

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:

“OBTENCIÓN DE UN MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ POLIÉSTER Y
LANA DE OVEJA PARA EVALUAR EL COMPORTAMIENTO MECÁNICO”.

AUTOR: Espín Medina Christian Xavier.

TUTOR: Ing. Segundo Espín Lagos, Mg.

Ambato – Ecuador

2017

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor de la presente Tesis de grado, con el tema: “OBTENCIÓN DE UN MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ POLIÉSTER Y LANA DE OVEJA PARA EVALUAR EL COMPORTAMIENTO MECÁNICO”, desarrollado por el Sr. Espín Medina Christian Xavier egresado de la Facultad de Ingeniería Mecánica, certifico que el presente trabajo experimental es original de su autor y cumple con todos los requerimientos tanto científicos como técnicos establecidos en el reglamento interno de la Universidad.

Ing. Segundo Espín, Mg
TUTOR DE TESIS

AUTORÍA DEL TRABAJO EXPERIMENTAL

Yo, Espín Medina Christian Xavier, portador de la C.I. 180458337 tengo a bien indicar que la investigación realizada en este presente trabajo experimental bajo el tema de “OBTENCIÓN DE UN MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ POLIÉSTER Y LANA DE OVEJA PARA EVALUAR EL COMPORTAMIENTO MECÁNICO” es de total responsabilidad mía, tanto los criterios emitidos en el trabajo de investigación como también los contenidos, ideas, análisis y conclusiones.

Espín Medina Christian Xavier
C.I. 1804458337

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 en línea patrimonial es de mi trabajo experimental con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este trabajo experimental dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando ésta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor

Ambato, 14 de Agosto de 2017

Autor

.....
Espín Medina Christian Xavier

C.I. 1804458337

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el informe del proyecto experimental realizado por el estudiante Christian Xavier Espín Medina de la carrera de Ingeniería Mecánica, bajo el tema : **OBTENCIÓN DE UN MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ POLIÉSTER Y LANA DE OVEJA PARA EVALUAR EL COMPORTAMIENTO MECÁNICO**".

Anbato, octubre de 2017

Para constancia firman:

.....

Ing. Mg. Henry Vaca.

.....

Ing. Mg. Juan Paredes.

DEDICATORIA

A mi hija Samantha Espín que es un regalo divino de Dios y que se convirtió en el amor de mi vida.

A mis padres Lucas Espín y Sonia Medina, por ser el pilar fundamental en mi vida y darme sabiduría para seguir adelante y poder cumplir mis metas.

A mi hermano Daniel Espín, por su compañía y el apoyo incondicional en los buenos y malos momentos.

A mi familia que es el mayor ejemplo de unión y de amistad que puedo tener.

A mis amigos que siempre compartimos momentos inolvidables en todo el transcurso de la carrera.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por ser quien guía mi camino y me da fortaleza para seguir adelante y nunca rendirme.

A mis padres por haber confiado en mí, formarme como persona y como profesional.

Al Ing. Mg. Segundo Espín por su tiempo y sus conocimientos compartidos en todo el transcurso de la carrera y en el desarrollo del proyecto experimental.

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

PAGINAS PRELIMINARES

APROBACIÓN DEL TUTOR	II
AUTORÍA DEL TRABAJO EXPERIMENTAL.....	III
DERECHOS DE AUTOR	IV
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO.....	V
DEDICATORIA.....	VI
AGRADECIMIENTO	VII
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS	XII
ÍNDICE DE TABLAS	XIII
RESUMEN EJECUTIVO.....	XV
CAPITULO I.....	1
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	4
CAPITULO II.....	5
2. FUNDAMENTACIÓN.	5
2.1 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.	5
2.1.1 Materiales compuestos.....	5
2.1.1.1 Definición.	5
2.1.1.2 Clasificación de los materiales compuestos.	5
2.1.1.3 Componentes de los materiales compuestos.....	6

2.1.1.4	Características especiales de los materiales compuestos frente a un material tradicional.	7
2.1.2	Materiales compuestos reforzados con fibras.....	8
2.1.2.1	Propiedades Mecánicas de los materiales compuestos reforzados con fibra.8	
2.1.2.2	Influencia de la orientación y cantidad de la fibra.....	9
2.1.2.3	Influencia de la longitud de la fibra.....	9
2.1.3	Resina Poliéster	11
2.1.3.1	Generalidades	11
2.1.3.2	Tipos de resinas	12
2.1.3.3	Propiedades de la resina poliéster.....	12
2.1.3.4	Curado.....	13
2.1.3.5	Características generales de las diferentes resinas.....	14
2.1.3.6	Regla de las mezclas en los compuestos reforzados por fibra.....	15
2.1.3.7	Módulo de elasticidad.....	16
2.1.4	Clasificación de las fibras.....	17
2.1.5	Lana de oveja.....	17
2.1.5.1	Generalidades	17
2.1.5.3	Características mecánicas y físicas.....	19
2.1.6	Ensayos de materiales compuestos.....	19
2.1.6.1	Ensayo de tracción.....	19
2.1.6.2	Ensayo de flexión	20
2.1.6.3	Ensayo de impacto.....	21
2.2	HIPÓTESIS.....	22
2.3	SEÑALAMIENTO DE VARIABLES DE LA HIPÓTESIS.....	23
2.3.1	VARIABLE INDEPENDIENTE.....	23
2.3.2	VARIABLE DEPENDIENTE	23
	CAPITULO III	24
3.	METODOLOGÍA.....	24
3.1	NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN	24
3.2	POBLACIÓN Y MUESTRA.....	24

3.2.1	POBLACIÓN	24
3.2.2	MUESTRA	25
3.3	OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	26
3.3.1	Variable independiente	26
3.3.2	Variable dependiente	27
3.4	PLAN DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN	28
3.4.1	Observación	28
3.4.2	Recolección de información	28
3.5	PLAN PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS	28
3.5.1	Plan de procesamiento	28
3.5.2	Ensayos del material compuesto.....	46
CAPITULO IV		52
4.	ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	52
4.1	RECOLECCIÓN DE DATOS	52
4.1.1	Tabulación de los resultados obtenidos en los ensayos a tracción.	52
4.1.2	Tabulación de los resultados obtenidos en los ensayos a flexión.	61
4.1.3	Tabulación de los resultados obtenidos en los ensayos a impacto.	69
4.2	ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS	77
4.2.1	Evaluación de resultados	77
4.2.2	Interpretación de los resultados	78
4.3	VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS.....	79
4.3.1	Hipótesis Nula (H_0).....	79
4.3.2	Hipótesis Alterna (H_a).....	79
4.3.3	Regla de decisión.....	80
4.3.4	Verificación de la hipótesis de los grupos de probetas que presentan las mejores características de los ensayos de tracción.	80
4.3.5	Verificación de la hipótesis de los grupos de probetas que presentan las mejores características de los ensayos de flexión.....	82
4.3.6	Verificación de la hipótesis de los grupos de probetas que presentan las mejores características de los ensayos de impacto.	83

4.3.7	Discusión	84
CAPÍTULO V.....		86
5.	CONCLUSIONES Y RESULTADOS	86
5.1	CONCLUSIONES	86
5.2	RECOMENDACIONES.....	87
6.	BIBLIOGRAFÍA.....	89
7.	ANEXOS	90

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1: Clasificación de los materiales compuestos.	6
Figura 2-2: Configuración de un material compuesto.	6
Figura 2-3: Orientación de la fibra	9
Figura 2-4: Deformación generada en la matriz alrededor de una fibra sometida a una carga de tensión.	10
Figura 2-5: Efecto de la longitud en la resistencia de la fibra.	11
Figura 2-6 Fibra de lana de oveja.	18
Figura 2-7 Máquina Universal de Ensayos Electromecánicos Metrotec MTE50.	20
Figura 2-8 Configuración de carga a flexión en tres puntos utilizada ASTM D7264/D7264M-07	21
Figura 2-9 Máquina de impacto.....	22
Figura 3-1 Esquilación de la oveja.	35
Figura 3-2 Remojo de la lana de oveja.	36
Figura 3-3 Lavado de la lana de oveja.....	36
Figura 3-4 Enjuague de la lana de oveja.....	37
Figura 3-5 Secado de la lana de oveja.	37
Figura 3-6 Carmenado de la lana.....	38
Figura 3-7 Hilado.....	38
Figura 3-8 Fibras discontinuas orientado al eje longitudinal.	39
Figura 3-9 Fibra discontinuas orientado al eje transversal	39
Figura 3-10 Limpieza del molde	40
Figura 3-11 Aplicación de cera	40
Figura 3-12 Aplicación de la matriz	41
Figura 3-13 Configuración discontinuidad al eje longitudinal.....	42
Figura 3-14 Configuración discontinuidad al eje transversal.....	42
Figura 3-15 Mezcla del material compuesto.	43
Figura 3-16 Compactación del molde.	43
Figura 3-17 Desmolde del material compuesto.....	44
Figura 3-18 Corte del material compuesto	45
Figura 3-19 Probetas para ensayo a tracción según normas ASTM 3039-00	45
Figura 3-20 Probetas para ensayo a flexión según normas ASTM 7264-07	45
Figura 3-21 Probetas para ensayo a impacto según normas ASTM 5628-10	46
Figura 3-22 Máquina Universal de Ensayos Electromecánicos Metrotec MTE50.	46
Figura 3-23 Máquina de impacto.....	47
Figura 4-1 Campana de distribución de los ensayos a tracción.....	81
Figura 4-2 Campana de distribución de los ensayos a flexión.	82
Figura 4-3 Campana de distribución de los ensayos a flexión.	83

Figura 4-4 Comparación de diferentes materiales compuestos.	85
--	----

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1 Propiedades mecánicas de la resina Poliéster.	13
Tabla 2-2 Características generales de las diferentes resinas.	15
Tabla 3-1 Configuraciones, longitud y fracciones volumétricas de la lana de oveja.	24
Tabla 3-2 Variable independiente.....	26
Tabla 3-3 Variable dependiente.....	27
Tabla 3-4 Determinación de la densidad de refuerzo.	29
Tabla 3-5 Dimensiones del molde.	30
Tabla 3-6 Datos conocidos.	31
Tabla 3-7 Fracciones volumétricas.....	32
Tabla 3-8 Dimensiones estándar, configuración de refuerzo y fracción volumétrica de las probetas.	33
Tabla 3-9 Fracciones volumétricas del material compuesto 7030.	34
Tabla 3-10 Fracciones volumétricas del material compuesto 6040.	35
Tabla 3-11 Características de las probetas de ensayo a tracción.....	47
Tabla 3-12 Características de las probetas de ensayo a flexión.	49
Tabla 4-1 Ficha técnica de ensayo a tracción del material compuesto 7030, configuración discontinuo al eje longitudinal.	53
Tabla 4-2 Ficha técnica de ensayo a tracción del material compuesto 7030, configuración discontinuo al eje transversal.	55
Tabla 4-3 Ficha técnica de ensayo a tracción del material compuesto 6040, configuración discontinuo al eje longitudinal.	57
Tabla 4-4 Ficha técnica de ensayo a tracción del material compuesto 6040, configuración discontinuo al eje transversal.	59
Tabla 4-5 Ficha técnica de ensayo a flexión del material compuesto 7030, configuración discontinuo al eje longitudinal.	61
Tabla 4-6 Ficha técnica de ensayo a flexión del material compuesto 7030, configuración discontinuo al eje transversal.	63
Tabla 4-7 Ficha técnica de ensayo a flexión del material compuesto 6040, configuración discontinuo al eje longitudinal.	65
Tabla 4-8 Ficha técnica de ensayo a flexión del material compuesto 6040, configuración discontinuo al eje transversal.	67
Tabla 4-9 Ficha técnica de ensayo a impacto del material compuesto 7030, configuración discontinuo al eje longitudinal.	69

Tabla 4-10 Ficha técnica de ensayo a impacto del material compuesto 7030, configuración discontinuo al eje transversal.	71
Tabla 4-11 Ficha técnica de ensayo a impacto del material compuesto 6040, configuración discontinuo al eje longitudinal	73
Tabla 4-12 Ficha técnica de ensayo a impacto del material compuesto 6040, configuración discontinuo al eje transversal.	75
Tabla 4-13 Evaluación de los resultados obtenidos mediante ensayo de tracción, flexión e impacto.....	77
Tabla 4-14 Interpretación de los resultados mecánicos.....	78
Tabla 4-15 Verificación de la hipótesis del grupo 1 y grupo 3 de los ensayos a tracción.	80
Tabla 4-16 Verificación de la hipótesis del grupo 1 y grupo 3 de los ensayos de flexión.	82
Tabla 4-17 Verificación de la hipótesis del grupo 2 y grupo 3 de los ensayos de impacto.	83
Tabla 4-18 Tabulación de diferentes materiales compuestos.....	84

RESUMEN EJECUTIVO

“OBTENCIÓN DE UN MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ POLIÉSTER Y LANA DE OVEJA PARA EVALUAR EL COMPORTAMIENTO MECÁNICO”.

Autor: Christian Xavier Espín Medina.

Tutor: Ing. Mg. Segundo Espín.

La producción de la lana de oveja es uno de los recursos naturales que no son aprovechados en la actualidad, su costo es relativamente bajo y amigable con el ambiente, por lo que en el presente proyecto experimental se desarrolló un material compuesto que está basado en una matriz de resina poliéster y configuración de refuerzo de lana de oveja, en la cual se tomaron dos tipos de fracciones volumétricas 70% de matriz - 30% de refuerzo y 60% de matriz – 40% de refuerzo, también se realizaron dos tipos de configuraciones de refuerzo: discontinuidad al eje longitudinal y discontinuidad al eje transversal. La fabricación de las probetas se realizó en un molde de acero a compresión. Los ensayos de tracción y flexión se realizaron en el Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero y el ensayo de impacto se realizó en el Laboratorio de Materiales de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Mediante los ensayos de tracción, flexión e impacto realizados en las probetas y bajo las Normas ASTM D3039-00, ASTM D7264-07 y ASTM D5628-10 respectivamente se determinó el material compuesto que obtuvo las mejores características mecánicas, siendo este el grupo 2 el cual está compuesto de 70% de matriz poliéster y el 30% de lana de oveja, con una configuración de discontinuidad al eje transversal.

EXECUTIVE SUMMARY

OBTAINING A MATERIAL COMPOSED OF POLYESTER MATRIX AND SHEEP WOOL TO EVALUATE MECHANICAL BEHAVIOR

Author: Christian Xavier Espín Medina.

Tutor: Ing. Mg. Segundo Espín.

The production of sheep wool is one of the natural resources that are not used at present, its cost is relatively low and friendly to the environment, so in the present experimental project a composite material was developed that is based on a polyester resin matrix and reinforcement configuration of sheep wool, in which two types of volumetric fractions were taken 70% matrix - 30% reinforcement and 60% matrix - 40% reinforcement, two types of configurations were also made of reinforcement: discontinuity to the longitudinal axis and discontinuity to the transverse axis. The manufacturing of the specimens was carried out in a compression steel mold. The tensile and bending tests were carried out in the Metalmecánico Carrocero Productive Production Center and the impact test was carried out in the Materials Laboratory of the Faculty of Civil and Mechanical Engineering.

By means of tensile, bending and impact tests performed on the specimens and under ASTM D3039-00, ASTM D7264-07 and ASTM D5628-10 standards respectively, the composite material that obtained the best mechanical characteristics was determined, being this group 2 the which is composed of 70% polyester matrix and 30% sheep wool, with a configuration of discontinuity to the transverse axis.

CAPITULO I

1. ANTECEDENTES

1.1 TEMA

“OBTENCIÓN DE UN MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ POLIÉSTER Y LANA DE OVEJA PARA EVALUAR EL COMPORTAMIENTO MECÁNICO”

1.2 ANTECEDENTES

Investigadores de la Universidad de Sevilla, en colaboración con un grupo de la Universidad de Strathclyde (Glasgow, Reino Unido), han desarrollado ladrillos y bloques reforzados con fibras de lana. Con ello han conseguido obtener un compuesto más sostenible, no contaminante, que emplea materiales locales abundantes, y mejora su resistencia mecánicamente.

Los investigadores han analizado el efecto de reforzamiento con lana de oveja en distintos tipos de suelo. Además de mejorar la resistencia a compresión, estas fibras minimizan las figuraciones y deformaciones por contracción, reduce el tiempo de secado y aumenta la resistencia del ladrillo a los esfuerzos de flexión.

Las fibras de lana de oveja se han añadido al material arcilloso del ladrillo, el cual utiliza como conglomerante el alginato, un polímero natural obtenido de las paredes celulares de las algas pardas de la familia de las feofíceas, De esta forma se logra un compuesto que es un 37% más resistente que productos similares de tierra estabilizada, sin cocer según lo confirman los test mecánicos realizados en laboratorio.

La premisa fundamental del trabajo ha sido la obtención de un producto sin un elevado coste medioambiental ni en el proceso de producción ni en su posible reutilización, reciclaje o biodegradación. Los estudios realizados parecen indicar que los costes económicos y medioambientales son favorables, tanto por la abundancia de las materias primas necesarias, por su facilidad de obtención y en algunos casos incluso por su regeneración natural; como por la ausencia de complejidad en la fabricación.

Este proyecto es una de las iniciativas que fomentan el desarrollo de materiales que posibiliten una construcción cada vez más respetuosa con el medio ambiente. En concreto, la propuesta se incluye dentro de la fabricación de ladrillos y bloques que no requieran cocción y, por lo tanto, contribuyan al ahorro energético frente a los productos cerámicos o de base cementicia [1].

Rmt-Nita® Wool es un aislamiento térmico fabricado a partir de la lana de oveja. El material está compuesto por fibras de 20 a 30 mm de largo y diámetro de 25 a 40 micras, previamente lavadas. Durante el proceso de fabricación se decoloran y se les aplica un tratamiento contra insectos y hongos con permetrina (piretroide sintético) o sales de boro. También son tratadas para retrasar la acción del fuego, por lo que es auto extingible, aunque a una temperatura de 560°C es auto inflamable. Correctamente instalada mantiene su densidad y cohesión por décadas.

Las ventajas ambientales que nos brinda el empleo de la lana de oveja son las siguientes: a) Sustituir, en los procesos industriales de lavado, mezcla, higienización, ignifugación y fijación térmica de las fibras los insumos habituales por otros de menor impacto, b) Cambiar las fuentes de energía empleadas de más contaminantes a menos contaminantes y de no renovables a renovables, c) Reducir la cantidad de materia prima empleada por unidad de servicio, trabajando sobre el tramado de las fibras y su naturaleza para conseguir igual aislamiento con menos peso y d) Disminuir las distancias de transporte, obteniendo las materias primas de zonas próximas a los centros de fabricación y, al mismo tiempo, reagrupando los procesos industriales hoy descentralizados en localizaciones cercanas a la planta principal y la distribución [2].

1.3 JUSTIFICACIÓN

Los materiales compuestos se obtienen al unir dos materiales para conseguir una combinación de propiedades que no es posible obtener en los materiales originales.

La elaboración de este material compuesto es con el fin de obtener mejores propiedades mecánicas, disminución en el costo de producción y materias primas, y ayudar a la conservación del medio ambiente.

El proyecto tiene la finalidad de darle un uso a la lana de ovejas ya que en la actualidad no es utilizado este producto en gran cantidad. La lana que producen las ovejas es un

recurso natural de fácil obtención, su costo es relativamente bajo y amigable con el ambiente.

El desarrollo de este material compuesto está basado en una matriz de resina poliéster, siendo este un producto con excelentes propiedades y de fácil manejo y una característica muy importante es que puede combinarse con cualquier tipo de refuerzo, es por ello que para mejorar este producto se quiere implementar dentro de ellas lana de ovejas para mejorar sus propiedades mecánicas y tenga una mayor resistencia.

Los materiales para el desarrollo del proyecto son accesibles de conseguir en todo el país y aplicando los conocimientos adquiridos nos permite realizar la mezcla de estos componentes utilizando moldes para la realización de probetas y posteriormente realizar los ensayos destructivos y determinar las resistencias mecánicas a la tracción y a la flexión.

La producción del ganado ovino es muy extensa en todo el Ecuador donde principalmente se comercializa su carne y sus órganos para la alimentación de las personas, pero no sucede lo mismo con la lana ya que el mundo textil ha evolucionado y no es aprovechada la lana de ovejas para la creación de prendas de vestir es por ello que con la elaboración de nuestro material compuesto se da otra utilización a la lana la cual debería ser aprovechada siendo este un material natural y que no contamina el ambiente.

La elaboración de este compuesto es con el fin de ocupar los recursos naturales que ofrece nuestro Ecuador, también se puede generar nuevas plazas de trabajo y disminuir la contaminación al medio ambiente ya que en la actualidad el material de refuerzo más utilizado es la fibra de vidrio.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo General

Obtener un material compuesto de matriz poliéster y lana de oveja para evaluar el comportamiento mecánico.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Determinar las fracciones volumétricas y la configuración de refuerzo adecuadas para la obtención del material compuesto.
- Determinar las propiedades mecánicas del material compuesto mediante las normas ASTM para los ensayos de tracción, flexión e impacto.
- Determinar el proceso de obtención del material compuesto.

CAPITULO II

2. FUNDAMENTACIÓN.

2.1 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.

2.1.1 Materiales compuestos.

2.1.1.1 Definición.

Los materiales compuestos se obtienen al unirse dos materiales para conseguir una combinación de propiedades que no es posible obtener en los materiales originales en forma individual. Estos compuestos pueden seleccionarse para obtener combinaciones poco usuales de rigidez, peso, resistencia, rendimiento a altas temperaturas, resistencia a la corrosión, dureza o conductividad.

En terminos generales, se considera que un material compuesto es un material multifase que conserva una proporsión significativa de las propiedades de las fases constituyentes de manera que presente la mejor combinación posible. De acuerdo con este principio de acción combinado, las mejores propiedades se obtienen por la combinación razonada de dos o más materiales diferentes. Muchos materiales compuestos tienen propiedades excepcionales.

2.1.1.2 Clasificación de los materiales compuestos.

Los materiales compuestos en esencia, consta de tres divisiones: compuestos reforzados con partículas, compuestos reforzados con fibras y compuestos estructurales; además, existen dos subdivisiones para cada uno, como se puede observar en la figura 2-1.

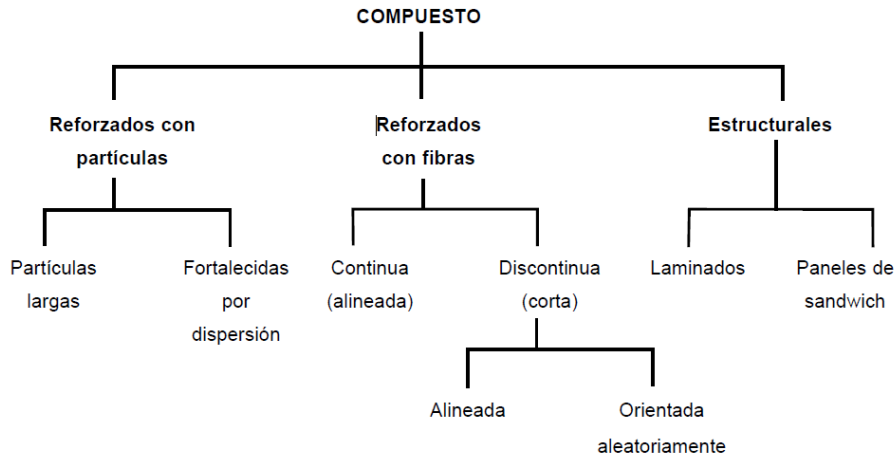


Figura 2-1: Clasificación de los materiales compuestos.

Fuente: (Callister, 2005).

2.1.1.3 Componentes de los materiales compuestos.

Los componentes que conforma un material compuesto son dos: matriz y refuerzo. La matriz confiere resistencia térmica, rigidez y protección ambiental a las fibras. Por otro lado, las fibras proporcionan las propiedades mecánicas al material compuesto como se aprecia en la figura 2-2.

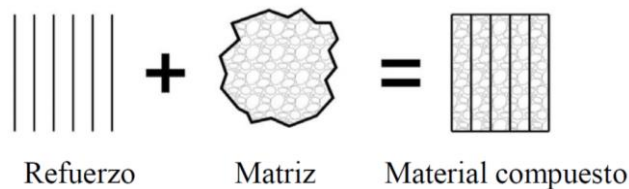


Figura 2-2: Configuración de un material compuesto.

Fuente: (Guerrero, 2011).

Principales funciones básicas de las fibras:

- Aglutinar los refuerzos.
- Transferir las cargas aplicadas sobre la matriz hacia los refuerzos.
- Proteger la superficie de los refuerzos de la abrasión mecánica.
- Proveer al refuerzo de una barrera contra los efectos del medio ambiente tales como la humedad.
- En caso de que el material esté reforzado con fibras, la matriz debe proveer soporte lateral contra la posibilidad de pandeo de las mismas bajo cargas de compresión.

La matriz aporta propiedades vitales al material compuesto mejorando su rendimiento:

- Obliga a las fibras a trabajar de forma conjunta, y les transfiere los esfuerzos de tracción.
- Aísla las fibras entre ellas, y así trabajan de forma separada. Ello evita/ralentiza la propagación de fisuras en el soporte.
- La matriz actúa como un revestimiento de protección de las fibras, protegiéndolas frente ataques mecánicos (golpes) y químicos (ambiente, sustancias agresivas).

2.1.1.4 Características especiales de los materiales compuestos frente a un material tradicional.

Los materiales compuestos son diseñados y fabricados para aplicaciones que necesitan un alto rendimiento con una mínima carga muerta a la estructura. Algunas de las ventajas que ofrecen los materiales compuestos frente a los refuerzos tradicionales son las siguientes:

- Todas las partes metálicas se pueden reemplazar por una única sección equivalente de material compuesto.
- Los materiales compuestos tienen un alto módulo elástico. Tienen un módulo más elevado que el acero y sólo pesan una quinta parte que este.
- El acero entra en fatiga cuando se le somete al 50% de su resistencia a tracción. Los materiales compuestos no muestran fatiga hasta, como mínimo, el 90% de su resistencia a tracción.
- Los materiales compuestos no se oxidan. El acero y aluminio se oxidan ante la presencia de agua y aire, y precisan de un cuidado especial, siendo obligado el uso de pinturas protectoras. La matriz polimérica de un material compuesto protege las fibras de refuerzo.
- El coeficiente de expansión térmica de los materiales compuestos es muy próximo a cero. Debido a ello, ofrecen una gran estabilidad dimensional frente a los refuerzos metálicos.

- Los materiales compuestos se fabrican en grandes longitudes, permitiendo cubrir grandes luces sin necesidad de ejecutar juntas, soldaduras, mecanizar piezas, etc. Todo ello deriva en un menor tiempo de fabricación, de instalación y de costes.
- Para la aplicación de un material compuesto, se requiere de herramientas ligeras de mano. Los refuerzos metálicos se deben instalar mediante maquinaria pesada, puntales, soldaduras, etc. Los costes de instalación de un refuerzo de material compuesto son muy bajos y reducen el coste global de un refuerzo [3].

2.1.2 Materiales compuestos reforzados con fibras.

Tecnológicamente, los materiales compuestos con fases dispersas en forma de fibras son los más importantes. A menudo se diseñan materiales compuestos reforzados con fibras con la finalidad de conseguir elevada resistencia y rigidez a baja densidad. Estas características se expresan mediante los parámetros resistencia específica y módulo específico, a las relaciones entre la resistencia a la tracción y el peso específico y entre el módulo de elasticidad y el peso específico. Utilizando materiales de baja densidad, tanto para la matriz como para las fibras, se fabrican compuestos reforzados con fibras que tienen resistencias y módulos específicos excepcionales elevados.

