1.41	24.27	1119.59	2.17	---	
Desviación Estándar	196.19	0.09	2.44	50.14	0.18	---	
FOTOGRAFÍAS DE PROBETAS SOMETIDAS AL ENSAYO							
							

GRÁFICAS DE RESULTADOS





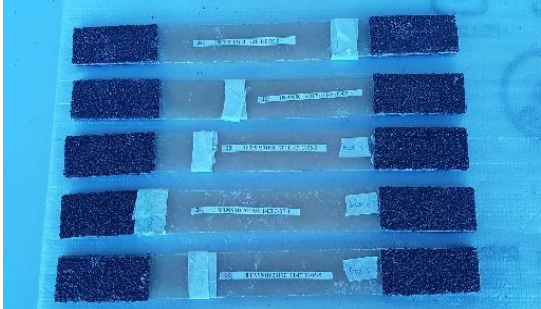


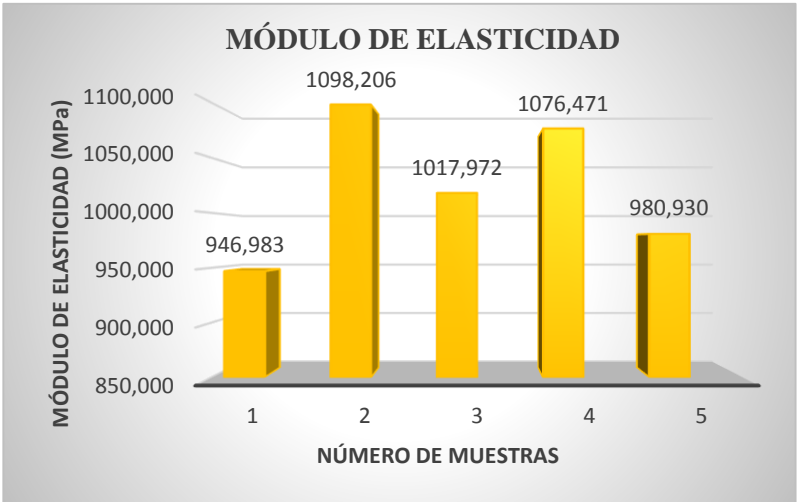
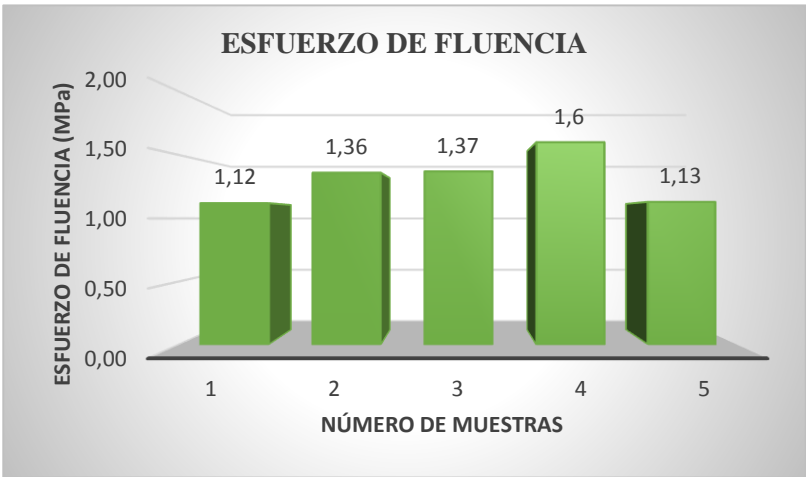
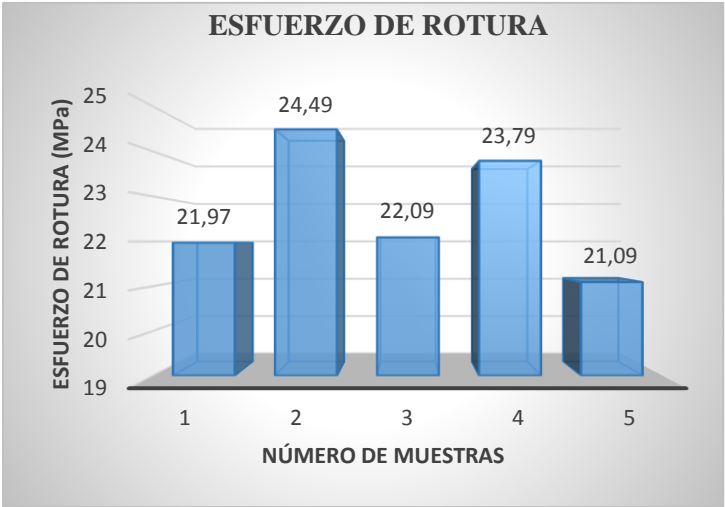
Probeta	FMax N	FYield N	FRot N	CMax MPa	C.Yield MPa	CRot MPa
1	1884,30	102,05	1884,30	25,55	1,38	25,55
2	1999,95	103,73	1999,95	26,94	1,40	26,94
3	1867,35	118,50	1867,35	23,34	1,48	23,34
4	1484,31	92,32	1484,31	20,56	1,28	20,56
5	1870,20	113,30	1870,20	24,94	1,51	24,94
Media	1821,222	105,980	1821,222	24,264	1,410	24,264
Desv. Std	196,188	10,216	196,188	2,442	0,091	2,442
Coef. V.	0,108	0,096	0,108	0,101	0,065	0,101
+3 Sigma	2409,786	136,627	2409,786	31,588	1,684	31,588

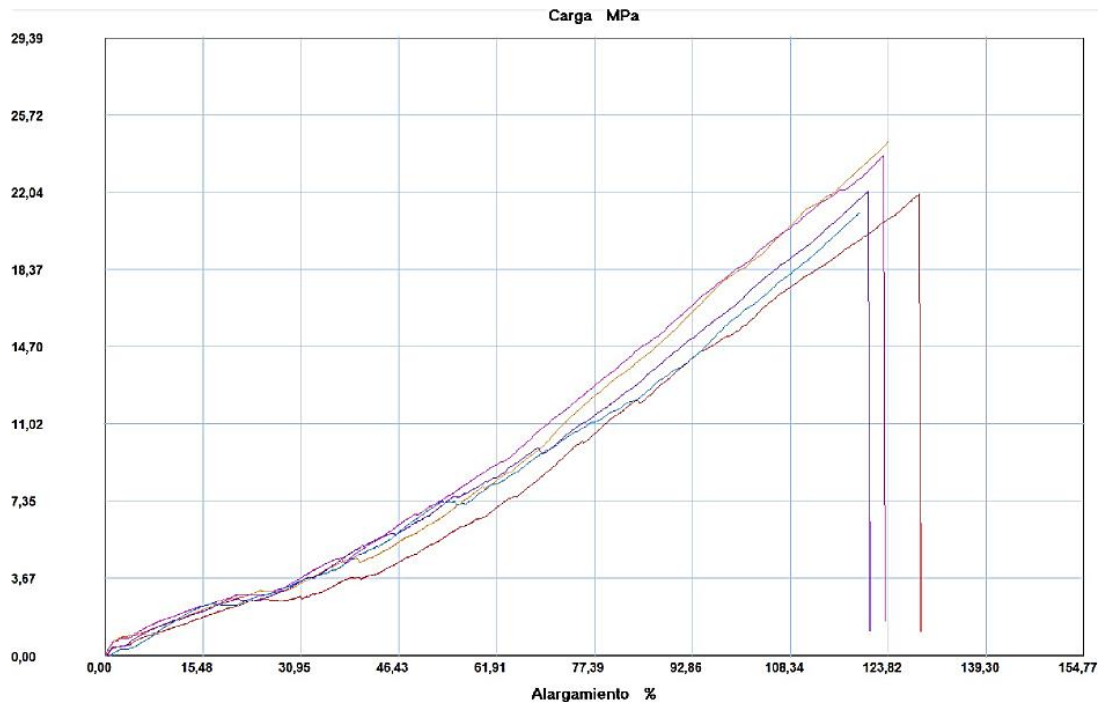
OBSERVACIONES		EVALUACIÓN	
-En este caso las probetas 2 y 3 presentan falla lateral en la parte inferior y superior del agarre respectivamente. -El tipo de falla LIT hace referencia a la rotura producida en la parte superior de la probeta, dentro del agarre -El tipo de falla AGM hace referencia a la rotura producida en la zona calibrada es decir en la parte media de la probeta	Esfuerzo Máximo Promedio.	24.27 (MPa)	
	Módulo de elasticidad promedio:	1119.59(MPa)	
	Espesor real promedio:	3.01 mm	
Elaborado por :	Sr. Christian Sailema	Aprobado por:	Ing. Mg. Segundo Espín
Revisado por :	Ing. Esteban López	Validado por:	Ing. Mg. Segundo Espín

(Fuente: El Autor)

Tabla 4. 5: Ficha Técnica del ensayo de tracción para probetas con una fracción volumétrica de 80% matriz y 20% refuerzo; fibra corta; orientación al azar

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA					
EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN MATERIAL COMPUESTO							
(Resina Poliéster + Fibra de Tereftalato de Polietileno)							
ENSAYO A TRACCIÓN- NORMA ASTM D3039-00							
Lugar:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero						
Máquina:	Máquina Universal de Ensayos Electromecánicas MTE-10/50						
Fecha:	24-ene-17		Ciudad:	Ambato			
Responsable:	Sr. Christian Sailema		Revisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín			
PARÁMETROS ESTABLECIDOS PARA EL ENSAYO							
Fracción volumétrica del compuesto	Fracción volumétrica de la matriz:	80%	Fracción volumétrica del refuerzo:	20%			
Dimensiones de las probetas	Longitud:	250mm	Ancho:	25mm	Espesor Promedio:	2.84mm	
Material de Matriz :	Resina Poliéster		Material de Refuerzo:	Fibras de tereftalato de polietileno (PET)			
Configuración de la fibra :	Azar		Tipo de Estratificación:	Compresión			
Numero de probetas:	5		Velocidad de ensayo:	10 mm/min			
DATOS Y RESULTADOS DEL ENSAYO REALIZADO							
Muestra	Carga Máxima (N)	Esfuerzo de fluencia (MPa)	Esfuerzo de rotura (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Elongación %	Tipo de Falla	
1	1627.66	1.12	21.97	946.98	2.32	LAT	
2	1663.24	1.36	24.49	1098.21	2.23	AGM	
3	1573.95	1.37	22.09	1017.97	2.17	AGM	
4	1725.01	1.60	23.79	1076.47	2.21	LIT	
5	1450.07	1.13	21.09	980.93	2.15	LAT	
Promedio:	1607.99	1.32	22.69	1024.11	2.22	----	
Desviación Estándar	103.96	0.19	1.40	63.41	0.07	----	
FOTOGRAFÍAS DE PROBETAS SOMETIDAS AL ENSAYO							
							
GRÁFICAS DE RESULTADOS							








Probeta	FMax N	FYield N	FRot N	CMax MPa	C.Yield MPa	CRot MPa
1	1627,66	83,25	1627,66	21,97	1,12	21,97
2	1663,24	92,65	1663,24	24,49	1,36	24,49
3	1573,95	97,69	1573,95	22,09	1,37	22,09
4	1725,01	116,32	1725,01	23,79	1,60	23,79
5	1450,07	77,72	1450,07	21,09	1,13	21,09
Media	1607,986	93,526	1607,986	22,687	1,319	22,687
Desv. Std	103,960	14,942	103,960	1,406	0,200	1,406
Coef. V.	0,065	0,160	0,065	0,062	0,152	0,062
+3 Sigma	1919,866	138,353	1919,866	26,905	1,919	26,905

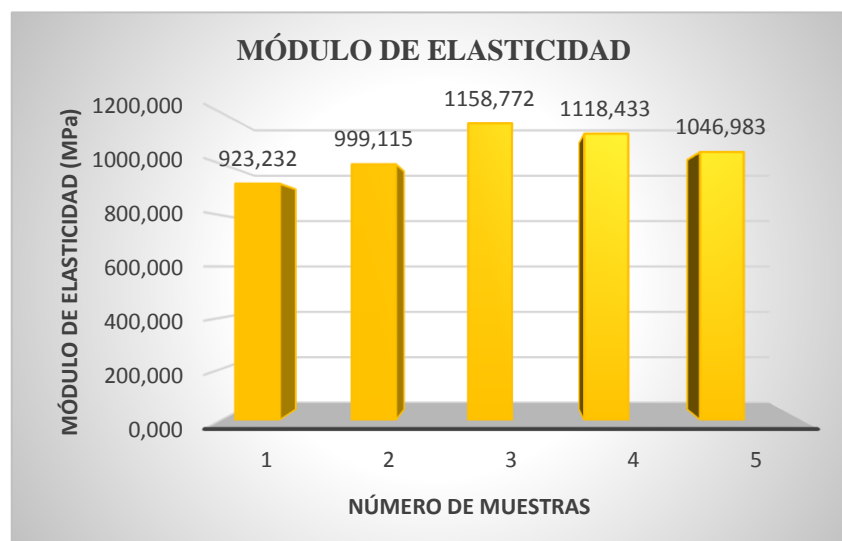
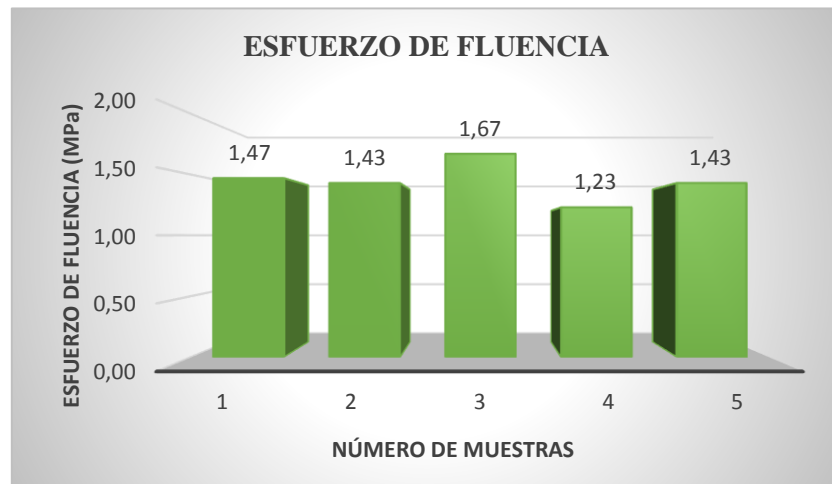
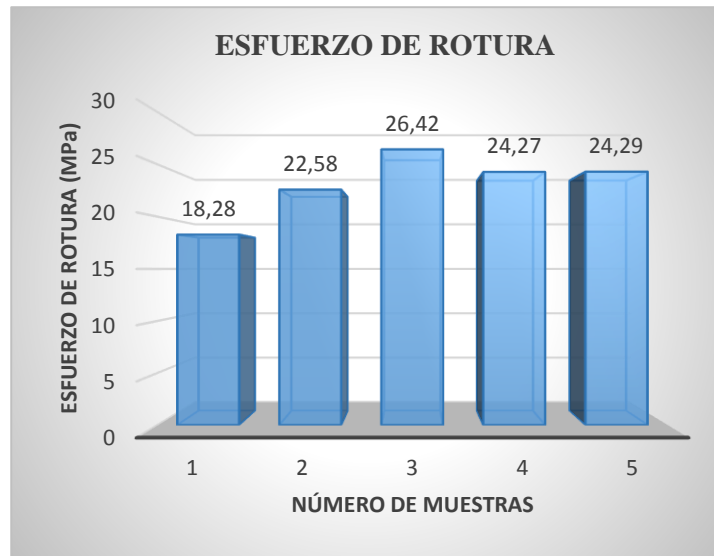
OBSERVACIONES		EVALUACIÓN	
-De las cinco probetas ensayadas una se descarta y cuatro se reportan. -El tipo de falla LIT hace referencia a la rotura producida en la parte superior de la probeta, dentro del agarre -El tipo de falla AGM hace referencia a la rotura producida en la zona calibrada es decir en la parte media de la probeta -El tipo de falla LAT hace referencia a la rotura producida en la parte superior de la probeta	Esfuerzo Máximo Promedio :	22.69(MPa)	
	Módulo de elasticidad promedio:	1024.11(MPa)	
	Espesor real promedio:	2.84 mm	
Elaborado por :	Sr. Christian Sailema	Aprobado por:	Ing. Mg. Segundo Espín
Revisado por :	Ing. Esteban López	Validado por:	Ing. Mg. Segundo Espín

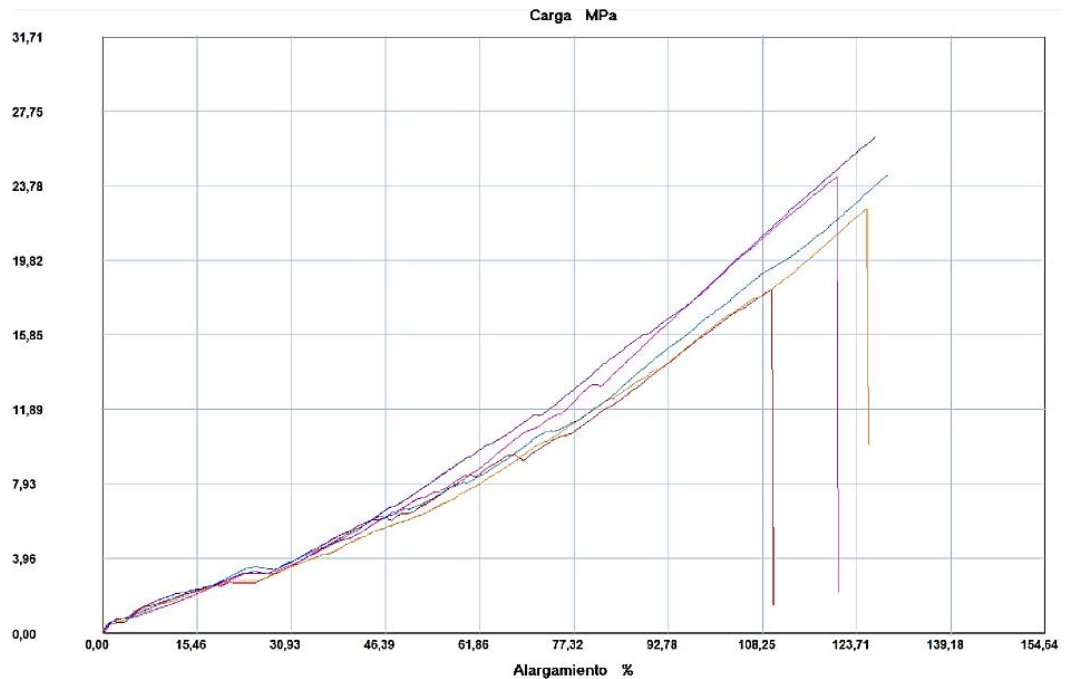
(Fuente: El Autor)

Tabla 4. 6: Ficha Técnica del ensayo de tracción para probetas con una fracción volumétrica de 90% matriz y 10% refuerzo; fibra corta; orientación al azar

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA					
EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN MATERIAL COMPUESTO (Resina Poliéster + Fibra de Tereftalato de Polietileno)							
ENSAYO A TRACCIÓN- NORMA ASTM D3039-00							
Lugar:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carroceros						
Máquina:	Máquina Universal de Ensayos Electromecánicas MTE-10/50						
Fecha:	24-ene-17		Ciudad:	Ambato			
Responsable:	Sr. Christian Sailema		Revisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín			
PARÁMETROS ESTABLECIDOS PARA EL ENSAYO							
Fracción volumétrica del compuesto	Fracción volumétrica de la matriz:	90%	Fracción volumétrica del refuerzo:	10%			
Dimensiones de las probetas	Longitud:	250mm	Ancho:	25mm	Espesor Promedio:	2.8mm	
Material de Matriz :	Resina Poliéster		Material de Refuerzo :	Fibras de tereftalato de polietileno (PET)			
Configuración de la fibra :	Azar		Tipo de Estratificación:	Compresión			
Número de probetas:	5		Velocidad de ensayo:	10 mm/min			
DATOS Y RESULTADOS DEL ENSAYO REALIZADO							
Muestra	Carga Máxima (N)	Esfuerzo de fluencia (MPa)	Esfuerzo de rotura (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Elongación %	Tipo de Falla	
1	1422.38	1.47	18.28	923.23	1.98	LAT	
2	1686.41	1.43	22.58	999.12	2.26	AGM	
3	1644.95	1.67	26.42	1158.77	2.28	LIT	
4	1635.04	1.23	24.27	1118.43	2.17	LAT	
5	1581.16	1.43	24.29	1046.98	2.32	LAT	
Promedio:	1593.99	1.45	23.17	1049.31	2.20	---	
Desviación Estándar	103.00	0.16	3.05	93.78	0.14	---	
FOTOGRAFÍAS DE PROBETAS SOMETIDAS AL ENSAYO							
							

GRÁFICAS DE RESULTADOS





Probeta	FMax N	FYield N	FRot N	CMax MPa	C.Yield MPa	CRot MPa
1	1422,38	114,47	1422,38	18,28	1,47	18,28
2	1686,41	106,58	1686,41	22,58	1,43	22,58
3	1644,95	103,73	1612,05	26,42	1,67	25,90
4	1635,04	82,92	1635,04	24,27	1,23	24,27
5	1581,16	93,16	1578,98	24,33	1,43	24,29
Media	1593,988	100,172	1586,972	23,176	1,446	23,063
Desv. Std	103,003	12,298	99,977	3,058	0,155	2,920
Coef. V.	0,065	0,123	0,063	0,132	0,107	0,127
+3 Sigma	1902,996	137,066	1886,904	32,350	1,910	31,824



OBSERVACIONES		EVALUACIÓN	
-De las cinco probetas ensayadas una se descarta y cuatro se reportan. -El tipo de falla LIT hace referencia a la rotura producida en la parte superior de la probeta, dentro del agarre -El tipo de falla AGM hace referencia a la rotura producida en la zona calibrada es decir en la parte media de la probeta -El tipo de falla LAT hace referencia a la rotura producida en la parte superior de la probeta	Esfuerzo Máximo Promedio :	23.17(MPa)	
	Módulo de elasticidad promedio:	1049.30 (MPa)	
	Espesor real promedio:	2.8 (mm)	
Elaborado por :	Sr. Christian Sailema	Aprobado por:	Ing. Mg. Segundo Espín
Revisado por :	Ing. Esteban López	Validado por:	Ing. Mg. Segundo Espín

(Fuente: El Autor)

4.1.2. Tabulación de resultados de los ensayos a flexión

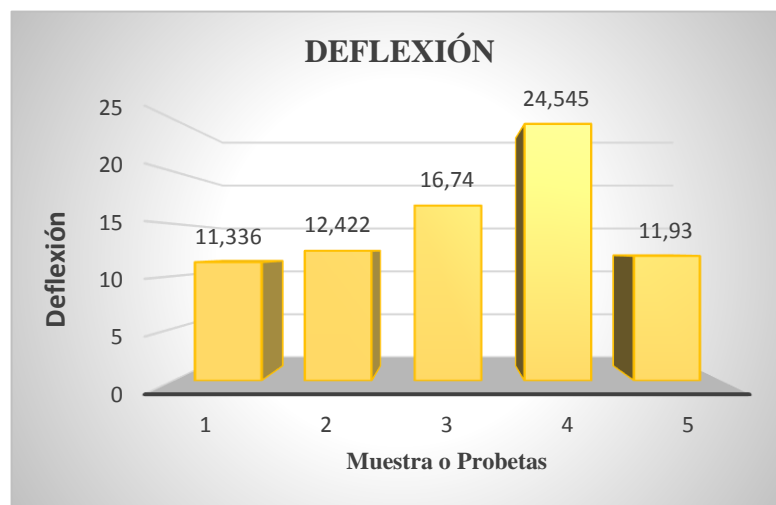
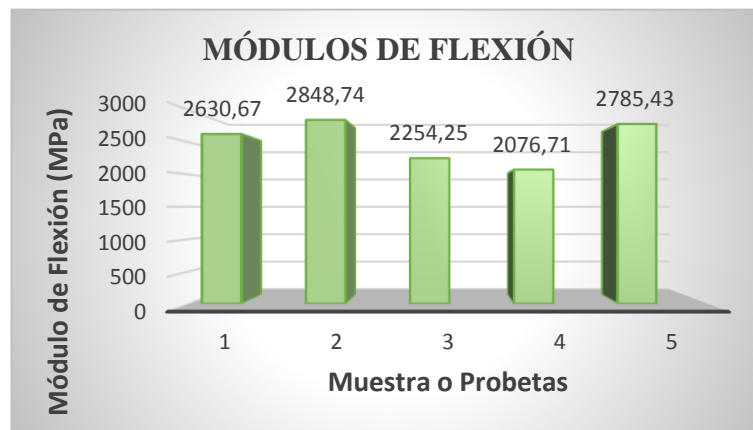
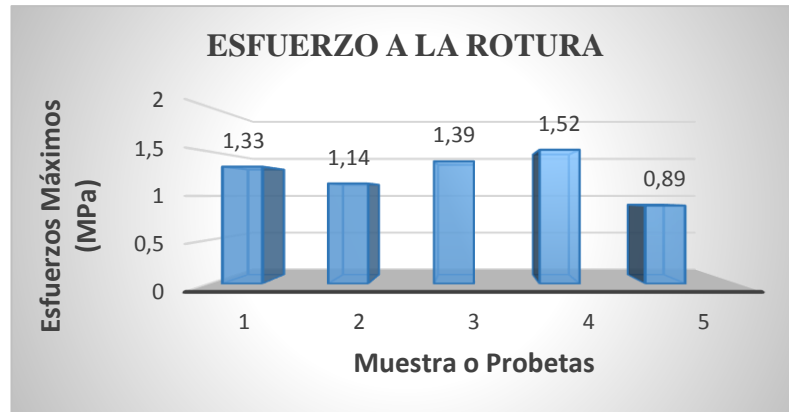
Una vez realizado el ensayo respectivo, bajo las especificaciones de la norma ASTM D7264-07, y de acuerdo a su respectiva configuración y fracción volumétrica se obtienen los siguientes resultados:

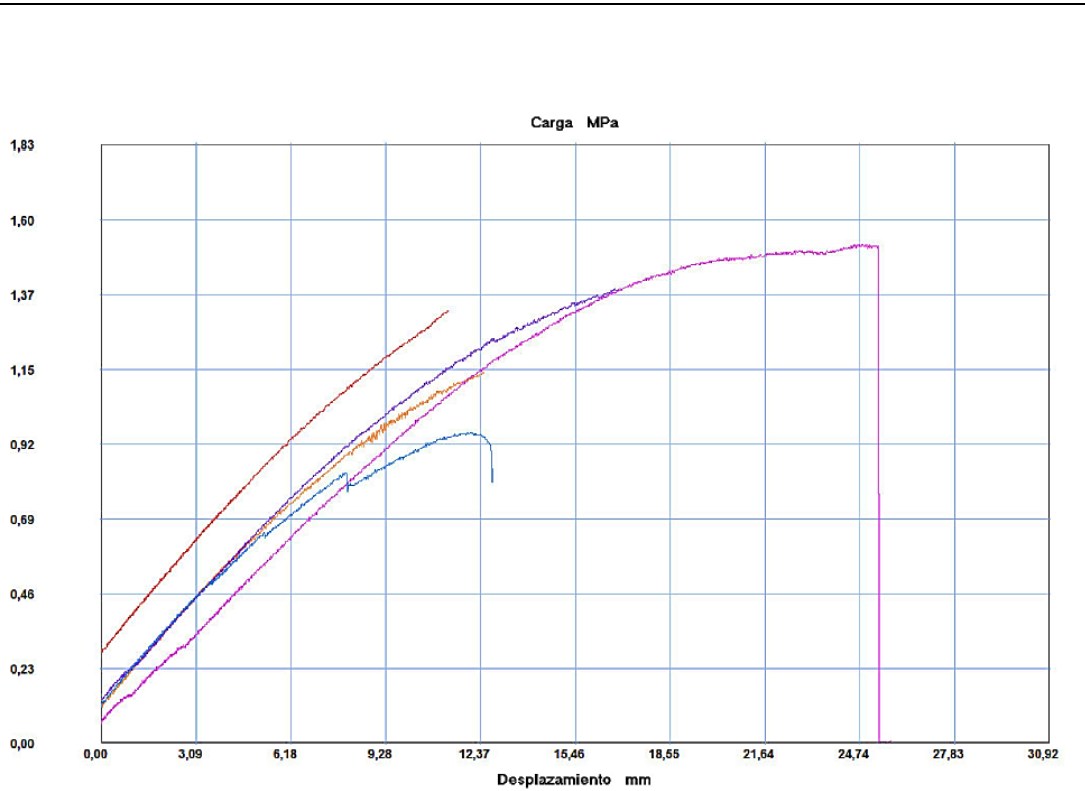
Tabla 4. 7: Ficha Técnica del ensayo de Flexión para probetas con una fracción volumétrica de 70% matriz y 30% refuerzo; fibra larga; orientación longitudinal

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA									
EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN MATERIAL COMPUESTO (Resina Poliéster + Fibra de Tereftalato de polietileno)											
ENSAYO A FLEXION - NORMA ASTM D7264-07											
Lugar:		Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero									
Máquina:		Máquina Universal de Ensayos Electromecánicas MTE-10/50									
Fecha:		24-ene-17		Ciudad:		Ambato					
Responsable:		Sr. Christian Sailema		Revisado por:		Ing. Mg. Segundo Espín					
PARÁMETROS ESTABLECIDOS PARA EL ENSAYO											
Fracción volumétrica del compuesto		Fracción volumétrica de la matriz:		70%		Fracción volumétrica del refuerzo: 30%					
Dimensiones de las probetas		Longitud:		160mm		Ancho: 13mm Espesor Promedio: 3.36mm					
Material de Matriz :		Resina Poliéster		Material de Refuerzo :		Fibras de tereftalato de polietileno (PET)					
Configuración de la fibra :		Longitudinal		Tipo de Estratificación:		Compresión					
Número de probetas:		5		Velocidad de ensayo:		10 mm/min					
DATOS Y RESULTADOS DEL ENSAYO REALIZADO											
Muestra		Carga Máxima (N)		Esfuerzo a la ruptura (MPa)		Módulo de flexión (MPa)		Deflexión		Tipo de Falla Evaluado	
1		62.10		1.33		2630.67		11.34		OAV	
2		49.52		1.14		2848.74		12.42		OAV	
3		61.27		1.39		2254.25		16.74		OAV	
4		67.14		1.52		2076.71		24.55		OAV	
5		41.8		0.89		2785.43		11.93		OAB	
Promedio:		56.37		1.25		2519.16		15.39		---	
Desviación Estándar		10.39		0.25		338.34		5.54		---	
FOTOGRAFÍAS DE PROBETAS SOMETIDAS AL ENSAYO											



GRÁFICAS DE RESULTADOS








Probeta	FMax N	FRot N	CMax MPa	CRot MPa	ModFlex MPa
1	62,10	62,10	1,33	1,33	2630,67
2	49,52	49,52	1,14	1,14	2848,74
3	61,27	61,27	1,39	1,39	2254,25
4	67,14	66,97	1,53	1,52	2076,71
5	41,80	38,94	0,95	0,89	2785,43
Media	56,366	55,760	1,268	1,254	2519,160
Desv. Std	10,393	11,381	0,226	0,248	338,341
Coef. V.	0,184	0,204	0,178	0,198	0,134
+3 Sigma	87,544	89,902	1,944	1,998	3534,181

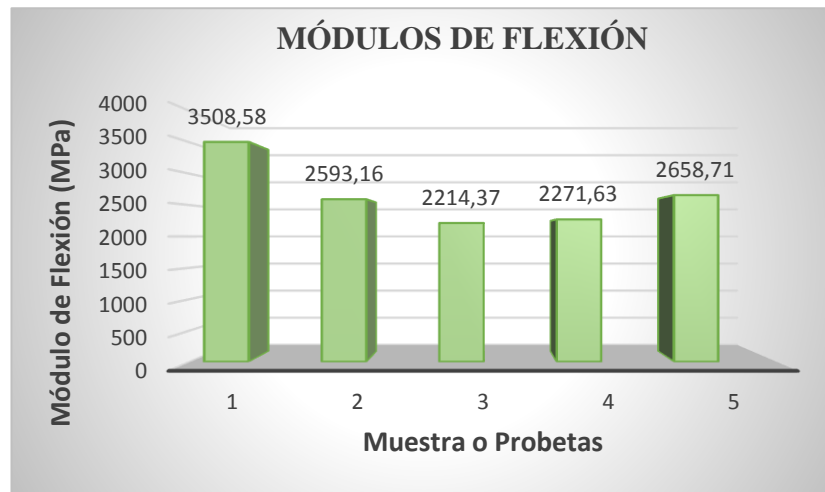
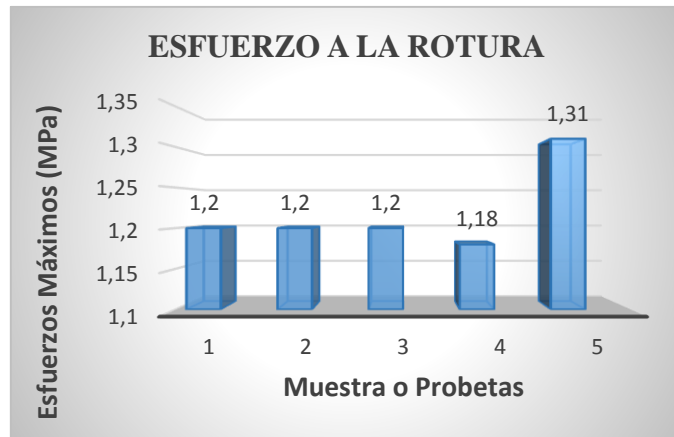
OBSERVACIONES		EVALUACIÓN	
-Buena adhesión entre la fibra y la matriz. -El tipo de falla OAB hace referencia que el área de falla está en el punto de carga y que está localizada en el fondo de la probeta -El tipo de falla OAV hace referencia que el área de falla está en el punto de carga y que está localizada en varias partes de la probeta		Esfuerzo Máximo Promedio :	1.25 (MPa)
		Módulo de flexión promedio:	2519.16 (MPa)
		Espesor promedio:	3.36mm
Elaborado por :	Sr. Christian Sailema	Aprobado por:	Ing. Mg. Segundo Espín
Revisado por :	Ing. Esteban López	Validado por:	Ing. Mg. Segundo Espín

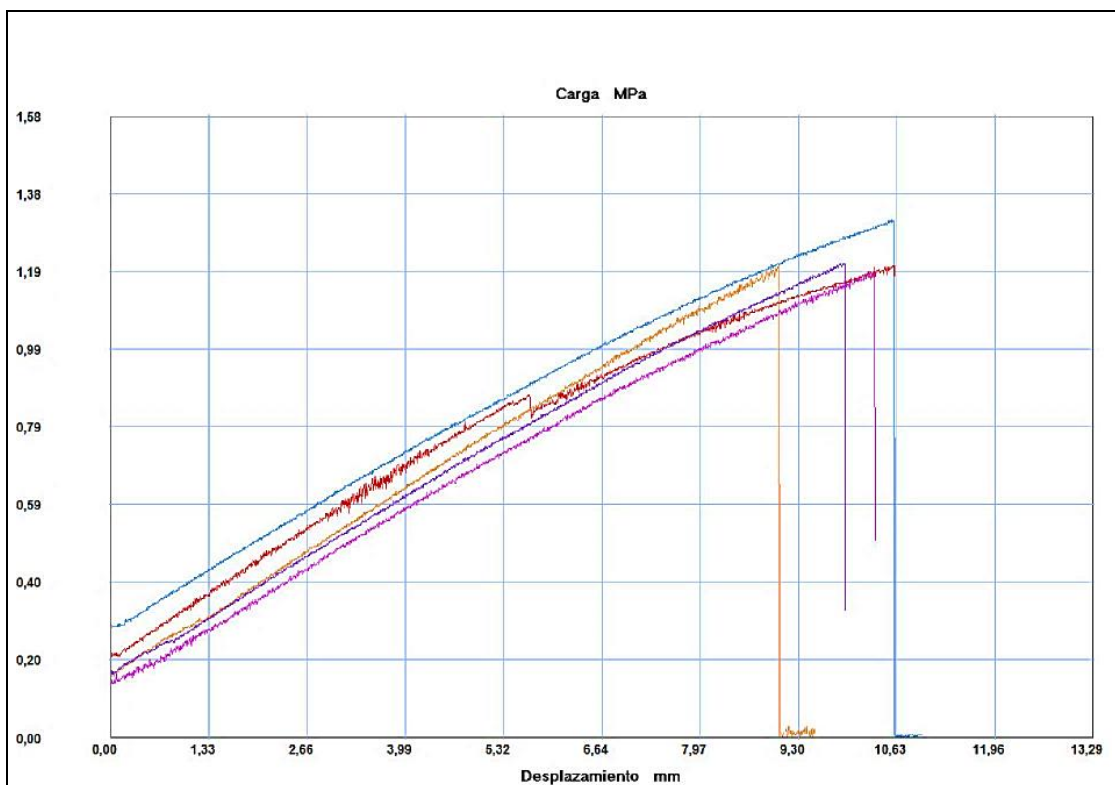
(Fuente: El Autor)

Tabla 4. 8: Ficha Técnica del ensayo de Flexión para probetas con una fracción volumétrica de 80% matriz y 20% refuerzo; fibra larga; orientación longitudinal

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA				
EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN MATERIAL COMPUESTO (Resina Poliéster + Fibra de Tereftalato de polietileno)						
ENSAYO A FLEXION - NORMA ASTM D7264-07						
Lugar:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero					
Máquina:	Máquina Universal de Ensayos Electromecánicas MTE-10/50					
Fecha:	24-ene-17		Ciudad:	Ambato		
Responsable:	Sr. Christian Sailema		Revisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín		
PARÁMETROS ESTABLECIDOS PARA EL ENSAYO						
Fracción volumétrica del compuesto	Fracción volumétrica de la matriz:	80%	Fracción volumétrica del refuerzo:	20%		
Dimensiones de las probetas	Longitud:	160mm	Ancho:	13mm	Espesor Promedio:	3.51mm
Material de Matriz :	Resina Poliéster		Material de Refuerzo :	Fibras de tereftalato de polietileno (PET)		
Configuración de la fibra :	Longitudinal		Tipo de Estratificación:	Compresión		
Número de probetas:	5		Velocidad de ensayo:	10 mm/min		
DATOS Y RESULTADOS DEL ENSAYO REALIZADO						
Muestra	Carga Máxima (N)	Esfuerzo a la ruptura (MPa)	Módulo de flexión (MPa)	Deflexión	Tipo de Falla Evaluado	
1	52.71	1.20	3508.58	10.58	OAV	
2	52.87	1.20	2593.16	9.03	OAB	
3	57.24	1.20	2214.37	9.87	OAV	
4	55.56	1.18	2271.63	10.28	OAV	
5	61.94	1.31	2658.71	10.57	OAV	
Promedio:	56.06	1.22	2649.29	10.06	---	
Desviación Estándar	3.79	0.05	518.03	0.65	---	
FOTOGRAFÍAS DE PROBETAS SOMETIDAS AL ENSAYO						
						

GRÁFICAS DE RESULTADOS








Probeta	FMax N	FRot N	CMax MPa	CRot MPa	ModFlex MPa
1	52,71	52,71	1,20	1,20	3508,58
2	52,87	52,37	1,20	1,19	2593,16
3	57,24	56,90	1,21	1,20	2214,37
4	55,56	55,39	1,19	1,18	2271,63
5	61,94	61,77	1,32	1,31	2658,71
Media	56,064	55,828	1,223	1,218	2649,291
Desv. Std	3,795	3,819	0,054	0,055	518,023
Coef. V.	0,068	0,068	0,044	0,045	0,196
+3 Sigma	67,450	67,284	1,385	1,382	4203,359

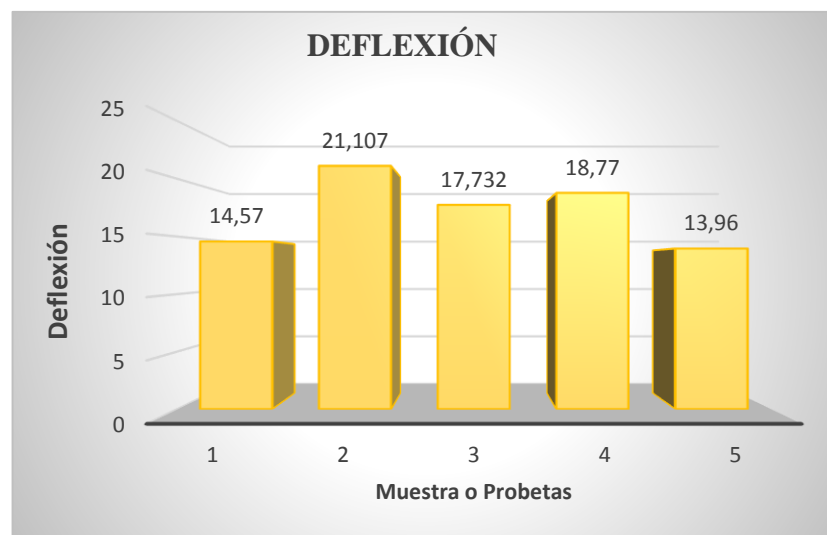
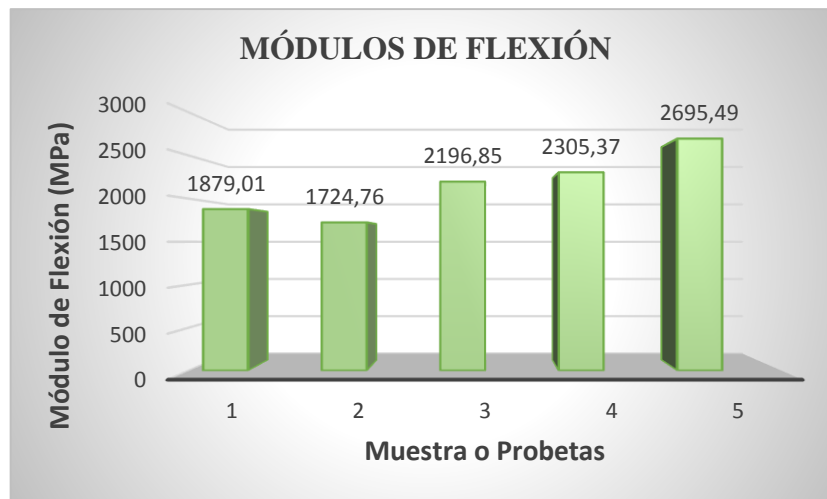
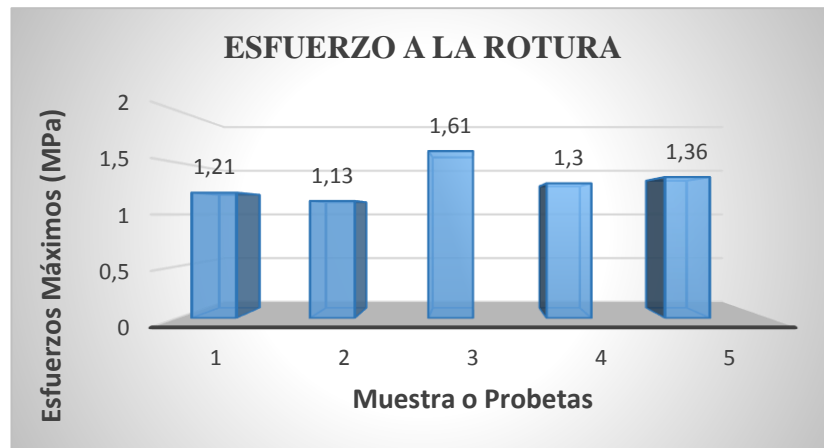
OBSERVACIONES		EVALUACIÓN	
-El tipo de falla OAB hace referencia que el área de falla está en el punto de carga y que está localizada en el fondo de la probeta -El tipo de falla OAV hace referencia que el área de falla está en el punto de carga y que está localizada en varias partes de la probeta		Esfuerzo Máximo Promedio :	1.22 (MPa)
		Módulo de flexión promedio:	2649.29 (MPa)
		Espesor promedio:	3.51mm
Elaborado por :	Sr. Christian Sailema	Aprobado por:	Ing. Mg. Segundo Espín
Revisado por :	Ing. Esteban López	Validado por:	Ing. Mg. Segundo Espín

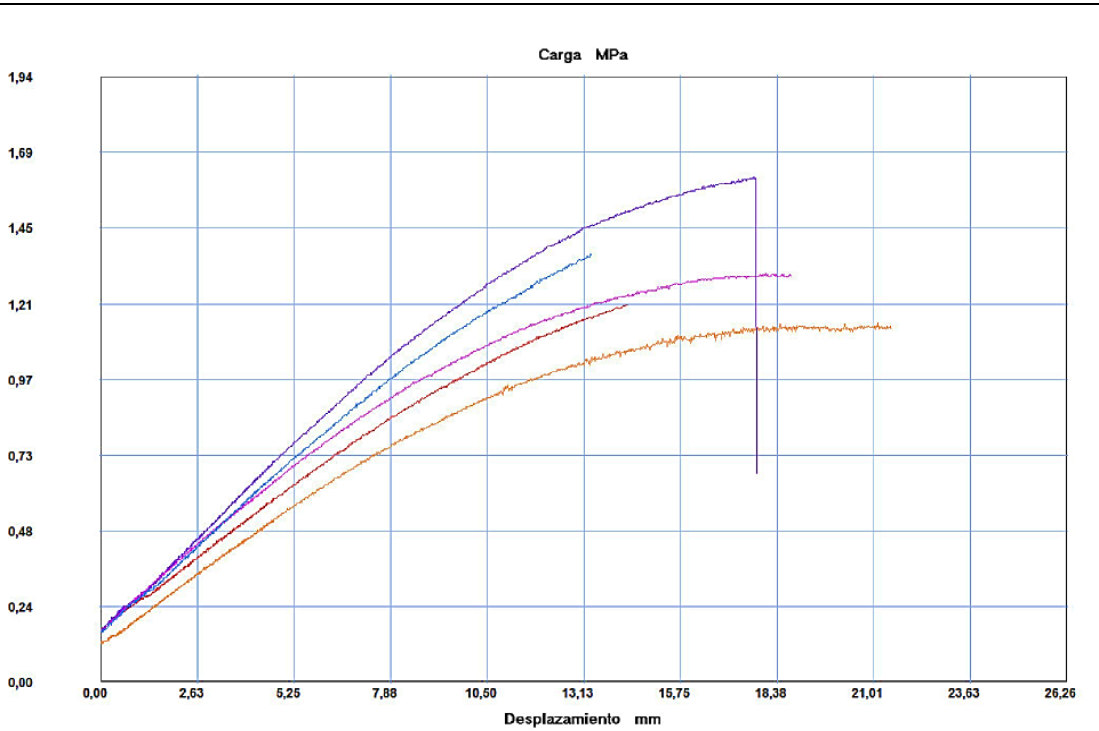
(Fuente: El Autor)

Tabla 4. 9: Ficha Técnica del ensayo de Flexión para probetas con una fracción volumétrica de 90% matriz y 10% refuerzo; fibra larga; orientación longitudinal

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA				
EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN MATERIAL COMPUESTO (Resina Poliéster + Fibra de Tereftalato de polietileno)						
ENSAYO A FLEXION - NORMA ASTM D7264-07						
Lugar:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero					
Máquina:	Máquina Universal de Ensayos Electromecánicas MTE-10/50					
Fecha:	24-ene-17		Ciudad:	Ambato		
Responsable:	Sr. Christian Sailema		Revisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín		
PARÁMETROS ESTABLECIDOS PARA EL ENSAYO						
Fracción volumétrica del compuesto	Fracción volumétrica de la matriz:	90%	Fracción volumétrica del refuerzo:	10%		
Dimensiones de las probetas	Longitud:	160mm	Ancho:	13mm	Espesor Promedio:	3.55mm
Material de Matriz :	Resina Poliéster		Material de Refuerzo :	Fibras de tereftalato de polietileno (PET)		
Configuración de la fibra :	Longitudinal		Tipo de Estratificación:	Compresión		
Número de probetas:	5		Velocidad de ensayo:	10 mm/min		
DATOS Y RESULTADOS DEL ENSAYO REALIZADO						
Muestra	Carga Máxima (N)	Esfuerzo a la ruptura (MPa)	Módulo de flexión (MPa)	Deflexión	Tipo de Falla Evaluado	
1	56.26	1.21	1879.01	14.57	OAV	
2	53.88	1.13	1724.76	21.11	OAV	
3	75.53	1.61	2196.85	17.73	OAV	
4	62.78	1.30	2305.37	18.77	OAV	
5	57.74	1.36	2695.49	13.96	OAV	
Promedio:	61.24	1.32	2160.29	17.23	---	
Desviación Estándar	8.63	0.18	380.01	2.97	---	
FOTOGRAFÍAS DE PROBETAS SOMETIDAS AL ENSAYO						
						

GRÁFICAS DE RESULTADOS





Probeta	FMax N	FRot N	CMax MPa	CRot MPa	ModFlex MPa
1	56,57	56,57	1,21	1,21	1879,01
2	53,88	52,87	1,15	1,13	1724,76
3	75,53	75,36	1,61	1,61	2196,85
4	62,78	62,61	1,31	1,30	2305,37
5	57,74	57,57	1,37	1,36	2695,49
Media	61,300	60,996	1,329	1,323	2160,297
Desv. Std	8,585	8,751	0,180	0,184	380,012
Coef. V.	0,140	0,143	0,135	0,139	0,176
+3 Sigma	87,054	87,248	1,868	1,874	3300,332

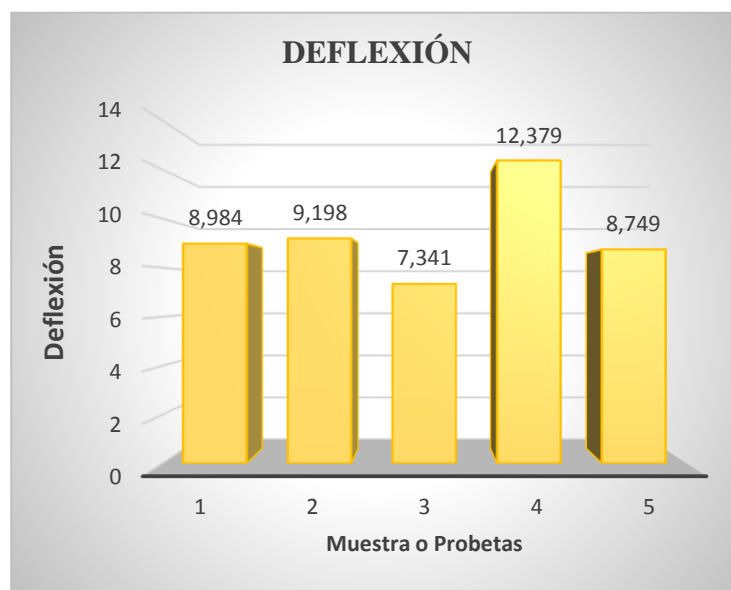
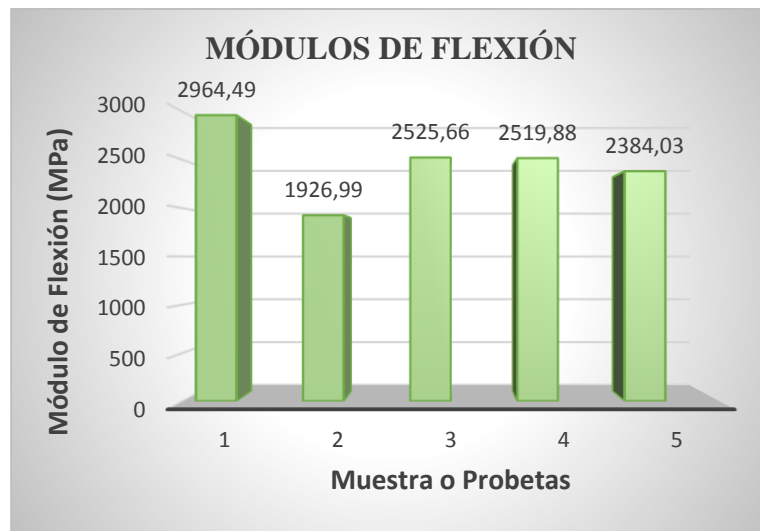
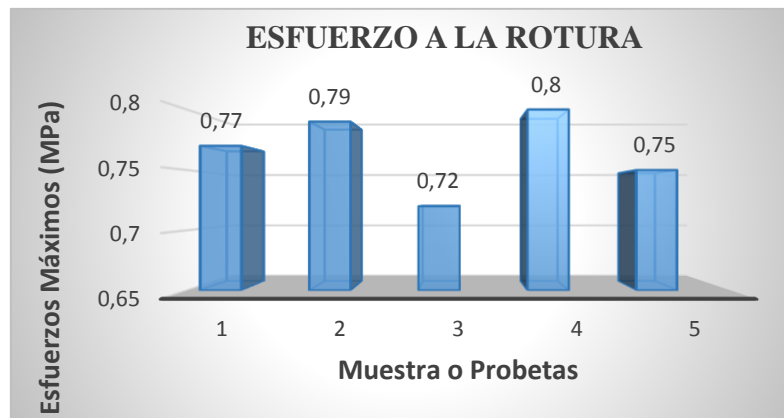
OBSERVACIONES		EVALUACIÓN	
-El tipo de falla OAV hace referencia que el área de falla está en el punto de carga y que está localizada en varias partes de la probeta.		Esfuerzo Máximo Promedio :	1.32 (MPa)
		Módulo de flexión promedio:	2160.29 (MPa)
		Espesor promedio:	3.55mm
Elaborado por :	Sr. Christian Sailema	Aprobado por:	Ing. Mg. Segundo Espín
Revisado por :	Ing. Esteban López	Validado por:	Ing. Mg. Segundo Espín

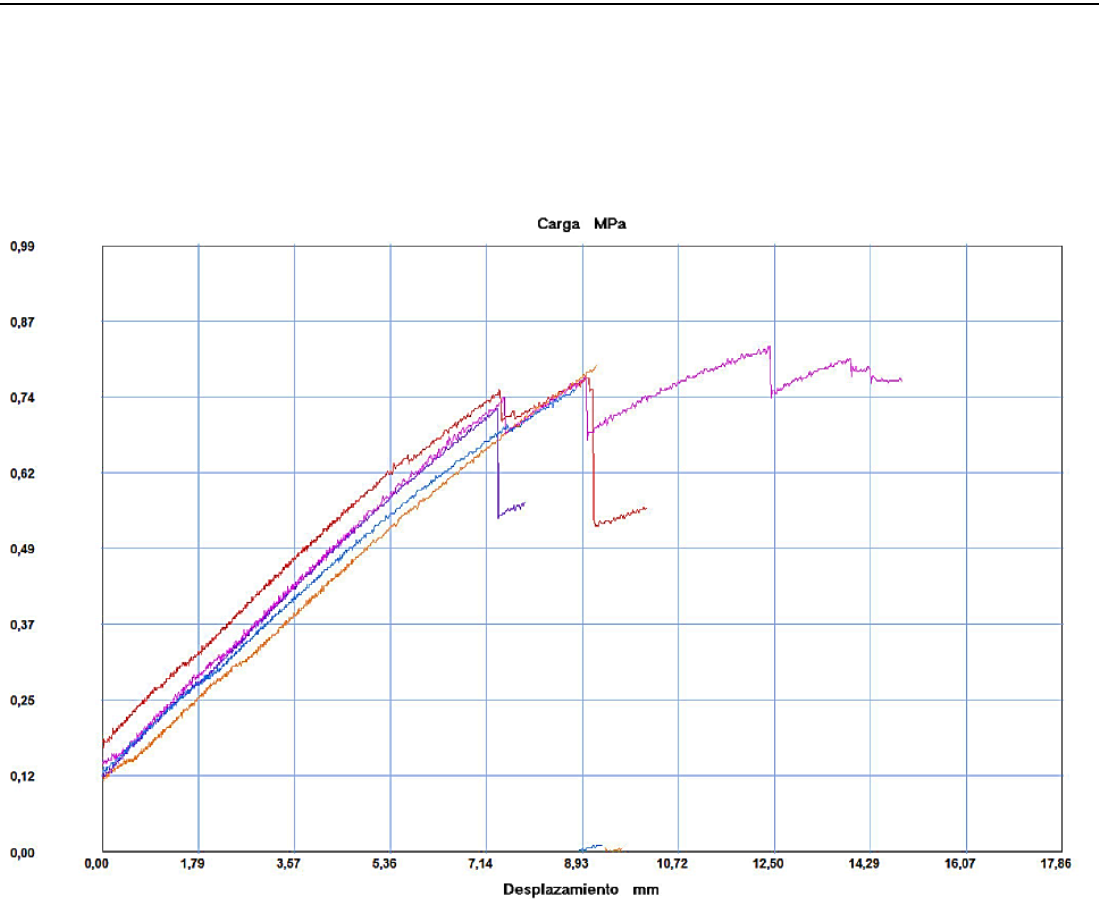
(Fuente: El Autor)

Tabla 4. 10: Ficha Técnica del ensayo de Flexión para probetas con una fracción volumétrica de 70% matriz y 30% refuerzo; fibra corta; orientación al azar

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA					
EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN MATERIAL COMPUESTO (Resina Poliéster + Fibra de Tereftalato de polietileno)							
ENSAYO A FLEXION - NORMA ASTM D7264-07							
Lugar:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero						
Máquina:	Máquina Universal de Ensayos Electromecánicas MTE-10/50						
Fecha:	24-ene-17			Ciudad:	Ambato		
Responsable:	Sr. Christian Sailema			Revisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín		
PARÁMETROS ESTABLECIDOS PARA EL ENSAYO							
Fracción volumétrica del compuesto	Fracción volumétrica de la matriz:	70%		Fracción volumétrica del refuerzo:	30%		
Dimensiones de las probetas	Longitud:	160mm		Ancho:	13mm	Espesor Promedio:	3.16mm
Material de Matriz :	Resina Poliéster			Material de Refuerzo :	Fibras de tereftalato de polietileno (PET)		
Configuración de la fibra :	Azar			Tipo de Estratificación:	Compresión		
Número de probetas:	5			Velocidad de ensayo:	10 mm/min		
DATOS Y RESULTADOS DEL ENSAYO REALIZADO							
Muestra	Carga Máxima (N)	Esfuerzo a la ruptura (MPa)		Módulo de flexión (MPa)	Deflexión	Tipo de Falla Evaluado	
1	29.04	0.77		2964.49	8.98	OAB	
2	33.57	0.79		1926.99	9.19	OAB	
3	30.38	0.72		2525.66	7.34	OAB	
4	34.58	0.80		2519.88	12.38	OAB	
5	31.39	0.75		2384.03	8.75	OAB	
Promedio:	31.79	0.77		2464.21	9.33	---	
Desviación Estándar	2.27	0.03		371.55	1.85	---	
FOTOGRAFÍAS DE PROBETAS SOMETIDAS AL ENSAYO							
							

GRÁFICAS DE RESULTADOS








Probeta	FMax N	FRot N	CMax MPa	CRot MPa	ModFlex MPa
1	29,04	29,04	0,77	0,77	2964,49
2	33,57	33,57	0,79	0,79	1926,99
3	30,38	30,38	0,72	0,72	2525,66
4	34,58	33,74	0,82	0,80	2519,88
5	31,39	31,39	0,75	0,75	2384,03
Media	31,792	31,624	0,774	0,770	2464,213
Desv. Std	2,273	2,034	0,038	0,032	371,548
Coef. V.	0,071	0,064	0,049	0,042	0,151
+3 Sigma	38,610	37,725	0,889	0,867	3578,857

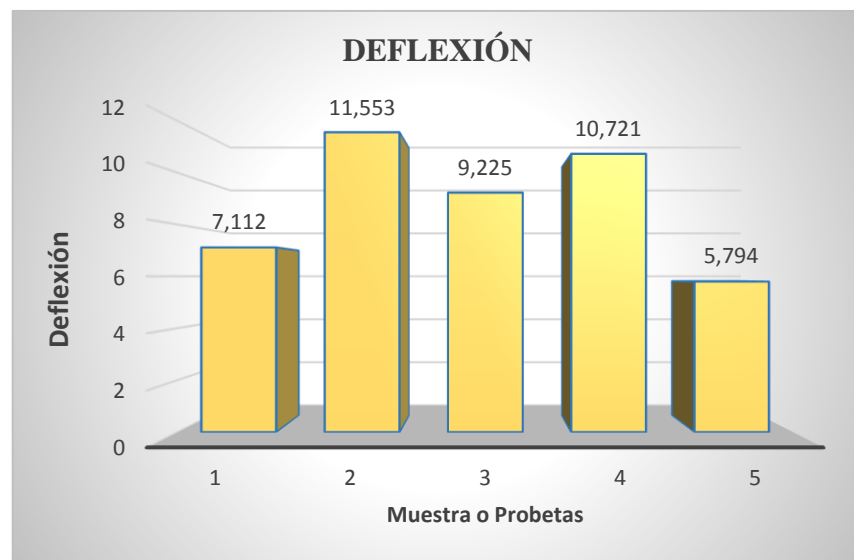
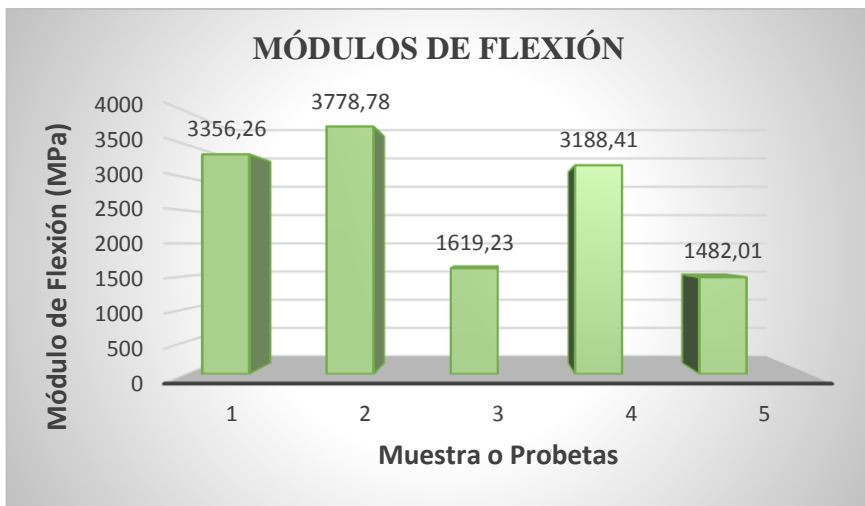
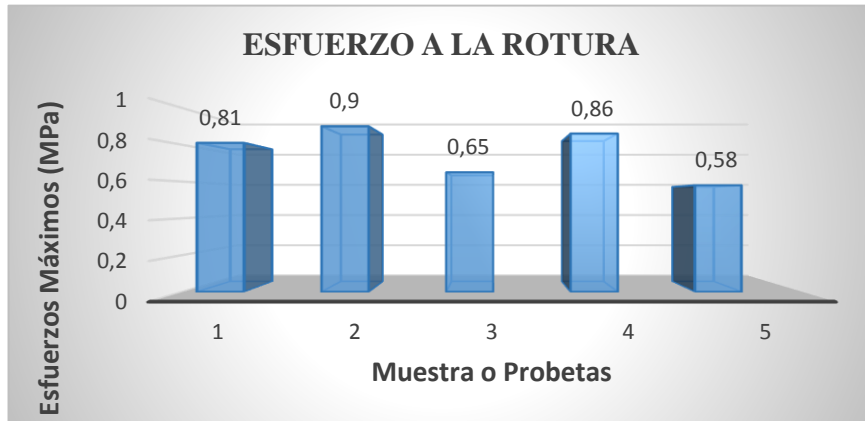
OBSERVACIONES		EVALUACIÓN	
-El tipo de falla OAB hace referencia que el área de falla está en el punto de carga y que está localizada en el fondo de la probeta		Esfuerzo Máximo Promedio :	0.77 (MPa)
		Módulo de flexión promedio:	2464.21 (MPa)
		Espesor promedio:	3.16mm
Elaborado por :	Sr. Christian Sailema	Aprobado por:	Ing. Mg. Segundo Espín
Revisado por :	Ing. Esteban López	Validado por:	Ing. Mg. Segundo Espín