2.1.2.1 Propiedades Mecánicas de los materiales compuestos reforzados con fibra.

Los materiales compuestos reforzados con fibras son compuestos que muestran anisotropía. Estas propiedades varían ya que se determinan de acuerdo al eje geométrico si fueron ubicadas a lo largo o ancho del plano. Un compuesto se denomina isotrópico si una propiedad en específico, por ejemplo, el módulo de Young, todos los elementos de refuerzo deben estar orientados de forma aleatoria ya sean fibras o partículas. Esto no es fácil de lograr para fibras discontinuas, debido a que los métodos de fabricación imparten una considerada orientación hacia las fibras. Las fibras continuas en forma de láminas son utilizadas para, deliberadamente, hacer un material anisotrópico de un material compuesto en una dirección en particular a lo largo del plano principal de carga. Con este método se da una orientación a las fibras en donde implica la mayor carga por lo que hay un aumento de la eficiencia del refuerzo.

2.1.2.2 Influencia de la orientación y cantidad de la fibra.

La orientación de las fibras es muy importante para las propiedades finales del material compuesto, para obtener una mayor resistencia mecánica influye la cantidad y distribución de las fibras.

Existen dos posibilidades con respecto a la alineación de las fibras:

- Alineación paralelamente al eje longitudinal de las fibras (fibras continuas y discontinuas).
- Alineación al azar.

En la figura 2-3 se observa la orientación de las fibras.

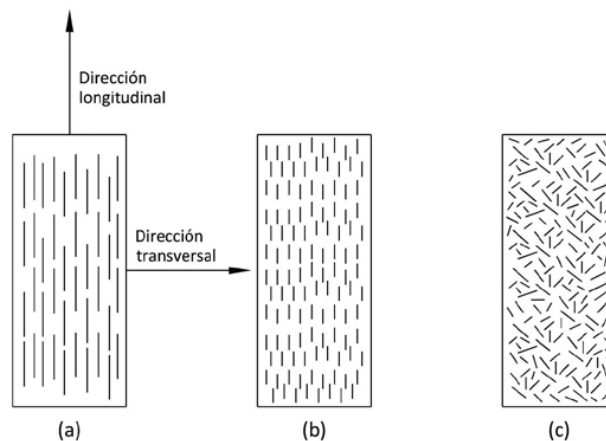


Figura 2-3: Orientación de la fibra

(a) Continua y alineada (b) discontinua y alineada y (c) discontinua al azar.

Fuente: (Callister, 2005).

2.1.2.3 Influencia de la longitud de la fibra.

Las características del material compuesto no solo dependen de las propiedades de la fibra, sino del grado en el cual una carga aplicada puede ser transmitida de la matriz a las fibras. Para ello, es muy importante asegurar la unión entre la fibra y la matriz, debido a que la carga es transferida por un mecanismo de corte. La deformación de la matriz es mayor que la de las fibras adyacentes. Si existe una perfecta unión entre fibra y matriz, la diferencia en la deformación crea un esfuerzo de corte en la sección transversal. En la Figura 2-4 se ilustra la deformación cortante generada debido a la transferencia de la carga.

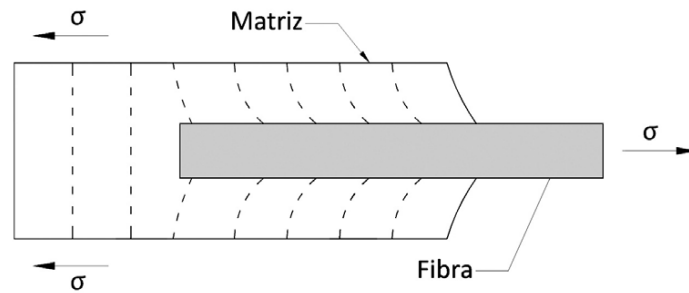


Figura 2-4: Deformación generada en la matriz alrededor de una fibra sometida a una carga de tensión.

Fuente: (Callister, 2005).

En la figura 2-4 se observa el efecto que tiene el extremo de la fibra en la matriz, es en este punto donde se termina la unión entre la fibra y matriz. Ignorando la transferencia de esfuerzo al final de la fibra y la interacción de las fibras vecinas. Tiene que existir una longitud mínima efectiva para la transmisión de la carga y esfuerzos para un diámetro de fibra dado. Esta longitud mínima o crítica l_c dependerá del diámetro de la fibra (df), su resistencia a la tracción y del esfuerzo (σ_f^*) de corte (τ_c) que existe entre la fibra y la matriz.

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

En una fibra de diámetro df y de longitud l_c , se obtendrá que el esfuerzo máximo es soportado en el punto medio de la fibra. Pero para distancias iguales a $l_c/2$ de cada extremo de la fibra, esta puede resultar poco efectiva, por lo tanto, para tener un refuerzo efectivo se debe aumentar la longitud del refuerzo, mucho más allá del valor crítico. Además, se puede controlar y mejorar el esfuerzo de corte al instante de fabricar o unir las fibras a la matriz, de tal modo que se puede llegar a disminuir la longitud crítica necesaria. Todo esto se puede visualizar en la Figura 2-5. [4].

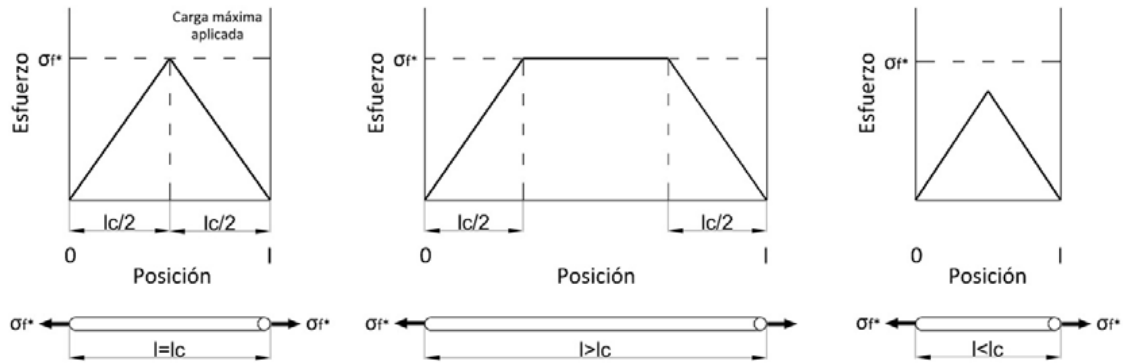


Figura 2-5: Efecto de la longitud en la resistencia de la fibra.

Fuente: (Callister, 2005).

Cabe notar que no solo es deseable tener una gran relación entre la longitud de la fibra y su radio, sino también entre el módulo de corte en la interfaz y el módulo de elasticidad en las fibras discontinuas. Ahora se conoce que las fibras cortas o discontinuas proveen una menor resistencia. A pesar de esto, son las que han tomado fuerza en el mercado, tal es el caso de la fibra de vidrio. Esto es debido a que los costos de producción son bajos y es fácil obtener piezas de diversas formas, que con fibra continua no son fabricables. Por esta razón, el proceso de fabricación debe ser seleccionado en función del refuerzo con el que se esté trabajando pues de esto dependerá la facilidad o complejidad para elaborar un material compuesto.

2.1.3 Resina Poliéster

2.1.3.1 Generalidades

Las resinas de poliéster son líquidas a temperatura ambiente y pueden ser llevadas a estado sólido, en el caso de las resinas pre-aceleradas, por la adición de un catalizador; y para resinas no pre-aceleradas un acelerador y un catalizador.

Las resinas se presentan en forma de plásticos termo-estables que son los que se emplean en los materiales compuestos.

Los plásticos termoestables son aquellos que necesitan un agente externo (catalizador) para cambiar su estructura en otra diferente; una vez producida, esta no puede volver a su estado anterior, a diferencia de los plásticos termoplásticos.

Los materiales compuestos son aquellos que originalmente eran dos o más y por medio de diferentes procesos se convierten en uno, siendo sus propiedades finales diferentes de los materiales originales. Ejemplo claro de esto es el laminado de fibra de vidrio con resina de poliéster.

2.1.3.2 Tipos de resinas

Existen diferentes tipos de resinas entre las cuales se encuentran resinas de poliéster, vinilester y epóxica. Cada una de estas resinas tienen diferentes características. Entre las resinas de poliéster se encuentran como las más comunes: las ortoftálticas y las isoftálticas. Pre-aceleradas y no pre-aceleradas (vírgenes).

- **Ortoftálticas:** Son combinación de anhídrido maleico y anhídrido ftálico con glicoles. Absorben hasta un 2.5% de agua en inmersiones prolongadas. De uso general en ambientes no agresivos.
- **Isoftálticas:** tienen mejores propiedades mecánicas que las ortoftálticas, y mejor resistencia en ambientes marinos (menor absorción). Se sustituye el anhídrido itálico por ácidos isoftálicos, aumentando de esta manera la resistencia al agua.
- **Isoftálticas con neopentilglicol (ISO-NPG):** se sustituye el propileno glicol por neopentil glicol, mejorando la resistencia química de la resina isoftáltica. - **Bisfenólicas:** tienen mejores propiedades mecánicas y químicas que las resinas ortoftálticas e isoftálticas, aunque a un elevado costo. Son las resinas más idóneas entre el poliéster para medios corrosivos.

2.1.3.3 Propiedades de la resina poliéster

El poliéster usado como material de diseño, tiene propiedades sobresalientes que debemos conocer para sacarles el máximo provecho y son las que se muestran a continuación:

- Aislante térmico y eléctrico.
- Anticorrosivo.
- Reforzado con fibras de vidrio, puede tener resistencia mecánica igual al acero.
- Para igual resistencia mecánica, es más liviano que la mayoría de los materiales convencionales.
- Bien seleccionado y formulado, el poliéster resiste el agua, la intemperie y el ataque químico de una amplia gama de productos industriales.

- Los productos industriales fabricados con este material, son de fácil transporte, montaje y mantenimiento, lo cual lleva a menor costo en la vida útil del equipo [5].

En la tabla 2-1 se observa las propiedades mecánicas de la resina poliéster.

Tabla 2-1 Propiedades mecánicas de la resina Poliéster.

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

Fuente: (Díaz, 2008)

2.1.3.4 Curado

El proceso de transformación de estado líquido a sólido se llama curado, polimerización o endurecimiento y viene acompañado de una reacción exotérmica (que desprende calor). Este cambio de estado no se presenta inmediatamente se adicionan los promotores de curado (acelerador y catalizador), es una reacción que ocurre a medida que transcurre el tiempo y se genera de forma gradual, pasando de estado líquido a estado gelatinoso (conocido como estado o tiempo de gel) y finalmente ha estado sólido. En las resinas de poliéster el acelerante o acelerador se llama octoato de cobalto y el catalizador se llama mek (metil-etil-cetona) peróxido.

Los principales factores que intervienen en el proceso de curado son:

- El tipo y referencia de resina empleada.
- La temperatura ambiente, la mayoría de las resinas no curan a temperaturas inferiores a 16°C.
- La naturaleza y cantidad de catalizador y acelerador. A mayor cantidad de ambos, menos tiempo de gelificación.
- La naturaleza y cantidad de las cargas. Si estas son elevadas retrasan el curado.

- La humedad relativa. Es necesario mantener una humedad relativa entre 40 y el 54 %
- El exceso de exposición al sol.
- El incremento de la temperatura del proceso, la cual reduce el tiempo de gelificación. A temperatura ambiente no se debe sobrepasar los 27 °C.
- Espesor del laminado, cuyo aumento disminuye el tiempo de gelificación [6].

Los tiempos de curado de las resinas a temperatura ambiente se pueden controlar desde las siguientes variables, pero respetando siempre las especificaciones del fabricante:

a) cantidad de acelerador.

b) cantidad de catalizador.

c) temperatura del local de trabajo.

La temperatura de trabajo ideal se sitúa entre 17° y 22° C, buenos resultados se obtienen también entre 15° y 25 ° C, y nunca debe laminarse por debajo de 10° C o por encima de 30° C. La presencia de inhibidores en las resinas obedece a las siguientes causas:

- Conservan la resina; las resinas en estado líquido son inestables, y tienen tendencia a polimerizar o gelificarse si no cuentan con la presencia de algún tipo de inhibidor.
- Controlan la reacción exotérmica limitando el aumento de temperatura.
- Retardan la polimerización de la resina catalizada, brindando más tiempo de trabajo.
- Regularizan la fabricación de la resina evitando que se complique la reacción de policondensación.
- Las resinas deben conservarse en su recipiente original, cerradas para evitar la evaporación, y en sitios oscuros, para evitar la acción de la luz y la temperatura.

2.1.3.5 Características generales de las diferentes resinas.

La tabla 2-2 nos muestra las diferentes características que presenta cada una de los tipos de resinas.

Tabla 2-2 Características generales de las diferentes resinas.

Propiedad	Matriz				
	<i>Poliéster insaturado UP</i>	<i>Resina Epoxi</i>	<i>Resina Fenólica</i>	<i>Resina Vinilester</i>	<i>Resina Poliimida</i>
Densidad(gr/cm ³)	1.17-1.26	1.17-1.25	1.25-1.3	1.17-1.25	1.27-1.42
Alargamiento ala rotura (%)	<3	6-8	<3	3.5-7	6-10
Fluencia	Muy baja				
Temperatura de moldeo (°C)	Temperatura ambiente hasta 180	Temperatura ambiente hasta 170	150-190	Temperatura ambiente hasta 175	350
Temperatura de reblandecimiento	80-160	80-130	100-150	100-150	260 en periodos cortos hasta 500
Propiedades reológicas	Muy		Buenas		Depende del fabricante
Calor de reacción	Reacción	exotérmica	dependiente	de la geometría	pieza
Contracción del fraguado (%)	6-10 lineal entre 1.8 y 2.4	1-3	0.5-1.5	0.1-1	0.5-0.7
Contracción posterior (%)	Hasta 3	Prácticamente ninguna	Hasta 0.4	Hasta 1	Prácticamente ninguna
Tiempo de almacenamiento	Temp.Amb. 6 meses	Bajas Temp. 6 meses	Temp.Amb. 6 meses	Temp.Amb. 6 meses	Temp.Amb. 6 meses

Fuente: (Gil, 2012).

2.1.3.6 Regla de las mezclas en los compuestos reforzados por fibra.

La regla de las mezclas siempre lo que genera es la densidad de los compuestos reforzados. La ecuación 2.1 define la densidad de los materiales compuestos con fibras.

$$d_c = f_m d_m + f_f d_f \quad \text{Ec. 2.1}$$

Donde:

d_c = Densidad del compuesto.

f_m = Fracción volumétrica de la matriz.

d_m = Densidad de la matriz.

f_f = Fracción volumétrica del refuerzo.

d_f = Densidad del refuerzo.

Nota: $f_m = 1 - f_f$.

Ec. 2.2

La regla de las mezclas predice con exactitud las conductividades eléctrica y térmica de material compuestos reforzado con fibra a lo largo de la dirección de las fibras, si las mismas son continuas y unidireccionales, se muestran en las ecuaciones 2.3 y 2.4.

$$K_c = f_m K_m + f_f K_f \quad \text{Ec. 2.3}$$

$$\sigma_c = f_m \sigma_m + f_f \sigma_f \quad \text{Ec. 2.4}$$

Donde K es la conductividad térmica y σ es la conductividad eléctrica. La energía térmica o eléctrica se transfiere a través del compuesto a una velocidad proporcional a la fracción volumétrica del material conductor.

En un material compuesto con una matriz metálica y fibras cerámicas, el grueso de la energía se transfiere por medio de la matriz; en un compuesto formado por una matriz polimérica con fibras metálicas, la energía se transfiere a través de las fibras (material de refuerzo).

Si las fibras no son continuas o unidireccionales, no se puede aplicar esta regla. Por ejemplo, en un material compuesto de matriz polimérica con fibras metálicas, la conductividad eléctrica de esta es baja y depende de la longitud de las fibras, de la fracción volumétrica de estas y de la frecuencia con que las fibras se tocan entre sí mismas.

2.1.3.7 Módulo de elasticidad

Si las fibras son continuas y unidireccionales se aplica la regla de las mezclas para poder encontrar el módulo de elasticidad. Medido paralelamente a las fibras, el módulo de elasticidad puede llegar a tener un valor alto. En la ecuación 2.5 encontramos el módulo de elasticidad.

$$E_c = f_m E_m + f_f E_f \quad \text{Ec. 2.5}$$

Cuando el esfuerzo aplicado es muy grande, la curva esfuerzo-deformación ya no es lineal y la matriz empieza a deformarse. La matriz contribuye poco a la rigidez del material compuesto, se puede estimar aproximadamente el módulo mediante la ecuación 2.6.

$$E_c = f_f E_f \quad \text{Ec. 2.6}$$

Si la carga se aplica perpendicularmente a las fibras, actuará independientemente cada uno de los componentes del material compuesto. En la ecuación 2-7 se muestra el módulo del material compuesto. [7].

$$\frac{1}{E_c} = \frac{f_m}{E_m} + \frac{f_f}{E_f} \quad \text{Ec. 2.7}$$

2.1.4 Clasificación de las fibras

Las fibras son usadas como para la elaboración de varios productos como telas, papel, artesanías, etc. También como material de refuerzo generalmente en matrices metálicas y cerámicas, con la finalidad de mejorar sus propiedades, en materiales compuestos denominados matriz compuesta o composites.

Las fibras son clasificadas según su origen, en fibras naturales y artificiales. Las fibras vegetales se ha realizado una amplia exploración sobre su uso, no obstante, el uso de estas en los materiales compuestos como material de refuerzo se ha visto opacada por la degradación de estas dentro de las matrices, esto ha provocado desarrollar métodos para incrementar la propiedades como la durabilidad de la fibra. También se han desarrollado varias aplicaciones en fibras animales y minerales [8].

Las fibras naturales se clasifican en:

- *Fibras animales:* mohair, seda, lana.
- *Fibras inorgánicas:* asbesto, amianto.
- *Fibras vegetales:* yute, algodón fino.

2.1.5 Lana de oveja

2.1.5.1 Generalidades

Se denomina lana a las fibras extraídas que crecen en todo el cuerpo de las ovejas y de cualquier animal de cuyo pelaje que pueda obtener dichas fibras. La lana después de ser esquilada continúa creciendo durante toda su vida [9].

La lana es la fibra suave, tupida y rizada que recubre la piel de algunos mamíferos como las ovejas. Su extracción de la lana se realiza una vez al año, mediante una tarea denominada esquila que consiste en cortar la lana de la oveja. Depende de la especie del animal para tener mayor o menor producción de lana, pero se calcula que una oveja Merina suministra anualmente entre 3 y 5 kilos de lana.

Para emplear la lana como material de refuerzo conlleva a pequeños procesos como el lavado mediante jabón biodegradable y un posteriormente el cardado y el hilado. La lana también es considerada como un aislante a la combustión.

2.1.5.2 Propiedades de la lana de oveja

En la figura 2-6 observamos una fibra de lana al microscopio que presenta una cutícula formada por diminutas escamas imbricadas, además, están atravesadas por numerosos canalillos que permite su capacidad de absorber humedad (hasta más de un 40% de su peso). Esta agua absorbida y su composición en queratina generan que sea un material poco combustible y con el punto de inflamación más elevado de todas las fibras naturales.

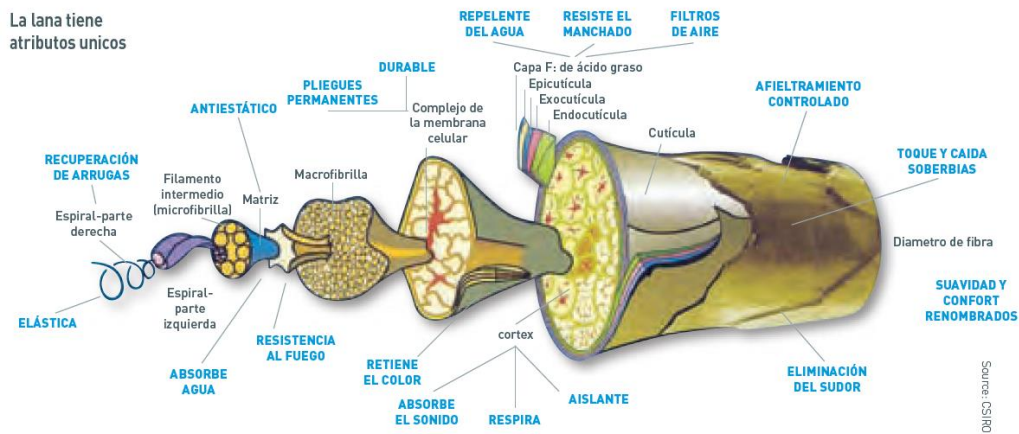


Figura 2-6 Fibra de lana de oveja.

Fuente: (Iwto, 2009).

2.1.5.3 Características mecánicas y físicas

Conductividad térmica (WLG040): 0,035 W/m² K

Difundibilidad a vapor: $u = 1,66$

Temperatura máxima tolerable: 160 °C [10].

2.1.6 Ensayos de materiales compuestos

La evaluación de las propiedades mecánicas en la caracterización de los materiales compuestos, se hace fundamentalmente utilizando ensayos destructivos. El proceso de ensayo de materiales consiste en tomar determinada cantidad de muestras de un material y realizar un mínimo número determinado de probetas para caracterizar el comportamiento del material compuesto. Bajo equipos adecuados y simulaciones en software se realiza los ensayos mecánicos, también la utilización de normas para la caracterización mecánica.

2.1.6.1 Ensayo de tracción

Los ensayos más realizados en una material compuesto es el ensayo de tracción, el cual consiste en aplicar una fuerza uniaxial a lo largo del eje principal, esta fuerza es aplicada gradualmente hasta que se deforma y posterior se produce la rotura de la probeta. El ensayo que se aplica para materiales reforzados con fibras esta estandarizado bajo la norma ASTM D3039-00 y se realiza con una maquina universal de ensayos como se muestra en la Figura 2-7.

Para complementar la realización del ensayo debe utilizarse algún elemento mecánico donde verifica que la sujeción de la probeta sea la correcta, de tal forma sea mínimo el desplazamiento.



Figura 2-7 Máquina Universal de Ensayos Electromecánicos Metrotec MTE50.

Fuente: Centro de Fomento Metalmeccánico Carrocero.

Las probetas deben estar fabricadas con las dimensiones señaladas según la norma mencionada anteriormente, también es importante que la superficie de las probetas se encuentren libre de fisuras o imperfecciones, debe estar totalmente lisa.

En las operaciones de corte las probetas pasaran por un proceso de limado fino con la finalidad de que las probetas se encuentren totalmente lisas y el acabado final tenga un acabado paralelo al eje más largo de la probeta.

2.1.6.2 Ensayo de flexión

La norma para evaluar la flexión de un material compuesto es la ASTM D7264-07 como muestra la Figura 2-8. Con el ensayo a flexión se determina la rigidez a la flexión y la resistencia del material compuesto. Se realiza este proceso con la aplicación de un sistema de carga en tres puntos de la probeta, una carga central con apoyos simples. La máquina que realiza estos ensayos se observa en la figura 2-7.

Debido a que ningún laminado es totalmente simétrico las propiedades de flexión de las probetas pueden variar y en los resultados también existirá una diferencia.

Las propiedades a flexión también presentaran una variación debido al espesor de las probetas.

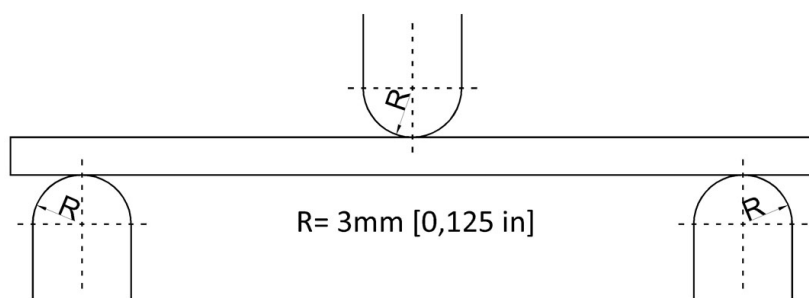


Figura 2-8 Configuración de carga a flexión en tres puntos utilizada ASTM D7264/D7264M-07

Fuente: (Guerrero, 2011).

Para realizar el ensayo de impacto, se requieren 5 probetas para las diferentes condiciones de ensayo.

Las probetas deben ser realizadas de acuerdo a las dimensiones especificadas según la norma ASTM D7264-07, y de igual manera, las diferentes ecuaciones que admiten calcular valores para las propiedades a flexión.

De acuerdo a las especificaciones de la norma, los ensayos de flexión deben cumplir con el aspecto superficial de cada probeta, como es la ausencia de irregularidades o fisuras, esto nos ayuda a conseguir resultados reales de los ensayos.

Otra manera de eliminar todas las irregularidades en las probetas es la utilización de una lima fina ya que las marcas ocasionadas por el corte de las probetas deben ser eliminadas obteniendo unas probetas aptas para los ensayos.

2.1.6.3 Ensayo de impacto

La norma para determinar la energía de impacto es la ASTM D5628-10. La máquina que realizó el ensayo de impacto es por caída de dardo y se muestra en la Figura 2-9. El área en donde impacta el dardo debe estar libre de fallas esto quiere decir que la probeta no debe contener ningún tipo de fisuras o irregularidades debido a que esto afectaría los resultados.



Figura 2-9 Máquina de impacto.

Fuente: Laboratorio de materiales FICM-UTA.

Con este método de ensayo se determina la energía de falla del material, el cual consta en dejar caer un dardo a una determinada altura sobre una probeta hasta que presente fisuras en la probeta. El dardo una vez que impacta a la probeta debe tener en cuenta que este no golpee dos veces ya que rebotaría el dardo y según la norma eso no debe ocurrir. Cada impacto realizado se debe evaluar la probeta si ha sufrido o no un daño, generalmente se debe revisar los dos lados de las probetas, al observar una fisura en la probeta es considerada como falla.

Para detectar las fisuras se realiza en condiciones normales, la energía de impacto será considerada en un 50% de producción de fallas hacia la probeta. Se considera esta misma definición para la altura y el peso del impactado [11].

2.2 HIPÓTESIS

Con la obtención y evaluación del comportamiento mecánico de un material compuesto de matriz poliéster y lana de oveja se podrá determinar el material con las mejores propiedades mecánicas

2.3 SEÑALAMIENTO DE VARIABLES DE LA HIPÓTESIS

2.3.1 VARIABLE INDEPENDIENTE

Obtención y evaluación del comportamiento mecánico de un material compuesto de matriz poliéster y lana de oveja.

2.3.2 VARIABLE DEPENDIENTE

Determinar el material con las mejores propiedades mecánicas.

CAPITULO III

3. METODOLOGÍA

3.1 NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN

La investigación fue de nivel experimental y exploratorio, ya que pudimos reconocer variables investigativas como la longitud, configuración de las fibras o la fracción volumétrica, esto nos permitió diferenciar la calidad del material compuesto, también se realizaron ensayos destructivos de las probetas, de esta manera determinamos si el material compuesto cumplió con las mejores características para su utilización en la industria.

3.2 POBLACIÓN Y MUESTRA

3.2.1 POBLACIÓN

La población para el proyecto experimental consistió en una serie de probetas de resina poliéster reforzada con lana de oveja, la cual fue obtenida mediante moldes y caracterización mecánica bajo normativa a tracción, flexión e impacto.