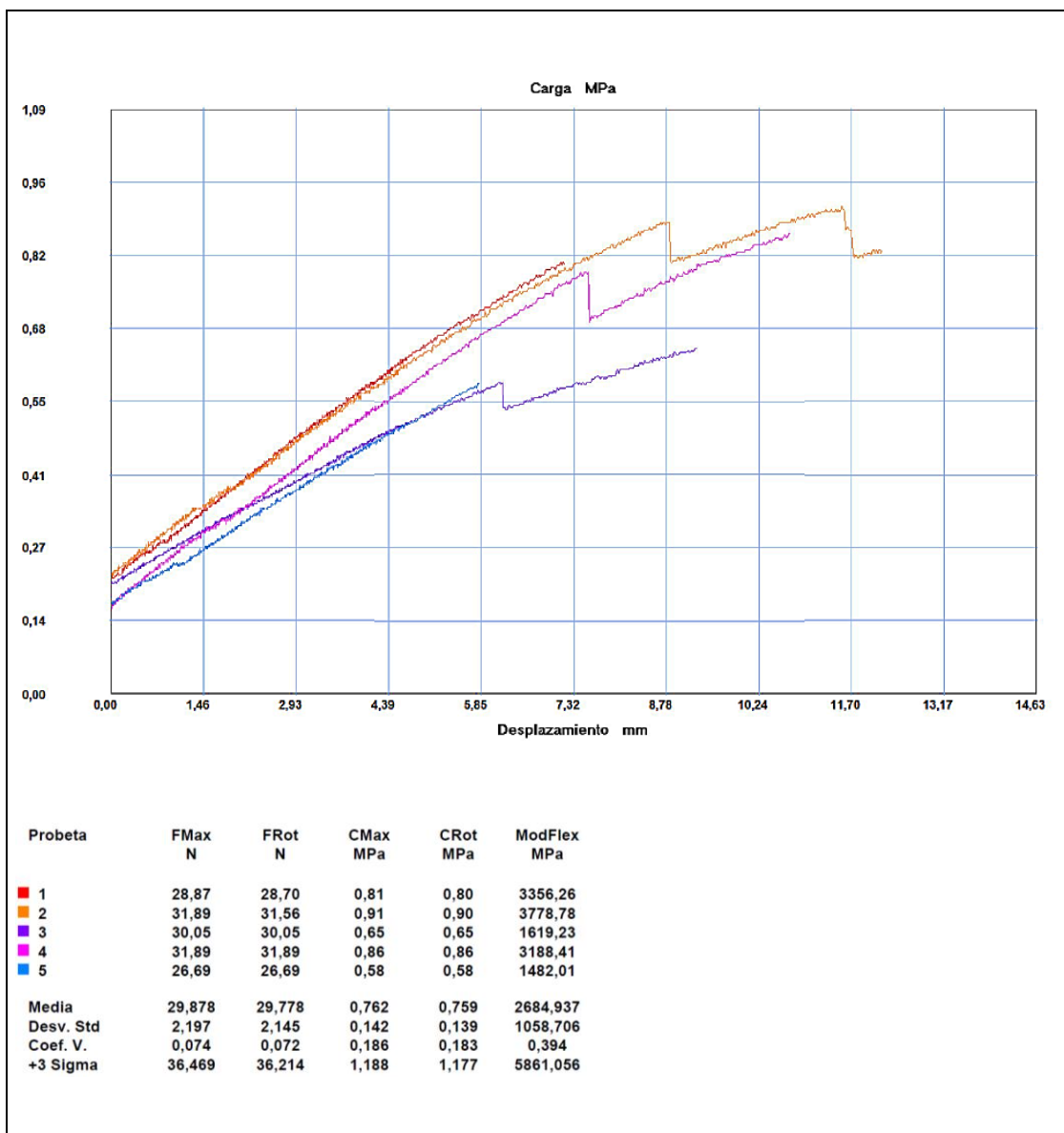
(Fuente: El Autor)

Tabla 4. 11: Ficha Técnica del ensayo de Flexión para probetas con una fracción volumétrica de 80% matriz y 20% refuerzo; fibra corta; orientación al azar

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA				
EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN MATERIAL COMPUESTO (Resina Poliéster + Fibra de Tereftalato de polietileno)						
ENSAYO A FLEXION - NORMA ASTM D7264-07						
Lugar:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carroceros					
Máquina:	Máquina Universal de Ensayos Electromecánicas MTE-10/50					
Fecha:	24-ene-17		Ciudad:	Ambato		
Responsable:	Sr. Christian Sailema		Revisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín		
PARÁMETROS ESTABLECIDOS PARA EL ENSAYO						
Fracción volumétrica del compuesto	Fracción volumétrica de la matriz:	80%	Fracción volumétrica del refuerzo:	20%		
Dimensiones de las probetas	Longitud:	160mm	Ancho:	13mm	Espesor Promedio:	3.05mm
Material de Matriz:	Resina Poliéster		Material de Refuerzo:	Fibras de tereftalato de polietileno (PET)		
Configuración de la fibra :	Azar		Tipo de Estratificación:	Compresión		
Número de probetas:	5		Velocidad de ensayo:	10 mm/min		
DATOS Y RESULTADOS DEL ENSAYO REALIZADO						
Muestra	Carga Máxima (N)	Esfuerzo a la ruptura (MPa)	Módulo de flexión (MPa)	Deflexión	Tipo de Falla Evaluado	
1	28.87	0.81	3356.26	7.11	OAB	
2	31.89	0.90	3778.78	11.55	OAB	
3	30.05	0.65	1619.23	9.23	OAB	
4	31.89	0.86	3188.41	10.72	OAV	
5	26.69	0.58	1482.01	5.79	OAB	
Promedio:	29.88	0.76	2684.94	8.88	----	
Desviación Estándar	2.19	0.14	1058.70	2.41	----	
FOTOGRAFÍAS DE PROBETAS SOMETIDAS AL ENSAYO						
						

GRÁFICAS DE RESULTADOS





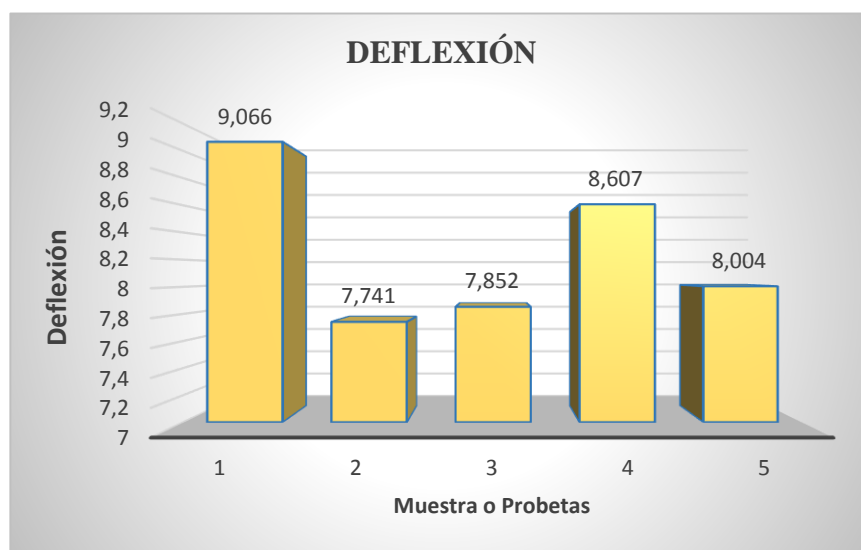
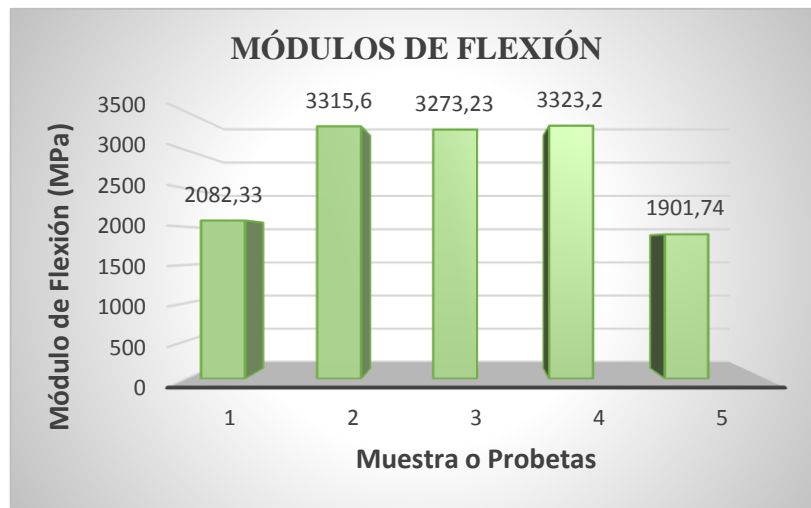
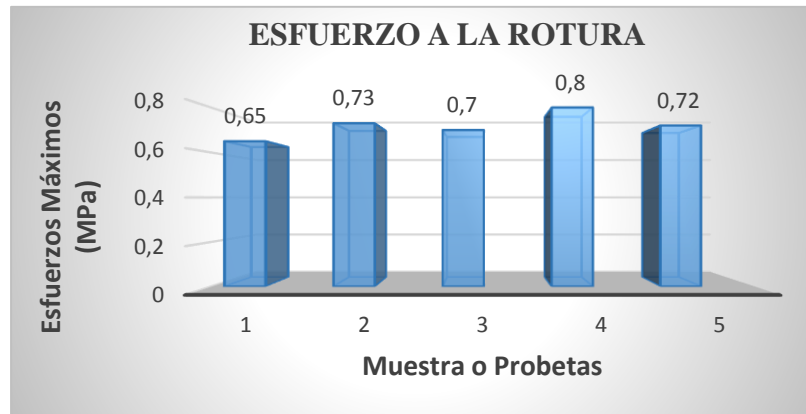
OBSERVACIONES		EVALUACIÓN	
-El tipo de falla OAB hace referencia que el área de falla está en el punto de carga y que está localizada en el fondo de la probeta -El tipo de falla OAV hace referencia que el área de falla está en el punto de carga y que está localizada en varias partes de la probeta	Esfuerzo Máximo Promedio:	0.76 (MPa)	
	Módulo de flexión promedio:	2684.94 (MPa)	
	Espesor promedio:	3.05mm	
Elaborado por :	Sr. Christian Sailema	Aprobado por:	Ing. Mg. Segundo Espín
Revisado por :	Ing. Esteban López	Validado por:	Ing. Mg. Segundo Espín

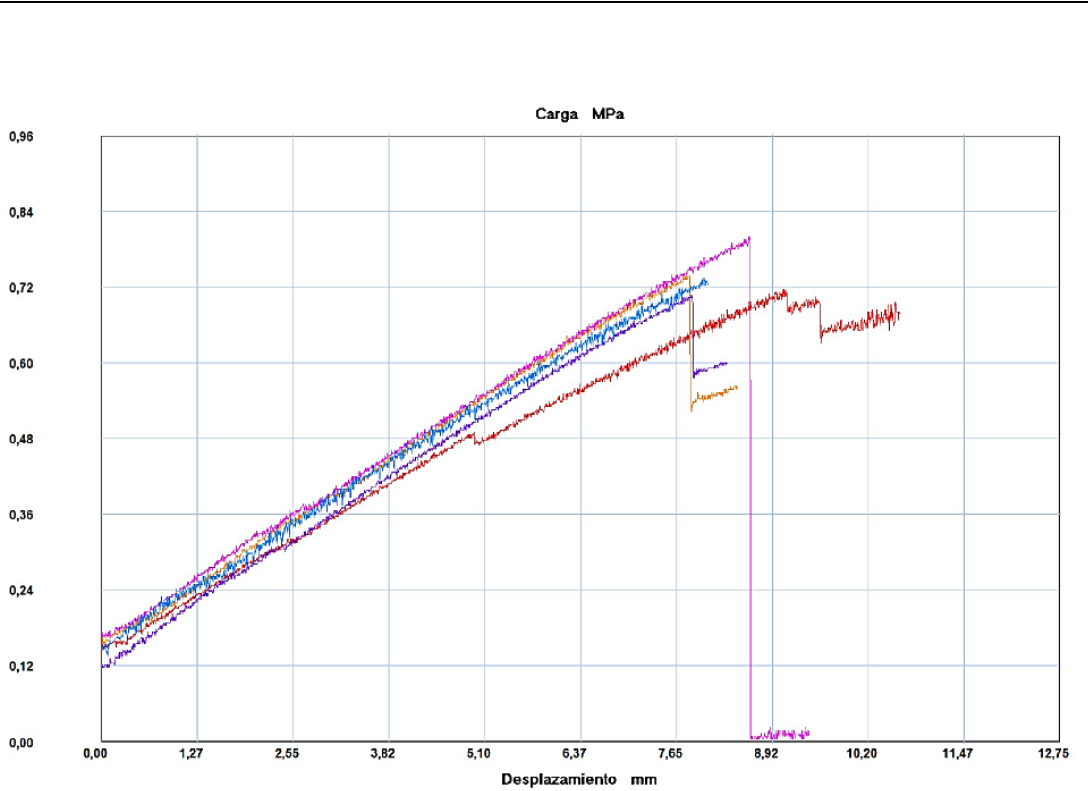
(Fuente: El Autor)

Tabla 4. 12: Ficha Técnica del ensayo de Flexión para probetas con una fracción volumétrica de 90% matriz y 10% refuerzo; fibra corta; orientación al azar

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA					
EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN MATERIAL COMPUESTO (Resina Poliéster + Fibra de Tereftalato de polietileno)							
ENSAYO A FLEXION - NORMA ASTM D7264-07							
Lugar:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero						
Máquina:	Máquina Universal de Ensayos Electromecánicas MTE-10/50						
Fecha:	24-ene-17			Ciudad:	Ambato		
Responsable:	Sr. Christian Sailema			Revisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín		
PARÁMETROS ESTABLECIDOS PARA EL ENSAYO							
Fracción volumétrica del compuesto	Fracción volumétrica de la matriz:	90%		Fracción volumétrica del refuerzo:	10%		
Dimensiones de las probetas	Longitud:	160mm		Ancho:	13mm	Espesor Promedio:	2.88mm
Material de Matriz:	Resina Poliéster			Material de Refuerzo:	Fibras de tereftalato de polietileno (PET)		
Configuración de la fibra:	Azar			Tipo de Estratificación:	Compresión		
Número de probetas:	5			Velocidad de ensayo:	10 mm/min		
DATOS Y RESULTADOS DEL ENSAYO REALIZADO							
Muestra	Carga Máxima (N)	Esfuerzo a la ruptura (MPa)	Módulo de flexión (MPa)	Deflexión	Tipo de Falla Evaluado		
1	29.71	0.65	2082.33	9.07	OAB		
2	24.84	0.73	3315.60	7.74	OAB		
3	25.34	0.70	3273.23	7.85	OAV		
4	28.20	0.80	3323.20	8.61	OAB		
5	30.21	0.72	1901.74	8.00	OAB		
Promedio:	27.66	0.72	2779.22	8.25	---		
Desviación Estándar	2.47	0.05	721.68	0.56	---		
FOTOGRAFÍAS DE PROBETAS SOMETIDAS AL ENSAYO							
							

GRÁFICAS DE RESULTADOS





Probeta	FMax N	FRot N	CMax MPa	CRot MPa	ModFlex MPa
1	29,71	27,19	0,71	0,65	2082,33
2	24,84	24,84	0,73	0,73	3315,60
3	25,34	25,18	0,71	0,70	3273,23
4	28,20	28,20	0,80	0,80	3323,20
5	30,21	29,71	0,73	0,72	1901,74
Media	27,660	27,024	0,737	0,721	2779,221
Desv. Std	2,466	2,049	0,036	0,052	721,680
Coef. V.	0,089	0,076	0,049	0,073	0,260
+3 Sigma	35,059	33,171	0,845	0,878	4944,261



OBSERVACIONES		EVALUACIÓN	
-El tipo de falla OAB hace referencia que el área de falla está en el punto de carga y que está localizada en el fondo de la probeta -El tipo de falla OAV hace referencia que el área de falla está en el punto de carga y que está localizada en varias partes de la probeta		Esfuerzo Máximo Promedio	0,72 (MPa)
		Módulo de flexión promedio:	2779.22 (MPa)
		Espesor promedio:	2.88mm
Elaborado por :	Sr. Christian Sailema	Aprobado por:	Ing. Mg. Segundo Espín
Revisado por :	Ing. Esteban López	Validado por:	Ing. Mg. Segundo Espín


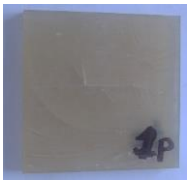
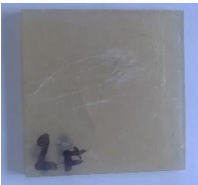
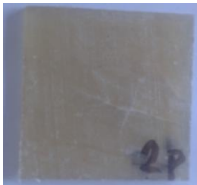
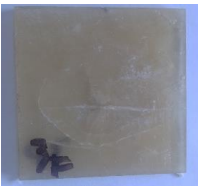
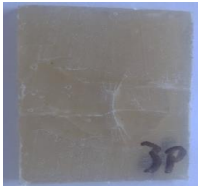
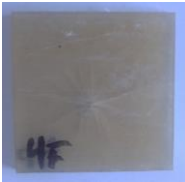
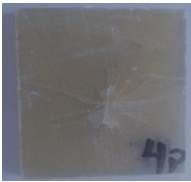
(Fuente: El Autor)



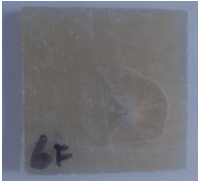





4.1.3. Tabulación de resultados de los ensayos de impacto



Una vez realizado el ensayo respectivo, bajo las especificaciones de la norma ASTM D5628-10 y de acuerdo a su respectiva configuración y fracción volumétrica se obtienen los siguientes resultados:

Tabla 4. 13: Ficha Técnica del ensayo de impacto para probetas con una fracción volumétrica de 70% matriz y 30% refuerzo; fibra larga; orientación longitudinal

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA					
EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN MATERIAL COMPUESTO (Resina Poliéster + Fibra de Tereftalato de Polietileno)							
ENSAYO DE IMPACTO - NORMA ASTM D5628-10							
Lugar:	Laboratorios de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica						
Máquina:	Máquina de ensayo de impacto por caída de dardo						
Fecha:	12-ene-17			Ciudad:	Ambato		
Responsable:	Sr. Christian Sailema			Revisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín		
PARÁMETROS ESTABLECIDOS PARA EL ENSAYO							
Fracción volumétrica del compuesto	Fracción volumétrica de la matriz:	70%		Fracción volumétrica del refuerzo:	30%		
Dimensiones de las probetas	Longitud:	58mm		Ancho:	58mm	Espesor Promedio:	3.44mm
Material de Matriz	Resina Poliéster			Material de Refuerzo	Fibras de tereftalato de polietileno (PET)		
Configuración de la fibra	Longitudinal			Tipo de Estratificación:	Compresión		
Número de probetas:	8			Geometría/ Diámetro/ Masa del dardo	FE/40mm/0,23Kg		
DATOS Y RESULTADOS DEL ENSAYO REALIZADO							
Muestra	Altura de lanzamiento de falla (mm)		Coefficiente		Peso del dardo (Kg)		Resistencia máxima al impacto (J)
1	200		0.009		0.23		0.45
2	300		0.009		0.23		0.67
3	400		0.009		0.23		0.90
4	500		0.009		0.23		1.12
5	550		0.009		0.23		1.24
6	600		0.009		0.26		1.55
7	1000		0.009		0.32		3.10
8	1000		0.009		0.35		3.44
FOTOGRAFÍAS DE LAS PROBETAS SOMETIDAS AL ENSAYO							


Probeta 1			
Frontal		Posterior	
			
Peso Adicional (Kg)	0	Observación :	La probeta presenta una pequeña fisura en la parte central de la misma
Peso del dardo (Kg)	0.23		
Rodelas adicionales	0		
Peso Total (Kg)	0.23		
Probeta 2			
Frontal		Posterior	
			
Peso Adicional (Kg)	0	Observación:	En la parte posterior al impacto se puede visualizar una pequeña fisura
Peso del dardo (Kg)	0.23		
Rodelas adicionales	0		
Peso Total (Kg)	0.23		
Probeta 3			
Frontal		Posterior	
			
Peso Adicional (Kg)	0	Observación:	La probeta presenta imperfecciones internas (burbujas) lo que ocasionó una grita en dirección de las fibras.
Peso del dardo (Kg)	0.23		
Rodelas adicionales	0		
Peso Total (Kg)	0.23		
Probeta 4			
Frontal		Posterior	
			

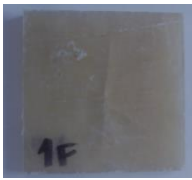


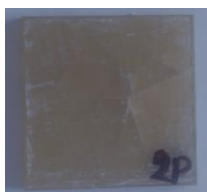


Peso Adicional (Kg)	0	Observación:	Se presentan grietas en la cara posterior de la probeta
Peso del dardo (Kg)	0.23		
Rodelas adicionales	0		
Peso Total (Kg)	0.23		
Probeta 5			
Frontal		Posterior	
			
Peso Adicional (Kg)	0	Observación:	La probeta presenta grietas en forma de estrella y una en forma circular en todo el espesor de la misma
Peso del dardo (Kg)	0.23		
Rodelas adicionales	0		
Peso Total (Kg)	0.23		
Probeta 6			
Frontal		Posterior	
			
Peso Adicional (Kg)	0,03	Observación:	En esta probeta se determina la altura de lanzamiento del dardo en la que se produce la falla del material
Peso del dardo (Kg)	0.23		
Rodelas adicionales	2		
Peso Total (Kg)	0.26		
Probeta 7			
Frontal		Posterior	
			
Peso Adicional (Kg)	0,09	Observación:	Rotura de la probeta desde la parte central a la izquierda y además presenta varias grietas.
Peso del dardo (Kg)	0.23		
Rodelas adicionales	5		
Peso Total (Kg)	0,32		
Probeta 8			
Frontal		Posterior	
			

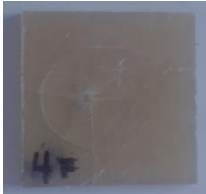
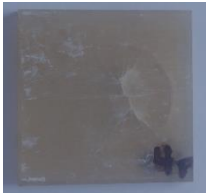

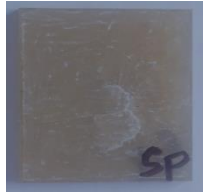

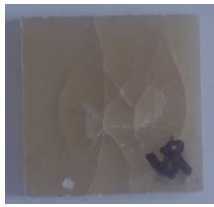
			
Peso Adicional Kg	0,12	Observación:	La probeta presenta una deformación cónica y una gran fisura en dirección de las fibras
Peso del dardo kg	0.23		
Rodelas adicionales	7		
Peso Total Kg	0.35		
Elaborado por :	Sr. Christian Sailema	Aprobado por :	Ing. Mg. Segundo Espín
Revisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín	Validado por :	Ing. Mg. Segundo Espín

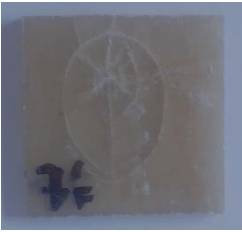



(Fuente: El Autor)

Tabla 4. 14: Ficha Técnica del ensayo de impacto para probetas con una fracción volumétrica de 80% matriz y 20% refuerzo; fibra larga; orientación longitudinal

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		
EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN MATERIAL COMPUESTO (Resina Poliéster + fibra de Tereftalato de Polietileno)			
ENSAYO DE IMPACTO - NORMA ASTM D5628-10			
Lugar:	Laboratorios de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica		
Máquina:	Máquina de ensayo de impacto por caída de dardo		
Fecha:	12-ene-17	Ciudad:	Ambato
Responsable:	Sr. Christian Sailema	Revisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín
PARÁMETROS ESTABLECIDOS PARA EL ENSAYO			
Fracción volumétrica del compuesto	Fracción volumétrica de la matriz:	80%	Fracción volumétrica del refuerzo: 20%
Dimensiones de las probetas	Longitud:	58mm	Ancho: 58mm Espesor Promedio: 3.3mm
Material de Matriz	Resina Poliéster		Material de Refuerzo Fibras de tereftalato de polietileno (PET)
Configuración de la fibra	Longitudinal		Tipo de Estratificación: Compresión
Número de probetas:	8		Geometría/ Diámetro/ Masa del dardo FE/40mm/0,23Kg





DATOS Y RESULTADOS DEL ENSAYO REALIZADO				
Muestra	Altura de lanzamiento de falla (mm)	Coefficiente	Peso del dardo (Kg)	Resistencia máxima al impacto (J)
1	200	0.009	0.23	0.45
2	300	0.009	0.23	0.67
3	400	0.009	0.23	0.90
4	500	0.009	0.23	1.12
5	550	0.009	0.23	1.24
6	600	0.009	0.23	1.35
7	1000	0.009	0.23	2.25
8	1000	0.009	0.32	3.10
FOTOGRAFÍAS DE LAS PROBETAS SOMETIDAS AL ENSAYO				
Probeta 1				
Frontal		Posterior		
				
Peso Adicional (Kg)	0	Observación:	Se presenta una pequeña fisura en dirección de las fibras	
Peso del dardo (Kg)	0.23			
Rodelas adicionales	0			
Peso Total (Kg)	0.23			
Probeta 2				
Frontal		Posterior		
				
Peso Adicional (Kg)	0	Observación:	La probeta presenta una fisura en forma de estrella	
Peso del dardo (Kg)	0.23			
Rodelas adicionales	0			
Peso Total (Kg)	0.23			
Probeta 3				
Frontal		Posterior		
				









Peso Adicional (Kg)	0	Observación:	Se puede observar en la cara posterior de la probeta una fisura en forma de estrella
Peso del dardo (Kg)	0.23		
Rodelas adicionales	0		
Peso Total (Kg)	0.23		
Probeta 4			
Frontal		Posterior	
			
Peso Adicional (Kg)	0	Observación:	La probeta presenta una fisura de forma circular y otra de forma de estrella en el centro de la misma
Peso del dardo (Kg)	0.23		
Rodelas adicionales	0		
Peso Total (Kg)	0.23		
Probeta 5			
Frontal		Posterior	
			
Peso Adicional (Kg)	0	Observación:	En esta probeta se determina la altura de lanzamiento del dardo en la que se produce la falla del material
Peso del dardo (Kg)	0.23		
Rodelas adicionales	0		
Peso Total (Kg)	0.23		
Probeta 6			
Frontal		Posterior	
			
Peso Adicional (Kg)	0	Observación:	Grietas en la cara posterior de la probeta y una grieta de forma circular en todo el espesor
Peso del dardo (Kg)	0.23		
Rodelas adicionales	0		
Peso Total (Kg)	0.23		
Probeta 7			







Frontal		Posterior	
			
Peso Adicional (Kg)	0	Observación:	Grietas en la parte central de la probeta y en todo el espesor de la misma
Peso del dardo (Kg)	0.23		
Rodelas adicionales	0		
Peso Total (Kg)	0.23		
Probeta 8			
Frontal		Posterior	
			
Peso Adicional Kg	0.09	Observación:	Presenta una grieta en forma circular en todo el espesor y varias grietas en forma de estrella en la cara posterior
Peso del dardo kg	0,23		
Rodelas adicionales	5		
Peso Total Kg	0,32		
Elaborado por:	Sr. Christian Sailema	Aprobado por:	Ing. Mg. Segundo Espín
Revisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín	Validado por:	Ing. Mg. Segundo Espín

(Fuente: El Autor)

Tabla 4. 15: Ficha Técnica del ensayo de impacto para probetas con una fracción volumétrica de 90% matriz y 10% refuerzo; orientación longitudinal





		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA				
EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN MATERIAL COMPUESTO (Resina Poliéster + Fibra de Tereftalato de Polietileno)						
ENSAYO DE IMPACTO - NORMA ASTM D5628-10						
Lugar:	Laboratorios de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica					
Máquina:	Máquina de ensayo de impacto por caída de dardo					
Fecha:	12-ene-17		Ciudad:	Ambato		
Responsable:	Sr. Christian Sailema		Revisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín		
PARÁMETROS ESTABLECIDOS PARA EL ENSAYO						
Fracción volumétrica del compuesto	Fracción volumétrica de la matriz:	90%	Fracción volumétrica del refuerzo:	10%		
Dimensiones de las probetas	Longitud:	58mm	Ancho:	58mm	Espesor Promedio:	3.5mm
Material de Matriz	Resina Poliéster		Material de Refuerzo	Fibras de tereftalato de polietileno (PET)		
Configuración de la fibra	Longitudinal		Tipo de Estratificación:	Compresión		
Número de probetas:	8		Geometría/ Diámetro/ Masa del dardo	FE/40mm/0.23Kg		
DATOS Y RESULTADOS DEL ENSAYO REALIZADO						
Muestra	Altura de lanzamiento de falla (mm)	Coficiente		Peso del dardo (Kg)	Resistencia máxima al impacto (J)	
1	200	0.009		0.23	0.45	
2	300	0.009		0.23	0.67	
3	400	0.009		0.23	0.90	
4	500	0.009		0.23	1.12	
5	550	0.009		0.23	1.24	
6	600	0.009		0.23	1.35	
7	1000	0.009		0.23	2.25	
8	1000	0.009		0.32	3.10	
FOTOGRAFÍAS DE LAS PROBETAS SOMETIDAS AL ENSAYO						
Probeta 1						
Frontal			Posterior			
						









Peso Adicional (Kg)	0	Observación:	La probeta presenta fisuras en la cara posterior
Peso del dardo (Kg)	0.23		
Rodelas adicionales	0		
Peso Total (Kg)	0.23		
Probeta 2			
Frontal		Posterior	
			
Peso Adicional (Kg)	0	Observación:	Fisura en la cara posterior de la probeta de forma circular y de estrella
Peso del dardo (Kg)	0.23		
Rodelas adicionales	0		
Peso Total (Kg)	0.23		
Probeta 3			
Frontal		Posterior	
			
Peso Adicional (Kg)	0	Observación:	Fisuras en la cara posterior de la probeta
Peso del dardo (Kg)	0.23		
Rodelas adicionales	0		
Peso Total (Kg)	0.23		
Probeta 4			
Frontal		Posterior	
			
Peso Adicional (Kg)	0	Observación:	En esta probeta se determina la altura de lanzamiento del dardo en la que se produce la falla del material
Peso del dardo (Kg)	0.23		
Rodelas adicionales	0		
Peso Total (Kg)	0.23		
Probeta 5			
Frontal		Posterior	
			

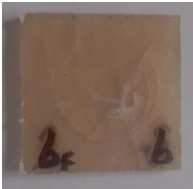



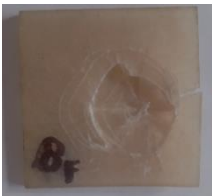
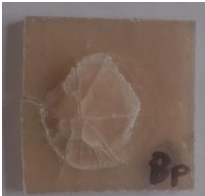
Peso Adicional (Kg)	0	Observación:	Presenta varias grietas y un leve hundimiento en el centro de la probeta en la cara frontal
Peso del dardo (Kg)	0.23		
Rodelas adicionales	0		
Peso Total (Kg)	0.23		
Probeta 6			
Frontal		Posterior	
			
Peso Adicional (Kg)	0	Observación:	Presenta fisuras en forma de estrella y circular en la cara posterior de la probeta
Peso del dardo (Kg)	0.23		
Rodelas adicionales	0		
Peso Total (Kg)	0.23		
Probeta 7			
Frontal		Posterior	
			
Peso Adicional (Kg)	0	Observación:	La probeta presenta una deformación cónica
Peso del dardo (Kg)	0.23		
Rodelas adicionales	0		
Peso Total (Kg)	0.23		
Probeta 8			
Frontal		Posterior	
			
Peso Adicional Kg	0,09	Observación:	Rotura por el centro de la probeta en dirección a las fibras
Peso del dardo kg	0.23		
Rodelas adicionales	5		
Peso Total Kg	0,32		
Elaborado por :	Sr. Christian Sailema	Aprobado por :	Ing. Mg. Segundo Espín
Revisado por :	Ing. Mg. Segundo Espín	Validado por :	Ing. Mg. Segundo Espín

(Fuente: El Autor)

Tabla 4. 16: Ficha Técnica del ensayo de impacto para probetas con una fracción volumétrica de 70% matriz y 30% refuerzo; fibra corta; orientación al azar



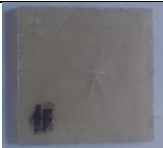

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA				
EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN MATERIAL COMPUESTO (Resina Poliéster + Fibra de Tereftalato de Polietileno (PET))						
ENSAYO DE IMPACTO - NORMA ASTM D5628-10						
Lugar:	Laboratorios de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica					
Máquina:	Máquina de ensayo de impacto por caída de dardo					
Fecha:	12-ene-17		Ciudad:	Ambato		
Responsable:	Sr. Christian Sailema		Revisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín		
PARÁMETROS ESTABLECIDOS PARA EL ENSAYO						
Fracción volumétrica del compuesto	Fracción volumétrica de la matriz:	70%		Fracción volumétrica del refuerzo:	30%	
Dimensiones de las probetas	Longitud:	58mm		Ancho:	58mm	Espesor Promedio: 3.1mm
Material de Matriz	Resina Poliéster		Material de Refuerzo	Fibras de tereftalato de polietileno (PET)		
Configuración de la fibra	Azar (10mm)		Tipo de Estratificación:	Compresión		
Número de probetas:	8		Geometría/ Diámetro/ Masa del dardo	FE/40mm/0.23Kg		
DATOS Y RESULTADOS DEL ENSAYO REALIZADO						
Muestra	Altura de lanzamiento de falla (mm)		Coefficiente	Peso del dardo (Kg)	Resistencia máxima al impacto (J)	
1	200		0,009	0.23	0.45	
2	300		0,009	0.23	0.67	
3	400		0,009	0.23	0.90	
4	500		0,009	0.23	1.12	
5	550		0,009	0.28	1.52	
6	600		0,009	0.28	1.65	
7	1000		0,009	0.23	2.25	
8	1000		0,009	0.32	3.10	
FOTOGRAFÍAS DE LAS PROBETAS SOMETIDAS AL ENSAYO						
Probeta 1						
Frontal			Posterior			
						

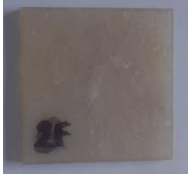


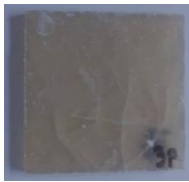




Peso Adicional (Kg)	0	Observación:	Fisuras en forma de estrella en la cara posterior de la probeta
Peso del dardo (Kg)	0.23		
Rodelas adicionales	0		
Peso Total (Kg)	0.23		
Probeta 2			
Frontal		Posterior	
			
Peso Adicional (Kg)	0	Observación:	La probeta presenta fisuras en su cara posterior
Peso del dardo (Kg)	0.23		
Rodelas adicionales	0		
Peso Total (Kg)	0.23		
Probeta 3			
Frontal		Posterior	
			
Peso Adicional (Kg)	0	Observación:	Presenta fisuras en forma de estrella en la cara posterior y una fisura circular en todo el espesor de la misma
Peso del dardo (Kg)	0.23		
Rodelas adicionales	0		
Peso Total (Kg)	0.23		
Probeta 4			
Frontal		Posterior	
			
Peso Adicional (Kg)	0	Observación:	La probeta presenta fisuras en la cara posterior de la misma
Peso del dardo (Kg)	0.23		
Rodelas adicionales	0		
Peso Total (Kg)	0.23		
Probeta 5			
Frontal		Posterior	
			





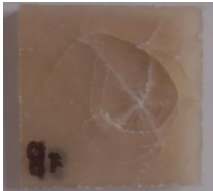

Peso Adicional (Kg)	0.05	Observación:	En esta probeta se determina la altura de lanzamiento del dardo en la que se produce la falla del material
Peso del dardo (Kg)	0.23		
Rodelas adicionales	3		
Peso Total (Kg)	0.28		
Probeta 6			
Frontal		Posterior	
			
Peso Adicional (Kg)	0.05	Observación:	Gritas en todo el espesor de la probeta
Peso del dardo (Kg)	0.23		
Rodelas adicionales	3		
Peso Total (Kg)	0.28		
Probeta 7			
Frontal		Posterior	
			
Peso Adicional (Kg)	0	Observación:	Varias grietas en todo el espesor de la probeta
Peso del dardo (Kg)	0.23		
Rodelas adicionales	0		
Peso Total (Kg)	0.23		
Probeta 8			
Frontal		Posterior	
			
Peso Adicional Kg	0.09	Observación:	Rotura de la probeta con una deformación cónica
Peso del dardo kg	0.23		
Rodelas adicionales	5		
Peso Total Kg	0.32		
Elaborado por :	Sr. Christian Sailema	Aprobado por:	Ing. Mg. Segundo Espín
Revisado por :	Ing. Mg. Segundo Espín	Validado por :	Ing. Mg. Segundo Espín

(Fuente: El Autor)

Tabla 4. 17: Ficha Técnica del ensayo de impacto para probetas con una fracción volumétrica de 80% matriz y 20% refuerzo; fibra corta; orientación al azar



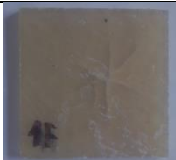
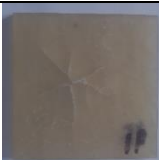
		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTA DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA				
EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN MATERIAL COMPUESTO (Resina Poliéster + Fibra de Tereftalato de Polietileno (PET))						
ENSAYO DE IMPACTO - NORMA ASTM D5628-10						
Lugar:	Laboratorios de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica					
Máquina:	Máquina de ensayo de impacto por caída de dardo					
Fecha:	12-ene-17		Ciudad:	Ambato		
Responsable:	Sr. Christian Sailema		Revisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín		
PARÁMETROS ESTABLECIDOS PARA EL ENSAYO						
Fracción volumétrica del compuesto	Fracción volumétrica de la matriz:	80%	Fracción volumétrica del refuerzo:	20%		
Dimensiones de las probetas	Longitud:	58mm	Ancho:	58mm	Espesor Promedio:	3mm
Material de Matriz	Resina Poliéster		Material de Refuerzo	Fibras de tereftalato de polietileno (PET)		
Configuración de la fibra	Azar		Tipo de Estratificación:	Compresión		
Número de probetas:	8		Geometría/ Diámetro/ Masa del dardo	FE/40mm/0.23Kg		
DATOS Y RESULTADOS DEL ENSAYO REALIZADO						
Muestra	Altura de lanzamiento de falla (mm)		Coefficiente	Peso del dardo (Kg)	Resistencia máxima al impacto (J)	
1	200		0.009	0.23	0.45	
2	300		0.009	0.23	0.67	
3	400		0.009	0.23	0.90	
4	500		0.009	0.23	1.12	
5	550		0.009	0.23	1.24	
6	600		0.009	0.23	1.35	
7	1000		0.009	0.23	2.25	
8	1000		0.009	0.32	3.10	
FOTOGRAFÍAS DE LAS PROBETAS SOMETIDAS AL ENSAYO						
Probeta 1						
Frontal			Posterior			
						

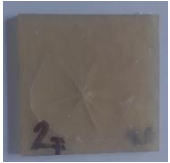

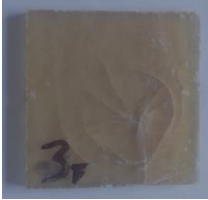
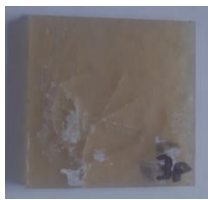

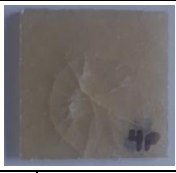


Peso Adicional (Kg)	0	Observación:	Fisura en la cara posterior de la probeta
Peso del dardo (Kg)	0.23		
Rodelas adicionales	0		
Peso Total (Kg)	0.23		
Probeta 2			
Frontal		Posterior	
			
Peso Adicional (Kg)	0	Observación:	Fisura en forma de estrella en la cara posterior de la probeta
Peso del dardo (Kg)	0.23		
Rodelas adicionales	0		
Peso Total (Kg)	0.23		
Probeta 3			
Frontal		Posterior	
			
Peso Adicional (Kg)	0	Observación:	Fisuras en forma de estrella y circular en la cara posterior de la probeta
Peso del dardo (Kg)	0.23		
Rodelas adicionales	0		
Peso Total (Kg)	0.23		
Probeta 4			
Frontal		Posterior	
			
Peso Adicional (Kg)	0	Observación:	En esta probeta se determina la altura de lanzamiento del dardo en la que se produce la falla del material
Peso del dardo (Kg)	0.23		
Rodelas adicionales	0		
Peso Total (Kg)	0.23		
Probeta 5			
Frontal		Posterior	
			







Peso Adicional (Kg)	0	Observación:	Grietas en todo el espesor de la probeta
Peso del dardo (Kg)	0.23		
Rodelas adicionales	0		
Peso Total (Kg)	0.23		
Probeta 6			
Frontal		Posterior	
			
Peso Adicional (Kg)	0	Observación:	Rotura de la probeta y deformaciones en forma circular
Peso del dardo (Kg)	0.23		
Rodelas adicionales	0		
Peso Total (Kg)	0.23		
Probeta 7			
Frontal		Posterior	
			
Peso Adicional (Kg)		Observación:	Rotura en la parte central de la probeta y grietas en todo el espesor
Peso del dardo (Kg)	0.23		
Rodelas adicionales	0		
Peso Total (Kg)	0.23		
Probeta 8			
Frontal		Posterior	
			
Peso Adicional Kg	0.09	Observación:	Deformación cónica y grietas en todo el espesor de la probeta
Peso del dardo kg	0.23		
Rodelas adicionales	5		
Peso Total Kg	0.32		
Elaborado por :	Sr. Christian Sailema	Aprobado por :	Ing. Mg. Segundo Espín
Revisado por :	Ing. Mg. Segundo Espín	Validado por :	Ing. Mg. Segundo Espín

(Fuente: El Autor)

Tabla 4. 18: Ficha Técnica del ensayo de impacto para probetas con una fracción volumétrica de 90% matriz y 10% refuerzo; fibra corta; orientación al azar

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA				
EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN MATERIAL COMPUESTO (Resina Poliéster + Fibra de Tereftalato de Polietileno (PET))						
ENSAYO A IMPACTO - NORMA ASTM D5628-10						
Lugar:	Laboratorios de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica					
Máquina:	Máquina de ensayo de impacto por caída de dardo					
Fecha:	12-ene-17		Ciudad:	Ambato		
Responsable:	Sr. Christian Sailema		Revisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín		
PARÁMETROS ESTABLECIDOS PARA EL ENSAYO						
Fracción volumétrica del compuesto	Fracción volumétrica de la matriz:	90%	Fracción volumétrica del refuerzo:	10%		
Dimensiones de las probetas	Longitud:	58mm	Ancho:	58mm	Espesor Promedio:	3mm
Material de Matriz	Resina Poliéster		Material de Refuerzo	Fibras de tereftalato de polietileno (PET)		
Configuración de la fibra	Azar (10mm)		Tipo de Estratificación:	Compresión		
Número de probetas:	8		Geometría/ Diámetro/ Masa del dardo	FE/40mm/0.23Kg		
DATOS Y RESULTADOS DEL ENSAYO REALIZADO						
Muestra	Altura de lanzamiento de falla (mm)	Coficiente		Peso del dardo (Kg)	Resistencia máxima al impacto (J)	
1	200	0.009		0.23	0.45	
2	300	0.009		0.23	0.67	
3	400	0.009		0.23	0.90	
4	500	0.009		0.23	1.12	
5	550	0.009		0.23	1.24	
6	600	0.009		0.23	1.35	
7	1000	0.009		0.23	2.25	
8	1000	0.009		0.32	3.10	
FOTOGRAFÍAS DE LAS PROBETAS SOMETIDAS AL ENSAYO						
Probeta 1						
Frontal			Posterior			
						

Peso Adicional (Kg)	0	Observación:	Presenta fisuras en la cara posterior de la probeta
Peso del dardo (Kg)	0.23		
Rodelas adicionales	0		
Peso Total (Kg)	0.23		
Probeta 2			
Frontal		Posterior	
			
Peso Adicional (Kg)	0	Observación:	Fisuras en forma de estrella y circular en la cara posterior de la probeta
Peso del dardo (Kg)	0.23		
Rodelas adicionales	0		
Peso Total (Kg)	0.23		
Probeta 3			
Frontal		Posterior	
			
Peso Adicional (Kg)	0	Observación:	En esta probeta se determina la altura de lanzamiento del dardo en la que se produce la falla del material
Peso del dardo (Kg)	0.23		
Rodelas adicionales	0		
Peso Total (Kg)	0.23		
Probeta 4			
Frontal		Posterior	
			
Peso Adicional (Kg)	0	Observación:	Presenta grietas en todo el espesor de la probeta
Peso del dardo (Kg)	0.23		
Rodelas adicionales	0		
Peso Total (Kg)	0.23		
Probeta 5			
Frontal		Posterior	
			

Peso Adicional (Kg)	0	Observación:	Grietas en la cara frontal de probeta
Peso del dardo (Kg)	0.23		
Rodelas adicionales	0		
Peso Total (Kg)	0.23		
Probeta 6			
Frontal		Posterior	
			
Peso Adicional (Kg)	0	Observación:	La probeta presenta grietas en todo el espesor de la probeta en la parte central de la misma
Peso del dardo (Kg)	0.23		
Rodelas adicionales	0		
Peso Total (Kg)	0.23		
Probeta 7			
Frontal		Posterior	
			
Peso Adicional (Kg)	0	Observación:	Rotura de la probeta con una deformación cónica
Peso del dardo (Kg)	0.23		
Rodelas adicionales	0		
Peso Total (Kg)	0.23		
Probeta 8			
Frontal		Posterior	
			
Peso Adicional Kg	0.09	Observación:	Presenta rotura de la probeta con un desprendimiento de forma cónica
Peso del dardo kg	0.23		
Rodelas adicionales	5		
Peso Total Kg	0.32		
Elaborado por :	Sr. Christian Sailema	Aprobado por :	Ing. Mg. Segundo Espín
Revisado por :	Ing. Mg. Segundo Espín	Validado por :	Ing. Mg. Segundo Espín

(Fuente: El Autor)

4.2. Análisis de los resultados

En la siguiente ficha técnica se presenta la evaluación de los resultados obtenidos en los respectivos ensayos de tracción, flexión e impacto, considerando la configuración y fracción volumétrica de cada grupo, con la finalidad de analizar las propiedades mecánicas obtenidas del material compuesto.

Tabla 4. 19: Evaluación de los resultados obtenidos en los respectivos ensayos de tracción, flexión e impacto.

Grupo de probetas	Tipo de ensayo				
	Tracción		Flexión		Impacto
	Esfuerzo de rotura T.(MPa)	Módulo de elasticidad (GPa)	Esfuerzo de rotura F. (MPa)	Módulo de flexión (GPa)	Resistencia máxima al impacto (J)
1	30.94	1.12	1.25	2.52	1.55
2	33.54	1.22	1.22	2.65	1.24
3	35.14	1.12	1.32	2.16	1.12
4	24.27	1.12	0.77	2.46	1.52
5	22.69	1.02	0.76	2.68	1.12
6	23.17	1.05	0.72	2.78	0.90

Gráficas de resultados

The bar chart displays the average results for six groups of composite material. The Y-axis represents the property value (0 to 40). The X-axis lists the groups from 1 to 6. For each group, five bars represent: Tensile strength (blue), Elastic modulus (orange), Tensile strength at failure (green), Flexion modulus (yellow), and Maximum impact resistance (red). The data points are as follows:

Grupo	Esfuerzo de rotura T.(MPa)	Módulo de elasticidad (GPa)	Esfuerzo de rotura F. (MPa)	Módulo de flexión (GPa)	Resistencia máxima al impacto (J)
Grupo 1	30.94	1.12	1.25	2.52	1.55
Grupo 2	33.54	1.22	1.22	2.65	1.24
Grupo 3	35.14	1.12	1.32	2.16	1.12
Grupo 4	24.27	1.12	0.77	2.46	1.52
Grupo 5	22.69	1.02	0.76	2.68	1.12
Grupo 6	23.17	1.05	0.72	2.78	0.90

Observación
Grupo 1 corresponde al 70% de matriz y 30% de refuerzo - fibra larga a 0°
Grupo 2 corresponde al 80% de matriz y 20% de refuerzo - fibra larga a 0°
Grupo 3 corresponde al 90% de matriz y 10% de refuerzo - fibra larga a 0°
Grupo 4 corresponde al 70% de matriz y 30% de refuerzo - fibra corta (10 mm) al Azar
Grupo 5 corresponde al 80% de matriz y 20% de refuerzo - fibra corta (10 mm) al Azar
Grupo 6 corresponde al 90% de matriz y 10% de refuerzo - fibra corta (10 mm) al Azar
Evaluación
<p>Con la representación gráfica de las propiedades que presenta el material compuesto se puede apreciar que las mejores características con respecto al esfuerzo de rotura al ser sometido al ensayo de tracción es el tercer grupo el cual está compuesto del 90% de matriz y el 10% de refuerzo utilizando fibra larga con una orientación longitudinal. Además el grupo que presenta mejores características con respecto al módulo de elasticidad es el segundo el cual se compone de 80% de matriz y el 20% de refuerzo utilizando fibra larga con una orientación longitudinal. Las mejores características que presentó el material compuesto con respecto al esfuerzo de rotura al ser sometido al ensayo de flexión es el tercer grupo el cual está compuesto del 90% de matriz y el 10% de refuerzo utilizando fibra larga con una orientación longitudinal. Mientras que el grupo que presenta mejores características con respecto al módulo de flexión es el sexto grupo el cual se compone de 90% de matriz y el 10% de refuerzo utilizando fibra corta con una orientación al azar.</p> <p>Las mejores características que presento el material compuesto con respecto a la resistencia máxima al impacto al ser sometido al ensayo de impacto es el primer grupo el cual está compuesto del 70% de matriz y el 30% de refuerzo utilizando fibra larga con una orientación longitudinal.</p>

(Fuente: El Autor)

4.2.1. Interpretación de resultados

Tabla 4. 20: Interpretación de resultados de las propiedades mecánicas.

Material (Grupo)	TRACCIÓN						FLEXIÓN				IMPACTO		Aceptación (sobre 10)
	Espesor promedio (mm)	Δ	Esfuerzo de rotura (MPa)	Δ	Módulo de elasticidad (MPa)	Δ	Esfuerzo de rotura (MPa)	Δ	Módulo de flexión (MPa)	Δ	Resistencia máxima al impacto (J)	Δ	
Grupo 1	3.41	0.48	30.94	2.65	1196.18	75.53	1.25	0.24	2519.16	23.69	1.55	0.31	6.66
Grupo 2	3.42	0.49	33.54	5.25	1218.32	97.67	1.22	0.21	2649.29	106.44	1.24	0	6.66
Grupo 3	3.43	0.50	35.14	6.85	1116.38	4.28	1.32	0.31	2160.29	382.55	1.12	0.12	6.66
Grupo 4	3.09	0.16	24.27	4.02	1119.59	1.06	0.77	0.24	2464.21	78.64	1.52	0.28	6.66
Grupo 5	2.96	0.03	22.69	5.60	1024.11	96.54	0.76	0.25	2684.94	142.09	1.12	0.12	4.17
Grupo 6	2.93	0	23.17	5.12	1049.31	71.34	0.72	0.29	2779.22	236.37	0.90	0.34	5.83
Parámetros	2.93		28.29		1120.65		1.01		2542.85		1.24		
Desviación estándar	0.24		5.57		77.04		0.29		219.31		0.25		

119

Para determinar el material que presente las mejores propiedades mecánicas se lo realizo mediante el análisis de todos los ensayos respectivos realizados a las probetas, para lo cual se tomó el valor promedio y la desviación estándar de cada propiedad para así según la ponderación utilizada, se escoge el caso que presente el mayor puntaje de entre todos los casos analizados.

PONDERACIÓN :

ACEPTABLE		10
MEDIANAMENTE ACEPTABLE		5
NO ACEPTABLE		0

De los materiales evaluados se determinó que los grupos 1, 2, 3 y 4 proporcionan las mejores características mecánicas al ser sometidos a los ensayos de tracción, flexión e impacto según la interpretación de datos realizada, la cual se puede observar en la Tabla 4.20, pero tomando en consideración el espesor de las probetas, el grupo 4 es el que presentó las mejores propiedades mecánicas, este material compuesto de matriz poliéster reforzado con fibra de tereftalato de polietileno (PET) tiene una fracción volumétrica de 70% de matriz y un 30% de refuerzo con una configuración de fibra corta (10mm) con orientación al azar.

4.2.2. Posibles aplicaciones industriales

En los últimos años se ha evidenciado el rápido crecimiento que han tenido los materiales compuestos, los cuales han reemplazado a otros materiales comúnmente utilizados como los metales. En este caso el material compuesto de matriz poliéster reforzado con fibras de tereftalato de polietileno (PET) tiene la característica de ser liviano lo cual es muy importante en la industria del transporte ya que reduce el peso de las partes móviles, obteniendo un ahorro de energía e incremento del desempeño, además, es de bajo costo, ambientalmente amigable, facilidad en el moldeo de piezas y brinda rapidez en el secado.

Analizando los resultados de los ensayos realizados al material compuesto obtenido, tales como: Esfuerzo de rotura de tracción 24.27 MPa; Módulo de elasticidad 1119.59 MPa; Esfuerzo a la rotura de flexión 0.77 MPa; Módulo de flexión 2464.21 MPa; Resistencia máxima al impacto 1.52 J. Este material puede tener diferentes aplicaciones entre las cuales están la fabricación de partes internas y externas de una carrocería, además se puede aplicar en la construcción de basureros pequeños adecuados para los transportes como los buses, asimismo puede ser aplicado en la fabricación de desagües de fachadas para casas y también para marcos de refuerzo para paneles.

4.3. Verificación de la hipótesis

En el presente estudio, la hipótesis que se planteó se la comprueba estadísticamente y comparativamente. Dentro de la parte estadística se utilizó la prueba T-Student para los diferentes grupos que conformo el material compuesto con respecto a su configuración y fracción volumétrica.

4.3.1. Ho (Hipótesis Nula)

Con la evaluación del material compuesto de matriz poliéster reforzado con fibras de tereftalato de polietileno (PET) no se podrá determinar el material con las mejores propiedades mecánicas.

4.3.2. Ha (Hipótesis Alterna)

Con la evaluación del material compuesto de matriz poliéster reforzado con fibras de tereftalato de polietileno (PET) se podrá determinar el material con las mejores propiedades mecánicas.

La hipótesis se la comprobó con un ensayo bilateral es decir hacia los dos lados y además con un nivel de confianza del 95% y un nivel de significancia del 5%

A continuación procedemos a calcular la probabilidad aplicando la ecuación 4.1:

$$P = \frac{\alpha}{100} \quad \text{Ec. (4.1)}$$

Donde:

P = Probabilidad

α = Nivel de significancia

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

$$P = 0.05$$

Además se debe tomar en cuenta que se analiza para las dos colas por lo que se divide para 2:

$$P = \frac{0.05}{2}$$

$$P = 0.025$$

Posteriormente se calcula los grados de libertad aplicando la ecuación 4.2:

$$Gl = n - 1 \quad \text{Ec. (4.2)}$$

Donde:

GL = Grados de libertad

n = Número de muestras

$$G1 = 5 - 1$$

$$G1 = 4$$

Con los datos obtenidos de la población y los grados de libertad procedemos a calcular el valor de t tabulado para lo cual utilizamos la tabla que se muestra en el Anexo 6. Por lo tanto obtuvimos el valor de:

$$t_{tab} = \pm 2.78$$

4.3.3. Regla de decisión

Se acepta la hipótesis nula H_0 (Con la evaluación del material compuesto de matriz poliéster reforzado con fibras de tereftalato de polietileno (PET) no se podrá determinar el material con las mejores propiedades mecánicas) si el valor de t calculado está entre el rango de -2.7764 a 2.7764, de otra forma, se acepta la hipótesis alterna H_a (Con la evaluación del material compuesto de matriz poliéster reforzado con fibras de tereftalato de polietileno (PET) se podrá determinar el material con las mejores propiedades mecánicas)

4.3.4. Verificación de la hipótesis con respecto al grupo 2 y 3 del material compuesto

Para la verificación de la hipótesis se tomó como referencia al grupo 2 y 3 ya que estos grupos presentan las mejores características de los ensayos de tracción.

Tabla 4. 21: Verificación de la hipótesis de las probetas del grupo 2 y 3

MUESTRA	GRUPO 2	GRUPO 3	H	H ²
1	34.07	28.26	5.81	33.75
2	37.34	40.67	3.66	13.39
3	29.09	30.66	1.57	2.46
4	28.40	37.49	9.01	81.18
5	38.70	38.64	0.06	0.004
SUMA	167.68	175.72	21.07	130.78
PROMEDIO	33.53	35.14	4.22	

(Fuente: El Autor)

Con los datos obtenidos procedemos a calcular las varianzas de las diferencias aplicando la ecuación 4.3:

$$S^2 d = \frac{\sum H^2 - \frac{(\sum H)^2}{n}}{n(n-1)} \quad \text{Ec. (4.3)}$$

Donde:

S^2d = desviación

H = Diferencia entre los datos

n = número de muestras

$$S^2d = 2.1$$

$$Sd = 1.45$$

Luego procedemos a calcular la t calculada con la ecuación 4.4:

$$t_{cal} = \frac{\bar{H}}{Sd} \quad \text{Ec. (4.4)}$$

Donde:

\bar{H} = Promedio de la diferencia

t_{cal} = t calculado

$$t_{cal} = 2.91$$

$$t_{cal} = 2.91 > t_{tab} = 2.78$$

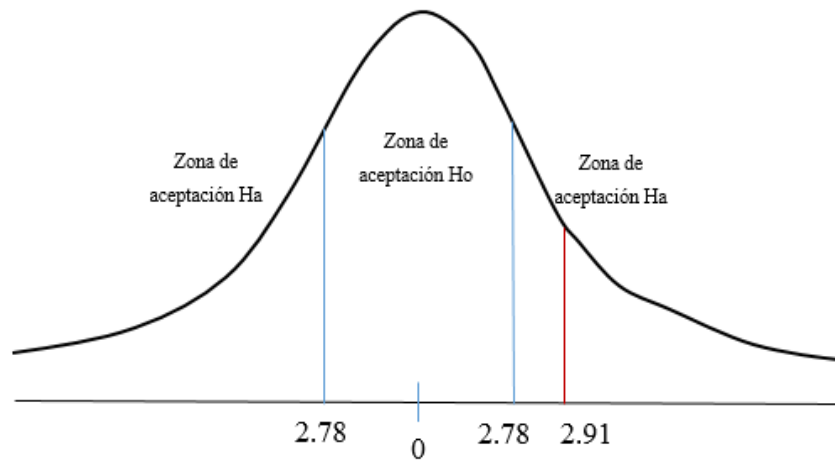


Figura 4. 1: Campana de distribución del grupo 2 y 3 de los ensayos de tracción.
(Fuente: El Autor)

La t calculada se encuentra fuera del rango ± 2.78 por lo tanto se acepta Ha.

4.3.5. Verificación de la hipótesis con respecto al grupo 1 y 3 del material compuesto.

Para la verificación de la hipótesis se tomó como referencia al grupo 1 y 3 ya que estos grupos presentan las mejores características de los ensayos de flexión.

Tabla 4. 22: Verificación de la hipótesis de las probetas del grupo 1 y 3

MUESTRA	GRUPO 1	GRUPO 3	H	H ²
1	1.33	1.21	0.12	0.01
2	1.14	1.13	0.01	0.0001
3	1.39	1.61	0.22	0.05
4	1.52	1.30	0.22	0.05
5	0.89	1.36	0.47	0.22
SUMA	6.27	6.61	1.57	0.33
PROMEDIO	1.25	1.32	0.31	

(Fuente: El Autor)

Calculo de las varianzas de las diferencias aplicando la ecuación 4.3:

$$S^2d = 8.04 \times 10^{-3}$$

$$Sd = 0.09$$

Luego procedemos a calcular la t calculada con la ecuación 4.4:

$$t_{cal} = 3.5$$

$$t_{cal} = 3.5 > t_{tab} = 2.78$$

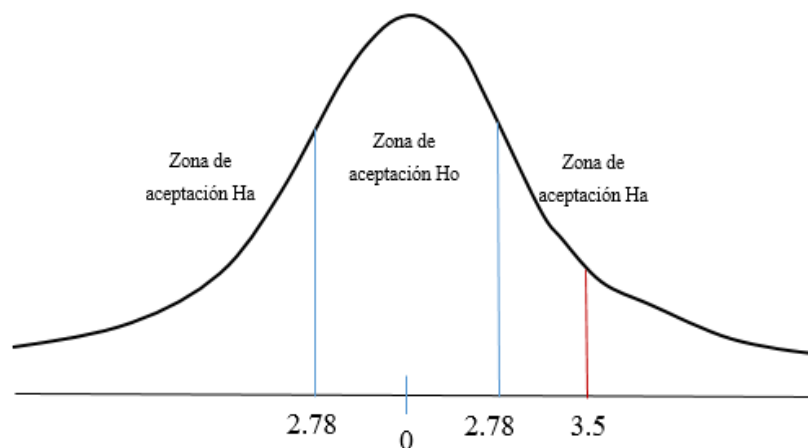


Figura 4. 2: Campana de distribución del grupo 1 y 3 de los ensayos de flexión.
(Fuente: El Autor)

La t calculada se encuentra fuera del rango ± 2.78 por lo tanto se acepta H_a .

4.3.6. Verificación de la hipótesis con respecto al grupo 1 y 4 del material compuesto.

Para la verificación de la hipótesis se tomó como referencia al grupo 1 y 4 ya que estos grupos presentan las mejores características de los ensayos de impacto.

Tabla 4. 23: Verificación de la hipótesis de las probetas del grupo 1 y 4

MUESTRA	GRUPO 1	GRUPO 4	H	H ²
1	1.12	1.12	0	0
2	1.24	1.52	0.28	0.08
3	1.55	1.65	0.10	0.01
4	3.10	2.25	0.85	0.722
5	3.44	3.10	0.34	0.12
SUMA	10.33	9.64	1.57	0.93
PROMEDIO	2.06	1.93	0.31	

(Fuente: El Autor)

Calculo de las varianzas de las diferencias aplicando la ecuación 4.3:

$$S^2d = 0.02$$

$$Sd = 0.10$$

Luego procedemos a calcular la t calculada con la ecuación 4.4:

$$t_{cal} = 3.1$$

$$t_{cal} = 3.1 > t_{tab} = 2.78$$

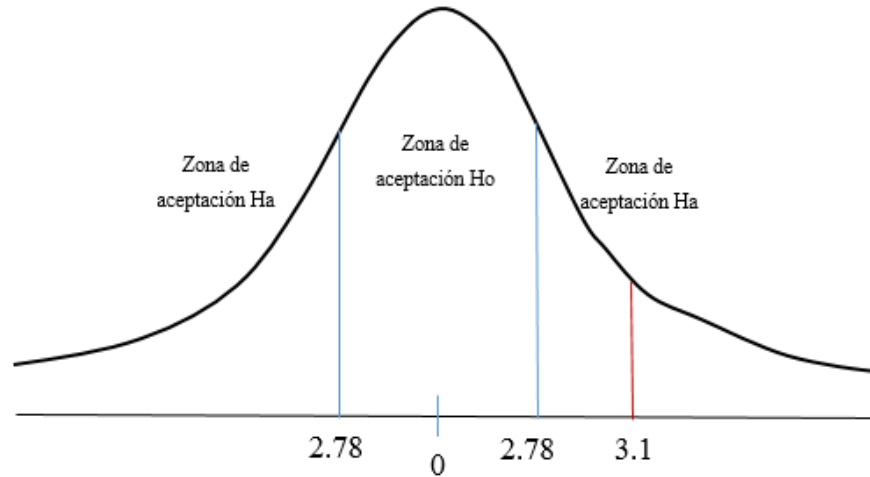


Figura 4. 3: Campana de distribución del grupo 1 y 4 de los ensayos de impacto.
(Fuente: El Autor)

El t calculado se encuentra fuera del rango ± 2.78 por lo tanto se acepta Ha.