Las configuraciones para el proyecto experimental se muestran en la tabla 3-1.

Tabla 3-1 Configuraciones, longitud y fracciones volumétricas de la lana de oveja.

Orientación de fibra	Configuración del refuerzo	Fracciones volumétricas
Discontinuo	eje longitudinal	70% matriz 30% refuerzo
Discontinuo	eje transversal	60% matriz 40% refuerzo

Fuente: El Autor.

3.2.2 MUESTRA

Para la muestra se tomó un mínimo de cinco probetas para los ensayos de tracción y flexión y 10 para el ensayo de impacto, dando un total de 80 probetas con diferentes configuraciones, longitud de fibra y fracción volumétrica, todo esto se realizó según la norma establecida ASTM D3039-00 (ensayo de tracción), ASTM D7264-07 (ensayo de flexión), ASTM D5628-10 (ensayo de impacto).

Se realizaron todos estos ensayos destructivos para determinar el material que presento la mejor combinación de propiedades mecánicas.

3.3 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

3.3.1 Variable independiente

Obtención y evaluación del comportamiento mecánico de un material compuesto de matriz poliéster y lana de oveja.

Tabla 3-2 Variable independiente.

Contextualización	Categorización	Indicadores	Ítems	Técnicas e instrumentos
Un material compuesto consta de la unión de dos o más materiales para conseguir mejores propiedades que no es posible encontrar en los materiales originales.	Material compuesto Resina Poliéster Lana de oveja	Configuración de la fibra Fracción volumétrica	Discontinuo al eje longitudinal Discontinuo al eje transversal. 70% matriz 30% refuerzo 60% matriz 40% refuerzo	Investigación Bibliográfica Registro de datos Máquinas de ensayos Normas ASTM

Fuente: El Autor.

3.4 PLAN DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

Para el desarrollo de la investigación se utilizó técnicas para la recolección de la información tales como la observación.

3.4.1 Observación

Toda información que se consideró necesario fue tomada nota, para analizar los hechos de significación especial, esto nos ayudó a tener una base de información suficiente para el proyecto.

3.4.2 Recolección de información

La recolección de información fue obtenida de libros, revistas científicas, artículos técnicos, internet, análisis y pruebas en el laboratorio y proyectos experimentales (tesis).

3.5 PLAN PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS

3.5.1 Plan de procesamiento

3.5.1.1 Obtención de materia prima

La matriz que se utilizó fue resina poliéster y fue adquirida por PINTULAC y sus propiedades especifican en el anexo 1.

El refuerzo utilizado fue de las fibras de la lana de oveja y sus propiedades fueron obtenidas mediante proceso gravimétrico.

El catalizador peróxido de MEK para la resina poliéster se adquirió de PITULAC ubicado en la ciudad de Ambato.

La cera desmoldante fue adquirida por SIMONIZ.

3.5.1.2 Densidad de la matriz

Para la determinación de la densidad de la matriz se utilizó el proceso gravimétrico, el cual consiste en sumergir un cuerpo sólido en un recipiente con medición volumétrica, este recipiente debe contener una cierta cantidad de líquido en este caso la resina y

poder obtener la diferencia de volúmenes, por medio de una balanza se pudo obtener la masa del cuerpo sólido de resina y mediante la ecuación 3.1 se obtiene la densidad.

$$d = \frac{m}{v} \quad \text{Ec.3.1}$$

d = densidad.

m = masa de cuerpo sólido.

v = volumen del cuerpo sólido.

Se realizó el proceso de gravimetría y se obtuvo un volumen de 9.86 cm³, y una masa de 12,6 gr. dándonos como resultado una densidad de 1,277 gr/cm³.

3.5.1.3 Densidad del refuerzo

Para la densidad del refuerzo se empleó el proceso de gravimetría en este caso se realizó tres muestras de diferentes refuerzos y en el recipiente volumétrico se colocó la resina con el mismo volumen para las tres muestras.

El resultado obtenido se muestra en la tabla 3-4.

Tabla 3-4 Determinación de la densidad de refuerzo.

DENSIDAD DEL REFUERZO				
MUESTRAS	MASA (gr.)	VOLUMEN (cm3)		DENSIDAD (gr/cm3)
1	3	Vol. Líquido + Vol. Sólido	201.9	1.58
		Vol. Líquido	200	
		Diferencia de volumen	1.9	
2	4	Vol. Líquido + Vol. Sólido	202.5	1.60
		Vol. Líquido	200	
		Diferencia de volumen	2.5	
3	5	Vol. Líquido + Vol. Sólido	203.8	1.32
		Vol. Líquido	200	
		Diferencia de volumen	3.8	
PROMEDIO TOTAL				1.50

Fuente: El Autor.

3.5.1.4 Densidad del material compuesto

De igual manera se calculó la densidad del material compuesto mediante el proceso gravimétrico, donde se ocupó un vaso de precipitación en donde se llenó de agua hasta los 200 cm³ y se introdujo una probeta donde se observó un incremento de 15 cm³, considerando que la masa de la probeta es de 20.46 gr. Aplicando la ecuación 3.1 se determinó la densidad del material compuesto de 1.36 gr/ cm³.

3.5.1.5 Probetas de ensayos

Para el diseño de las probetas nos basamos en la utilización de la norma ASTM D3039-00 (ensayo de tracción), ASTM D7264-07 (ensayo de flexión), ASTM D5628-10 (ensayo de impacto).

Las normas ASTM nos proporciona las medidas y la cantidad de probetas necesarias a realizarse, para el proceso de fabricación de las probetas es completamente manual tanto para la impregnación de las capas de fibras como la resina poliéster sobre el molde.

3.5.1.6 Determinación del volumen del molde

El cálculo del volumen se encontró con la ecuación 3.2:

$$V = b . a . e \quad \text{Ec.3.2}$$

Donde:

V= Volumen

b = largo.

A = ancho.

E = espesor.

Tabla 3-5 Dimensiones del molde.

DIMENSIONES DEL MOLDE	
Base	43 cm
Altura	25,6 cm
Espesor	0,3 cm

Fuente: El Autor.

El volumen calculado del molde es de 330.24 cm³.

3.5.1.7 Cálculo de la fracción volumétrica

Para poder realizar los cálculos es necesario tomar los datos anteriormente encontrados, los cuales especifican en la tabla 3-6:

Tabla 3-6 Datos conocidos.

DATOS CONOCIDOS	
<i>d matriz</i>	$1,28 \text{ gr} / \text{cm}^3$
<i>d refuerzo</i>	$1,5 \text{ gr} / \text{cm}^3$
<i>d compuesto</i>	$1,36 \text{ gr} / \text{cm}^3$
<i>V molde</i>	$330,24 \text{ cm}^3$

Fuente: El Autor.

Previo a la obtención de las fracciones volumétricas se realizó cálculos preliminares el cual consistió en conocer la masa exacta de la lana de oveja, se utilizó un molde de madera de 150x50x10mm, utilizando una configuración de 70% de matriz y 30% de refuerzo donde se obtuvo los siguientes datos :

$$\text{Volumen}_{total} = 75 \text{ cm}^3$$

$$\text{Volumen}_{matriz} = 52.5 \text{ cm}^3$$

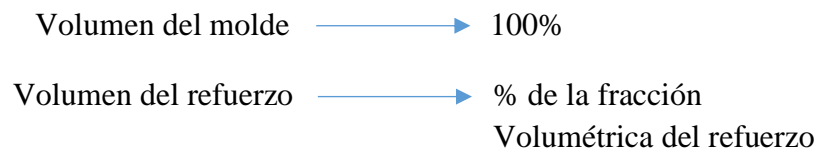
$$\text{Volumen}_{refuerzo} = 22.5 \text{ cm}^3$$

Con la Ec.3.1 encontramos la masa del refuerzo.

$$m = 1.5 \text{ gr} / \text{cm}^3 \times 22.5 \text{ cm}^3$$

$$m = 33.75 \text{ gr.}$$

La lana de oveja fue colocada en el molde con una orientación discontinuo al eje longitudinal, donde la masa total utilizada en el molde fue el 1/3 (11.25 gr.) de la calculada debido a que fue la cantidad que lleno el molde.



Al haber encontrado el volumen del refuerzo se calculó la masa del material del refuerzo con la ecuación 3.1:

$$d_f = \frac{m}{V_f}$$


$$m = d_f \cdot V_f$$

Después de realizar los cálculos se determinó el volumen del molde, el volumen de la matriz y la masa del material compuesto.

3.5.1.8 Dimensiones de las probetas

Según las normas especificadas para cada ensayo en la tabla 3-8 muestra las dimensiones de cada uno de ellos.

Tabla 3-8 Dimensiones estándar, configuración de refuerzo y fracción volumétrica de las probetas.

Características de las probetas para ensayos de tracción, flexión, impacto según norma ASTM.						
Ensayos	Normas	Dimensiones Largo x Ancho	Fracción volumetrica	Configuración de refuerzo	Medio de curado	Núm. De probetas
Tracción	ASTM 3039-00	250x25mm.	70% matriz 30% refuerzo	Discontinuo al eje longitudinal	Ambiente	5
				Discontinuo al eje transversal	Ambiente	5
			60% matriz 40% refuerzo	Discontinuo al eje longitudinal	Ambiente	5
				Discontinuo al eje transversal	Ambiente	5
Flexión	ASTM D7264-07	160x13 mm.	70% matriz 30% refuerzo	Discontinuo al eje longitudinal	Ambiente	5
				Discontinuo al eje transversal	Ambiente	5
			60% matriz 40% refuerzo	Discontinuo al eje longitudinal	Ambiente	5
				Discontinuo al eje transversal	Ambiente	5
Impacto	ASTM D5628-10	58x58 mm.	70% matriz 30% refuerzo	Discontinuo al eje longitudinal	Ambiente	10
				Discontinuo al eje transversal	Ambiente	10
			60% matriz 40% refuerzo	Discontinuo al eje longitudinal	Ambiente	10
				Discontinuo al eje transversal	Ambiente	10
Total:						80

Fuente: El Autor.

El espesor de las probetas se consideró de 3mm para todos los ensayos, se utilizó un solo molde de 43 x 25,6 cm y se realizó los cortes de cada probeta con las medidas mencionadas en la tabla 3-5, el molde se fabricó en acero ASTM A36.

3.5.1.9 Cálculo del catalizador

El catalizador que se utilizó para el proyecto experimental es peróxido de MEK (Metil Etil Cetona) el cual nos ayuda al curado de las probetas, el acelerante es el cobalto y la cantidad que recomienda el fabricante es de 1.5 ml por cada 100 gr de resina a 25°C (Anexo 1), para la fabricación de las probetas se aplicó el 2% del volumen de la matriz.

Para encontrar el volumen de catalizar se necesita el volumen de la matriz y se realiza la siguiente comparación:



3.5.1.10 Fracciones volumétricas del material compuesto 7030 y 6040.

La tabla 3-9 y 3-10 muestra las fracciones volumétricas de las dos composiciones del material compuesto.

Tabla 3-9 Fracciones volumétricas del material compuesto 7030.

FRACCIONES VOLUMÉTRICAS DEL MATERIAL COMPUESTO 7030					
DATOS		VOLUMEN DE LA MATRIZ (cm ³)	VOLUMEN DE CATALIZADOR (cm ³)	VOLUMEN DEL REFUERZO (cm ³)	MASA DEL MATERIAL DE REFUERZO (gr)
		Volumen del molde \longrightarrow 100%	Volumen de la matriz \longrightarrow 100%	Volumen del molde \longrightarrow 100%	
		Volumen de la matriz \longrightarrow % de la fracción volumétrica de la matriz	Volumen de MEK \longrightarrow % de MEK (2%)	Volumen del refuerzo \longrightarrow % de la fracción volumétrica del refuerzo	
d_m (gr/cm ³)	1.28				$m = d_f \cdot V_f$
d_f (gr/cm ³)	1.50	330.24 \longleftarrow 100%	231.168 \longleftarrow 100%	330.24 \longleftarrow 100%	$m = 148.43$
V_{molde} (cm ³)	330.24	$V_m \longleftarrow$ 70%	$V_{MEK} \longleftarrow$ 2.0%	$V_f \longleftarrow$ 30%	
f_m	0.7	$V_m = 231.17$	$V_{MEK} = 4.62$	$V_f = 99.07$	
f_f	0.3				

Fuente: El Autor.

La masa de refuerzo calculada es de 148.43 gr. y se utilizó el 1/3 (49.5gr.)

Tabla 3-10 Fracciones volumétricas del material compuesto 6040.

FRACCIONES VOLUMÉTRICAS DEL MATERIAL COMPUESTO 6040					
DATOS		VOLUMEN DE LA MATRIZ (cm ³)	VOLUMEN DE CATADOR (cm ³)	VOLUMEN DEL REFUERZO (cm ³)	MASA DEL MATERIAL DE REFUERZO (gr)
		Volumen del molde → 100%	Volumen de la matriz → 100%	Volumen del molde → 100%	
		Volumen de la matriz → % de la fracción volumétrica de la matriz	Volumen de MEK → % de MEK (2%)	Volumen del refuerzo → % de la fracción volumétrica del refuerzo	
d_m (gr/cm ³)	1.28				$m = d_f \cdot V_f$
d_f (gr/cm ³)	1.50	330.24 ← 100%	198.144 ← 100%	330.24 ← 100%	
V_{molde} (cm ³)	330.24	V_m ← 60%	V_{MEK} ← 2.0%	V_f ← 40%	$m = 198.14$
f_m	0.6	$V_m = 198.14$	$V_{MEK} = 3.96$	$V_f = 132.10$	
f_f	0.4				

Fuente: El Autor.

La masa de refuerzo calculada es de 198,14 gr. y se utilizó el 1/3 (66.05gr.)

3.5.1.11 Obtención de la lana

Para la obtención de la lana se realizó los pasos que se muestran a continuación:

3.5.1.11.1 Esquilación de la oveja

Para poder obtener la lana de una oveja hay que esquilarse esto consiste en cortar la lana de la oveja ya sea con tijeras o con máquinas esquiladoras, como se observa la figura 3-1.



Figura 3-1 Esquilación de la oveja.

Fuente: (Guerrero, 2011).

3.5.1.11.2 Remojo

Una vez obtenido la lana el siguiente paso es el remojo, se lo hace en agua caliente y con detergente se lo dejó reposar 10 minutos, esto nos ayuda a eliminar la grasa de la lana y también el detergente se concentra en las suciedades que la lana tiene. En la figura 3-2 se observa el proceso de remojo.



Figura 3-2 Remojo de la lana de oveja.

Fuente: El Autor.

3.5.1.11.3 Lavado

El lavado se lo realizó en un recipiente con agua caliente y consiste en presionar suavemente la lana hacia el interior para sumergir toda la lana, no se agita, retuerce o se frota. Este proceso se realizó durante 20 minutos como se observa en la figura 3-3.



Figura 3-3 Lavado de la lana de oveja.

Fuente: El Autor.

3.5.1.11.4 Enjuague

El siguiente paso consiste en el enjuague donde se retira la lana del agua ya ocupada hacia otro recipiente con agua caliente hay que considerar que el agua se encuentre a la misma temperatura siempre, este proceso se realizó varias veces hasta que el agua salga clara como muestra la figura 3-4.



Figura 3-4 Enjuague de la lana de oveja.

Fuente: El Autor.

3.5.1.11.5 Secado

El proceso a continuación es el secado donde se colocó la lana en un alambre esto se lo realizo en un día soleado y con existencia de flujo de aire.



Figura 3-5 Secado de la lana de oveja.

Fuente: El Autor.

3.5.1.11.6 Carmenado

El siguiente proceso es de carmenar el cual consiste en abrir los mechones, desenredar las fibras con las manos eliminando las impurezas como ramas pequeñas hiervas o semillas hasta conseguir una textura suave.



Figura 3-6 Carmenado de la lana.

Fuente: El Autor.

3.5.1.11.7 Hilado

Finalmente se realiza el hilado el cual consiste en torcer las fibras de lana carmenada se lo realiza con un huso.



Figura 3-7 Hilado.

Fuente: El Autor.

3.5.1.12 Configuración del refuerzo

El proyecto experimental consta de dos configuraciones de las fibras de la lana de oveja, el primero se realizó con una discontinuidad orientada al eje longitudinal y el segundo con una discontinuidad aleatoria orientado al eje transversal.

En la figura 3-8 muestra la configuración orientada al eje longitudinal en el cual la medida de la fibra será la misma que el molde.

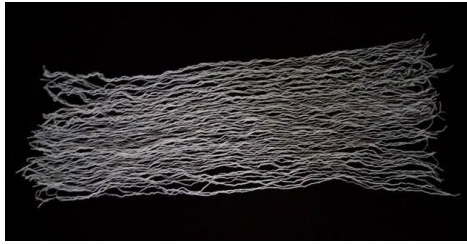


Figura 3-8 Fibras discontinuas orientado al eje longitudinal.

Fuente: El Autor.

La configuración orientada al eje transversal consiste en poner las fibras a lo ancho del molde como muestra en la figura 3-9:



Figura 3-9 Fibra discontinuas orientado al eje transversal

Fuente: El Autor.

3.5.1.13 Fabricación de las probetas de ensayo

Para la elaboración de las probetas se considera los valores obtenidos anteriormente que son el volumen de la resina poliéster y la masa de las fibras de lana de oveja para conformar el material compuesto 7030 y 6040.

A continuación, se detallará el procedimiento para la obtención de las probetas.

3.5.1.13.1 Limpieza del molde

La limpieza del molde consiste en eliminar toda clase de impurezas o sobrantes mínimos de resina o fibra ya que esto podría ocasionar irregularidades en las caras de las probetas.



Figura 3-10 Limpieza del molde

Fuente: El Autor.

3.5.1.13.2 Aplicación de cera desmoldante

La cera, es con el fin de al momento de retirar la probeta no se adhiera al molde, la cera fue colocado en la parte interna y la tapa del molde.

Después de la aplicación de la cera desmoldante se dejó reposar alrededor de 8 a 10 minutos. En la figura 3-11 muestra la aplicación del la cera.



Figura 3-11 Aplicación de cera

Fuente: El Autor.

3.5.1.13.3 Aplicación de la matriz y catalizador MEK

Para la aplicación correcta de la matriz se utilizó instrumentos de medición volumétrica como un vaso de precipitación y una jeringa pudiendo así aplicar los centímetros cúbicos requeridos para la fabricación del material compuesto 7030 y 6040.

Para la aplicación del catalizador se lo añadió en la resina poliéster la cantidad calculado anteriormente.



Figura 3-12 Aplicación de la matriz

Fuente: El Autor.

3.5.1.13.4 Aplicación del refuerzo

Las fibras de la lana de oveja después del proceso de hilado, se colocó la cantidad indicada en el molde y en la configuración correspondiente ya sea discontinuidad al eje longitudinal o al eje transversal como se observa en las figuras 3-13 y 3-14.



Figura 3-13 Configuración discontinuidad al eje longitudinal.

Fuente: El Autor.



Figura 3-14 Configuración discontinuidad al eje transversal.

Fuente: El Autor.

3.5.1.13.5 Mezcla del material compuesto

Inicialmente se ubicó la mezcla de la resina poliéster con el catalizador MEK, con la configuración correspondiente y después las fibras de la lana de oveja como muestra en la figura 3-15:



Figura 3-15 Mezcla del material compuesto.

Fuente: El Autor.

3.5.1.13.6 Compactación el molde

Después de aplicar la mezcla correctamente en el molde se realizó la compactación del molde el cual consiste en poner la placa superior y ajustar los pernos en forma diagonal para tener una correcta uniformidad y mejor compactación del material compuesto.



Figura 3-16 Compactación del molde.

Fuente: El Autor.

3.5.1.13.7 Desmoldeo del material compuesto

Para realizar el desmoldeo se procedió a desajustar las tuercas para retirar la placa superior y obtener nuestro material compuesto como se observa en la figura 3-17, es importante considerar que el tiempo de secado es de 40 a 50 minutos pero se lo dejó reposar en el molde alrededor de 12 horas.



Figura 3-17 Desmolde del material compuesto.

Fuente: El Autor.

3.5.1.13.8 Inspección visual

En este paso al material compuesto se revisó visualmente que no tenga porosidades o fisuras, se verificó también el espesor con un calibrador pie de rey, realizado este proceso al material compuesto se dejó secar en un tiempo de 5 días con el fin de que obtenga sus mejores propiedades.

3.5.1.13.9 Corte del material compuesto

En este punto en el material compuesto obtenido se procedió a trazar las dimensiones requeridas por las normas ASTM, para realizar los cortes exactos y cumplir con las dimensiones se utilizó una fresadora como se observa en figura 3-18.

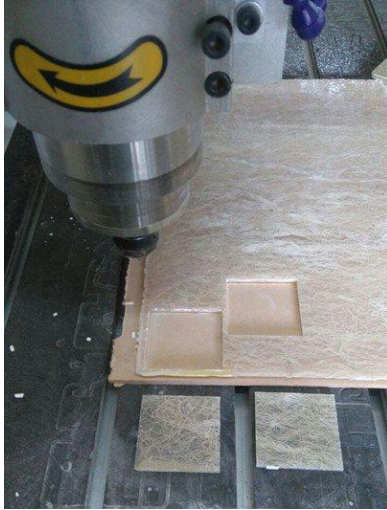


Figura 3-18 Corte del material compuesto

Fuente: El Autor.

Finalmente se obtuvo las probetas para realizar los ensayos de tracción, flexión e impacto tal como muestra las figuras 3-19, 3-20, 3-21:

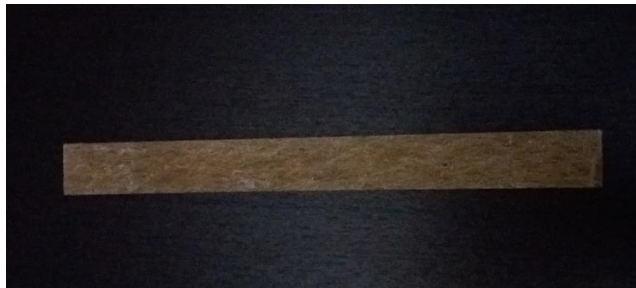


Figura 3-19 Probetas para ensayo a tracción según normas ASTM 3039-00

Fuente: El Autor.



Figura 3-20 Probetas para ensayo a flexión según normas ASTM 7264-07

Fuente: El Autor.

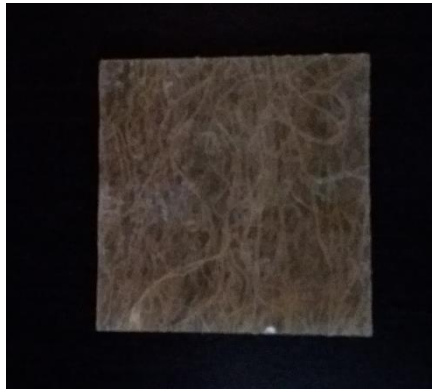


Figura 3-21 Probetas para ensayo a impacto según normas ASTM 5628-10

Fuente: El Autor.

3.5.2 Ensayos del material compuesto.

Los ensayos de tracción y flexión se realizaron en el Centro de Fomento Metalmecánico Carrocero ubicado en la ciudad de Ambato, se utilizó una máquina universal de ensayos electromecánicos Metrotec MTE50 como se ve en la figura 3-22, mediante la utilización de las normas de tracción ASTM 3039-00 y flexión ASTM 7264-07, para el ensayos de impacto se utilizó una máquina de impacto por dardo como se observa en la figura 3-23, se utilizó la norma ASTM 5628-10 y se realizó en la Universidad Técnica de Ambato en la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica en el laboratorio de materiales, campus Huachi Chico.



Figura 3-22 Máquina Universal de Ensayos Electromecánicos Metrotec MTE50.

Fuente: Centro de Fomento Metalmecánico Carrocero.



Figura 3-23 Máquina de impacto.

Fuente: Laboratorio de materiales FICM-UTA.

3.5.2.1 Ensayo de tracción

Antes de realizar los ensayos a tracción se tomó ciertas características importantes como lo muestra en la tabla 3-11:

Tabla 3-11 Características de las probetas de ensayo a tracción

CARACTERÍSTICAS DE LAS PROBETAS DE ENSAYO A TRACCIÓN	
Componente de la matriz	Resina Poliéster
Componente del refuerzo	Fibra de lana de oveja
Dimensiones de las probetas	250x25x3 mm.
Tipo de estratificación	Compresión
Equipo de ensayo	Máquina Universal Metrotec MTE50.
Tiempo de curado	39 días
Velocidad de ensayo	10 mm/min

Fuente: El Autor.

A continuación, se analizaron 5 probetas tal como indica la norma ASTM D3039-00 para determinar el esfuerzo máximo de rotura, porcentaje de deformación y el módulo de elasticidad de cada uno de ellos.

Esfuerzo máximo a tracción

Este análisis consiste en aplicar una carga a una velocidad constante y después de un tiempo determinado se generó la ruptura de la probeta, en el cual se determinó la carga máxima de ruptura y también se obtiene un espesor en esta zona con lo que determinamos la sección transversal, este espesor es menor al espesor inicial, obtenido todos estos datos se determinó el esfuerzo máximo sometido a tracción y se utilizó la ecuación 4.4:

$$\sigma_{max} = \frac{F}{A} \quad Ec.4.4$$

Donde:

σ_{max} = Esfuerzo máximo a tracción (MPa).

F = Carga máxima para producir la fractura (N).

A = Área de sección transversal (mm^2).

Porcentaje de deformación.

Para el cálculo del porcentaje se necesita la longitud inicial antes de la fractura y la longitud final después de la fractura de la probeta y aplicar la ecuación 4.5:

$$\varepsilon = \frac{l_f - l_i}{l_i} \times 100 \quad Ec.4.5$$

Donde:

ε = Porcentaje de elongación

l_f = Longitud final (mm.)

l_i = Longitud inicial (mm.)

Módulo de elasticidad

El módulo de elasticidad o también conocido como módulo de Young se ha determinado siguiendo las especificaciones de la norma ASTM D3039-00 y la relación de Hooke mediante la ecuación 4.6:

$$E = \frac{\sigma_{max}}{\varepsilon} \quad Ec.4.6$$

Donde:

E = Módulo de elasticidad

σ_{max} = Esfuerzo máximo a tracción (MPa).

ε = Elongación

3.5.2.2 Ensayo de flexión

Para el ensayo de flexión se lo realizó bajo la norma ASTM D7264-07 y se tomaron las siguientes características especificadas en la tabla 3-12:

Tabla 3-12 Características de las probetas de ensayo a flexión.

CARACTERÍSTICAS DE LAS PROBETAS DE ENSAYO A FLEXIÓN	
Componente de la matriz	Resina Poliéster
Componente del refuerzo	Fibra de lana de oveja
Dimensiones de las probetas	160 x13x3 mm.
Tipo de estratificación	Compresión
Equipo de ensayo	Máquina Universal de Ensayos Electromecánicos Metrotec MTE50.
Tiempo de curado	33 días
Velocidad de ensayo	10 mm/min

Fuente: El Autor.

El siguiente ensayo se realizó en una Máquina Universal de Ensayos Electromecánicos Metrotec MTE50, de igual manera se realizaron 5 probetas y se determinó el esfuerzo máximo a la flexión y el módulo de flexión.

Esfuerzo máximo a la flexión

Para encontrar el esfuerzo máximo a la flexión se aplicó una carga constante en $L/2$ a una velocidad constante y un tiempo determinado se produjo la rotura, donde al aplicar la carga máxima soportada por la probeta se obtuvo el esfuerzo máximo mediante la siguiente ecuación 4.7:

$$\sigma_{max} = \frac{3PL}{2bh^2} \quad Ec.4.7$$

Donde:

σ_{max} = Esfuerzo máximo a la flexión (MPa).