En los tres casos el t calculado es mayor que el t tabulado por lo cual se rechaza la hipótesis nula H_0 y se acepta la hipótesis alterna H_a (Con la evaluación del material compuesto de matriz poliéster reforzado con fibras de tereftalato de polietileno (PET) se podrá determinar el material con las mejores propiedades mecánicas)

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- Mediante la aplicación de las normas ASTM D3039-00, ASTM D7264-07 Y ASTM D5228-10 para ensayos de tracción, flexión e impacto respectivamente se determinó las propiedades mecánicas del material compuesto tales como el esfuerzo de rotura, módulo de elasticidad, módulo de flexión y la resistencia máxima al impacto. Con los resultados obtenidos de los ensayos a tracción realizados a las probetas se determinó que el grupo que tiene mejores características con relación al esfuerzo de rotura es el grupo 3 el cual está compuesto de un 90% de matriz (resina poliéster) con un 10% de refuerzo (fibras de PET) para lo cual se utilizó fibras largas con una orientación longitudinal. Los valores promedios de las propiedades mecánicas obtenidas del grupo 3 se muestran a continuación: Carga máxima: 2826.12 N; Esfuerzo de rotura: 35.14 MPa; Modulo de elasticidad: 1116.38 MPa.
- Asimismo el material compuesto que presento mejor comportamiento mecánico a flexión corresponde al grupo 3 cuyos valores promedios de sus propiedades mecánicas se muestran a continuación: Carga máxima: 61.24 N, Esfuerzo de rotura: 1.32 MPa y Modulo de flexión: 2160.29 MPa.
- El material compuesto del 70% de matriz y 30% de refuerzo correspondiente al grupo 1, la misma que tiene una configuración de fibra larga con una orientación longitudinal, presentó el mejor comportamiento mecánico a impacto con una resistencia máxima al impacto de 1.55 J.
- Del análisis de los tres tipos de ensayos realizados, el material compuesto que presentó las mejor características mecánicas corresponde al grupo 4 la misma que está conformado del 70% de matriz poliéster reforzado con el 30% de refuerzo (PET) de configuración fibra corta (10mm) con una orientación al

azar. Este material presenta las siguientes características: Esfuerzo de rotura de tracción 24.27 MPa; Módulo de elasticidad 1119.59 MPa; Esfuerzo a la rotura de flexión 0.77 MPa; Módulo de flexión 2464.21 MPa; Resistencia máxima al impacto 1.52 J.

- Para el moldeo de las probetas el proceso realizado se lo estableció de acuerdo al tipo de estratificación utilizada, la cual fue una estratificación a compresión por ajuste normal lo que permitió una buena compactación entre los materiales.

5.2. Recomendaciones

- La fibra utilizada debe estar limpia y libre de impurezas ya que de otra forma dificultaría el moldeo del material.
- Para evitar la evaporación de la resina, deben conservarse en sus recipientes originales y cerrados, también deben conservarse en sitios oscuros con el objetivo de evitar la acción de la luz y la temperatura.
- Antes de hacer la mezcla en el molde se debe aplicar bastante cera desmoldante de manera homogénea y continua para así poder evitar dificultades en el momento del desmolde.
- Se debe realizar una o dos probetas adicionales por cada caso para así poder sustituir alguna probeta que presente alguna anomalía y de esta manera no perder tiempo en la fabricación de otra probeta.
- Las probetas realizadas para el ensayo a tracción deben tener una sobremonta en todos sus extremos, esta sobremonta puede ser lijas y además deben estar adheridas a las probetas con un pegamento lo suficientemente fuerte para que no se despegue antes de que la probeta se rompa cuando se aplica la carga.
- Con la finalidad de obtener probetas que tengan dimensiones homogéneas el corte se lo debe realizar a laser.

MATERIALES DE REFERENCIA

Bibliografía

- [1] J. Salazar, et al. “Fabricación Y Caracterización De Un Material Compuesto De Matriz Polimérica Reforzado Con PET Grado Botella.” Universidad Autónoma Metropolitana, México, D.F., México, Jul. 2015.
- [2] R. Santamaría, “Caracterización de material compuesto PET-Vidrio.” Ingeniería Mecánica. Tesis, Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba, Argentina, 2015.
- [3] R. Carrillo, “Diseño de un material compuesto con matriz de resina poliéster y fibras de aserrín y PET,” Ingeniería, Universidad Internacional SEK, Quito, Ecuador, 2015.
- [4] V. Guerrero, et al. “Elaboración de Materiales de Matriz Polimérica Reforzados con Fibra de Vidrio Mediante el Método de Aspersión.” Escuela Politécnica Nacional, Quito-Ecuador, 2013.
- [5] O. Arboleda, “Aplicación del Plástico Reforzado con Fibra de Vidrio a Partes de Ingeniería,” Tecnólogo Mecánico. Universidad tecnológica de Pereira Facultad De Tecnologías, Escuela De Tecnología Mecánica, Pereira-Colombia, 2007.
- [6] V. Guerrero, et al. “Materiales compuestos de matriz poliéster reforzados con fibras naturales y sintéticas,” Escuela Politécnica Nacional, Departamento de Materiales, Quito-Ecuador, 2007.
- [7] J. Valdez. “Análisis de una pequeña empresa de fibra de vidrio y su entorno para la elección de una estrategia,” Licenciatura en Administración de Empresas, Universidad de Las Américas Puebla, México, Diciembre 2003.
- [8] J. Gómez. “Diseño de un material compuesto con fibra natural para sustituir la utilización de la fibra de vidrio,” Ingeniero de Diseño de Producto. Universidad EAFIT. Medellín-Colombia, 2009.
- [9] W. Callister. *Introducción a la Ciencia e Ingeniería de los Materiales*. Barcelona: Reverté S.A., 1995, pp 2.
- [10] D. Askeland. *Ciencia e Ingeniería de los Materiales*. España: International Thomson, 1998, pp 5.

- [11] F. Stupenengo. *Materiales Compuestos en Materiales y Materias Primas*. Argentina: Colección Encuentro Inet, 2011, pp 7-20.
- [12] D. Ramírez. “Propuesta De Un Material Compuesto Con Base Al PET Reciclado Con Aplicaciones En Construcción.” Ingeniero Civil. Tesis, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, 2011.
- [13] A. Besednjak. *Materiales compuestos. Proceso de fabricación de embarcaciones*. Barcelona: UPC, 2005, pp 27-30.
- [14] C. Quintero. “Manual Práctico Sobre Poliéster (Plásticos) reforzado Con Fibra De Vidrio (PRFV).” Ingeniero Mecánico. Tesis, Universidad Tecnológica De Bolívar, Cartagena De Indias, 2007.
- [15] J. Hachi y J. Rodríguez, “Estudio de factibilidad para reciclar envases plásticos de polietileno tereftalato (PET), en la ciudad de Guayaquil.” Ingeniería Industrial, Universidad Salesiana Ecuador, Guayaquil, Ecuador, 2010.
- [16] K. Chawla. *Composite Materials Science and Engineering*. Tercera edición. New York: Springer, 2013, pp 73-80.
- [17] W. Callister. *Introducción a la Ciencia e Ingeniería de los Materiales*. Barcelona: Reverté, S.A., 1995, pp 115-116.
- [18] V. Guerrero, et al. *Nuevos Materiales. Aplicaciones Estructurales e Industriales*. Primera Edición. Quito, Ecuador: Imprefepp, 2011, pp 67-72.
- [19] D.C. Giancoli. *Física principio con aplicaciones*. Sexta Edición. México: Pearson Ed., 2006, pp 239.
- [20] J. W. Kane y M.M. Sternheim. *Física*. Segunda Edición. México: Reverte Ed., 2007, pp 185.
- [21] A. Jácome. “Estudio de la configuración de fibras del material compuesto de matriz epoxi reforzado con fibra de piña y su incidencia en las propiedades mecánicas en la fabricación de butacas deportivas.” Ingeniero. Tesis, Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica. Universidad Técnica de Ambato. Ambato-Ecuador, 2015.

ANEXOS

ANEXO 1: Norma para ensayo de tracción ASTM D3039-00

ANEXO 2: Norma para ensayo de flexión ASTM D7264-07

ANEXO 3: Norma para ensayo de impacto ASTM D5628-10

ANEXO 4: Ficha técnica de la resina poliéster

ANEXO 5: Ficha técnica de la fibra de tereftalato de polietileno (PET)

ANEXO 6: Tabla de datos de la t calculada

ANEXO 7: Informe técnico de los ensayos de tracción y flexión

ANEXO 8: Planos

Designation: D 3039/D 3039M – 00^{ε1}

Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials¹

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

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

^{ε1} NOTE—Eq 5 was revised editorially in December 2002.

1. Scope

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

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

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

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:

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

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, $[Θ]$ for thermodynamic temperature, and $[nd]$ for nondimensional quantities. Use of these symbols is restricted to analytical dimensions when used with square brackets, as the symbols may have other definitions when used without the brackets.

3.2.1 *nominal value, n* —a value, existing in name only, assigned to a measurable property for the purpose of convenient designation. Tolerances may be applied to a nominal value to define an acceptable range for the property.

3.2.2 *transition region, n* —a strain region of a stress-strain or strain-strain curve over which a significant change in the slope of the curve occurs within a small strain range.

3.2.3 *transition strain, $\epsilon^{transition}$ [nd], n* —the strain value at the mid range of the transition region between the two essentially linear portions of a bilinear stress-strain or strain-strain curve.

3.2.3.1 *Discussion*—Many filamentary composite materials show essentially bilinear behavior during loading, such as seen in plots of either longitudinal stress versus longitudinal strain or transverse strain versus 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 δ —extensional displacement.

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

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

3.3.22 σ —normal stress.

3.3.23 ν —Poisson's ratio.

4. Summary of Test Method

4.1 A thin flat strip of material having a constant rectangular cross section is mounted in the grips of a mechanical testing machine and monotonically loaded in tension while recording load. The ultimate strength of the material can be determined from the maximum load carried before failure. If the coupon strain is monitored with strain or displacement transducers then the stress-strain response of the material can be determined, from which the ultimate tensile strain, tensile modulus of elasticity, Poisson's ratio, and transition strain can be derived.

5. Significance and Use

5.1 This test method is designed to produce tensile property data for material specifications, research and development, quality assurance, and structural design and analysis. Factors that influence the tensile response and should therefore be reported include the following: material, methods of material preparation and lay-up, specimen stacking sequence, specimen preparation, specimen conditioning, environment of testing, specimen alignment and gripping, speed of testing, time at temperature, void content, and volume percent reinforcement. Properties, in the test direction, which may be obtained from this test method include the following:

5.1.1 Ultimate tensile strength,

5.1.2 Ultimate tensile strain,

5.1.3 Tensile chord modulus of elasticity,

5.1.4 Poisson's ratio, and

5.1.5 Transition strain.

6. Interferences

6.1 *Material and Specimen Preparation*—Poor material fabrication practices, lack of control of fiber alignment, and damage induced by improper coupon machining are known causes of high material data scatter in composites.

6.2 *Gripping*—A high percentage of grip-induced failures, especially when combined with high material data scatter, is an indicator of specimen gripping problems. Specimen gripping methods are discussed further in 7.2.4, 8.2, and 11.5.

6.3 *System Alignment*—Excessive bending will cause premature failure, as well as highly inaccurate modulus of elasticity determination. Every effort should be made to eliminate excess bending from the test system. Bending may occur as a result of misaligned grips or from specimens themselves if improperly installed in the grips or out-of-tolerance caused by poor specimen preparation. If there is any doubt as to the alignment inherent in a given test machine, then the alignment should be checked as discussed in 7.2.5.

6.4 *Edge Effects in Angle Ply Laminates*—Premature failure and lower stiffnesses are observed as a result of edge softening in laminates containing off-axis plies. Because of this, the strength and modulus for angle ply laminates can be drastically underestimated. For quasi-isotropic laminates containing significant 0° plies, the effect is not as significant.

7. Apparatus

7.1 *Micrometers*—A micrometer with a 4- to 5-mm [0.16- to 0.20-in] nominal diameter double-ball interface shall be

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

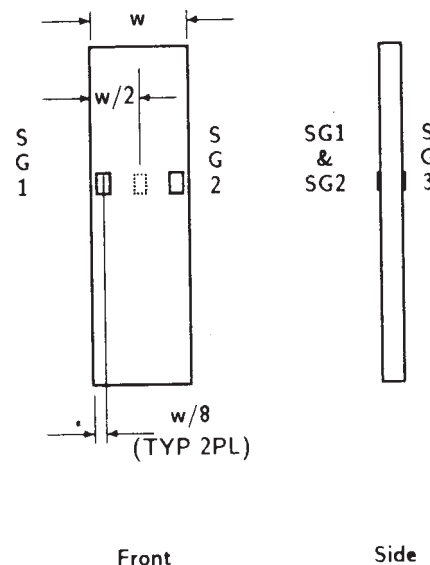


FIG. 1 Gage Locations for System Alignment Check Coupon

maximum advisable amount of system misalignment is material and location dependent, good testing practice is generally able to limit percent bending to a range of 3 to 5 % at moderate strain levels ($>1000 \mu\epsilon$). A system showing excessive bending for the given application should be readjusted or modified.

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

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

where:

B_y = percent bending about system y axis (about the narrow plane), as calculated by Eq 1, %;

B_z = percent bending about system z axis (about the wide plane), as calculated by Eq 2, %;

ϵ_1 , ϵ_2 , and ϵ_3 = indicated longitudinal strains displayed by Gages 1, 2, and 3, respectively, of Fig. 1, $\mu\epsilon$; and

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

The total bending component is:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

8. Sampling and Test Specimens

8.1 *Sampling*—Test at least five specimens per test condition unless valid results can be gained through the use of fewer specimens, such as in the case of a designed experiment. For statistically significant data, the procedures outlined in Practice E 122 should be consulted. Report the method of sampling.

NOTE 4—If specimens are to undergo environmental conditioning to equilibrium, and are of such type or geometry that the weight change of the material cannot be properly measured by weighing the specimen itself (such as a tabbed mechanical coupon), then use another traveler coupon of the same nominal thickness and appropriate size (but without tabs) to determine when equilibrium has been reached for the specimens being conditioned.

8.2 *Geometry*—Design of mechanical test coupons, especially those using end tabs, remains to a large extent an art rather than a science, with no industry consensus on how to approach the engineering of the gripping interface. Each major composite testing laboratory has developed gripping methods for the specific material systems and environments commonly encountered within that laboratory. Comparison of these methods shows them to differ widely, making it extremely difficult to recommend a universally useful approach or set of approaches. Because of this difficulty, definition of the geometry of the test coupon is broken down into the following three levels, which are discussed further in each appropriate section:

Purpose	Degree of Geometry Definition
8.2.1 <i>General Requirements</i>	Mandatory Shape and Tolerances
8.2.2 <i>Specific Recommendations</i>	Nonmandatory Suggested Dimensions
8.2.3 <i>Detailed Examples</i>	Nonmandatory Typical Practices

8.2.1 *General Requirements:*

8.2.1.1 *Shape, Dimensions, and Tolerances*—The complete list of requirements for specimen shape, dimensions, and tolerances is shown in Table 1.

8.2.1.2 *Use of Tabs*—Tabs are not required. The key factor in the selection of specimen tolerances and gripping methods is the successful introduction of load into the specimen and the prevention of premature failure as a result of a significant discontinuity. Therefore, determine the need to use tabs, and specification of the major tab design parameters, by the end

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 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.

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:

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

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 ±.5°.
4. PLY ORIENTATION DIRECTION TOLERANCE RELATIVE TO [-A-] WITHIN ±.5°.
5. FINISH ON MACHINED EDGES NOT TO EXCEED 1.6√ (SYMBOLGY IN ACCORDANCE WITH ASA B46.1, WITH ROUGHNESS HEIGHT IN MICROMETRES.)
6. VALUES TO BE PROVIDED FOR THE FOLLOWING, SUBJECT TO ANY RANGES SHOWN ON THE FIELD OF DRAWING: MATERIAL, LAY-UP, PLY ORIENTATION REFERENCE RELATIVE TO [-A-], OVERALL LENGTH, GAGE LENGTH, COUPON THICKNESS, TAB MATERIAL, TAB THICKNESS, TAB LENGTH, TAB BEVEL ANGLE, TAB ADHESIVE.
7. NO ADHESIVE BUILDUP ALLOWED IN THIS AREA.

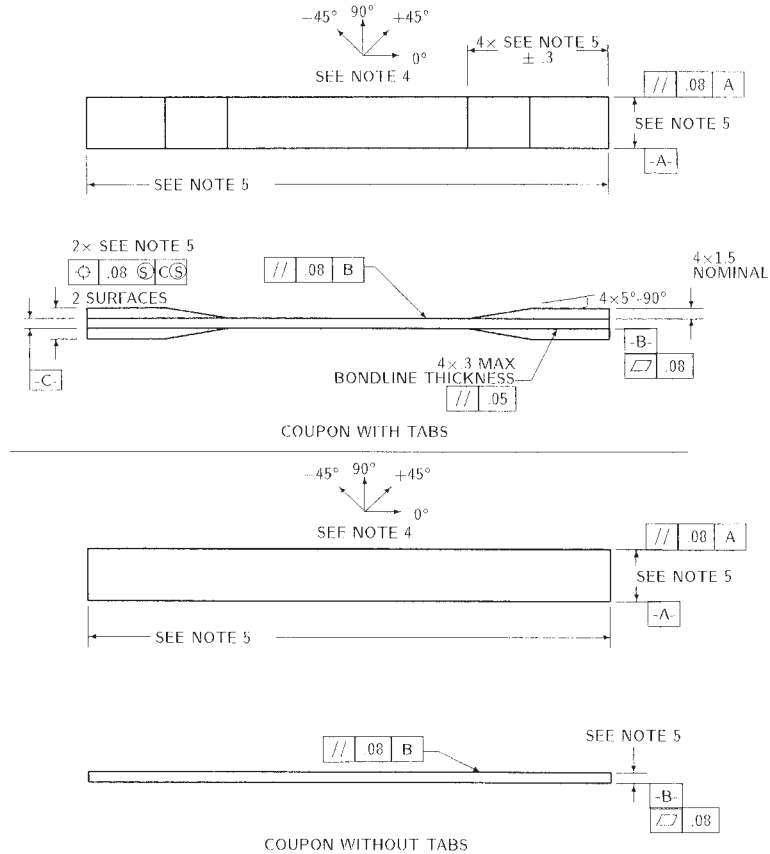


FIG. 2 Tension Test Specimen Drawing (SI)

11.2.2 If specific gravity, density, reinforcement volume, or void volume are to be reported, then obtain these samples from the same panels being tension tested. Specific gravity and density may be evaluated by means of Test Methods D 792. Volume percent of the constituents may be evaluated by one of the matrix digestion procedures of Test Method D 3171, or, for certain reinforcement materials such as glass and ceramics, by the matrix burn-off technique of Test Method D 2584. The void content equations of Test Methods D 2734 are applicable to both Test Method D 2584 and the matrix digestion procedures.

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

11.3 *Speed of Testing*—Set the speed of testing to effect a nearly constant strain rate in the gage section. If strain control is not available on the testing machine, this may be approximated by repeated monitoring and adjusting of the rate of load application to maintain a nearly constant strain rate, as mea-

sured by strain transducer response versus time. The strain rate should be selected so as to produce failure within 1 to 10 min. If the ultimate strain of the material cannot be reasonably estimated, initial trials should be conducted using standard speeds until the ultimate strain of the material and the compliance of the system are known, and the strain rate can be adjusted. The suggested standard speeds are:

11.3.1 *Strain-Controlled Tests*—A standard strain rate of 0.01 min^{-1} .

11.3.2 *Constant Head-Speed Tests*—A standard head displacement rate of 2 mm/min [0.05 in./min].

NOTE 6—Use of a fixed head speed in testing machine systems with a high compliance may result in a strain rate that is much lower than required. Use of wedge grips can cause extreme compliance in the system, especially when using compliant tab materials. In some such cases, actual strain rates 10 to 50 times lower than estimated by head speeds have been observed.

11.4 *Test Environment*—Condition the specimen to the desired moisture profile and, if possible, test under the same conditioning fluid exposure level. However, cases such as

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 MICROINCHES.)
5. VALUES TO BE PROVIDED FOR THE FOLLOWING, SUBJECT TO ANY RANGES SHOWN ON THE FIELD OF DRAWING: MATERIAL, LAY-UP, PLY ORIENTATION REFERENCE RELATIVE TO [-A-], OVERALL LENGTH, GAGE LENGTH, COUPON THICKNESS, TAB MATERIAL, TAB THICKNESS, TAB LENGTH, TAB BEVEL ANGLE, TAB ADHESIVE.
6. NO ADHESIVE BUILDUP ALLOWED IN THIS AREA.

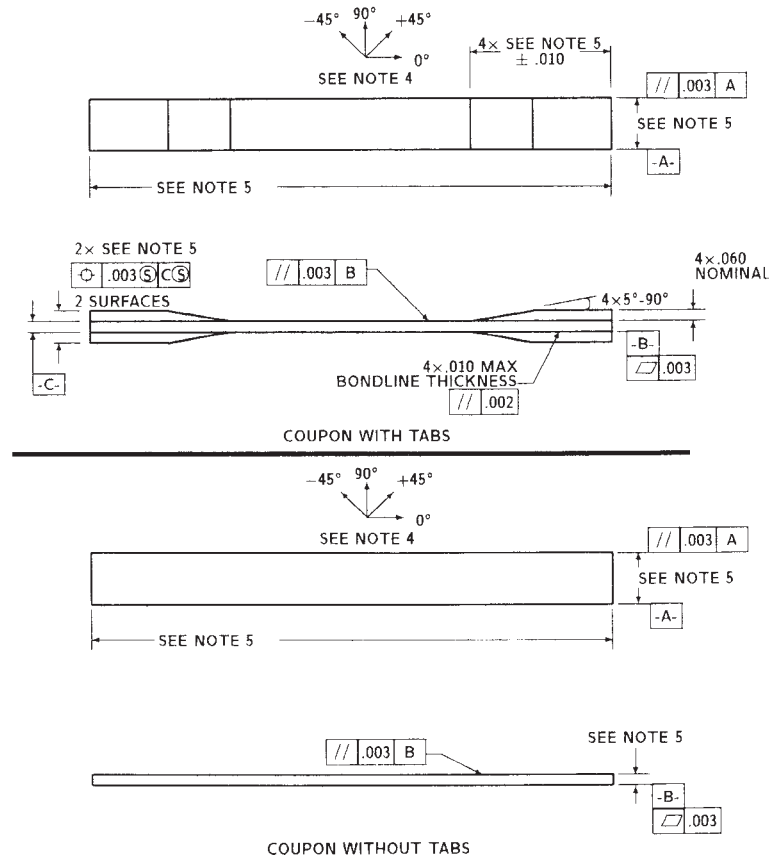


FIG. 3 Tension Test Specimen Drawing (inch-pound)

elevated temperature testing of a moist specimen place unrealistic requirements on the capabilities of common testing machine environmental chambers. In such cases, the mechanical test environment may need to be modified, for example, by testing at elevated temperature with no fluid exposure control, but with a specified limit on time to failure from withdrawal from the conditioning chamber. Modifications to the test environment shall be recorded.

11.4.1 Store the specimen in the conditioned environment until test time, if the testing area environment is different than the conditioning environment.

11.5 *Specimen Insertion*—Place the specimen in the grips of the testing machine, taking care to align the long axis of the gripped specimen with the test direction. Tighten the grips, recording the pressure used on pressure controllable (hydraulic or pneumatic) grips.

NOTE 7—The ends of the grip jaws on wedge-type grips should be even with each other following insertion to avoid inducing a bending moment that results in premature failure of the specimen at the grip. When using

untabbed specimens, a folded strip of medium grade (80 to 150 grit) emery cloth between the specimen faces and the grip jaws (grit-side toward specimen) provides a nonslip grip on the specimen without jaw serration damage to the surface of the specimen. When using tabbed specimens, insert the coupon so that the grip jaws extend approximately 10 to 15 mm [0.5 in.] past the beginning of the tapered portion of the tab. Coupons having tabs that extend beyond the grips are prone to failure at the tab ends because of excessive interlaminar stresses.

11.6 *Transducer Installation*—If strain response is to be determined attach the strain-indication transducer(s) to the specimen, symmetrically about the mid-span, mid-width location. Attach the strain-recording instrumentation to the transducers on the specimen.

11.6.1 When determining modulus of elasticity, it is recommended that at least one specimen per like sample be evaluated with back-to-back axial transducers to evaluate the percent bending, using Eq 5, at the average axial strain checkpoint value (the mid range of the appropriate chord modulus strain range) shown in Table 3. A single transducer can be used if the

TABLE 3 Specimen Alignment and Chord Modulus Calculation Strain Ranges

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

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

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

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

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

where:

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

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

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

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

11.9 *Failure Mode*—Record the mode and location of failure of the specimen. Choose, if possible, a standard description using the three-part failure mode code that is shown in Fig. 4.

11.10 *Grip/Tab Failures*—Reexamine the means of load introduction into the material if a significant fraction of failures in a sample population occur within one specimen width of the tab or grip. Factors considered should include the tab alignment, tab material, tab angle, tab adhesive, grip type, grip pressure, and grip alignment.

12. Calculation

12.1 *Tensile Stress/Tensile Strength*—Calculate the ultimate tensile strength using Eq 6 and report the results to three significant figures. If the tensile modulus is to be calculated, determine the tensile stress at each required data point using Eq 7.

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

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

where:

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

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

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

where:

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

12.3 Tensile Modulus of Elasticity:

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

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

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

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

where:

- E^{chord} = tensile chord modulus of elasticity, GPa [psi];
- $\Delta\sigma$ = difference in applied tensile stress between the two strain points of Table 3, MPa [psi]; and
- $\Delta\epsilon$ = difference between the two strain points of Table 3 (nominally 0.002).

12.3.2 *Tensile Modulus of Elasticity (Other Definitions)*—Other definitions of elastic modulus may be evaluated and reported at the user's discretion. If such data is generated and reported, report also the definition used, the strain range used,

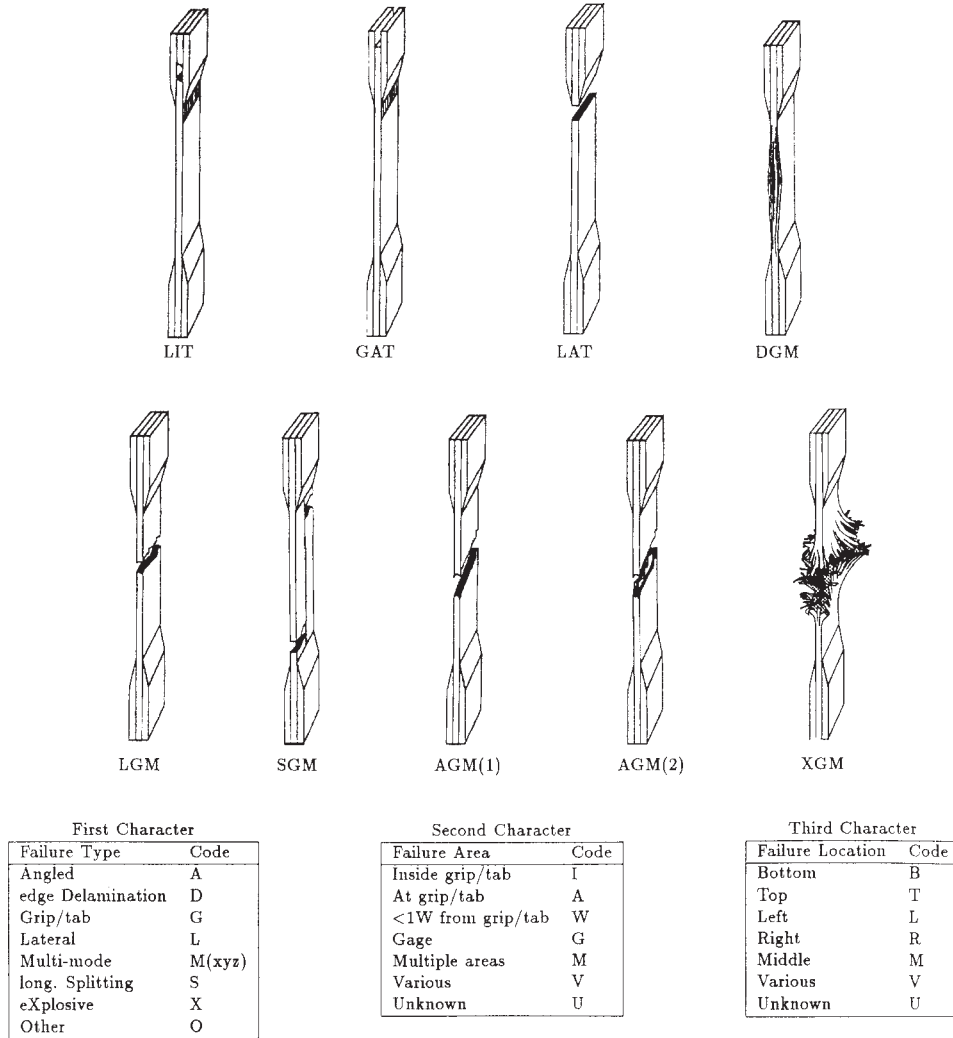


FIG. 4 Tensile Test Failure Codes/Typical Modes

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

NOTE 10—An example of another modulus definition is the secondary chord modulus of elasticity for materials that exhibit essentially bilinear stress-strain behavior. An example of secondary chord modulus is shown in Fig. 5.

12.4 Poisson's Ratio:

NOTE 11—If bonded resistance strain gages are being used, the error produced by the transverse sensitivity effect on the transverse gage will generally be much larger for composites than for metals. An accurate measurement of Poisson's ratio requires correction for this effect. The strain gage manufacturer should be contacted for information on the use of correction factors for transverse sensitivity.

12.4.1 Poisson's Ratio By Chord Method—Select the appropriate chord modulus longitudinal strain range from Table 3. Determine (by plotting or otherwise) the transverse strain (measured perpendicular to the applied load), ϵ_t , at each of the two longitudinal strains (measured parallel to the applied load), ϵ_l , strain range end points. If data is not available at the exact strain range end points (as often occurs with digital data), use

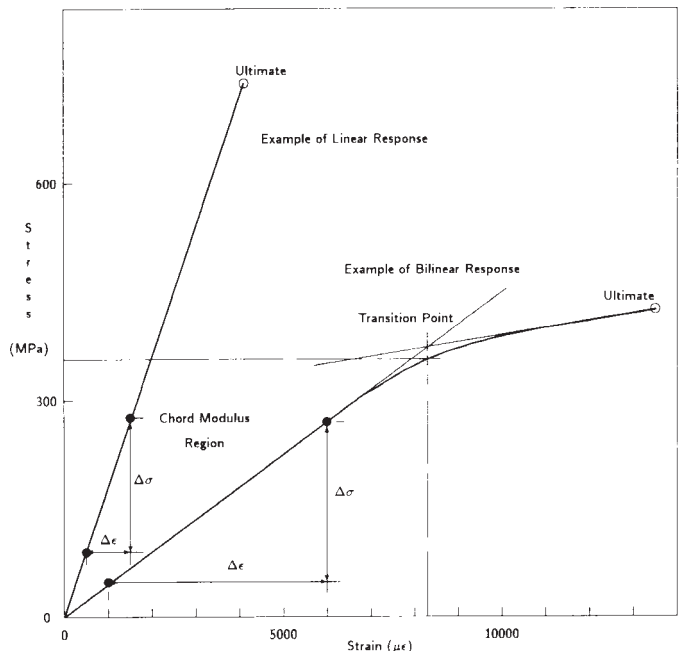


FIG. 5 Typical Tensile Stress-Strain Curves

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

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

where:

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

12.4.2 *Tensile Poisson's Ratio (Other Definitions)*—Other definitions of Poisson's ratio may be evaluated and reported at the user's direction. If such data is generated and reported, report also the definition used, the strain range used, and the results to three significant figures. Test Method E 132 provides additional guidance in the determination of Poisson's ratio.

12.5 *Transition Strain*—Where applicable, determine the transition strain from either the bilinear longitudinal stress versus longitudinal strain curve or the bilinear transverse strain versus longitudinal strain curve. Create a best linear fit or chord line for each of the two linear regions and extend the lines until they intersect. Determine to three significant digits the longitudinal strain that corresponds to the intersection point and record this value as the transition strain. Report also the method of linear fit (if used) and the strain ranges over which the linear fit or chord lines were determined. A graphical example of transition strain is shown in Fig. 5.

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

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

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

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

where:

- \bar{x} = sample mean (average);
- s_{n-1} = sample standard deviation;
- CV = sample coefficient of variation, in percent;
- n = number of specimens; and
- x_i = measured or derived property.

13. Report

13.1 Report the following information, or references pointing to other documentation containing this information, to the maximum extent applicable (reporting of items beyond the control of a given testing laboratory, such as might occur with material details or panel fabrication parameters, shall be the responsibility of the requestor):

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

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

13.1.5 Identification of the material tested including: material specification, material type, material designation, manufacturer, manufacturer's lot or batch number, source (if not from manufacturer), date of certification, expiration of certification, filament diameter, tow or yarn filament count and twist, sizing, form or weave, fiber areal weight, matrix type, prepreg matrix content, and prepreg volatiles content.

13.1.6 Description of the fabrication steps used to prepare the laminate including: fabrication start date, fabrication end date, process specification, cure cycle, consolidation method, and a description of the equipment used.

13.1.7 Ply orientation stacking sequence of the laminate.

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

13.1.9 Average ply thickness of the material.

13.1.10 Results of any nondestructive evaluation tests.

13.1.11 Method of preparing the test specimen, including specimen labeling scheme and method, specimen geometry, sampling method, coupon cutting method, identification of tab geometry, tab material, and tab adhesive used.

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

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

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

13.1.15 Dimensions of each test specimen.

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

13.1.17 Relative humidity and temperature of the testing laboratory.

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

13.1.19 Number of specimens tested.

13.1.20 Speed of testing.

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

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

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

13.1.24 Percent bending results for each specimen so evaluated.

13.1.25 Individual strengths and average value, standard deviation, and coefficient of variation (in percent) for the population. Note if the failure load was less than the maximum load before failure.

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

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

13.1.28 If another definition of modulus of elasticity is used in addition to chord modulus, describe the method used, the resulting correlation coefficient (if applicable), and the strain range used for the evaluation.

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

13.1.30 If another definition of Poisson's ratio is used in addition to the chordwise definition, describe the method used, the resulting correlation coefficient (if applicable), and the strain range used for the evaluation.

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

13.1.32 If transition strain is determined, the method of linear fit (if used) and the strain ranges over which the linear fit or chord lines were determined.

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

13.1.34 Failure mode and location of failure for each specimen.

14. Precision and Bias

14.1 Precision:

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

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

14.1.3 Material factors that can affect test results include: material quality and representativeness, sampling scheme, and specimen preparation (dimensional accuracy, tab material, tab taper, tab adhesive, and so forth).

14.1.4 The mean tensile strength for a strain rate sensitive, glass/epoxy tape composite testing in the fiber direction was found to increase by approximately two standard deviations with decreasing time to failure tested at the limits of the recommended time to failure prescribed in Test Method D 3039/D 3039M. This result suggest that caution must be used when comparing test data obtained for strain rate sensitive composite materials tested in accordance with this standard.

14.1.5 Measurement errors arise from the use of specialized measuring instruments such as load cells, extensometers and strain gages, micrometers, data acquisition devices, and so forth.

14.1.6 Data obtained from specimens that fracture outside the gage are should be used with caution as this data may not be representative of the material. Failure in the grip region indicates the stress concentration at the tab is greater than the

natural strength variation of the material in the gage section. A tapered tab, bonded with a ductile low-modulus adhesive has a relatively low-stress concentration and should result in the lowest frequency of grip failures. Low-strength bias increases with the frequency of grip failures by an amount proportional to the stress concentration at the tab.

14.1.7 An interlaboratory test program was conducted where an average of five specimens each, of six different materials and lay-up configurations, were tested by nine different laboratories.¹⁰ Table 4 presents the precision statistics generated from this study as defined in Practice E 691 for tensile strength, modulus, and failure strain. All data except that for Material B (90° lay-up) was normalized with respect to an average thickness. The materials listed in Table 15 are defined as:

A	IM-6/3501-6 uni-tape (0)n
B	IM-6/3501-6 uni-tape (90)n
C	IM-6/3501-6 uni-tape (90/0)n
F	Glass/epoxy fabric (7781 glass/Ciba R 7376 Epoxy)- warp aligned
G	Carbon/epoxy fabric (66108 carbon/Ciba R 6376

TABLE 4 Precision Statistics

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

14.1.8 The averages of the coefficients of variation are in Table 5. The values of S_r/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 I: Harmonization of ASTM D 3039/D 3039M and ISO 527-5, Final Report, ASTM Institute for Standards Research, April 1997.

TABLE 5 Averages of the Coefficients of Variation

Parameter	Average of S/X , %	Average of S_R/X , %
Strength	5.11	6.00
Modulus	2.22	3.22
Failure strain	5.94	7.32

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

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

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

15. Keywords

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

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

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

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



Designation: D 7264/D 7264M – 07

Standard Test Method for Flexural Properties of Polymer Matrix Composite Materials¹

This standard is issued under the fixed designation D 7264/D 7264M; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ε) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

1. Scope

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

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

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

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

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

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

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

2. Referenced Documents

2.1 *ASTM Standards*:²

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

Polymer Matrix Composite Materials and Their Laminates

D 3878 Terminology for Composite Materials

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

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

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

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

E 4 Practices for Force Verification of Testing Machines

E 6 Terminology Relating to Methods of Mechanical Testing

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

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

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

E 456 Terminology Relating to Quality and Statistics

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

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

2.2 *Other Documents*:

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

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

3. Terminology

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

³ Available from American National Standards Institute (ANSI), 25 W. 43rd St., 4th Floor, New York, NY 10036, <http://www.ansi.org>.

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.

3.2 Definitions of Terms Specific to This Standard:

3.2.1 flexural strength, n —the maximum stress at the outer surface of a flexure test specimen corresponding to the peak applied force prior to flexural failure.

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

3.3 Symbols:

b = specimen width

CV = sample coefficient of variation, in percent

E_f^{chord} = flexural chord modulus of elasticity

E_f^{secant} = flexural secant modulus of elasticity

h = specimen thickness

L = support span

m = slope of the secant of the load-deflection curve

n = number of specimens

P = applied force

s_{n-1} = sample standard deviation

x_i = measured or derived property

\bar{x} = sample mean

δ = mid-span deflection of the specimen

ϵ = strain at the outer surface at mid-span of the specimen

σ = stress at the outer surface at mid-span of the specimen

4. Summary of Test Method

4.1 A bar of rectangular cross section, supported as a beam, is deflected at a constant rate as follows:

4.1.1 Procedure A—The bar rests on two supports and is loaded by means of a loading nose midway between the supports (see Fig. 1).

4.1.2 Procedure B—The bar rests on two supports and is loaded at two points (by means of two loading noses), each an equal distance from the adjacent support point. The distance between the loading noses (that is, the load span) is one-half of the support span (see Fig. 2).

4.2 Force applied to the specimen and resulting specimen deflection at the center of span are measured and recorded until the failure occurs on either one of the outer surfaces, or the deformation reaches some pre-determined value.

4.3 The major difference between four-point and three-point loading configurations is the location of maximum bending moment and maximum flexural stress. With the four-point configuration the bending moment is constant between the central force application members. Consequently, the maximum flexural stress is uniform between the central force application members. In the three-point configuration, the maximum flexural stress is located directly under the center

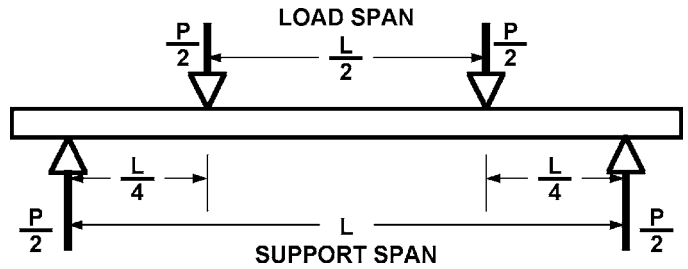


FIG. 2 Procedure B—Loading Diagram

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.

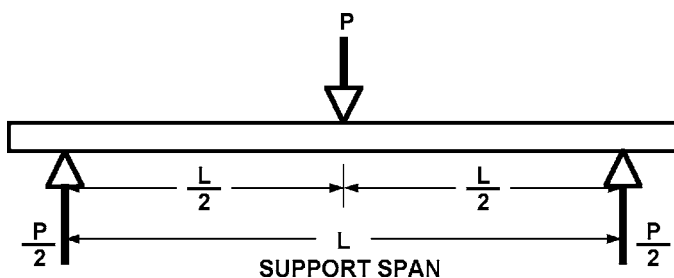


FIG. 1 Procedure A—Loading Diagram

6.2 For multidirectional laminates with a small or moderate number of laminae, flexural modulus and flexural strength may be affected by the ply-stacking sequence and will not necessarily correlate with extensional modulus, which is not stacking-sequence dependent.

6.3 The calculation of the flexural properties in Section 13 of this standard is based on beam theory, while the specimens in general may be described as plates. The differences may in some cases be significant, particularly for laminates containing a large number of plies in the $\pm 45^\circ$ direction. The deviations from beam theory decrease with decreasing width.

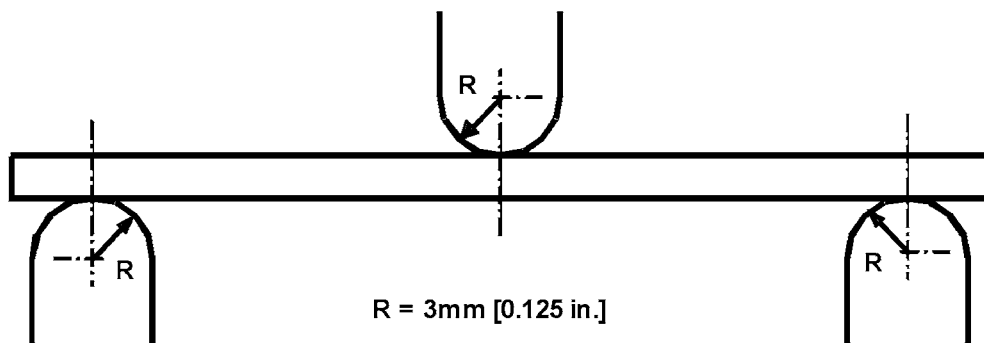
6.4 Loading noses may be fixed, rotatable or rolling. Typically, for testing composites, fixed or rotatable loading noses are used. The type of loading nose can affect results, since non-rolling paired supports on either the tension or compression side of the specimen introduce slight longitudinal forces and resisting moments on the beam, which superpose with the intended loading. The type of supports used is to be reported as described in Section 14. The loading noses should also uniformly contact the specimen across its width. Lack of

uniform contact can affect flexural properties by initiating damage by crushing and by non-uniformly loading the beam. Formulas used in this standard assume a uniform line loading at the specimen supports across the entire specimen width; deviations from this type of loading is beyond the scope of this standard.

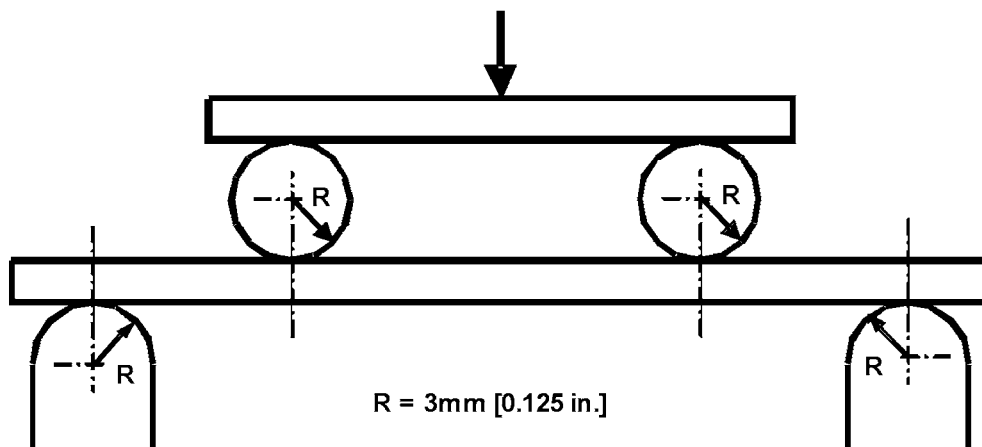
7. Apparatus

7.1 *Testing Machine*—Properly calibrated, which can be operated at a constant rate of crosshead motion, and in which the error in the force application system shall not exceed $\pm 1\%$ of the full scale. The force indicating mechanism shall be essentially free of inertia lag at the crosshead rate used. Inertia lag shall not exceed 1% of the measured force. The accuracy of the testing machine shall be verified in accordance with Practices E 4.

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



Three-Point Loading Configuration with Fixed Supports and Loading Nose



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

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

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

7.3 *Micrometers*—For width and thickness measurements the micrometers shall use a 4 to 7 mm [0.16 to 0.28 in.] nominal diameter ball-interface on an irregular surface such as the bag side of a laminate, and a flat anvil interface on machined edges or very smooth tooled surfaces. A micrometer or caliper with flat anvil faces shall be used to measure the length of the specimen. The accuracy of the instrument(s) shall be suitable for reading to within 1 % or better of the specimen dimensions. For typical section geometries, an instrument with an accuracy of ± 0.02 mm [± 0.001 in.] is desirable for thickness and width measurement, while an instrument with an accuracy of ± 0.1 mm [± 0.004 in.] is adequate for length measurement.

7.4 *Deflection Measurement*—Specimen deflection at the common center of the loading span shall be measured by a properly calibrated device having an accuracy of ± 1 % or better of the expected maximum displacement. The device shall automatically and continuously record the deflection during the test.

7.5 *Conditioning Chamber*—When conditioning materials at non-laboratory environments, a temperature/vapor-level controlled environmental conditioning chamber is required that shall be capable of maintaining the required temperature to within $\pm 1^\circ\text{C}$ [$\pm 2^\circ\text{F}$] and the required vapor level to within ± 3 % relative humidity, as outlined in Test Method D 5229/D 5229M. Chamber conditions shall be monitored either on an automated continuous basis or on a manual basis at regular intervals.

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

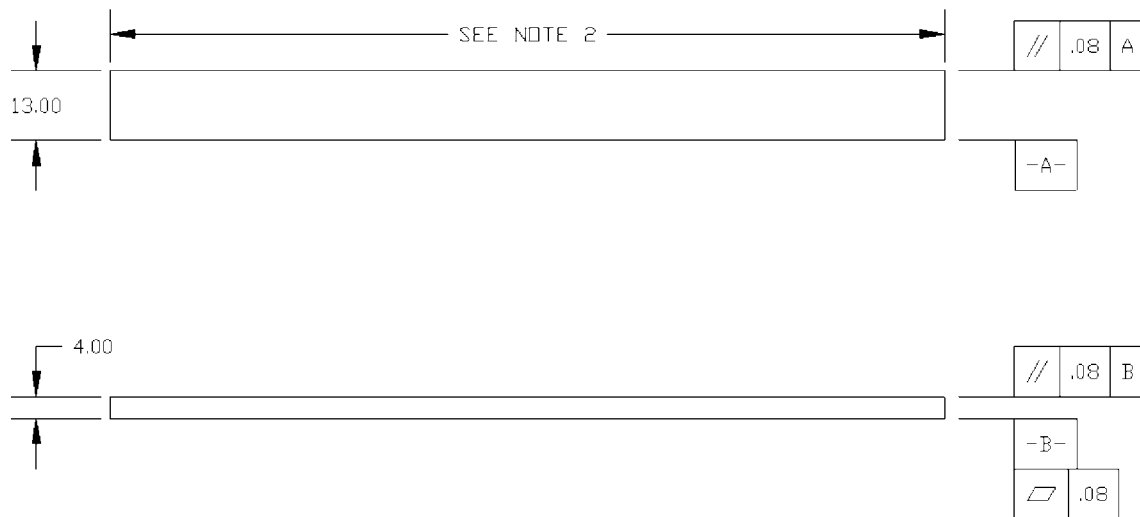
within $\pm 3^\circ\text{C}$ [$\pm 5^\circ\text{F}$] and the required vapor level to within ± 5 % relative humidity.

8. Test Specimens

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

8.2 *Specimen Size* is chosen such that the flexural properties are determined accurately from the tests. For flexural strength, the standard support span-to-thickness ratio is chosen such that failure occurs at the outer surface of the specimens, due only to the bending moment (see Notes 2 and 3). The standard span-to-thickness ratio is 32:1, the standard specimen thickness is 4 mm [0.16 in.], and the standard specimen width is 13 mm [0.5 in.] with the specimen length being about 20 % longer than the support span. See Figs. 4 and 5 for a drawing of the standard test specimen in SI and inch-pound units, respectively. For fabric-reinforced textile composite materials, the width of the specimen shall be at least two unit cells, as defined in Guide D 6856. If the standard specimen thickness cannot be obtained in a given material system, an alternate specimen thickness shall be used while maintaining the support span-to-thickness ratio [32:1] and specimen width. Optional support span-to-thickness ratios of 16:1, 20:1, 40:1, and 60:1 may also be used provided it is so noted in the report. Also, the data obtained from a test using one support span-to-thickness ratio may not be compared with the data from another test using a different support span-to-thickness ratio.

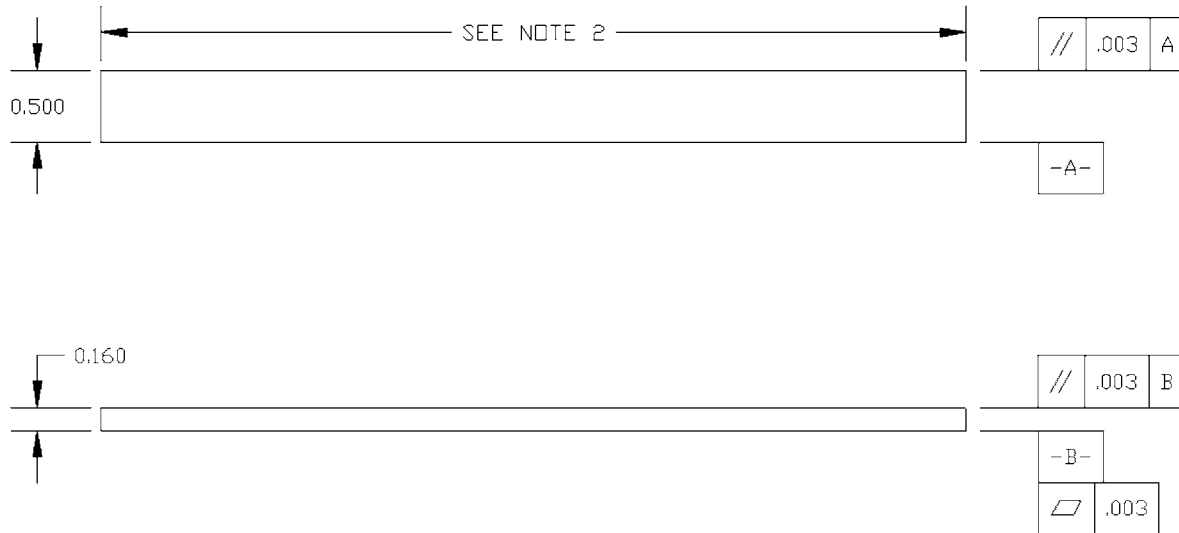
8.2.1 Shear deformations can significantly reduce the apparent modulus of highly orthotropic laminates when they are tested at low support span-to-thickness ratios. For this reason, a high support span-to-thickness ratio is recommended for flexural modulus determinations. In some cases, separate sets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



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

NOTE 2—See 8.2 and 11.3 of this test standard for the required values of span and overall length.

FIG. 4 Standard Flexural Test Specimen Drawing (SI)



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

NOTE 2—See 8.2 and 11.3 of this test standard for the required values of span and overall length.

FIG. 5 Standard Flexural Test Specimen Drawing (Inch-Pound)

NOTE 2—A support span-to-thickness ratio of less than 32:1 may be acceptable for obtaining the desired flexural failure mode when the ratio of the lower of the compressive and tensile strength to out-of-plane shear strength is less than 8, but the support span-to-thickness ratio must be increased for composite laminates having relatively low out-of-plane shear strength and relatively high in-plane tensile or compressive strength parallel to the support span.

NOTE 3—While laminate stacking sequence is not limited by this test method, significant deviations from a lay-up of nominal balance and symmetry may induce unusual test behaviors and a shift in the neutral axis.

9. Number of Test Specimens

9.1 Test at least five specimens per test condition unless valid results can be gained through the use of fewer specimens, such as in the case of a designed experiment. For statistically significant data the procedures outlined in Practice E 122 should be consulted. Report the method of sampling.

10. Conditioning

10.1 The recommended pre-test specimen condition is effective moisture equilibrium at a specific relative humidity as established by Test Method D 5229/D5229M; however, if the test requester does not explicitly specify a pre-test conditioning environment, conditioning is not required and the test specimens may be tested as prepared.

NOTE 4—The term *moisture*, as used in Test Method D 5229/D5229M, includes not only the vapor of a liquid and its condensate, but the liquid itself in large quantities, as for immersion.

10.2 The pre-test specimen conditioning process, to include specified environmental exposure levels and resulting moisture content, shall be reported with the data.

10.3 If there is no explicit conditioning process, the conditioning process shall be reported as “unconditioned” and the moisture content as “unknown.”

11. Procedure

11.1 Condition the specimens as required. Store the specimens in the conditioned environment until test time.

11.2 Following final specimen machining and any conditioning but before testing, measure and record the specimen width and thickness at the specimen mid-section, and the specimen length, to the specified accuracy.

11.3 Measure the span accurately to the nearest 0.1 mm [0.004 in.] for spans less than 63 mm [2.5 in.] and the nearest 0.3 mm [0.012 in.] for spans greater than or equal to 63 mm [2.5 in.]. Use the measured span for all calculations. See Annex A1 for information on the determination of and setting of the span.

11.4 *Speed of Testing*—Set the speed of testing at a rate of crosshead movement of 1.0 mm/min [0.05 in./min] for a specimen with standard dimensions. For specimens with dimensions that vary greatly from the standard dimensions, a crosshead rate that will give a similar rate of straining at the outer surface can be obtained via the method outlined in Test Methods D 790 for Procedure A and Test Method D 6272 for Procedure B.

11.5 Align the loading nose(s) and supports so that the axes of the cylindrical surfaces are parallel. For Procedure A, the loading nose shall be midway between the supports. For Procedure B, the load span shall be one-half of the support span and symmetrically placed between the supports. The parallelism may be checked by means of plates with parallel grooves into which the loading nose(s) and supports will fit when properly aligned. Center the specimen on the supports, with the long axis of the specimen perpendicular to the loading noses and supports. See Annex A1 for setting and measuring span.

11.6 Apply the force to the specimen at the specified crosshead rate. Measure and record force-deflection data at a

rate such that a minimum of 50 data points comprise the force deflection curve. (A higher sampling rate may be required to properly capture any nonlinearities or progressive failure of the specimen.) Measure deflection by a transducer under the specimen in contact with it at the center of the support span, the transducer being mounted stationary relative to the specimen supports. Do not use the measurement of the motion of the loading nose relative to the supports as this will not take into account the rotation of the specimen about the load and support noses, nor account for the compliance in the loading nose or crosshead.

11.7 *Failure Modes*—To obtain valid flexural strength, it is necessary that the specimen failure occurs on either one of its outer surfaces, without a preceding interlaminar shear failure or a crushing failure under a support or loading nose. Failure on the tension surface may be a crack while that on the compression surface may be local buckling. Buckling may be manifested as fiber micro-buckling or ply-level buckling. Ply-level buckling may result in, or be preceded by delamination of the outer ply.

11.7.1 *Failure Identification Codes*—Record the mode, area, and location of failure for each specimen. Choose a standard failure identification code based on the three-part code shown in Fig. 6. A multimode failure can be described by including each of the appropriate failure-mode codes between the parentheses of the M failure mode.

12. Validation

12.1 Values for properties at failure shall not be calculated for any specimen that breaks at some obvious, fortuitous flaw, unless such flaws constitute a variable being studied. Specimens that fail in an unacceptable failure mode shall not be included in the flexural property calculations. Retests shall be made for any specimen for which values are not calculated. If a significant fraction (>50 %) of the specimens fail in an unacceptable failure mode then the span-to-thickness ratio (for excessive shear failures) or the loading nose diameter (crushing under the loading nose) should be reexamined.

13. Calculation

NOTE 5—In determination of the calculated value of some of the properties listed in this section it is necessary to determine if the toe compensation (see Annex A2) adjustment must be made. This toe compensation correction shall be made only when it has been shown that the toe region of the curve is due to take up of the slack, alignment, or seating of the specimen and is not an authentic material response.

13.1 *Maximum Flexural Stress, Procedure A*—When a beam of homogenous, elastic material is tested in flexure as a

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

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

where:

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

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

13.2 *Maximum Flexural Stress, Procedure B*—When a beam of homogeneous, elastic material is tested in flexure as a beam simply supported at two outer points and loaded at two central points separated by a distance equal to ½ the support span and at equal distance from the adjacent support point, the maximum stress at the outer surface occurs between the two central loading points that define the load span (Fig. 2). The stress may be calculated for any point on the load-deflection curve by the following equation (Note 7):

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

where:

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

⁴ For the theoretical details, see Whitney, J. M., Browning, C. E., and Mair, A., "Analysis of the Flexure Test for Laminated Composite Materials," *Composite Materials: Testing and Design (Third Conference)*, ASTM STP 546, 1974, pp. 30-45.

First Character		Second Character		Third Character	
Failure Mode	Code	Failure Area	Code	Failure Location	Code
Tension	T	At loading nose	A	Top	T
Compression	C	Between loading noses	B	Bottom	B
Buckling	B	at Support nose	S	Left	L
interlaminar Shear	S	between Load and support nose	L	Right	R
Multi-mode	M(xyz)	Unknown	U	Middle	M
Other	O			Various	V
				Unknown	U

FIG. 6 Flexure Test Specimen Three-Part Failure Identification Code

h = thickness of beam, mm [in.].

NOTE 7—The limitations defined for Eq 1 in Note 6 apply also to Eq 2.

13.3 *Flexural Strength*—The flexural strength is equal to the maximum stress at the outer surface corresponding to the peak applied force prior to failure. (for multidirectional laminates, see Note 6). It is calculated in accordance with Eq 1 and 2 by letting P equal the peak applied force.

13.4 *Flexural Stress at a Given Strain*—The maximum flexural stress at any given strain may be calculated in accordance with Eq 1 and 2 by letting P equal the applied force read from the force-deflection curve at the deflection corresponding to the desired strain (for multidirectional laminates, see Note 6). Equations for calculating strains from the measured deflection are given in 13.5 and 13.6.

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

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

where:

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

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

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

where:

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

13.7 *Flexural Modulus of Elasticity:*

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

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

where:

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

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

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

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

13.7.2.1 *For Procedure A:*

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

where:

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

13.7.2.2 *For Procedure B:*

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

where E_f^{secant} , m , L , b , and h are the same as for Eq 6.

13.7.3 Chord modulus of elasticity shall be reported although other definitions of moduli may also be used. However, when other definitions of moduli are used, it should be clearly indicated in the report.

13.8 *Statistics*—For each series of tests calculate the average value, standard deviation, and coefficient of variation for each property determined:

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

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

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

where:

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

⁵ For discussion of these effects, see Zweben C., Smith, W. S., and Wardle, M. W., "Test Methods for Fiber Tensile Strength, Composite Flexural Modulus, and Properties of Fabric-Reinforced Laminates," *Composite Materials: Testing and Design (Fifth Conference)*, ASTM STP 674, 1979, pp. 228-262.

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.

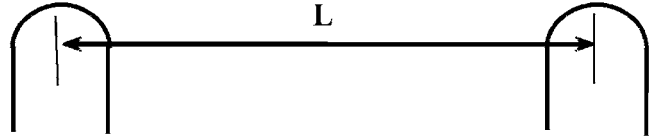


FIG. A1.1 Markings on Fixed Specimen Supports

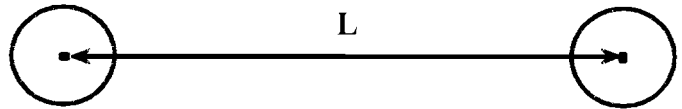


FIG. A1.2 Markings on Rotatable Specimen Supports

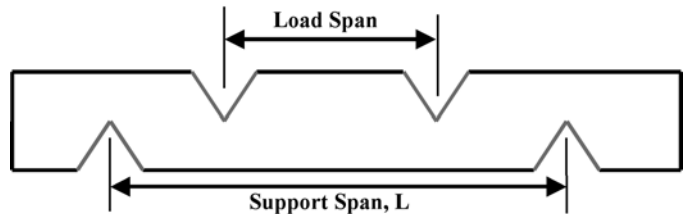


FIG. A1.3 Fixture Used to Align Loading Noses and Supports

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').

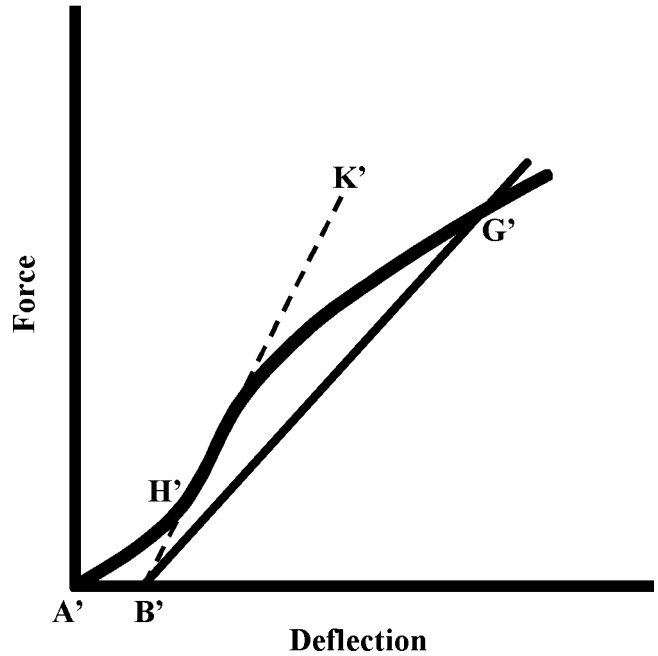


FIG. A2.2 Material without a Hookean Region

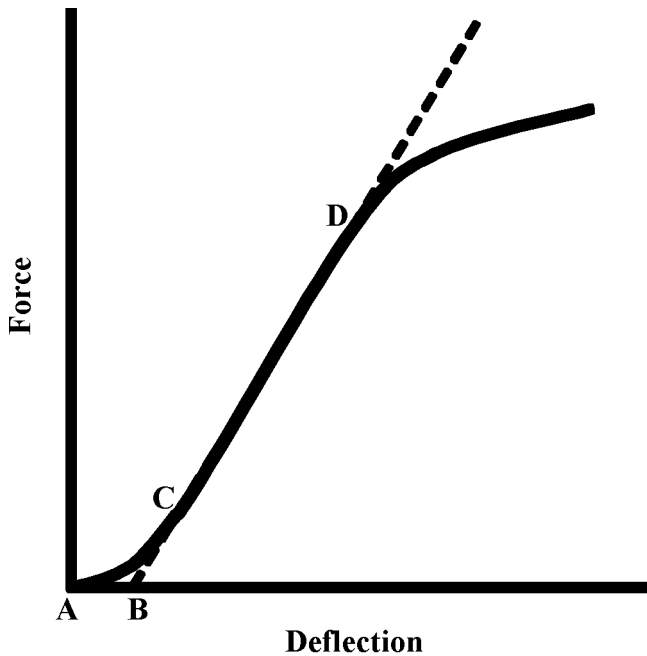


FIG. A2.1 Material with a Hookean Region

 **D 7264/D 7264M – 07**

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

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

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



Designation: D5628 – 10

Standard Test Method for Impact Resistance of Flat, Rigid Plastic Specimens by Means of a Falling Dart (Tup or Falling Mass)¹

This standard is issued under the fixed designation D5628; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

1. Scope*

1.1 This test method covers the determination of the threshold value of impact-failure energy required to crack or break flat, rigid plastic specimens under various specified conditions of impact of a free-falling dart (tup), based on testing many specimens.

1.2 The values stated in SI units are to be regarded as the standard. The values in parentheses are for information only.

1.3 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.* Specific hazard statements are given in Section 8.

NOTE 1—This test method and ISO 6603-1 are technically equivalent only when the test conditions and specimen geometry required for Geometry FE and the 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.

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.

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

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

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.

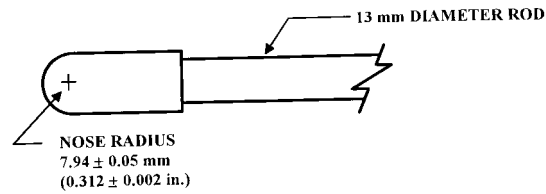


FIG. 1 (a)

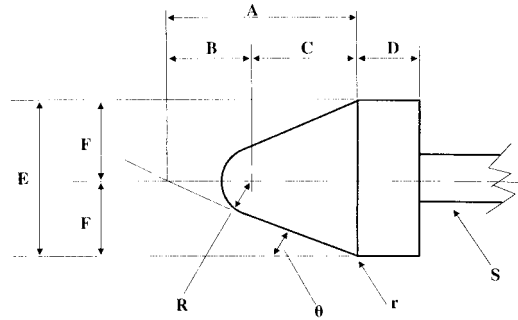


FIG. 1 (b)

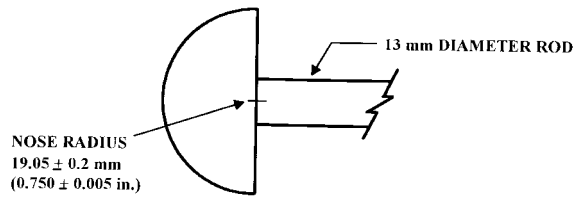


FIG. 1 (c)

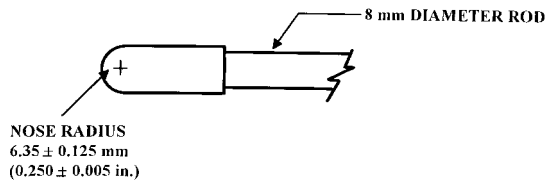


FIG. 1 (d)

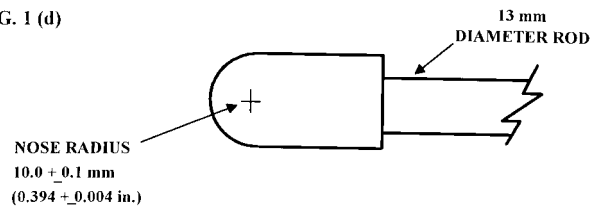


FIG. 1 (e)

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

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

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

^A Larger diameter shafts shall be used.