P = Fuerza aplicada (N).

L = Longitud entre apoyos (mm).

b = Ancho de la probeta (mm).

h = Espesor de la probeta (mm).

Módulo de flexión

El módulo de flexión se encuentra mediante la ecuación 4.8:

$$E_f = \frac{L^3 P}{4bh^3 \delta} \quad Ec.4.8$$

Donde:

E_f = Módulo de ruptura a la flexión.

L^3 = Longitud entre apoyos (mm).

P = Fuerza aplicada (N).

b = Ancho de la probeta (mm).

h = Espesor de la probeta (mm).

δ = Deflexión de la probeta (mm).

3.5.2.3 Ensayo de impacto

Para realizar el ensayo de impacto se utilizaron 10 probetas con sus medidas adecuadas tal como indica la norma ASTM D D5628-10, este ensayo se realizó en el laboratorio de Materiales de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, en una máquina de impacto por dardo donde se realizó a diferentes distancias de altura hasta que la probeta llegue a la ruptura.

Para encontrar la energía máxima al impacto se aplicó la ecuación 4.9:

$$MEF = h \cdot w \cdot f \quad Ec.4.9$$

Donde:

MEF = Energía máxima de impacto.

h = Altura máxima de ruptura (mm).

w = La masa máxima de ruptura (Kg).

f = Factor de conversión (Joule = 9.8066×10^{-3}).

CAPITULO IV

4. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Para una mayor interpretación de los resultados se ha denominado los materiales compuestos como: materia compuesto 7030 y material compuesto 6040, que consiste en 70% matriz - 30 % de refuerzo y 60 % matriz – 40% refuerzo respectivamente.

4.1 RECOLECCIÓN DE DATOS

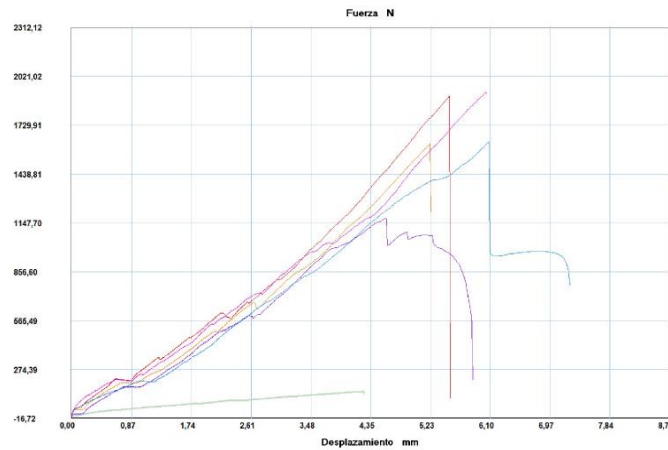
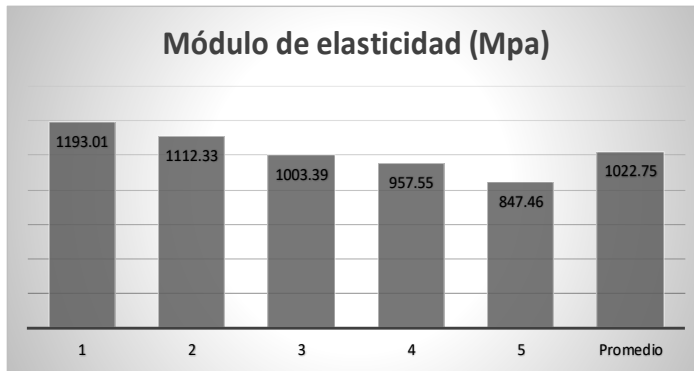
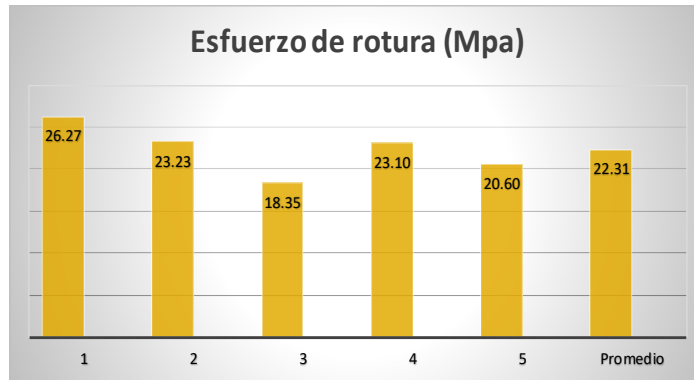
4.1.1 Tabulación de los resultados obtenidos en los ensayos a tracción.

Cumpliendo con las especificaciones de la norma ASTM D3039-00 se a generando las siguientes fichas técnicas, donde se observa la toma de datos y los resultados obtenidos de cada ensayo.

Tabla 4-1 Ficha técnica de ensayo a tracción del material compuesto 7030, configuración discontinuo al eje longitudinal.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 					
FICHA TÉCNICA DE ENSAYO DE TRACCIÓN DEL MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ POLIÉSTER Y REFUERZO LANA DE OVEJA					
Norma:	ASTM D3039-00	Fracción volumétrica de la matriz:	70%		
Máquina:	Máquina Universal de Ensayos Electromecánicos Metrotec MTE50.	Fracción volumétrica del refuerzo:	30%		
Laboratorio:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero	Dimensiones de la probeta:	250 x 25 mm.		
Matriz:	Resina Poliéster	Espesor promedio:	2,79 mm.		
Refuerzo:	Lana de oveja	Configuración del refuerzo:	Discontinuo al eje longitudinal		
FOTOGRAFÍAS DE LAS PROBETAS SOMETIDAS A TRACCIÓN					
					
DATOS Y RESULTADOS OBTENIDOS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN					
Número de probetas	Carga máxima (N).	Esfuerzo de rotura (Mpa)	Módulo de elasticidad (Mpa)	% Elongación	Tipo de Falla
1	1905.29	26.27	1193.01	2.20	AGM
2	1618.09	23.23	1112.33	2.09	AGM
3	1179.16	18.35	1003.39	1.83	AGM
4	1926.77	23.10	957.55	2.41	LAT
5	1629.67	20.60	847.46	2.43	LAT
Promedio	1651.80	22.31	1022.75	2.19	—
Desviación estandar	302.03	2.99	134.50	0.25	—

GRAFICAS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS



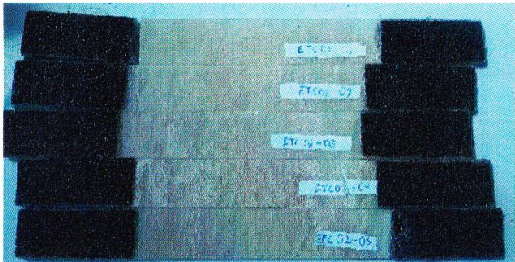


Probeta	FMax N	FYield N	FRot N	CMax MPa	C.Yield MPa	CRot MPa
1	1905,29	381,36	1905,29	26,27	5,23	26,27
2	1618,09	303,48	1618,09	23,23	4,36	23,23
3	1179,16	296,93	1179,16	18,35	4,60	18,35
4	1926,77	157,11	1913,85	23,13	1,89	22,98
5	1629,67	116,32	1629,67	20,69	1,48	20,69
Media	1651,796	251,040	1649,212	22,332	3,511	22,301
Desv. Std	302,027	110,467	299,127	2,980	1,707	2,971
Coef. V.	0,183	0,440	0,181	0,133	0,486	0,133
+3 Sigma	2557,876	582,440	2546,594	31,272	8,632	31,213

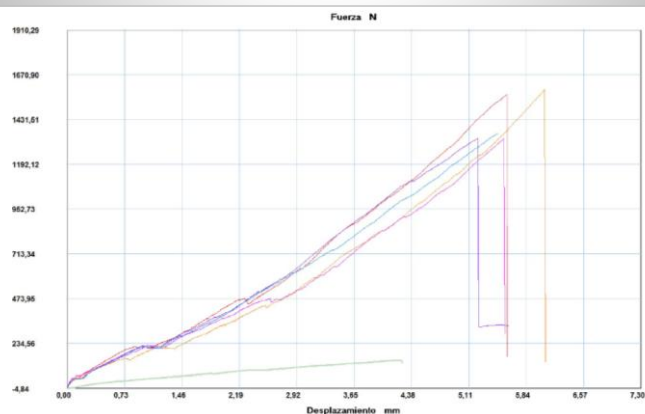
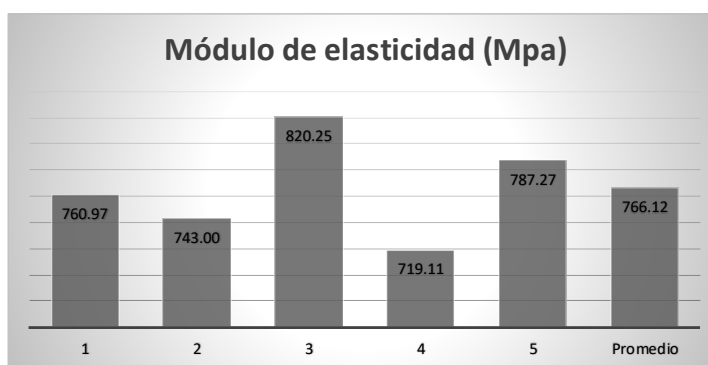
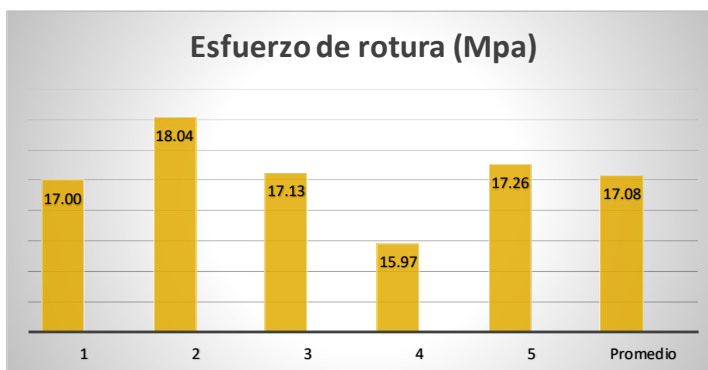
Observaciones		Evaluaciones	
El tipo de falla LAT es la rotura producida en la parte superior de la probeta. El tipo de falla AGM es la rotura producida en la zona calibrada es decir en la parte media de la probeta.		Espesor promedio: 3,42 mm Esfuerzo máximo promedio: 22,31 Mpa Módulo de elasticidad promedio: 1022,75 Mpa	
Elaborado:	Sr. Xavier Espin	Aprobado:	Ing. Mg. Segundo Espín
Revisado:	Ing. Mg. Segundo	Validado:	Ing. Mg. Segundo Espín

Fuente: El Autor.

Tabla 4-2 Ficha técnica de ensayo a tracción del material compuesto 7030, configuración discontinuo al eje transversal.

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
FICHA TÉCNICA DE ENSAYO DE TRACCIÓN DEL MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ POLIÉSTER Y REFUERZO LANA DE OVEJA					
Norma:	ASTM D3039-00	Fracción volumétrica de la matriz:	70%		
Máquina:	Máquina Universal de Ensayos Electromecánicos Metrotec MTE50.	Fracción volumétrica del refuerzo:	30%		
Laboratorio:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero	Dimensiones de la probeta:	250 x 25 mm.		
Matriz:	Resina Poliéster	Espesor promedio:	3,35 mm.		
Refuerzo:	Lana de oveja	Configuración del refuerzo:	Discontinuo al eje transversal		
FOTOGRAFÍAS DE LAS PROBETAS SOMETIDAS A TRACCIÓN					
					
DATOS Y RESULTADOS OBTENIDOS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN					
Número de probetas	Carga máxima (N).	Esfuerzo de rotura (Mpa)	Módulo de elasticidad (Mpa)	% Elongación	Tipo de Falla
1	1564.71	17.00	760.97	2.23	LIT
2	1591.91	18.04	743.00	2.43	LAT
3	1331.06	17.13	820.25	2.09	LAT
4	1330.22	15.97	719.11	2.22	LAT
5	1359.43	17.26	787.27	2.19	LAT
Promedio	1435.47	17.08	766.12	2.23	—
Desviación estandar	131.28	0.74	39.21	0.12	—

GRAFICAS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS






Probeta	FMax N	FYield N	FRot N	CMax MPa	C.Yield MPa	CRot MPa
1	1564,71	114,81	1564,71	17,00	1,25	17,00
2	1591,91	102,56	1591,91	18,04	1,16	18,04
3	1331,06	103,06	1331,06	17,64	1,37	17,64
4	1330,22	105,41	1330,22	16,07	1,27	16,07
5	1359,43	101,21	1359,43	17,26	1,28	17,26
Media	1435,466	105,410	1435,466	17,201	1,267	17,201
Desv. Std	131,280	5,469	131,280	0,747	0,073	0,747
Coef. V.	0,091	0,052	0,091	0,043	0,058	0,043
+3 Sigma	1829,305	121,817	1829,305	19,442	1,487	19,442

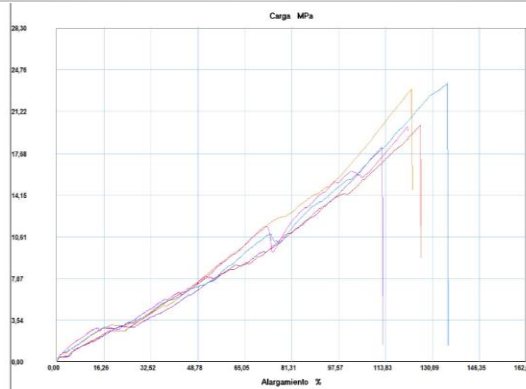
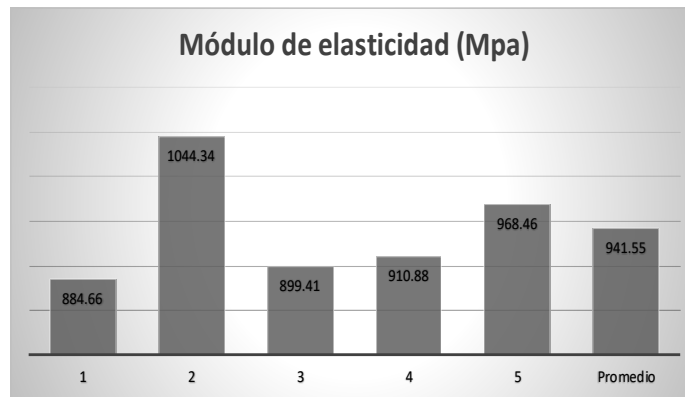
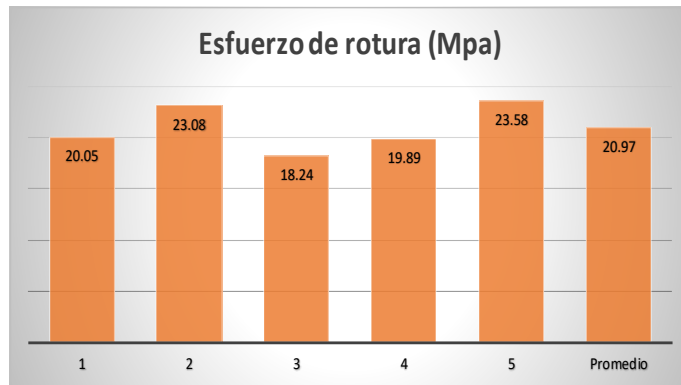
Observaciones		Evaluaciones	
El tipo de falla LIT es la rotura producida en la parte superior de la probeta, dentro del agarre. El tipo de falla LAT es la rotura producida en la parte superior de la probeta		Espesor promedio: 3,42mm Esfuerzo máximo promedio: 17,08 Mpa Módulo de elasticidad promedio: 766,12 Mpa	
Elaborado:	Sr. Xavier Espin	Aprobado:	Ing. Mg. Segundo Espín
Revisado:	Ing. Mg. Segundo Espín	Validado:	Ing. Mg. Segundo Espín

Fuente: El Autor.

Tabla 4-3 Ficha técnica de ensayo a tracción del material compuesto 6040, configuración discontinuo al eje longitudinal.

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
FICHA TÉCNICA DE ENSAYO DE <u>TRACCIÓN</u> DEL MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ POLIÉSTER Y REFUERZO LANA DE OVEJA					
Norma:	ASTM D3039-00	Fracción volumétrica de la matriz:	60%		
Máquina:	Máquina Universal de Ensayos Electromecánicos Metrotec MTE50.	Fracción volumétrica del refuerzo:	40%		
Laboratorio:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero	Dimensiones de la probeta:	250 x 25 mm.		
Matriz:	Resina Poliéster	Espesor promedio:	2,79 mm.		
Refuerzo:	Lana de oveja	Configuración del refuerzo:	Discontinuo al eje longitudinal		
FOTOGRAFÍAS DE LAS PROBETAS SOMETIDAS A TRACCIÓN					
					
DATOS Y RESULTADOS OBTENIDOS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN					
Número de probetas	Carga máxima (N).	Esfuerzo de rotura (Mpa)	Módulo de elasticidad (Mpa)	% Elongación	Tipo de Falla
1	1401.56	20.05	884.66	2.27	AGM
2	1667.94	23.08	1044.34	2.21	LAT
3	1223.47	18.24	899.41	2.03	AGM
4	1295.98	19.89	910.88	2.18	AGM
5	1760.43	23.58	968.46	2.43	LAT
Promedio	1469.88	20.97	941.55	2.224	—
Desviación estandar	234.13	2.28	65.66	0.15	—

GRAFICAS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS






Probeta	FMax N	FYield N	FRot N	CMax MPa	C.Yield MPa	CRot MPa
1	1401,56	90,81	1401,56	20,05	1,30	20,05
2	1667,94	120,52	1667,94	23,08	1,67	23,08
3	1223,47	84,26	1223,47	18,24	1,26	18,24
4	1295,98	130,25	1295,98	19,89	2,00	19,89
5	1760,43	128,57	1760,43	23,58	1,72	23,58
Media	1469,876	110,882	1469,876	20,966	1,589	20,966
Desv. Std	234,133	21,751	234,133	2,276	0,311	2,276
Coef. V.	0,159	0,196	0,159	0,109	0,196	0,109
+3 Sigma	2172,276	176,136	2172,276	27,795	2,522	27,795

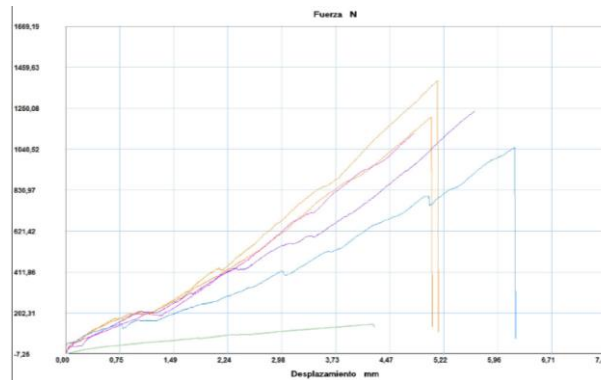
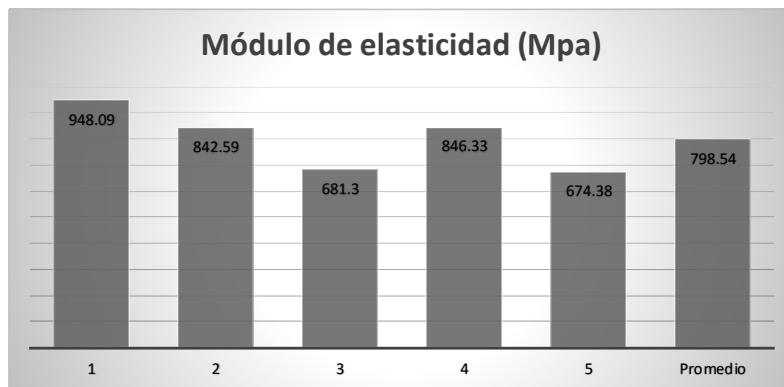
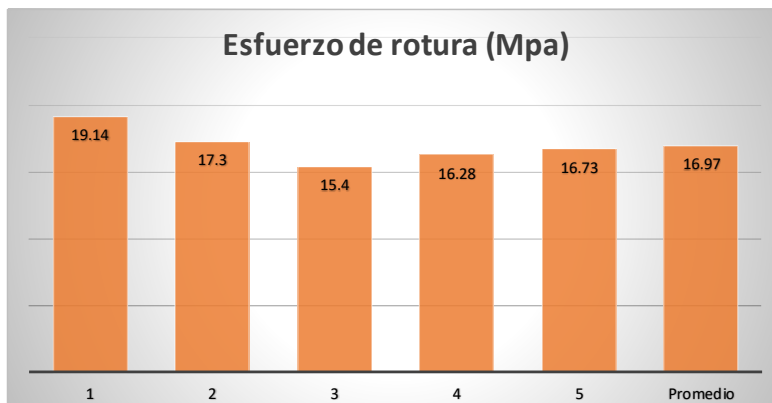
Observaciones		Evaluaciones	
El tipo de falla AGM hace referencia a la rotura producida en la zona calibrada es decir en la parte media de la probeta El tipo de falla LAT hace referencia a la rotura producida en la parte superior de la probeta		Espesor promedio: 2,79 mm Esfuerzo máximo promedio: 20,97 Mpa Módulo de elasticidad promedio: 941,55 Mpa	
Elaborado:	Sr. Xavier Espin	Aprobado:	Ing. Mg. Segundo Espín
Revisado:	Ing. Mg. Segundo Espín	Validado:	Ing. Mg. Segundo Espín

Fuente: El Autor.

Tabla 4-4 Ficha técnica de ensayo a tracción del material compuesto 6040, configuración discontinuo al eje transversal.

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
FICHA TÉCNICA DE ENSAYO DE TRACCIÓN DEL MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ POLIÉSTER Y REFUERZO LANA DE OVEJA					
Norma:	ASTM D3039-00	Fración volumétrica de la matriz:	60%		
Máquina:	Máquina Universal de Ensayos Electromecánicos Metrotec MTE50.	Fración volumétrica del refuerzo:	40%		
Laboratorio:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero	Dimensiones de la probeta:	250 x 25 mm.		
Matriz:	Resina Poliéster	Espesor promedio:	2,83 mm.		
Refuerzo:	Lana de oveja	Configuración del refuerzo:	Discontinuo al eje transversal		
FOTOGRAFÍAS DE LAS PROBETAS SOMETIDAS A TRACCIÓN					
					
DATOS Y RESULTADOS OBTENIDOS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN					
Número de probetas	Carga máxima (N).	Esfuerzo de rotura (Mpa)	Módulo de elasticidad (Mpa)	% Elongación	Tipo de Falla
1	1203.67	19.14	948.09	2.02	LAT
2	1390.99	17.3	842.59	2.05	LAT
3	1236.73	15.4	681.3	2.26	LAT
4	1122.76	16.28	846.33	1.92	AGM
5	1050.42	16.73	674.38	2.48	LAT
Promedio	1200.91	16.97	798.54	2.15	—
Desviación estandar	128.62	1.40	118.06	0.22	—

GRAFICAS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS



Probeta	FMax N	FYield N	FRot N	CMax MPa	C.Yield MPa	CRot MPa
1	1203.67	111.62	1203.67	19.14	1.77	19.14
2	1390.99	108.94	1390.99	17.30	1.36	17.30
3	1236.73	88.63	1236.73	15.40	1.10	15.40
4	1122.76	81.74	1122.76	16.28	1.19	16.28
5	1050.42	107.26	1050.42	16.73	1.71	16.73
Media	1200,914	99,638	1200,914	16,970	1,425	16,970
Desv. Std	128,623	13,507	128,623	1,396	0,303	1,396
Coef. V.	0,107	0,136	0,107	0,082	0,213	0,082
+3 Sigma	1586,784	140,158	1586,784	21,157	2,335	21,157




Observaciones		Evaluaciones	
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		Espesor promedio: 2,83 mm Esfuerzo máximo promedio: 16,97 Mpa Módulo de elasticidad promedio: 798,54 Mpa	
Elaborado:	Sr. Xavier Espín	Aprobado:	Ing. Mg. Segundo Espín
Revisado:	Ing. Mg. Segundo Espín	Validado:	Ing. Mg. Segundo Espín

Fuente: El Autor

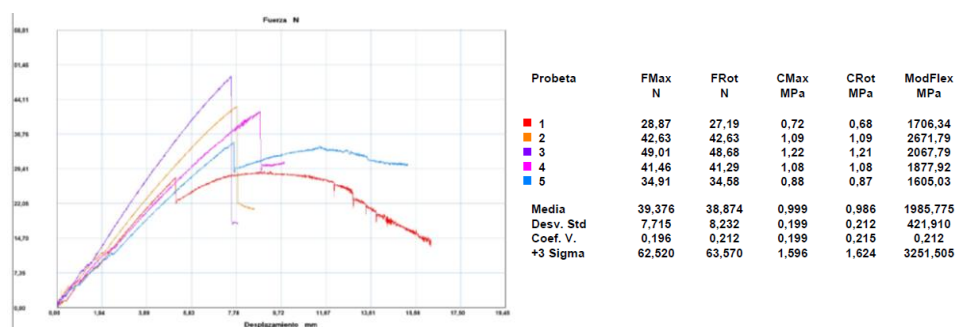
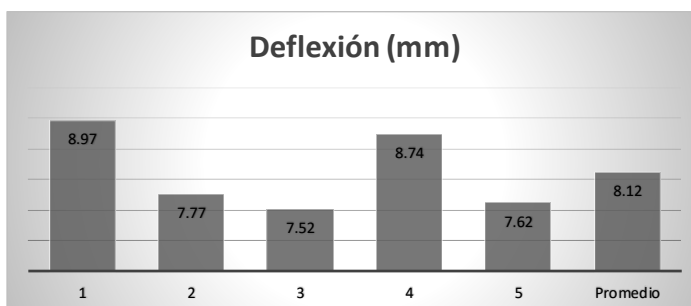
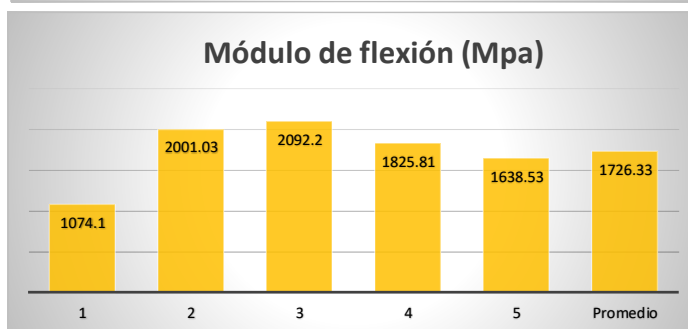
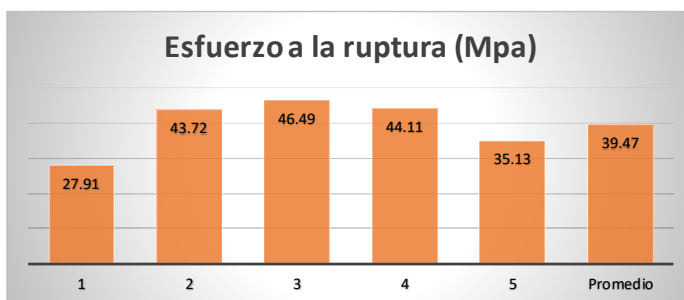
4.1.2 Tabulación de los resultados obtenidos en los ensayos a flexión.

Los ensayos de flexión obtenidos según la norma ASTM D7264-07 se a generando las siguientes fichas técnicas, donde se observa la toma de datos y los resultados obtenidos de cada ensayo.

Tabla 4-5 Ficha técnica de ensayo a flexión del material compuesto 7030, configuración discontinuo al eje longitudinal.

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
FICHA TÉCNICA DE ENSAYO DE FLEXIÓN DEL MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ POLIÉSTER Y REFUERZO LANA DE OVEJA					
Norma:	ASTM D7264-07	Fracción volumétrica de la matriz:	70%		
Máquina:	Máquina Universal de Ensayos Electromecánicos Metrotec MTE50.	Fracción volumétrica del refuerzo:	30%		
Laboratorio:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carroceros	Dimensiones de la probeta:	160 x 13 mm.		
Matriz:	Resina Poliéster	Espesor promedio:	3,01 mm		
Refuerzo:	Lana de oveja	Configuración del refuerzo:	Discontinuo al eje longitudinal		
FOTOGRAFÍAS DE LAS PROBETAS SOMETIDAS A FLEXIÓN					
					
DATOS Y RESULTADOS OBTENIDOS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN					
Numero de probetas	Carga máxima (N).	Esfuerzo a la ruptura (Mpa)	Módulo de flexión (Mpa)	Deflexión (mm)	Tipo de Falla
1	28.87	27.91	1074.1	8.97	OAM
2	42.63	43.72	2001.03	7.77	OAB
3	49.01	46.49	2092.2	7.52	OAB
4	41.46	44.11	1825.81	8.74	OAB
5	34.91	35.13	1638.53	7.62	OLB
Promedio	39.38	39.47	1726.33	8.12	—
Desviación estandar	7.71	7.77	403.83	0.68	—


GRAFICAS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS



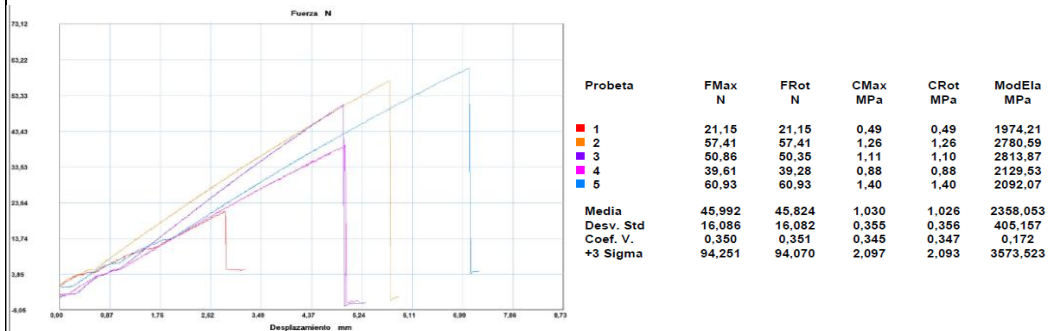
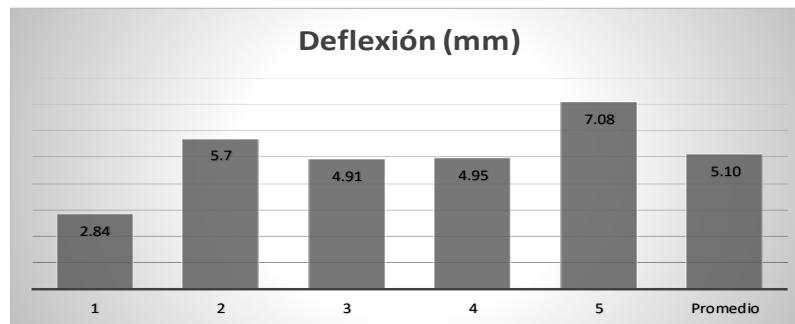
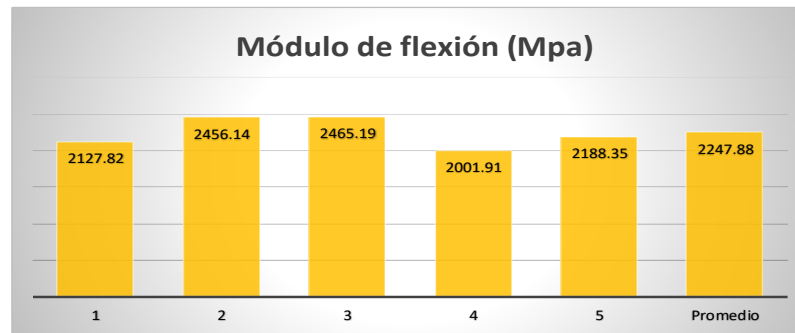
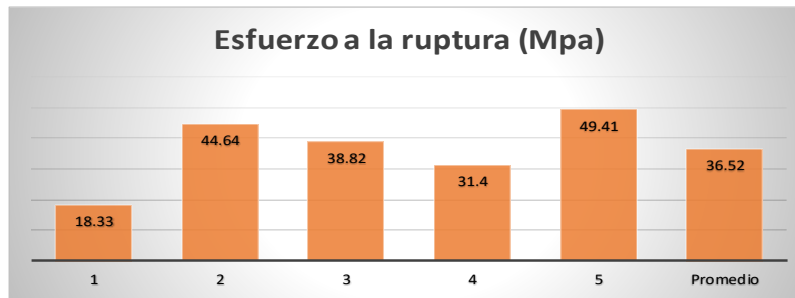
Observaciones		Evaluaciones	
<p>El tipo de falla OAB se refiere que el área de falla está en el punto de carga y se localiza en el fondo de la probeta.</p> <p>El tipo de falla OAM se refiere que el área de falla está en el punto de carga y se localiza en el medio de la probeta.</p> <p>El tipo de falla OLB se refiere que el área de falla está entre la carga y el punto de apoyo y se localiza en el fondo de la probeta.</p>		<p align="center">Espesor promedio: 3,01 mm Esfuerzo máximo promedio: 39,47 Mpa Módulo de flexión promedio: 1726,33 Mpa</p>	
Elaborado:	Sr. Xavier Espin	Aprobado:	Ing. Mg. Segundo Espin
Revisado:	Ing. Mg. Segundo Espin	Validado:	Ing. Mg. Segundo Espin

Fuente: El Autor.

Tabla 4-6 Ficha técnica de ensayo a flexión del material compuesto 7030, configuración discontinuo al eje transversal.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA					
FICHA TÉCNICA DE ENSAYO DE FLEXIÓN DEL MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ POLIÉSTER Y REFUERZO LANA DE OVEJA					
Norma:	ASTM D7264-07	Fracción volumétrica de la matriz:	70%		
Máquina:	Máquina Universal de Ensayos Electromecánicos Metrotec MTE50.	Fracción volumétrica del refuerzo:	30%		
Laboratorio:	Centro de Fomento Productivo Metalmeccánico Carrocero	Dimensiones de la probeta:	160 x 13 mm.		
Matriz:	Resina Poliéster	Espesor promedio:	3,37 mm		
Refuerzo:	Lana de oveja	Configuración del refuerzo:	Discontinuo al eje transversal		
FOTOGRAFÍAS DE LAS PROBETAS SOMETIDAS A FLEXIÓN					
					
DATOS Y RESULTADOS OBTENIDOS DEL ENSAYO DE FLEXIÓN					
Número de probetas	Carga máxima (N).	Esfuerzo a la ruptura (Mpa)	Módulo de flexión (Mpa)	Deflexión (mm)	Tipo de Falla
1	21.15	18.33	2127.82	2.84	OAB
2	57.41	44.64	2456.14	5.7	OAM
3	50.86	38.82	2465.19	4.91	OAB
4	39.61	31.4	2001.91	4.95	OAB
5	60.93	49.41	2188.35	7.08	OLB
Promedio	45.99	36.52	2247.88	5.10	—
Desviación estandar	16.09	12.19	205.58	1.54	—

GRAFICAS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS



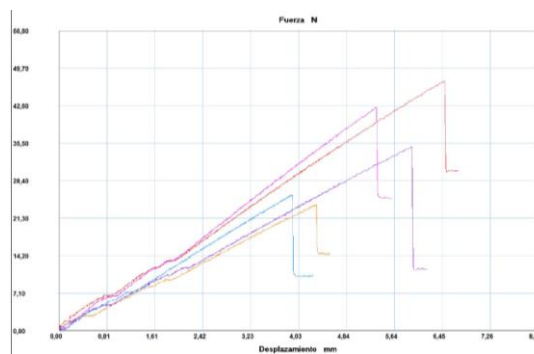
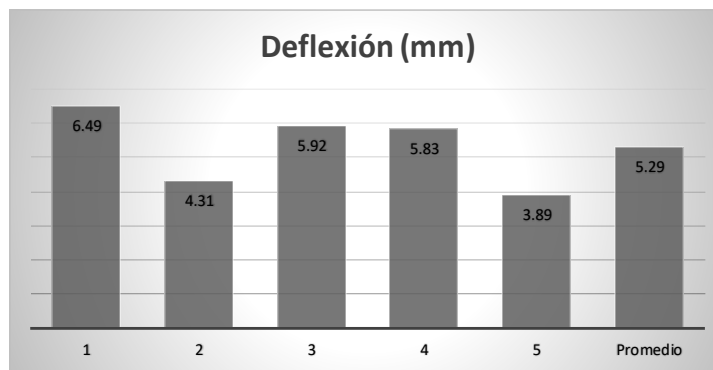
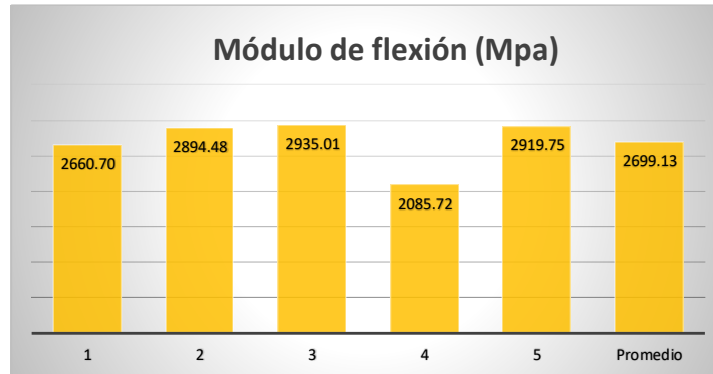
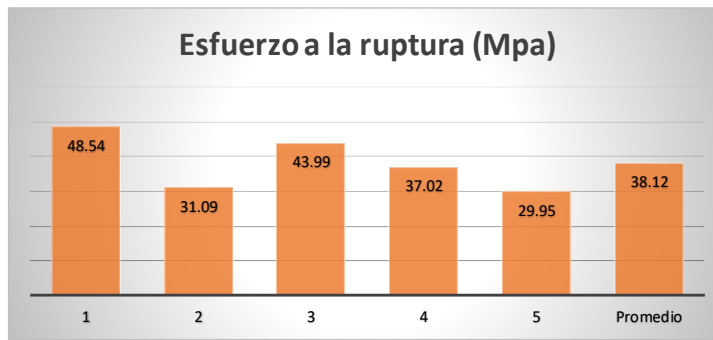
Observaciones		Evaluaciones	
El tipo de falla OAB se refiere que el área de falla está en el punto de carga y se localiza en el fondo de la probeta. El tipo de falla OAM se refiere que el área de falla está en el punto de carga y se localiza en el medio de la probeta. El tipo de falla OLB se refiere que el área de falla está entre la carga y el punto de apoyo y se localiza en el fondo de la probeta.		Espesor promedio: 3,37 mm Esfuerzo máximo promedio: 36,52 Mpa Módulo de flexión promedio: 2247,88 Mpa	
Elaborado:	Sr. Xavier Espin	Aprobado:	Ing. Mg. Segundo Espín
Revisado:	Ing. Mg. Segundo Espín	Validado:	Ing. Mg. Segundo Espín

Fuente: El Autor.

Tabla 4-7 Ficha técnica de ensayo a flexión del material compuesto 6040, configuración discontinuo al eje longitudinal.

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
FICHA TÉCNICA DE ENSAYO DE FLEXIÓN DEL MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ POLIÉSTER Y REFUERZO LANA DE OVEJA					
Norma:	ASTM D7264-07	Fracción volumétrica de la matriz:	60%		
Máquina:	Máquina Universal de Ensayos Electromecánicos Metrotec MTE50.	Fracción volumétrica del refuerzo:	40%		
Laboratorio:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero	Dimensiones de la probeta:	160 x 13 mm.		
Matriz:	Resina Poliéster	Espesor promedio:	2,88mm		
Refuerzo:	Lana de oveja	Configuración del refuerzo:	Discontinuo al eje longitudinal		
FOTOGRAFÍAS DE LAS PROBETAS SOMETIDAS A FLEXIÓN					
					
DATOS Y RESULTADOS OBTENIDOS DEL ENSAYO DE FLEXIÓN					
Número de probetas	Carga máxima (N).	Esfuerzo a la ruptura (Mpa)	Módulo de flexión (Mpa)	Deflexión (mm)	Tipo de Falla
1	47.33	48.54	2660.70	6.49	OAB
2	23.83	31.09	2894.48	4.31	OAB
3	34.74	43.99	2935.01	5.92	OAB
4	42.3	37.02	2085.72	5.83	OAB
5	25.68	29.95	2919.75	3.89	OAM
Promedio	34.78	38.12	2699.13	5.29	—
Desviación estandar	10.21	8.07	360.63	1.12	—

GRAFICAS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS



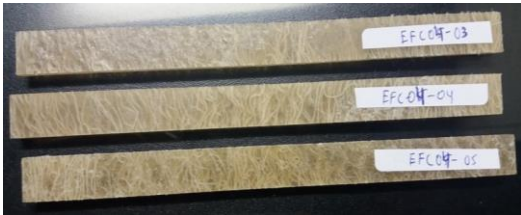


Probeta	FMax N	FRot N	CMax MPa	CRot MPa	ModFlex MPa
1	47.33	47.00	1.21	1.21	1979.49
2	23.83	23.83	0.69	0.69	2517.86
3	34.74	34.74	0.99	0.99	2336.18
4	42.30	0.00	1.00	1.00	2280.07
5	25.68	25.51	0.70	0.70	2542.62
Media	34.776	26.216	0.919	0.917	2331.243
Desv. Std	10.207	17.307	0.223	0.221	226.870
Coef. V.	0.294	0.660	0.243	0.242	0.097
+3 Sigma	65.398	78.136	1.588	1.581	3011.854

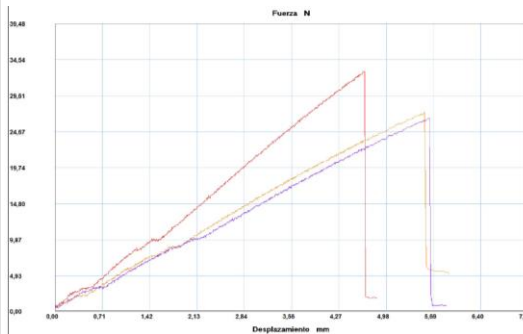
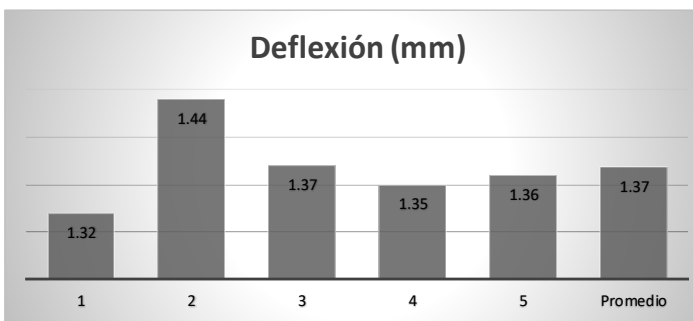
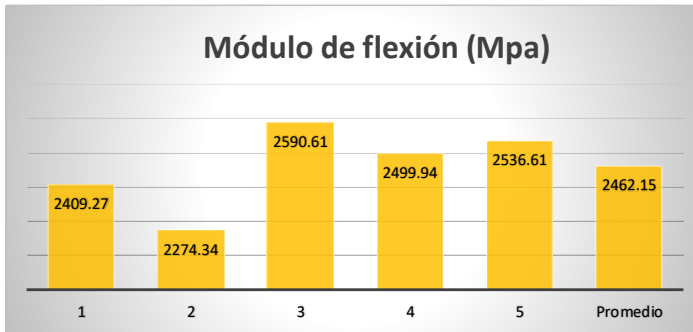
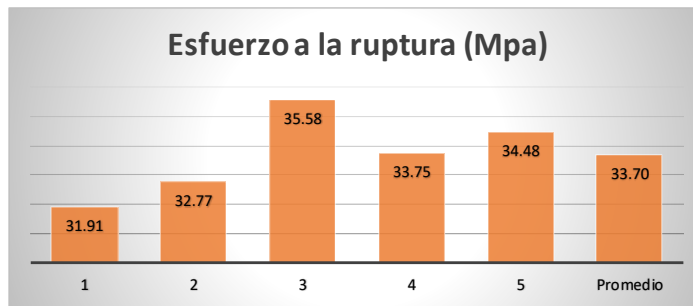
Observaciones		Evaluaciones	
El tipo de falla OAB se refiere que el área de falla está en el punto de carga y se localiza en el fondo de la probeta. El tipo de falla OAM se refiere que el área de falla está en el punto de carga y se localiza en el medio de la probeta.		Espesor promedio: 2,88 mm Esfuerzo máximo promedio: 38,12 Mpa Módulo de flexión promedio: 2699,13 Mpa	
Elaborado:	Sr. Xavier Espin	Aprobado:	Ing. Mg. Segundo Espín
Revisado:	Ing. Mg. Segundo Espín	Validado:	Ing. Mg. Segundo Espín

Fuente: El Autor.

Tabla 4-8 Ficha técnica de ensayo a flexión del material compuesto 6040, configuración discontinuo al eje transversal.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 					
FICHA TÉCNICA DE ENSAYO DE FLEXIÓN DEL MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ POLIÉSTER Y REFUERZO LANA DE OVEJA					
Norma:	ASTM D7264-07	Fracción volumétrica de la matriz:	60%		
Máquina:	Máquina Universal de Ensayos Electromecánicos Metrotec MTE50.	Fracción volumétrica del refuerzo:	40%		
Laboratorio:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero	Dimensiones de la probeta:	160 x 13 mm.		
Matriz:	Resina Poliéster	Espesor promedio:	2.80		
Refuerzo:	Lana de oveja	Configuración del refuerzo:	Discontinuo al eje transversal		
FOTOGRAFÍAS DE LAS PROBETAS SOMETIDAS A FLEXIÓN					
					
DATOS Y RESULTADOS OBTENIDOS DEL ENSAYO DE FLEXIÓN					
Número de probetas	Carga máxima (N).	Esfuerzo a la ruptura (Mpa)	Módulo de flexión (Mpa)	Deflexión (mm)	Tipo de Falla
1	32.9	31.91	2409.27	1.32	OAB
2	27.36	32.77	2274.34	1.44	OAB
3	26.52	35.58	2590.61	1.37	OLB
4	29.71	33.75	2499.94	1.35	OAB
5	28.42	34.48	2536.61	1.36	OAB
Promedio	28.98	33.70	2462.15	1.37	—
Desviación estandar	2.49	1.43	124.04	0.04	—

GRAFICAS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS



Probeta	FMax N	FRot N	CMax MPa	CRot MPa	ModFlex MPa
1	32.90	32.73	0.81	0.81	0.00
2	27.36	27.36	0.75	0.75	0.00
3	26.62	5.20	0.77	0.15	0.00
Media	28,927	21,763	0,779	0,570	0,000
Desv. Std	3,467	14,593	0,030	0,363	0,000
Coef. V.	0,120	0,671	0,039	0,637	0,000
+3 Sigma	39,326	65,544	0,870	1,659	0,000



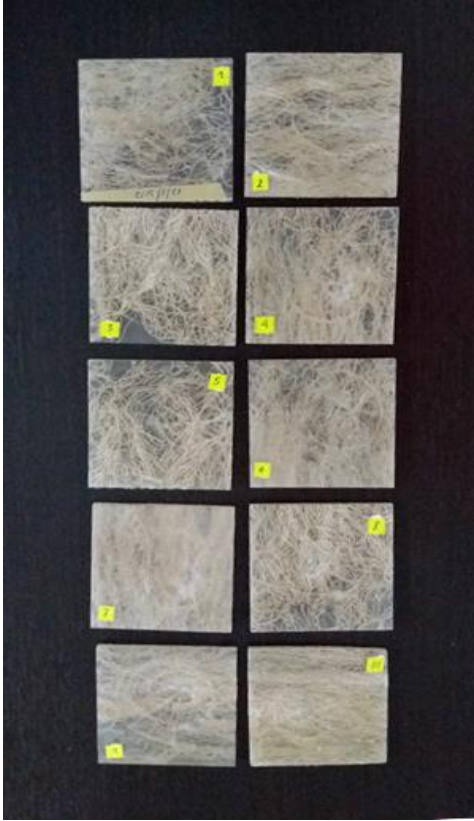
Observaciones		Evaluaciones	
El tipo de falla OAB se refiere que el área de falla está en el punto de carga y se localiza en el fondo de la probeta. El tipo de falla OLB se refiere que el área de falla está entre la carga y el punto de apoyo y se localiza en el fondo de la probeta.		Espesor promedio: 2,80 mm Esfuerzo máximo promedio: 33,70 Mpa Módulo de flexión promedio: 2462,15 Mpa	
Elaborado:	Sr. Xavier Espín	Aprobado:	Ing. Mg. Segundo Espín
Revisado:	Ing. Mg. Segundo Espín	Validado:	Ing. Mg. Segundo Espín

Fuente: El Autor.

4.1.3 Tabulación de los resultados obtenidos en los ensayos a impacto.

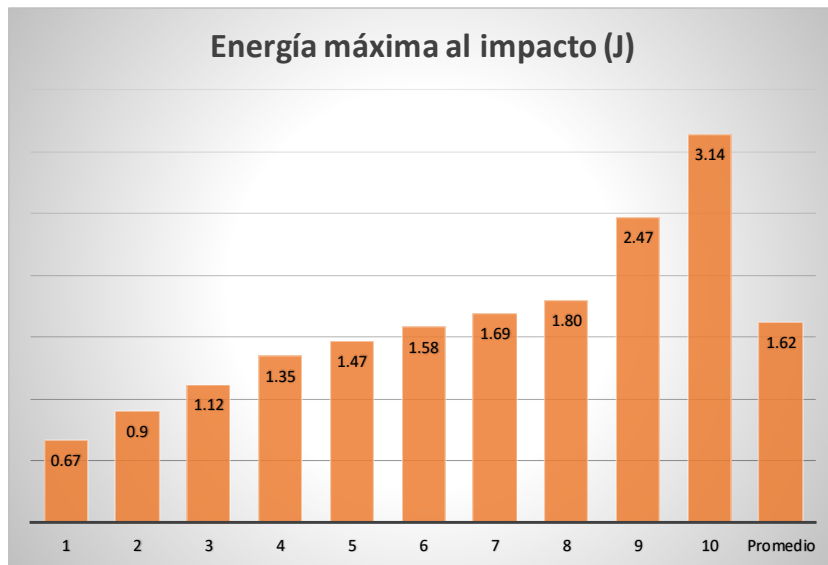
Los ensayos de impacto obtenidos según la norma ASTM D5628-10 se a generando las siguientes fichas técnicas, donde se observa la toma de datos y los resultados obtenidos de cada ensayo.

Tabla 4-9 Ficha técnica de ensayo a impacto del material compuesto 7030, configuración discontinuo al eje longitudinal.

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
FICHA TÉCNICA DE ENSAYO DE IMPACTO DEL MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ POLIÉSTER Y REFUERZO LANA DE OVEJA					
Norma:	ASTM D 5628-10	Fracción volumétrica de la matriz:	70%	Fracción volumétrica del refuerzo:	30%
Máquina:	Máquina de ensayos de impacto por caída de dardo.	Dimensiones de la probeta:	58 x 58 mm.	Espesor promedio:	3.01
Laboratorio:	Laboratorio de Materieles de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica	Configuración del refuerzo:	Discontinuo al eje longitudinal	N° de probetas:	10
Matriz:	Resina Poliéster				
Refuerzo:	Lana de oveja				
Geometria/ Diámetro/Masa de dardo:	FE / 40 mm. / 0,23 Kg.				
FOTOGRAFÍAS DE LAS PROBETAS SOMETIDAS A IMPACTO					
					

DATOS Y RESULTADOS OBTENIDOS DEL ENSAYO A IMPACTO				
Número de probetas	Altura de lanzamiento de falla (mm.)	Peso del dardo (Kg.)	Factor de conversión	Energía máxima al impacto (J)
1	300	0.23	0.00980665	0.67
2	400	0.23	0.00980665	0.9
3	500	0.23	0.00980665	1.12
4	600	0.23	0.00980665	1.35
5	650	0.23	0.00980665	1.47
6	700	0.23	0.00980665	1.58
7	750	0.23	0.00980665	1.69
8	800	0.23	0.00980665	1.80
9	900	0.28	0.00980665	2.47
10	1000	0.32	0.00980665	3.14
Promedio	660	0.24	0.00980665	1.62




GRAFICAS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS



Observaciones		Evaluaciones	
El tipo de falla producido es de tipo A: grietas en la parte posterior de la probeta.		Altura de falla = 500 mm Peso = 0,23 Kg Energía máxima al impacto = 1,12 J	
Elaborado:	Sr. Xavier Espín	Aprobado:	Ing. Mg. Segundo Espín
Revisado:	Ing. Mg. Segundo Espín	Validado:	Ing. Mg. Segundo Espín

Fuente: El Autor.




Tabla 4-10 Ficha técnica de ensayo a impacto del material compuesto 7030, configuración discontinuo al eje transversal.

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
FICHA TÉCNICA DE ENSAYO DE IMPACTO DEL MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ POLIÉSTER Y REFUERZO LANA DE OVEJA					
Norma:	ASTM D 5628-10	Fracción volumétrica de la matriz:	70%		
Máquina:	Máquina de ensayos de impacto por caída de dardo.	Fracción volumétrica del refuerzo:	30%		
Laboratorio:	Laboratorio de Materieles de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica	Dimensiones de la probeta:	58 x 58 mm.		
Matriz:	Resina Poliéster	Espesor promedio:	3.37		
Refuerzo:	Lana de oveja	Configuración del refuerzo:	Discontinuo al eje transversal		
Geometria/ Diámetro/Masa de dardo:	FE / 40 mm. /0,2293 Kg.	N° de probetas:	10		
FOTOGRAFÍAS DE LAS PROBETAS SOMETIDAS A IMPACTO					
					

DATOS Y RESULTADOS OBTENIDOS DEL ENSAYO A IMPACTO																												
Numero de probetas	Altura de lanzamiento de falla (mm.)	Peso del dardo (Kg.)	Factor de conversión	Energía máxima al impacto (J)																								
1	300	0.23	0.00980665	0.68																								
2	400	0.23	0.00980665	0.90																								
3	500	0.23	0.00980665	1.13																								
4	600	0.23	0.00980665	1.35																								
5	650	0.32	0.00980665	2.04																								
6	700	0.41	0.00980665	2.81																								
7	750	0.41	0.00980665	3.02																								
8	800	0.49	0.00980665	3.84																								
9	900	0.49	0.00980665	4.32																								
10	1000	0.49	0.00980665	4.81																								
Promedio	660	0.353	0.00980665	2.49																								
GRAFICAS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS																												
<p style="text-align: center;">Energía máxima al impacto (J)</p> <table border="1" style="margin: auto;"> <thead> <tr> <th>Numero de probetas</th> <th>Energía máxima al impacto (J)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>0.68</td></tr> <tr><td>2</td><td>0.90</td></tr> <tr><td>3</td><td>1.13</td></tr> <tr><td>4</td><td>1.35</td></tr> <tr><td>5</td><td>2.04</td></tr> <tr><td>6</td><td>2.81</td></tr> <tr><td>7</td><td>3.02</td></tr> <tr><td>8</td><td>3.84</td></tr> <tr><td>9</td><td>4.32</td></tr> <tr><td>10</td><td>4.81</td></tr> <tr><td>Promedio</td><td>2.49</td></tr> </tbody> </table>					Numero de probetas	Energía máxima al impacto (J)	1	0.68	2	0.90	3	1.13	4	1.35	5	2.04	6	2.81	7	3.02	8	3.84	9	4.32	10	4.81	Promedio	2.49
Numero de probetas	Energía máxima al impacto (J)																											
1	0.68																											
2	0.90																											
3	1.13																											
4	1.35																											
5	2.04																											
6	2.81																											
7	3.02																											
8	3.84																											
9	4.32																											
10	4.81																											
Promedio	2.49																											
Observaciones			Evaluaciones																									
<p>El tipo de falla producido es de tipo B: grietas en todo el espesor de la probeta.</p> <p>Para la realización de este ensayo y para determinar la resistencia máxima de impacto se utilizó el peso adicional de 10 rodelas.</p>			<p>Altura de falla = 750 mm</p> <p>Peso = 0,41 Kg</p> <p>Energía máxima al impacto = 3,02 J</p>																									
Elaborado:	Sr. Xavier Espín		Aprobado:	Ing. Mg. Segundo Espín																								
Revisado:	Ing. Mg. Segundo Espín		Validado:	Ing. Mg. Segundo Espín																								

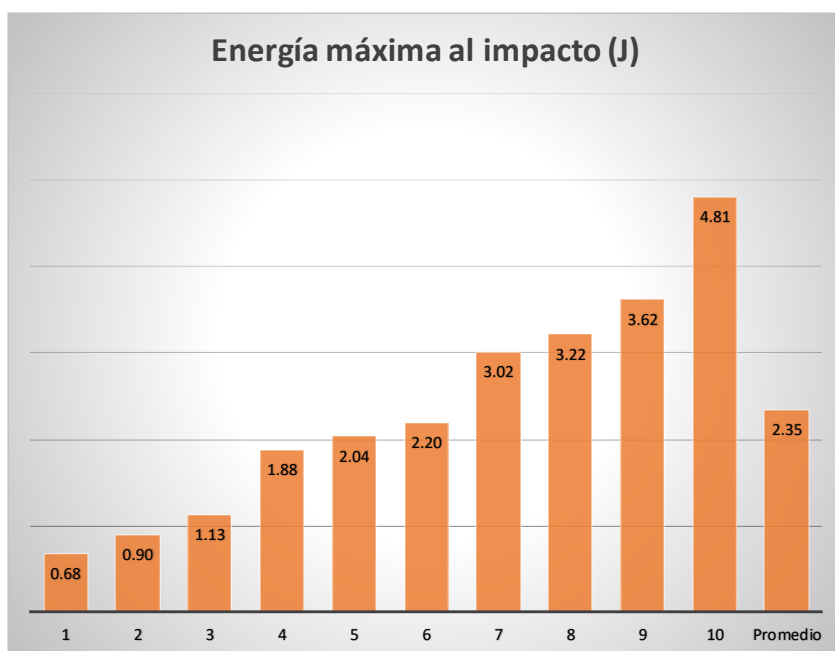
Fuente: El Autor.

Tabla 4-11 Ficha técnica de ensayo a impacto del material compuesto 6040, configuración discontinuo al eje longitudinal

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		
FICHA TÉCNICA DE ENSAYO DE <u>IMPACTO</u> DEL MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ POLIÉSTER Y REFUERZO LANA DE OVEJA			
Norma:	ASTM D 5628-10	Fracción volumétrica de la matriz:	60%
Máquina:	Máquina de ensayos de impacto por caída de dardo.	Fracción volumétrica del refuerzo:	30%
Laboratorio:	Laboratorio de Materieles de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica	Dimensiones de la probeta:	58 x 58 mm.
Matriz:	Resina Poliéster	Espesor promedio:	2.88
Refuerzo:	Lana de oveja	Configuración del refuerzo:	Discontinuo al eje longitudinal
Geometría/ Diámetro/Masa de dardo:	FE / 40 mm. / 0,2293 Kg.	N° de probetas:	10
FOTOGRAFÍAS DE LAS PROBETAS SOMETIDAS A IMPACTO			
			

DATOS Y RESULTADOS OBTENIDOS DEL ENSAYO A IMPACTO				
Numero de probetas	Altura de lanzamiento de falla (mm.)	Peso del dardo (Kg.)	Factor de conversión	Energía máxima al impacto (J)
1	300	0.23	0.00980665	0.68
2	400	0.23	0.00980665	0.90
3	500	0.23	0.00980665	1.13
4	600	0.32	0.00980665	1.88
5	650	0.32	0.00980665	2.04
6	700	0.32	0.00980665	2.20
7	750	0.41	0.00980665	3.02
8	800	0.41	0.00980665	3.22
9	900	0.41	0.00980665	3.62
10	1000	0.49	0.00980665	4.81
Promedio	660	0.34	0.00980665	2.35




GRAFICAS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS



Observaciones		Evaluaciones	
El tipo de falla producido es de tipo B: grietas en todo el espesor de la probeta. Para la realización de este ensayo se utilizó el peso adicional de 5 rodela		Altura de falla = 700 mm Peso = 0,32 Kg Energía máxima al impacto = 2,20 J	
Elaborado:	Sr. Xavier Espin	Aprobado:	Ing. Mg. Segundo Espín
Revisado:	Ing. Mg. Segundo Espín	Validado:	Ing. Mg. Segundo Espín

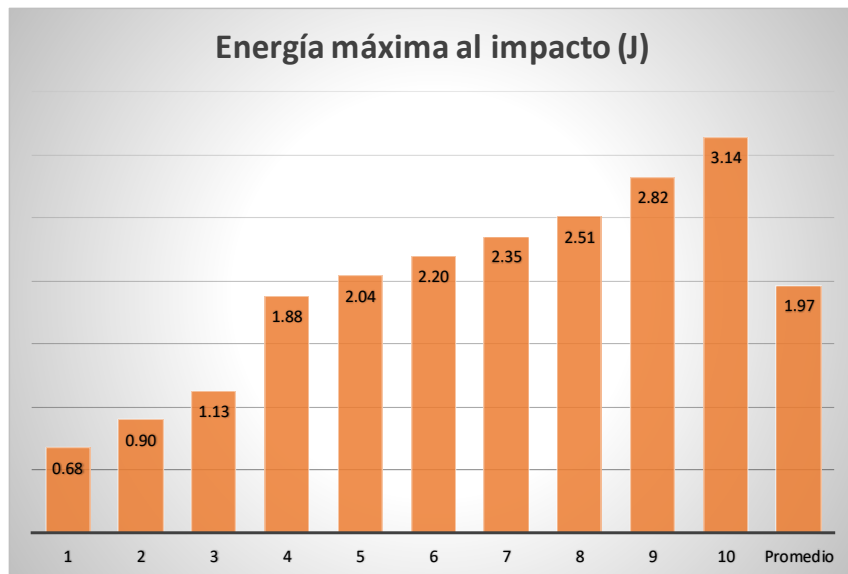
Fuente: El Autor.

Tabla 4-12 Ficha técnica de ensayo a impacto del material compuesto 6040, configuración discontinuo al eje transversal.

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
FICHA TÉCNICA DE ENSAYO DE IMPACTO DEL MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ POLIÉSTER Y REFUERZO LANA DE OVEJA					
Norma:	ASTM D 5628-10	Fracción volumétrica de la matriz:	60%		
Máquina:	Máquina de ensayos de impacto por caída de dardo.	Fracción volumétrica del refuerzo:	40%		
Laboratorio:	Laboratorio de Materiales de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica	Dimensiones de la probeta:	58 x 58 mm.		
Matriz:	Resina Poliéster	Espesor promedio:	2.8		
Refuerzo:	Lana de oveja	Configuración del refuerzo:	Discontinuo al eje transversal		
Geometría/ Diámetro/Masa de dardo:	FE / 40 mm. / 0,2293 Kg.	N° de probetas:	10		
FOTOGRAFÍAS DE LAS PROBETAS SOMETIDAS A IMPACTO					
					

DATOS Y RESULTADOS OBTENIDOS DEL ENSAYO A IMPACTO				
Número de probetas	Altura de lanzamiento de falla (mm.)	Peso del dardo (Kg.)	Factor de conversión	Energía máxima al impacto (J)
1	300	0.23	0.00980665	0.68
2	400	0.23	0.00980665	0.90
3	500	0.23	0.00980665	1.13
4	600	0.32	0.00980665	1.88
5	650	0.32	0.00980665	2.04
6	700	0.32	0.00980665	2.20
7	750	0.32	0.00980665	2.35
8	800	0.32	0.00980665	2.51
9	900	0.32	0.00980665	2.82
10	1000	0.32	0.00980665	3.14
Promedio	660	0.29	0.00980665	1.97

GRÁFICAS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS



Observaciones	Evaluaciones
El tipo de falla producido es de tipo A: grietas en la parte posterior de la probeta. Para la realización de este ensayo se utilizó el peso adicional de 5 rodela	Altura de falla = 600 mm Peso = 0,32 Kg Energía máxima al impacto = 1,88 J
Elaborado: Sr. Xavier Espín	Aprobado: Ing. Mg. Segundo Espín
Revisado: Ing. Mg. Segundo Espín	Validado: Ing. Mg. Segundo Espín



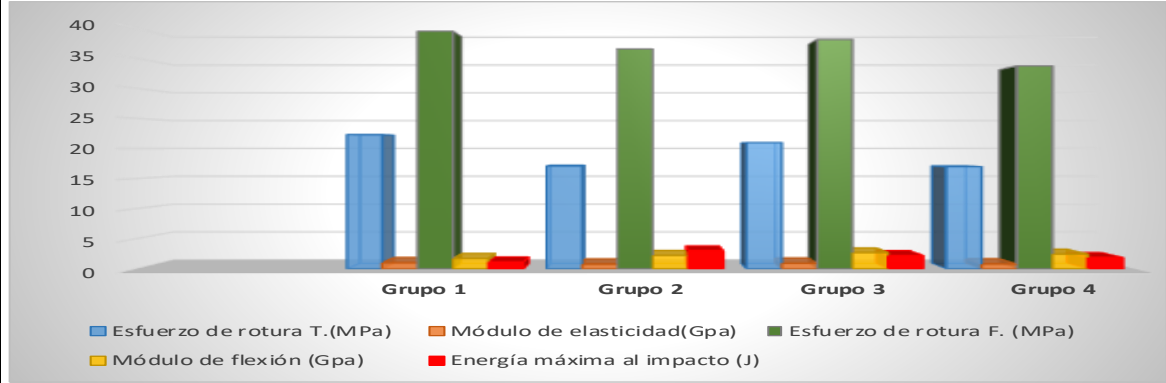
Fuente: El Autor.

4.2 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

4.2.1 Evaluación de resultados

En la siguiente tabla muestra las propiedades mecánicas de cada tipo de material compuesto evaluado mediante los ensayos de tracción, flexión e impacto, considerando las fracciones volumétricas y la configuración de refuerzo de cada uno.

Tabla 4-13 Evaluación de los resultados obtenidos mediante ensayo de tracción, flexión e impacto.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA					
EVALUACIÓN DE LOS RESULTADOS PROMEDIOS					
Grupo	Tipo de ensayo				
	Tracción		Flexión		Impacto
	Esfuerzo de rotura T.(MPa)	Módulo de elasticidad(Gpa)	Esfuerzo de rotura F. (MPa)	Módulo de flexión (Gpa)	Energía máxima al impacto (J)
1	22.31	1.022	39.47	1.726	1.12
2	17.08	0.766	36.52	2.247	3.02
3	20.97	0.941	38.12	2.699	2.2
4	16.97	0.798	33.7	2.462	1.88
Gráficas de resultados					
					
Observación					
Grupo 1: 70% de matriz y 30% de refuerzo - orientación longitudinal					
Grupo 2: 70% de matriz y 30% de refuerzo - orientación transversal					
Grupo 3: 60% de matriz y 40% de refuerzo - orientación longitudinal					
Grupo 4: 60% de matriz y 40% de refuerzo - orientación Transversal					
Evaluación					
<p>El grupo de probetas que presenta las mejores características con respecto al esfuerzo de rotura y el módulo de elasticidad al ser sometidos al ensayo de tracción es el primer grupo que está compuesto del 70% de matriz y el 30% de refuerzo con una orientación longitudinal. También el grupo de probetas que presenta las mejores características con respecto al esfuerzo de rotura al ser sometidos al ensayo de flexión es el primer grupo. Mientras que el grupo que presenta mejores características con respecto al módulo de flexión es el tercer grupo el cual se compone del 60% de matriz y el 40% de refuerzo con una orientación longitudinal.</p> <p>El grupo de probetas que presento las mejores características con respecto a la energía máxima al impacto al ser sometido al ensayo de impacto es el segundo grupo el cual está compuesto del 70% de matriz y el 30% de refuerzo con una orientación de transversal.</p>					

Fuente: El Autor.

4.2.2 Interpretación de los resultados

En la tabla 4-14 se observa la Evaluación de todas las probetas mediante los ensayos de tracción, flexión e impacto, se tomó los valores promedios de todos los grupos y se aplicó la desviación estándar y según la ponderación utilizada se pudo determinar el material que presenta las mejores propiedades mecánicas.

Tabla 4-14 Interpretación de los resultados mecánicos.

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	2.94	0.13	22.31	2.98	1022.75	140.51	39.47	2.52	1726.33	557.54	1.12	0.94	5.88
Grupo 2	3.36	0.55	17.08	2.25	766.12	116.12	36.52	0.43	2247.88	33.99	3.02	0.96	6.67
Grupo 3	2.85	0.04	20.97	1.64	941.55	59.31	38.12	1.17	2699.13	415.26	2.2	0.14	5.88
Grupo 4	2.81	0	16.97	2.36	798.54	83.7	33.7	3.25	2462.15	178.28	1.88	0.18	4.16
Promedio	2.81		19.33		882.24		36.95		2283.87		2.06		
Desviación estandar	0.25		2.72		120.76		2.48		414.88		0.79		

PONDERACIÓN		
ACEPTABLE		10
MEDIANAMENTE ACEPTABLE		5
NO ACEPTABLE		0

Fuente: El autor.

4.3 VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS

Para el presente trabajo experimental realizado, la hipótesis planteada se la comprobó estadísticamente utilizando la prueba del T- Student para todos los cuatro grupos expuestos.

4.3.1 Hipótesis Nula (H₀)

Con la obtención y evaluación del comportamiento mecánico de un material compuesto de matriz poliéster y lana de oveja no se podrá determinar el material con las mejores propiedades mecánicas

4.3.2 Hipótesis Alterna (H_a)

Con la obtención y evaluación del comportamiento mecánico de un material compuesto de matriz poliéster y lana de oveja se podrá determinar el material con las mejores propiedades mecánicas

Para la verificación de la hipótesis se lo realizo con un ensayo bilateral con un nivel de confianza y significancia del 95% y 5% respectivamente.

Primero procedemos a calcular la probabilidad para lo cual se aplicó la ecuación 4.10

$$P = \frac{\alpha}{100} \quad \text{Ec. 4.10}$$

Donde:

P = Probabilidad

α = Nivel de significancia

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

$$P = 0.05$$

La probabilidad se divide para 2 ya que el análisis se realizó para las dos colas.

$$P = 0.025$$

A continuación procedemos a calcular los grados de libertad aplicando la ecuación 4.11.

$$Gl = n - 1 \quad \text{Ec. 4.11}$$

Donde:

GL = Grados de libertad

n = Número de muestras

$$Gl = 5 - 1$$

$$Gl = 4$$

Unas veces calculadas la probabilidad y los grados de libertad procedemos a determinar el valor de t tabulado.

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

4.3.3 Regla de decisión

Se acepta la hipótesis alterna H_a (Con la obtención y evaluación del comportamiento mecánico de un material compuesto de matriz poliéster y lana de oveja se podrá determinar el material con las mejores propiedades mecánicas) si el valor de t calculado no esta dentro del rango de -2.78 a 2.78. caso contrario se acepta la hipótesis nula H_0 (Con la obtención y evaluación del comportamiento mecánico de un material compuesto de matriz poliéster y lana de oveja no se podrá determinar el material con las mejores propiedades mecánicas)

4.3.4 Verificación de la hipótesis de los grupos de probetas que presentan las mejores características de los ensayos de tracción.

La verificación de la hipótesis se lo realizó con los grupos de probetas que presentaron las mejores características de los ensayos de tracción los cuales son el grupo 1 y 3.

Tabla 4-15 Verificación de la hipótesis del grupo 1 y grupo 3 de los ensayos a tracción.

#	GRUPO 1	GRUPO 3	H=G1-G3	H^2
1	26,27	20,05	6,3	39,6
2	23,23	23,08	0,23	0,02
3	18,35	18,24	0,2	0,01
4	23,1	19,89	3,3	10,3
5	20,6	23,58	3,6	8,08
SUMA	111,55	104,84	13,63	57,93
PROMEDIO	22,31	20,968	2,726	

Fuente: El autor.

$$S^2d = \frac{\sum H^2 - \frac{(\sum H)^2}{n}}{n(n-1)} \quad \text{Ec. 4.12}$$

Donde:

S^2d = desviación

H = Diferencia entre los datos

n = número de muestras

$$S^2d = 0.992$$

$$Sd = 0.9$$

Luego procedemos a calcular la t calculada con la ecuación 4.13:

$$t_{cal} = \frac{\bar{H}}{Sd} \quad \text{Ec. 4.13}$$

Donde:

\bar{H} = Promedio de la diferencia

t_{cal} = t calculado

$$t_{cal} = 3.03$$

$$t_{cal} = 3.03 > t_{tab} = 2.78$$

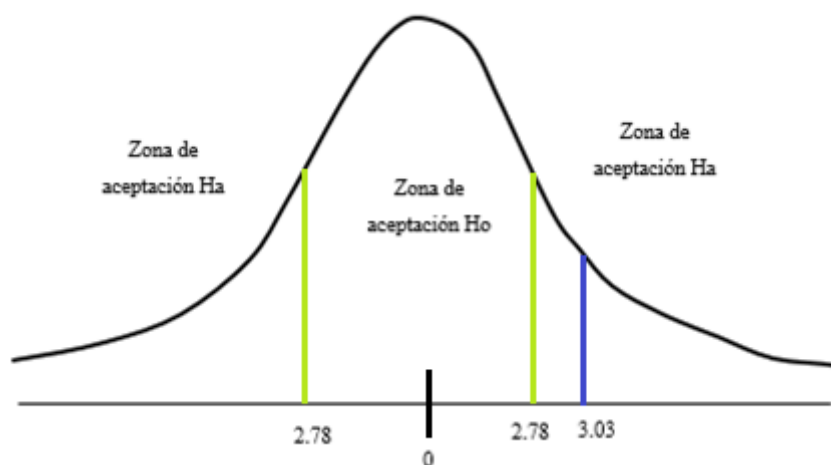


Figura 4-1 Campana de distribución de los ensayos a tracción.

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 de los grupos de probetas que presentan las mejores características de los ensayos de flexión

La verificación de la hipótesis se lo realizó con los grupos de probetas que presentaron las mejores características de los ensayos de flexión los cuales son el grupo 1 y 3.

Tabla 4-16 Verificación de la hipótesis del grupo 1 y grupo 3 de los ensayos de flexión.

#	GRUPO 1	GRUPO 3	H=G1-G3	H^2
1	27,91	48,54	20,63	425,59
2	43,72	31,09	12,63	159,51
3	46,49	43,99	2,5	6,25
4	44,11	37,02	7,09	50,26
5	35,13	29,95	5,18	26,83
SUMA	197,36	190,59	48,03	668,46
PROMEDIO	39,47	38,11	9,60	

Fuente: El autor.

$$S^2d = 10.35$$

$$Sd = 3.2$$

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

$$t_{cal} = 3$$

$$t_{cal} = 3 > t_{tab} = 2.78$$



Figura 4-2 Campana de distribución de los ensayos a flexión.

Fuente: El autor.

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

4.3.6 Verificación de la hipótesis de los grupos de probetas que presentan las mejores características de los ensayos de impacto.

La verificación de la hipótesis se lo realizó con los grupos de probetas que presentaron las mejores características de los ensayos de impacto los cuales son el grupo 2 y 3.

Tabla 4-17 Verificación de la hipótesis del grupo 2 y grupo 3 de los ensayos de impacto.

#	GRUPO 2	GRUPO 3	H=G2-G3	H ²
1	2,04	2,04	0	0
2	2,81	2,2	0,61	0,3721
3	3,02	3,02	0	0
4	3,84	3,22	0,62	0,3844
5	4,32	3,62	0,7	0,49
SUMA	16,03	14,1	1,93	1,2465
PROMEDIO	3,206	2,82	0,386	

Fuente: El autor.

$$S^2d = 0.02$$

$$Sd = 0.1$$

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

$$t_{cal} = 3.86$$

$$t_{cal} = 3.8 > t_{tab} = 2.78$$

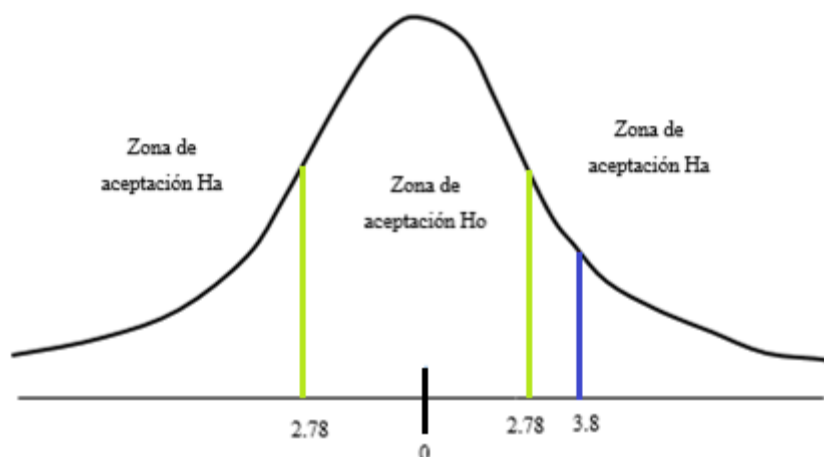


Figura 4-3 Campana de distribución de los ensayos a flexión.

Fuente: El autor.

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

Los tres casos fueron analizados dándonos como resultado que la hipótesis nula H_0 se rechaza debido a que el t calculado es mayor que el t tabulado y se acepta la hipótesis alterna H_a , evaluado todos estos parámetros al material compuesto de resina poliéster y lana de oveja se determinó cual grupo es el que presente las mejores propiedades mecánicas.

4.3.7 Discusión

En la Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica se ha realizado diferentes estudios experimentales acerca de los materiales compuestos y las diferentes variables como las matrices, diferentes tipos de refuerzos, fracciones volumétricas y configuraciones de refuerzos. En la tabla 4-18 muestra los diferentes materiales compuestos con sus mejores propiedades, en donde se hizo una comparación de los resultados.

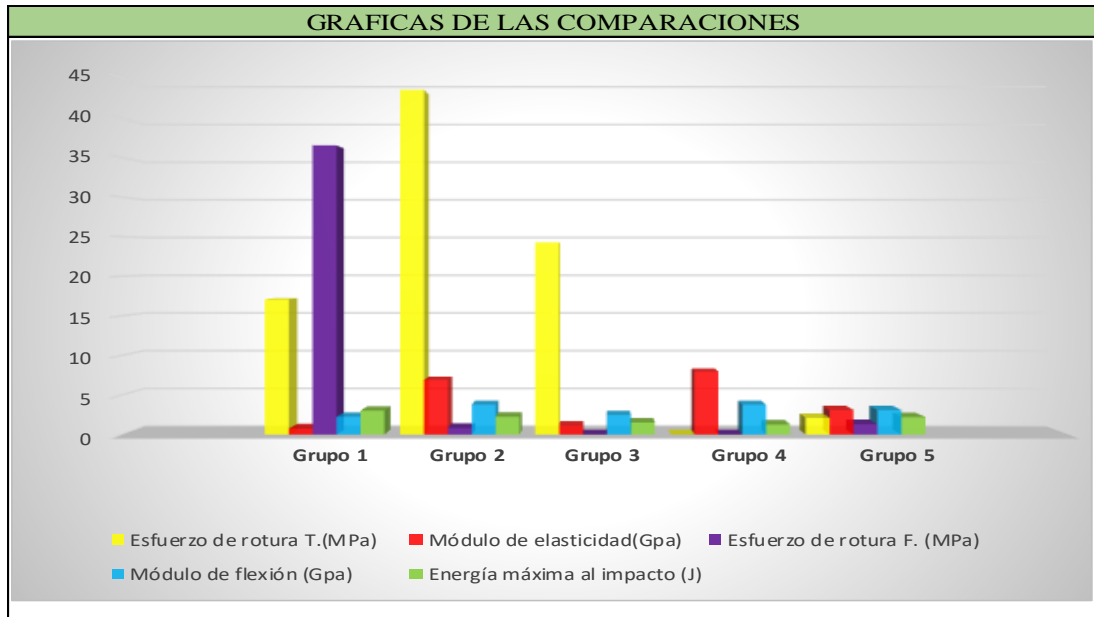
Tabla 4-18 Tabulación de diferentes materiales compuestos.

GRUPO	MATERIAL COMPUESTO			Tipo de ensayo				
				Tracción		Flexión		Impacto
	MATRIZ	REFUERZO	Espesores promedio (mm.)	Esfuerzo de rotura T.(MPa)	Módulo de elasticidad(Gpa)	Esfuerzo de rotura F.(MPa)	Módulo de flexión (Gpa)	Energía máxima al impacto (J)
1	Resina Poliester	Lana de oveja	3.36	17.08	0.76	36.52	2.24	3.02
2	Resina Epoxica	Fibra de algodón + Fibra de Cabuya	3.13	43.54	6.89	0.82	3.78	2.25
3	Resina Poliester	Fibras de tereftalato de polietileno	3.09	24.27	1.11	0,77	2.46	1.52
4	Resina Poliester	Cascara de arroz	6,54	10,45	7.95	0,67	3.77	1.26
5	Resina Poliester	Fibra de coco	6	2.1	3.1	1.3	3.1	2.2

Fuente: El autor.

En la figura 4-4 se observa las diferentes comparaciones de los materiales compuestos.

Figura 4-4 Comparación de diferentes materiales compuestos.



Fuente: El autor.

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RESULTADOS

5.1 CONCLUSIONES

Se determinó que el grupo que presentó las mejores propiedades mecánicas como el esfuerzo de rotura y el módulo de elasticidad en los ensayos de tracción es el grupo 1, el cual está conformado de 70% de matriz resina poliéster y 30% de refuerzo de lana de oveja y su configuración discontinuo al eje longitudinal, los valores promedios realizados en las 5 probetas evaluadas son de 22.31 MPa. en el esfuerzo de rotura a tracción, 1022.75 MPa. el módulo de elasticidad y una carga máxima de 1651.80 N.

El grupo que presenta las mejores características con respecto al esfuerzo de rotura en los ensayos de flexión fue el grupo 1, el cual está conformado de 70% de matriz resina poliéster y 30% de refuerzo de lana de oveja y su configuración discontinuo al eje longitudinal, siendo el valor promedio de esfuerzo de rotura a flexión de 39,47 MPa.

En el ensayo de flexión el grupo que presentó las mejores propiedades mecánicas con respecto al módulo de flexión es el grupo 3, conformado de 60% de matriz resina poliéster y 40% de refuerzo de lana de oveja y su configuración discontinuo al eje longitudinal, teniendo como valor promedio 2,699 GPa.

El grupo de probetas que presentó las mejores características con respecto a la energía máxima al impacto al ser sometido al ensayo de impacto es el segundo grupo el cual está compuesto del 70% de matriz y el 30% de refuerzo con una orientación discontinuo al eje transversal. Su valor máximo de energía al impacto es de 3.02 J.

Realizado el análisis en los tres tipos de ensayos se determinó que el material compuesto de matriz resina poliéster y refuerzo lana de oveja que presenta las mejores propiedades es el grupo 2, el cual tiene como configuración volumétrica de

70% de matriz y 30% de refuerzo con una configuración discontinuo al eje transversal. Este material muestra las siguientes propiedades:

Carga máxima a tracción = 1435.47 N.

Esfuerzo de rotura a tracción = 17.08 MPa.

Módulo de elasticidad = 766.12 MPa.

Carga máxima a flexión = 45.99 N.

Esfuerzo de rotura a flexión = 36.52 MPa.

Módulo de flexión = 2247.88 MPa.

Energía máxima de impacto = 1.12 J.

Este material compuesto se pudo obtener una superficie totalmente plana debido al desmoldante aplicado en abundancia y al proceso de compresión el cual impidió la formación de burbujas internas y externas en las probetas.

Para cumplir con la uniformidad de la configuración de la lana de oveja es necesario el proceso de hilado permitiendo que haya una buena adherencia entre la lana de oveja y la resina poliéster.

5.2 RECOMENDACIONES

La lana de oveja debe estar completamente limpia y que sea uniforme para obtener una buena adherencia entre matriz y refuerzo.

Es necesario usar equipo de protección personal debido a los riesgos químicos que produce al manipular estas sustancias especialmente la resina poliéster.

El molde donde se realice las probetas debe estar libre de residuos y totalmente limpio para que no exista una irregularidad en la superficie de las probetas.

En el ensayo de tracción es necesario que las probetas tengan en sus extremos una sobre monta permitiendo que esta no resbale al momento de realizar el ensayo, esta sobre monta puede ser de lija y que este adherido con un buen pegamento.

Con la finalidad de cumplir con las normas ASTM el corte de las probetas se realizó con una fresadora debido a que tiene mayor precisión.

La resina poliéster debe conservarse en un lugar seco libre de humedad y que el contenedor este totalmente cerrado.

6. BIBLIOGRAFÍA

- [1]. **SEVILLA.** EUROPA PRESS. *cienciaplus.com*. [En línea] [Citado el: 22 de Octubre de 2010.] <http://www.europapress.es/ciencia/laboratorio/noticia-inventan-ladrillos-reforzados-lana-oveja-20101022164656.html>.
- [2]. **GERARDO, WADEL.** Aislamientos térmicos renovables y reciclados de lana de oveja y algodón: Un aporte a la construcción sostenible. [En línea] 2009. www.dearquitectura.uchile.cl/index.php/RA/article/viewFile/27962/29648.
- [3]. **Josep, Serveis Informàtics.** Carbon Concrete Refuerzo de Estructuras de Hormigón. *carbonconcrete.es*. [En línea] 2008. <http://www.carbonconcrete.es/HTLM/es/Material%20Compuesto.html>.
- [4.] **CALLISTER, WILLIAN.** *Ciencia e Ingenieria de los Materiales*. Barcelona : Editorial Reverté, S.A., 2005. Pag 534, 540-549.
- [5]. **DÍAZ, AGUSTÍN.** *INTRODUCCIÓN A LA RESINA POLIÉSTER COMO MATERIAL COMPUESTO*. Colombia, Medellín : Suin S.A., 2008. Pag 1-2.
- [6]. **GIL, ALEXANDER.** Resina de poliéster Guía de manejo. *www.eafit.edu.co*. [En línea] 30 de 03 de 2012. <http://www.eafit.edu.co/servicios/centrodelaboratorios/infraestructura/laboratorios/Documents/Guia%20de%20manejo%20de%20resinas.pdf>.
- [7]. **DONALD, ASKELAND.** *Ciencia e Ingenieria de los Materiales*. Mexico : 3ra edición International Thomson Editores, S. A., 1998. Pag 508,535,517-519.
- [8]. **GONZALES, LUIS.** *bdigital.unal.edu. Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira*. [En línea] 2010. <http://www.bdigital.unal.edu.co/8213/1/luisoctaviogonzalezsalcedo.20124.pdf>.
- [9]. **IWTO.** FEDERACIÓN LANERA INTERNACIONAL. *www.iwto.org*. [En línea] 2019. <https://www.yumpu.com/es/document/view/33396243/lana-latu/13>.
10. **OTTO, CONNIE.** *www.ecohabitar.org. Materiales Aislamientos*. [En línea] 2011. http://www.ecohabitar.org/wp-content/uploads/2011/12/ficha_lana1.pdf.
- [11]. **Guerrero V., Davila J., Gales S., Ponton P., y Rosas N.** *Nuevos materiales: Aplicaciones estructurales e industriales*. Quito : Primera edición, 2011. Pag 62, 66,67,71.

7. ANEXOS

Anexo 1: Norma ASTM D3039-00, ensayo a tracción.

Anexo 2: Norma ASTM D7264-07, ensayo a flexión.

Anexo 3: Norma ASTM D5628-10, ensayo a impacto.

Anexo 4: Ficha técnica de Resina Poliéster.

Anexo 5: Informe técnico de los ensayos de tracción.

Anexo 6: Informe técnico de los ensayos de flexión.



Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials¹

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

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

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

1. Scope

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

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

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

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:

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

¹ This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee D30 on Composite Materials and is the direct responsibility of Subcommittee D30.04 on Lamina and Laminate Test Methods.

Current edition approved April 10, 2000. Published July 2000. Originally published as D 3039 – 71T. Last previous edition D 3039 – 95a.

² Annual Book of ASTM Standards, Vol 08.01.

³ Annual Book of ASTM Standards, Vol 08.02.

⁴ Annual Book of ASTM Standards, Vol 15.03.

Properties and Equilibrium Conditioning of Polymer Matrix Composite Materials⁴

- E 4 Practices for Force Verification of Testing Machines⁵
- E 6 Terminology Relating to Methods of Mechanical Testing⁵
- E 83 Practice for Verification and Classification of Extensometers⁵
- E 111 Test Method for Young's Modulus, Tangent Modulus, and Chord Modulus⁵
- E 122 Practice for Choice of Sample Size to Estimate a Measure of Quality for a Lot or Process⁶
- E 132 Test Method for Poisson's Ratio at Room Temperature⁵
- E 177 Practice for Use of the Terms Precision and Bias in ASTM Test Methods⁶
- E 251 Test Methods for Performance Characteristics of Metallic Bonded Resistance Strain Gages⁵
- E 456 Terminology Relating to Quality and Statistics⁶
- E 691 Practice for Conducting an Interlaboratory Study to Determine the Precision of a Test Method⁶
- E 1012 Practice for Verification of Specimen Alignment Under Tensile Loading⁵
- E 1237 Guide for Installing Bonded Resistance Strain Gages⁵

3. Terminology

3.1 *Definitions*—Terminology D 3878 defines terms relating to high-modulus fibers and their composites. Terminology D 883 defines terms relating to plastics. Terminology E 6 defines terms relating to mechanical testing. Terminology E 456 and Practice E 177 define terms relating to statistics. In the event of a conflict between terms, Terminology D 3878 shall have precedence over the other standards.

3.2 *Definitions of Terms Specific to This Standard:*

NOTE—If the term represents a physical quantity, its analytical dimensions are stated immediately following the term (or letter symbol) in fundamental dimension form, using the following ASTM standard symbology for fundamental

⁵ Annual Book of ASTM Standards, Vol 03.01.

⁶ Annual Book of ASTM Standards, Vol 14.02.

dimensions, shown within square brackets: $[M]$ for mass, $[L]$ for length, $[T]$ for time, $[\Theta]$ for thermodynamic temperature, and $[nd]$ for nondimensional quantities. Use of these symbols is restricted to analytical dimensions when used with square brackets, as the symbols may have other definitions when used without the brackets.

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

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

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

3.2.3.1 *Discussion*—Many filamentary composite materials show essentially bilinear behavior during loading, such as seen in plots of either longitudinal stress versus longitudinal strain or transverse strain versus long longitudinal strain. There are varying physical reasons for the existence of a transition region. Common examples include: matrix cracking under tensile loading and ply delamination.

3.3 *Symbols:*

3.3.1 A —minimum cross-sectional area of a coupon.

3.3.2 B_y —percent bending for a uniaxial coupon of rectangular cross section about y axis of the specimen (about the narrow direction).

3.3.3 B_z —percent bending for a uniaxial coupon of rectangular cross section about z axis of the specimen (about the wide direction).

3.3.4 CV —coefficient of variation statistic of a sample population for a given property (in percent).

3.3.5 E —modulus of elasticity in the test direction.

3.3.6 F^{tu} —ultimate tensile strength in the test direction.

3.3.7 F^{su} —ultimate shear strength in the test direction.

3.3.8 h —coupon thickness.

3.3.9 L_g —extensometer gage length.

3.3.10 L_{min} —minimum required bonded tab length.

3.3.11 n —number of coupons per sample population.

3.3.12 P —load carried by test coupon.

3.3.13 P^f —load carried by test coupon at failure.

3.3.14 P^{max} —maximum load carried by test coupon before failure.

3.3.15 s_{n-1} —standard deviation statistic of a sample population for a given property.

3.3.16 w —coupon width.

3.3.17 x_i —test result for an individual coupon from the sample population for a given property.

3.3.18 \bar{x} —mean or average (estimate of mean) of a sample population for a given property.

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

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

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

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

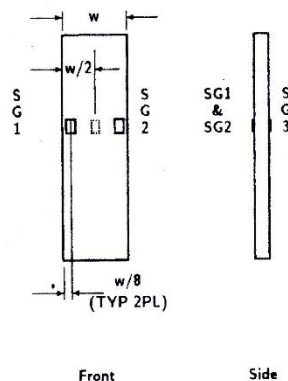


FIG. 1 Gage Locations for System Alignment Check Coupon

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, %;

$\epsilon_1, \epsilon_2,$ 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

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
tabs	
tab bevel angle	5 to 90°, inclusive
tab step at bevel to specimen	feathered without damaging specimen

^a See 8.2.2 or Table 2 for recommendations.

result: acceptable failure mode and location. If acceptable failure modes occur with reasonable frequency, then there is no reason to change a given gripping method (see 11.10).

8.2.2 *Specific Recommendations:*

8.2.2.1 *Width, Thickness, and Length*—Select the specimen width and thickness to promote failure in the gage section and assure that the specimen contains a sufficient number of fibers in the cross section to be statistically representative of the bulk material. The specimen length should normally be substantially longer than the minimum requirement to minimize bending stresses caused by minor grip eccentricities. Keep the gage section as far from the grips as reasonably possible and provide a significant amount of material under stress and therefore produce a more statistically significant result. The minimum requirements for specimen design shown in Table 1 are by themselves insufficient to create a properly dimensioned and toleranced coupon drawing. Therefore, recommendations on other important dimensions are provided for typical material configurations in Table 2. These geometries have been found by a number of testing laboratories to produce acceptable failure modes on a wide variety of material systems, but use of them does not guarantee success for every existing or future material system.

8.2.2.2 *Gripping/Use of Tabs*—There are many material configurations, such as multidirectional laminates, fabric-based materials, or randomly reinforced sheet-molding compounds, which can be successfully tested without tabs. However, tabs are strongly recommended when testing unidirectional materials (or strongly unidirectionally dominated laminates) to failure in the fiber direction. Tabs may also be required when testing unidirectional materials in the matrix direction to prevent gripping damage.

8.2.2.3 *Tab Geometry*—Recommendations on important dimensions are provided for typical material configurations in Table 2. These dimensions have been found by a number of testing laboratories to produce acceptable failure modes on a wide variety of material systems, but use of them does not guarantee success for every existing or future material system. The selection of a tab configuration that can successfully produce a gage section tensile failure is dependent upon the coupon material, coupon ply orientation, and the type of grips being used. When pressure-operated nonwedge grips are used with care, squared-off 90° tabs have been used successfully. Wedge-operated grips have been used most successfully with tabs having low bevel angles (7 to 10°) and a feathered smooth transition into the coupon. For alignment purposes, it is essential that the tabs be of matched thickness.

8.2.2.4 *Friction Tabs*—Tabs need not always be bonded to the material under test to be effective in introducing the load into the specimen. Friction tabs, essentially nonbonded tabs held in place by the pressure of the grip, and often used with emery cloth or some other light abrasive between the tab and the coupon, have been successfully used in some applications. In specific cases, lightly serrated wedge grips (see Note 2) have been successfully used with only emery cloth as the interface between the grip and the coupon. However, the abrasive used

TABLE 2 Tensile Specimen Geometry Recommendations^A

Fiber Orientation	Width, mm [in.]	Overall Length, mm [in.]	Thickness, mm [in.]	Tab Length, mm [in.]	Tab Thickness, mm [in.]	Tab Bevel Angle, ^a
0° unidirectional	15 [0.5]	250 [10.0]	1.0 [0.040]	56 [2.25]	1.5 [0.062]	7 or 90
90° unidirectional	25 [1.0]	175 [7.0]	2.0 [0.080]	25 [1.0]	1.5 [0.062]	90
balanced and symmetric	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:

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

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.



Designation: D 7264/D 7264M – 07

Standard Test Method for Flexural Properties of Polymer Matrix Composite Materials¹

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

1. Scope

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

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

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

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

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

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

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

2. Referenced Documents

2.1 *ASTM Standards*:²

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

Polymer Matrix Composite Materials and Their Laminates

D 3878 Terminology for Composite Materials

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

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

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

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

E 4 Practices for Force Verification of Testing Machines

E 6 Terminology Relating to Methods of Mechanical Testing

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

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

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

E 456 Terminology Relating to Quality and Statistics

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

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

2.2 *Other Documents*:

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

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

3. Terminology

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

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

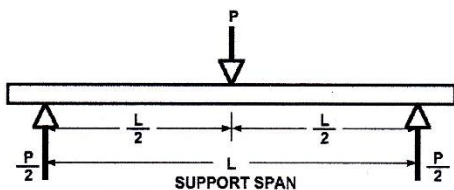


FIG. 1 Procedure A—Loading Diagram

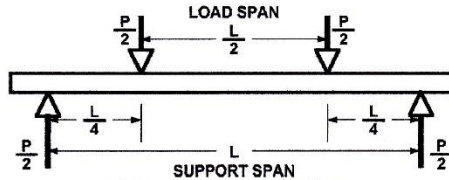


FIG. 2 Procedure B—Loading Diagram

force application member. Another difference between the three-point and four-point configurations is the presence of resultant vertical shear force in the three-point configuration everywhere in the beam except right under the mid-point force application member whereas in the four-point configuration, the area between the central force application members has no resultant vertical shear force. The distance between the outer support members is the same as in the equivalent three-point configuration.

4.4 The test geometry is chosen to limit out-of-plane shear deformations and avoid the type of short beam failure modes that are interrogated in Test Method D 2344/D 2344M.

5. Significance and Use

5.1 This test method determines the flexural properties (including strength, stiffness, and load/deflection behavior) of polymer matrix composite materials under the conditions defined. Procedure A is used for three-point loading and Procedure B is used for four-point loading. This test method was developed for optimum use with continuous-fiber-reinforced polymer matrix composites and differs in several respects from other flexure methods, including the use of a standard span-to-thickness ratio of 32:1 versus the 16:1 ratio used by Test Methods D 790 (a plastics-focused method covering three-point flexure) and D 6272 (a plastics-focused method covering four-point flexure).

5.2 This test method is intended to interrogate long-beam strength in contrast to the short-beam strength evaluated by Test Method D 2344/D 2344M.

5.3 Flexural properties determined by these procedures can be used for quality control and specification purposes, and may find design applications.

5.4 These procedures can be useful in the evaluation of multiple environmental stress conditions to determine which are design drivers and may require further testing.

5.5 These procedures may also be used to determine flexural properties of structures.

6. Interferences

6.1 Flexural properties may vary depending on which surface of the specimen is in compression, as no laminate is perfectly symmetric (even when full symmetry is intended); such differences will shift the neutral axis and will be further affected by even modest asymmetry in the laminate. Flexural properties may also vary with specimen thickness, conditioning and/or testing environments, and rate of straining. When evaluating several datasets these parameters should be equivalent for all data in the comparison.

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

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

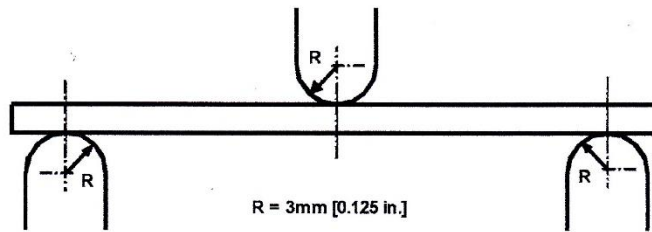
6.4 Loading noses may be fixed, rotatable or rolling. Typically, for testing composites, fixed or rotatable loading noses are used. The type of loading nose can affect results, since non-rolling paired supports on either the tension or compression side of the specimen introduce slight longitudinal forces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

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

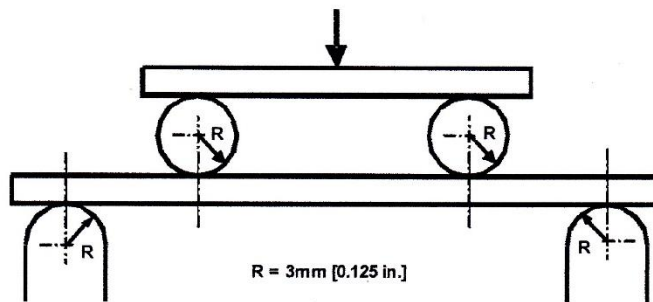
7. Apparatus

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

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



Three-Point Loading Configuration with Fixed Supports and Loading Nose



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

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

Copyright by ASTM Int'l (all rights reserved); Mon Sep 6 14:00:16 EDT 2010 3
 Downloaded/printed by
 Escuela Politecnica Nacional pursuant to License Agreement. No further reproductions authorized.

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

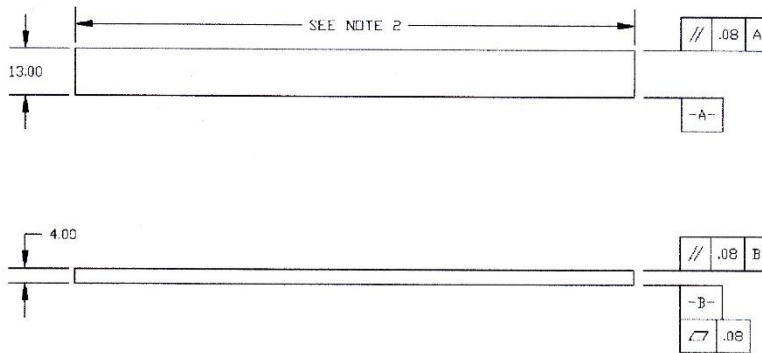
within $\pm 3^\circ\text{C}$ [$\pm 5^\circ\text{F}$] and the required vapor level to within ± 5 % relative humidity.

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)



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

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

¹ This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee D20 on Plastics and is the direct responsibility of Subcommittee D20.10 on Mechanical Properties.

Current edition approved July 1, 2010. Published July 2010. Originally approved in 1994. Last previous edition approved in 2007 as D5628 - 07. DOI: 10.1520/D5628-10.

² For referenced ASTM standards, visit the ASTM website, www.astm.org, or contact ASTM Customer Service at service@astm.org. For *Annual Book of ASTM Standards* volume information, refer to the standard's Document Summary page on the ASTM website.

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.

Copyright © ASTM International, 100 Barr Harbor Drive PO box C-700 West Conshohocken, Pennsylvania 19428-2959, United States

Copyright by ASTM Int'l (all rights reserved); Mon Sep 6 14:00:53 EDT 2010

Downloaded/printed by

Escuela Politecnica Nacional pursuant to License Agreement. No further reproductions authorized.

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

4. Summary of Test Method

4.1 A free-falling dart (*tup*) is allowed to strike a supported specimen directly. Either a dart having a fixed mass is dropped from various heights, or a dart having an adjustable mass is dropped from a fixed height. (See Fig. 2).

4.2 The procedure determines the energy (mass \times height) that will cause 50 % of the specimens tested to fail (mean failure energy).

4.3 The technique used to determine mean failure energy is commonly called the Bruceton Staircase Method or the Up-and-Down Method (1).⁴ Testing is concentrated near the mean, reducing the number of specimens required to obtain a reasonably precise estimate of the impact resistance.

4.4 Each test method permits the use of different *tup* and test specimen geometries to obtain different modes of failure, permit easier sampling, or test limited amounts of material. There is no known means for correlating the results of tests made by different impact methods or procedures.

5. Significance and Use

5.1 Plastics are viscoelastic and therefore are likely to be sensitive to changes in velocity of the mass falling on their surfaces. However, the velocity of a free-falling object is a function of the square root of the drop height. A change of a factor of two in the drop height will cause a change of only 1.4 in velocity. Hagan et al (2) found that the mean-failure energy of sheeting was constant at drop heights between 0.30 and 1.4 m. This suggests that a constant mass-variable height method will give the same results as the constant height-variable mass technique. On the other hand, different materials respond differently to changes in the velocity of impact. Equivalence of these methods should not be taken for granted. While both constant-mass and constant-height techniques are permitted by these methods, the constant-height method should be used for those materials that are found to be rate-sensitive in the range of velocities encountered in falling-weight types of impact tests.

5.2 The test geometry FA causes a moderate level of stress concentration and can be used for most plastics.

5.3 Geometry FB causes a greater stress concentration and results in failure of tough or thick specimens that do not fail with Geometry FA (3). This approach can produce a punch shear failure on thick sheet. If that type of failure is undesirable, Geometry FC should be used. Geometry FB is suitable for research and development because of the smaller test area required.

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

5.4 The test conditions of Geometry FC are the same as those of Test Method A of Test Method D1709. They have been

used in specifications for extruded sheeting. A limitation of this geometry is that considerable material is required.

5.5 The test conditions of Geometry FD are the same as for Test Method D3763.

5.6 The test conditions of Geometry FE are the same as for ISO 6603-1.

5.7 Because of the nature of impact testing, the selection of a test method and *tup* must be somewhat arbitrary. Although a choice of *tup* geometries is available, knowledge of the final or intended end-use application shall be considered.

5.8 Clamping of the test specimen will improve the precision of the data. Therefore, clamping is recommended. However, with rigid specimens, valid determinations can be made without clamping. Unclamped specimens tend to exhibit greater impact resistance.

5.9 Before proceeding with this test method, reference should be made to the specification of the material being tested. Table 1 of Classification System D4000 lists the ASTM materials standards that currently exist. Any test specimens preparation, conditioning, dimensions, or testing parameters or combination thereof covered in the relevant ASTM materials specification shall take precedence over those mentioned in this test method. If there are no relevant ASTM material specifications, then the default conditions apply.

6. Interferences

6.1 Falling-mass-impact-test results are dependent on the geometry of both the falling mass and the support. Thus, impact tests should be used only to obtain relative rankings of materials. Impact values cannot be considered absolute unless the geometry of the test equipment and specimen conform to the end-use requirement. Data obtained by different procedures within this test method, or with different geometries, cannot, in general, be compared directly with each other. However, the relative ranking of materials is expected to be the same between two test methods if the mode of failure and the impact velocities are the same.

6.1.1 Falling-mass-impact types of tests are not suitable for predicting the relative ranking of materials at impact velocities differing greatly from those imposed by these test methods.

6.2 As cracks usually start at the surface opposite the one that is struck, the results can be greatly influenced by the quality of the surface of test specimens. Therefore, the composition of this surface layer, its smoothness or texture, levels of and type of texture, and the degree of orientation introduced during the formation of the specimen (such as during injection molding) are very important variables. Flaws in this surface will also affect results.

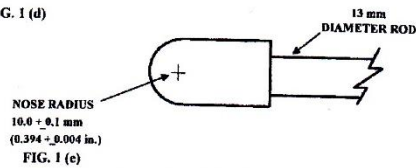
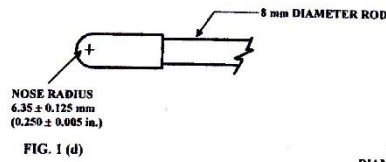
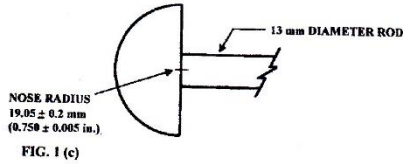
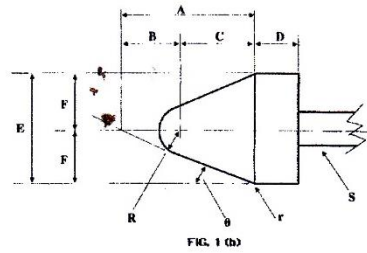
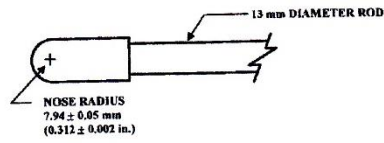
6.3 Impact properties of plastic materials can be very sensitive to temperature. This test can be carried out at any reasonable temperature and humidity, thus representing actual use environments. However, this test method is intended primarily for rating materials under specific impact conditions.

7. Apparatus

7.1 *Testing Machine*—The apparatus shall be constructed essentially as is shown in Fig. 2. The geometry of the specimen clamp and *tup* shall conform to the dimensions given in 7.1.1 and 7.2.

⁴ The boldface numbers in parentheses refer to a list of references at the end of the text.

D5628 - 10



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

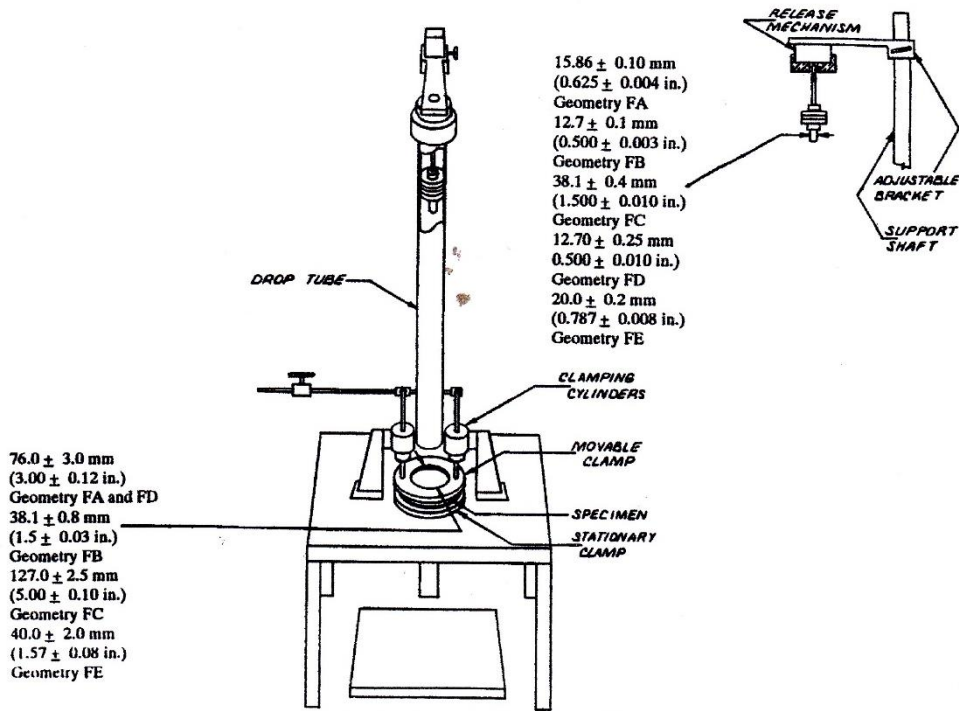


FIG. 2 One Type of Falling Mass Impact Tester

7.1.1 *Specimen Clamp*—For flat specimens, a two-piece annular specimen clamp similar to that shown in Fig. 3 is recommended. For Geometries FA and FD, the inside diameter should be 76.0 ± 3.0 mm (3.00 ± 0.12 in.). For Geometry FB, the inside diameter should be 38.1 ± 0.80 mm (1.5 ± 0.03 in.). For Geometry FC, the inside diameter should be 127.0 ± 2.5 mm (5.00 ± 0.10 in.). For Geometry FE an annular specimen clamp similar to that shown in Fig. 4 is required. The inside diameter should be 40 ± 2 mm (1.57 ± 0.08 in.) (see Table 1). For Geometries FA, FB, FC, and FD, the inside edge of the upper or supporting surface of the lower clamp should be rounded slightly; a radius of 0.8 mm (0.03 in.) has been found to be satisfactory. For Geometry FE this radius should be 1 mm (0.04 in.).

7.1.1.1 Contoured specimens shall be firmly held in a jig so that the point of impact will be the same for each specimen.

7.1.2 *Tup Support*, capable of supporting a 13.5-kg (30-lb) mass, with a release mechanism and a centering device to ensure uniform, reproducible drops.

NOTE 3—Reproducible drops are ensured through the use of a tube or cage within which the tup falls. In this event, care should be exercised so that any friction that develops will not reduce the velocity of the tup appreciably.

7.1.3 *Positioning Device*—Means shall be provided for positioning the tup so that the distance from the impacting 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

ANEXO 4: Ficha técnica de Resina Poliéster



SINTAPOL 2074

SINTAPOL 2074 es una resina de poliéster insaturado tipo ortoftálico de altos sólidos para uso general.

Características:

Resina de alto contenido de sólidos.	Alta viscosidad.
Muy buen balance entre dureza y flexibilidad. al impacto.	Excelente resistencia
Exotérmico moderado que evita distorsiones por exceso de calor. contracción.	Reducida
Muy buena humectación de fibra de vidrio. compatibilidad con cargas minerales.	Muy buena

Aplicaciones:

SINTAPOL 2074 es recomendada para todo tipo de productos reforzados con fibra de vidrio para uso industrial o artesanal.

También se aplica para revestimientos y productos colados con carga mineral como mármol sintético, bolas de billar y tacos de señalización del tránsito.

Propiedades de la resina líquida:

Apariencia:	Transparente, levemente amarilla
% No volátiles:	72 -74 %
Viscosidad Gardner:	Y - Z
Viscosidad Brookfield:	2000 a 3000 cps
Numero acidez	Max 40

Propiedades de curado:

Tiempo de gel (100g a 25°C, con 0,2g Co al 12%, 1,5ml MEK peróxido) 10 + - 3 min

Temperatura de Exotermia: 130 a 140 °C

SINTAPOL 2074

Pag- 2

Propiedades Mecánicas:

Propiedades típicas de muestra fundida en resina al 62% de sólidos, post curado 2 horas a 120 °C

Resistencia tensión 60 - 65 MPa

% Elongación al quiebre: 2

Módulo de tensión 3600 MPa

Módulo de flexión 3600 MPa

Resistencia de flexión 100 MPa

ASTM D638 ASTM D790 * Las propiedades típicas no deberán de interpretarse como especificaciones

Condiciones de aplicación:

Para una óptima calidad de la aplicación se debe procurar una temperatura ambiental de trabajo entre 18 y 32 °C y una humedad entre 40 y 75%. Sin embargo podemos indicar que la resina SINTAPOL 2074 ha sido utilizada desde hace varios años en trabajos de laminado con fibra de vidrio en todas las regiones: Sierra, Costa y Oriente del Ecuador sin haber tenido reportes de problemas de reactividad bajo las condiciones normales de trabajo en cada región, las que pueden pasar de 80% de humedad relativa.

Almacenamiento:

Esta resina se mantiene estable por tres meses a partir de la fecha de fabricación siempre y cuando sea almacenado en el tambor original cerrado y fuera de la luz solar directa y con temperatura menor a 25° C. Si la resina se almacena a temperaturas ambientales superiores a 30°C, se debe anticipar que la estabilidad se puede reducir a dos meses.

Suministro: SINTAPOL 2074 se envasa en tambores metálicos de 225kg neto.

Anexo 5: Informe técnico de los ensayos de tracción y flexión.



LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES ENSAYO DE TRACCIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS INFORME N°: 180200068520170612-ETC

Designación del material: Material matriz resina poliéster y refuerzo de fibra de lana de oveja.

Método de ensayo: ASTM D3039-2015.

Empresa / Cliente: Xavier Espín.

Fecha de Inicio de Ensayo: 19 de junio de 2017.

Fecha de Finalización de Ensayo: 19 de junio 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°	Configuración de la fibra	Fracción Volumétrica de Resina Poliéster	Fracción Volumétrica de fibra de lana de oveja	Método de Fabricación y Secado	Cantidad de Probetas a Ensayar
1	Longitudinal	70%	30%	Compresión	5
2	Transversal	70%	30%	Compresión	5
3	Longitudinal	60%	40%	Compresión	5
4	Transversal	60%	40%	Compresión	5
TOTAL DE PROBETAS					20

Nota: La configuración de las probetas se las realizó longitudinal y transversal con fracciones volumétricas diferentes tanto de la resina poliéster como también de la fibra de lana de oveja, utilizando el método de fabricación y secado a compresión, según la especificación y declaración del cliente.

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, 21 de Junio de 2017.
N°. Factura. 001-002-000002826

Código: RG-RM-004
Fecha de Elaboración: 11-05-2016
Fecha de última aprobación: 21-06-2017
Revisión: 6

**INFORME DE ENSAYO DE
TRACCIÓN MATERIALES
COMPUESTOS**

Página 1 de 4



Resultados:

Pro beta	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad relativa (%)	Dimensiones (mm)		Fuerza máxima (N)	Esfuerzo máximo de tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (Calculado) (MPa)	% Elongación (Calculado)	Tipo de falla evaluado
				Ancho	Espesor					
1	180200068520170612-ETC 01-1	14	88	25,01	2,90	1905,29	26,27	1193,01	2,20	AGM
2	180200068520170612-ETC 01-2	14	88	24,97	2,79	1618,09	23,23	1112,33	2,09	AGM
3	180200068520170612-ETC 01-3	14	88	23,37	2,75	1179,16	18,35	1003,39	1,83	AGM
4	180200068520170612-ETC 01-4	14	88	25,15	2,70	1926,77	23,1	957,55	2,41	LAT
5	180200068520170612-ETC 01-5	14	88	23,96	2,80	1629,67	20,6	847,46	2,43	LAT
				Promedio \bar{x}		1651,80	22,31	1022,75	2,19	
				Desviación estándar S_{n-1}		302,03	2,99	134,50	0,25	
				Coeficiente de variación CV		18,28	13,40	13,15	11,36	

Pro beta	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad relativa (%)	Dimensiones (mm)		Fuerza máxima (N)	Esfuerzo máximo de tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (Calculado) (MPa)	% Elongación (Calculado)	Tipo de falla evaluado
				Ancho	Espesor					
6	180200068520170612-ETC 02-1	14	89	25,01	3,68	1564,71	17	760,97	2,23	LIT
7	180200068520170612-ETC 02-2	14	89	25,21	3,50	1591,91	18,04	743,00	2,43	LAT
8	180200068520170612-ETC 02-3	14	89	25,15	3,09	1331,06	17,13	820,25	2,09	LAT
9	180200068520170612-ETC 02-4	14	89	25,09	3,32	1330,22	15,97	719,11	2,22	LAT
10	180200068520170612-ETC 02-5	14	89	25,01	3,15	1359,43	17,26	787,27	2,19	LAT
				Promedio \bar{x}		1435,47	17,08	766,12	2,23	
				Desviación estándar S_{n-1}		131,28	0,74	39,20	0,12	
				Coeficiente de variación CV		9,15	4,34	5,12	5,52	



Pro beta	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad relativa (%)	Dimensiones (mm)		Fuerza máxima (N)	Esfuerzo máximo de tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (Calculado) (MPa)	% Elongación (Calculado)	Tipo de falla evaluado
				Ancho	Espesor					
11	180200068520170612-ETC 03-1	15	90	24,97	2,80	1401,56	20,05	884,66	2,27	AGM
12	180200068520170612-ETC 03-2	15	90	25,01	2,89	1667,94	23,08	1044,34	2,21	L,AT
13	180200068520170612-ETC 03-3	15	90	25,03	2,68	1223,47	18,24	899,41	2,03	AGM
14	180200068520170612-ETC 03-4	15	90	25,06	2,60	1295,98	19,89	910,88	2,18	AGM
15	180200068520170612-ETC 03-5	15	90	24,97	2,99	1760,43	23,58	968,46	2,43	L,AT
				Promedio \bar{x}		1469,88	20,97	941,55	2,22	
				Desviación estándar S_{n-1}		234,13	2,28	65,66	0,15	
				Coeficiente de variación CV		15,93	10,86	6,97	6,61	

Pro beta	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad relativa (%)	Dimensiones (mm)		Fuerza máxima (N)	Esfuerzo máximo de tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (Calculado) (MPa)	% Elongación (Calculado)	Tipo de falla evaluado
				Ancho	Espesor					
16	180200068520170612-ETC 04-1	16	84	25,16	2,50	1203,67	19,14	948,09	2,02	L,AT
17	180200068520170612-ETC 04-2	16	84	25,12	3,20	1390,99	17,3	842,59	2,05	L,AT
18	180200068520170612-ETC 04-3	16	84	25,01	3,21	1236,73	15,4	681,30	2,26	L,AT
19	180200068520170612-ETC 04-4	16	84	25,08	2,75	1122,76	16,28	846,33	1,92	AGM
20	180200068520170612-ETC 04-5	16	84	25,02	2,51	1050,42	16,73	674,38	2,48	L,AT
				Promedio \bar{x}		1200,91	16,97	798,54	2,15	
				Desviación estándar S_{n-1}		128,62	1,40	118,06	0,22	
				Coeficiente de variación CV		10,71	8,24	14,78	10,40	



Centro de Fomento Productivo
Metalmecánico Carrocero



Honorable Gobierno
Provincial de Tungurahua

Nomenclatura:

De 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	En el agarre	Tercer caracter	Parte superior
L	A	En el agarre	T	Parte superior
L	I	Dentro del agarre	T	Parte superior
A	G	Zona calibrada	M	Medio

Código: RG-RM-004
Fecha de Elaboración: 11-05-2016
Fecha de última aprobación: 21-06-2017
Revisión: 6

INFORME DE ENSAYO DE
TRACCIÓN MATERIALES
COMPLETOS

Página 4 de 4



Centro de Fomento Productivo
Metalmecánico Carrotero



Honorable Gobierno
Provincial de Tungurahua

HOJA DE ALMACENAMIENTO DE MUESTRAS

Informe N°: 180200068520170612-ETC	
DATOS DEL CLIENTE	
Empresa / Cliente: Xavier Espin.	
DIRECCIÓN: Huachi Chicho, Ambato.	
NÚM. DE CEDULA / RUC: 1802000685	TELÉFONO: 0984591491
E-MAIL: xavier_espin1993@hotmail.com	

DATOS INFORMATIVOS

Laboratorio: Resistencia de Materiales.

Designación del material: Material matriz resina poliéster y refuerzo de fibra de lana de oveja.

Método de ensayo: ASTM D3039-2015.

N°	IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	FECHA INGRESO	FECHA ELIMINACIÓN	RESPONSABLE	OBSERVACIONES	Evidencias
1	180200068520170612- ETC 01-1	16/06/2017		Ing. F. Galarza	Se almacena	
2	180200068520170612- ETC 01-2	16/06/2017		Ing. F. Galarza	Se almacena	
3	180200068520170612- ETC 01-3	16/06/2017	22/06/2017	Ing. F. Galarza	Entrega al cliente	
4	180200068520170612- ETC 01-4	16/06/2017	22/06/2017	Ing. F. Galarza	Entrega al cliente	
5	180200068520170612- ETC 01-5	16/06/2017	22/06/2017	Ing. F. Galarza	Entrega al cliente	

Código: RG-RM-003
Fecha de Elaboración: 06-07-2016
Fecha de última aprobación: 17-01-2017
Revisión: 3

HOJA DE ALMACENAMIENTO
DE MUESTRAS



Centro de Fomento Productivo
Metalmeccánico Carroero



Honorable Gobierno
Provincial de Tungurahua

N°	IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	FECHA INGRESO	FECHA ELIMINACIÓN	RESPONSABLE	OBSERVACIONES	Evidencias
6	180200068520170612-ETC 02-1	16/06/2017		Ing. F. Galarza	Se almacena	
7	180200068520170612-ETC 02-2	16/06/2017		Ing. F. Galarza	Se almacena	
8	180200068520170612-ETC 02-3	16/06/2017	22/06/2017	Ing. F. Galarza	Entrega al cliente	
9	180200068520170612-ETC 02-4	16/06/2017	22/06/2017	Ing. F. Galarza	Entrega al cliente	
10	180200068520170612-ETC 02-5	16/06/2017	22/06/2017	Ing. F. Galarza	Entrega al cliente	
11	180200068520170612-ETC 03-1	16/06/2017		Ing. F. Galarza	Se almacena	
12	180200068520170612-ETC 03-2	16/06/2017		Ing. F. Galarza	Se almacena	
13	180200068520170612-ETC 03-3	16/06/2017	22/06/2017	Ing. F. Galarza	Entrega al cliente	
14	180200068520170612-ETC 03-4	16/06/2017	22/06/2017	Ing. F. Galarza	Entrega al cliente	
15	180200068520170612-ETC 03-5	16/06/2017	22/06/2017	Ing. F. Galarza	Entrega al cliente	
16	180200068520170612-ETC 04-1	16/06/2017		Ing. F. Galarza	Se almacena	
17	180200068520170612-ETC 04-2	16/06/2017	22/06/2017	Ing. F. Galarza	Entrega al cliente	
18	180200068520170612-ETC 04-3	16/06/2017	22/06/2017	Ing. F. Galarza	Entrega al cliente	
19	180200068520170612-ETC 04-4	16/06/2017	22/06/2017	Ing. F. Galarza	Entrega al cliente	
20	180200068520170612-ETC 04-5	16/06/2017	22/06/2017	Ing. F. Galarza	Entrega al cliente	

Código: RG-RM-003
Fecha de Elaboración: 06-07-2016
Fecha de última aprobación: 17-01-2017
Revisión: 3

HOJA DE ALMACENAMIENTO
DE MUESTRAS

Página 2 de 3

Las dos primeras muestras de cada grupo por acuerdo con el cliente se almacenan en el CFPMC, el centro no se responsabiliza por el mantenimiento y almacenamiento de las otras, quedando a responsabilidad del cliente su resguardo.

 Elaborado por: Ing. Fernando Galarza Chacón Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC	 Aprobado por: Ing. Esteban López Espinel Director Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC
Cliente	



Anexo 6: Informe técnico de los ensayos de flexión.



LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES **ENSAYO DE FLEXIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS** **INFORME N°: 180200068520170614-EFC**

Designación del material: Material matriz poliéster con refuerzo de fibra de lana de oveja
Método de ensayo: ASTM D7264-2015.
Empresa / Cliente: Sr. Xavier Espín
Fecha de Inicio de Ensayo: 13 de junio de 2017.
Fecha de Finalización de Ensayo: 13 de junio 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

Nº	Configuración de la fibra	Fracción Volumétrica de Resina Poliéster	Fracción Volumétrica de fibra de lana de oveja	Método de Fabricación y Secado	Cantidad de Probetas a Ensayar
1	longitudinal	70%	30%	A compresión	5
2	transversal	70%	30%	A compresión	5
3	longitudinal	60%	40%	A compresión	5
4	transversal	60%	40%	A compresión	5
TOTAL DE PROBETAS					20

Nota: la configuración de las probetas se las realizo longitudinal y transversal con fracciones volumétricas diferentes tanto de la resina poliéster como también de la fibra de lana de oveja, utilizando el método de fabricación y secado a compresión, según la especificación y declaración del cliente.

Distancia entre apoyos: 80 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, 20 de Junio de 2017.
N°. Factura. 001-002-000002826

Código: RG-RM-005
Fecha de Elaboración: 11-05-2016
Fecha de última aprobación: 20-06-2017
Revisión: 6

INFORME DE ENSAYO DE FLEXIÓN MATERIALES COMPUESTOS

Página 1 de 4



Resultados:

Pro beta	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones mm		Fuerza máxima (N)	Deflexión (mm)	Esfuerzo máximo de flexión (MPa)	Módulo de elasticidad secante de flexión (Mpa)	Deformación máxima (%)	Tipo de falla evaluado	
				Ancho	Espesor							
1	180200068520170614-EFC 01-1	18	75	13	3,09	28,87	8,970	27,91	1074,10	2,60	OAM	
2	180200068520170614-EFC 01-2	18	75	13	3	42,63	7,769	43,72	2001,03	2,19	OAB	
3	180200068520170614-EFC 01-3	18	75	12,75	3,15	49,01	7,524	46,49	2092,20	2,22	OAB	
4	180200068520170614-EFC 01-4	18	75	12,96	2,95	41,46	8,736	44,11	1825,81	2,42	OAB	
5	180200068520170614-EFC 01-5	18	75	13,25	3	34,91	7,623	35,13	1638,53	2,14	OLB	
				Promedio \bar{x}		39,38	8,12	39,47	1726,33		2,31	
				Desviación estándar S_{n-1}		7,71	0,68	7,77	403,83		0,19	
				Coeficiente de variación CV		19,59	8,32	19,68	23,39		8,24	

Pro beta	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones mm		Fuerza máxima (N)	Deflexión (mm)	Esfuerzo máximo de flexión (MPa)	Módulo de elasticidad secante de flexión (Mpa)	Deformación máxima (%)	Tipo de falla evaluado	
				Ancho	Espesor							
6	180200068520170614-EFC 02-1	16	75	13,19	3,24	21,15	2,836	18,33	2127,82	0,86	OAB	
7	180200068520170614-EFC 02-2	16	75	13,35	3,40	57,41	5,702	44,64	2456,14	1,82	OAM	
8	180200068520170614-EFC 02-3	16	75	13,44	3,42	50,86	4,912	38,82	2465,19	1,57	OAB	
9	180200068520170614-EFC 02-4	16	75	13,25	3,38	39,61	4,950	31,40	2001,91	1,57	OAB	
10	180200068520170614-EFC 02-5	16	75	12,80	3,40	60,93	7,084	49,41	2188,35	2,26	OLB	
				Promedio \bar{x}		45,99	5,10	36,52	2247,88		1,62	
				Desviación estándar S_{n-1}		16,09	1,54	12,19	205,58		0,51	
				Coeficiente de variación CV		34,98	30,21	33,38	9,15		31,34	



Centro de Fomento Productivo
Metalmeccánico Carrocero



Honorable Gobierno
Provincial de Tungurahua

Pro beta	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones mm		Fuerza máxima (N)	Deflexión (mm)	Esfuerzo máximo de flexión (MPa)	Módulo de elasticidad secante de flexión (Mpa)	Deformación máxima (%)	Tipo de falla evaluado
				Ancho	Espesor						
11	180200068520170614-EFC 03-1	18	76	13	3	47,33	6,487	48,54	2660,70	1,82	OAB
12	180200068520170614-EFC 03-2	18	76	13	2,66	23,83	4,307	31,09	2894,48	1,07	OAB
13	180200068520170614-EFC 03-3	18	76	13	2,70	34,74	5,921	43,99	2935,01	1,50	OAB
14	180200068520170614-EFC 03-4	18	76	12,98	3,25	42,30	5,826	37,02	2085,72	1,78	OAB
15	180200068520170614-EFC 03-5	18	76	13,03	2,81	25,68	3,894	29,95	2919,75	1,03	OAM
				Promedio \bar{x}		34,78	5,29	38,12	2699,13	1,44	
				Desviación estándar S_{n-1}		10,21	1,12	8,07	360,64	0,38	
				Coeficiente de variación CV		29,35	21,22	21,17	13,36	26,20	

Pro beta	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones mm		Fuerza máxima (N)	Deflexión (mm)	Esfuerzo máximo de flexión (MPa)	Módulo de elasticidad secante de flexión (Mpa)	Deformación máxima (%)	Tipo de falla evaluado
				Ancho	Espesor						
16	180200068520170614-EFC 04-1	18	76	13,30	3,05	32,90	4,632	31,91	2409,27	1,32	OAB
17	180200068520170614-EFC 04-2	18	76	13,25	2,75	27,36	5,588	32,77	2274,34	1,44	OAB
18	180200068520170614-EFC 04-3	18	76	13,13	2,61	26,52	5,613	35,58	2590,61	1,37	OLB
19	180200068520170614-EFC 04-4	18	76								
20	180200068520170614-EFC 04-5	18	76								
				Promedio \bar{x}		17,36	3,17	20,05	1454,85	0,83	
				Desviación estándar S_{n-1}		16,03	2,92	18,35	1332,82	0,76	
				Coeficiente de variación CV		92,37	92,14	91,54	91,61	91,42	

Código: RG-RM-005
Fecha de Elaboración: 11-05-2016
Fecha de última aprobación: 20-06-2017
Revisión: 6

INFORME DE ENSAYO DE
FLEXIÓN MATERIALES
COMPUESTOS

Página 3 de 4



Centro de Fomento Productivo
Metalmecánico Carrocero



Honorable Gobierno
Provincial de Tungurahua

Nomenclatura:

De tipo de falla evaluado: el tipo de falla evaluado se lo realiza mediante los criterios de la norma ASTM D2764-2015.

Primer carácter	Otros otros	Segundo carácter	En el punto de carga Entre la carga y el punto de apoyo	Tercer carácter	Fondo varios
O		A		B	
O		L		V	



Centro de Fomento Productivo
Metalmeccánico Carrocer



Honorable Gobierno
Provincial de Tungurahua

HOJA DE ALMACENAMIENTO DE MUESTRAS

Informe N°: 180200068520170614-EFC

DATOS DEL CLIENTE

Empresa / Cliente: Sr. Xavier Espin

DIRECCIÓN: Huachi Chico, Ambato

NÚM. DE CEDULA / RUC: 1802000685 **TELÉFONO: 0984591491**

E-MAIL: xavier_espin1993@hotmail.com

DATOS INFORMATIVOS

Laboratorio: Resistencia de Materiales.

Designación del material: Material matriz poliéster con refuerzo de fibra de lana de oveja

Método de ensayo: ASTM D7264-2015.

N°	IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	FECHA INGRESO	FECHA ELIMINACIÓN	RESPONSABLE	OBSERVACIONES	Evidencias
1	180200068520170614-EFC 01-1	14/06/2017		Ing. A. Balseca	Se almacena	
2	180200068520170614-EFC 01-2	14/06/2017		Ing. A. Balseca	Se almacena	
3	180200068520170614-EFC 01-3	14/06/2017	22/06/2017	Ing. A. Balseca	Entrega al cliente	
4	180200068520170614-EFC 01-4	14/06/2017	22/06/2017	Ing. A. Balseca	Entrega al cliente	
5	180200068520170614-EFC 01-5	14/06/2017	22/06/2017	Ing. A. Balseca	Entrega al cliente	

Código: RG-RM-003
Fecha de Elaboración: 06-07-2016
Fecha de última aprobación: 17-01-2017
Revisión: 3

HOJA DE ALMACENAMIENTO
DE MUESTRAS



Centro de Fomento Productivo
Metalmecánico Carrasco



Honorable Gobierno
Provincial de Turgurahua

N°	IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	FECHA INGRESO	FECHA ELIMINACIÓN	RESPONSABLE	OBSERVACIONES	Evidencias
6	180200068520170614-EFC 02-1	14/06/2017		Ing. A. Balseca	Se almacena	
7	180200068520170614-EFC 02-2	14/06/2017		Ing. A. Balseca	Se almacena	
8	180200068520170614-EFC 02-3	14/06/2017	22/06/2017	Ing. A. Balseca	Entrega al cliente	
9	180200068520170614-EFC 02-4	14/06/2017	22/06/2017	Ing. A. Balseca	Entrega al cliente	
10	180200068520170614-EFC 02-5	14/06/2017	22/06/2017	Ing. A. Balseca	Entrega al cliente	
11	180200068520170614-EFC 03-1	14/06/2017		Ing. A. Balseca	Se almacena	
12	180200068520170614-EFC 03-2	14/06/2017		Ing. A. Balseca	Se almacena	
13	180200068520170614-EFC 03-3	14/06/2017	22/06/2017	Ing. A. Balseca	Entrega al cliente	
14	180200068520170614-EFC 03-4	14/06/2017	22/06/2017	Ing. A. Balseca	Entrega al cliente	
15	180200068520170614-EFC 03-5	14/06/2017	22/06/2017	Ing. A. Balseca	Entrega al cliente	
16	180200068520170614-EFC 04-1	14/06/2017		Ing. A. Balseca	Se almacena	
17	180200068520170614-EFC 04-2	14/06/2017		Ing. A. Balseca	Se almacena	
18	180200068520170614-EFC 04-3	14/06/2017	22/06/2017	Ing. A. Balseca	Entrega al cliente	
19	180200068520170614-EFC 04-4	14/06/2017	22/06/2017	Ing. A. Balseca	Entrega al cliente	
20	180200068520170614-EFC 04-5	14/06/2017	22/06/2017	Ing. A. Balseca	Entrega al cliente	

Código: RG-RM-003

Fecha de Elaboración: 06-07-2016

Fecha de última aprobación: 17-01-2017

Revisión: 3

HOJA DE ALMACENAMIENTO
DE MUESTRAS

Página 2 de 3



Centro de Fomento Productivo
Metalmeccánico Carrocero



Honorable Gobierno
Provincial de Tungurahua

Las dos primeras muestras de cada grupo por acuerdo con el cliente se almacenan en el CFPMC, el centro no se responsabiliza por el mantenimiento y almacenamiento de las otras, quedando a responsabilidad del cliente su resguardo.

Elaborado por: Ing. Angel Balseca P. Analista Técnico Area de Ensayos e Inspecciones CFPMC	Aprobado por: Ing. Esteban López Espinel Director Técnico Area de Ensayos e Inspecciones CFPMC
	Cliente

Código: RG-RM-003
Fecha de Elaboración: 06-07-2016
Fecha de última aprobación: 17-01-2017
Revisión: 3

HOJA DE ALMACENAMIENTO
DE MUESTRAS

Página 3 de 3