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

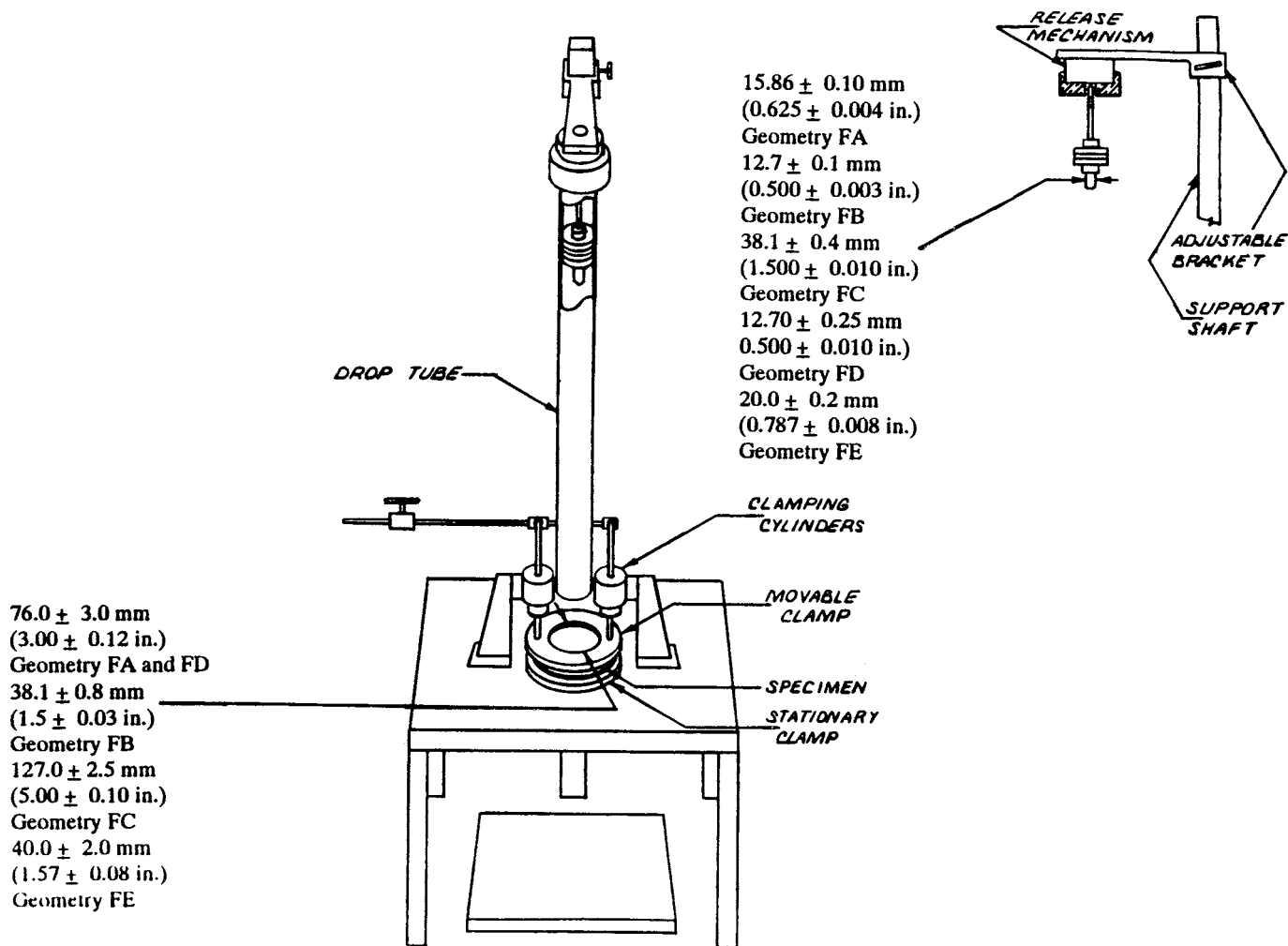


FIG. 2 One Type of Falling Mass Impact Tester

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 ± 3.0 mm (3.00 ± 0.12 in.). For Geometry FB, the inside diameter should be 38.1 ± 0.80 mm (1.5 ± 0.03 in.). For Geometry FC, the inside diameter should be 127.0 ± 2.5 mm (5.00 ± 0.10 in.). For Geometry FE an annular specimen clamp similar to that shown in Fig. 4 is required. The inside diameter should be 40 ± 2 mm (1.57 ± 0.08 in.) (see Table 1). For Geometries FA, FB, FC, and FD, the inside edge of the upper or supporting surface of the lower clamp should be rounded slightly; a radius of 0.8 mm (0.03 in.) has been found to be satisfactory. For Geometry FE this radius should be 1 mm (0.04 in.).

7.1.1.1 Contoured specimens shall be firmly held in a jig so that the point of impact will be the same for each specimen.

7.1.2 *Tup Support*, capable of supporting a 13.5-kg (30-lb) mass, with a release mechanism and a centering device to ensure uniform, reproducible drops.

NOTE 3—Reproducible drops are ensured through the use of a tube or cage within which the tup falls. In this event, care should be exercised so that any friction that develops will not reduce the velocity of the tup appreciably.

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

7.2 *Tup*:

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

7.2.2 The tup used in Geometry FB shall be made of tool steel hardened to 54 HRC or harder. The head shall have a diameter of 12.7 ± 0.1 mm (0.500 ± 0.003 in.) with a conical (50° included angle) configuration such that the conical surface is tangent to the hemispherical nose. A 6.4-mm (0.25-in.) diameter shaft is satisfactory (see Fig. 1(b) and Table 1).

7.2.3 The tup used for Geometry FC shall be made of tool steel hardened to 54 HRC or harder. The hemispherical head shall have a diameter of 38.1 ± 0.4 mm (1.5 ± 0.015 in.). A steel shaft about 13 mm (0.5 in.) in diameter shall be attached to the center of the flat surface of the head with its longitudinal

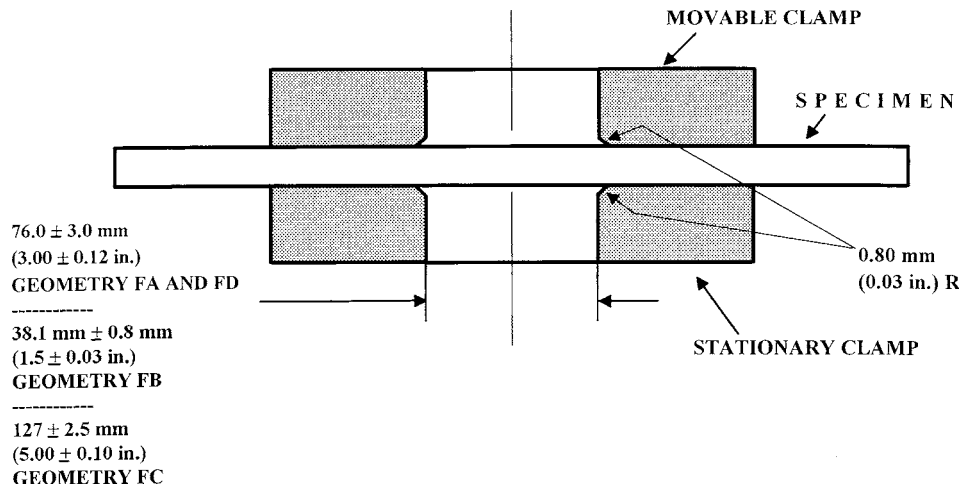


FIG. 3 Support Plate/Specimen/Clamp Configuration for Geometries FA, FB, FC, and FD

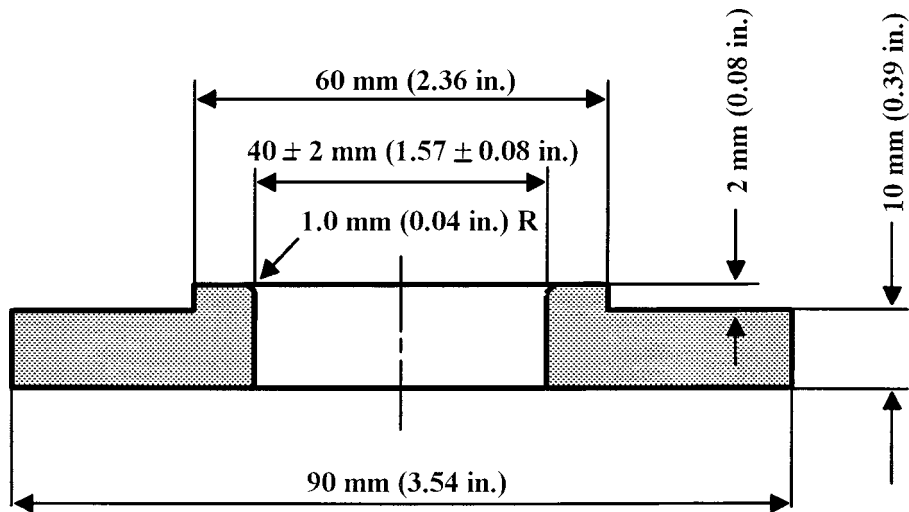


FIG. 4 Test-Specimen Support for Geometry FE

TABLE 1 Tup and Support Ring Dimensions

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

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)	89 by 89 (3.5 by 3.5)
FB	51 (2.0)	51 by 51 (2.0 by 2.0)
FC	140 (5.5)	140 by 140 (5.5 by 5.5)
FD	89 (3.5)	89 by 89 (3.5 by 3.5)
FE	58 (2.3)	58 by 58 (2.3 by 2.3)

tested. The optimal increments in tup mass range from 10 g or less for materials of low impact resistance, to 1 kg or higher for materials of high impact resistance.

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

7.5 The mass of the tup head and shaft assembly and the additional mass required must be known to within an accuracy of ± 1 %.

8. Hazards

8.1 Safety Precautions:

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

8.1.2 When heavy weights are used, it is hazardous for an operator to attempt to catch a rebounding tup. Figure 2 of Test Method [D2444](#) shows an effective mechanical “rebound catcher” employed in conjunction with a drop tube.

9. Sampling

9.1 Sample the material to meet the requirements of Section [14](#).

10. Test Specimens

10.1 Flat test specimens shall be large enough so that they can be clamped firmly if clamping is desirable. See [Table 2](#) for the minimum size of specimen that can be used for each test geometry.

10.2 The thickness of any specimen in a sample shall not differ by more than 5 % from the average specimen thickness of that sample. However, if variations greater than 5 % are unavoidable in a sample that is obtained from parts, the data shall not be used for referee purposes. For compliance with [ISO 6603-1](#) the test specimen shall be 60 ± 2 mm (2.4 ± 0.08 in.) in diameter or 60 ± 2 mm (2.4 ± 0.08 in.) square with a thickness of 2 ± 0.1 mm (0.08 ± 0.004 in.). Machining specimens to reduce thickness variation is not permissible.

10.3 When the approximate mean failure mass for a given sample is known, 20 specimens will usually yield sufficiently precise results. If the approximate mean failure mass is unknown, six or more additional specimens should be used to determine the appropriate starting point of the test. For compliance with [ISO 6603-1](#) a minimum of 30 specimens must be tested.

10.4 Carefully examine the specimen visually to ensure that samples are free of cracks or other obvious imperfections or damages, unless these imperfections constitute variables under study. Samples known to be defective should not be tested for specification purposes. Production parts, however, should be tested in the as-received condition to determine conformance to specified standards.

10.5 Select a suitable method for making the specimen that will not affect the impact resistance of the material.

10.6 Specimens range from having flat smooth surfaces on both sides, being textured on one side and smooth on the other side, or be textured on both surfaces. When testing, special attention must be paid to how the specimen is positioned on the support.

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

11. Conditioning

11.1 Unless otherwise specified, by contract or relevant ASTM material specification, condition the test specimens in accordance with Procedure A of Practice [D618](#), for those tests where conditioning is required. Temperature and humidity tolerances shall be in accordance with Section 7 of Practice [D618](#), unless otherwise specified by contract or relevant ASTM material specification. For compliance with ISO requirements, the specimens must be conditioned for a minimum of 16 h prior to testing or post conditioning in accordance with [ISO 291](#), unless the period of conditioning is stated in the relevant ISO specification for the material.

11.1.1 Note that for some hygroscopic materials, such as polyamides, the material specifications (for example, Classification System [D6779](#)) call for testing “dry as-molded specimens”. Such requirements take precedence over the above routine preconditioning to 50 % RH and require sealing the specimens in water vapor-impermeable containers as soon as molded and not removing them until ready for testing.

11.2 Conduct tests at the same temperature and humidity used for conditioning with tolerances in accordance with Section 7 of Practice [D618](#), unless otherwise specified by contract or relevant ASTM material specification.

11.3 When testing is desired at temperatures other than 23°C, transfer the materials to the desired test temperature within 30 min, preferably immediately, after completion of the preconditioning. Hold the specimens at the test temperature for no more than 5 h prior to test, and, in no case, for less than the time required to ensure thermal equilibrium in accordance with Section 10 of Test Method [D618](#).

12. Procedure

12.1 Determine the number of specimens for each sample to be tested, as specified in [10.3](#).

12.2 Mark the specimens and condition as specified in [11.1](#).

12.3 Prepare the test apparatus for the geometry (FA, FB, FC, FD, FE) selected.

12.4 Measure and record the thickness of each specimen in the area of impact. In the case of injection molded specimens, it is not necessary to measure each specimen. It is sufficient to

measure and record thickness for one specimen when it has been previously demonstrated that the thickness does not vary by more than 5 %.

12.5 Choose a specimen at random from the sample.

12.6 Clamp or position the specimen. The same surface or area should be the target each time (see 6.2). When clamping is employed, the force should be sufficient to prevent motion of the clamped portion of the specimen when the tup strikes.

12.7 Unless otherwise specified, initially position the tup 0.660 ± 0.008 m (26.0 ± 0.3 in.) from the surface of the specimen.

12.8 Adjust the total mass of the tup or the height of the tup, or both, to that amount expected to cause half the specimens to fail.

NOTE 5—If failures cannot be produced with the maximum available missile mass, the drop height can be increased. The test temperature could be reduced by (a) use of an ice-water mixture, or (b) by air-conditioned environment to provide one of the temperatures given in 3.3 of Test Methods D618. Conversely, if the unloaded tup causes failures when dropped 0.660 m, the drop height can be decreased. A moderate change in dart velocity will not usually affect the mean-failure energy appreciably. Refer to 5.1.

12.9 Release the tup. Be sure that it hits the center of the specimen. If the tup bounces, catch it to prevent multiple impact damage to the specimen's surface (see 8.1.2).

12.10 Remove the specimen and examine it to determine whether or not it has failed. Permanent deformation alone is not considered failure, but note the extent of such deformation (depth, area). For some polymers, for example, glass-reinforced polyester, incipient cracking is difficult to determine with the naked eye. Exposure of the stressed surface to a penetrating dye, such as gentian violet, confirms the onset of cracking. As a result of the wide range of failure types observed with different materials, the definition of failure defined in the material specification, or a definition agreed upon by supplier and user, shall take precedence over the definition stated in 3.2.1.

12.11 If the first specimen fails, remove one increment of mass from the tup while keeping the drop height constant, or decrease the drop height while keeping the mass constant (see 12.12). If the first specimen does not fail, add one increment of mass to the tup or increase the drop height one increment, as above. Then test the second specimen.

12.12 In this manner, select the impact height or mass for each test from the results observed with the specimen just previously tested. Test each specimen only once.

12.13 For best results, the mass or height increment used should be approximately equivalent to s , the estimated standard deviation of the test for that sample. An increment of 0.5 to 2 times s is satisfactory (see section 13.4).

NOTE 6—An increment of 10 % of the estimated mean-failure mass or mean-failure height has been found to be acceptable in most instances.

12.14 Keep a running plot of the data, as shown in Appendix X1. Use one symbol, such as X , to indicate a failure and a different symbol, such as O , to indicate a non-failure at each mass or height level.

12.15 For any specimen that gives a break behavior that appears to be an outlier, the conditions of that impact shall be

examined. The specimen shall be discarded only if a unique cause for the anomaly can be found, such as an internal flaw visible in the broken specimen. Note that break behavior can vary widely within a set of specimens. Data from specimens that show atypical behavior shall not be discarded simply on the basis of such behavior.

13. Calculation

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

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

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

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

where:

w = mean-failure mass, kg,

h = mean-failure height, mm,

d_w = increment of tup weight, kg,

d_h = increment of tup height, mm,

N = total number of failures or non-failures, whichever is smaller. For ease of notation, call whichever are used events,

w_o = smallest mass at which an event occurred, kg

h_o = lowest height at which an event occurred, mm (or in.),

$A = \sum_{i=0}^k in_i$,

$i = 0, 1, 2, \dots, k$ (counting index, starts at h_o or w_o),

n_i = number of events that occurred at h_i or w_i ,

$w_i = w_o + id_w$, and

$h_i = h_o + id_h$.

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

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

where:

MFE = mean-failure energy, J,

h = mean-failure height or constant height as applicable, mm

w = mean-failure mass or constant mass as applicable, kg, and

f = factor for conversion to joules.

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

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

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

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

where:

s_w = estimated standard deviation, mass, kg

s_h = estimated standard deviation, height, mm, and

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

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

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

$$S_{\bar{w}} = G s_w / \sqrt{N} \quad (6)$$

or

$$S_{\bar{h}} = G s_h / \sqrt{N} \quad (7)$$

where:

$S_{\bar{h}}$ = estimated standard deviation of the mean height, mm,

s_w = estimated standard deviation of the mean mass, kg,
and

G = factor that is a function of s/d (see Appendix X2).

A sample computation of s_w is found in Appendix X1.

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

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

$$S_{MFE} = s_{\bar{h}} w f \quad (8)$$

or

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

where:

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

14. Report

14.1 Report the following information:

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

14.1.2 Method of preparation of specimens,

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

14.1.4 If the specimen is textured, report whether textured surface faces upward towards the dart or downward away from the dart,

14.1.5 Means of clamping, if any,

14.1.6 Statement of geometry (FA, FB, FC, FD, FE) and procedure used—constant mass or constant height,

14.1.7 Thickness of specimens tested (average and range).

14.1.8 Number of test specimens employed to determine the mean failure height or mass,

14.1.9 Mean-failure energy,

14.1.10 Types of failure, for example: (a) crack or cracks on one surface only (the plaque could still hold water), (b) cracks that penetrate the entire thickness (water would probably penetrate through the plaque), (c) brittle shatter (the plaque is in several pieces after impact), or (d) ductile failure (the plaque is penetrated by a blunt tear). Report other observed deformation due to impact, whether the specimens fail or not,

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 (Bruceton Staircase Procedure). Each laboratory obtained one test result for a material.

NOTE 8—The number of laboratories participating in the 1972 round robin and the number of results collected do not meet the minimum requirements of Practice E691. Data in Tables 3 and 4 should be used only for guidance, and not as a referee when there is a dispute between users of this test method.

15.1.1 *Polymethylmethacrylate (PMMA)*—Specimens were cut from samples of 3.18-mm (0.125-in.) thickness extruded sheet.

15.1.2 *Styrene-Butadiene (SB)*—Specimens were cut from samples of 2.54-mm (0.100-in.) thickness extruded sheet.

15.1.3 *Acrylonitrile-Butadiene-Styrene (ABS)*—Specimens were cut from samples of 2.64-mm (0.104-in.) thickness extruded sheet. (**Warning**—The following explanations of r and R (15.2-15.2.3) are only intended to present a meaningful way of considering the approximate precision of this test method. The data in Tables 3 and 4 should not be rigorously applied to acceptance or rejection of material, as those data are specific to the round robin and not necessarily representative of other lots, conditions, materials, or laboratories. Users of this test method should apply the principles outlined in Practice E691 to generate data specific to their laboratory and materials, or between specific laboratories. The principles of 15.2-15.2.3 would then be valid for such data.)

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

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

TABLE 4 Precision, Method FC

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

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

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

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

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

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

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

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

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

16. Keywords

16.1 dart impact; falling-mass impact; impact; impact resistance; mean-failure energy; mean-failure height; mean-failure mass; rigid plastic; tup

APPENDIX

(Nonmandatory Information)

X1. SAMPLE CALCULATIONS

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 (<i>N_g</i>)	11 (<i>N_o</i>)		9 (<i>N</i>)	6 (<i>A</i>)	8 (<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

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

REFERENCES

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

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).

Polylite® 33199-99

Mezcla de Resinas Poliéster Insaturadas

DESCRIPCION

Polylite® 33199-99 es una mezcla de resinas de acumulación del tipo poliéster no saturadas, de usos generales de bajo costo, tixotrópica, de reactividad media y baja viscosidad. Esta resina es preacelerada, para gelado y curado a temperatura ambiente con la adición de Peróxido de Metil Etil Cetona al 50%.

Como resultado de la mezcla, la composición y las propiedades como resina líquida y curada pueden variar de un lote a otro lote.

APLICACION

- En general, fabricación de partes reforzadas con fibra de vidrio

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

El Polylite® 33199-99 es una mezcla de resinas de acumulación y REICHHOLD no ofrece ninguna garantía en cuanto al valor, utilidad, calidad, comerciabilidad o idoneidad para un uso específico de este material.

La conveniencia de este producto para un uso o aplicación en particular deberá ser determinada por el usuario.

El usuario debe estar de acuerdo en aceptar este material en las condiciones que tenga el producto al momento de la transferencia.

CARACTERISTICAS**BENEFICIOS**

- Reactividad media, baja viscosidad, tixotrópica
- Mezcla de resinas poliéster insaturadas
- Buenas propiedades de manejo para todos los procesos de laminación vertical y horizontal
- Más bajo costo que las resinas convencionales.

PROPIEDADES**PROPIEDADES TÍPICAS DE RESINA LÍQUIDA @ 25 °C**

Propiedades	Unidades	Especificaciones	Métodos de Análisis
No volátiles	%	47.5 – 62.5	RQMPEA-0041
Viscosidad Brookfield, LVF, 3/60	cPs	350 – 650	RQMPEA-0002
Índice de tixotropía(3/6) / (3/60) (mínimo)	s/u	2	RQMPEA-0006
Número ácido base solución	mg KOH /g muestra	5 – 30	RQMPEA-0026
Apariencia	s/u	Opaca	RQMPEA-0019
Color de resina líquida	s/y	Registro	RQMPEA-0019
Tiempo de gel *	minutos	15 – 20	RQMPEA-0066
Tiempo de curado *	minutos	Registro	RQMPEA-0066
Temperatura de exotermia *	°C	127 – 182	RQMPEA-0066
Gravedad específica	s/u	Registro	RQMPEA-0013
Estabilidad @ 105 °C (mínimo)	horas	2	RQMPEA-0118
Tiempo de vida en almacenamiento	meses	3	

* 100 g resina + 1.0 ml MEKP (Butanox M50) @ 25°C

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

ALMACENAMIENTO

Para asegurar una máxima estabilidad y mantener las propiedades óptimas de la resina, ésta deberá ser almacenada en contenedores cerrados a temperaturas inferiores de 24 °C (75 °F) y lejos de fuentes de fuego, calor y luz solar. La resina debe ser calentada al menos a 18 °C (65 °F) antes de usarse, a fin de asegurar su apropiado manejo y curado. Todas las áreas de almacenaje y contenedores deberán cumplir los códigos locales de incendios y construcciones. Se debe evitar el uso de contenedores de cobre o aleaciones de cobre para contener la resina. Almacene la resina separada de materiales oxidantes, peróxidos y sales metálicas. Mantenga los contenedores cerrados cuando no estén en uso. Los niveles de inventario deberán guardar un mínimo razonable, con una política de inventarios de primeras entradas, primeras salidas.

PRESENTACIÓN

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

SEGURIDAD**LEA Y ENTIENDA LA HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD DEL MATERIAL ANTES DE USAR ESTE PRODUCTO**

Obtenga una copia de la Hoja de Datos de Seguridad del Material (MSDS) antes de usarlo. Las MSDS están disponibles con su representante de ventas en Reichhold. Tal información debe ser solicitada a todos sus proveedores de materiales y entendida antes de usarlos.

ADVERTENCIA: se debe tener precaución para evitar el mezclado directo de cualquier peróxido orgánico con jabones metálicos, aminas o cualquier otro tipo de acelerador o promotor, ya que puede ocurrir una descomposición violenta y explosiva.

INFORMACION GENERAL

Para información especial sobre esta resina le recomendamos ponerse en contacto con nuestros representantes técnicos o llamar a nuestro departamento de Soporte Técnico al tel. (01 712) 122 95 22 en Atlacomulco, Edo. de México.



Far Eastern New Century Corporation

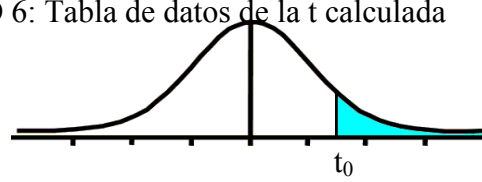
Eastlon PET CFF-A17 Specification

Property	Unit	Value	Test method
IV	dl / g	0.65 ± 0.02	FET - 5SACQQPR02
Melting point	°C	255 ± 5	FET - 5SACQQPR03
Color (L value)	Amorphous	80 ± 2.5	FET - 5SACQQPR04
Color (B value)	Amorphous	4.0 ± 1.0	FET - 5SACQQPR04
Acid number	meq/kg	<35	FET - 5SACQQPR06
Water content	wt %	< 0.4	FET - 5SACQQPR25
Packing	kg / bag	950 / 1000	
Pellet shape		cylinder	
Pellet weight	g/100grains	1.6 ± 0.3	FET - 5SACQQPR26
Real Density	g / ml	1.35 ± 0.20	FET - 5SACQQPR26
Bulk density	g / ml	0.85 ± 0.05	FET - 5SACQQPR26
DEG content	wt %	1.5 ± 0.2	FET - 5SACQQPS26
TiO ₂	wt %	0.37 ± 0.05	FET - 5SACQQPS06

** Notes: Properties reported here are typical of average lots. FAR EASTERN NEW CENTURY CORPORATION makes no representation that the material in any particular shipment will conform exactly to the values given.*

ANEXO 6: Tabla de datos de la t calculada

Tabla t-Student



Grados de libertad	0.25	0.1	0.05	0.025	0.01	0.005
1	1.0000	3.0777	6.3137	12.7062	31.8210	63.6559
2	0.8165	1.8856	2.9200	4.3027	6.9645	9.9250
3	0.7649	1.6377	2.3534	3.1824	4.5407	5.8408
4	0.7407	1.5332	2.1318	2.7765	3.7469	4.6041
5	0.7267	1.4759	2.0150	2.5706	3.3649	4.0321
6	0.7176	1.4398	1.9432	2.4469	3.1427	3.7074
7	0.7111	1.4149	1.8946	2.3646	2.9979	3.4995
8	0.7064	1.3968	1.8595	2.3060	2.8965	3.3554
9	0.7027	1.3830	1.8331	2.2622	2.8214	3.2498
10	0.6998	1.3722	1.8125	2.2281	2.7638	3.1693
11	0.6974	1.3634	1.7959	2.2010	2.7181	3.1058
12	0.6955	1.3562	1.7823	2.1788	2.6810	3.0545
13	0.6938	1.3502	1.7709	2.1604	2.6503	3.0123
14	0.6924	1.3450	1.7613	2.1448	2.6245	2.9768
15	0.6912	1.3406	1.7531	2.1315	2.6025	2.9467
16	0.6901	1.3368	1.7459	2.1199	2.5835	2.9208
17	0.6892	1.3334	1.7396	2.1098	2.5669	2.8982
18	0.6884	1.3304	1.7341	2.1009	2.5524	2.8784
19	0.6876	1.3277	1.7291	2.0930	2.5395	2.8609
20	0.6870	1.3253	1.7247	2.0860	2.5280	2.8453
21	0.6864	1.3232	1.7207	2.0796	2.5176	2.8314
22	0.6858	1.3212	1.7171	2.0739	2.5083	2.8188
23	0.6853	1.3195	1.7139	2.0687	2.4999	2.8073
24	0.6848	1.3178	1.7109	2.0639	2.4922	2.7970
25	0.6844	1.3163	1.7081	2.0595	2.4851	2.7874
26	0.6840	1.3150	1.7056	2.0555	2.4786	2.7787
27	0.6837	1.3137	1.7033	2.0518	2.4727	2.7707
28	0.6834	1.3125	1.7011	2.0484	2.4671	2.7633
29	0.6830	1.3114	1.6991	2.0452	2.4620	2.7564
30	0.6828	1.3104	1.6973	2.0423	2.4573	2.7500
31	0.6825	1.3095	1.6955	2.0395	2.4528	2.7440
32	0.6822	1.3086	1.6939	2.0369	2.4487	2.7385
33	0.6820	1.3077	1.6924	2.0345	2.4448	2.7333
34	0.6818	1.3070	1.6909	2.0322	2.4411	2.7284
35	0.6816	1.3062	1.6896	2.0301	2.4377	2.7238
36	0.6814	1.3055	1.6883	2.0281	2.4345	2.7195
37	0.6812	1.3049	1.6871	2.0262	2.4314	2.7154
38	0.6810	1.3042	1.6860	2.0244	2.4286	2.7116
39	0.6808	1.3036	1.6849	2.0227	2.4258	2.7079
40	0.6807	1.3031	1.6839	2.0211	2.4233	2.7045
41	0.6805	1.3025	1.6829	2.0195	2.4208	2.7012
42	0.6804	1.3020	1.6820	2.0181	2.4185	2.6981
43	0.6802	1.3016	1.6811	2.0167	2.4163	2.6951
44	0.6801	1.3011	1.6802	2.0154	2.4141	2.6923
45	0.6800	1.3007	1.6794	2.0141	2.4121	2.6896
46	0.6799	1.3002	1.6787	2.0129	2.4102	2.6870
47	0.6797	1.2998	1.6779	2.0117	2.4083	2.6846
48	0.6796	1.2994	1.6772	2.0106	2.4066	2.6822
49	0.6795	1.2991	1.6766	2.0096	2.4049	2.6800

50	0.6794	1.2987	1.6759	2.0086	2.4033	2.6778
51	0.6793	1.2984	1.6753	2.0076	2.4017	2.6757
52	0.6792	1.2980	1.6747	2.0066	2.4002	2.6737
53	0.6791	1.2977	1.6741	2.0057	2.3988	2.6718
54	0.6791	1.2974	1.6736	2.0049	2.3974	2.6700
55	0.6790	1.2971	1.6730	2.0040	2.3961	2.6682
56	0.6789	1.2969	1.6725	2.0032	2.3948	2.6665
57	0.6788	1.2966	1.6720	2.0025	2.3936	2.6649
58	0.6787	1.2963	1.6716	2.0017	2.3924	2.6633
59	0.6787	1.2961	1.6711	2.0010	2.3912	2.6618
60	0.6786	1.2958	1.6706	2.0003	2.3901	2.6603
61	0.6785	1.2956	1.6702	1.9996	2.3890	2.6589
62	0.6785	1.2954	1.6698	1.9990	2.3880	2.6575
63	0.6784	1.2951	1.6694	1.9983	2.3870	2.6561
64	0.6783	1.2949	1.6690	1.9977	2.3860	2.6549
65	0.6783	1.2947	1.6686	1.9971	2.3851	2.6536
66	0.6782	1.2945	1.6683	1.9966	2.3842	2.6524
67	0.6782	1.2943	1.6679	1.9960	2.3833	2.6512
68	0.6781	1.2941	1.6676	1.9955	2.3824	2.6501
69	0.6781	1.2939	1.6672	1.9949	2.3816	2.6490
70	0.6780	1.2938	1.6669	1.9944	2.3808	2.6479
71	0.6780	1.2936	1.6666	1.9939	2.3800	2.6469
72	0.6779	1.2934	1.6663	1.9935	2.3793	2.6458
73	0.6779	1.2933	1.6660	1.9930	2.3785	2.6449
74	0.6778	1.2931	1.6657	1.9925	2.3778	2.6439
75	0.6778	1.2929	1.6654	1.9921	2.3771	2.6430
76	0.6777	1.2928	1.6652	1.9917	2.3764	2.6421
77	0.6777	1.2926	1.6649	1.9913	2.3758	2.6412
78	0.6776	1.2925	1.6646	1.9908	2.3751	2.6403
79	0.6776	1.2924	1.6644	1.9905	2.3745	2.6395
80	0.6776	1.2922	1.6641	1.9901	2.3739	2.6387
81	0.6775	1.2921	1.6639	1.9897	2.3733	2.6379
82	0.6775	1.2920	1.6636	1.9893	2.3727	2.6371
83	0.6775	1.2918	1.6634	1.9890	2.3721	2.6364
84	0.6774	1.2917	1.6632	1.9886	2.3716	2.6356
85	0.6774	1.2916	1.6630	1.9883	2.3710	2.6349
86	0.6774	1.2915	1.6628	1.9879	2.3705	2.6342
87	0.6773	1.2914	1.6626	1.9876	2.3700	2.6335
88	0.6773	1.2912	1.6624	1.9873	2.3695	2.6329
89	0.6773	1.2911	1.6622	1.9870	2.3690	2.6322
90	0.6772	1.2910	1.6620	1.9867	2.3685	2.6316
91	0.6772	1.2909	1.6618	1.9864	2.3680	2.6309
92	0.6772	1.2908	1.6616	1.9861	2.3676	2.6303
93	0.6771	1.2907	1.6614	1.9858	2.3671	2.6297
94	0.6771	1.2906	1.6612	1.9855	2.3667	2.6291
95	0.6771	1.2905	1.6611	1.9852	2.3662	2.6286
96	0.6771	1.2904	1.6609	1.9850	2.3658	2.6280
97	0.6770	1.2903	1.6607	1.9847	2.3654	2.6275
98	0.6770	1.2903	1.6606	1.9845	2.3650	2.6269
99	0.6770	1.2902	1.6604	1.9842	2.3646	2.6264
100	0.6770	1.2901	1.6602	1.9840	2.3642	2.6259
∞	0.6745	1.2816	1.6449	1.9600	2.3263	2.5758



LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES
ENSAYO DE FLEXIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS
INFORME N°: 180399501620170111-EFC

Designación del material: Materiales compuestos resina poliéster reforzado con fibras PET.
Método de ensayo: ASTM D7264-2015.
Empresa / Cliente: Sr. Christian Mauricio Sailema Moyolema.
Fecha de Inicio de Ensayo: 17 de enero de 2017.
Fecha de Finalización de Ensayo: 18 de enero de 2017.

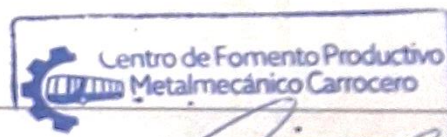
Los resultados obtenidos en el presente informe corresponden a ensayos realizados en muestras de materiales compuestos. Las muestras fueron entregadas en el Laboratorio de Resistencia de Materiales del CFPMC del H.G.P. Tungurahua.

Número de Probetas cuantificadas

N°	Tipo de Fibra	Fracción volumétrica de Resina Poliéster	Fracción volumétrica de Refuerzo PET	Dirección de las fibras	Cantidad
1	Fibra larga	70%	30%	0° longitudinal	5
2	Fibra larga	80%	20%	0° longitudinal	5
3	Fibra larga	90%	10%	0° longitudinal	5
4	Fibra corta	70%	30%	Azar	5
5	Fibra corta	80%	20%	Azar	5
6	Fibra corta	90%	10%	Azar	5
				TOTAL	30

Nota: El proceso de fabricación para la elaboración de las probetas de resina poliéster con refuerzo de PET se lo realizó con dos configuraciones: fibra larga y corta, con direcciones de las fibras a 0° longitudinal y al azar respectivamente.

Distancia entre apoyos: 105 mm



Elaborado por:		Aprobado por:
Ing. Fernando Galarza	Ing. Ángel Balseca	Ing. Esteban López Espinel
Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC	Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC	Director Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC

Ambato, 23 de Enero de 2017.
N°. Factura. 001-002-000002143



Resultados

Muestra	Identificación de muestra	Temperatura y humedad	Dimensiones		Carga máxima (N)	Esfuerzo de Rotura (MPa)	Módulo de flexión (MPa)	Deflexión (mm)	Tipo de falla evaluado
1	180399501620170111-EFC-01-1	22°C, 62%	a=3,54	b=13,21	62,10	1,33	2630,67	11,336	OAV
2	180399501620170111-EFC-01-2	22°C, 62%	a=3,30	b=13,20	49,52	1,14	2848,74	12,422	OAV
3	180399501620170111-EFC-01-3	22°C, 62%	a=3,33	b=13,20	61,27	1,39	2254,25	16,740	OAV
4	180399501620170111-EFC-01-4	22°C, 62%	a=3,33	b=13,20	67,14	1,52	2076,71	24,545	OAV
5	180399501620170111-EFC-01-5	22°C, 62%	a=3,33	b=13,10	41,80	0,89	2785,43	11,930	OAB
6	180399501620170111-EFC-02-1	22°C, 66%	a=3,35	b=13,10	52,71	1,20	3508,58	10,576	OAV
7	180399501620170111-EFC-02-2	22°C, 66%	a=3,36	b=13,10	52,87	1,20	2593,16	9,028	OAB
8	180399501620170111-EFC-02-3	22°C, 66%	a=3,65	b=13,00	57,24	1,20	2214,37	9,865	OAV
9	180399501620170111-EFC-02-4	22°C, 66%	a=3,60	b=13,00	55,56	1,18	2271,63	10,28	OAV
10	180399501620170111-EFC-02-5	22°C, 66%	a=3,60	b=13,05	61,94	1,31	2658,71	10,567	OAV
11	180399501620170111-EFC-03-1	21°C, 60%	a=3,60	b=13,00	56,26	1,21	1879,01	14,57	OAV
12	180399501620170111-EFC-03-2	21°C, 60%	a=3,60	b=13,00	53,88	1,13	1724,76	21,107	OAV
13	180399501620170111-EFC-03-3	21°C, 60%	a=3,60	b=13,00	75,53	1,61	2196,85	17,732	OAV
14	180399501620170111-EFC-03-4	21°C, 60%	a=3,70	b=13,10	62,78	1,30	2305,37	18,77	OAV
15	180399501620170111-EFC-03-5	21°C, 60%	a=3,25	b=13,00	57,74	1,36	2695,49	13,96	OAV
16	180399501620170111-EFC-04-1	18°C, 82%	a=2,85	b=13,18	29,04	0,77	2964,49	8,984	OAB
17	180399501620170111-EFC-04-2	18°C, 82%	a=3,25	b=13,00	33,57	0,79	1926,99	9,198	OAB
18	180399501620170111-EFC-04-3	18°C, 82%	a=3,25	b=12,90	30,38	0,72	2525,66	7,341	OAB
19	180399501620170111-EFC-04-4	18°C, 82%	a=3,25	b=12,90	34,58	0,80	2519,88	12,379	OAB
20	180399501620170111-EFC-04-5	18°C, 82%	a=3,20	b=13,00	31,39	0,75	2384,03	8,749	OAB
21	180399501620170111-EFC-05-1	18°C, 82%	a=2,75	b=13,00	28,87	0,81	3356,26	7,112	OAB
22	180399501620170111-EFC-05-2	18°C, 82%	a=2,70	b=12,95	31,89	0,90	3778,78	11,553	OAB
23	180399501620170111-EFC-05-3	18°C, 82%	a=3,50	b=13,30	30,05	0,65	1619,23	9,225	OAB
24	180399501620170111-EFC-05-4	18°C, 82%	a=2,80	b=13,20	31,89	0,86	3188,41	10,721	OAV
25	180399501620170111-EFC-05-5	18°C, 82%	a=3,50	b=13,10	26,69	0,58	1482,01	5,794	OAB



Centro de Fomento Productivo
Metalmecánico Carrocero



Honorable Gobierno
Provincial de Tungurahua

26	180399501620170111-EFC-06-1	20°C, 65%	a=3,20	b=13,00	29,71	0,65	2082,33	9,066	OAB
27	180399501620170111-EFC-06-2	20°C, 65%	a=2,60	b=13,00	24,84	0,73	3315,60	7,741	OAB
28	180399501620170111-EFC-06-3	20°C, 65%	a=2,70	b=13,30	25,34	0,70	3273,23	7,852	OAV
29	180399501620170111-EFC-06-4	20°C, 65%	a=2,70	b=13,10	28,20	0,80	3323,20	8,607	OAB
30	180399501620170111-EFC-06-5	20°C, 65%	a=3,20	b=12,90	30,21	0,72	1901,74	8,004	OAB

Nomenclatura:

De tipo de falla evaluado: El tipo de falla evaluado se lo realiza mediante los criterios de la norma ASTM D7264-2015.

Primer carácter	Segundo carácter	Tercer carácter
O	Otros	Fondo
O	Otros	Varios



LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES
ENSAYO DE TRACCIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS
INFORME N°: A1 - 180399501620170111-ETC

Designación del material: Materiales compuestos de resina reforzada con fibra de vidrio.
Método de ensayo: ASTM D3039-2015.
Empresa / Cliente: Sr. Christian Mauricio Sailema Moyolema.
Fecha de Inicio de Ensayo: 18 de enero de 2017.
Fecha de Finalización de Ensayo: 19 de enero de 2017.

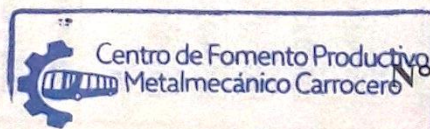
Los resultados obtenidos en el presente informe corresponden a ensayos realizados en muestras de materiales compuestos. Las muestras fueron entregadas en el Laboratorio de Resistencia de Materiales del CFPMC del H.G.P. Tungurahua.

Número de Probetas cuantificadas

N°	Tipo de Fibra	Fracción volumétrica de Resina Poliéster	Fracción volumétrica de Refuerzo PET	Dirección de las fibras	Cantidad
1	Fibra larga	70%	30%	0° longitudinal	5
2	Fibra larga	80%	20%	0° longitudinal	5
3	Fibra larga	90%	10%	0° longitudinal	5
4	Fibra corta	70%	30%	Azar	5
5	Fibra corta	80%	20%	Azar	5
6	Fibra corta	90%	10%	Azar	5
				TOTAL	30

Nota: El proceso de fabricación para la elaboración de las probetas de resina poliéster con refuerzo de PET se lo realizó con dos configuraciones: fibra larga y corta, con direcciones de las fibras a 0° longitudinal y al azar respectivamente.

Elaborado por:		Aprobado por:
Ing. Fernando Galarza	Ing. Angel Balseca	Ing. Esteban López Espinel
Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC	Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC	Director Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC



Ambato, 30 Enero de 2017.
Factura. 001-002-000002143



Resultados:

Muestra	Identificación de muestra	Temperatura y humedad	Dimensiones	Carga máxima (N)	Esfuerzo de fluencia (MPa)	Esfuerzo de Rotura de Rotura (MPa)	Módulo de elasticidad (Calculado) (MPa)	% Elongación (Calculado)	Tipo de falla evaluado
1	180399501620170111-ETC-01-1	22°C, 45%	a=3,55 ;e=25,30	2856,57	1,90	31,81	1169,48	2,72	AGM
2	180399501620170111-ETC-01-2	22°C, 45%	a=3,55 ;e=25,15	2426,97	1,51	29,46	1164,42	2,53	LIT
3	180399501620170111-ETC-01-3	22°C, 45%	a=3,33 ;e=25,00	2785,17	1,79	33,45	1276,71	2,62	LIT
4	180399501620170111-ETC-01-4	22°C, 45%	a=3,40 ;e=24,82	2860,03	1,68	33,89	1144,93	2,96	AGM
5	180399501620170111-ETC-01-5	22°C, 45%	a=3,33 ;e=25,12	2183,58	1,44	26,10	1225,35	2,13	AGM
6	180399501620170111-ETC-02-1	22°C, 50%	a=3,50 ;e=24,85	2967,79	1,32	34,07	1124,42	3,03	LIT
7	180399501620170111-ETC-02-2	22°C, 50%	a=3,42 ;e=25,00	3192,21	1,11	37,34	1305,59	2,86	AGM
8	180399501620170111-ETC-02-3	22°C, 50%	a=3,45 ;e=25,00	2509,38	1,38	29,09	1217,154	2,39	LIT
9	180399501620170111-ETC-02-4	22°C, 50%	a=3,43 ;e=25,12	2454,16	1,25	28,48	1167,21	2,44	LAT
10	180399501620170111-ETC-02-5	22°C, 50%	a=3,50 ;e=25,00	3385,91	1,09	38,70	1277,22	3,03	LIT
11	180399501620170111-ETC-03-1	24°C, 55%	a=3,45 ;e=25,00	2437,38	1,13	28,26	1035,16	2,73	LIT
12	180399501620170111-ETC-03-2	24°C, 55%	a=3,10 ;e=25,00	3161,32	1,61	40,67	1087,43	3,74	LIT
13	180399501620170111-ETC-03-3	24°C, 55%	a=3,15 ;e=24,90	2404,48	1,22	30,66	1102,87	2,78	AGM
14	180399501620170111-ETC-03-4	24°C, 55%	a=3,20 ;e=25,00	2999,34	2,18	37,49	1125,82	3,33	AGM
15	180399501620170111-ETC-03-5	24°C, 55%	a=3,25 ;e=24,75	3128,09	1,94	38,64	1230,57	3,14	LIT
16	180399501620170111-ETC-04-1	22°C, 45%	a=2,95 ;e=25,00	1884,30	1,38	25,55	1156,10	2,21	AGM
17	180399501620170111-ETC-04-2	22°C, 45%	a=3,00 ;e=24,75	1999,95	1,40	26,94	1127,19	2,39	LIT
18	180399501620170111-ETC-04-3	22°C, 45%	a=3,20 ;e=25,00	1867,35	1,48	23,34	1056,10	2,21	LIT
19	180399501620170111-ETC-04-4	22°C, 45%	a=2,90 ;e=24,90	1484,31	1,28	20,56	1082,10	1,90	AGM
20	180399501620170111-ETC-04-5	22°C, 45%	a=3,00 ;e=25,00	1870,20	1,51	24,94	1176,41	2,12	AGM



Centro de Fomento Productivo
Metalmeccánico Carroero

Honorable Gobierno
Provincial de Tungurahua

21	180399501620170111-ETC-05-1	22°C, 50%	a=3,00 ; e=24,70	1627,66	1,12	21,97	946,98	2,32	LAT
22	180399501620170111-ETC-05-2	22°C, 50%	a=2,70 ; e=25,15	1663,24	1,36	24,49	1098,20	2,23	AGM
23	180399501620170111-ETC-05-3	22°C, 50%	a=2,85 ; e=25,00	1573,95	1,37	22,09	1017,97	2,17	AGM
24	180399501620170111-ETC-05-4	22°C, 50%	a=2,90 ; e=25,00	1725,01	1,60	23,79	1076,47	2,21	LIT
25	180399501620170111-ETC-05-5	22°C, 50%	a=2,75 ; e=25,00	1450,07	1,13	21,09	980,93	2,15	LAT
26	180399501620170111-ETC-06-1	23°C, 55%	a=3,10 ; e=25,10	1422,38	1,47	18,28	923,23	1,98	LAT
27	180399501620170111-ETC-06-2	23°C, 55%	a=3,00 ; e=24,90	1686,41	1,43	22,58	999,11	2,26	AGM
28	180399501620170111-ETC-06-3	23°C, 55%	a=2,50 ; e=24,90	1644,95	1,67	26,42	1158,77	2,28	LIT
29	180399501620170111-ETC-06-4	23°C, 55%	a=2,70 ; e=24,95	1635,04	1,23	24,27	1118,43	2,17	LAT
30	180399501620170111-ETC-06-5	23°C, 55%	a=2,60 ; e=25,00	1581,16	1,43	24,29	1046,98	2,32	LAT

Nomenclatura:

Tipo de falla evaluado: El tipo de falla evaluado se lo realiza mediante los criterios de la norma ASTM D3039-2015.

Primer caracter	Segundo caracter	Tercer caracter	Parte superior
L	A	T	Parte superior
L	I	T	Parte superior
A	G	M	Medio

Reemplaza: Este informe sustituye y deja sin validez a los resultados presentados en el informe de materiales compuestos N° 180399501620170111-ETC de fecha 24 de Enero de 2017, correspondiente a la factura 001-002-000002143.

1

2

3

4

ANEXO 8: Planos

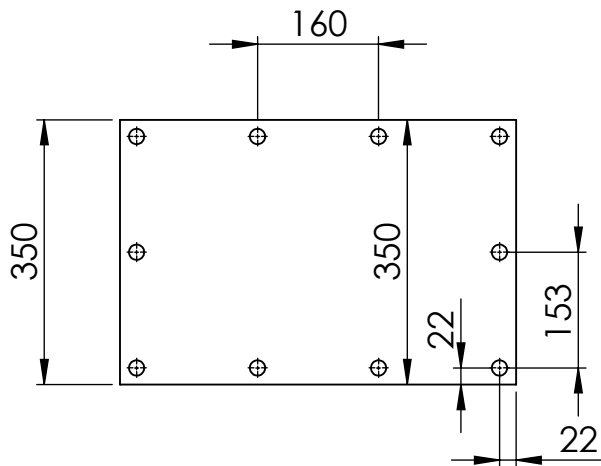
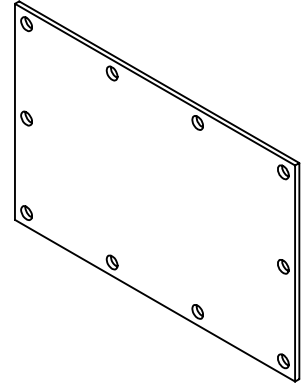
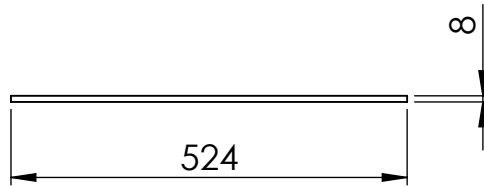
A

B

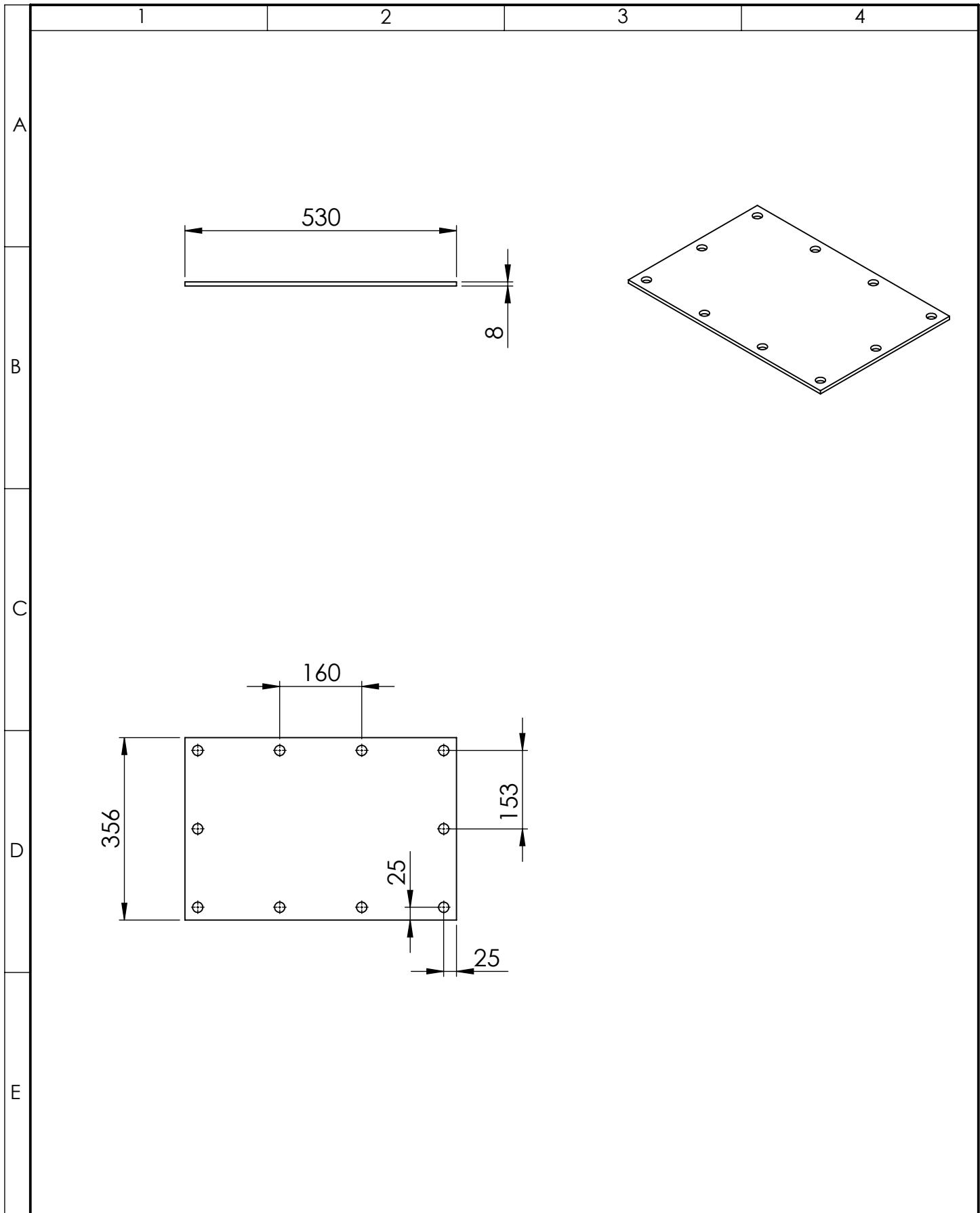
C

D

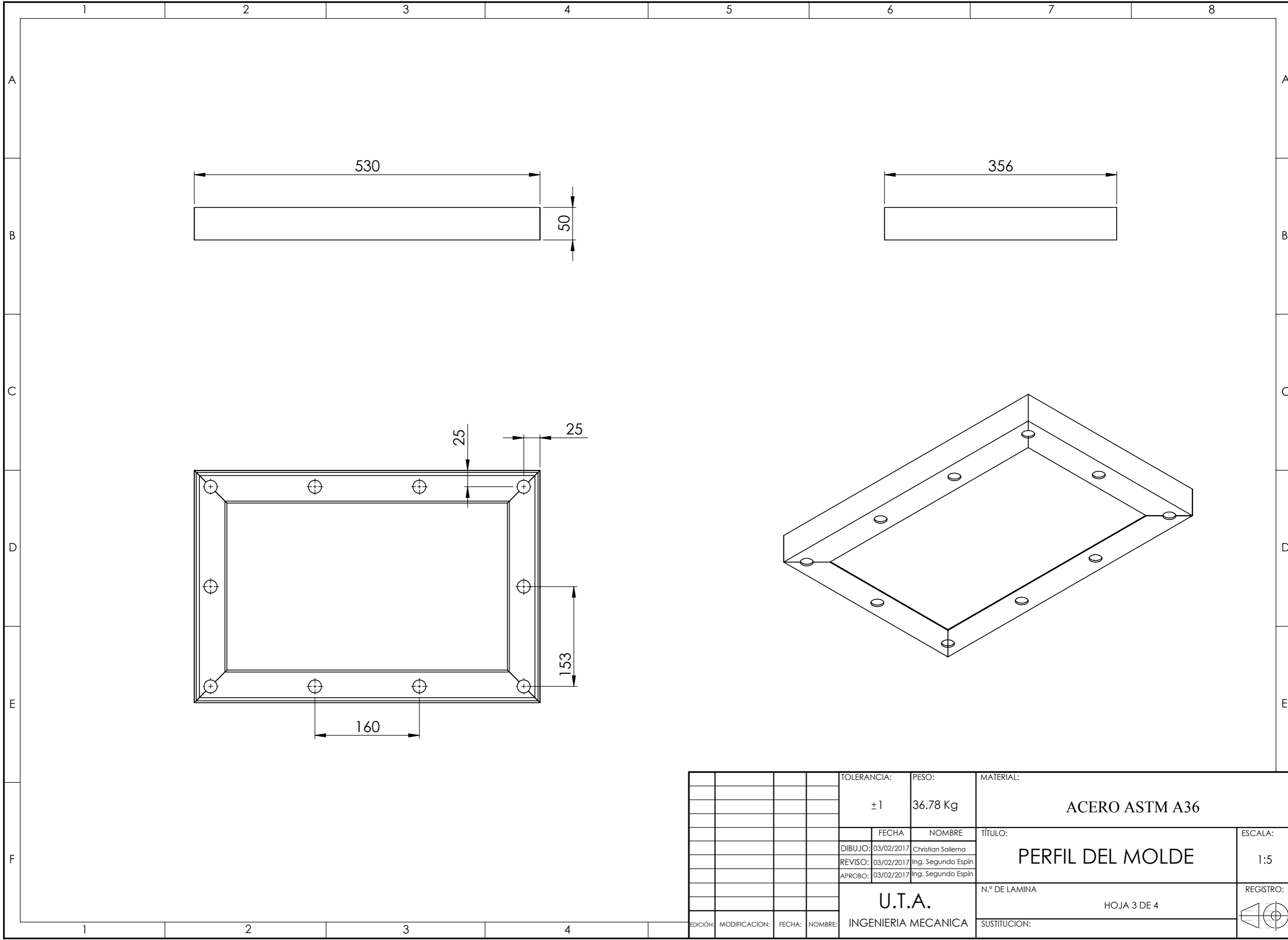
E



				TOLERANCIA: ± 1	PESO: 11.32 Kg	MATERIAL: ACERO ASTM A36	
						TÍTULO: BASE DEL MOLDE	ESCALA: 1:10
				DIBUJO: 03/02/2017	Christian Sailema	N.º DE LAMINA HOJA 1 DE 4	REGISTRO:
				REVISO: 13/03/2017	Ing. Segundo Espin		
				APROBO: 13/03/2017	Ing. Segundo Espin		
				U.T.A			
EDICION	MODIFICACION	FECHA	NOMBRE	INGENIERIA MECANICA		SUSTITUCION:	



				TOLERANCIA: ± 1	PESO: 11.65 Kg	MATERIAL: ACERO ASTM A36	
						TÍTULO: TAPA DEL MOLDE	ESCALA: 1:10
				DIBUJO: 03/02/2017 Christian Sailema	FECHA		NOMBRE
				REVISO: 03/02/2017 Ing. Mauricio Carrillo			
				APROBO: 03/02/2017 Ing. Mauricio Carrillo			
				U.T.A		N.º DE LAMINA	REGISTRO:
							HOJA 2 DE 4
EDICION	MODIFICACION	FECHA	NOMBRE	INGENIERIA MECANICA		SUSTITUCION:	



		TOLERANCIA:		PESO:		MATERIAL:	
		±1		36.78 Kg		ACERO ASTM A36	
		FECHA		NOMBRE		TÍTULO:	
		DIBUJO: 03/02/2017		Christian Sailema		PERFIL DEL MOLDE	
		REVISO: 03/02/2017		Ing. Segundo Espín			
		APROBO: 03/02/2017		Ing. Segundo Espín			
				U.T.A.		N.º DE LAMINA	
				INGENIERIA MECANICA		HOJA 3 DE 4	
EDICIÓN:		MODIFICACION:		FECHA:		REGISTRO:	

1 2 3 4 5 6 7 8

A

B

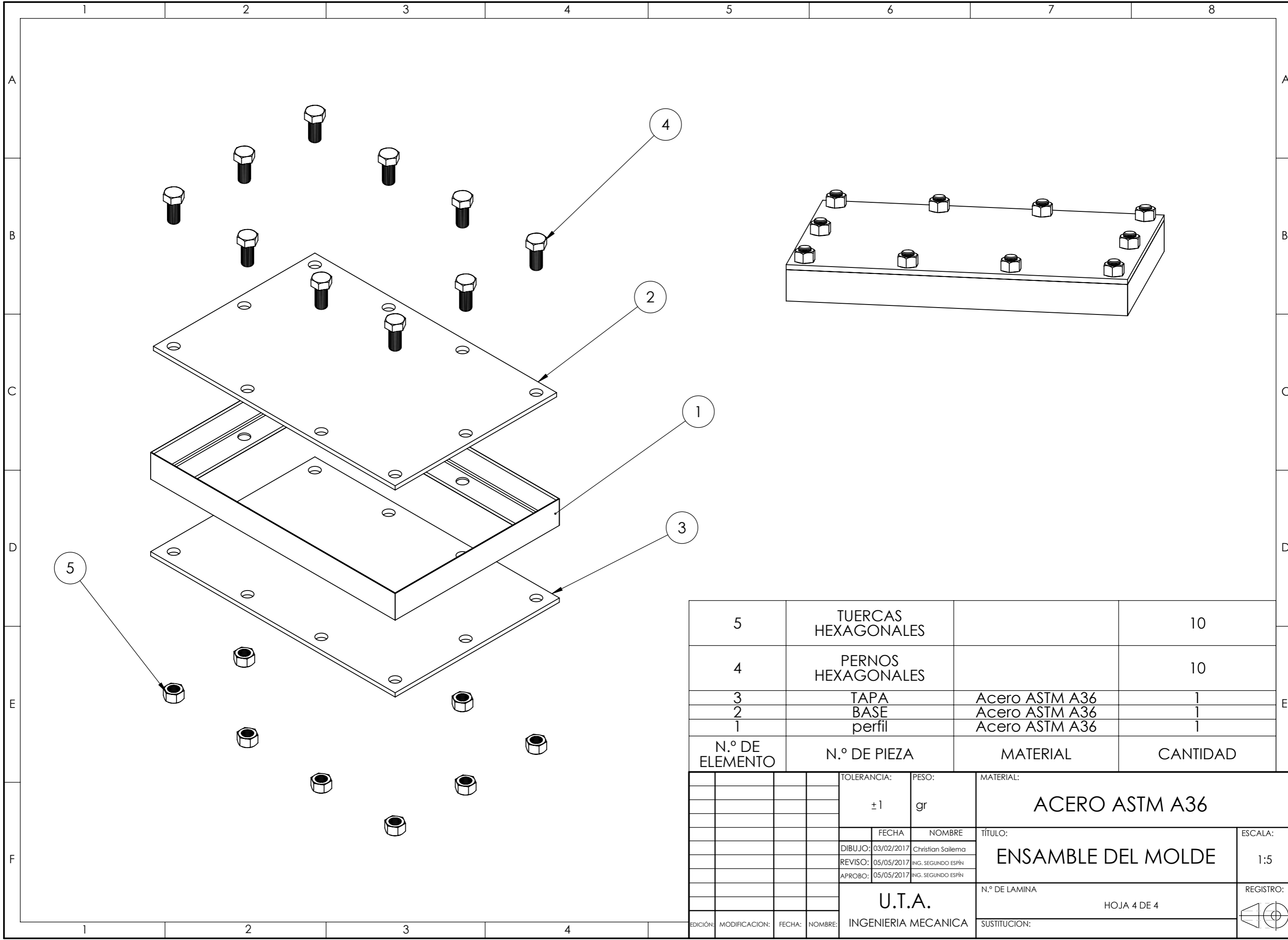
C

D

E

F

1 2 3 4



5	TUERCAS HEXAGONALES		10
4	PERNOS HEXAGONALES		10
3	TAPA	Acero ASTM A36	1
2	BASE	Acero ASTM A36	1
1	perfil	Acero ASTM A36	1
N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	MATERIAL	CANTIDAD

TOLERANCIA:		PESO:	MATERIAL:	
±1		gr	ACERO ASTM A36	
FECHA		NOMBRE		TÍTULO:
DIBUJO: 03/02/2017		Christian Sailema		ENSAMBLE DEL MOLDE
REVISO: 05/05/2017		ING. SEGUNDO ESPÍN		
APROBO: 05/05/2017		ING. SEGUNDO ESPÍN		
U.T.A.			N.º DE LAMINA	REGISTRO:
INGENIERIA MECANICA			HOJA 4 DE 4	1:5
EDICIÓN:	MODIFICACION:	FECHA:	NOMBRE:	SUSTITUCION:

