



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:

“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE UN MATERIAL
COMPUESTO DE MATRIZ POLIÉSTER REFORZADO CON FIBRA DE PELO
DE RES Y SU POSIBLE APLICACIÓN INDUSTRIAL”

AUTOR: Ángel Vinicio Tonato Porras

TUTOR: Ing. Mg. Óscar Iván Analuiza Maiza

AMBATO - ECUADOR

Octubre - 2020

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del Trabajo Experimental, previo a la obtención del Título de Ingeniero Mecánico, con el tema **“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE UN MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ POLIÉSTER REFORZADO CON FIBRA DE PELO DE RES Y SU POSIBLE APLICACIÓN INDUSTRIAL”**, elaborado por el señor Ángel Vinicio Tonato Porras, portador de la cédula de ciudadanía: 0503586679, egresado de la Carrera de Ingeniería Mecánica, de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Certifico que:

- El presente Trabajo Experimental es original de su autor.
- Ha sido revisado cada uno de sus capítulos componentes.
- Está concluido en su totalidad.

Ambato, Octubre 2020



Ing. Mg. Óscar Iván Analuiza Maiza

TUTOR

AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Yo, Ángel Vinicio Tonato Porras, con C.I. 0503586679, declaro que todas las actividades y contenidos expuestos en el presente trabajo experimental con el tema **“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE UN MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ POLIÉSTER REFORZADO CON FIBRA DE PELO DE RES Y SU POSIBLE APLICACIÓN INDUSTRIAL”**, así como los ensayos realizados, análisis, conclusiones y recomendaciones, son de mi exclusiva responsabilidad como autor de la investigación, a excepción de las referencias bibliográficas citadas en el mismo.

Ambato, Octubre 2020



Ángel Vinicio Tonato Porras

C.I. 0503586679

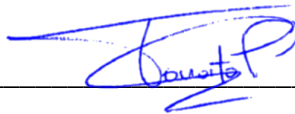
AUTOR

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 patrimoniales 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 esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.

Ambato, Octubre 2020



Ángel Vinicio Tonato Porras

C.I. 0503586679

AUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del tribunal de grado aprueban el informe del trabajo experimental, realizado por el estudiante Ángel Vinicio Tonato Porras de la Carrera de Ingeniería Mecánica bajo el tema: **“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE UN MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ POLIÉSTER REFORZADO CON FIBRA DE PELO DE RES Y SU POSIBLE APLICACIÓN INDUSTRIAL”**.

Ambato, Octubre 2020

Para constancia firman:



Ing. Mg. Juan Gilberto Paredes Salinas

Miembro del Tribunal



Ing. Mg. Wilson Henry Vaca Ortega

Miembro del Tribunal

DEDICATORIA

Este trabajo lo dedico entre todas las cosas a Dios por ser él quien me da la fuerza y la bendición para recorrer día a día el camino de la vida.

A mis padres, Ángel y Marianita por ser ellos mi mejor ejemplo de lucha y perseverancia, además por brindarme su constante apoyo en todo el transcurso de mi vida académica en la que he aprendido que todo sueño se consigue con mucho esfuerzo y dedicación.

A mi hija Hana, quien día a día me llena de alegría, siendo ella lo más importante en mi vida y mi principal motivación.

A mis hermanos Luis, Roció y Erika que de una u otra manera siempre han demostrado su apoyo incondicional siendo un ejemplo de unidad familiar.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por darme la capacidad e inteligencia a lo largo de toda mi carrera universitaria.

Agradezco a mis padres por el gran esfuerzo que han hecho para poder darme el estudio, por todos sus consejos y enseñanzas que me han ayudado a ser una persona de bien.

A mi esposa Salome por su apoyo incondicional, por su amor, por su paciencia y comprensión en estos momentos difíciles, hemos logrado salir adelante.

A los docentes de la carrera de Ingeniería Mecánica quienes con paciencia me han impartido sus conocimientos ayudándome a formarme como profesional.

A mi tutor el Ingeniero Oscar Analuza quien me ha brindado su tiempo y conocimiento ayudándome en el desarrollo y culminación de esta investigación.

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDO

PÁGINAS PRELIMINARES	
CERTIFICACIÓN DEL TUTOR	ii
AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN	iii
DERECHOS DE AUTOR	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTO	vii
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDO	viii
ÍNDICE DE FIGURAS	xii
ÍNDICE DE TABLAS	xiii
RESUMEN EJECUTIVO	xv
EXECUTIVE SUMMARY	xvi
CAPÍTULO I.....	1
MARCO TEÓRICO.....	1
1.1. ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS	1
1.2. OBJETIVOS.....	3
1.2.1. Objetivo general	3
1.2.2. Objetivos específicos	3
1.3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	3
1.3.1. Ciencia e ingeniería de materiales.....	3
1.3.2. Materiales compuestos	3
1.3.3. Clasificación de los materiales compuestos	4
1.3.4. Composición del Material Compuesto.....	5
1.3.4.1. Matriz.....	5
1.3.5. Tipos de Matrices Poliméricas	6
1.3.6. Resina Poliéster	6

1.3.6.1.	Tipos de resinas poliéster.....	7
1.3.6.2.	Propiedades de la resina poliéster.....	7
1.3.6.3.	Proceso de curado	8
1.3.7.	Materiales compuestos reforzados con fibras	8
1.3.7.1.	Clasificación de las fibras	8
1.3.7.2.	Influencia de la longitud y orientación de la fibra	9
1.3.7.3.	Fibras naturales de origen animal	10
1.3.8.	Manufactura de los materiales compuestos.....	13
1.3.8.1.	Estratificación a compresión.....	13
1.3.8.2.	Estratificación manual (<i>Hand Lay-Up</i>).....	14
1.3.9.	Ensayos de materiales	15
1.3.9.1.	Ensayo de tracción para materiales compuestos.....	15
1.3.9.2.	Ensayo de flexión.....	17
1.3.9.3.	Ensayo de impacto por caída de dardo	19
1.4.	HIPÓTESIS	20
1.5.	SEÑALAMIENTO DE VARIABLES	20
1.5.1.	Variable independiente.....	20
1.5.2.	Variable dependiente.....	20
1.5.3.	Termino de relación	20
CAPÍTULO II		21
METODOLOGÍA		21
2.1.	MATERIALES.....	21
2.2.	MÉTODOS.....	24
2.2.1.	NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	24
2.2.1.1.	Investigación exploratoria.....	24
2.2.1.2.	Investigación Descriptiva	24
2.2.1.3.	Investigación Bibliográfica.....	24

2.2.1.4.	Investigación Experimental	24
2.2.2.	METODOLOGÍA DE OBTENCIÓN DEL MATERIAL COMPUESTO	24
2.2.2.1.	DIAGRAMA DEL PROCESO DE OBTENCIÓN DEL MATERIAL COMPUESTO	24
2.2.3.	PROCEDIMIENTO PARA LA OBTENCIÓN DEL MATERIAL COMPUESTO	27
2.2.3.1.	Obtención de la fibra (pelo de res).....	27
2.2.3.2.	Limpieza y secado de la fibra	27
2.2.3.3.	Cálculo de la densidad de la fibra (pelo de res).....	29
2.2.3.4.	Cálculo de la densidad de la matriz (resina poliéster)	31
2.2.3.5.	DETERMINACIÓN DE LAS FRACCIONES VOLUMÉTRICAS DEL REFUERZO Y LA MATRIZ.....	33
2.2.3.6.	ELABORACIÓN DE LAS PROBETAS	40
2.2.4.	METODOLOGÍA DE CARACTERIZACIÓN	43
2.2.4.1.	POBLACIÓN Y MUESTRA.....	43
2.2.5.	METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN MECÁNICA	44
2.2.5.1.	MÉTODO ESTADÍSTICO DE LA DISTRIBUCIÓN T- STUDENT	44
2.2.6.	OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	45
2.2.6.1.	Variable Independiente	45
2.2.6.2.	Variable Dependiente	46
CAPÍTULO III	47
3.1.	TABULACIÓN DE RESULTADOS.....	47
3.1.1.	Tabulación de los resultados obtenidos en los ensayos a tracción.....	47
3.1.1.1.	Codificación de fallas evaluado a Tracción	64
3.1.2.	Tabulación de los resultados obtenidos en los ensayos a flexión	65
3.1.2.1.	Codificación de fallas evaluadas a Flexión.....	83

3.1.3.	Tabulación de los resultados obtenidos en los ensayos de impacto.....	83
3.1.3.1.	Nomenclatura de los tipos de fallas para ensayos de impacto.....	94
3.2.	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.....	95
3.3.	VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS	98
3.4.	COMPARACIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS DE MATERIALES COMPUESTOS DE MATRIZ POLIÉSTER.....	105
3.5.	POSIBLES APLICACIONES INDUSTRIALES	106
CAPÍTULO IV.....		107
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		107
4.1.	CONCLUSIONES.....	107
4.2.	RECOMENDACIONES	108
BIBLIOGRAFÍA		109
ANEXOS		111

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Materiales compuestos según el tipo de matriz	4
Figura 2. Materiales compuestos según el tipo de refuerzo	4
Figura 3. Composición del material compuesto.....	5
Figura 4. Etapas del proceso de curado.....	8
Figura 5. Clasificación de las fibras.....	9
Figura 6. Deformación generada en la matriz alrededor de una fibra sometida a tensión.	9
Figura 7. Orientación de la fibra: (a) Continua y alineada (b) discontinua y alineada y (c) discontinua al azar.	10
Figura 8. Fibras de origen animal	11
Figura 9. Morfología de la fibra de origen animal.	11
Figura 10. Longitud media (mm) del pelo en varias posiciones del ganado Jersey .	12
Figura 11. Moldeo por compresión.....	14
Figura 12. Fabricación de un domo por estratificación manual.....	14
Figura 13. Máquina de ensayos universal MTS 5000N.....	15
Figura 14. Carga a flexión en 3 puntos	17
Figura 15. Ensayo de flexión	17
Figura 16. Máquina de impacto por caída de dardo.....	19
Figura 17. Muestras de resina sólida para cálculo de densidad.	31
Figura 18. Dimensiones de la probeta para tracción según la norma ASTM D3039.	33
Figura 19. Dimensiones de la probeta a flexión según la norma ASTM D7264-07. 33	
Figura 20. Dimensiones de la probeta a tracción según la norma ASTM D5628-10.	34
Figura 21. Molde de Acero A36.	34
Figura 22. Distribución de las probetas en el molde.....	35
Figura 23. Distribución t-Student	99
Figura 24. Campana de distribución del grupo 1 y 4 de los ensayos de tracción. ..	101
Figura 25. Campana de distribución del grupo 1 y 4 de los ensayos de flexión.....	103
Figura 26. Campana de distribución del grupo 2 y 3 de los ensayos de impacto. ..	104
Figura 27. Gráfica comparativa de la resistencia máxima a tracción y flexión	105

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Matrices poliméricas para materiales compuestos	6
Tabla 2. Tipos de resina poliéster.....	7
Tabla 3. Propiedades de la resina poliéster Polylite 33200 curada sin reforzar.....	7
Tabla 4. Tabla resumida de parámetros físicos de la capa capilar de las vacas.....	13
Tabla 5. Listado de materiales y equipos	21
Tabla 6. Obtención de la densidad de la fibra	29
Tabla 7. Obtención de la densidad de la matriz (Resina poliéster)	31
Tabla 8. Cálculo de cantidades en masa y volumen para la preparación del material compuesto.	39
Tabla 9. Muestras para los diferentes ensayos.	43
Tabla 10. Variable Independiente	45
Tabla 11. Variable Dependiente.....	46
Tabla 12. Ficha técnica de recolección de datos de ensayo a tracción, 60% Resina poliéster, 40% Fibra (pelo de res) orientada a 0°.....	47
Tabla 13. Ficha técnica de recolección de datos de ensayo a tracción, 60% Resina poliéster, 40% Fibra (pelo de res) orientada a 45°.....	50
Tabla 14. Ficha técnica de recolección de datos de ensayo a tracción, 60% Resina poliéster, 40% Fibra (pelo de res) entrecruzada al azar.	53
Tabla 15. Ficha técnica de recolección de datos de ensayo a tracción, 70% Resina poliéster, 30% Fibra (pelo de res) orientada a 0°.....	56
Tabla 16. Ficha técnica de recolección de datos de ensayo a tracción, 70% Resina poliéster, 30% Fibra (pelo de res) orientada a 45°.....	59
Tabla 17. Ficha técnica de recolección de datos de ensayo a tracción, 70% Resina poliéster, 30% Fibra (pelo de res) entrecruzada al azar.	62
Tabla 18. Tipos de fallas a tracción.....	64
Tabla 19. Ficha técnica de recolección de datos de ensayo a flexión, 60% Resina poliéster, 40% Fibra (pelo de res) orientada a 0°.....	65
Tabla 20. Ficha técnica de recolección de datos de ensayo a flexión, 60% Resina poliéster, 40% Fibra (pelo de res) orientada a 45°.....	68
Tabla 21. Ficha técnica de recolección de datos de ensayo a flexión, 60% Resina poliéster, 40% Fibra (pelo de res) entrecruzada al azar.	71

Tabla 22. Ficha técnica de recolección de datos de ensayo a flexión, 70% Resina poliéster, 30% Fibra (pelo de res) orientada a 0°	74
Tabla 23. Ficha técnica de recolección de datos de ensayo a flexión, 70% Resina poliéster, 30% Fibra (pelo de res) orientada a 45°	77
Tabla 24. Ficha técnica de recolección de datos de ensayo a flexión, 70% Resina poliéster, 30% Fibra (pelo de res) entrecruzada al azar.	80
Tabla 25. Tipos de fallas a flexión	83
Tabla 26. Ficha técnica de recolección de datos de ensayo de impacto, 60% Resina poliéster, 40% Fibra (pelo de res) orientada a 0°	83
Tabla 27. Ficha técnica de recolección de datos de ensayo de impacto, 60% Resina poliéster, 40% Fibra (pelo de res) orientada a 45°	85
Tabla 28. Ficha técnica de recolección de datos de ensayo de impacto, 60% Resina poliéster, 40% Fibra (pelo de res) entrecruzada al azar.	87
Tabla 29. Ficha técnica de recolección de datos de ensayo de impacto, 70% Resina poliéster, 30% Fibra (pelo de res) orientada a 0°	89
Tabla 30. Ficha técnica de recolección de datos de ensayo de impacto, 70% Resina poliéster, 30% Fibra (pelo de res) orientada a 45°	91
Tabla 31. Ficha técnica de recolección de datos de ensayo de impacto, 70% Resina poliéster, 30% Fibra (pelo de res) entrecruzada al azar.	93
Tabla 32. Tipos de falla a impacto	95
Tabla 33. Análisis de los resultados obtenidos en los respectivos ensayos de tracción, flexión e impacto.....	95
Tabla 34. Verificación de la hipótesis de las probetas del grupo 1 y 4.....	100
Tabla 35. Verificación de la hipótesis de las probetas del grupo 1 y 4.....	102
Tabla 36. Verificación de la hipótesis de las probetas del grupo 2 y 3.....	103
Tabla 37. Comparación de propiedades mecánicas de materiales compuestos	105
Tabla 38. Resistencia a tracción y flexión de la madera y MDF	106

RESUMEN EJECUTIVO

Este trabajo se llevó a cabo para investigar la posibilidad de utilizar fibra animal como refuerzo en un material polimérico. El pelo de res se obtuvo del camal municipal de la ciudad de Ambato que al no ser aprovechado por la industria se convierte en desecho, lo que lo hace atractivo debido a la fácil disponibilidad y bajo costo, demostrando ser una alternativa a las fibras sintéticas.

La presente investigación se basa en la caracterización mecánica del material compuesto de matriz poliéster reforzado con fibra de pelo de res, para lo cual se elaboró probetas con fracciones volumétricas de 60 por ciento matriz y 40 por ciento de refuerzo, también con 70 por ciento matriz y 30 por ciento de refuerzo. Se utilizó fibra larga con una orientación longitudinal a 0 grados y a 45 grados, fibra corta (10mm) con una distribución entrecruzada al azar. Estas probetas fueron ensayadas a tracción, flexión e impacto bajo las especificaciones de las normas ASTM D3039, ASTM D7264 y ASTM D5628 respectivamente, con el fin de determinar las propiedades mecánicas más idóneas del material compuesto y poder dar uso en la industria.

Del análisis realizado a los 6 grupos de probetas que fueron sometidas a sus respectivos ensayos, se determinó que el material compuesto que presentó los mejores resultados corresponde al grupo 1 el cual tiene una fracción volumétrica del 60 por ciento de matriz y 40 por ciento de refuerzo, con una configuración de fibra larga orientada a 0 grados, obteniendo una resistencia máxima a la tracción de 30.87 MPa, resistencia máxima a la flexión de 55 MPa y 1.02 J de energía de impacto. Se determinó también que este material puede ser aplicado en la industria carrocera y en la construcción de muebles.

EXECUTIVE SUMMARY

This work was carried out to investigate the possibility of using animal fiber as a reinforcement in a polymeric material. The beef hair was obtained from the municipal abattoir of the city of Ambato that, not being used by the industry, becomes waste, which makes it attractive due to the easy availability and low cost, proving to be an alternative to synthetic fibers.

The present investigation is based on the mechanical characterization of polyester matrix composite material reinforced with beef hair fiber, for which specimens were elaborated with volumetric fractions of 60 percent matrix and 40 percent reinforcement, also with 70 percent matrix and 30 percent reinforcement. Long fiber was used with a longitudinal orientation at 0 degrees and 45 degrees, short fiber (10mm) with a randomly crisscrossed distribution. These specimens were tested to traction, flexure and impact under the specifications of ASTM D3039, ASTM D7264 and ASTM D5628 respectively, in order to determine the most suitable mechanical properties of the composite material and to be able to give use in the industry.

From the analysis of the 6 groups of specimens that were subjected to their respective tests, it was determined that the composite material that presented the best results corresponds to group 1 which has a volumetric fraction of 60 percent matrix and 40 percent reinforcement, with a long fiber configuration oriented to 0 degrees, obtaining a maximum tensile strength of 30.87 MPa , maximum to bending resistance of 55 MPa and 1.02 J of impact energy. It was also determined that this material can be applied in the automotive industry and in the furniture construction.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1. ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

Para el desarrollo del presente trabajo se ha considerado investigaciones previas que brindan la información necesaria para el procedimiento de obtención de materiales compuestos con matriz poliéster.

La revista internacional de investigación y aplicaciones de ingeniería IJERA publicó en el año 2015 el artículo científico: Investigation of Mechanical Properties in Polyester and Phenylester Composites Reinforced With Chicken Feather Fiber, esta investigación fue realizada por los señores T. Subramani, S. Krishnan, S.K. Ganesan y G. Nagarajan del departamento de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad de Misiones de Vinayaka localizada en Salem India, en esta investigación se utilizó la pluma de pollo como refuerzo y resina poliéster como matriz. Donde se observó que el compuesto conformado por el 20 % de fibra de pluma de pollo y el 80% de matriz poliéster presentan propiedades muy superiores en tracción, flexión e impacto. También se concluyó que al aumentar los porcentajes de refuerzo los valores de resistencia a la tracción y flexión disminuyen [1].

En la Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica en el año 2019, la señorita Anahí Raquel Reinoso Arias desarrolló la investigación con el tema: “EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE UN MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ POLIÉSTER CON FIBRA DE CABELLO HUMANO Y SU POSIBLE APLICACIÓN INDUSTRIAL”, donde se determinó:

Según los ensayos realizados el material compuesto que presenta mejores propiedades mecánicas, está formada por 70% de matriz y 30% de refuerzo con una orientación longitudinal a 0°, dando como resultados una resistencia máxima a la tracción de 28.472 MPa, resistencia máxima a la flexión de 66.24 MPa y 1.371 J de energía de impacto [2].

En el año 2017 de acuerdo con el estudio realizado por el Sr. Christian Xavier Espín Medina de la Universidad Técnica de Ambato, en 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”, donde se concluyó que:

El grupo que presentó las mejores propiedades mecánicas respecto al módulo de flexión tiene una fracción volumétrica de 60% matriz poliéster y 40% de refuerzo de lana de oveja con una configuración discontinua al eje longitudinal, teniendo como valor promedio 2,699 GPa [3].

Otra de las investigaciones donde se plantea reutilizar los cabellos desechados de las peluquerías como material de refuerzo para resina poliéster, es la realizada por el Sr. Jherson Muñoz de la Universidad Privada del Norte de la Facultad de Ingeniería en el año 2017, con el tema: “PROPUESTA PARA USO DE FIBRAS DE QUERATINA COMO REFUERZO PARA RESINA POLIÉSTER”. Para la elaboración de este material se usó porcentajes en peso de fibra corta al azar de 5, 10, 15 y 20%. Donde se evaluó la influencia del porcentaje en peso de fibra en el material compuesto sobre sus valores de resistencia a tracción y flexión, obteniendo como resultado que la resistencia a tracción y flexión incrementan cuando el porcentaje en peso de fibra es mayor, en tracción el valor promedio máximo fue 112.44 MPa con un 20% en peso de fibra y la resistencia a la flexión máxima fue 102.01 MPa con un 20% en peso de fibra [4].

En el país se han realizado varias investigaciones sobre materiales compuestos, especialmente en la provincia de Tungurahua al ser la industria carrocera uno de los pilares fundamentales de la economía de la región. La carrera de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato ha aportado con varias investigaciones de nuevos materiales compuestos. Pero hasta la actualidad en el Ecuador, no existe estudios concernientes a la obtención de materiales compuestos a base de matriz poliéster con fibra de pelo de res.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo general

Analizar el comportamiento mecánico de un material compuesto de matriz poliéster reforzado con fibra de pelo de res.

1.2.2. Objetivos específicos

- Determinar el proceso de obtención de la fibra (pelo de res) y su densidad.
- Determinar la fracción volumétrica del material compuesto de matriz poliéster reforzado con fibra de pelo de res.
- Determinar las propiedades mecánicas del material compuesto mediante las normas ASTM para los ensayos de tracción, flexión e impacto.
- Determinar la posible aplicación industrial para el nuevo material compuesto.

1.3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

1.3.1. Ciencia e ingeniería de materiales

La ciencia e ingeniería de materiales se compone de varias disciplinas científicas como la física, química e ingeniería que estudia y manipula la composición y estructura de los materiales controlando sus propiedades por medio de síntesis (fabricación de materiales a partir de sustancias químicas naturales o sintéticas) y procesamiento. Muchas propiedades de los materiales están relacionadas profundamente con su estructura. De esta manera se crean procesos de fabricación relacionados con la producción de nuevos componentes [5].

1.3.2. Materiales compuestos

Los materiales compuestos son un conjunto de materiales que están formados por una combinación de dos o más micro o macro constituyentes de diferente forma y composición química que por lo general son insolubles entre sí. En ingeniería la importancia de un material compuesto radica en que dos o más materiales distintos, al ser combinados formen un material compuesto cuyas propiedades mecánicas sean superiores a los compuestos que lo constituye [6].

1.3.3. Clasificación de los materiales compuestos

Los materiales compuestos se clasifican en 2 grupos:

1) En función de la naturaleza de la matriz como se muestra en la figura 1.

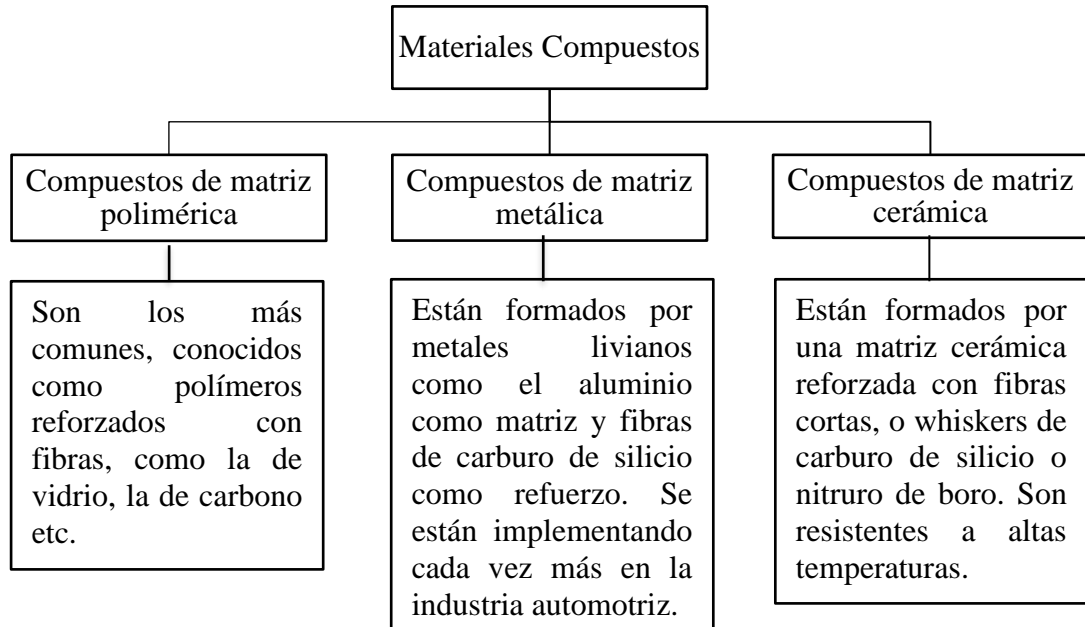


Figura 1. Materiales compuestos según el tipo de matriz [7].

2) Según el tipo de refuerzo: Los materiales compuestos se clasifican en compuestos reforzados por partículas, compuestos reforzados con fibras y compuestos estructurales. Cada uno con dos subdivisiones como se muestra en la figura 2 [8].

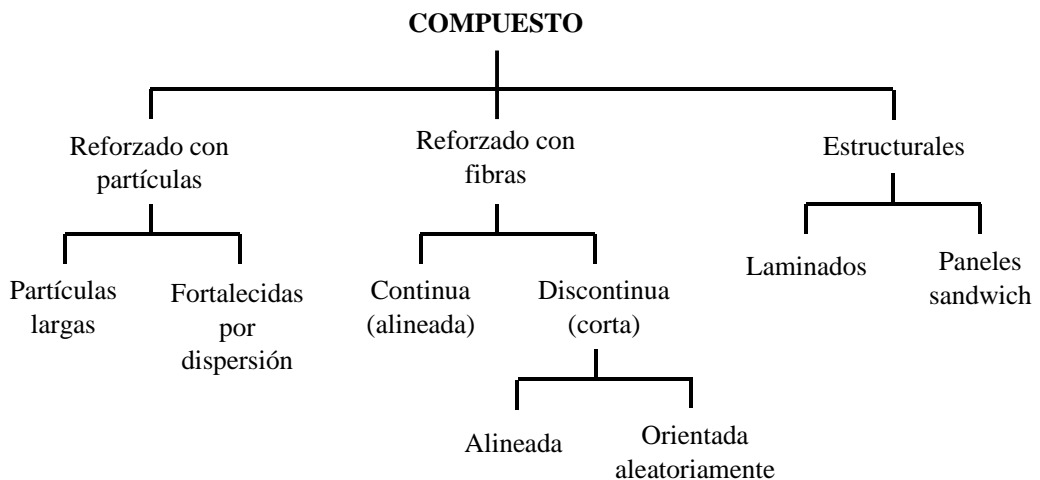


Figura 2. Materiales compuestos según el tipo de refuerzo [8].

1.3.4. Composición del Material Compuesto

Los componentes que constituyen un material compuesto son la matriz que se muestra en fase continua, actuando como ligante y el refuerzo que se muestra en fase discontinua o dispersa el cual proporciona la resistencia del material como se observa en la figura 3 [9].

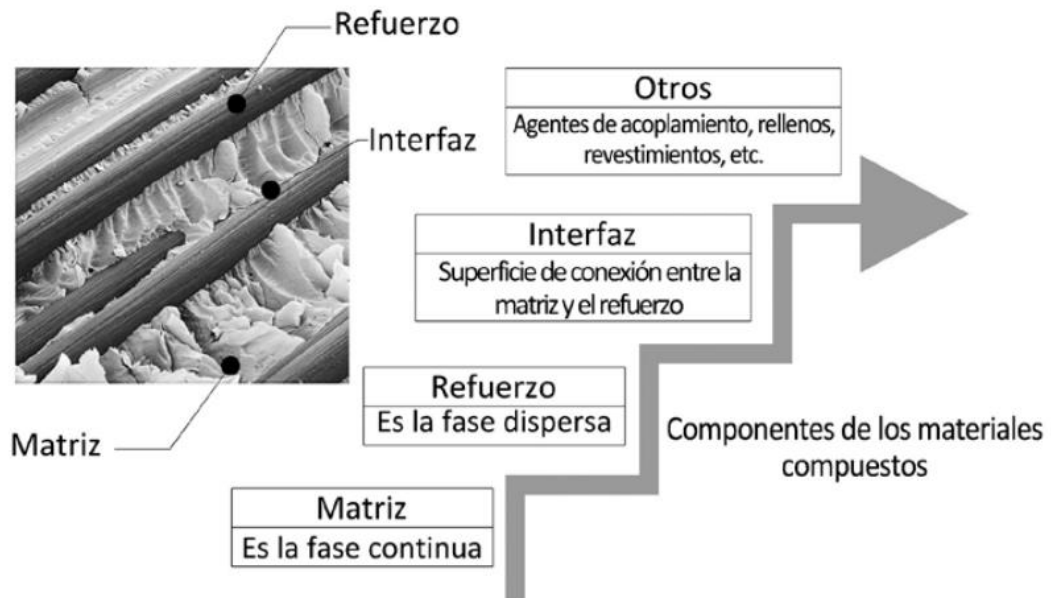


Figura 3. Composición del material compuesto [9].

1.3.4.1. Matriz

La matriz siendo la fase continua en la cual engloba y sostiene los componentes de refuerzo dando consistencia y continuidad al material, se considera un elemento que protege y transmite las cargas al refuerzo. Cumple las siguientes funciones [9]:

- Ligar los refuerzos.
- Transmitir las cargas hacia el refuerzo.
- Proporciona una barrera de protección al refuerzo contra los efectos del medio ambiente.
- Si la matriz está reforzada con fibras naturales debe tener soporte lateral en caso de existir pandeo por cargas de compresión.

1.3.5. Tipos de Matrices Poliméricas

A los materiales compuestos que están constituidos por algún tipo de resina (polímero en estado líquido) se los denomina de matriz polimérica. En la Tabla 1. se detallan los tipos de matrices poliméricas [10].

Tabla 1. Matrices poliméricas para materiales compuestos [10].

Resinas	Clasificación
Termoplásticos	Polipropileno (PP) Poliamidas (PA) Policarbonato (PC) Poliésteres saturados (PET, PBT) Poliacetales (POM) Polieteretercetonas (PEEK) Polímeros fluorados (PF)
Termoestables	Poliésteres Insaturados (UP) Poliépoxicos (EP) Poliamidas (PI) Poliesterilpirioínas (PSP) Fenoplastos (PF)
Elastoméricas	Poliuretanos (PU) Silicona (SI)

1.3.6. Resina Poliéster

La resina poliéster es un material termoestable que en su mayoría son insaturadas, utilizadas a escala mundial en un 90% en la industria marítima y la industria automotriz debido a su bajo costo en comparación con otras matrices termoestables como la resina epoxi. La resina pasa de un estado líquido a un estado sólido (proceso de curado) mediante la adición de un catalizador y un acelerador cuyos porcentajes adecuados vienen especificados por los fabricantes. Por lo general se añade entre el 1 y 3% de catalizador con respecto al volumen total de resina, esto también dependerá de la temperatura ambiente a la que se esté trabajando [11].

1.3.6.1. Tipos de resinas poliéster

Su clasificación depende del tipo de alcoholes y ácidos de los cuales este constituida la resina (ácido o anhídridos insaturados, ácidos o anhídridos saturados, glicoles y monómeros). En la tabla 2 se muestra los tipos de resinas y algunas de sus aplicaciones [12].

Tabla 2. Tipos de resina poliéster [12].

Tipos	Aplicaciones
Ortoftálicas	Barcos, placas onduladas y planas.
Isoftálicas	Depósitos, ingeniería química.
Tereftálicas	Ingeniería química.
Tetraftálicas	Depósitos para alimentos.
Bisfenólicas	Aplicaciones anticorrosión.
Resinas de Tetracloroftálico	Comportamiento a fuego moderado.
Resinas de ácido het	Resistencia al fuego, anticorrosión.
Resinas de metacrilato metilo	Piezas, cúpulas.

1.3.6.2. Propiedades de la resina poliéster

En el mercado existe una amplia variedad de resinas poliéster, por esta razón es difícil establecer sus propiedades debido a que cada fabricante formula sus resinas con una composición distinta. La resina utilizada para la fabricación del material compuesto en esta investigación fue la Resina Poliéster Polylyte 33200 (Ficha técnica, Anexo 1). A continuación, en la tabla 3 se describe las propiedades de esta resina.

Tabla 3. Propiedades de la resina poliéster Polylyte 33200 curada sin reforzar.

Propiedades	Unidades	Valor típico	Métodos
Dureza Barcol	s/u	40	ASTM D2583-95
HDT (Head Distortion Temperature)	°C	73.5	ASTM D 648-01
Resistencia a la flexión	Psi	12,097.9	ASTM D 790-00
Módulo de flexión	kPsi	587.2	ASTM D 790-00
Resistencia a la tensión	Psi	5,654.7	ASTM D 638-01
Módulo de tensión	kPsi	501.9	ASTM D 638-01
Elongación hasta ruptura	%	1.2	ASTM D 638-01

Fuente: Reichhold

1.3.6.3. Proceso de curado

El proceso de curado de la resina consiste en la transformación del estado líquido al estado sólido, también conocido como polimerización o endurecimiento, este proceso es provocado por un catalizador constituido por peróxidos orgánicos y sales de cobalto orgánicas que aceleran dicho proceso. Además, el proceso de curado conlleva 3 etapas como se indica en la figura 4 [13].

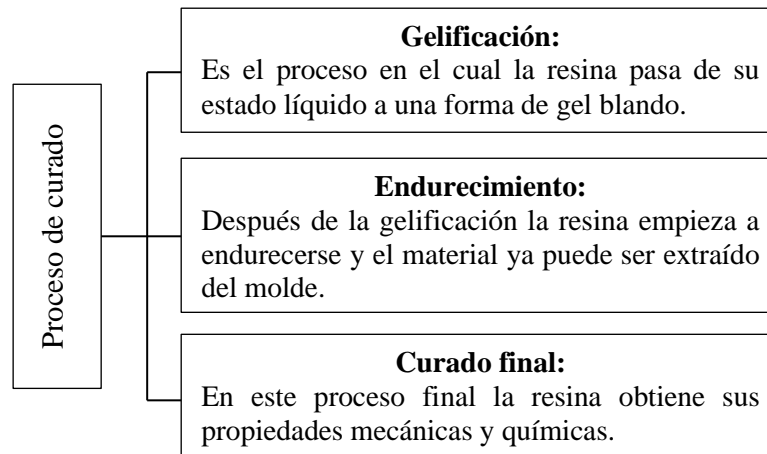


Figura 4. Etapas del proceso de curado [13].

1.3.7. Materiales compuestos reforzados con fibras

Los materiales compuestos, conocidos también como composites son una combinación tecnológica entre polímeros y fibras ya sean naturales o sintéticas. Las fibras son utilizadas con el fin de mejorar las propiedades mecánicas del material que son utilizados como elementos estructurales o refuerzos de estructuras. Existe una gran demanda de estos materiales lo cual obliga a considerar su comportamiento anisotrópico, sus propiedades elásticas y lo más importante su estabilidad mecánica que con el pasar de los años puede cambiar [12].

1.3.7.1. Clasificación de las fibras

Según su origen las fibras se clasifican en naturales y sintéticas. Las fibras naturales obtenidas principalmente de las plantas, animales y minerales son utilizadas como refuerzos en diversas aplicaciones en compuestos termoplásticos y termoestables. En la figura 5 se muestra la clasificación de las fibras [14].

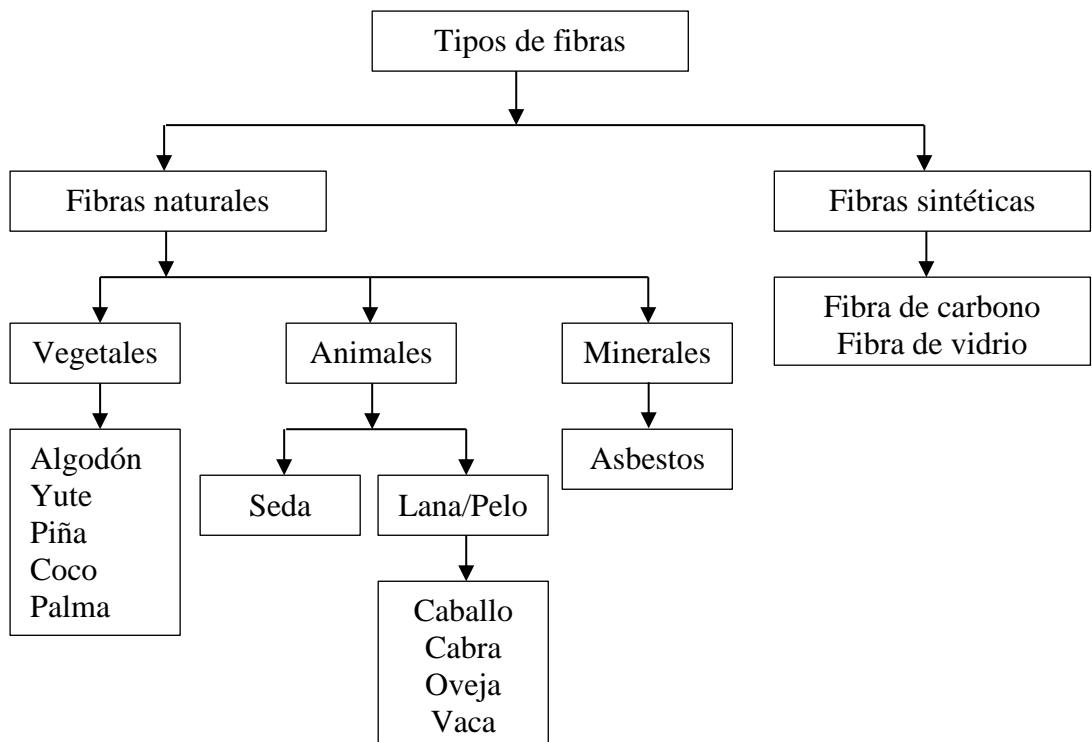


Figura 5. Clasificación de las fibras [14].

1.3.7.2. Influencia de la longitud y orientación de la fibra

Una excelente unión entre la fibra y la matriz asegura una buena calidad del material, esto garantiza que, al aplicar una carga, esta se transmitirá de la matriz a la fibra por medio de un mecanismo de corte. Con una buena adhesión de la fibra a la matriz la deformación de la matriz es mayor que la deformación de la fibra, produciendo un esfuerzo cortante transversal como se puede observar en la figura 6 [15].

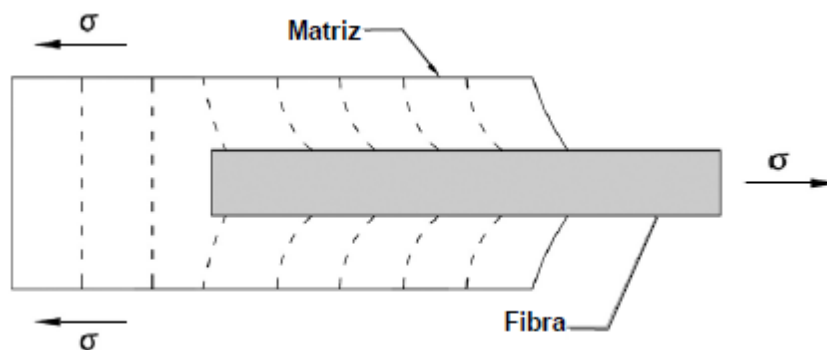


Figura 6. Deformación generada en la matriz alrededor de una fibra sometida a tensión [15].

Por lo tanto, si la longitud de la fibra es menor a la longitud crítica, el esfuerzo producido en la fibra es menor al que es capaz de soportar, provocando que la matriz falle primero. Pero si la longitud de la fibra es mayor que la crítica el valor de esfuerzo máximo se alcanza en la fibra. Al incrementar la longitud de la fibra con respecto a su longitud crítica se puede obtener un refuerzo efectivo [15].

Las propiedades finales de un material como la resistencia mecánica se ven directamente influenciada por la orientación, concentración y distribución de las fibras. Se puede orientarlas longitudinalmente y de forma aleatoria como se observa en la figura 7 [15].

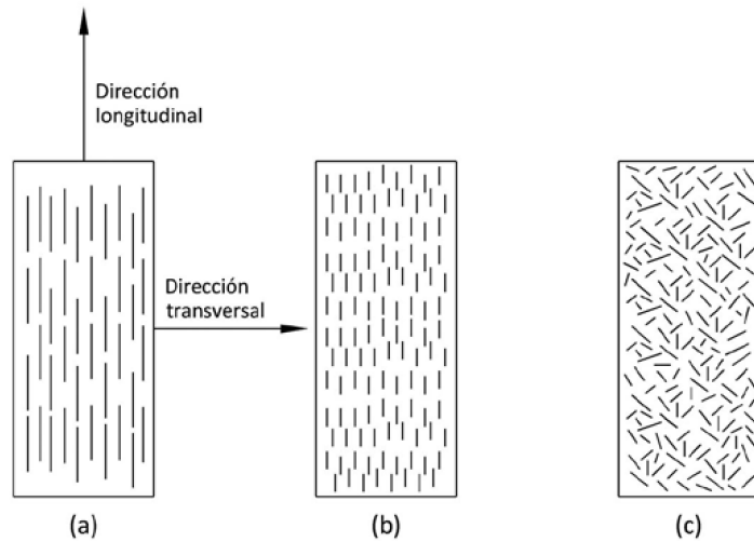


Figura 7. Orientación de la fibra: (a) Continua y alineada (b) discontinua y alineada y (c) discontinua al azar [15].

1.3.7.3. Fibras naturales de origen animal

Estas fibras se encuentran en estado natural y son aquellas que se obtienen de los animales. Pueden ser de glándulas sedosas como la seda o de folículos pilosos como la lana y los pelos (véase la figura 8). En los últimos años están siendo utilizados como agentes de refuerzo en materiales compuestos sustituyendo a las fibras sintéticas, debido a que la mayoría de estos productos son desechados por las industrias, convirtiéndose en un material atractivo por su abundancia y bajo costo [16].

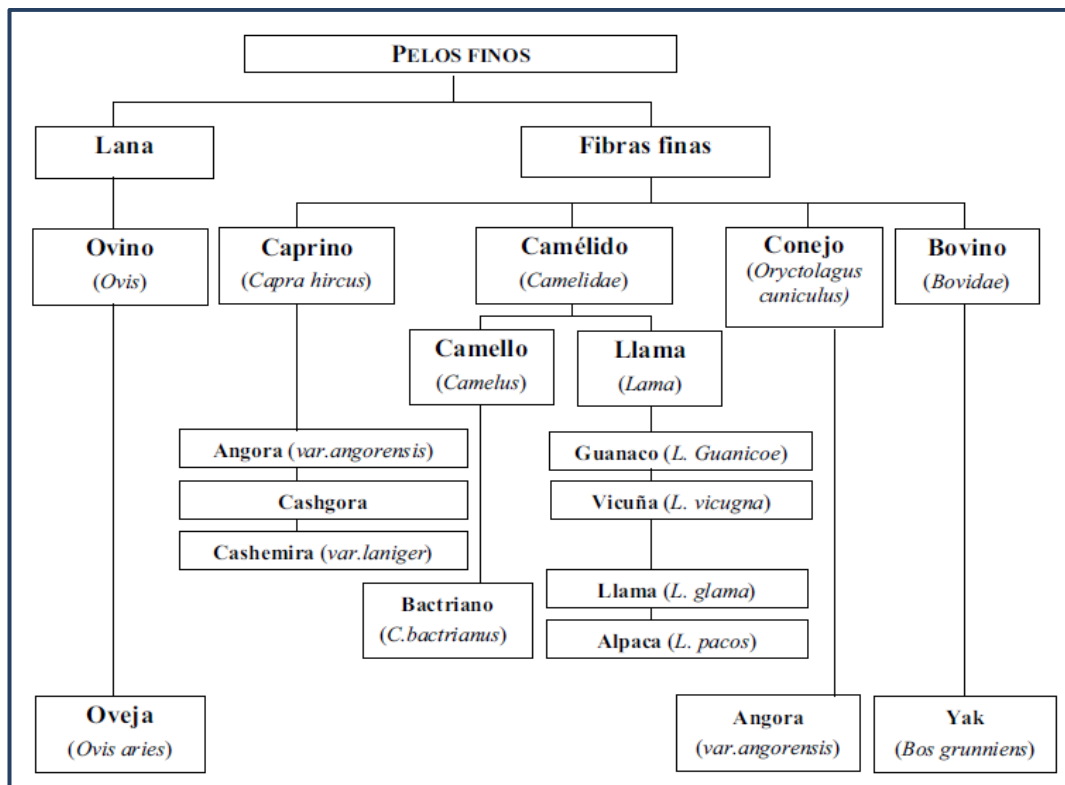


Figura 8. Fibras de origen animal [16].

A. Morfología de la fibra de origen animal

Este tipo de fibras está compuesto por tres prototipos principales de células como se muestra en la figura 9 y son descritas a continuación [17]:

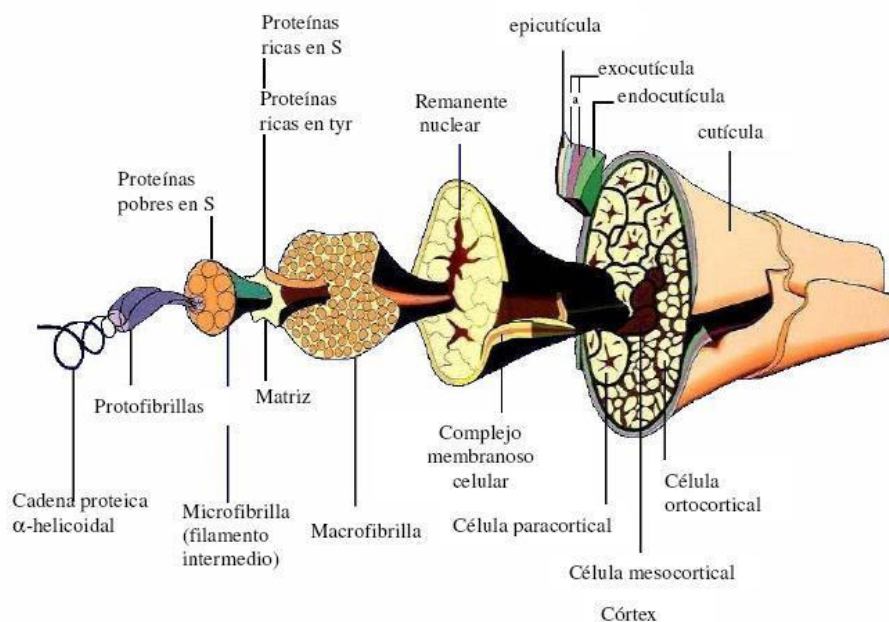


Figura 9. Morfología de la fibra de origen animal [17].

1. La cutícula, que es la capa exterior de la fibra compuesta por células epiteliales planas que se superponen entre sí en forma de escamas. El espesor de la cutícula varía según el tipo de fibra.
2. La corteza, es el componente mayor de la fibra y está formado por células corticales dispuestas en forma paralela al eje de la fibra.
3. La médula, su presencia es común en fibras gruesas y está constituida por células vacías, proteínas amorfas y filamentos finos, se ubica a lo largo del eje central de la fibra.

B. Pelo de res

Un pelo apenas se diferencia de las lanas debido a que su composición química es similar, pero en cuanto a su estructura física sí existe una distinción, por ejemplo, la lana suele ser rizada, mientras que los pelos son lisos. El pelo recubre el cuerpo de un bovino, su tonalidad, grosor y longitud varía de acuerdo con la raza. En la figura 10 se muestra la longitud media (mm) del pelo en varias posiciones del ganado Jersey [18].

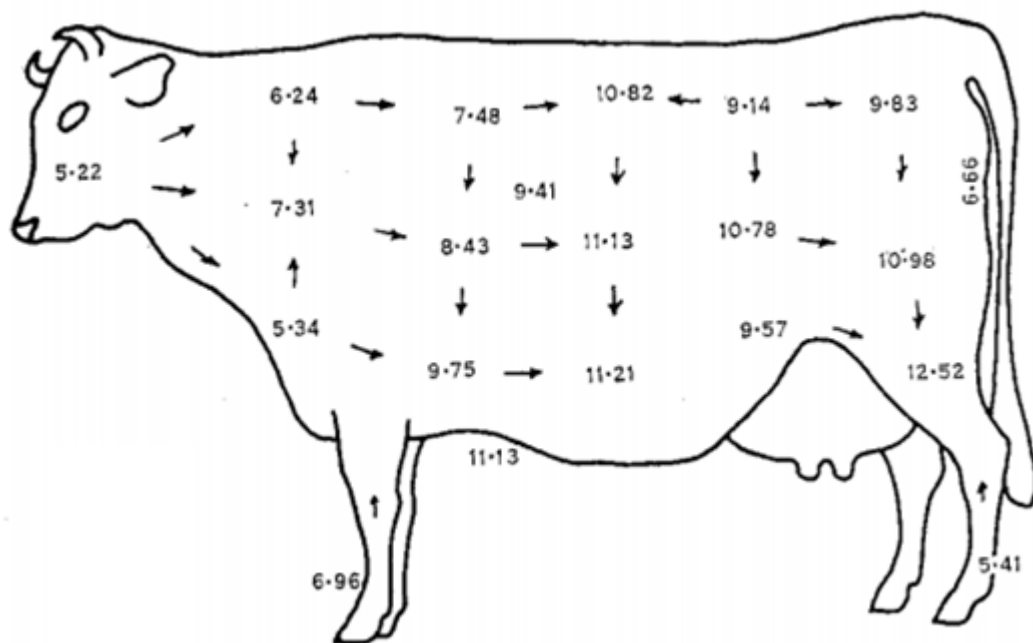


Figura 10. Longitud media (mm) del pelo en varias posiciones del ganado Jersey [18].

C. Propiedades físicas

Hay muchos factores como la ubicación corporal de los pelos, los climas y las razas que afectan las propiedades físicas de la capa de pelo de las vacas. A continuación, se describen [18]:

- La longitud del pelo oscila entre 3,46 mm y 60 mm y es más larga en las regiones de la costilla, lumbar y lateral.
- El diámetro del pelo oscila entre 11 μm y 123 μm , y es más grueso en la pierna.
- El peso de la capa capilar oscila entre 7 mg/cm^2 y 107.73 mg/cm^2 , es mayor en las regiones de las costillas y muslos.
- La densidad de la capa capilar varía de 221 pelos/ cm^2 a 4851.51 pelos/ cm^2 siendo mayor en la región de las costillas.
- La profundidad de la capa capilar varía de 1 mm a 25 mm.

Tabla 4. Tabla resumida de parámetros físicos de la capa capilar de las vacas.

	L (mm)	D (μm)	ρ (pelos/ cm^2)	l (mm)
Jersey	5.22 – 12.52	38.52 – 98.28		
Sahiwal	2.90 – 7.89	46.92 – 103.10		
Braford	4.13 – 26.50	11.00 – 69.00	319.09 – 4851.51	1.00 – 13.00
Holstein	10.5 – 18.33	26 – 65.15	700 – 7300	1.3 – 19

Fuente: [18]

1.3.8. Manufactura de los materiales compuestos

El objetivo del proceso de manufactura de material compuesto es combinar algún tipo de fibra como refuerzo, una resina y un agente de curado. El tipo de matriz, la geometría del refuerzo y entre otros factores influyen en el proceso y costo de fabricación. Tenemos dos métodos en función del molde para la manufactura de los materiales compuestos, estos son: molde abierto y molde cerrado [19].

1.3.8.1. Estratificación a compresión

Este proceso de fabricación mostrado en la figura 11 es de molde cerrado y es uno de los más utilizados en la industria automotriz debido a que se pueden fabricar piezas de grandes dimensiones sin interferir en sus propiedades mecánicas finales. También permite controlar el espesor final del material conservando la longitud y orientación

de las fibras que actúan como refuerzo. Es una técnica de manufactura muy utilizada debido a su bajo costo en comparación a otros sistemas de fabricación, además los moldes están contruidos de acero, acero inoxidable o aluminio, esto ayuda a una producción a gran escala de los composites[20].

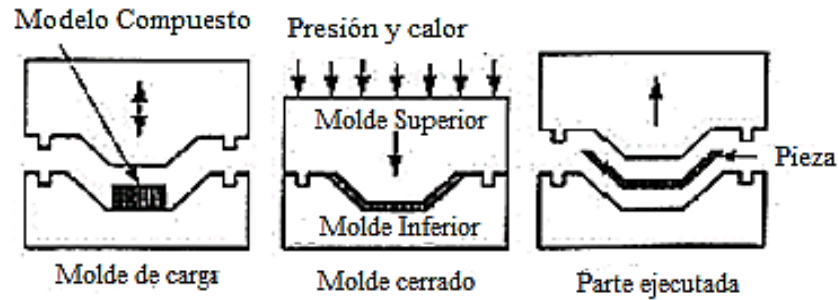


Figura 11. Moldeo por compresión [21].

1.3.8.2. Estratificación manual (*Hand Lay-Up*)

La estratificación manual es uno de los métodos más antiguos debido a la sencillez para preparar la pieza a ser moldeada como se muestra en la figura 12. Este proceso se lleva a cabo mezclando la resina con un catalizador para luego verter la resina catalizada sobre el molde que previamente debe estar recubierto por una fina capa de agentes desmoldantes con el propósito de un mejor acabado y una fácil extracción del material. Luego se procede a poner las láminas de fibra distribuyéndolas uniformemente y con la ayuda de un rodillo metálico se las va asentado de manera que la resina se vaya impregnando en la fibra, evitando la formación de burbujas. Finalmente, el curado se da a temperatura ambiente y se procede con la extracción del material [22].



Figura 12. Fabricación de un domo por estratificación manual [22].

1.3.9. Ensayos de materiales

Las características de los materiales se determinan a partir de ciertos tipos de ensayos que se describen a continuación [23]:

- **Ensayos de Características:** En estos ensayos tenemos los ensayos químicos, estructurales, térmicos y constituyentes.
- **Ensayos destructivos:** Estos ensayos determinan las propiedades mecánicas estáticas o dinámicas de los materiales.
- **Ensayos tecnológicos:** Estos ensayos determinan el comportamiento de los materiales ante operaciones industriales.
- **Ensayos no destructivos:** Entre estos ensayos se encuentran los rayos X, rayos gamma, ultrasonido, entre otros.

1.3.9.1. Ensayo de tracción para materiales compuestos

Este tipo de ensayos estáticos pertenece al grupo de los ensayos destructivos y consiste en someter un esfuerzo axial de tracción progresivo y creciente a una probeta normalizada en la dirección de su eje longitudinal, hasta el punto de su rotura, para la realización de este ensayo se utilizará la norma ASTM D3039, donde se establece las dimensiones de las probetas y el procedimiento a seguir para su desarrollo [23].



Figura 13. Máquina de ensayos universal MTS 5000N [ESPE]

En la figura 13 se muestra la máquina de ensayos universal marca MTS de 5000N del laboratorio de resistencia de materiales de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE utilizada para la ejecución de los ensayos de tracción en este trabajo de investigación.

a) Esfuerzo máximo a tracción

La resistencia máxima a la tracción se la calcula a partir de la ecuación 1.1 [23].

$$\sigma_{max} = F/A \quad \text{Ec. (1.1)}$$

Donde:

σ_{max} = Esfuerzo máximo de tracción (MPa)

F = Carga máxima o fuerza necesaria para producir la ruptura (N)

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

b) Porcentaje de deformación

Para determinar el porcentaje de deformación se aplica la ecuación 1.2.

$$\varepsilon = \left(\frac{l_f - l_i}{l_i} \right) \times 100 \quad \text{Ec. (1.2)}$$

Donde:

ε : Porcentaje de deformación

l_f : Longitud final de la probeta (mm)

l_i : Longitud inicial de la probeta (mm)

c) Módulo de elasticidad

Para determinar el módulo de elasticidad o módulo de Young se aplica la ecuación 1.3.

$$E = \frac{\sigma_{max}}{\varepsilon} \quad \text{Ec. (1.3)}$$

Donde:

E: Módulo de elasticidad (MPa)

σ = Esfuerzo máximo

ε = Elongación

1.3.9.2. Ensayo de flexión

Mediante las especificaciones de la norma ASTM D7264 se ejecuta este tipo de ensayos. Este método de prueba tiene como objetivo determinar la resistencia a la flexión del material mediante un sistema de carga de tres puntos, una carga central con apoyos simples en sus extremos, como lo muestra la figura 14 [22].

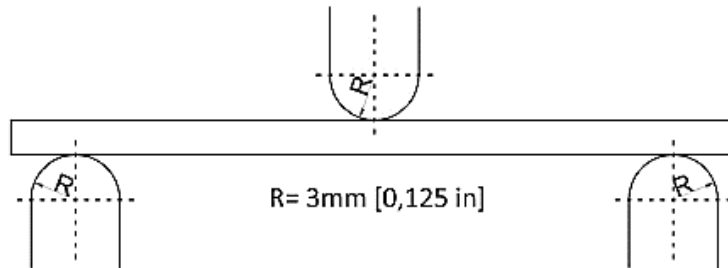


Figura 14. Carga a flexión en 3 puntos [22].

Al igual que en los ensayos de tracción, para los ensayos a flexión también se utiliza la máquina de ensayos universal MTS de 5000N de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, cambiando la base y el indentador como se muestra en la figura 15.



Figura 15. Ensayo de flexión [ESPE]

a) Esfuerzo máximo a flexión

El esfuerzo máximo a flexión se lo calcula mediante la ecuación 1.4

$$\sigma_{maxf} = \frac{3FL}{2bh^2} \quad \text{Ec. (1.4)}$$

Donde:

σ_{maxf} : Resistencia máxima a flexión (MPa)

F : Fuerza máxima aplicada (N)

L : Longitud entre apoyos (mm)

b : Ancho de probeta (mm)

h : Espesor de probeta (mm)

b) Deformación unitaria

La deformación unitaria se la calcula a partir de la ecuación 1.5

$$\epsilon = \frac{6\delta h}{L^2} \quad \text{Ec. (1.5)}$$

Donde:

ϵ : Deformación unitaria máxima (mm/mm)

δ : Deflexión de la probeta (mm)

h : Espesor de probeta (mm)

L : Longitud entre apoyos (mm)

c) Módulo de elasticidad o Módulo de Young

Para el cálculo del módulo de elasticidad se aplica la ecuación 1.6.

$$E = \frac{FL^3}{4bh^3\delta} \quad \text{Ec. (1.6)}$$

Donde:

E : Módulo de elasticidad o módulo de Young (MPa)

F : Fuerza máxima aplicada (N)

L : Longitud entre los apoyos (mm)

b : Ancho de la probeta (mm)

h : Espesor de la probeta (mm)

δ : Deflexión de la probeta (mm)

1.3.9.3. Ensayo de impacto por caída de dardo

La norma ASTM D5628 es un método de prueba mediante el cual se analiza la energía de falla del material, es decir la resistencia del material a un golpe o impacto. La máquina básicamente consta de un mecanismo de regulación de altura y un sistema de sujeción para el dardo que impacta el material al dejarlo caer de una determinada altura, obteniendo su resistencia máxima al impacto que se calcula mediante la ecuación 1.7.

$$MEF = hwf \quad \text{Ec. (1.7)}$$

Donde:

MEF: Energía máxima de rotura o Resistencia máxima al impacto (J).

h: Altura máxima de rotura (mm).

w: Masa máxima de rotura (Kg).

f: Factor normalizado para conversión a Joules.

La máquina utilizada para los ensayos de impacto en este trabajo de investigación se muestra a continuación en la figura 16.

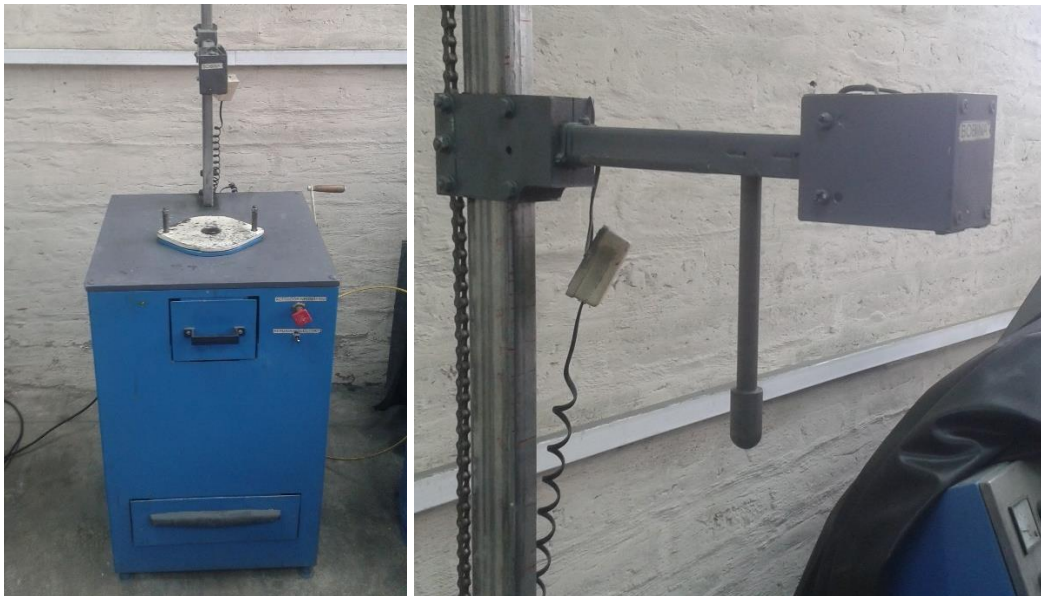


Figura 16. Máquina de impacto por caída de dardo.

Fuente: Laboratorio de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica

1.4. HIPÓTESIS

El análisis del material compuesto de matriz poliéster reforzada con fibra de pelo de res permitirá la determinación de las propiedades mecánicas más aptas para futuras aplicaciones industriales.

1.5. SEÑALAMIENTO DE VARIABLES

1.5.1. Variable independiente

Material compuesto de matriz poliéster reforzado con fibra de pelo de res.

1.5.2. Variable dependiente

Propiedades mecánicas.

1.5.3. Termino de relación

Permitirá




CAPÍTULO II






METODOLOGÍA









2.1. MATERIALES

Los materiales utilizados para la elaboración del material compuesto de la presente investigación de detallan a continuación en la siguiente tabla:

Tabla 5. Listado de materiales y equipos

Material	Descripción	Fotografía
Fibra: pelo de res	Pelo de res con una longitud de entre 5 a 45cm, obtenido de las colas del ganado faenado en el camal municipal de la ciudad de Ambato.	
Resina poliéster	De la familia Polylyte 33200 de REICHHOLD. Esta resina se caracteriza por venir preacelerada. Ver Anexo 1.	
MEK	Peróxido de Metil Etil Cetona. Con la adición de este catalizador a la resina se logra el gelado y curado de la misma.	

<p>Jeringuilla de 5 y 10 ml</p>	<p>Jeringuillas plásticas desechables utilizadas para medir la cantidad exacta de los compuestos a mezclarse.</p>	
<p>Cera desmoldante</p>	<p>De la marca Auto Care esta cera ayuda a un fácil desmolde del material compuesto.</p>	
<p>Recipientes plásticos</p>	<p>Ideal para la preparación de la resina poliéster.</p>	
<p>Guantes de látex</p>	<p>Ideal para la manipulación de los compuestos químicos.</p>	
<p>Probeta graduada y vaso de precipitación</p>	<p>Probeta de 100 ml y vaso de precipitación de 250 ml utilizados para medir el volumen de resina poliéster.</p>	

Espátula	Herramienta utilizada para la limpieza del molde.	
Tijera	Herramienta utilizada para cortar el pelo de res para las distintas configuraciones de fibra.	
Destornillador plano	Utilizado para desmoldar y extraer la plancha de material compuesto.	
Calibrador	Herramienta utilizada para controlar las dimensiones de las probetas.	
Guaípe	Elemento utilizado para la limpieza y encerado del molde.	
Molde	Construido en acero A36 de 5mm de espesor el cual brindará la presión necesaria para compactar el material compuesto.	
Taladro atornillador y dados	Esta herramienta nos ayudara a ajustar las tuercas de los 12 pernos del molde.	
Balanza electrónica	Este equipo es ideal para obtener la masa del refuerzo (pelo de res) para las distintas fracciones volumétricas.	

Fuente. El autor

2.2. MÉTODOS

2.2.1. NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN

2.2.1.1. Investigación exploratoria

En el presente proyecto el nivel de investigación es de tipo exploratorio debido a que permitió determinar las fracciones volumétricas y la configuración de refuerzo adecuado para analizar el comportamiento mecánico del material compuesto.

2.2.1.2. Investigación Descriptiva

El estudio de este proyecto tiene un nivel de investigación descriptiva, debido a que es necesario describir las diferentes propiedades mecánicas que el material compuesto presenta después de realizar los ensayos de flexión, tracción e impacto y además describir el proceso de elaboración de las probetas.

2.2.1.3. Investigación Bibliográfica

La información para la realización del presente trabajo experimental se recolectó de tesis, libros, artículos científicos, páginas web, entre otras y fuentes secundarias como: resúmenes, artículos técnicos que se encuentren vigentes actualmente.

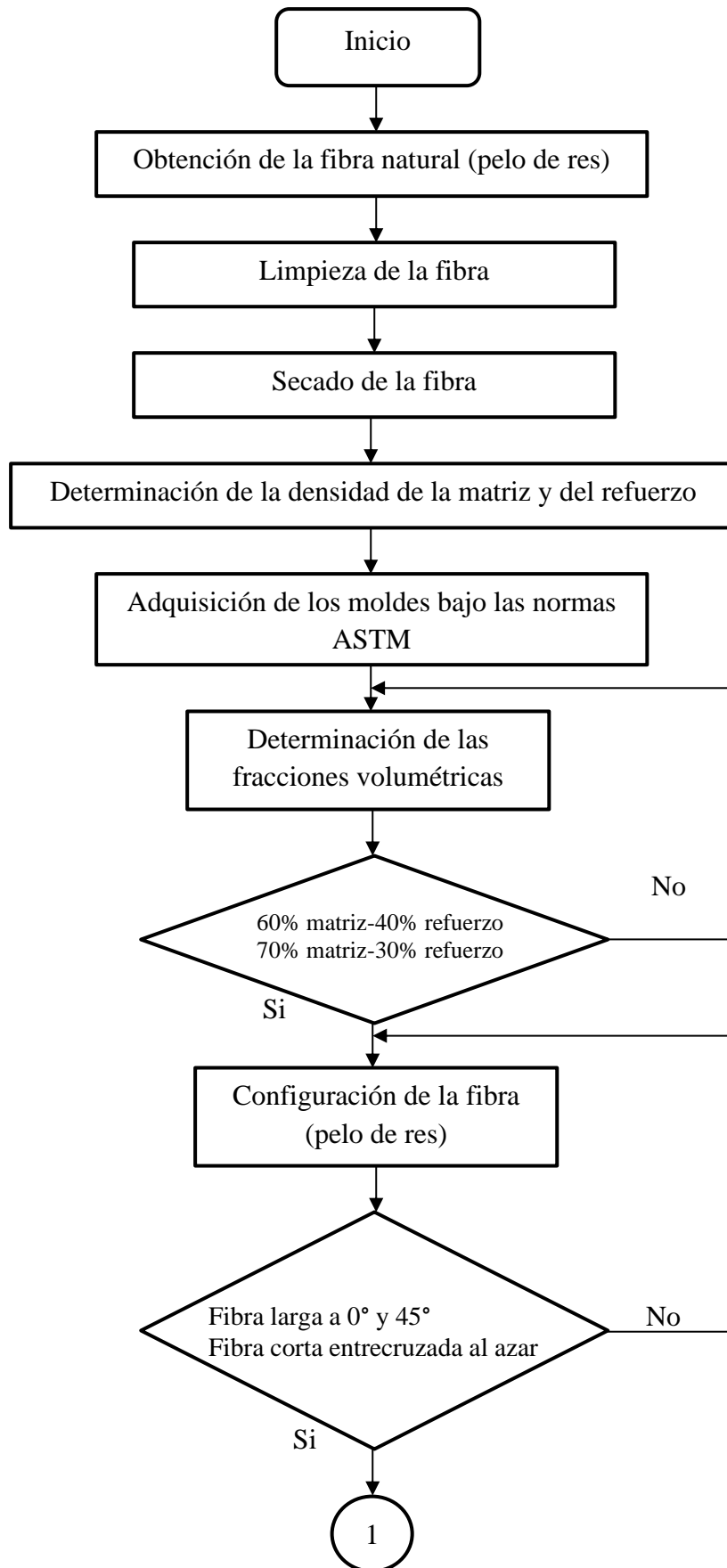
2.2.1.4. Investigación Experimental

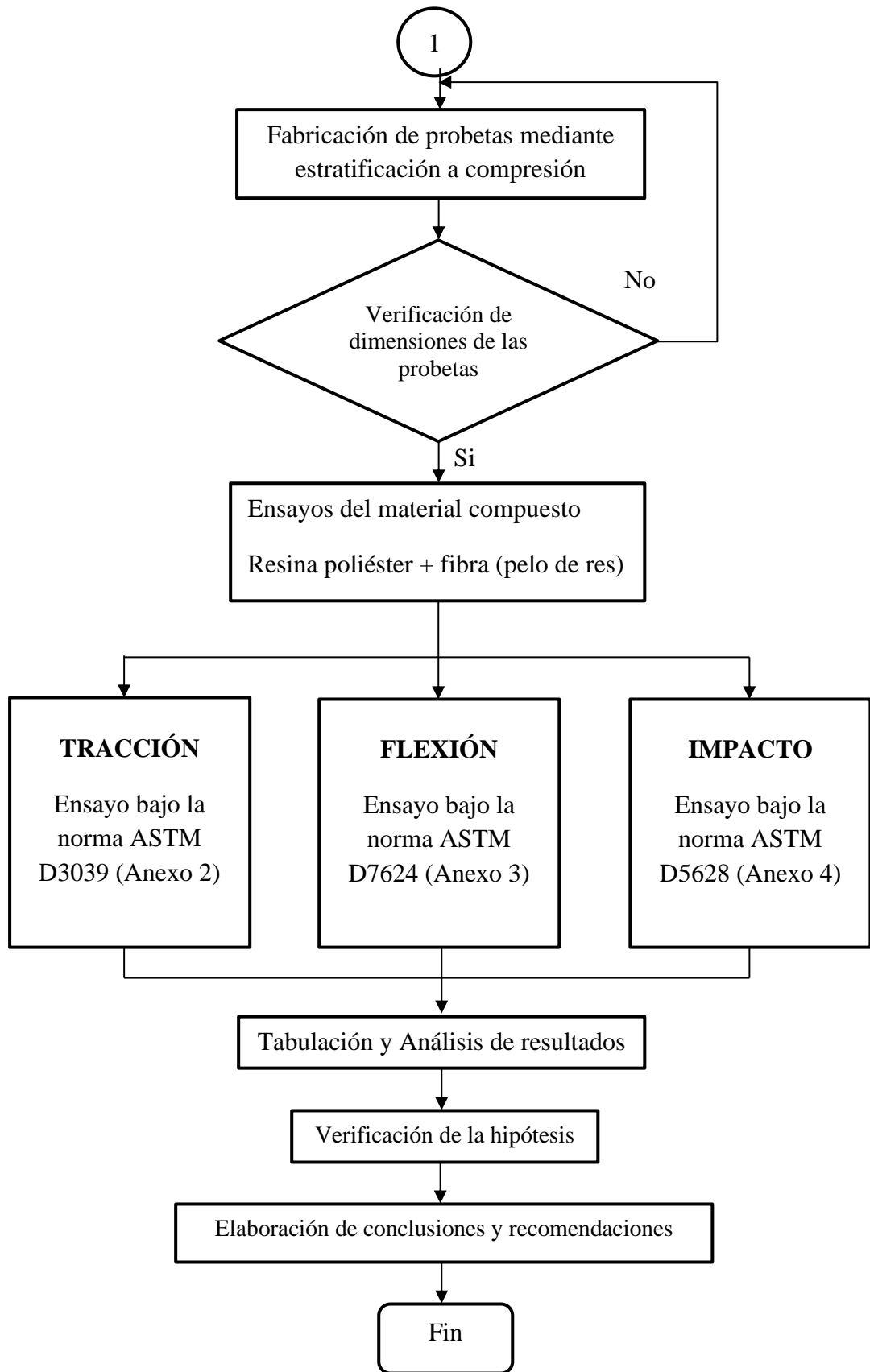
Este tipo de investigación es experimental debido a que mediante la elaboración de probetas para los diferentes ensayos y con los resultados obtenidos después de su análisis, se consiguió determinar la aplicabilidad industrial de este nuevo material compuesto.

2.2.2. METODOLOGÍA DE OBTENCIÓN DEL MATERIAL COMPUESTO

2.2.2.1. DIAGRAMA DEL PROCESO DE OBTENCIÓN DEL MATERIAL COMPUESTO

En el siguiente diagrama de proceso se describe cada etapa para la elaboración del material compuesto.





Fuente: El autor

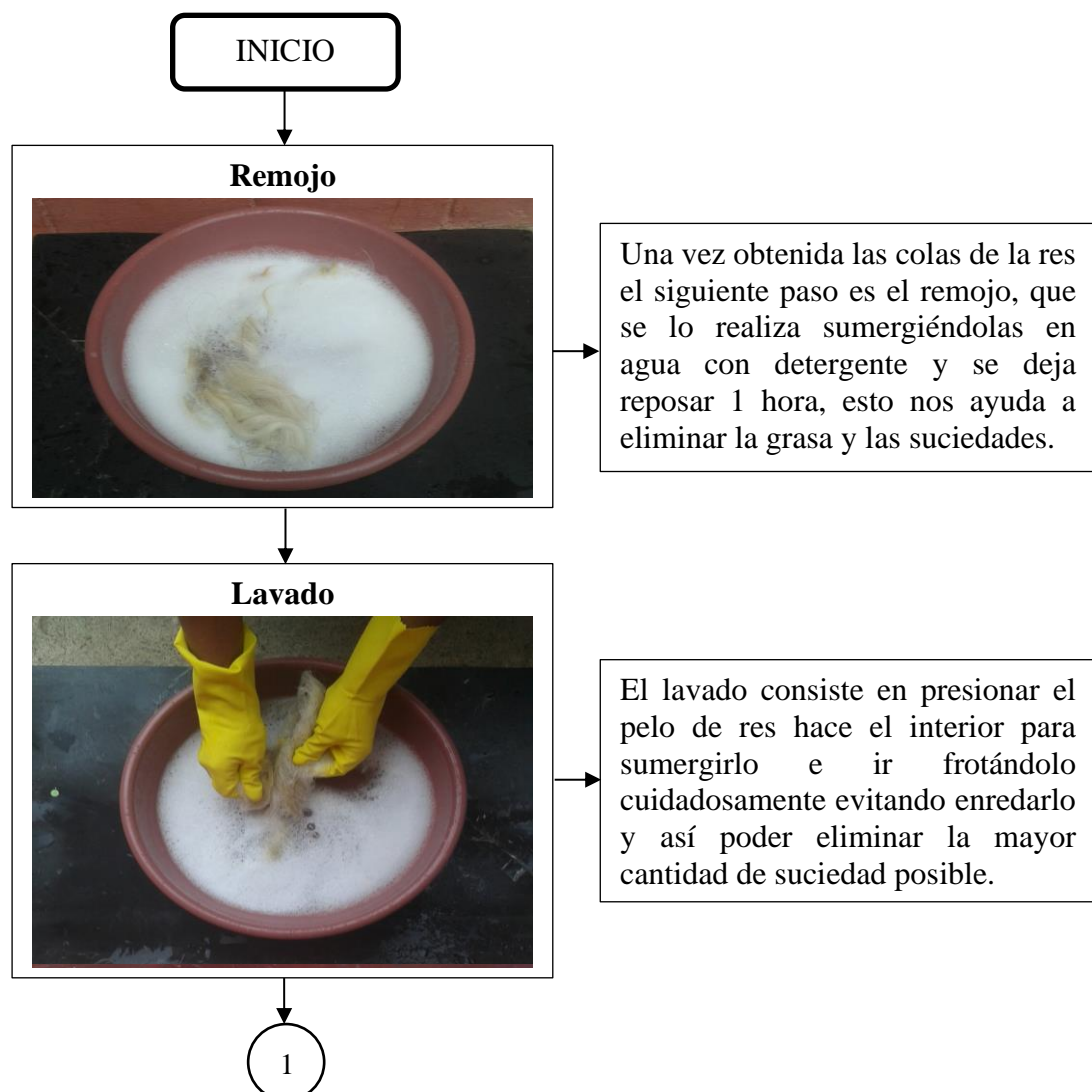
2.2.3. PROCEDIMIENTO PARA LA OBTENCIÓN DEL MATERIAL COMPUESTO

2.2.3.1. Obtención de la fibra (pelo de res)

Las fibras de pelo de res utilizadas como refuerzo para el material compuesto en este trabajo experimental fueron obtenidas del camal municipal de la ciudad de Ambato, el pelo utilizado es principalmente el proveniente de la cola de la res debido a que este es desechado por las curtiembres de la ciudad. Cabe recalcar que las reses faenadas en su mayoría son de la región Sierra Centro.

2.2.3.2. Limpieza y secado de la fibra

Por medio del siguiente diagrama se describe el proceso para la limpieza y secado de la fibra.



1



El siguiente paso consiste en el enjuague donde se sumerge las colas de res en agua limpia hasta que observemos que el agua salga clara.



Este paso consiste en separar el pelo de la cola de la res, para este procedimiento utilizamos una tijera y debemos tener cuidado de no enredar el pelo mientras lo vamos cortando.



El secado lo realizamos tendiendo el pelo de res ya cortado sobre una superficie limpia para que con la ayuda del sol la humedad presente en el mismo se evapore.



Finalmente seleccionamos las mejores fibras de pelo de res, es decir aquellas que estén más lisas debido a que suelen encontrarse enredadas entre sí.

FIN

Fuente: El autor

2.2.3.3. Cálculo de la densidad de la fibra (pelo de res)

Para calcular la densidad del refuerzo se empleó el método gravimétrico, en este caso se realizó con 5 muestras de refuerzo y se aplicó la ecuación 2.1:

$$\rho = \frac{m}{v} \quad \text{Ec. (2.1)}$$






Donde:

ρ : Densidad (g/cm³)

m : Masa (g)

v : Volumen (cm³)

Tabla 6. Obtención de la densidad de la fibra

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 			
FICHA DE DENSIDADES			
DATOS INFORMATIVOS			
Fecha:	16/12/2019	Ciudad:	Ambato
Lugar:	Laboratorio de Materiales de la Carrera de Ingeniería Mecánica		
Autor:	Vinicio Tonato	Revisado por:	Ing. Oscar Analuiza
PARÁMETROS DE ENSAYO			
Tipo de método:	Método gravimétrico	Principio:	Arquímedes
Fibra:	Pelo de res	Temperatura:	Ambiente
Tipo de resina:	Poliéster	Densidad teórica:
PROCEDIMIENTO			
1. Pesar cada muestra de fibra (pelo de res) en la balanza electrónica.			
  			
<p style="text-align: center;">Muestra 1 Muestra 2 Muestra 3</p>			



Muestra 4



Muestra 5

2. En una probeta graduada medimos 60 ml de resina poliéster.
3. Colocamos la fibra y procedemos a medir el incremento de volumen.



60 ml de resina poliéster



Muestra 1



Muestra 2



Muestra 3



Muestra 4



Muestra 5

4. Calculamos la densidad con los datos obtenidos.

RESULTADOS

Densidad de la fibra pelo de res					
Muestra	Masa (g)	Volumen cm ³			Densidad ($\rho = m/v$) g/cm ³
		V. inicial	V. final	ΔV	
1	3,4	60	63	3	1,13
2	3,9	60	63,5	3,5	1,11
3	4,2	60	64,5	4,5	0,93
4	3,7	60	64	4	0,93
5	3,2	60	63	3	1,07
Densidad promedio					1,03

La densidad promedio del pelo de res es de 1,03 g/cm³

Fuente: El autor

2.2.3.4. Cálculo de la densidad de la matriz (resina poliéster)

La densidad de la resina poliéster que cumple la función de matriz del material, se determinó mediante el mismo método utilizado para determinar la densidad de la fibra, el proceso se lo realizo con 3 cuerpos solidos de resina poliéster combinado con MEK.



Figura 17. Muestras de resina sólida para cálculo de densidad.

Fuente: El autor

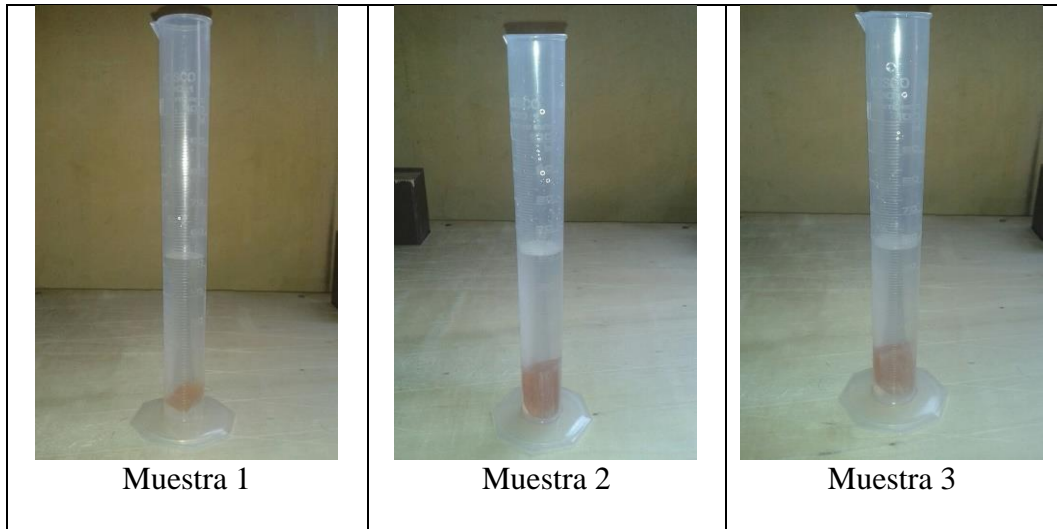
Tabla 7. Obtención de la densidad de la matriz (Resina poliéster)

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 			
FICHA DE DENSIDADES			
DATOS INFORMATIVOS			
Fecha:	16/12/2019	Ciudad:	Ambato
Lugar:	Laboratorio de Materiales de la Carrera de Ingeniería Mecánica		
Autor:	Vinicio Tonato	Revisado por:	Ing. Oscar Analuiza
PARÁMETROS DE ENSAYO			
Tipo de método:	Método gravimétrico	Principio:	Arquímedes
Fibra:	-----	Temperatura:	Ambiente
Tipo de resina:	Poliéster	Densidad teórica:	-----
PROCEDIMIENTO			
1. Pesar cada muestra de resina solida en la balanza electrónica.			
 <p>Muestra 1</p>	 <p>Muestra 2</p>	 <p>Muestra 3</p>	

2. En una probeta graduada medimos 50 ml de agua destilada.



3. Colocamos el sólido de resina poliéster y procedemos a medir el incremento de volumen.



4. Calculamos la densidad con los datos obtenidos.

RESULTADOS

Densidad de la matriz (Resina poliéster)					
Muestra	Masa (g)	Volumen cm ³			Densidad ($\rho = m/v$) g/cm ³
		V. inicial	V. final	ΔV	
1	3	50	53	3	1
2	9	50	58	8	1,125
3	15	50	62	12	1,25
Densidad promedio					1,13

La densidad promedio de la matriz (resina poliéster) es de 1,13 g/cm³

Fuente: El autor

2.2.3.5. DETERMINACIÓN DE LAS FRACCIONES VOLUMÉTRICAS DEL REFUERZO Y LA MATRIZ

Previo al cálculo de las fracciones volumétricas necesitamos determinar las dimensiones de las probetas para los diferentes ensayos para luego determinar el volumen del molde.

1) PROBETAS A TRACCIÓN

Las dimensiones de las probetas para el ensayo de tracción se establecieron según la Norma ASTM D3039, como se muestra en la figura 18.

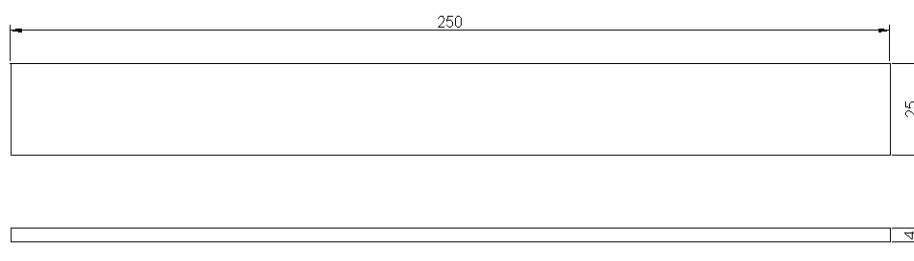


Figura 18. Dimensiones de la probeta para tracción según la norma ASTM D3039.

Fuente: El autor

2) PROBETAS A FLEXIÓN

Las dimensiones de las probetas para el ensayo de flexión se establecieron según la Norma ASTM D7264-07, como se muestra en la figura 19

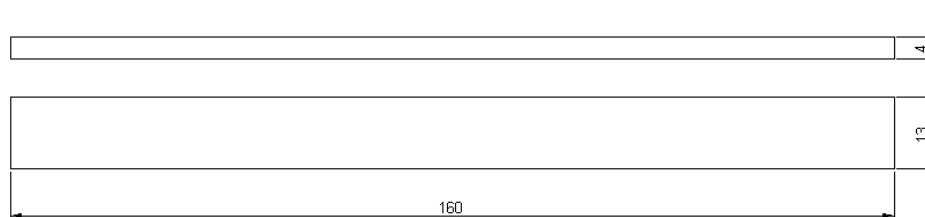


Figura 19. Dimensiones de la probeta a flexión según la norma ASTM D7264-07.

Fuente: El autor

3) PROBETAS DE IMPACTO

Las dimensiones de las probetas para el ensayo de impacto se establecieron según la Norma ASTM D5628-10, como se muestra en la figura 20.

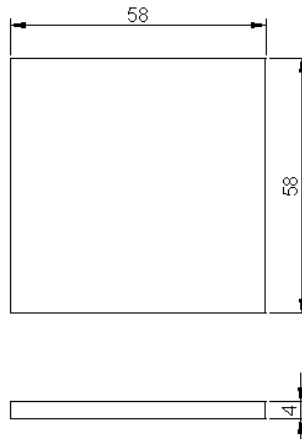


Figura 20. Dimensiones de la probeta a tracción según la norma ASTM D5628-10.

Fuente: El autor

El molde que se utilizó para elaborar el material compuesto fue proporcionado por el laboratorio de la carrera de Ingeniería Mecánica el cual está construido en acero A36, diseñado bajo los requerimientos de las normas ASTM D3039, ASTM D7264 Y ASTM D5628 para tracción, flexión e impacto respectivamente, teniendo un espacio total de trabajo de 28cm*28cm*0,4cm, como se puede observar en la figura 21, teniendo un volumen de 313,6 cm³.



Figura 21. Molde de Acero A36.

Fuente: El autor

A este molde se lo adecuó para una distribución de 15 probetas, 5 para el ensayo de tracción, 5 para el ensayo de flexión y 5 para el ensayo de impacto, evitando el desperdicio de material y aprovechando al máximo su espacio de trabajo.

En la figura 22 se detalla la distribución de las probetas para los distintos ensayos del material compuesto.

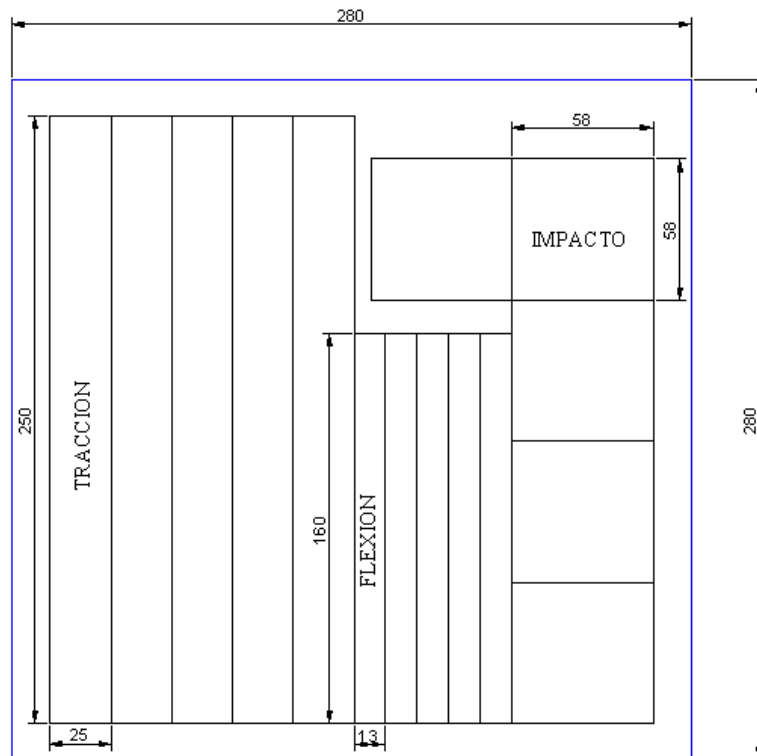


Figura 22. Distribución de las probetas en el molde

Fuente: El autor

Se trabajó con dos fracciones volumétricas que fueron de:

70% de matriz (resina poliéster) y el 30% de refuerzo (pelo de res).

60% de matriz (resina poliéster) y el 40% de refuerzo (pelo de res).

A. Cálculos para la fracción volumétrica 70% Matriz, 30% Refuerzo

Datos:

$$\rho_{matriz} = 1.13 \frac{g}{cm^3}$$

$$\rho_{refuerzo} = 1.03 \frac{g}{cm^3}$$

$$V_{molde} = 313,6cm^3$$

Fracción volumétrica de la matriz (fm) = 0,70

Fracción volumétrica del refuerzo (fr) = 0,30

Desarrollo de los cálculos:

Cálculos de la matriz

$$V_m = V_{molde} * f_m \quad \text{Ec. (2.2)}$$

$$V_m = 313,6\text{cm}^3 * 0,70$$

$$V_m = 219,52\text{cm}^3$$

$$m_m = \rho_{matriz} * V_m \quad \text{Ec. (2.3)}$$

$$m_m = 1,13 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} * 219,52\text{cm}^3$$

$$m_m = 248,06 \text{ g}$$

Donde:

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

$m_m = \text{masa de la matriz}$

Cálculos del refuerzo

$$V_r = V_{molde} * f_r \quad \text{Ec. (2.4)}$$

$$V_r = 313,6\text{cm}^3 * 0,30$$

$$V_r = 94,08\text{cm}^3$$

$$m_r = \rho_{refuerzo} * V_r \quad \text{Ec. (2.5)}$$

$$m_r = 1,03 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} * 94,08\text{cm}^3$$

$$m_r = 96,90 \text{ g}$$

Donde:

$V_r = \text{Volumen del refuerzo}$

$m_r = \text{masa del refuerzo}$

Cálculo del MEK

$$219,52 \text{ cm}^3 \longrightarrow 100\%$$

$$MEK \longrightarrow 3\%$$

$$MEK = 6,59 \text{ cm}^3$$

B. Cálculos para la fracción volumétrica 60% Matriz, 40% Refuerzo

Datos:

$$\rho_{matriz} = 1,13 \frac{g}{cm^3}$$

$$\rho_{refuerzo} = 1,03 \frac{g}{cm^3}$$

$$V_{molde} = 313,6cm^3$$

$$Fracción \text{ volumétrica de la matriz } (f_m) = 0,60$$

$$Fracción \text{ volumétrica del refuerzo } (f_r) = 0,40$$

Desarrollo de los cálculos:

Cálculos de la matriz

$$V_m = V_{molde} * f_m \tag{Ec. (2.6)}$$

$$V_m = 313,6cm^3 * 0,60$$

$$V_m = 188,16cm^3$$

$$m_m = \rho_{matriz} * V_m \tag{Ec. (2.7)}$$

$$m_m = 1,13 \frac{g}{cm^3} * 188,16cm^3$$

$$m_m = 212,62 \text{ g}$$

Donde:

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

$m_m = \text{masa de la matriz}$

Cálculos del refuerzo

$$V_r = V_{molde} * f_r \quad \text{Ec. (2.8)}$$

$$V_r = 313,6 \text{cm}^3 * 0,40 \quad V_r = 125,44 \text{cm}^3$$

$$m_r = \rho_{refuerzo} * V_r \quad \text{Ec. (2.9)}$$

$$m_r = 1,03 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} * 125,44 \text{cm}^3 \quad m_r = 129,20 \text{ g}$$

Donde:

$V_r = \text{Volumen del refuerzo}$ $m_r = \text{masa del refuerzo}$

Cálculo del MEK

$$188,16 \text{ cm}^3 \longrightarrow 100\%$$

$$\text{MEK} \longrightarrow 3\%$$

$$\text{MEK} = 5,64 \text{ cm}^3$$

Después de realizar la ejemplificación de los cálculos para cada fracción volumétrica, se elaboró en total 6 planchas que abarcan el número suficiente de probetas de tracción, flexión e impacto, para cada tipo de configuración.

Para una mejor apreciación de las cantidades en volumen y masa para cada fracción volumétrica y configuración de refuerzo para la elaboración de las planchas de material compuesto de las cuales se obtendrán las probetas para los ensayos de tracción, flexión e impacto se estimó conveniente la elaboración de la tabla 8 que se muestra a continuación.

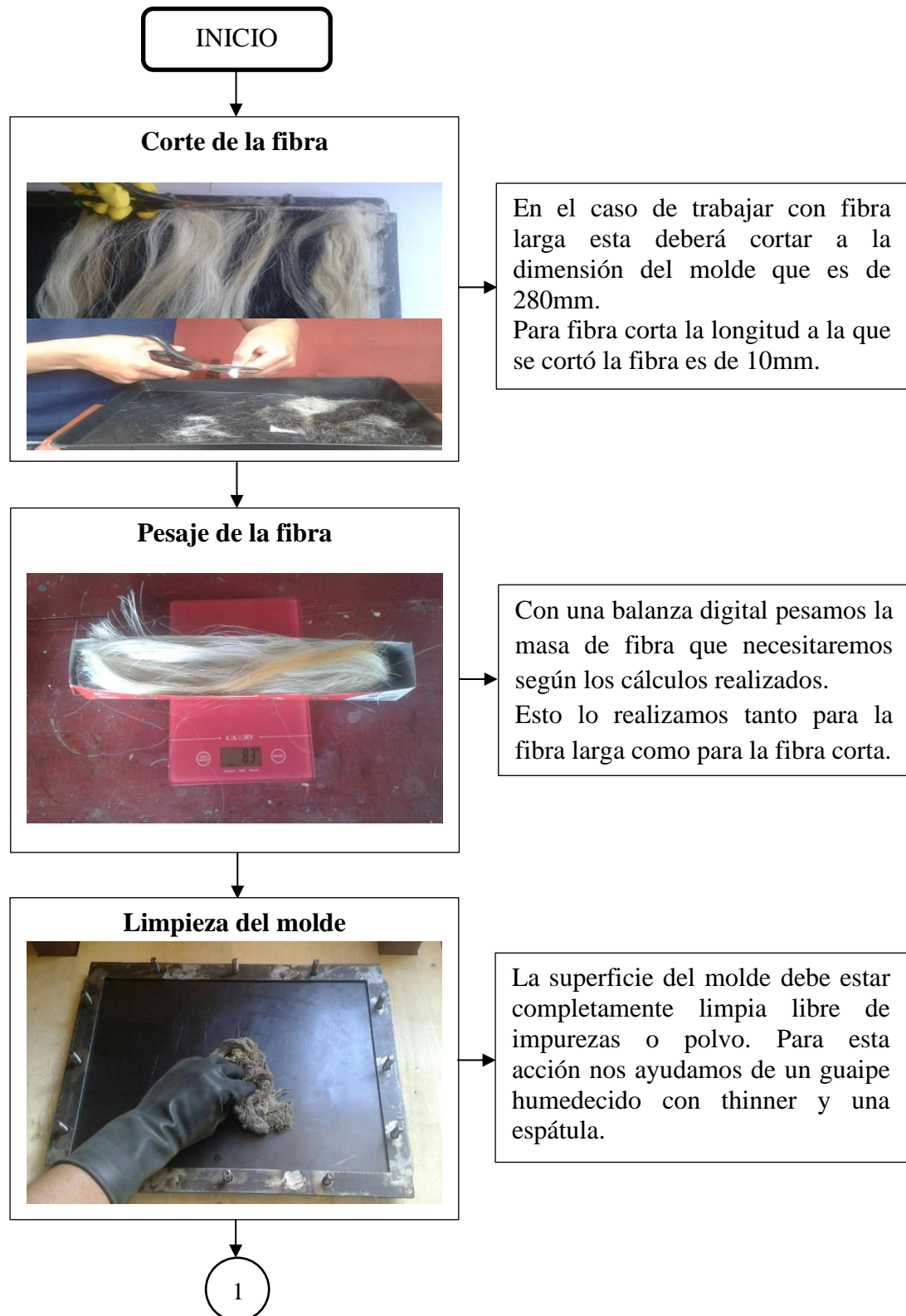
Tabla 8. Cálculo de cantidades en masa y volumen para la preparación del material compuesto.

Cálculos para elaboración de planchas de material compuesto												
# plancha	Orientación refuerzo/Tipo fibra	Volumen molde (cm³)	ρ matriz (g/cm³)	ρ re fuerzo (g/cm³)	Frac. Vol. Matriz <i>f_m</i>	Frac. Vol. Refuerzo <i>f_r</i>	Cálculos de la matriz		Cálculos del refuerzo		Cálculo del MEK	
							Vol. Matriz (cm³) <i>V_m = V_{molde} * f_m</i>	Masa de la matriz (g) <i>m_m = ρ_{matriz} * V_m</i>	Vol. refuerzo (cm³) <i>V_r = V_{molde} * f_r</i>	Masa del refuerzo (g) <i>m_r = ρ_{refuerzo} * V_r</i>	% MEK	Vol. MEK (cm³) <i>V_{MEK} = $\frac{V_m * \%MEK}{100}$</i>
1	0° (Fibra larga)	313,6	1,13	1,03	0,70	0,30	219,52	248,06	94,08	96,90	3	6,59
2	45° (Fibra larga)	313,6	1,13	1,03	0,70	0,30	219,52	248,06	94,08	96,90	3	6,59
3	Al azar (Fibra corta)	313,6	1,13	1,03	0,70	0,30	219,52	248,06	94,08	96,90	3	6,59
4	0° (Fibra larga)	313,6	1,13	1,03	0,60	0,40	188,16	212,62	125,44	129,20	3	5,64
5	45° (Fibra larga)	313,6	1,13	1,03	0,60	0,40	188,16	212,62	125,44	129,20	3	5,64
6	Al azar (Fibra corta)	313,6	1,13	1,03	0,60	0,40	188,16	212,62	125,44	129,20	3	5,64
TOTAL							1223,04	1382,04	658,56	678,32	----	36,69

Fuente: El autor

2.2.3.6. ELABORACIÓN DE LAS PROBETAS

En el siguiente diagrama, se describe el procedimiento para la elaboración del material compuesto hasta obtener las probetas para los diferentes ensayos.



1

Aplicación de cera desmoldante



La cera desmoldante se aplica con el fin de evitar la adherencia entre la superficie del molde y la plancha de material compuesto, facilitando su desmolde.

Preparación de la resina



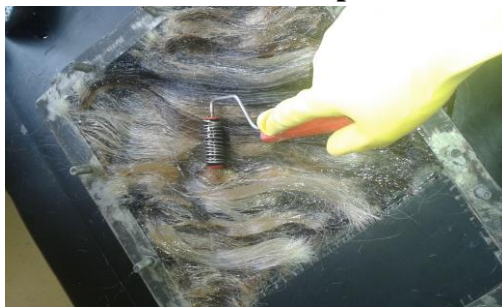
Medimos la cantidad de volumen de resina y con la jeringuilla agregamos el catalizador MEK en este caso el 3% en volumen con respecto a la resina como se calculó en el literal 2.2.3.5.
Mezclar bien los 2 componentes.

Colocación del refuerzo



Procedemos a colocar las fibras en el molde tratando de distribuir las uniformemente según la configuración (0°, 45° y al azar) y el porcentaje de refuerzo (30% o 40%) con el que estemos trabajando.

Moldeado del compuesto



Vertemos la resina sobre la fibra y con un rodillo pequeño la distribuimos uniformemente por todo el molde ayudando a que esta se impregne a las fibras.

2

2

Sellado del molde



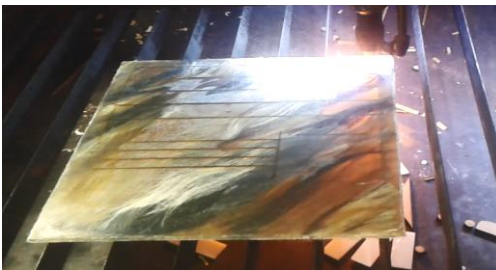
Se coloca la tapa del molde y se ajustan las tuercas para compactar el compuesto. Dejar reposar por 4 horas para su correcto curado.

Desmolde



Una vez transcurrido el tiempo de curado se procede a desmoldar la plancha de material compuesto con la ayuda de una espátula.

Corte a láser



Las probetas fueron cortadas a láser según las dimensiones normalizadas. Con una potencia de 55 W y una velocidad de avance de 6 mm/s

Codificación



Finalmente pegamos códigos a cada una de las probetas para su correcta identificación.

En las probetas para tracción se debe pegar lijas N°36 en sus extremos para una firme sujeción con las mordazas.

FIN

Fuente: El autor

2.2.4. METODOLOGÍA DE CARACTERIZACIÓN

2.2.4.1. POBLACIÓN Y MUESTRA

A) Población

La población, está conformada por varias probetas, obtenidas mediante fibra larga y fibra corta, consecuentemente, la variación de la fracción volumétrica de resina poliéster es de mucha importancia dentro de la población, para realizar los ensayos mecánicos anteriormente mencionados y determinar las características del material compuesto.

B) Muestra

Para la muestra se generó probetas con distintas fracciones volumétricas de resina poliéster y con diferente configuración de refuerzo, obteniendo diferentes casos para el análisis, cada ensayo se realiza con 5 probetas, que es el mínimo de muestras que se deben ensayar según las normas establecidas, tal como se indica en la siguiente tabla.

Tabla 9. Muestras para los diferentes ensayos.

Fracción Volumétrica	Orientación de las fibras	Tipo de fibra	Método de fabricación	Número de probetas		
				Tracción ASTM D3039	Flexión ASTM D7264	Impacto ASTM D5628
60% - 40%	Fibra orientada a 0°	Fibra larga	Estratificación por compresión	5	5	5
	Fibra orientada a 45°			5	5	5
	Fibra entrecruzada al azar	Fibra corta		5	5	5
70% - 30%	Fibra orientada a 0°	Fibra larga	Estratificación por compresión	5	5	5
	Fibra orientada a 45°			5	5	5
	Fibra entrecruzada al azar	Fibra corta		5	5	5
Número total de probetas				30	30	30

Fuente: El autor

La caracterización de las probetas para los diferentes ensayos mecánicos se realizará bajo 2 fracciones volumétricas, 3 tipos de orientación de fibras y 2 tipos de fibras, obteniendo un total de 90 probetas para los tres ensayos.

2.2.5. METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN MECÁNICA

2.2.5.1. MÉTODO ESTADÍSTICO DE LA DISTRIBUCIÓN T-STUDENT

Para determinar qué grupo de probetas presenta los mejores resultados en los ensayos mecánicos realizados se aplicó el método estadístico de la distribución t-Student para muestras independientes, este método se utiliza para evaluar si dos grupos difieren de manera significativa respecto a sus medias en una variable cuando el tamaño de muestra es pequeño, esto permitió decidir qué grupo presenta las mejores propiedades mecánicas para aplicaciones industriales del material compuesto.

2.2.6. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

2.2.6.1. Variable Independiente

Material compuesto de matriz poliéster reforzado con fibra de pelo de res.

Tabla 10. Variable Independiente

Conceptualización	Categoría	Indicadores		Ítems		Técnicas e Instrumentos
				Resina poliéster	Fibra de pelo de res	
El material compuesto de matriz poliéster y refuerzo de fibra de pelo de res, es obtenido mediante la adhesión de sus elementos, generando como resultado un material con mejores propiedades para aplicaciones industriales.	Material Compuesto	Fracción volumétrica	1	60%	40%	<ul style="list-style-type: none"> • Recolección de datos. • Observación directa. • Fichas de datos. • Normas ASTM • Investigación bibliográfica.
			2	70%	30%	
		Orientación de refuerzos	I	N/A	0°	
			II	N/A	45°	
			II	N/A	Al azar	
		Tipo de fibra	Fibra Larga Fibra Corta			

Fuente: El autor

2.2.6.2. Variable Dependiente

Propiedades mecánicas

Tabla 11. Variable Dependiente

Conceptualización	Categorías	Indicadores	Índice	Técnicas e Instrumentos
El comportamiento o propiedades mecánicas de un material son aquellas propiedades que se manifiestan cuando aplicamos una fuerza externa y son evaluadas mediante ensayos específicos y bajo las normas correspondientes.	Tracción	Resistencia a la tracción Modulo elástico a tracción	¿Cuál será la resistencia a la tracción? ¿Cuál será el módulo de elasticidad?	<ul style="list-style-type: none"> • Observación directa. • Formatos o fichas para toma de datos de los ensayos. • Investigación bibliográfica. • Cuaderno de notas
	Flexión	Esfuerzo a flexión Modulo elástico a flexión	¿Cuál será el esfuerzo a flexión? ¿Cuál será el módulo de elasticidad a flexión?	
	Impacto	Resistencia al impacto	Energía de Impacto ($E=hwf$) [J]	

Fuente: El autor

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. TABULACIÓN DE RESULTADOS

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

La tabulación de resultados de los ensayos mecánicos a tracción a las cuales fueron sometidas las probetas de material compuesto se presenta a continuación en las siguientes tablas.

Tabla 12. Ficha técnica de recolección de datos de ensayo a tracción, 60% Resina poliéster, 40% Fibra (pelo de res) orientada a 0°.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 			
FICHA TÉCNICA DE ENSAYO DE TRACCIÓN			
DATOS INFORMATIVOS			
Fecha:	26/02/2020	Ciudad:	Quito
Lugar:	ESPE-Laboratorio de resistencia de materiales		
Máquina:	Máquina de ensayos universal marca MTS 5000N		
PARÁMETROS DE ENSAYO			
Matriz:	Resina poliéster	Fracción volumétrica:	60%
Refuerzo:	Fibra pelo de res	Fracción volumétrica:	40%
Norma:	ASTM D3039	Orientación de la fibra	0°
Dimensión (mm):	250*25*e	Característica de la fibra:	Larga
Estratificación:	Compresión	Numero de probetas:	5
Velocidad de ensayo:	10mm/min	Espesor promedio (mm):	4,79

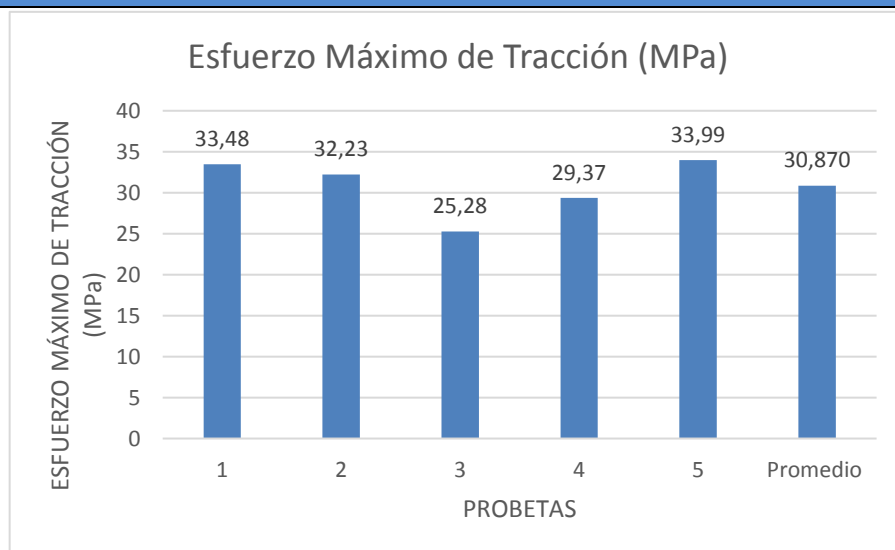
TABULACIÓN DE RESULTADOS

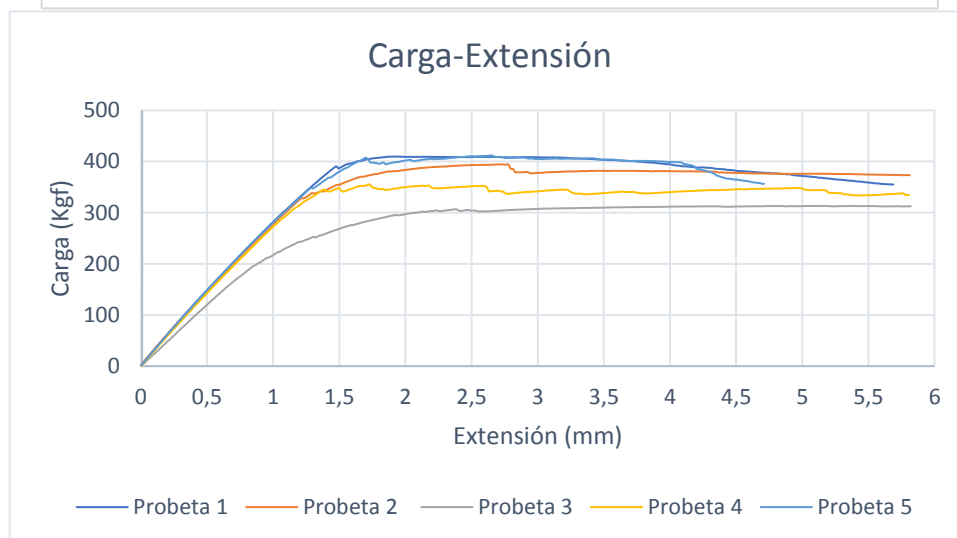
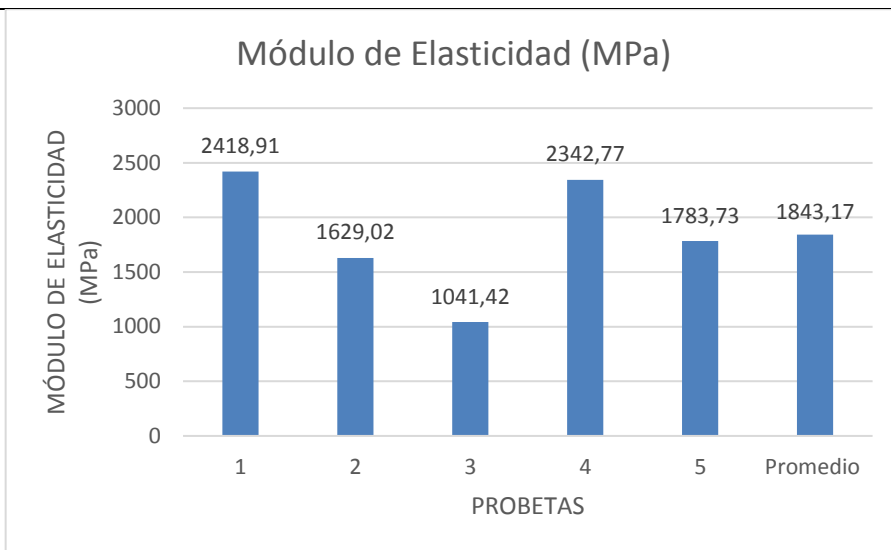
Probeta	Dimensiones (mm)		Carga máxima (N)	Esfuerzo máximo de tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	% Elongación	Tipo de falla evaluado
	Ancho	Espesor					
1	25	4,8	4017,49	33,48	2418,91	1,38	LAB
2	25	4,8	3867,15	32,23	1629,02	1,98	LGT
3	25	4,8	3033,69	25,28	1041,42	2,43	OUU
4	24,7	4,8	3482,05	29,37	2342,77	1,25	LGM
5	25	4,75	4036,81	33,99	1783,73	1,91	LGB
Promedio \bar{X}			3687,438	30,870	1843,168	1,790	
Desviación estándar Sn-1			428,039	3,602	564,198	0,476	
Coeficiente de variación CV			11,608	11,668	30,610	26,616	

FOTOGRAFÍAS DEL ENSAYO



GRÁFICAS DE RESULTADOS







EVALUACIÓN		OBSERVACIONES
Esfuerzo Máximo Promedio (MPa)	30,87	-El tipo de falla LAB hace referencia a la rotura producida en la parte lateral en el agarre de la probeta. -El tipo de falla LGT hace referencia a la rotura producida en la parte superior lateral del área calibrada. -El tipo de falla OUU es desconocido. -El tipo de falla LGM hace referencia a la rotura producida en la parte lateral media del área calibrada. -El tipo de falla LGB hace referencia a la rotura producida en la parte lateral del área calibrada.
Módulo de Elasticidad Promedio (MPa)	1843,168	
Espesor real promedio (mm)	4,79	
Elaborado por:	Vinicio Tonato	Aprobado por: Ing. Oscar Analuiza

Fuente: El autor

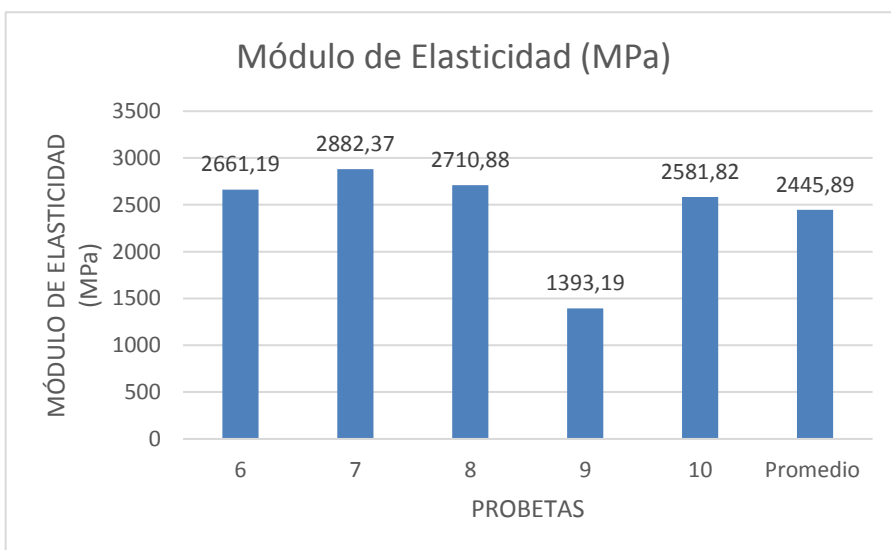
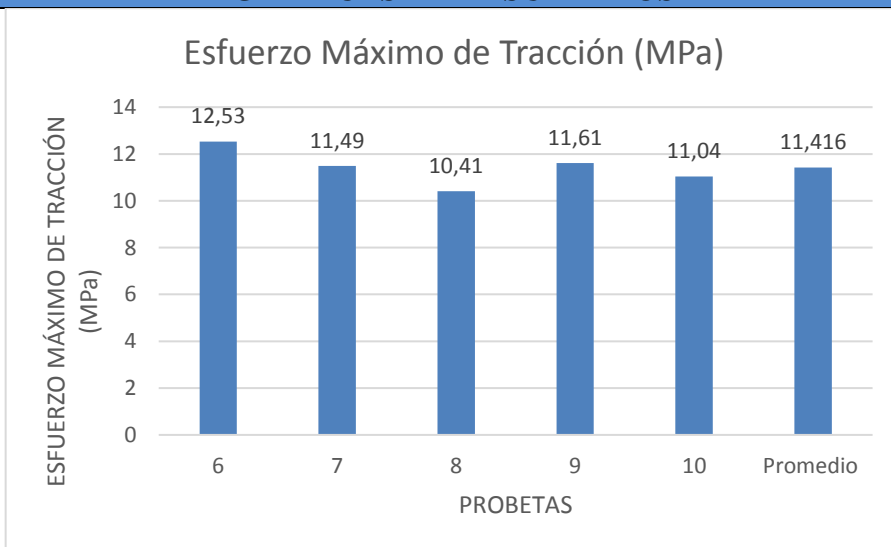
Tabla 13. Ficha técnica de recolección de datos de ensayo a tracción, 60% Resina poliéster, 40% Fibra (pelo de res) orientada a 45°.

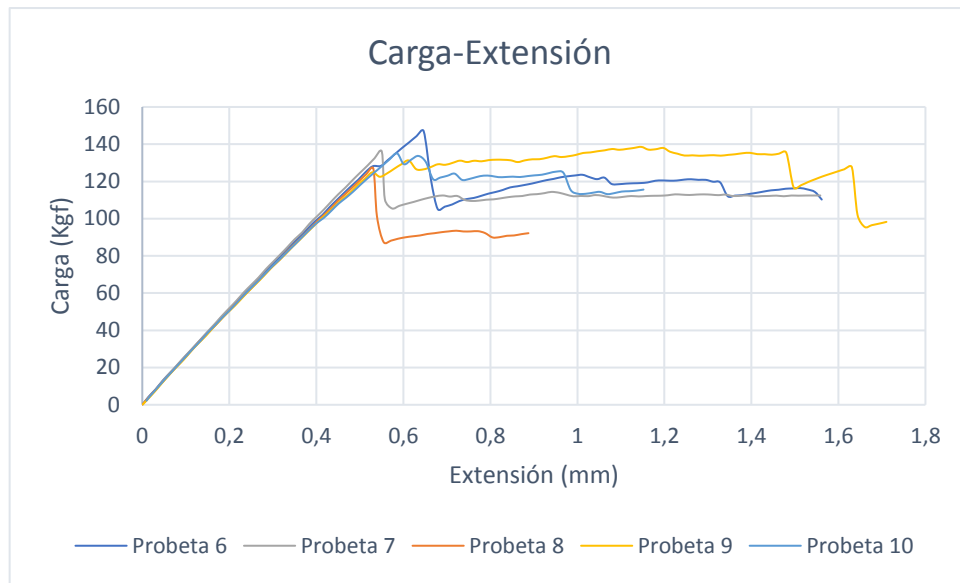
 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA							
FICHA TÉCNICA DE ENSAYO DE TRACCIÓN							
DATOS INFORMATIVOS							
Fecha:	26/02/2020	Ciudad:	Quito				
Lugar:	ESPE-Laboratorio de resistencia de materiales						
Máquina:	Máquina de ensayos universal marca MTS 5000N						
PARÁMETROS DE ENSAYO							
Matriz:	Resina poliéster	Fracción volumétrica:	60%				
Refuerzo:	Fibra pelo de res	Fracción volumétrica:	40%				
Norma:	ASTM D3039	Orientación de la fibra	45°				
Dimensión (mm):	250*25*e	Característica de la fibra:	Larga				
Estratificación:	Compresión	Numero de probetas:	5				
Velocidad de ensayo:	10mm/min	Espesor promedio (mm):	4,72				
TABULACIÓN DE RESULTADOS							
Probeta	Dimensiones (mm)		Carga máxima (N)	Esfuerzo máximo de tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	% Elongación	Tipo de falla evaluado
	Ancho	Espesor					
6	25	4,6	1441,48	12,53	2661,19	0,47	LGB
7	24,7	4,7	1333,61	11,49	2882,37	0,40	LAT
8	24,9	4,8	1244,37	10,41	2710,88	0,38	LGT
9	24,9	4,7	1358,71	11,61	1393,19	0,83	LGB
10	25	4,8	1324,58	11,04	2581,82	0,43	LAB
Promedio \bar{X}			1340,55	11,416	2445,89	0,503	
Desviación estándar S_{n-1}			70,836	0,782	598,693	0,188	
Coeficiente de variación CV			5,284	6,850	24,478	37,320	

FOTOGRAFÍAS DEL ENSAYO



GRÁFICAS DE RESULTADOS







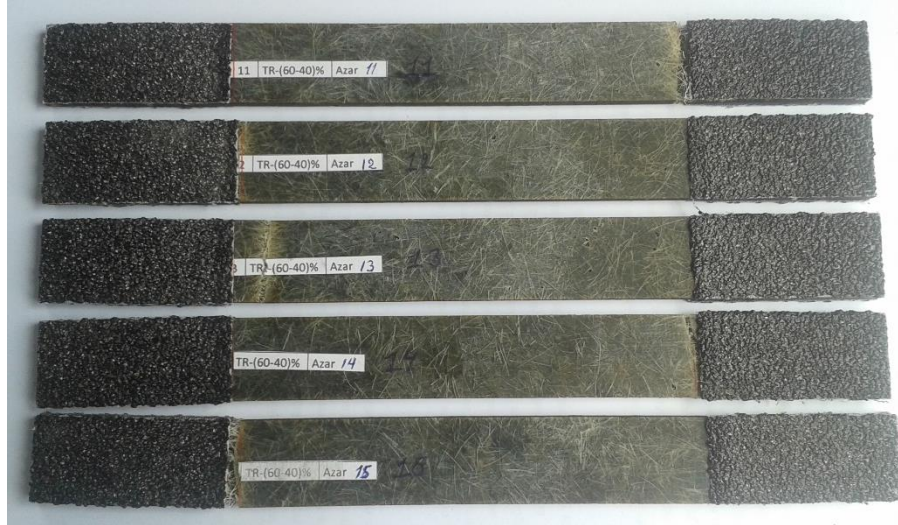
EVALUACIÓN		OBSERVACIONES
Esfuerzo Máximo Promedio (MPa)	11,416	-El tipo de falla LGB hace referencia a la rotura producida en la parte lateral del área calibrada. -El tipo de falla LAT hace referencia a la rotura producida en la parte superior lateral en el agarre. -El tipo de falla LGT hace referencia a la rotura producida en la parte superior lateral del área calibrada. -El tipo de falla LAB hace referencia a la rotura producida en la parte lateral en el agarre de la probeta.
Módulo de Elasticidad Promedio (MPa)	2445,89	
Espesor real promedio (mm)	4,72	
Elaborado por:	Vinicio Tonato	Aprobado por: Ing. Oscar Analuiza

Fuente: El autor

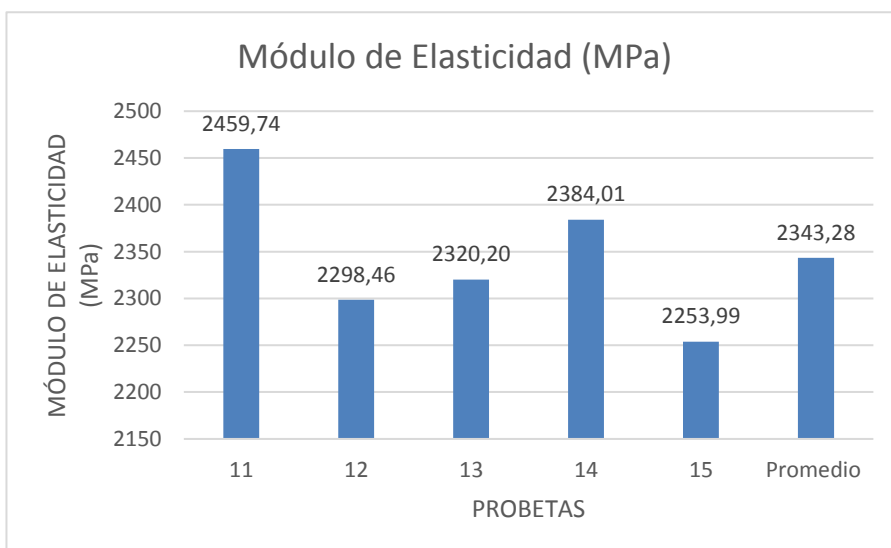
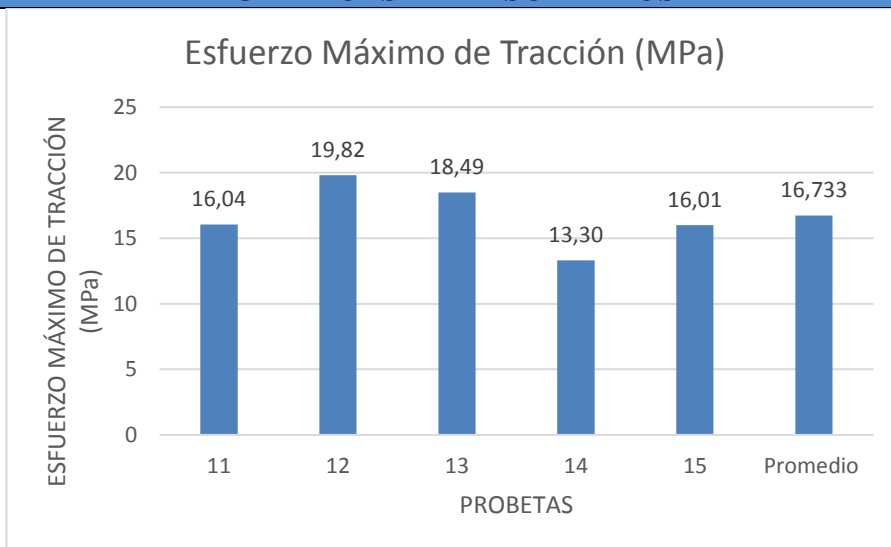
Tabla 14. Ficha técnica de recolección de datos de ensayo a tracción, 60% Resina poliéster, 40% Fibra (pelo de res) entrecruzada al azar.

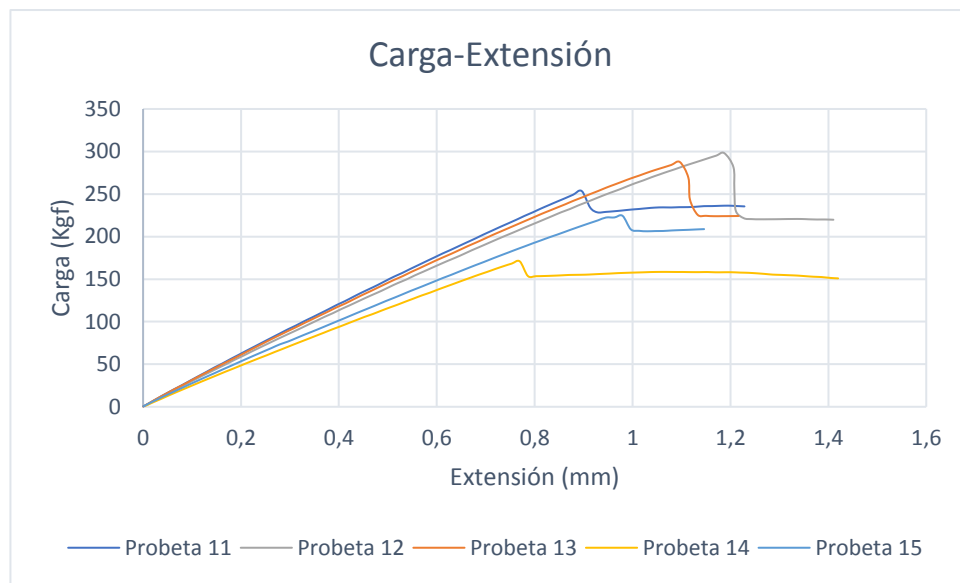
 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA							
FICHA TÉCNICA DE ENSAYO DE TRACCIÓN							
DATOS INFORMATIVOS							
Fecha:	26/02/2020		Ciudad:	Quito			
Lugar:	ESPE-Laboratorio de resistencia de materiales						
Máquina:	Máquina de ensayos universal marca MTS 5000N						
PARÁMETROS DE ENSAYO							
Matriz:	Resina poliéster		Fracción volumétrica:	60%			
Refuerzo:	Fibra pelo de res		Fracción volumétrica:	40%			
Norma:	ASTM D3039		Orientación de la fibra	Entrecruzada al azar			
Dimensión (mm):	250*25*e		Característica de la fibra:	Corta			
Estratificación:	Compresión		Numero de probetas:	5			
Velocidad de ensayo:	10mm/min		Espesor promedio (mm):	5,76			
TABULACIÓN DE RESULTADOS							
Probeta	Dimensiones (mm)		Carga máxima (N)	Esfuerzo máximo de tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	% Elongación	Tipo de falla evaluado
	Ancho	Espesor					
11	25	6,2	2486,48	16,04	2459,74	0,65	LAB
12	25	5,9	2923,46	19,82	2298,46	0,86	LAT
13	25	6,1	2820,39	18,49	2320,20	0,80	LGT
14	24,7	5,1	1675,66	13,30	2384,01	0,56	LAB
15	25	5,5	2200,91	16,01	2253,99	0,71	LAT
Promedio \bar{X}			2421,38	16,733	2343,28	0,716	
Desviación estándar S_{n-1}			505,034	2,520	80,212	0,119	
Coeficiente de variación CV			20,857	15,062	3,423	16,684	

FOTOGRAFÍAS DEL ENSAYO



GRÁFICAS DE RESULTADOS







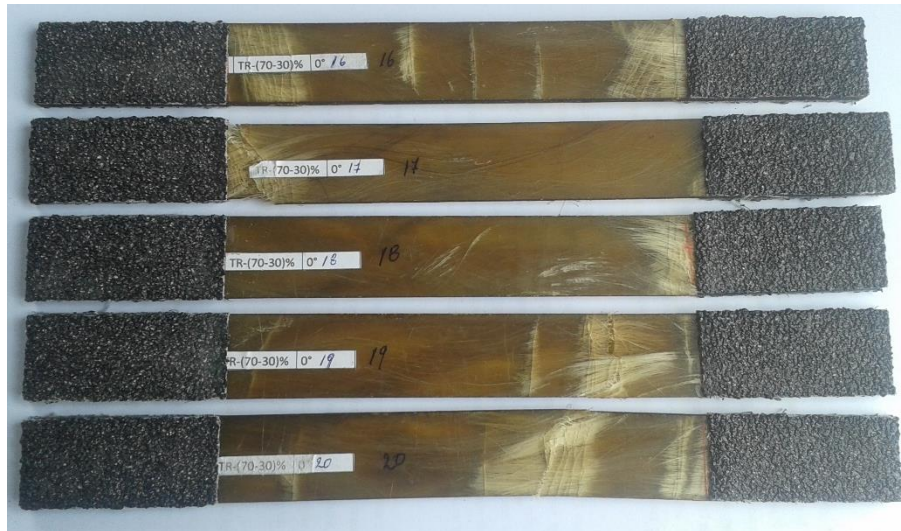
EVALUACIÓN		OBSERVACIONES
Esfuerzo Máximo Promedio (MPa)	16,733	-El tipo de falla LAB hace referencia a la rotura producida en la parte lateral en el agarre de la probeta. -El tipo de falla LAT hace referencia a la rotura producida en la parte superior lateral en el agarre. -El tipo de falla LGT hace referencia a la rotura producida en la parte superior lateral del área calibrada.
Módulo de Elasticidad Promedio (MPa)	2343,281	
Espesor real promedio (mm)	5,76	
Elaborado por:	Vinicio Tonato	Aprobado por: Ing. Oscar Analuiza

Fuente: El autor

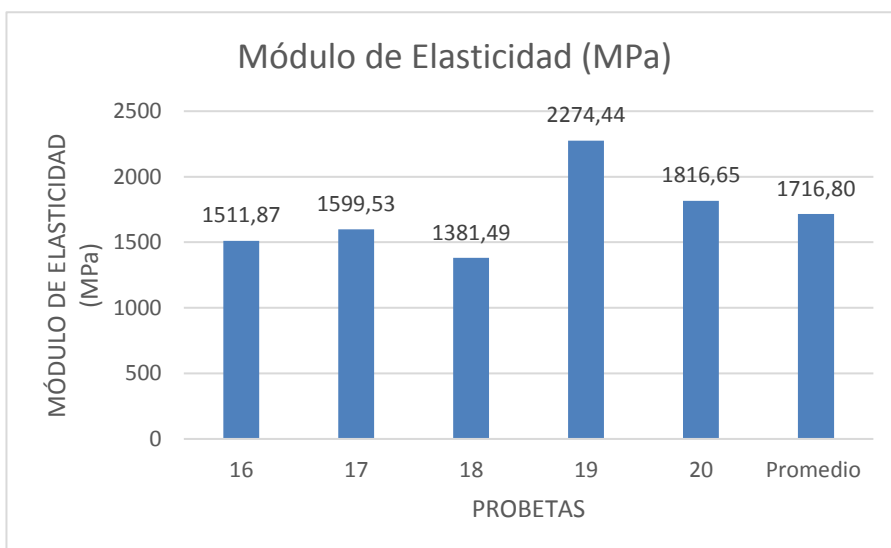
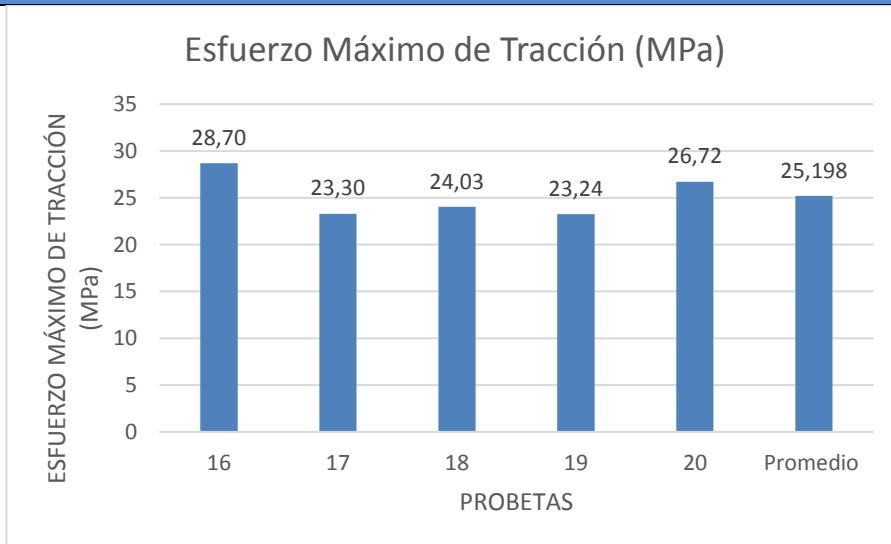
Tabla 15. Ficha técnica de recolección de datos de ensayo a tracción, 70% Resina poliéster, 30% Fibra (pelo de res) orientada a 0°.

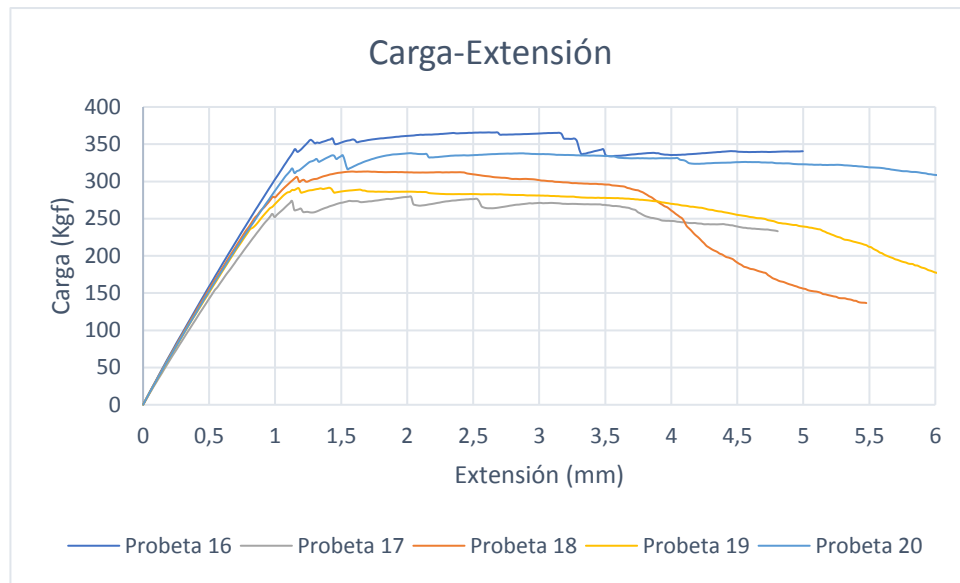
 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA							
FICHA TÉCNICA DE ENSAYO DE TRACCIÓN							
DATOS INFORMATIVOS							
Fecha:	26/02/2020	Ciudad:	Quito				
Lugar:	ESPE-Laboratorio de resistencia de materiales						
Máquina:	Máquina de ensayos universal marca MTS 5000N						
PARÁMETROS DE ENSAYO							
Matriz:	Resina poliéster	Fracción volumétrica:	70%				
Refuerzo:	Fibra pelo de res	Fracción volumétrica:	30%				
Norma:	ASTM D3039	Orientación de la fibra	0°				
Dimensión (mm):	250*25*e	Característica de la fibra:	Larga				
Estratificación:	Compresión	Numero de probetas:	5				
Velocidad de ensayo:	10mm/min	Espesor promedio (mm):	4,96				
TABULACIÓN DE RESULTADOS							
Probeta	Dimensiones (mm)		Carga máxima (N)	Esfuerzo máximo de tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	% Elongación	Tipo de falla evaluado
	Ancho	Espesor					
16	25	5	3587,96	28,70	1511,87	1,90	OUU
17	24,5	4,8	2739,78	23,30	1599,53	1,46	LAT
18	25	5,1	3063,30	24,03	1381,49	1,74	LAB
19	25,1	4,9	2858,15	23,24	2274,44	1,02	LGB
20	24,8	5	3313,67	26,72	1816,65	1,47	LGB
Promedio \bar{X}			3112,57	25,198	1716,80	1,517	
Desviación estándar S_{n-1}			343,716	2,421	349,684	0,334	
Coeficiente de variación CV			11,043	9,607	20,368	22,005	

FOTOGRAFÍAS DEL ENSAYO



GRÁFICAS DE RESULTADOS







EVALUACIÓN		OBSERVACIONES
Esfuerzo Máximo Promedio (MPa)	25,198	-El tipo de falla OUU es desconocido. -El tipo de falla LAT hace referencia a la rotura producida en la parte superior lateral en el agarre. -El tipo de falla LAB hace referencia a la rotura producida en la parte lateral en el agarre de la probeta. -El tipo de falla LGB hace referencia a la rotura producida en la parte lateral del área calibrada.
Módulo de Elasticidad Promedio (MPa)	1716,796	
Espesor real promedio (mm)	4,96	
Elaborado por:	Vinicio Tonato	Aprobado por: Ing. Oscar Analuiza

Fuente: El autor

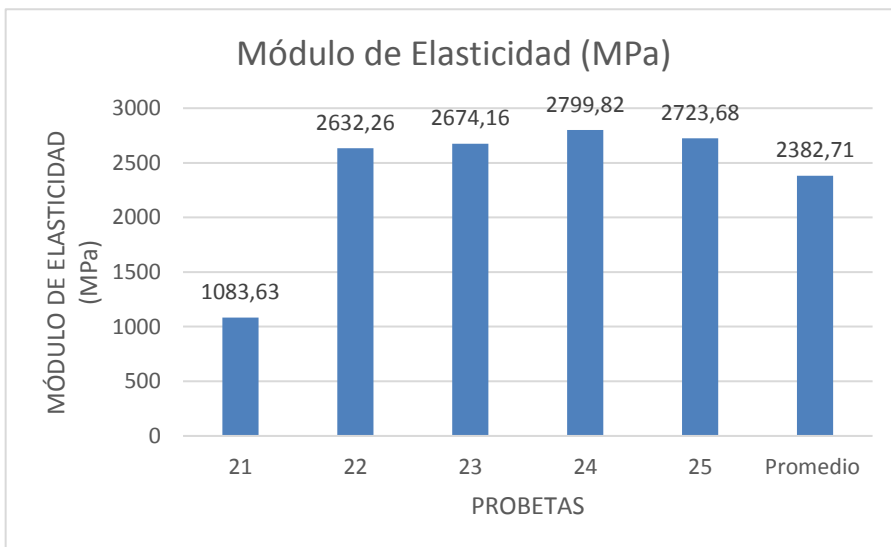
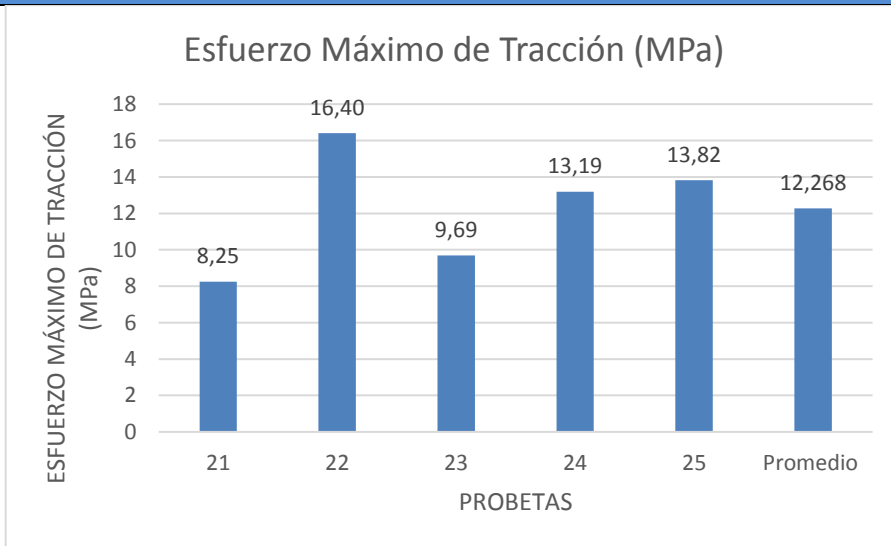
Tabla 16. Ficha técnica de recolección de datos de ensayo a tracción, 70% Resina poliéster, 30% Fibra (pelo de res) orientada a 45°.

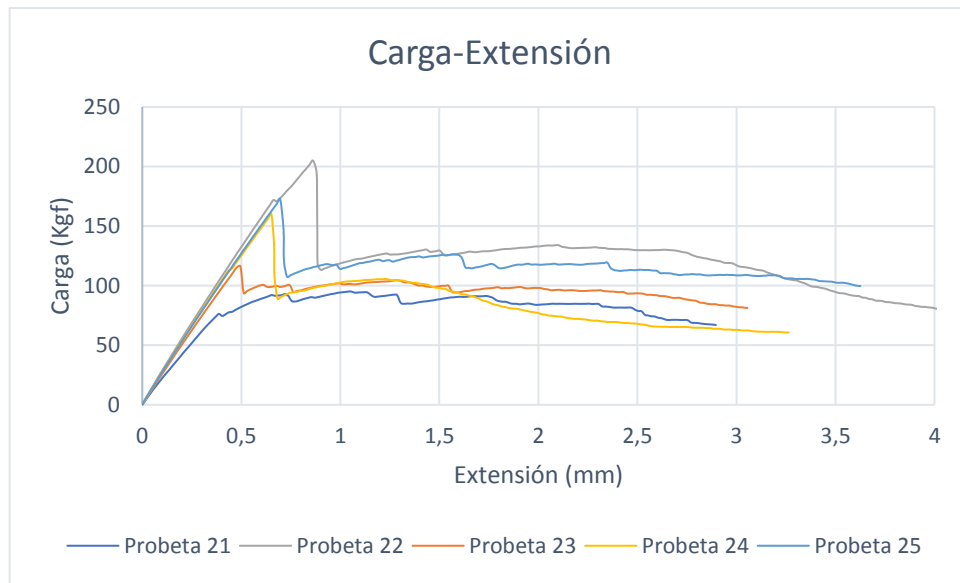
 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA							
FICHA TÉCNICA DE ENSAYO DE TRACCIÓN							
DATOS INFORMATIVOS							
Fecha:	26/02/2020	Ciudad:	Quito				
Lugar:	ESPE-Laboratorio de resistencia de materiales						
Máquina:	Máquina de ensayos universal marca MTS 5000N						
PARÁMETROS DE ENSAYO							
Matriz:	Resina poliéster	Fracción volumétrica:	70%				
Refuerzo:	Fibra pelo de res	Fracción volumétrica:	30%				
Norma:	ASTM D3039	Orientación de la fibra	45°				
Dimensión (mm):	250*25*e	Característica de la fibra:	Larga				
Estratificación:	Compresión	Numero de probetas:	5				
Velocidad de ensayo:	10mm/min	Espesor promedio (mm):	4,78				
TABULACIÓN DE RESULTADOS							
Probeta	Dimensiones (mm)		Carga máxima (N)	Esfuerzo máximo de tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	% Elongación	Tipo de falla evaluado
	Ancho	Espesor					
21	24,6	4,6	933,00	8,25	1083,63	0,76	LGB
22	25	4,9	2009,48	16,40	2632,26	0,62	LAT
23	25	4,7	1138,45	9,69	2674,16	0,36	LGM
24	24,8	4,8	1569,85	13,19	2799,82	0,47	LAT
25	25	4,9	1692,43	13,82	2723,68	0,51	LAB
Promedio \bar{X}			1468,64	12,268	2382,71	0,545	
Desviación estándar S_{n-1}			432,655	3,286	728,881	0,152	
Coeficiente de variación CV			29,460	26,782	30,590	27,979	

FOTOGRAFÍAS DEL ENSAYO



GRÁFICAS DE RESULTADOS







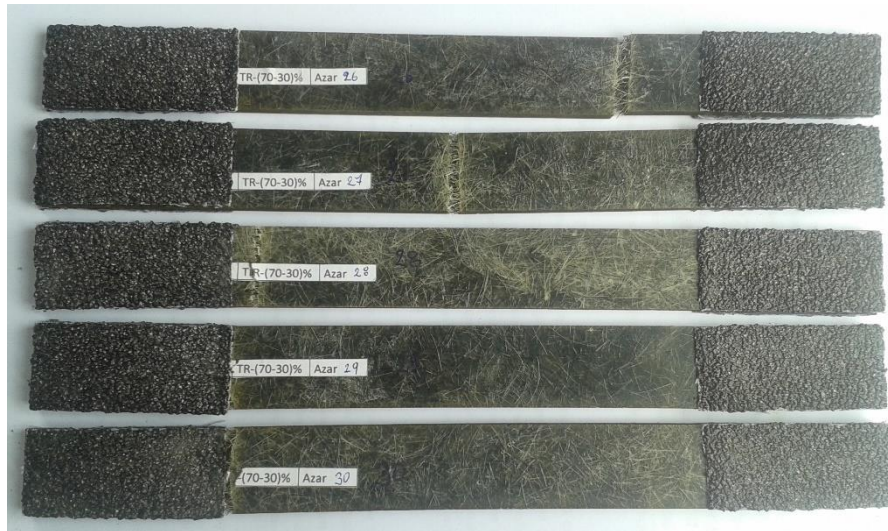
EVALUACIÓN		OBSERVACIONES	
Esfuerzo Máximo Promedio (MPa)	12,268	-El tipo de falla LGB hace referencia a la rotura producida en la parte lateral del área calibrada. -El tipo de falla LAT hace referencia a la rotura producida en la parte superior lateral en el agarre. -El tipo de falla LGM hace referencia a la rotura producida en la parte lateral media del área calibrada. -El tipo de falla LAB hace referencia a la rotura producida en la parte lateral en el agarre de la probeta.	
Módulo de Elasticidad Promedio (MPa)	2382,709		
Espesor real promedio (mm)	4,78		
Elaborado por:	Vinicio Tonato	Aprobado por:	Ing. Oscar Analuiza

Fuente: El autor

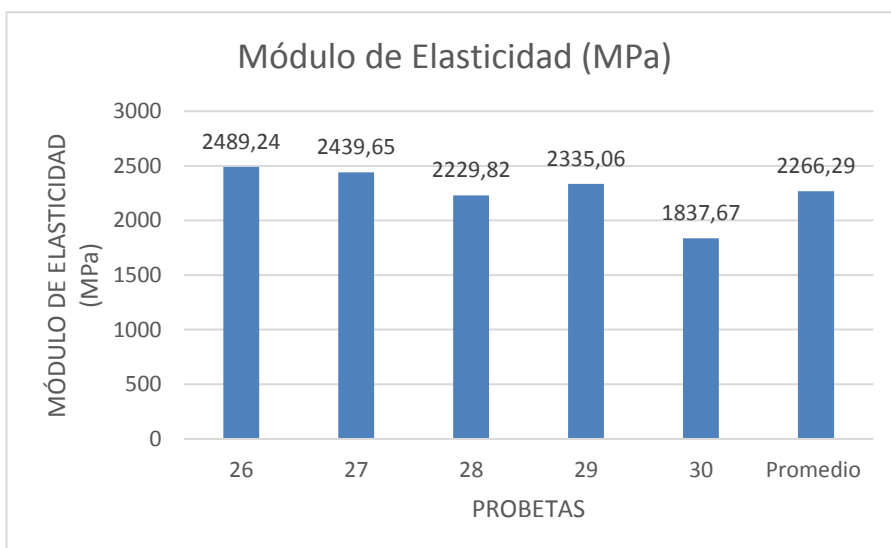
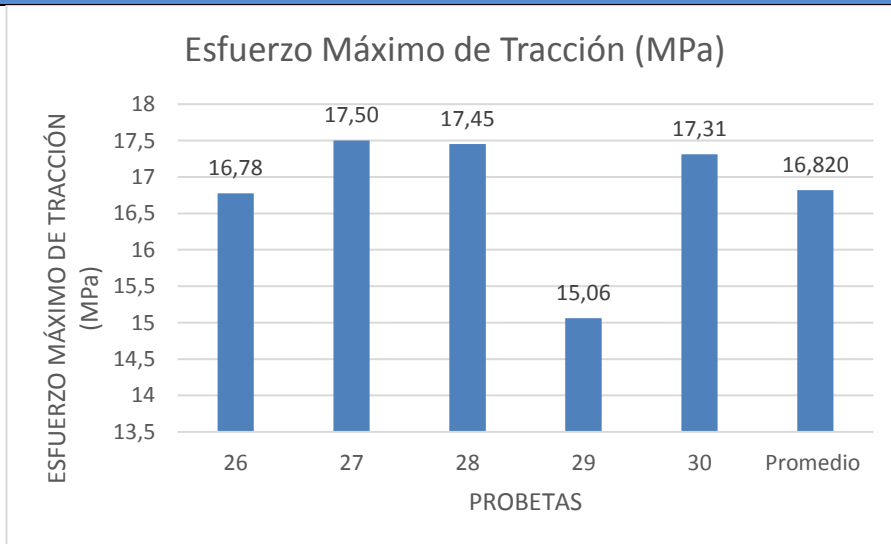
Tabla 17. Ficha técnica de recolección de datos de ensayo a tracción, 70% Resina poliéster, 30% Fibra (pelo de res) entrecruzada al azar.

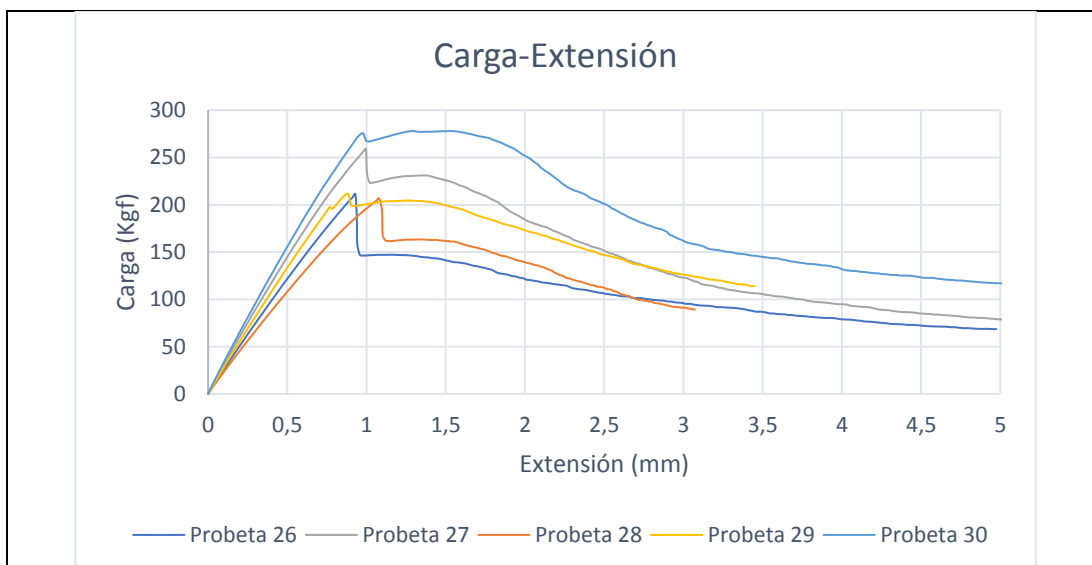
 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA							
FICHA TÉCNICA DE ENSAYO DE TRACCIÓN							
DATOS INFORMATIVOS							
Fecha:	26/02/2020	Ciudad:	Quito				
Lugar:	ESPE-Laboratorio de resistencia de materiales						
Máquina:	Máquina de ensayos universal marca MTS 5000N						
PARÁMETROS DE ENSAYO							
Matriz:	Resina poliéster	Fracción volumétrica:	70%				
Refuerzo:	Fibra pelo de res	Fracción volumétrica:	30%				
Norma:	ASTM D3039	Orientación de la fibra	Entrecruzada al azar				
Dimensión (mm):	250*25*e	Característica de la fibra:	Corta				
Estratificación:	Compresión	Numero de probetas:	5				
Velocidad de ensayo:	10mm/min	Espesor promedio (mm):	5,46				
TABULACIÓN DE RESULTADOS							
Probeta	Dimensiones (mm)		Carga máxima (N)	Esfuerzo máximo de tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	% Elongación	Tipo de falla evaluado
	Ancho	Espesor					
26	24,7	5	2071,75	16,78	2489,24	0,67	LGB
27	25	5,8	2537,76	17,50	2439,65	0,72	LGM
28	24,7	4,7	2025,86	17,45	2229,82	0,78	LGT
29	25	5,5	2070,67	15,06	2335,06	0,64	LAT
30	25	6,3	2726,54	17,31	1837,67	0,94	LAT
Promedio \bar{X}			2286,52	16,820	2266,29	0,752	
Desviación estándar S_{n-1}			323,034	1,025	259,584	0,118	
Coeficiente de variación CV			14,128	6,096	11,454	15,704	

FOTOGRAFÍAS DEL ENSAYO



GRÁFICAS DE RESULTADOS





EVALUACIÓN		OBSERVACIONES
Esfuerzo Máximo Promedio (MPa)	16,820	-El tipo de falla LGB hace referencia a la rotura producida en la parte lateral del área calibrada. -El tipo de falla LGM hace referencia a la rotura producida en la parte lateral media del área calibrada. -El tipo de falla LGT hace referencia a la rotura producida en la parte superior lateral del área calibrada. -El tipo de falla LAT hace referencia a la rotura producida en la parte superior lateral en el agarre.
Módulo de Elasticidad Promedio (MPa)	2266,29	
Espesor real promedio (mm)	5,46	
Elaborado por:	Vinicio Tonato	Aprobado por: Ing. Oscar Analuiza

Fuente: El autor

3.1.1.1. Codificación de fallas evaluado a Tracción

Según la Norma ASTM D3039 se presentan los siguientes tipos de fallas:

Tabla 18. Tipos de fallas a tracción

Primer carácter		Segundo carácter		Tercer carácter	
L	Lateral	A	En el agarre	T	Superior
G	Agarre	G	Zona calibrada	M	Medio
A	Angular	I	Dentro del agarre	B	Fondo
O	Otro	U	Desconocido	U	Desconocido

Fuente: El autor

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

La tabulación de resultados de los ensayos mecánicos a flexión a las cuales fueron sometidas las probetas de material compuesto se presenta a continuación en las siguientes tablas.

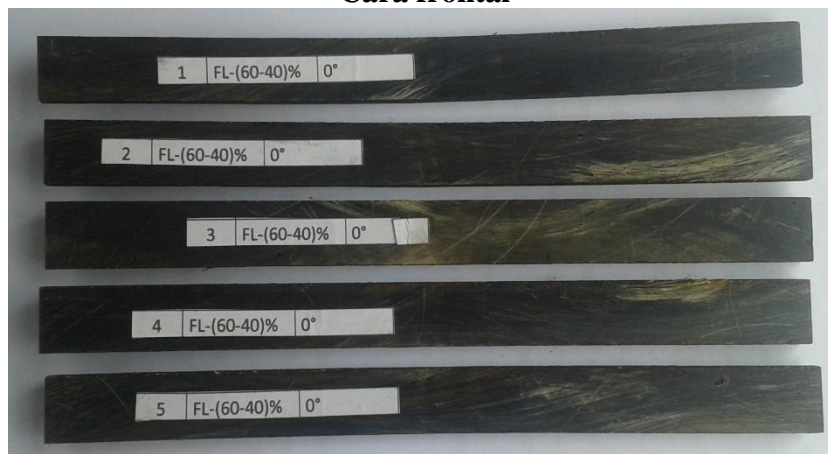
Tabla 19. Ficha técnica de recolección de datos de ensayo a flexión, 60% Resina poliéster, 40% Fibra (pelo de res) orientada a 0°.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA							
FICHA TÉCNICA DE ENSAYO DE FLEXIÓN							
DATOS INFORMATIVOS							
Fecha:	26/02/2020	Ciudad:	Quito				
Lugar:	ESPE-Laboratorio de resistencia de materiales						
Máquina:	Máquina de ensayos universal marca MTS 5000N						
PARÁMETROS DE ENSAYO							
Matriz:	Resina poliéster	Fracción volumétrica:	60%				
Refuerzo:	Fibra pelo de res	Fracción volumétrica:	40%				
Norma:	ASTM D7264-15	Orientación de la fibra	0°				
Estratificación:	Compresión	Característica de la fibra:	Larga				
Velocidad de ensayo:	10mm/min	Numero de probetas:	5				
Distancia entre apoyos:	128mm	Longitud probeta:	160mm				
Ancho probeta:	13mm	Espesor promedio (mm):	4,81				
TABULACIÓN DE RESULTADOS							
Probeta	Espesor (mm)	Carga máxima (N)	Deflexión (mm)	Esfuerzo máximo de flexión (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Deformación máxima (%)	Tipo de falla
1	4,75	78,54	19,40	51,41	1523,42	3,37	OAB
2	4,85	74,45	19,55	46,75	1346,23	3,47	OAB
3	4,75	89,53	19,04	58,61	1769,49	3,31	OAB
4	4,8	95,5	19,73	61,22	1765,14	3,47	OAB
5	4,9	92,67	18,83	57,00	1687,05	3,38	OAB
Promedio \bar{X}		86,137	19,310	54,997	1618,26	3,401	-

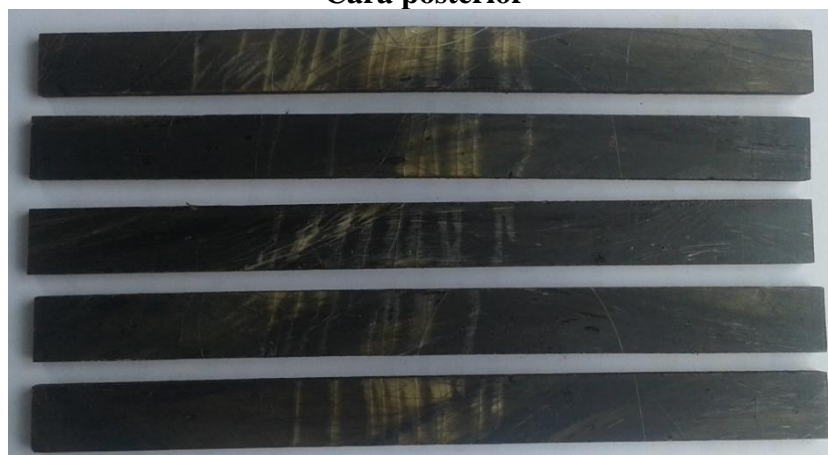
Desviación estándar Sn-1	9,168	0,369	5,846	181,776	0,068
Coefficiente de variación CV	10,643	1,912	10,630	11,233	2,010

FOTOGRAFÍAS DEL ENSAYO

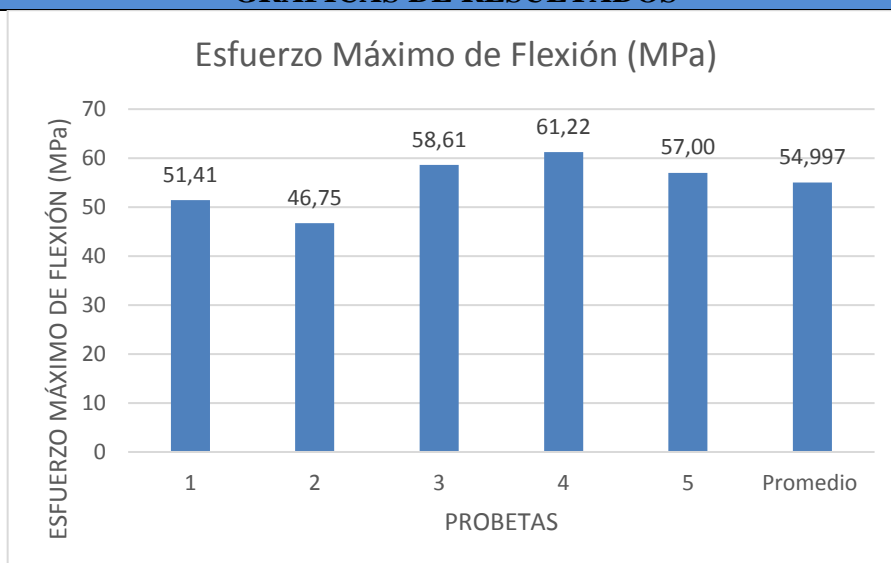
Cara frontal

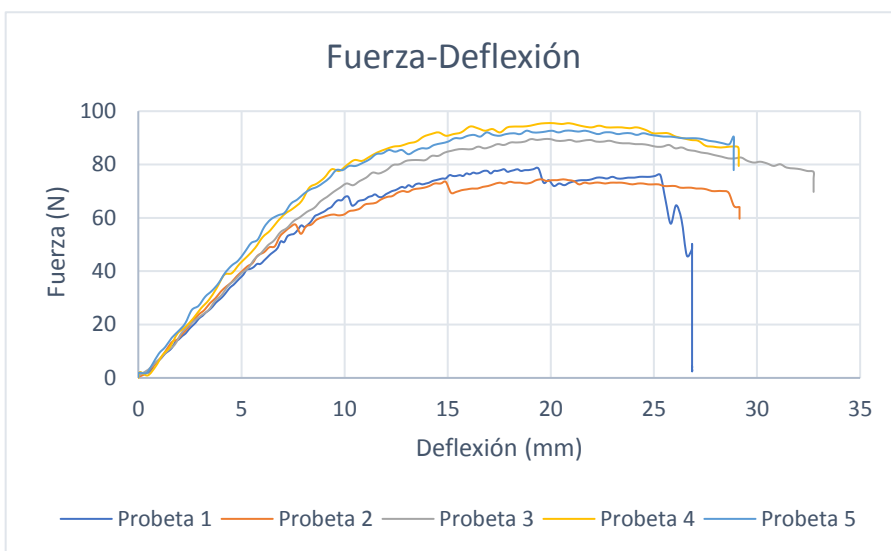
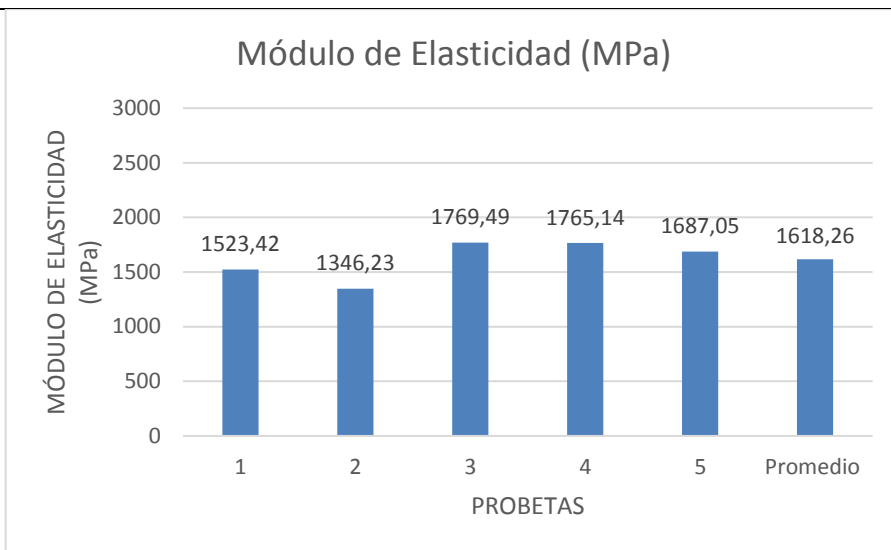


Cara posterior



GRÁFICAS DE RESULTADOS






EVALUACIÓN		OBSERVACIONES	
Esfuerzo Máximo Promedio (MPa)	54,997	-El tipo de falla OAB hace referencia que el área de falla está en el punto de carga y que está localizada en el fondo de la probeta.	
Módulo de Elasticidad Promedio (MPa)	1618,264		
Espesor real promedio (mm)	4,78		
Elaborado por:	Vinicio Tonato	Aprobado por:	Ing. Oscar Analuiza

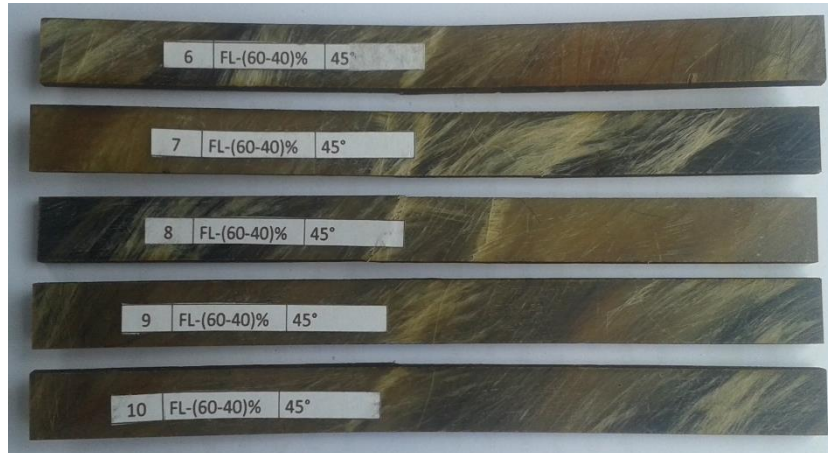
Fuente: El autor

Tabla 20. Ficha técnica de recolección de datos de ensayo a flexión, 60% Resina poliéster, 40% Fibra (pelo de res) orientada a 45°.

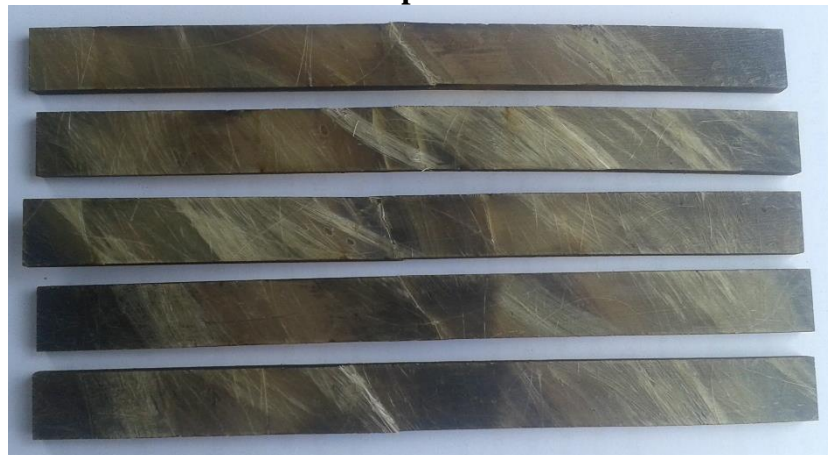
 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA							
FICHA TÉCNICA DE ENSAYO DE FLEXIÓN							
DATOS INFORMATIVOS							
Fecha:	26/02/2020	Ciudad:	Quito				
Lugar:	ESPE-Laboratorio de resistencia de materiales						
Máquina:	Máquina de ensayos universal marca MTS 5000N						
PARÁMETROS DE ENSAYO							
Matriz:	Resina poliéster	Fracción volumétrica:	60%				
Refuerzo:	Fibra pelo de res	Fracción volumétrica:	40%				
Norma:	ASTM D7264-15	Orientación de la fibra:	45°				
Estratificación:	Compresión	Característica de la fibra:	Larga				
Velocidad de ensayo:	10mm/min	Numero de probetas:	5				
Distancia entre apoyos:	128mm	Longitud probeta:	160mm				
Ancho probeta:	13mm	Espesor promedio (mm):	4,62				
TABULACIÓN DE RESULTADOS							
Probeta	Espesor (mm)	Carga máxima (N)	Deflexión (mm)	Esfuerzo máximo de flexión (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Deformación máxima (%)	Tipo de falla
6	4,6	20,11	3,99	14,04	2088,30	0,67	OAB
7	4,6	25,45	5,03	17,76	2096,39	0,85	OAB
8	4,6	40,21	9,16	28,07	1818,83	1,54	OAB
9	4,7	13,51	2,16	9,03	2429,60	0,37	OAB
10	4,6	12,57	2,26	8,77	2304,52	0,38	OAB
Promedio \bar{X}		22,370	4,520	15,534	2147,53	0,763	
Desviación estándar Sn-1		11,263	2,861	7,941	233,654	0,480	
Coeficiente de variación CV		50,348	63,303	51,118	10,880	62,959	

FOTOGRAFÍAS DEL ENSAYO

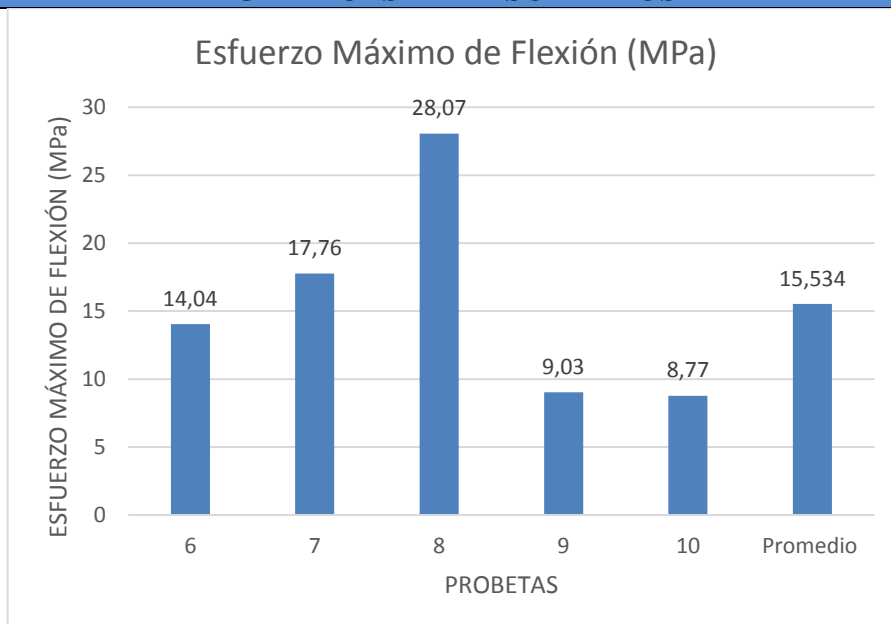
Cara frontal

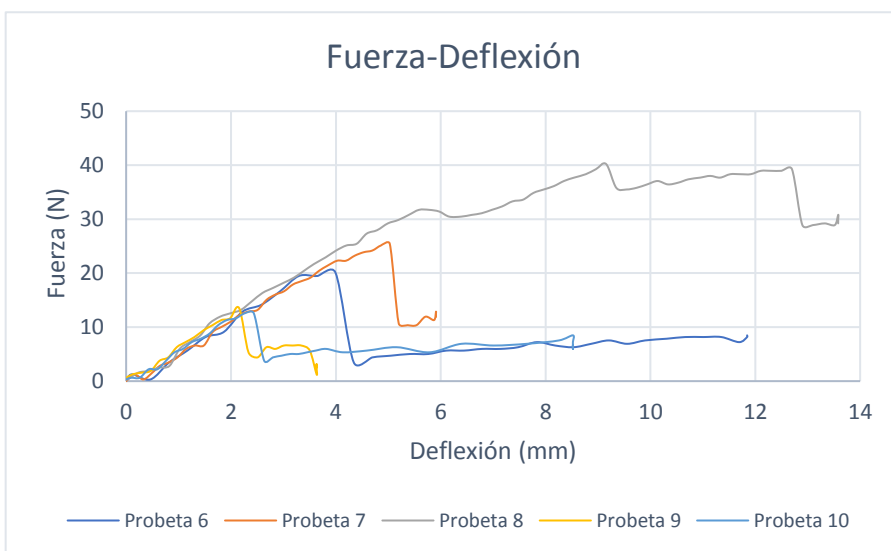
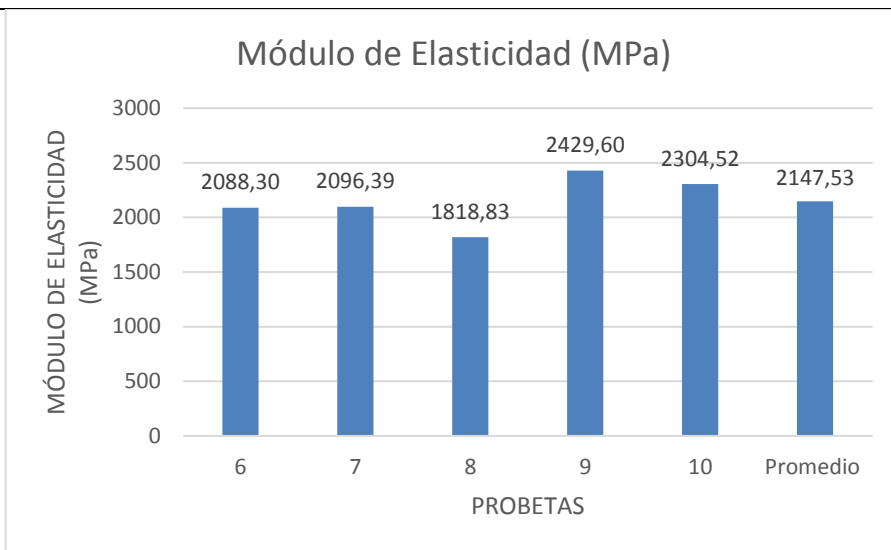


Cara posterior



GRÁFICAS DE RESULTADOS







EVALUACIÓN		OBSERVACIONES	
Esfuerzo Máximo Promedio (MPa)	15,534	-El tipo de falla OAB hace referencia que el área de falla está en el punto de carga y que está localizada en el fondo de la probeta.	
Módulo de Elasticidad Promedio (MPa)	2147,53		
Espesor real promedio (mm)	4,62		
Elaborado por:	Vinicio Tonato	Aprobado por:	Ing. Oscar Analuiza

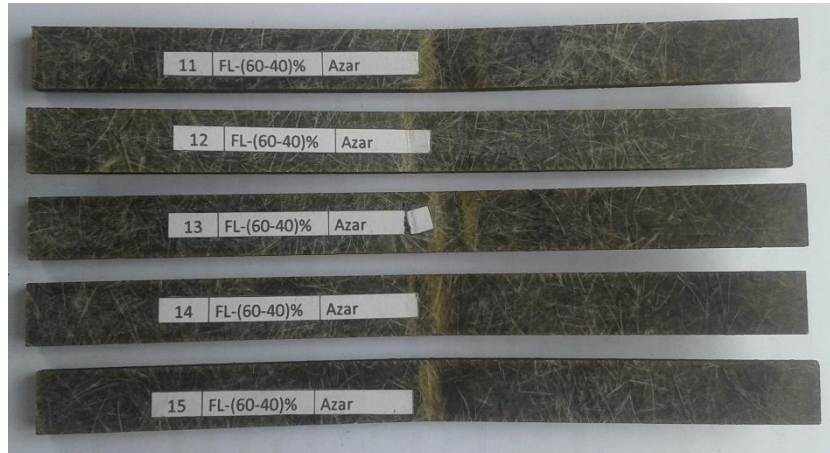
Fuente: El autor

Tabla 21. Ficha técnica de recolección de datos de ensayo a flexión, 60% Resina poliéster, 40% Fibra (pelo de res) entrecruzada al azar.

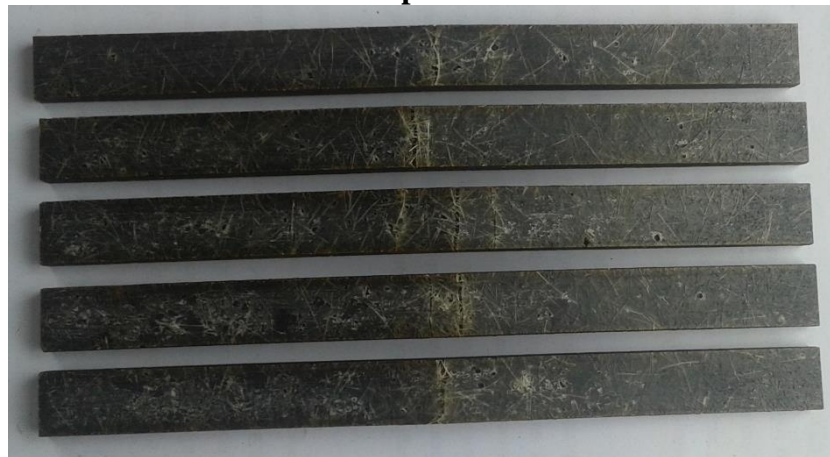
 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA							
FICHA TÉCNICA DE ENSAYO DE FLEXIÓN							
DATOS INFORMATIVOS							
Fecha:	26/02/2020	Ciudad:	Quito				
Lugar:	ESPE-Laboratorio de resistencia de materiales						
Máquina:	Máquina de ensayos universal marca MTS 5000N						
PARÁMETROS DE ENSAYO							
Matriz:	Resina poliéster	Fracción volumétrica:	60%				
Refuerzo:	Fibra pelo de res	Fracción volumétrica:	40%				
Norma:	ASTM D7264-15	Orientación de la fibra	Entrecruzada al azar				
Estratificación:	Compresión	Característica de la fibra:	Corta				
Velocidad de ensayo:	10mm/min	Numero de probetas:	5				
Distancia entre apoyos:	128mm	Longitud probeta:	160mm				
Ancho probeta:	13mm	Espesor promedio (mm):	5,9				
TABULACIÓN DE RESULTADOS							
Probeta	Espesor (mm)	Carga máxima (N)	Deflexión (mm)	Esfuerzo máximo de flexión (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Deformación máxima (%)	Tipo de falla
11	5,8	57,18	7,99	25,10	1479,24	1,70	OAB
12	6	60,63	8,49	24,87	1333,38	1,87	OAB
13	5,8	57,49	11,96	25,24	993,58	2,54	OAB
14	5,9	45,55	10,01	19,33	893,56	2,16	OAB
15	6	51,52	7,21	21,14	1334,18	1,58	OAB
Promedio \bar{X}		54,474	9,132	23,136	1206,79	1,970	
Desviación estándar Sn-1		5,972	1,883	2,731	250,026	0,386	
Coeficiente de variación CV		10,964	20,617	11,805	20,718	19,605	

FOTOGRAFÍAS DEL ENSAYO

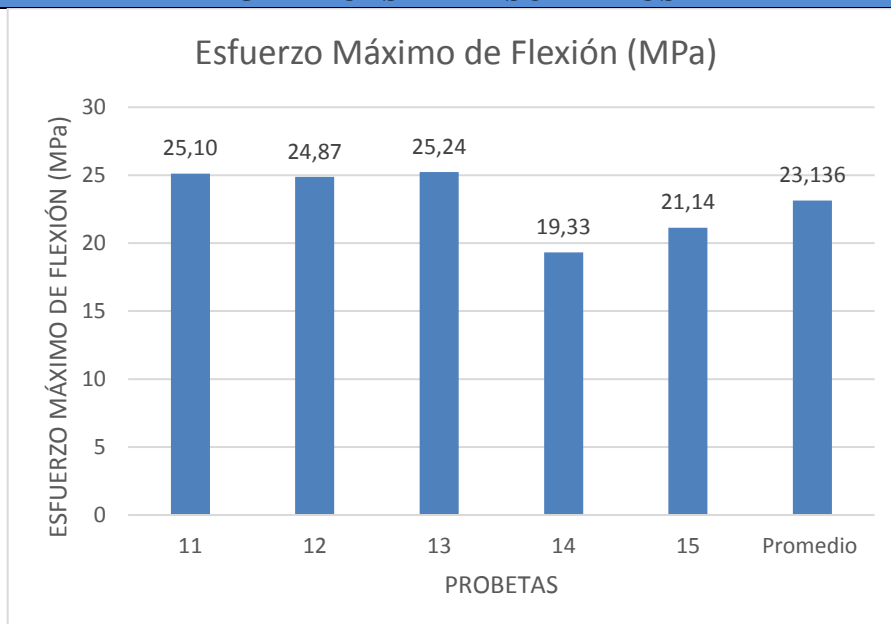
Cara frontal

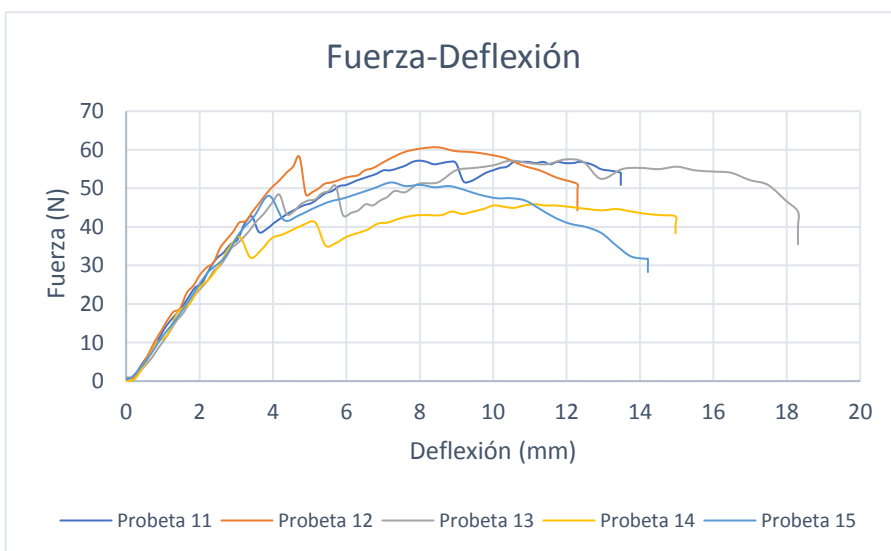
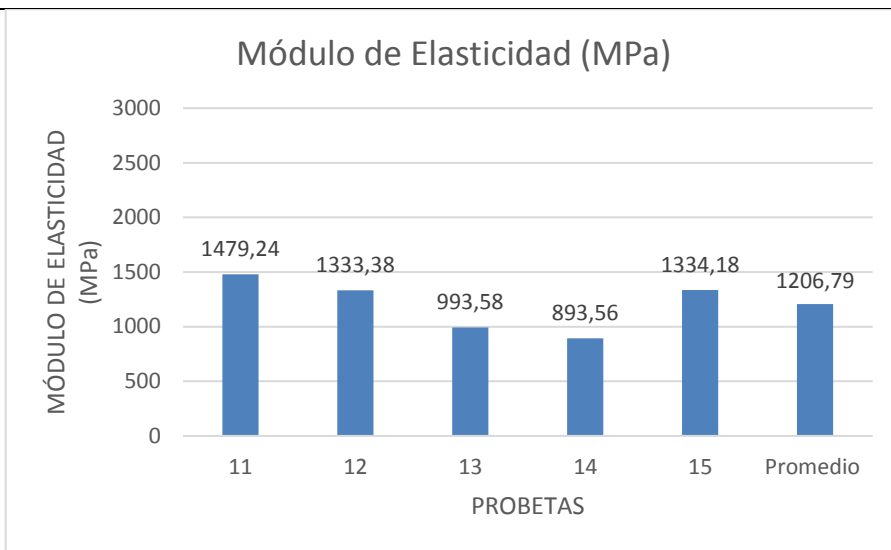


Cara posterior



GRÁFICAS DE RESULTADOS







EVALUACIÓN		OBSERVACIONES	
Esfuerzo Máximo Promedio (MPa)	23,136	-El tipo de falla OAB hace referencia que el área de falla está en el punto de carga y que está localizada en el fondo de la probeta.	
Módulo de Elasticidad Promedio (MPa)	1206,79		
Espesor real promedio (mm)	5,9		
Elaborado por:	Vinicio Tonato	Aprobado por:	Ing. Oscar Analuiza

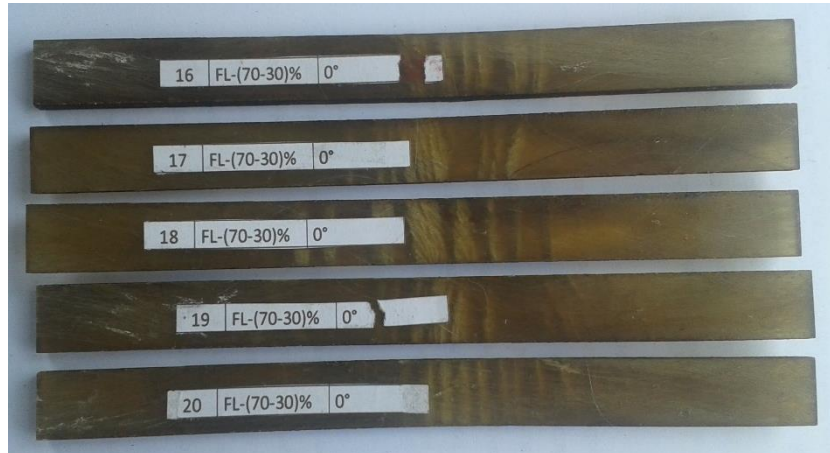
Fuente: El autor

Tabla 22. Ficha técnica de recolección de datos de ensayo a flexión, 70% Resina poliéster, 30% Fibra (pelo de res) orientada a 0°.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA							
FICHA TÉCNICA DE ENSAYO DE FLEXIÓN							
DATOS INFORMATIVOS							
Fecha:	26/02/2020	Ciudad:	Quito				
Lugar:	ESPE-Laboratorio de resistencia de materiales						
Máquina:	Máquina de ensayos universal marca MTS 5000N						
PARÁMETROS DE ENSAYO							
Matriz:	Resina poliéster	Fracción volumétrica:	70%				
Refuerzo:	Fibra pelo de res	Fracción volumétrica:	30%				
Norma:	ASTM D7264-15	Orientación de la fibra	0°				
Estratificación:	Compresión	Característica de la fibra:	Larga				
Velocidad de ensayo:	10mm/min	Numero de probetas:	5				
Distancia entre apoyos:	128mm	Longitud probeta:	160mm				
Ancho probeta:	13mm	Espesor promedio (mm):	4,78				
TABULACIÓN DE RESULTADOS							
Probeta	Espesor (mm)	Carga máxima (N)	Deflexión (mm)	Esfuerzo máximo de flexión (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Deformación máxima (%)	Tipo de falla
16	4,7	67,23	17,05	44,95	1531,69	2,93	OAB
17	4,9	59,69	27,87	36,72	734,18	5,00	OAB
18	4,9	70,68	20,20	43,48	1199,45	3,62	OAB
19	4,7	85,76	20,03	57,34	1663,17	3,45	OAB
20	4,7	84,5	17,53	56,50	1872,44	3,02	OAB
Promedio \bar{X}		73,572	20,536	47,796	1400,19	3,605	
Desviación estándar Sn-1		11,283	4,340	8,892	445,347	0,832	
Coeficiente de variación CV		15,337	21,134	18,604	31,806	23,080	

FOTOGRAFÍAS DEL ENSAYO

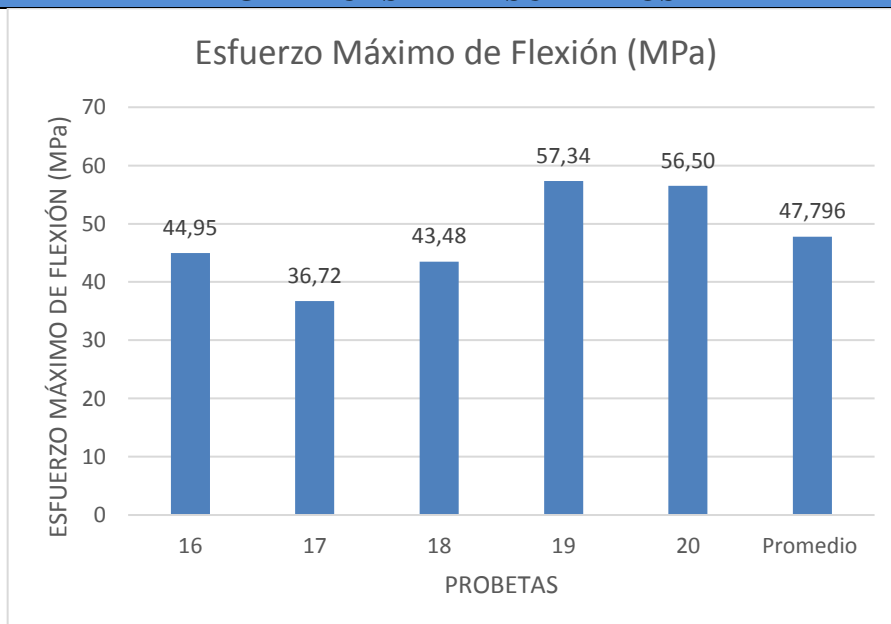
Cara frontal

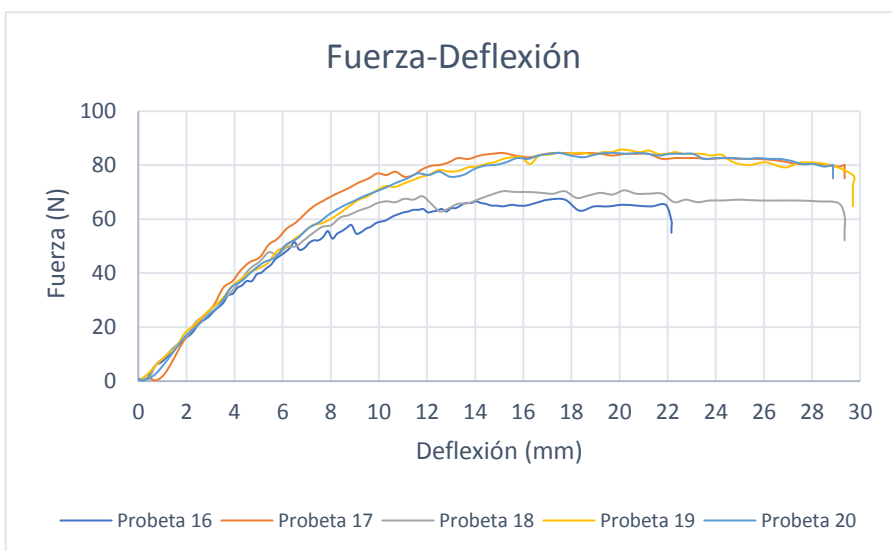
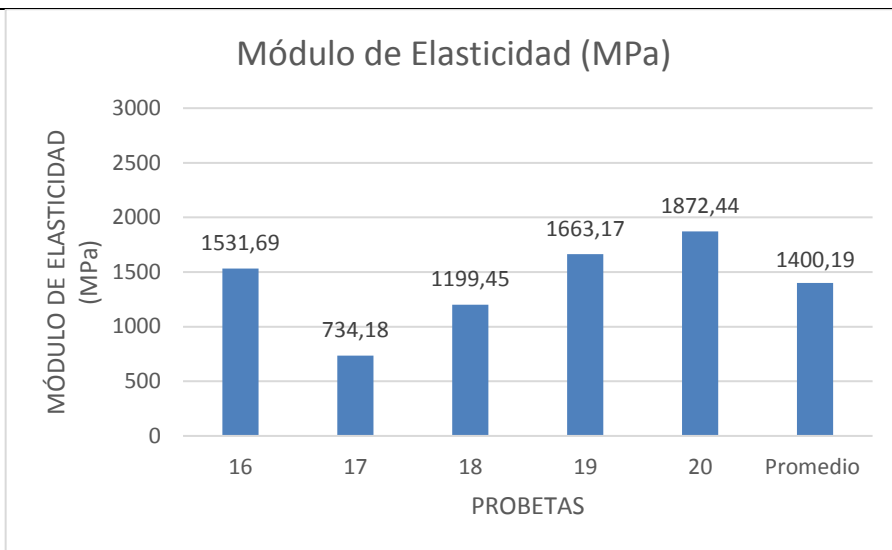


Cara posterior



GRÁFICAS DE RESULTADOS







EVALUACIÓN		OBSERVACIONES
Esfuerzo Máximo Promedio (MPa)	47,796	-El tipo de falla OAB hace referencia que el área de falla está en el punto de carga y que está localizada en el fondo de la probeta.
Módulo de Elasticidad Promedio (MPa)	1400,19	
Espesor real promedio (mm)	4,78	
Elaborado por:	Vinicio Tonato	Aprobado por: Ing. Oscar Analuiza

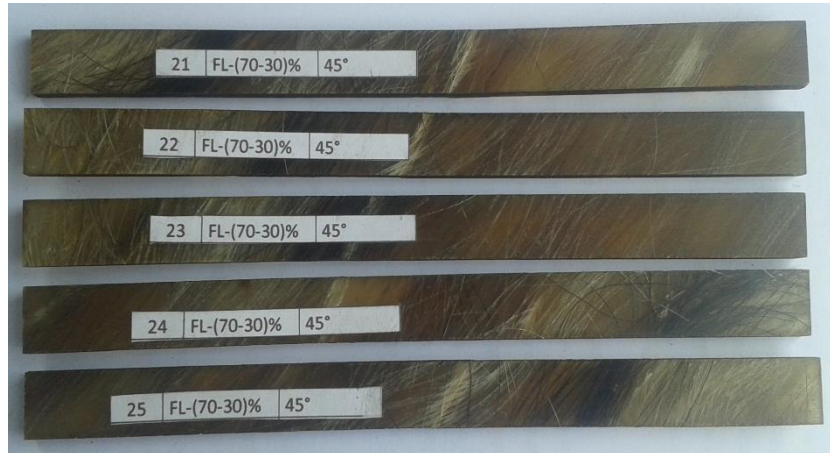
Fuente: El autor

Tabla 23. Ficha técnica de recolección de datos de ensayo a flexión, 70% Resina poliéster, 30% Fibra (pelo de res) orientada a 45°.

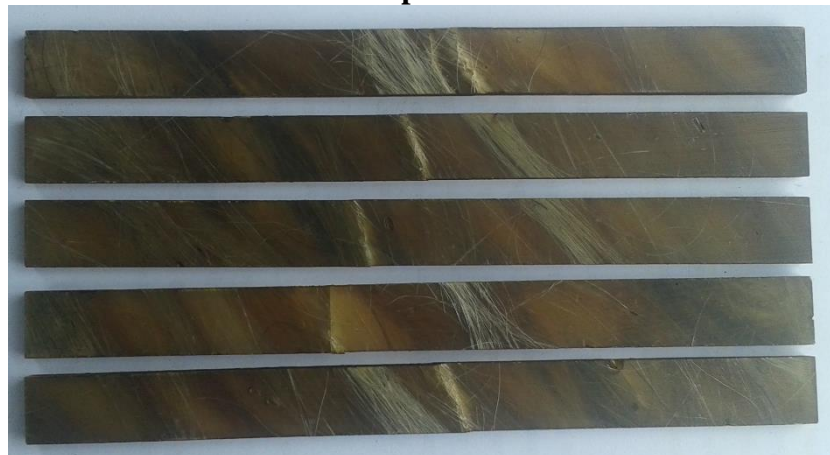
 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA							
FICHA TÉCNICA DE ENSAYO DE FLEXIÓN							
DATOS INFORMATIVOS							
Fecha:	26/02/2020	Ciudad:	Quito				
Lugar:	ESPE-Laboratorio de resistencia de materiales						
Máquina:	Máquina de ensayos universal marca MTS 5000N						
PARÁMETROS DE ENSAYO							
Matriz:	Resina poliéster	Fracción volumétrica:	70%				
Refuerzo:	Fibra pelo de res	Fracción volumétrica:	30%				
Norma:	ASTM D7264-15	Orientación de la fibra	45°				
Estratificación:	Compresión	Característica de la fibra:	Larga				
Velocidad de ensayo:	10mm/min	Numero de probetas:	5				
Distancia entre apoyos:	128mm	Longitud probeta:	160mm				
Ancho probeta:	13mm	Espesor promedio (mm):	4,74				
TABULACIÓN DE RESULTADOS							
Probeta	Espesor (mm)	Carga máxima (N)	Deflexión (mm)	Esfuerzo máximo de flexión (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Deformación máxima (%)	Tipo de falla
21	4,7	41,78	8,78	27,93	1848,45	1,51	OLB
22	4,8	21,05	2,91	13,49	2637,92	0,51	OAB
23	4,8	25,13	3,62	16,11	2531,55	0,64	OLB
24	4,7	26,7	3,96	17,85	2619,08	0,68	OLB
25	4,7	32,67	8,00	21,84	1586,32	1,38	OLB
Promedio \bar{X}		29,466	5,454	19,446	2244,67	0,944	
Desviación estándar Sn-1		8,050	2,721	5,632	491,819	0,464	
Coeficiente de variación CV		27,318	49,887	28,964	21,911	49,136	

FOTOGRAFÍAS DEL ENSAYO

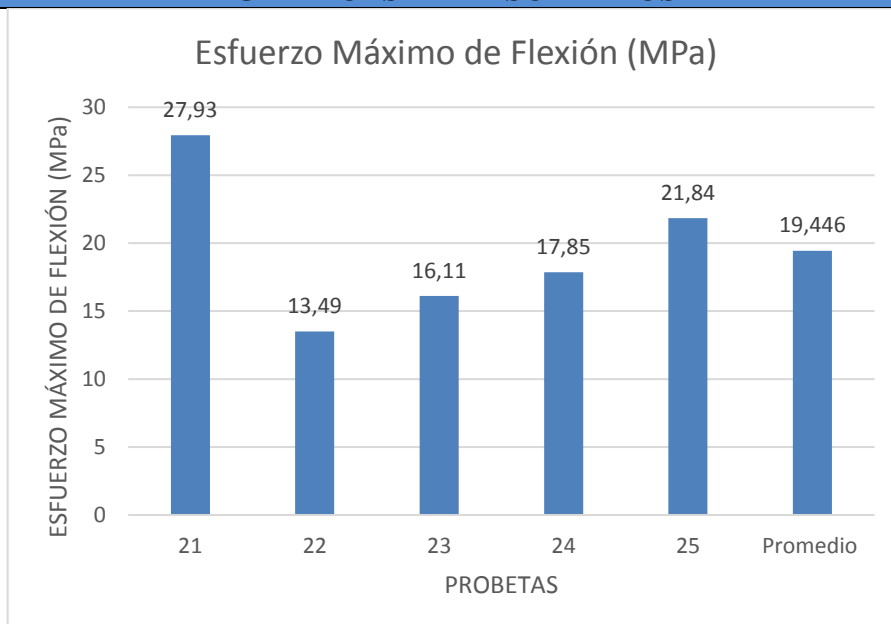
Cara frontal

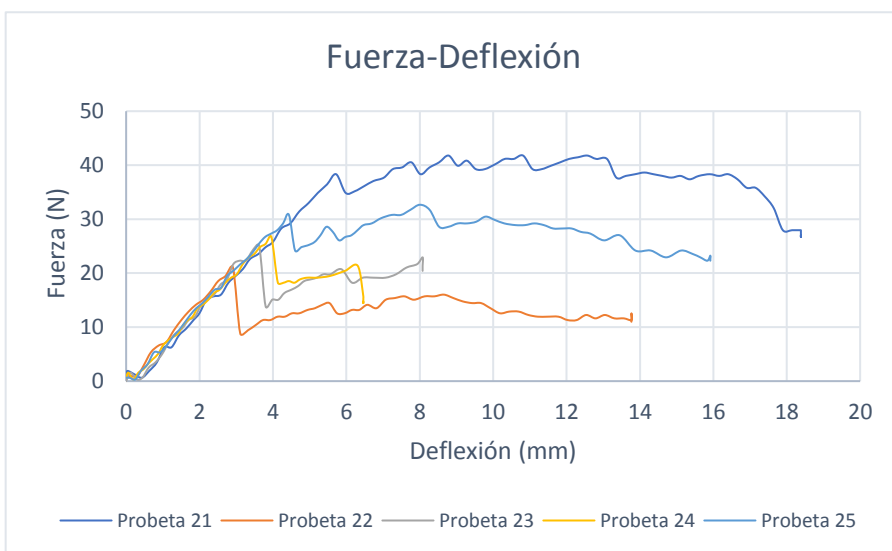
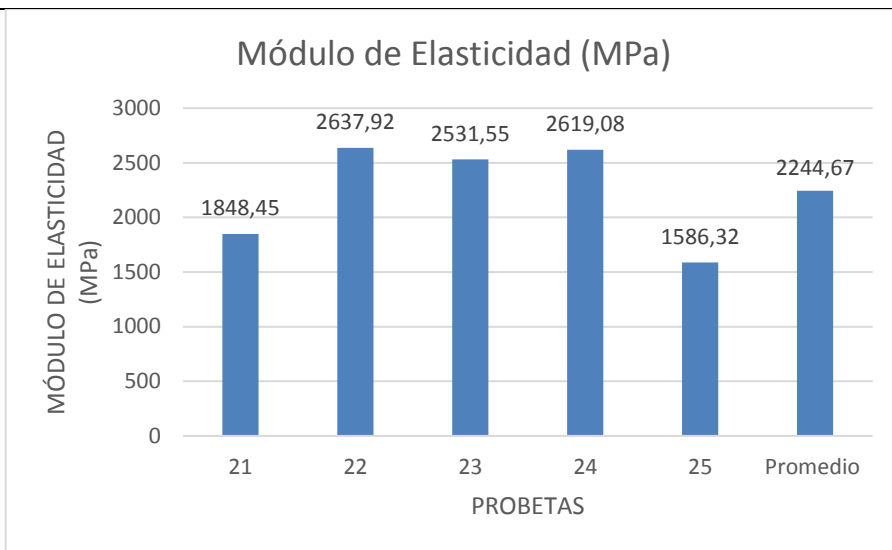


Cara posterior



GRÁFICAS DE RESULTADOS







EVALUACIÓN		OBSERVACIONES
Esfuerzo Máximo Promedio (MPa)	19,446	-El tipo de falla OLB hace referencia que el área de falla está entre la carga y el punto de apoyo, localizada en el fondo de la probeta. -El tipo de falla OAB hace referencia que el área de falla está en el punto de carga y que está localizada en el fondo de la probeta.
Módulo de Elasticidad Promedio (MPa)	2244,67	
Espesor real promedio (mm)	4,74	
Elaborado por:	Vinicio Tonato	Aprobado por: Ing. Oscar Analuiza

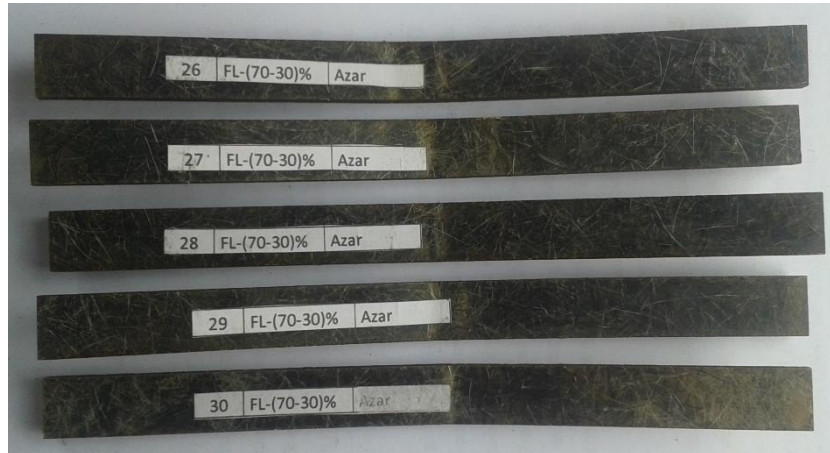
Fuente: El autor

Tabla 24. Ficha técnica de recolección de datos de ensayo a flexión, 70% Resina poliéster, 30% Fibra (pelo de res) entrecruzada al azar.

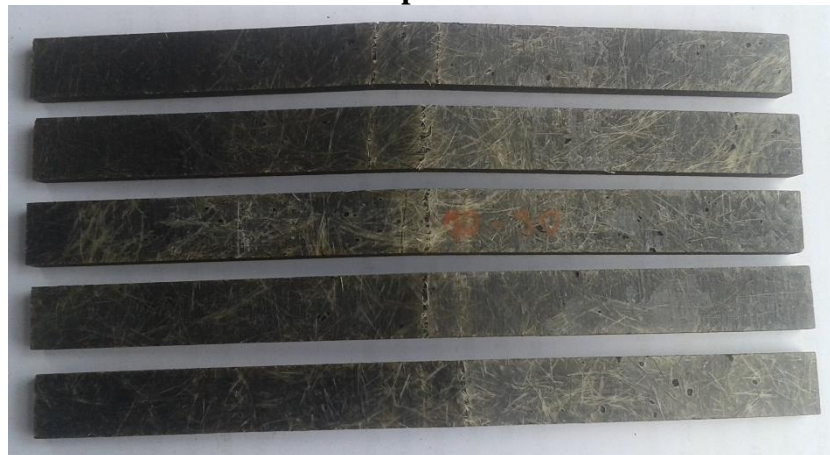
 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA							
FICHA TÉCNICA DE ENSAYO DE FLEXIÓN							
DATOS INFORMATIVOS							
Fecha:	26/02/2020	Ciudad:	Quito				
Lugar:	ESPE-Laboratorio de resistencia de materiales						
Máquina:	Máquina de ensayos universal marca MTS 5000N						
PARÁMETROS DE ENSAYO							
Matriz:	Resina poliéster	Fracción volumétrica:	70%				
Refuerzo:	Fibra pelo de res	Fracción volumétrica:	30%				
Norma:	ASTM D7264-15	Orientación de la fibra	Entrecruzada al azar				
Estratificación:	Compresión	Característica de la fibra:	Corta				
Velocidad de ensayo:	10mm/min	Numero de probetas:	5				
Distancia entre apoyos:	128mm	Longitud probeta:	160mm				
Ancho probeta:	13mm	Espesor promedio (mm):	5,82				
TABULACIÓN DE RESULTADOS							
Probeta	Espesor (mm)	Carga máxima (N)	Deflexión (mm)	Esfuerzo máximo de flexión (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Deformación máxima (%)	Tipo de falla
26	6,1	68,80	8,26	27,31	1479,94	1,85	OAV
27	6,2	78,22	12,21	30,05	1084,06	2,77	OAB
28	6,2	71,94	13,33	27,64	913,25	3,03	OAB
29	5,8	55,91	8,00	24,55	1444,58	1,70	OAB
30	4,8	36,44	6,23	23,36	2133,01	1,10	OLB
Promedio \bar{X}		62,262	9,606	26,581	1410,97	2,088	
Desviación estándar Sn-1		16,569	3,018	2,656	469,527	0,798	
Coeficiente de variación CV		26,613	31,420	9,994	33,277	38,209	

FOTOGRAFÍAS DEL ENSAYO

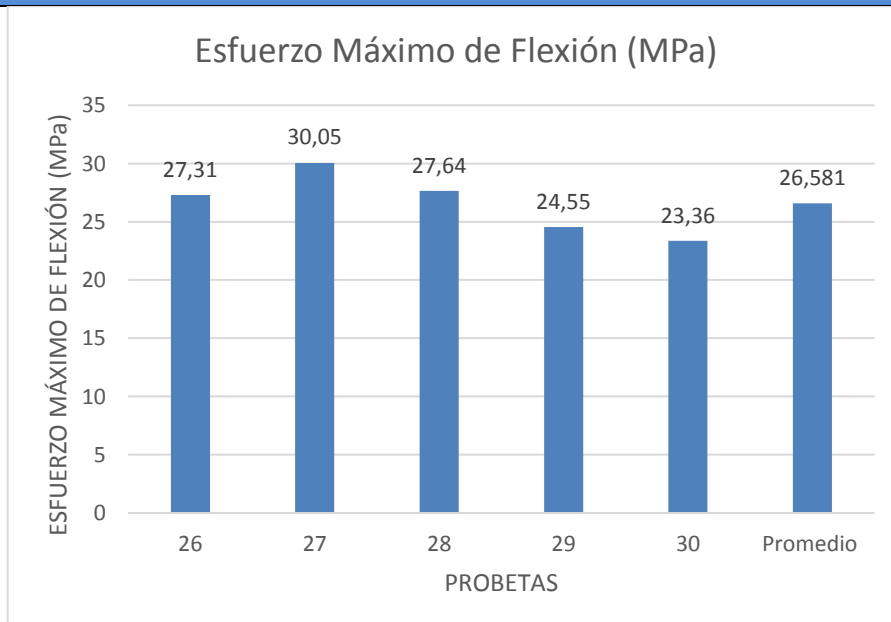
Cara frontal

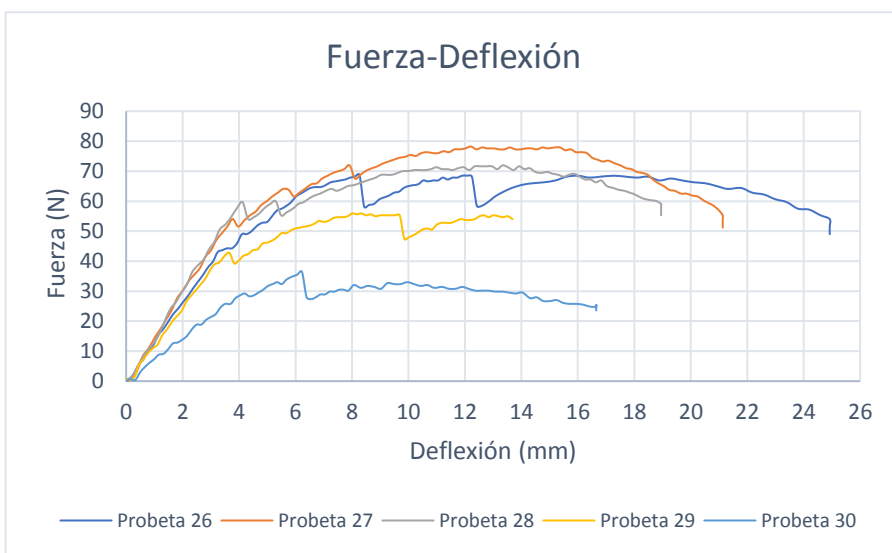
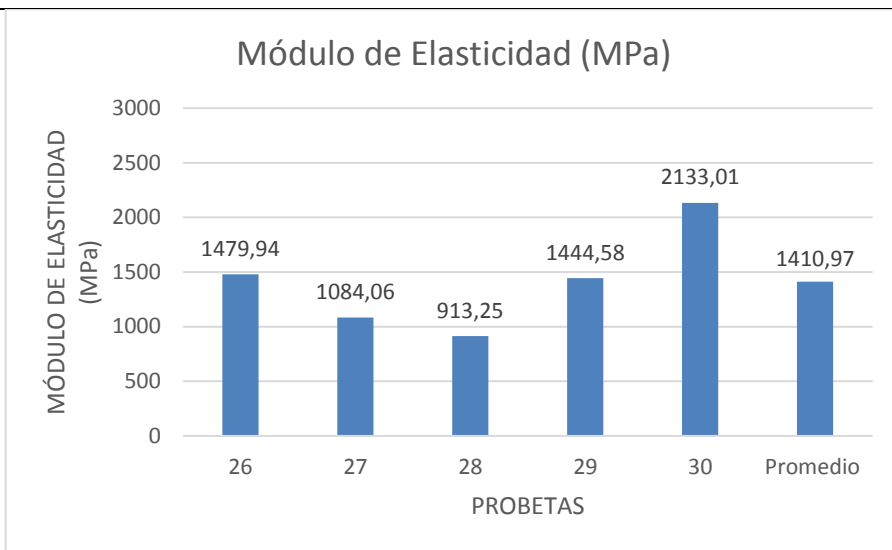


Cara posterior



GRÁFICAS DE RESULTADOS





EVALUACIÓN		OBSERVACIONES
Esfuerzo Máximo Promedio (MPa)	26,581	-El tipo de falla OLV hace referencia que la falla está en el punto de carga, localizada en varios puntos. -El tipo de falla OAB hace referencia que el área de falla está en el punto de carga y que está localizada en el fondo de la probeta. -El tipo de falla OLB hace referencia que el área de falla está entre la carga y el punto de apoyo, localizada en el fondo de la probeta.
Módulo de Elasticidad Promedio (MPa)	1410,97	
Espesor real promedio (mm)	5,82	
Elaborado por:	Vinicio Tonato	Aprobado por: Ing. Oscar Analuiza

Fuente: El autor

3.1.2.1. Codificación de fallas evaluadas a Flexión

Según la Norma ASTM D7264 en la siguiente tabla se presentan los tipos de fallas:

Tabla 25. Tipos de fallas a flexión

Primer carácter		Segundo carácter		Tercer carácter	
O	Otros	A	En el punto de carga	B	Fondo
		L	Entre la carga y el punto de apoyo	V	Varios
		U	No conocido	U	Desconocido

Fuente: El autor

3.1.3. Tabulación de los resultados obtenidos en los ensayos de impacto

La tabulación de resultados de los ensayos mecánicos de impacto a las cuales fueron sometidas las probetas de material compuesto se presenta a continuación en las siguientes tablas.

Tabla 26. Ficha técnica de recolección de datos de ensayo de impacto, 60% Resina poliéster, 40% Fibra (pelo de res) orientada a 0°.

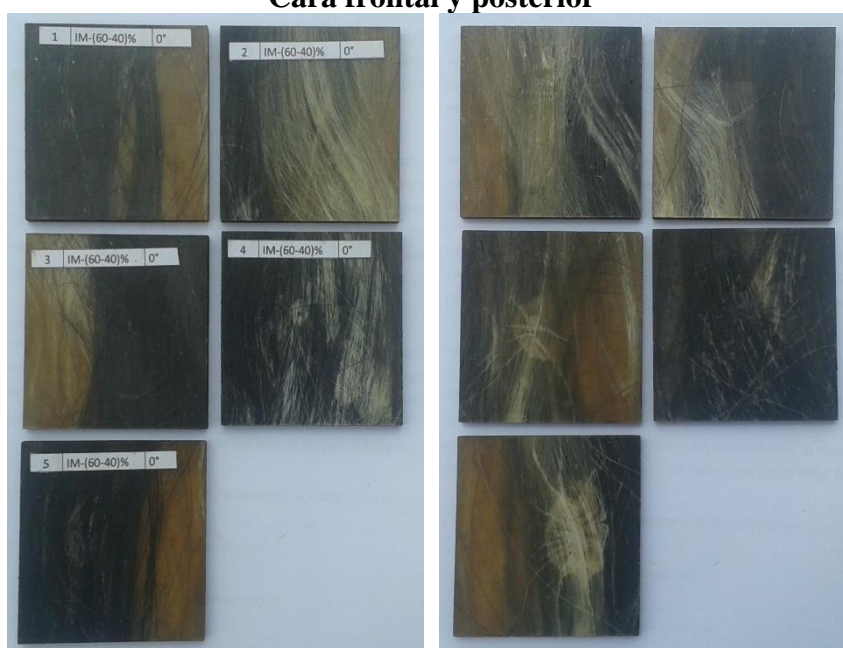
		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
		FICHA TÉCNICA DE ENSAYO DE IMPACTO			
DATOS INFORMATIVOS					
Fecha:	26/02/2020	Ciudad:	Quito		
Lugar:	ESPE-Laboratorio de resistencia de materiales				
Máquina:	Máquina de ensayos universal marca MTS 5000N				
PARÁMETROS DE ENSAYO					
Matriz:	Resina poliéster	Fracción volumétrica:	60%		
Refuerzo:	Fibra pelo de res	Fracción volumétrica:	40%		
Norma:	ASTM D5628	Orientación de la fibra	0°		
Dimensión (mm):	58*58*e	Característica de la fibra:	Larga		
Estratificación:	Compresión	Numero de probetas:	5		
Geometría/Masa del dardo:	FE / 0,2319Kg	Espesor promedio (mm):	4,54		

TABULACIÓN DE RESULTADOS

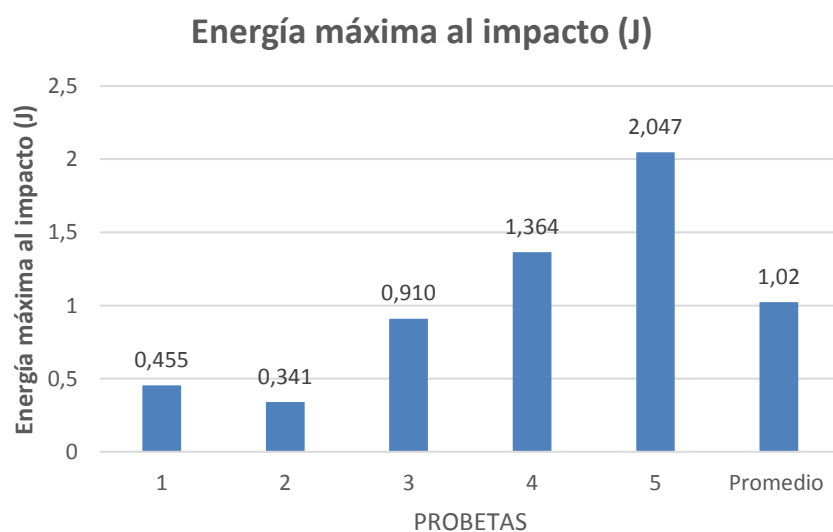
Probeta	Dimensiones (mm)		Peso (Kg)	Coeficiente de conversión a Joules	Energía máxima al impacto (J)	Tipo de falla
	Espesor	Altura de lanzamiento				
1	4,6	200	0,2319	0,00980665	0,455	A
2	4,5	150	0,2319	0,00980665	0,341	A
3	4,4	400	0,2319	0,00980665	0,910	A
4	4,7	600	0,2319	0,00980665	1,364	A
5	4,5	900	0,2319	0,00980665	2,047	B
Promedio \bar{X}	4,54	450	-	-	1,02	-

FOTOGRAFÍAS DEL ENSAYO

Cara frontal y posterior





GRÁFICAS DE RESULTADOS



EVALUACIÓN		OBSERVACIONES	
Energía promedio absorbida (J)	1,02	-De la probeta 1 a la 4 se presentan fallas del tipo A, grietas en una sola superficie. -La probeta 5 presenta falla del tipo B, grietas que penetran todo el espesor	
Altura promedio de lanzamiento (mm)	450		
Inicio de falla: Inicio de falla se produce en la matriz, la energía se disipa por el refuerzo pelo de res.			
Elaborado por:	Vinicio Tonato	Aprobado por:	Ing. Oscar Analuiza

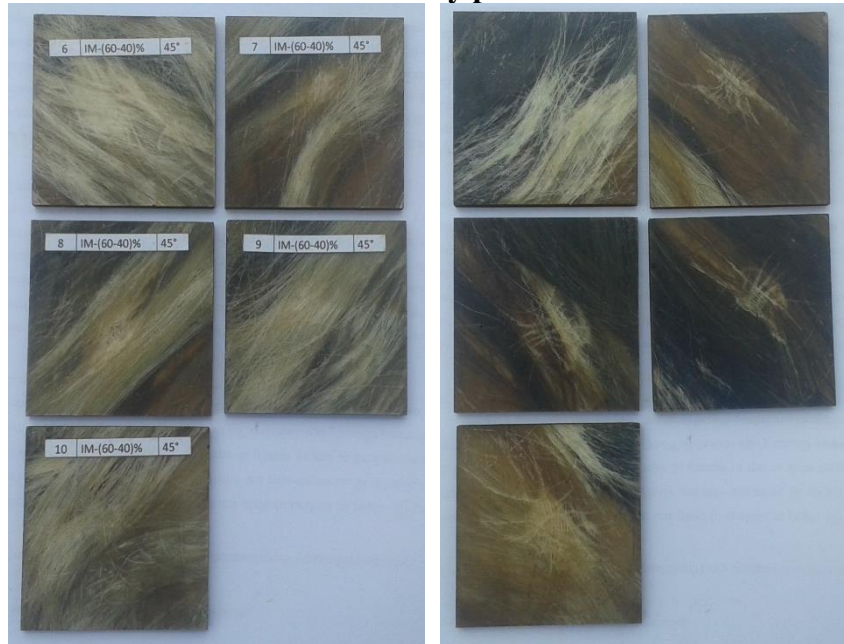
Fuente: El autor

Tabla 27. Ficha técnica de recolección de datos de ensayo de impacto, 60% Resina poliéster, 40% Fibra (pelo de res) orientada a 45°.

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA				
		FICHA TÉCNICA DE ENSAYO DE IMPACTO				
DATOS INFORMATIVOS						
Fecha:	26/02/2020	Ciudad:	Quito			
Lugar:	ESPE-Laboratorio de resistencia de materiales					
Máquina:	Máquina de ensayos universal marca MTS 5000N					
PARÁMETROS DE ENSAYO						
Matriz:	Resina poliéster	Fracción volumétrica:	60%			
Refuerzo:	Fibra pelo de res	Fracción volumétrica:	40%			
Norma:	ASTM D5628	Orientación de la fibra	45°			
Dimensión (mm):	58*58*e	Característica de la fibra:	Larga			
Estratificación:	Compresión	Numero de probetas:	5			
Geometría/Masa del dardo:	FE / 0,2319Kg	Espesor promedio (mm):	4,38			
TABULACIÓN DE RESULTADOS						
Probeta	Dimensiones (mm)		Peso (Kg)	Coeficiente de conversión a Joules	Energía máxima al impacto (J)	Tipo de falla
	Espesor	Altura de lanzamiento				
6	4,6	900	0,2319	0,00980665	2,047	B
7	4,2	800	0,2319	0,00980665	1,819	B
8	4,3	600	0,2319	0,00980665	1,364	A
9	4,5	400	0,2319	0,00980665	0,910	A
10	4,3	200	0,2319	0,00980665	0,455	A
Promedio \bar{X}	4,38	580	-	-	1,32	-

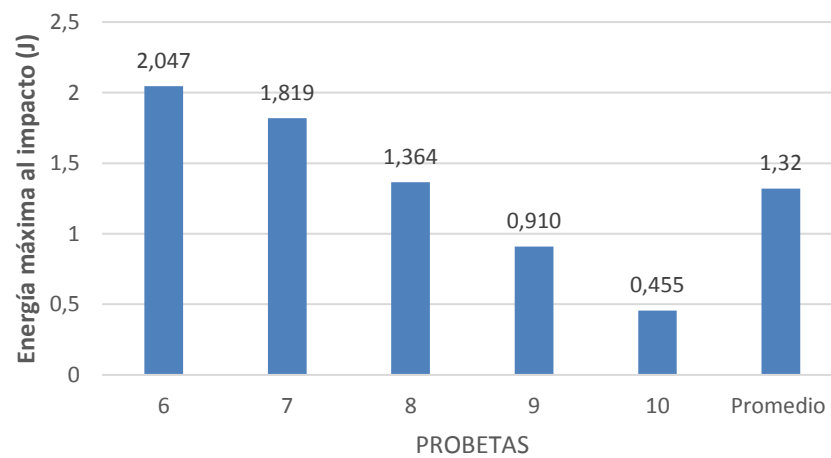
FOTOGRAFÍAS DEL ENSAYO

Cara frontal y posterior



GRÁFICAS DE RESULTADOS



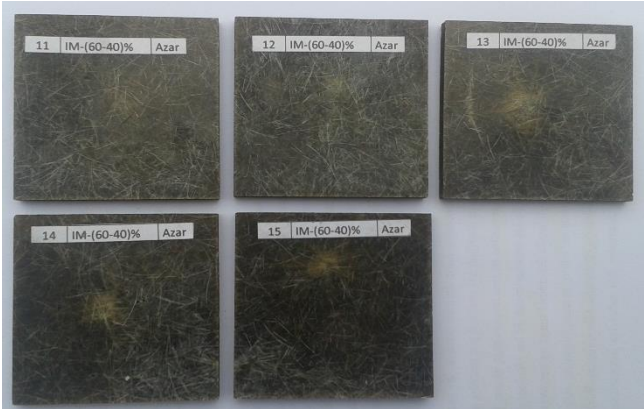
Energía máxima al impacto (J)



EVALUACIÓN		OBSERVACIONES	
Energía promedio absorbida (J)	1,32	-De la probeta 6 a la 7 se presentan fallas del tipo B, grietas que penetran todo el espesor. -De la probeta 8 a la 10 se presentan fallas del tipo A, grietas en una sola superficie.	
Altura promedio de lanzamiento (mm)	580		
Inicio de falla: Inicio de falla se produce en la matriz, la energía se disipa por el refuerzo pelo de res.			
Elaborado por: Vinicio Tonato		Aprobado por: Ing. Oscar Analuiza	

Fuente: El autor

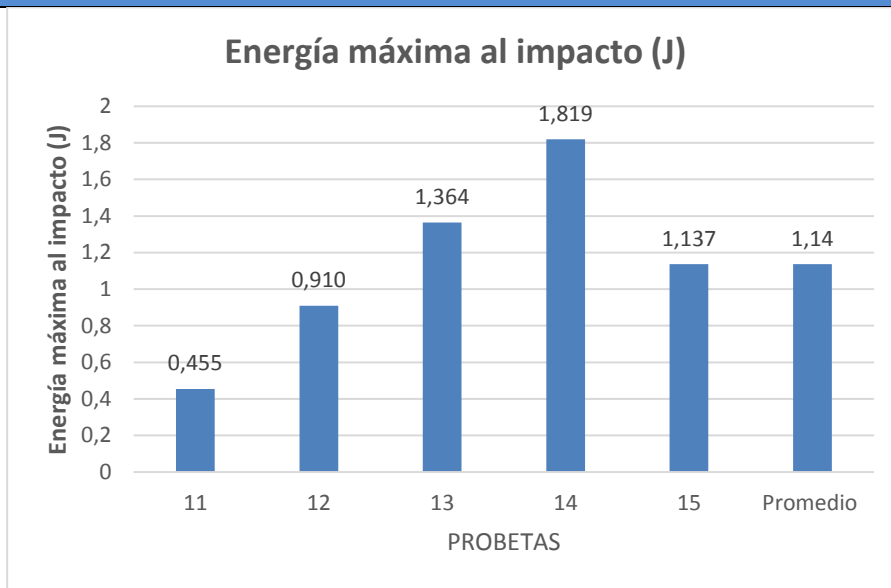
Tabla 28. Ficha técnica de recolección de datos de ensayo de impacto, 60% Resina poliéster, 40% Fibra (pelo de res) entrecruzada al azar.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA						
FICHA TÉCNICA DE ENSAYO DE IMPACTO						
DATOS INFORMATIVOS						
Fecha:	26/02/2020	Ciudad:	Quito			
Lugar:	ESPE-Laboratorio de resistencia de materiales					
Máquina:	Máquina de ensayos universal marca MTS 5000N					
PARÁMETROS DE ENSAYO						
Matriz:	Resina poliéster	Fracción volumétrica:	60%			
Refuerzo:	Fibra pelo de res	Fracción volumétrica:	40%			
Norma:	ASTM D5628	Orientación de la fibra	Entrecruzada al azar			
Dimensión (mm):	58*58*e	Característica de la fibra:	Corta			
Estratificación:	Compresión	Numero de probetas:	5			
Geometría/Masa del dardo:	FE / 0,2319Kg	Espesor promedio (mm):	5,52			
TABULACIÓN DE RESULTADOS						
Probeta	Dimensiones (mm)		Peso (Kg)	Coeficiente de conversión a Joules	Energía máxima al impacto (J)	Tipo de falla
	Espesor	Altura de lanzamiento				
11	6	200	0,2319	0,00980665	0,455	A
12	5,2	400	0,2319	0,00980665	0,910	A
13	5,2	600	0,2319	0,00980665	1,364	A
14	5,2	800	0,2319	0,00980665	1,819	A
15	6	500	0,2319	0,00980665	1,137	A
Promedio \bar{X}	5,52	500	-	-	1,14	-
FOTOGRAFÍAS DEL ENSAYO						
Cara frontal						
						

Cara Posterior






GRÁFICAS DE RESULTADOS



EVALUACIÓN		OBSERVACIONES	
Energía promedio absorbida (J)	1,14	-Todo el grupo de probetas presentan fallas del tipo A, grietas en una sola superficie.	
Altura promedio de lanzamiento (mm)	500		
Inicio de falla: Inicio de falla se produce en la matriz, la energía se disipa por el refuerzo pelo de res.			
Elaborado por:	Vinicio Tonato	Aprobado por:	Ing. Oscar Analuiza

Fuente: El autor

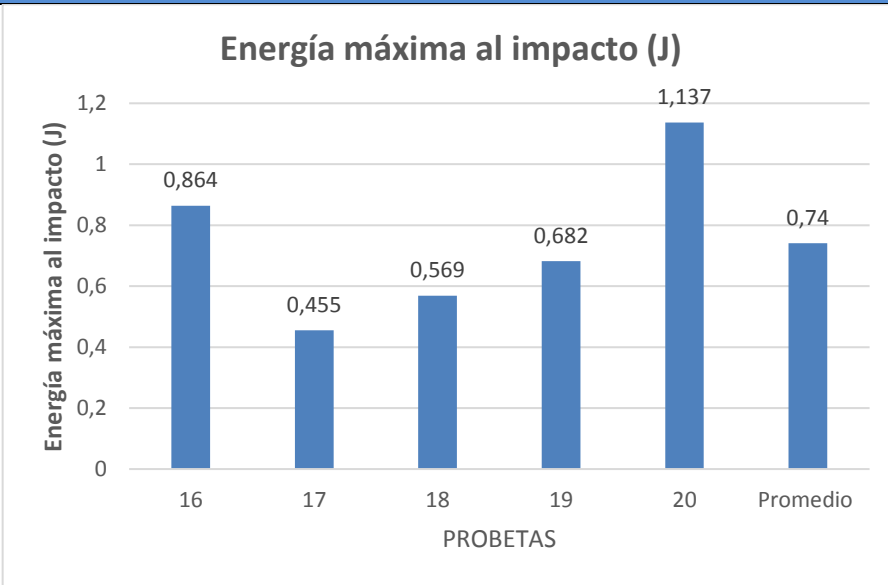
Tabla 29. Ficha técnica de recolección de datos de ensayo de impacto, 70% Resina poliéster, 30% Fibra (pelo de res) orientada a 0°.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA						
FICHA TÉCNICA DE ENSAYO DE IMPACTO						
DATOS INFORMATIVOS						
Fecha:	26/02/2020	Ciudad:	Quito			
Lugar:	ESPE-Laboratorio de resistencia de materiales					
Máquina:	Máquina de ensayos universal marca MTS 5000N					
PARÁMETROS DE ENSAYO						
Matriz:	Resina poliéster	Fracción volumétrica:	70%			
Refuerzo:	Fibra pelo de res	Fracción volumétrica:	30%			
Norma:	ASTM D5628	Orientación de la fibra	0°			
Dimensión (mm):	58*58*e	Característica de la fibra:	Larga			
Estratificación:	Compresión	Numero de probetas:	5			
Geometría/Masa del dardo:	FE / 0,2319Kg	Espesor promedio (mm):	4,68			
TABULACIÓN DE RESULTADOS						
Probeta	Dimensiones (mm)		Peso (Kg)	Coeficiente de conversión a Joules	Energía máxima al impacto (J)	Tipo de falla
	Espesor	Altura de lanzamiento				
16	4,7	380	0,2319	0,00980665	0,864	B
17	4,7	200	0,2319	0,00980665	0,455	A
18	5	250	0,2319	0,00980665	0,569	A
19	4,3	300	0,2319	0,00980665	0,682	A
20	4,7	500	0,2319	0,00980665	1,137	A
Promedio \bar{X}	4,68	326	-	-	0,74	
FOTOGRAFÍAS DEL ENSAYO						
Cara frontal						
						

Cara Posterior






GRÁFICAS DE RESULTADOS



EVALUACIÓN		OBSERVACIONES	
Energía promedio absorbida (J)	0,74	-La probeta 16 presenta falla del tipo B, grietas que penetran todo el espesor. -De la probeta 17 a la 20 se presentan fallas del tipo A, grietas en una sola superficie.	
Altura promedio de lanzamiento (mm)	326		
Inicio de falla: Inicio de falla se produce en la matriz, la energía se disipa por el refuerzo pelo de res.			
Elaborado por:	Vinicio Tonato	Aprobado por:	Ing. Oscar Analuiza

Fuente: El autor

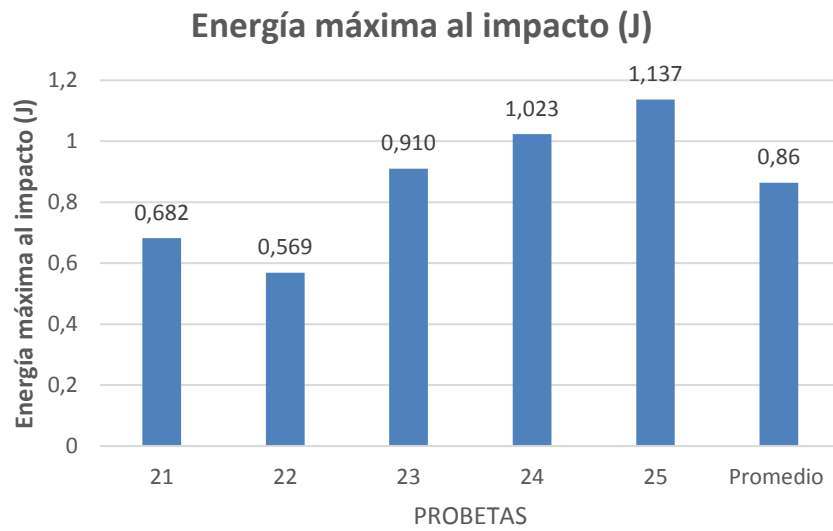
Tabla 30. Ficha técnica de recolección de datos de ensayo de impacto, 70% Resina poliéster, 30% Fibra (pelo de res) orientada a 45°.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA						
FICHA TÉCNICA DE ENSAYO DE IMPACTO						
DATOS INFORMATIVOS						
Fecha:	26/02/2020	Ciudad:	Quito			
Lugar:	ESPE-Laboratorio de resistencia de materiales					
Máquina:	Máquina de ensayos universal marca MTS 5000N					
PARÁMETROS DE ENSAYO						
Matriz:	Resina poliéster	Fracción volumétrica:	70%			
Refuerzo:	Fibra pelo de res	Fracción volumétrica:	30%			
Norma:	ASTM D5628	Orientación de la fibra	45°			
Dimensión (mm):	58*58*e	Característica de la fibra:	Larga			
Estratificación:	Compresión	Numero de probetas:	5			
Geometría/Masa del dardo:	FE / 0,2319Kg	Espesor promedio (mm):	4,54			
TABULACIÓN DE RESULTADOS						
Probeta	Dimensiones (mm)		Peso (Kg)	Coeficiente de conversión a Joules	Energía máxima al impacto (J)	Tipo de falla
	Espesor	Altura de lanzamiento				
21	4,3	300	0,2319	0,00980665	0,682	A
22	4,7	250	0,2319	0,00980665	0,569	A
23	4,7	400	0,2319	0,00980665	0,910	A
24	4,3	450	0,2319	0,00980665	1,023	A
25	4,7	500	0,2319	0,00980665	1,137	A
Promedio \bar{X}	4,54	380	-	-	0,86	
FOTOGRAFÍAS DEL ENSAYO						
Cara frontal						
						

Cara Posterior





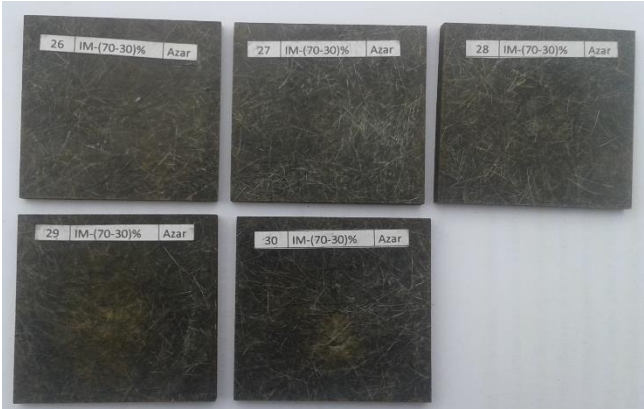
GRÁFICAS DE RESULTADOS

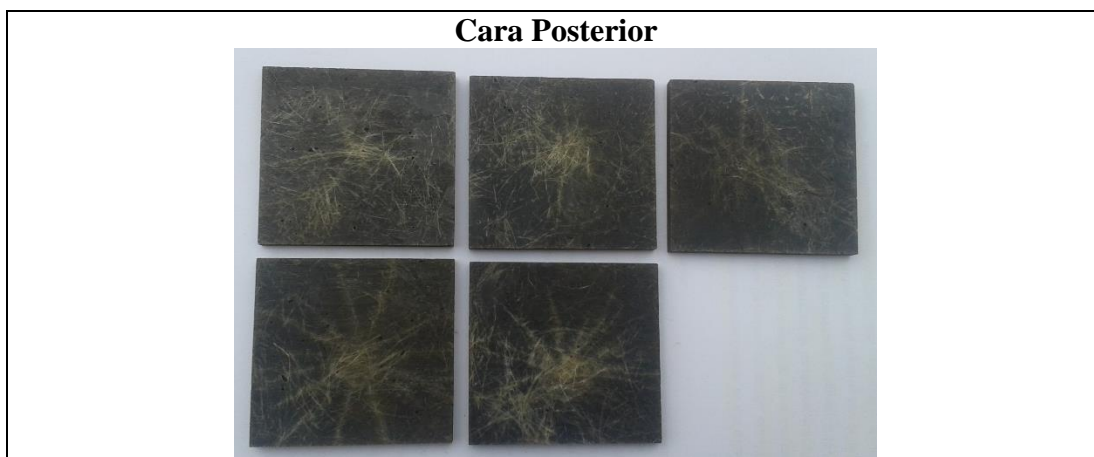


EVALUACIÓN		OBSERVACIONES	
Energía promedio absorbida (J)	0,86	-Todo el grupo de probetas presentan fallas del tipo A, grietas en una sola superficie.	
Altura promedio de lanzamiento (mm)	380		
Inicio de falla: El inicio de falla se produce en la matriz, la energía se disipa por el refuerzo pelo de res.			
Elaborado por:	Vinicio Tonato	Aprobado por:	Ing. Oscar Analuiza

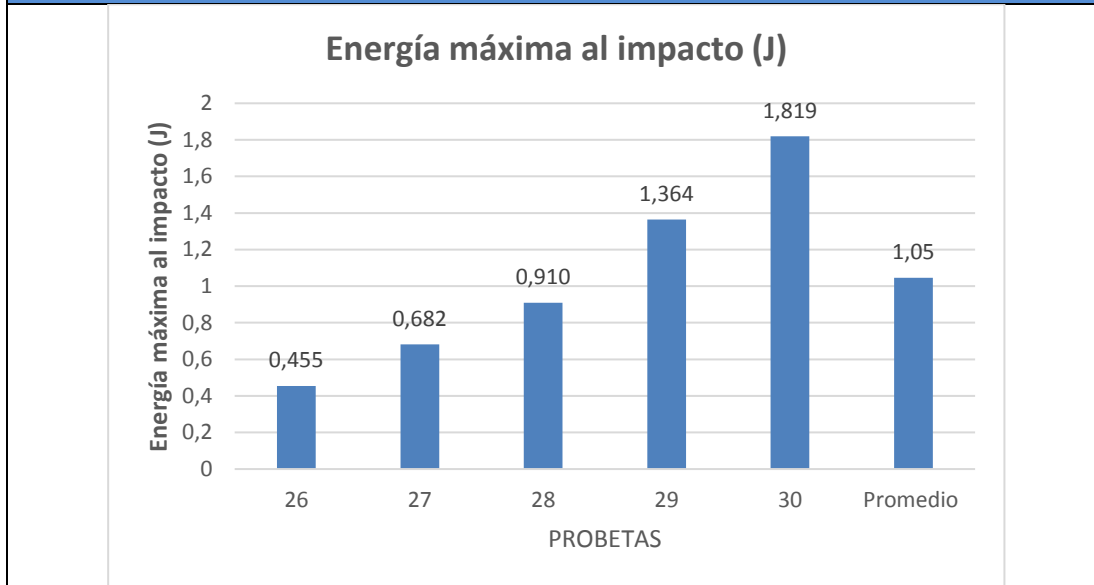
Fuente: El autor

Tabla 31. Ficha técnica de recolección de datos de ensayo de impacto, 70% Resina poliéster, 30% Fibra (pelo de res) entrecruzada al azar.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA						
FICHA TÉCNICA DE ENSAYO DE IMPACTO						
DATOS INFORMATIVOS						
Fecha:	26/02/2020	Ciudad:	Quito			
Lugar:	ESPE-Laboratorio de resistencia de materiales					
Máquina:	Máquina de ensayos universal marca MTS 5000N					
PARÁMETROS DE ENSAYO						
Matriz:	Resina poliéster	Fracción volumétrica:	70%			
Refuerzo:	Fibra pelo de res	Fracción volumétrica:	30%			
Norma:	ASTM D5628	Orientación de la fibra	Entrecruzada al azar			
Dimensión (mm):	58*58*e	Característica de la fibra:	Corta			
Estratificación:	Compresión	Numero de probetas:	5			
Geometría/Masa del dardo:	FE / 0,2319Kg	Espesor promedio (mm):	4,98			
TABULACIÓN DE RESULTADOS						
Probeta	Dimensiones (mm)		Peso (Kg)	Coeficiente de conversión a Joules	Energía máxima al impacto (J)	Tipo de falla
	Espesor	Altura de lanzamiento				
26	4,3	200	0,2319	0,00980665	0,455	A
27	4,7	300	0,2319	0,00980665	0,682	A
28	4,7	400	0,2319	0,00980665	0,910	A
29	5,6	600	0,2319	0,00980665	1,364	A
30	5,6	800	0,2319	0,00980665	1,819	A
Promedio \bar{X}	4,98	460	-	-	1,05	
FOTOGRAFÍAS DEL ENSAYO						
Cara frontal						
						



GRÁFICAS DE RESULTADOS



EVALUACIÓN		OBSERVACIONES	
Energía promedio absorbida (J)	1,05	-Todo el grupo de probetas presentan fallas del tipo A, grietas en una sola superficie.	
Altura promedio de lanzamiento (mm)	460		
Inicio de falla: El inicio de falla se produce en la matriz, la energía se disipa por el refuerzo pelo de res.			
Elaborado por:	Vinicio Tonato	Aprobado por:	Ing. Oscar Analuiza

Fuente: El autor

3.1.3.1. Nomenclatura de los tipos de fallas para ensayos de impacto

En la siguiente tabla se muestra los tipos de falla según la Norma ASTM D5628.

Tabla 32. Tipos de falla a impacto

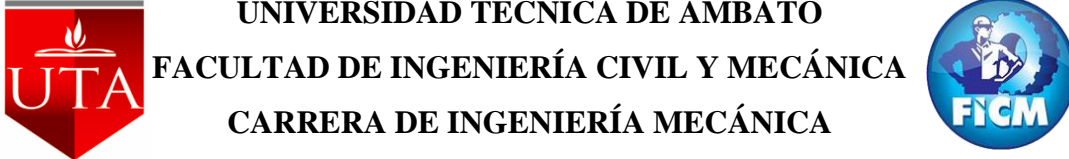
Fallas en ensayo de impacto	
Falla tipo A	Grietas en una sola superficie, la placa sería capaz de retener agua.
Falla tipo B	Grietas que penetran en todo el espesor, el agua posiblemente sería capaz de penetrar a través de la placa.
Falla tipo C	Quebradizo, la placa es partida en varias piezas.
Falla tipo D	Falla dúctil, la placa es penetrada pero no se parte en varias partes.

Fuente: El autor

3.2. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

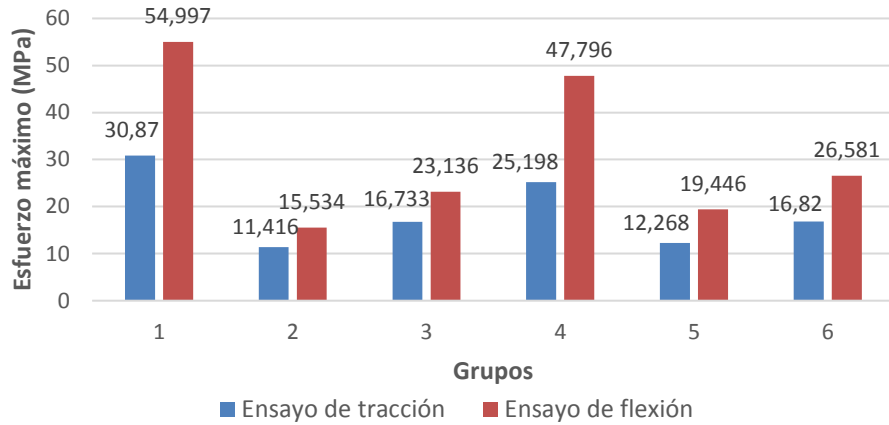
En la siguiente ficha técnica se presenta el análisis de los resultados obtenidos en los respectivos ensayos de tracción, flexión e impacto, considerando la configuración y fracción volumétrica de cada grupo, con la finalidad de analizar las propiedades mecánicas obtenidas del material compuesto. Los parámetros analizados fueron: el esfuerzo máximo (MPa) y el módulo de elasticidad (MPa) para ensayos de tracción y flexión, y la energía de impacto (J) para impacto.

Tabla 33. Análisis de los resultados obtenidos en los respectivos ensayos de tracción, flexión e impacto.

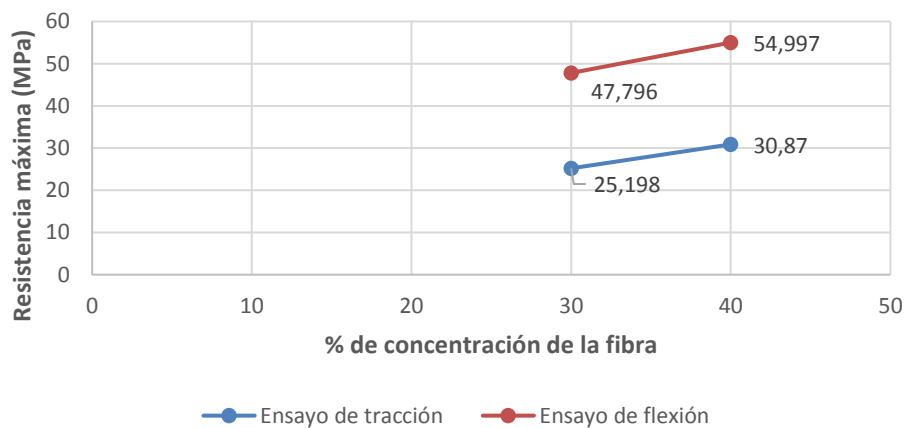
					
ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS PROMEDIOS DE CADA GRUPO DE MATERIAL COMPUESTO (Resina poliéster +Fibra de pelo de res)					
Grupo de Probetas	Ensayo de Tracción		Ensayo de Flexión		Ensayo de Impacto
	Esfuerzo máximo de tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Esfuerzo máximo de flexión (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Energía de impacto (J)
1	30,87	1843,17	54,997	1618,26	1,02
2	11,416	2445,89	15,534	2147,53	1,32
3	16,733	2343,28	23,136	1206,79	1,14
4	25,198	1716,80	47,796	1400,19	0,74
5	12,268	2382,71	19,446	2244,67	0,86
6	16,82	2266,29	26,581	1410,97	1,05

GRÁFICAS DE RESULTADOS

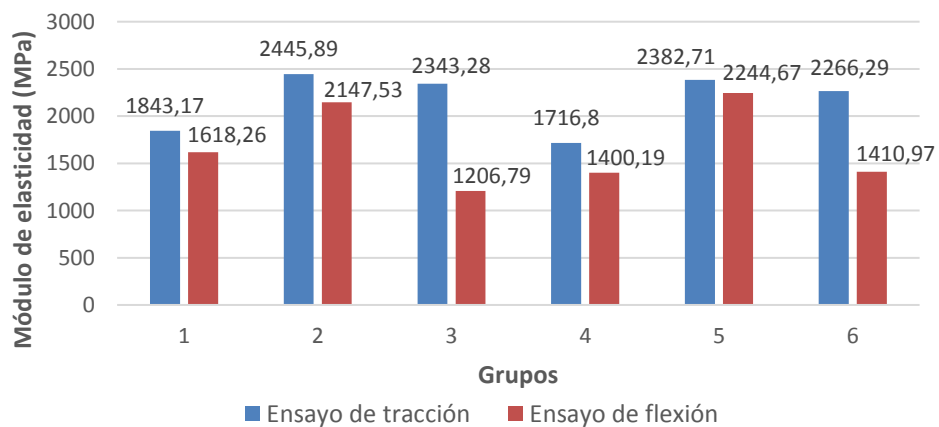
Comparación de esfuerzos promedios máximos a tracción y flexión

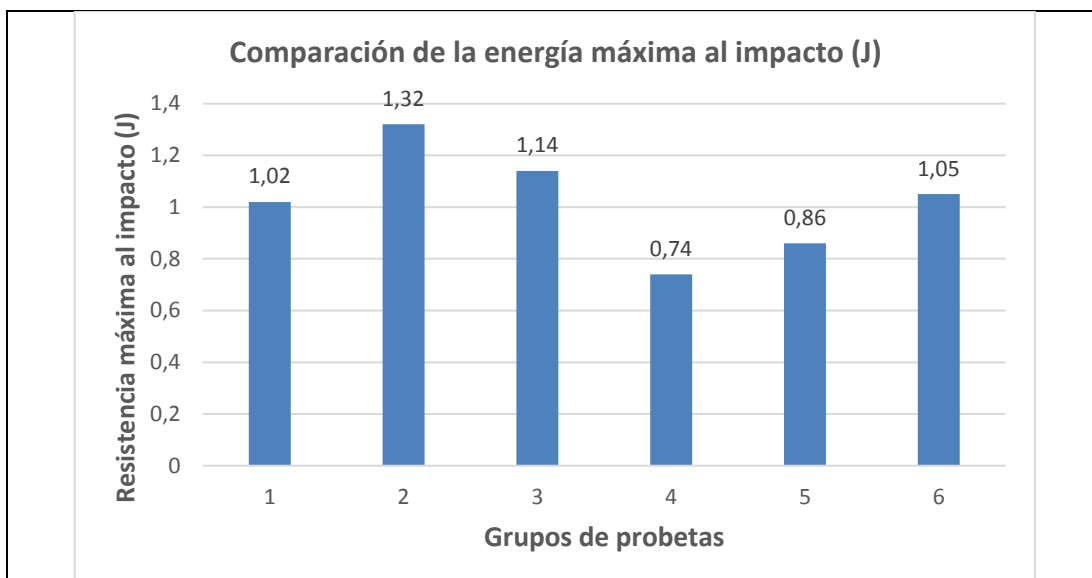


Curva de resistencia máxima vs Concentración volumétrica



Comparación de módulos de elasticidad promedios a tracción y flexión





OBSERVACIONES

- Grupo 1** corresponde al 60% de matriz y 40% de refuerzo - fibra larga a 0°
- Grupo 2** corresponde al 60% de matriz y 40% de refuerzo - fibra larga a 45°
- Grupo 3** corresponde al 60% de matriz y 40% de refuerzo - fibra corta entrecruzada al azar
- Grupo 4** corresponde al 70% de matriz y 30% de refuerzo - fibra larga a 0°
- Grupo 5** corresponde al 70% de matriz y 30% de refuerzo - fibra larga a 45°
- Grupo 6** corresponde al 70% de matriz y 30% de refuerzo - fibra corta entrecruzada al azar

ANÁLISIS DE RESULTADOS

- ✓ Como se puede observar en las gráficas los resultados sobresalientes adquiridos de los ensayos realizados, donde se obtiene un valor de 30,87 MPa para el esfuerzo máximo de tracción perteneciente al grupo 1, con una fracción volumétrica de 60% de resina y 40% de fibra larga orientada a 0° y para el esfuerzo máximo de flexión se obtiene 54,997 MPa, de igual forma perteneciente al grupo 1, con la misma configuración.
- ✓ Como se puede observar en la gráfica de comparación de módulos de elasticidad los resultados sobresalientes adquiridos de los ensayos realizados, donde se obtiene un valor de 2445,89 MPa para el módulo de elasticidad de tracción perteneciente al grupo 2, con una fracción volumétrica de 60% de resina y 40% de fibra larga orientada a 45° y para el módulo de elasticidad en flexión se obtiene 2244,67 MPa, perteneciente al grupo 5, con una fracción volumétrica de 70% de resina y 30% de fibra larga orientada a 45°.
- ✓ En la gráfica de comparación de la energía máxima al impacto podemos observar el valor que presenta el mejor resultado con 1.32 J de energía de impacto, perteneciente al grupo 2, con una fracción volumétrica de 60% resina y 30% de fibra larga orientada a 45°.

Elaborado por:	Vinicio Tonato	Aprobado por:	Ing. Oscar Analuiza
-----------------------	----------------	----------------------	---------------------

Fuente: El autor.

3.3. VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS

En el presente trabajo experimental la hipótesis planteada se la verificó mediante el método estadístico de la t-Student para los distintos grupos de probetas con respecto a su fracción volumétrica y disposición de fibra.

Hipótesis Nula (H₀)

Con el análisis del material compuesto de matriz poliéster reforzado con fibra de pelo de res no se podrá determinar las propiedades mecánicas más aptas para futuras aplicaciones industriales.

Hipótesis Alternativa (H_a)

Con el análisis del material compuesto de matriz poliéster reforzado con fibra de pelo de res se podrá determinar las propiedades mecánicas más aptas para futuras aplicaciones industriales.

La verificación de la hipótesis se desarrolló mediante un ensayo bilateral de doble cola, esto debido a la afirmación o planteamiento de la hipótesis alternativa H_a, con un nivel de confianza del 95% y un nivel de significancia del 5%.

Procedemos a calcular la probabilidad para lo cual se aplicó la ecuación 3.1:

$$P = \frac{\alpha}{100} \quad \text{Ec. (3.1)}$$

Donde:

P = probabilidad

α = nivel de significancia

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

$$P = 0.05$$

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

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

$$P = 0.025$$

A continuación, procedemos a calcular los grados de libertad aplicando la ecuación 3.2:

$$Gl = n - 1 \tag{Ec. (3.2)}$$

Donde:

Gl = Grados de libertad

n = número de muestras

$$Gl = 5 - 1$$

$$Gl = 4$$

Con la probabilidad y los grados de libertad procedemos a determinar el valor de t tabulado mediante la tabla t-Student como se muestra a continuación en la figura 23.

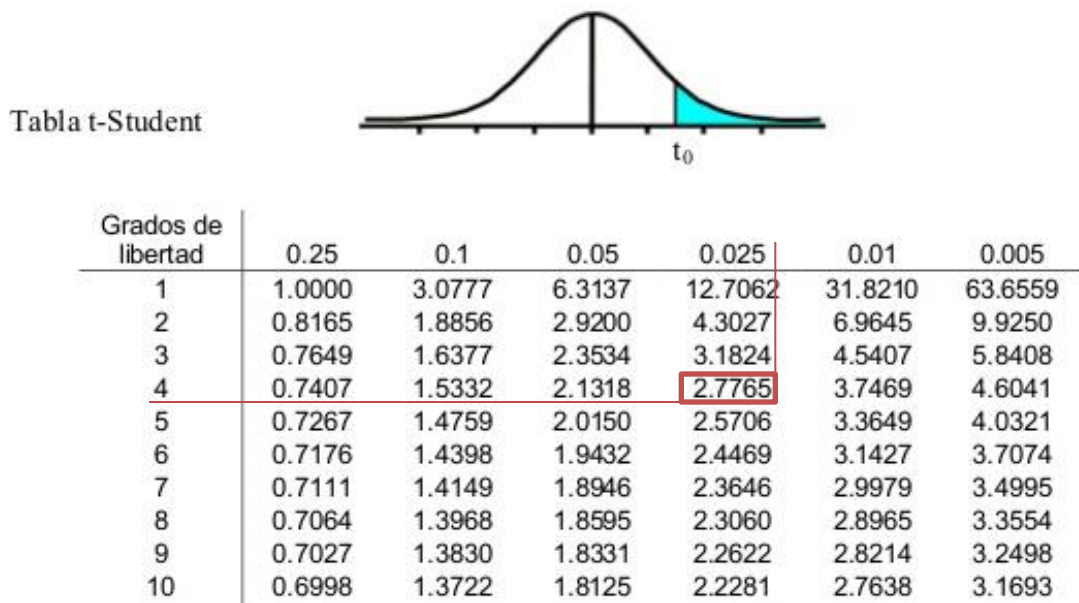


Figura 23. Distribución t-Student [24].

Por lo tanto, obtuvimos el valor de:

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

Regla de decisión

Se acepta la hipótesis alterna H_a (Con el análisis del material compuesto de matriz poliéster reforzado con fibra de pelo de res se podrá determinar las propiedades mecánicas más aptas para futuras aplicaciones industriales) si el valor de t calculado está fuera del rango de -2.78 a 2.78 . caso contrario se acepta la hipótesis nula H_0 (Con el análisis del material compuesto de matriz poliéster reforzado con fibra de pelo de res no se podrá determinar las propiedades mecánicas más aptas para futuras aplicaciones industriales).

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

Para la verificación de la hipótesis se tomó al grupo 1 y 4 debido a que estos presentan las mejores características de los ensayos de tracción.

Tabla 34. Verificación de la hipótesis de las probetas del grupo 1 y 4

PROBETA	Esfuerzo máximo de tracción (MPa)		H=G1-G4	H ²
	GRUPO 1	GRUPO 4		
1	33,48	28,70	4,78	22,80
2	32,23	23,30	8,93	79,72
3	25,28	24,03	1,25	1,57
4	29,37	23,24	6,13	37,58
5	33,99	26,72	7,27	52,87
SUMA	154,35	125,99	28,36	194,56
PROMEDIO	30,870	25,198	5,672	

Fuente: El autor

Con los datos obtenidos procedemos a calcular las varianzas de las diferencias aplicando la ecuación 3.3:

$$S^2d = \frac{\Sigma H^2 - \frac{(\Sigma H)^2}{n}}{n(n-1)} \quad \text{Ec. (3.3)}$$

Donde:

S^2d = desviación

H = Diferencia entre los datos

n = número de muestras

$$S^2d = \frac{194.56 - \frac{(28.36)^2}{5}}{5(5 - 1)}$$

$$S^2d = 1.68$$

$$Sd = 1.3$$

Con el resultado anterior procedemos a calcular la t calculada con la ecuación 3.4:

$$t_{cal} = \frac{\bar{H}}{Sd} \quad \text{Ec. (3.4)}$$

Donde:

\bar{H} = Promedio de la diferencia

t_{cal} = t calculado

$$t_{cal} = \frac{5.67}{1.3}$$

$$t_{cal} = 4.37$$

$$t_{cal} = 4.37 > t_{tab} = 2.78$$

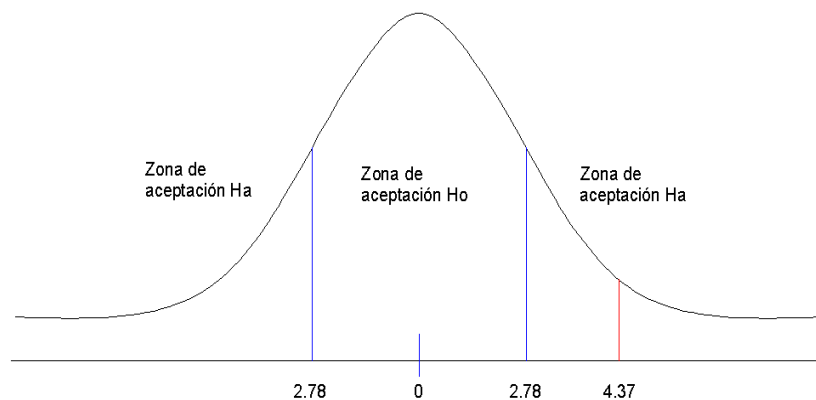


Figura 24. Campana de distribución del grupo 1 y 4 de los ensayos de tracción.

Fuente: El Autor

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

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

Para la verificación de la hipótesis se tomó al grupo 1 y 4 debido a que estos presentan las mejores características de los ensayos de flexión.

Tabla 35. Verificación de la hipótesis de las probetas del grupo 1 y 4

PROBETA	Esfuerzo máximo de flexión (MPa)		H=G1-G4	H ²
	GRUPO 1	GRUPO 4		
1	51,41	44,95	6,46	41,73
2	46,75	36,72	10,03	100,57
3	58,61	43,48	15,13	228,87
4	61,22	57,34	3,88	15,05
5	57,00	56,50	0,51	0,26
SUMA	274,98	238,98	36,00	386,48
PROMEDIO	54,997	47,796	7,201	

Fuente: El autor

Con los datos obtenidos procedemos a calcular las varianzas de las diferencias aplicando la ecuación 3.3:

$$S^2d = \frac{386.48 - \frac{(36)^2}{5}}{5(5 - 1)}$$

$$S^2d = 6.36$$

$$Sd = 2.52$$

Con el resultado anterior procedemos a calcular la t calculada con la ecuación 3.4:

$$t_{cal} = \frac{7.20}{2.52}$$

$$t_{cal} = 2.86$$

$$t_{cal} = 2.86 > t_{tab} = 2.78$$

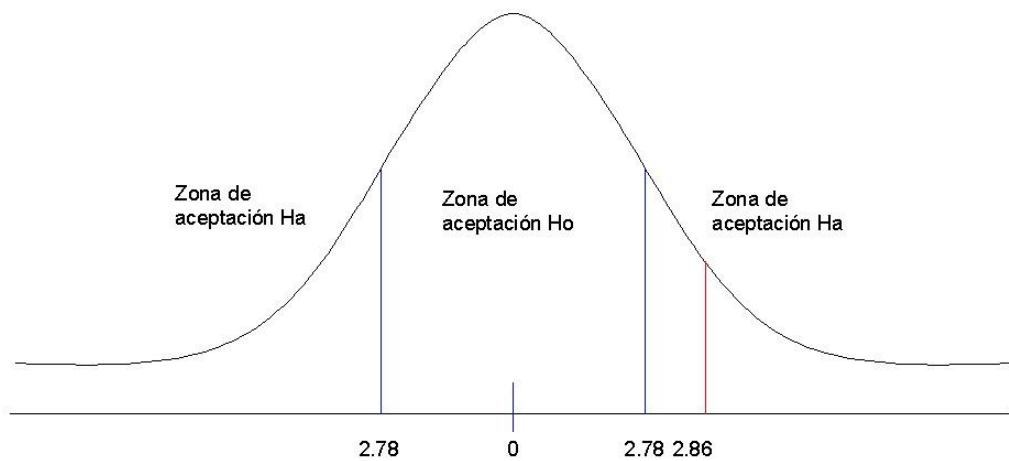


Figura 25. Campana de distribución del grupo 1 y 4 de los ensayos de flexión.

Fuente: El Autor

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

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

Para la verificación de la hipótesis se tomó al grupo 2 y 3 debido a que estos presentan las mejores características de los ensayos de flexión.

Tabla 36. Verificación de la hipótesis de las probetas del grupo 2 y 3

PROBETA	Energía máxima al impacto (J)		H=G2-G3	H ²
	GRUPO 2	GRUPO 3		
1	2,05	0,45	1,59	2,53
2	1,82	0,91	0,91	0,83
3	1,36	1,36	0,00	0,00
4	0,91	1,82	0,91	0,83
5	0,45	1,14	0,68	0,47
SUMA	6,60	5,69	4,09	4,65
PROMEDIO	1,32	1,14	0,82	

Fuente: El autor

Con los datos obtenidos procedemos a calcular las varianzas de las diferencias aplicando la ecuación 3.3:

$$S^2d = \frac{4.65 - \frac{(4.09)^2}{5}}{5(5 - 1)}$$

$$S^2d = 0.07$$

$$Sd = 0.26$$

Con el resultado anterior procedemos a calcular la t calculada con la ecuación 3.4:

$$t_{cal} = \frac{0.82}{0.26}$$

$$t_{cal} = 3.21$$

$$t_{cal} = 3.21 > t_{tab} = 2.78$$

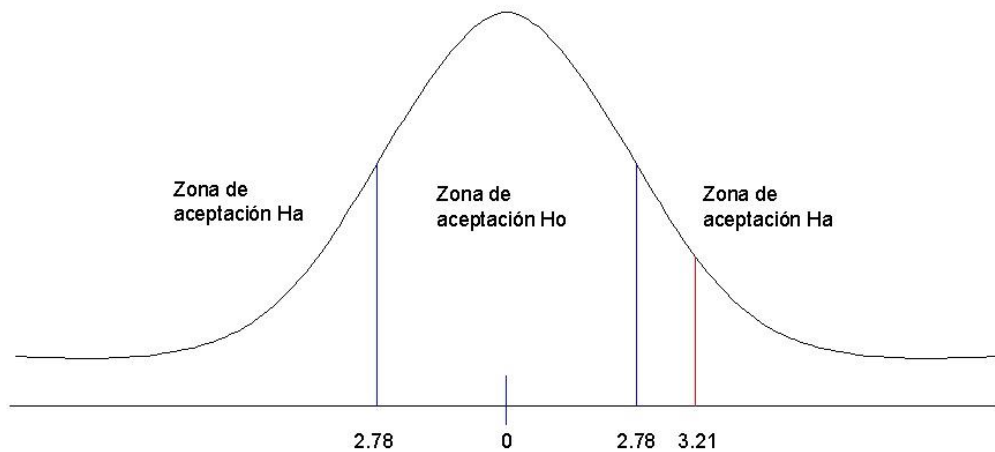


Figura 26. Campana de distribución del grupo 2 y 3 de los ensayos de impacto.

Fuente: El Autor

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

Los tres casos (tracción, flexión e impacto) fueron analizados dándonos como resultado que la hipótesis nula H_0 se rechaza debido a que el t calculado se encuentra fuera del rango del t tabulado por ende se acepta la hipótesis alterna H_a , determinando que grupo presenta las mejores propiedades mecánicas. En este caso el grupo 1 que corresponde a una fracción volumétrica de 60% resina poliéster y 40% de fibra larga orientada a 0° .

3.4. COMPARACIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS DE MATERIALES COMPUESTOS DE MATRIZ POLIÉSTER

En la tabla 37 y figura 27 se muestra una comparación de las propiedades mecánicas de diferentes materiales compuestos de matriz poliéster reforzados con fibras naturales. En los resultados se observa que el material compuesto de resina poliéster reforzado con fibra de pelo de res presenta mejor resistencia a la tracción con respecto a los demás materiales, a excepción del valor de resistencia a la flexión que es superado por el compuesto de resina poliéster más fibra de cabello humano.

Tabla 37. Comparación de propiedades mecánicas de materiales compuestos

Material Compuesto	Resistencia a la Tracción (MPa)	Resistencia a la Flexión (MPa)	Espesor promedio (mm)
Resina poliéster + Fibra de pelo de res	30,87	54,997	5
Resina poliéster + Fibra de cabello humano	28,472	66,24	6
Resina poliéster + Lana de oveja	17,08	36,52	3,36
Resina poliéster + Fibra de hoja de tuna	10,94	24,98	6,5

Fuente: El autor

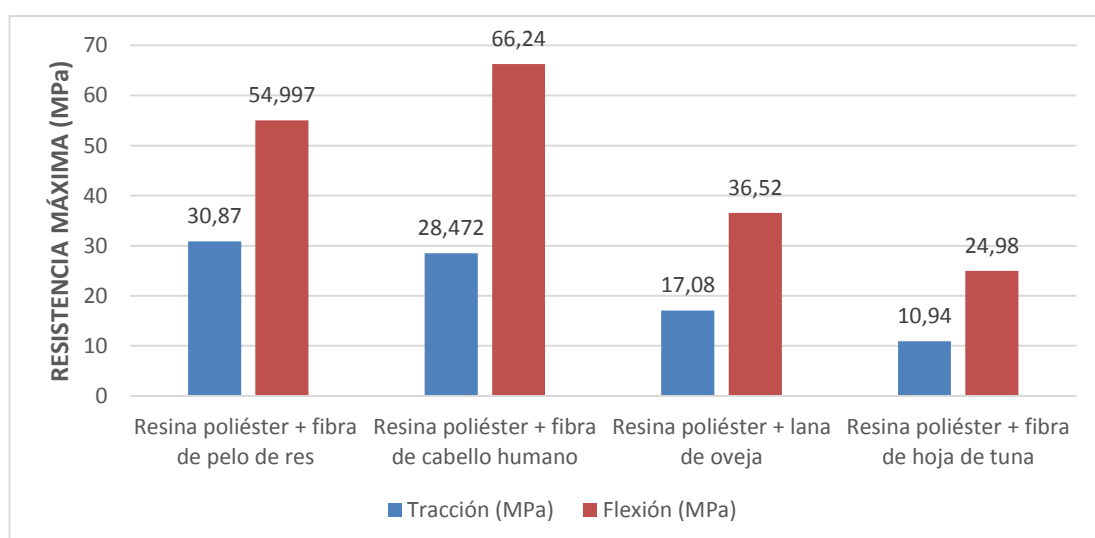


Figura 27. Gráfica comparativa de la resistencia máxima a tracción y flexión

Fuente: El autor

3.5. POSIBLES APLICACIONES INDUSTRIALES

En los últimos años se ha evidenciado el rápido crecimiento que han tenido los materiales compuestos, los cuales han reemplazado a otros materiales comúnmente utilizados como los metales y plásticos. En este caso el material compuesto de matriz poliéster reforzado con fibra de pelo de res tiene la característica de ser liviano lo cual es muy tomado en cuenta en la industria carrocera debido a que ahí se busca aligerar el peso de los componentes y partes, para de esta forma mejorar el desempeño de los vehículos, además de ahorrar energía. Este material es de bajo costo, ambientalmente amigable y brinda una facilidad en el moldeo de piezas.

Industria de la construcción

Si realizamos una comparación, el material compuesto de resina poliéster con fibra de pelo de res presenta mejores propiedades mecánicas con respecto a ciertos materiales aplicados industrialmente, lo que indica que es aplicable para distintas áreas:

Tabla 38. Resistencia a tracción y flexión de la madera y MDF

MATERIAL	Resistencia a la Tracción (MPa)	Resistencia a la Flexión (MPa)
Madera	18	30
MDF Delgado	1	45

Fuente: El autor

En la industria de la mueblería se podría reemplazar ciertos elementos elaborados con madera que presentan una resistencia a la tracción de 18 MPa y a la flexión de 30 MPa, en donde si la comparamos con la fibra de pelo de res, se incrementa notablemente su resistencia a la tracción a 30.87 MPa y a la flexión de 55 MPa, afirmando así que posee mejor resistencia, por lo que se puede elaborar tableros para mesas, armarios, diferentes tipos de muebles, escritorios, marcos de porta retratos, estantería de libros, entre otros.

Industria Automotriz

Este material puede tener diferentes aplicaciones entre las cuales están la fabricación de partes internas y externas de una carrocería, además se puede aplicar en la construcción de basureros pequeños adecuados para los transportes como los buses.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. CONCLUSIONES

- Analizando las distintas configuraciones, las probetas fabricadas a compresión con una fracción volumétrica de 60% matriz poliéster y 40% refuerzo, presentaron las mejores propiedades mecánicas tanto a tracción, flexión e impacto.
- Para la obtención de la densidad de la fibra de pelo de res, se empleó el método gravimétrico, obteniendo el valor de 1.03 g/cm³.
- El primer grupo de probetas con el 60% de resina poliéster y 40% de fibra longitudinal de pelo de res, con orientación a 0°, presentó un valor promedio de 30.87 MPa de esfuerzo máximo a tracción y 1843.17 MPa de módulo de elasticidad, con lo que se puede considerar que posee las propiedades mecánicas a tracción más idóneas.
- Mediante los ensayos a flexión se determinó que el grupo 1, constituido por el 40% de refuerzo y 60% de matriz y orientación a 0°, mostró las mejores propiedades mecánicas a flexión con 55 MPa de esfuerzo máximo promedio y 1618.26 MPa de módulo de elasticidad.
- El grupo 2, de probetas ensayadas a impacto, formadas por una fracción volumétrica del 60% de resina poliéster y 40% de refuerzo y ubicadas a 45°, presentó el valor promedio más alto de energía absorbida de 1,32 J, por lo que posee mejores propiedades mecánicas a impacto en comparación a los grupos restantes.
- El material compuesto de matriz poliéster reforzado con fibra de pelo de res presenta mayor resistencia a tracción y flexión que la madera y el MDF por lo que se puede aplicar a la industria de la construcción. Así como también puede ser aplicado en la industria carrocera.

4.2. RECOMENDACIONES

- Para un fácil desmolde de la plancha de material compuesto se debe curar el molde con cera desmoldante por lo menos unas 3 veces dejando secar durante aproximadamente 15 minutos, en un lugar sombreado libre de contacto con el sol.
- El pelo de res debe estar completamente limpio y que sea uniforme para obtener una buena adherencia entre matriz y refuerzo.
- Para evitar la evaporación de la resina, deben conservarse en sus recipientes originales y cerrados, también deben conservarse en sitios oscuros con el objetivo de evitar la acción de la luz y la temperatura.
- Al momento de aplicar la matriz polimérica en el molde con el refuerzo se debe hacerlo uniformemente para evitar la formación de burbujas de aire que afectarían en los resultados deseados.
- El molde para la fabricación de planchas de materiales compuestos es recomendable que sea de acero A36 para evitar pandeo en la superficie del molde.
- Con la finalidad de obtener probetas que tengan dimensiones homogéneas el corte se lo debe realizar a laser.
- Utilizar equipos de protección personal específicamente mascarillas de uso industrial ya que al estar expuesto a los químicos de la resina poliéster afectan la salud.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] T. Subramani, S. Krishnan, S.K. Ganesan and G. Nagarajan, "Investigation of Mechanical Properties in Polyester and Phenylester Composites Reinforced With Chicken Feather Fiber", *International Journal of Engineering Research and Applications*, vol. 4, pp. 93-104, 2015.
- [2] A. Reinoso, "Evaluación del comportamiento mecánico de un material compuesto de matriz poliéster con fibra de cabello humano y su posible aplicación industrial", Universidad Técnica de Ambato, Ambato, 2019.
- [3] C. Espín, "Obtención de un material compuesto de matriz poliéster y lana de oveja para evaluar el comportamiento mecánico", Universidad Técnica de Ambato, Ambato, 2017.
- [4] J. Muñoz, "Propuesta para uso de fibras de queratina como refuerzo para resina poliéster", Universidad Privada del Norte, Cajamarca, 2017.
- [5] D. Askeland, P. Fulay, and W. Wright, *The Science and Engineering of Materials*, 6th ed. Australia: Cengage Learning, 2013.
- [6] W. Smith, *Fundamentos de la Ciencia e Ingeniería de Materiales*, Madrid-España: McGraw-Hill, 2006.
- [7] F. Stupenengo, "Materiales compuestos", de *Materiales y materias primas*, Buenos Aires, 2011, p. 14.
- [8] W. Callister, *Ciencia e Ingeniería de los Materiales*, Barcelona: Editorial Reverté, S.A., 2005, p. 534.
- [9] V. H. Guerrero, *Nuevos materiales: Aplicaciones estructurales e industriales*, Quito : Primera edición, 2011, pp. 49,50.
- [10] E. Gaibor, "Caracterización de un material compuesto con matriz de resina de poliéster reforzado con partícula de totora", Universidad Internacional SEK, 2017.
- [11] A. Besednjak Dietrich, *Materiales Compuestos, Procesos de fabricación de embarcaciones*, UPC, 2005.
- [12] A. Miravete, *Materiales Compuestos*, Zaragoza: Reverte, 2003.
- [13] A. Gil, "Resinas de poliéster", Eafit.edu.co, 2012. [En línea]. Disponible en: <http://www.eafit.edu.co/servicios/centrodelaboratorios/Documents/guia%20de>

%20manejo%20de%20resinas.pdf..

- [14] R. Lalit, P. Mayank and K. Ankur, “Natural Fibers And Biopolymers Characterization: A Future Potential Composite Material”, *Journal of Mechanical Engineering*, vol. 68, pp. 33-50, 2018.
- [15] W. Callister, *Ciencia e Ingeniería de los Materiales*, Barcelona: Editorial Reverté, S.A., 2005, p. 540.
- [16] U.S. Bongarde, V.D. Shinde, “Review on natural fiber reinforcement polymer composites”, *International Journal of Engineering Science and Innovative Technology*, vol. 3, pp. 431-436, March 2014.
- [17] J. Delgado, *Perspectivas de la Producción de Fibra de Llama en Bolivia*, Bolivia: Cuvillier, 2003.
- [18] M. Jinsoo, “Hair-coat Characteristics of Cattle”, M.S. tesis, Cornell University, Ithaca, New York, 2013.
- [19] V. Gómez, “Caracterización mecánica de materiales compuestos manufacturados fuera de autoclave,” Trabajo final de carrera, Ciencia y Tecnología, Posgrado Interinstitucional de Ciencia y Tecnología, Santiago de Querétaro, 2017.
- [20] J. Páez, “Obtención de compuestos de polidropileno reforzado con fibras de abacá mediante moldeo por compresión”, Escuela Politécnica Nacional, Quito, 2007.
- [21] J. Rodríguez y L. Castro, *Procesos Industriales para Materiales Metálicos*, Madrid: Vision Net, 2010.
- [22] V. Guerrero, J. Dávila, R. Galeas , N. Rosas, V. Sotomayor y C. Valdivieso, *Nuevos Materiales: Aplicaciones estructurales e industriales*, Quito: Imprefepp, 2011.
- [23] E. Alvarado, “Ensayo de Materiales”, Internet: <https://es.scribd.com/document/338428771/RESUMEN-DE-TIPOS-DE-ENSAYOS-pdf>. Feb. 04, 2017. [20 Mayo 2020].
- [24] “Tabla de la t-Student”, 2020. [En línea]. Disponible en: http://cms.dm.uba.ar/academico/materias/1ercuat2015/probabilidades_y_estadistica_C/tabla_tstudent.pdf.

ANEXOS

ANEXO 1: FICHA TÉCNICA DE LA RESINA POLIÉSTER

ANEXO 2: NORMA PARA ENSAYO A TRACCIÓN ASTM D 3039-00

ANEXO 3: NORMA PARA ENSAYO A FLEXIÓN ASTM D 7264-07

ANEXO 4: NORMA PARA ENSAYO A IMPACTO ASTM D 5628-10

ANEXO 5: INFORME TÉCNICO DE ENSAYOS A TRACCIÓN Y FLEXIÓN

**Anexo 1. Ficha
técnica de la resina
poliéster.**

Serie Polylite® 33200

Resina Poliéster Química especial

DESCRIPCION

Polylite® 33200 comprende una serie de resinas resina poliéster no saturadas, modificadas con un sistema polimérico especial. Estas resinas son rígidas, tixotrópicas, de reactividad y viscosidad medias y están preaceleradas, para gelado y curado a temperatura ambiente con la adición de Peróxido de Metil Etil Cetona al 50%. Polylite 33200-25 es recomendada para trabajar en lugares de altas temperaturas ambientales.

APLICACIONES SUGERIDAS

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

CARACTERISTICAS PRINCIPALES

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

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

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

PROPIEDADES

PROPIEDADES TÍPICAS DE RESINA LIQUIDA @ 25°C

Propiedades	Unidades	Especificaciones	Métodos de Análisis
No volátiles	%	58 – 63	RQMPEA 0041
Número ácido en solución (máximo)	mg KOH / g muestra	25	RQMPEA 0026
Viscosidad Brookfield, LVF, 3/60	cPs	300 – 400	RQMPEA 0002
Índice de tixotropía (3/6) / (3/60) (mínimo)	s/u	2.7	RQMPEA 0006
Estabilidad @ 105°C	horas	4	RQMPEA 0118
Tiempo de vida mínimo en almacenamiento	meses	3	

Propiedades	Unidades	Especificaciones		Métodos de Análisis
		Polylite 33200-01	Polylite 33200-25	
Color resina líquida	s/u	NA	Gris-azul oscuro	RQMPEA 0019
Tiempo de gel *	minutos	15 – 18	20 – 30	RQMPEA 0066
Temperatura de exotermia	°C	140 – 170	Registro	RQMPEA 0066
Tiempo de curado	minutos	21 – 35	Registro	RQMPEA 0066

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

PROPIEDADES FISICAS TIPICAS

Vaciado sin carga ni refuerzo (clear casting)

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

Laminado reforzado con fibra de vidrio¹⁾

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

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

CONDICIONES DE CURADO

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

ALMACENAMIENTO

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

PRESENTACION

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

SEGURIDAD

LEA Y ENTIENDA LA HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD DEL MATERIAL ANTES DE USAR ESTE PRODUCTO

Obtenga una copia de la Hoja de Datos de Seguridad del Material (MSDS) antes de usarlo. Las MSDS están disponibles con su representante de ventas en Reichhold. Tal información debe ser solicitada a todos sus proveedores de materiales y entendida antes de usarlos.

ADVERTENCIA: se debe tener precaución para evitar el mezclado directo de cualquier peróxido orgánico con jabones metálicos, aminas o cualquier otro tipo de acelerador o promotor, ya que puede ocurrir una descomposición violenta y explosiva.

INFORMACION GENERAL

Para información especial sobre esta resina le recomendamos ponerse en contacto con nuestros representantes técnicos o llamar a nuestro departamento de Soporte Técnico al tel. (01 712) 122 95 20 en Atlacomulco, Edo. de México.

**Anexo 2. Norma
para ensayo a
tracción ASTM D
3039-00.**



Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials¹

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

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

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

1. Scope

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

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

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

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:

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

- Properties and Equilibrium Conditioning of Polymer Matrix Composite Materials⁴
- E 4 Practices for Force Verification of Testing Machines⁵
- E 6 Terminology Relating to Methods of Mechanical Testing⁵
- E 83 Practice for Verification and Classification of Extensometers⁵
- E 111 Test Method for Young's Modulus, Tangent Modulus, and Chord Modulus⁵
- E 122 Practice for Choice of Sample Size to Estimate a Measure of Quality for a Lot or Process⁶
- E 132 Test Method for Poisson's Ratio at Room Temperature⁵
- E 177 Practice for Use of the Terms Precision and Bias in ASTM Test Methods⁶
- E 251 Test Methods for Performance Characteristics of Metallic Bonded Resistance Strain Gages⁵
- E 456 Terminology Relating to Quality and Statistics⁶
- E 691 Practice for Conducting an Interlaboratory Study to Determine the Precision of a Test Method⁶
- E 1012 Practice for Verification of Specimen Alignment Under Tensile Loading⁵
- E 1237 Guide for Installing Bonded Resistance Strain Gages⁵

3. Terminology

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

3.2 *Definitions of Terms Specific to This Standard:*

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

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

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

² *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 08.01.

³ *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 08.02.

⁴ *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 15.03.

⁵ *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 03.01.

⁶ *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 14.02.



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

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

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

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

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

3.3 *Symbols:*

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

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

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

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

3.3.5 E —modulus of elasticity in the test direction.

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

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

3.3.8 h —coupon thickness.

3.3.9 L_g —extensometer gage length.

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

3.3.11 n —number of coupons per sample population.

3.3.12 P —load carried by test coupon.

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

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

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

3.3.16 w —coupon width.

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

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

3.3.19 δ —extensional displacement.

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

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

3.3.22 σ —normal stress.

3.3.23 ν —Poisson's ratio.

4. Summary of Test Method

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

5. Significance and Use

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

5.1.1 Ultimate tensile strength,

5.1.2 Ultimate tensile strain,

5.1.3 Tensile chord modulus of elasticity,

5.1.4 Poisson's ratio, and

5.1.5 Transition strain.

6. Interferences

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

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

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

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

7. Apparatus

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

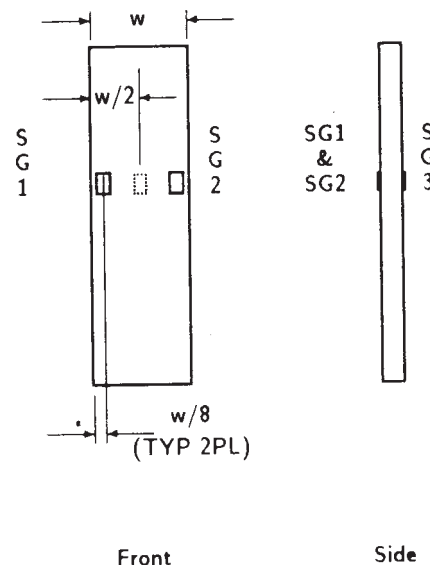


FIG. 1 Gage Locations for System Alignment Check Coupon

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

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

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

where:

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

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

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

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

The total bending component is:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

8. Sampling and Test Specimens

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

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

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

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

8.2.1 *General Requirements:*

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

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

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

8.2.2 *Specific Recommendations:*

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

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

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

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

TABLE 1 Tensile Specimen Geometry Requirements

Parameter	Requirement
Coupon Requirements:	
shape	constant rectangular cross-section
minimum length	gripping + 2 times width + gage length
specimen width	as needed ^A
specimen width tolerance	±1 % of width
specimen thickness	as needed
specimen thickness tolerance	±4 % of thickness
specimen flatness	flat with light finger pressure
Tab Requirements (if used):	
tab material	as needed
fiber orientation (composite tabs)	as needed
tab thickness	as needed
tab thickness variation between tabs	±1 % tab thickness
tab bevel angle	5 to 90°, inclusive
tab step at bevel to specimen	feathered without damaging specimen

^A See 8.2.2 or Table 2 for recommendations.

TABLE 2 Tensile Specimen Geometry Recommendations^A

Fiber Orientation	Width, mm [in.]	Overall Length, mm [in.]	Thickness, mm [in.]	Tab Length, mm [in.]	Tab Thickness, mm [in.]	Tab Bevel Angle, °
0° unidirectional	15 [0.5]	250 [10.0]	1.0 [0.040]	56 [2.25]	1.5 [0.062]	7 or 90
90° unidirectional	25 [1.0]	175 [7.0]	2.0 [0.080]	25 [1.0]	1.5 [0.062]	90
balanced and symmetric	25 [1.0]	250 [10.0]	2.5 [0.100]	emery cloth	—	—
random-discontinuous	25 [1.0]	250 [10.0]	2.5 [0.100]	emery cloth	—	—

^A Dimensions in this table and the tolerances of Fig. 2 or Fig. 3 are recommendations only and may be varied so long as the requirements of Table 1 are met.

must be able to withstand significant compressive loads. Some types of emery cloth have been found ineffective in this application because of disintegration of the abrasive.⁹

8.2.2.5 Tab Material—The most consistently used bonded tab material has been continuous E-glass fiber-reinforced polymer matrix materials (woven or unwoven) in a [0/90]_ns laminate configuration. The tab material is commonly applied at 45° to the loading direction to provide a soft interface. Other configurations that have reportedly been successfully used have incorporated steel tabs or tabs made of the same material as is being tested.

8.2.2.6 Bonded Tab Length—When using bonded tabs, estimate the minimum suggested tab length for bonded tabs by the following simple equation. As this equation does not account for the peaking stresses that are known to exist at the ends of bonded joints. The tab length calculated by this equation should normally be increased by some factor to reduce the chances of joint failure:

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

where:

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

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

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

8.3 Specimen Preparation:

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

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

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

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

9. Calibration

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

10. Conditioning

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

11. Procedure

11.1 Parameters To Be Specified Before Test:

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

11.1.2 The tensile properties and data reporting format desired.

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

11.1.3 The environmental conditioning test parameters.

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

11.2 General Instructions:

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

⁹ E-Z Flex Metalite K224 cloth, Grit 120-J, available from Norton Company, Troy, NY 12181, has been found satisfactory in this application. Other equivalent types of emery cloth should also be suitable.

DRAWING NOTES:

1. INTERPRET DRAWING IN ACCORDANCE WITH ANSI Y14.5M-1982, SUBJECT TO THE FOLLOWING:
2. ALL DIMENSIONS IN MILLIMETRES WITH DECIMAL TOLERANCES AS FOLLOWS:
 NO DECIMAL .X .XX
 ±.3 ±.1 ±.3
3. ALL ANGLES HAVE TOLERANCE OF ±.5°.
4. PLY ORIENTATION DIRECTION TOLERANCE RELATIVE TO [-A-] WITHIN ±.5°.
5. FINISH ON MACHINED EDGES NOT TO EXCEED 1.6√ (SYMBOLGY IN ACCORDANCE WITH ASA B46.1, WITH ROUGHNESS HEIGHT IN MICROMETRES.)
6. VALUES TO BE PROVIDED FOR THE FOLLOWING, SUBJECT TO ANY RANGES SHOWN ON THE FIELD OF DRAWING: MATERIAL, LAY-UP, PLY ORIENTATION REFERENCE RELATIVE TO [-A-], OVERALL LENGTH, GAGE LENGTH, COUPON THICKNESS, TAB MATERIAL, TAB THICKNESS, TAB LENGTH, TAB BEVEL ANGLE, TAB ADHESIVE.
7. NO ADHESIVE BUILDUP ALLOWED IN THIS AREA.

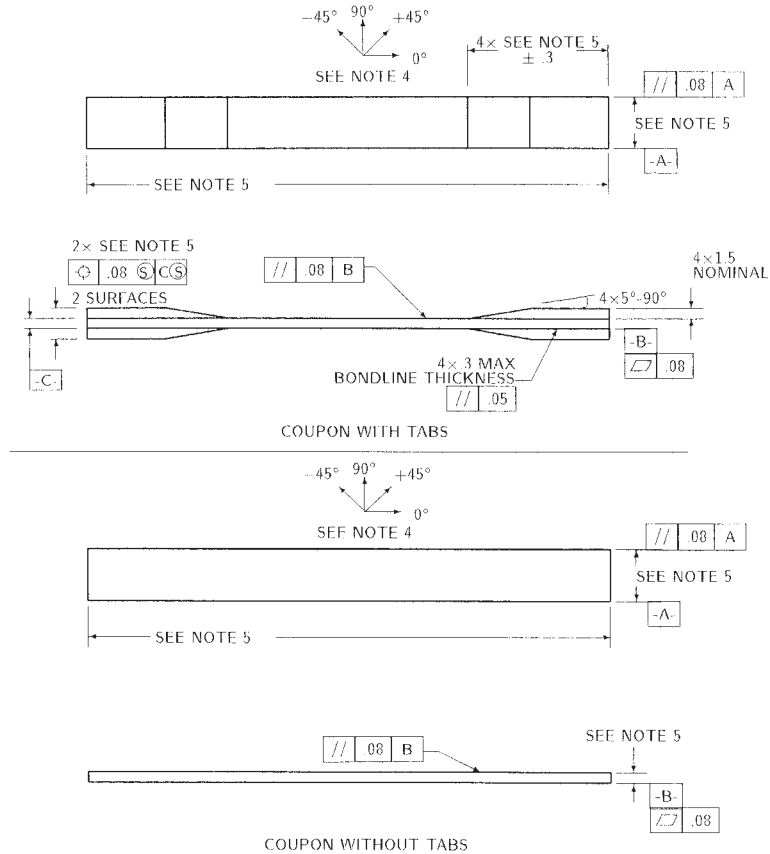


FIG. 2 Tension Test Specimen Drawing (SI)

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

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

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

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

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

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

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

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

DRAWING NOTES:

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

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

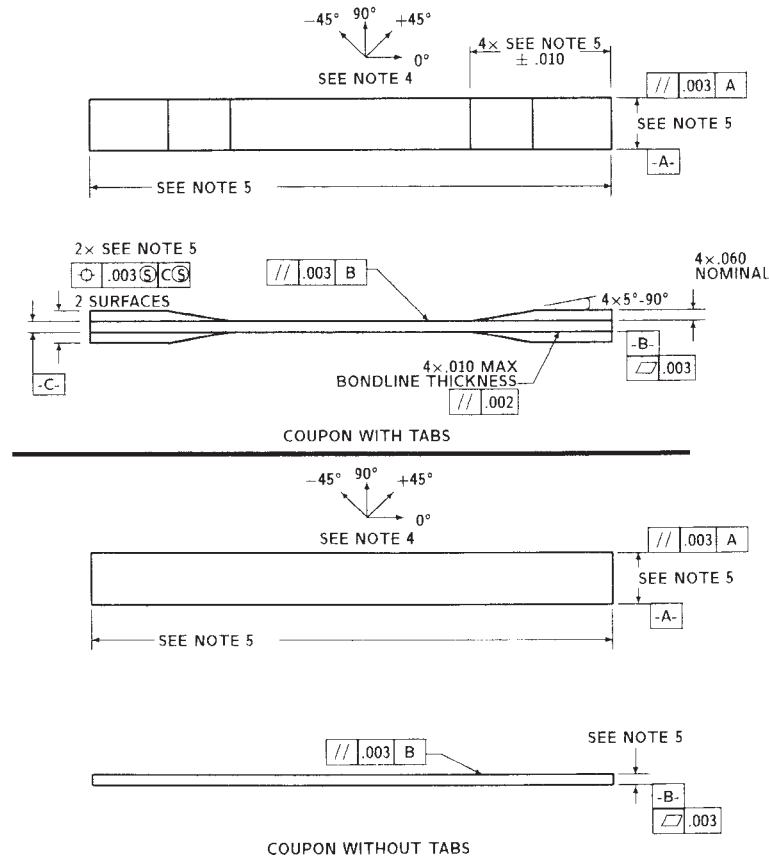


FIG. 3 Tension Test Specimen Drawing (inch-pound)

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

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

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

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

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

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

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

TABLE 3 Specimen Alignment and Chord Modulus Calculation Strain Ranges

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

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

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

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

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

where:

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

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

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

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

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

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

12. Calculation

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

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

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

where:

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

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

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

where:

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

12.3 Tensile Modulus of Elasticity:

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

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

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

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

where:

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

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

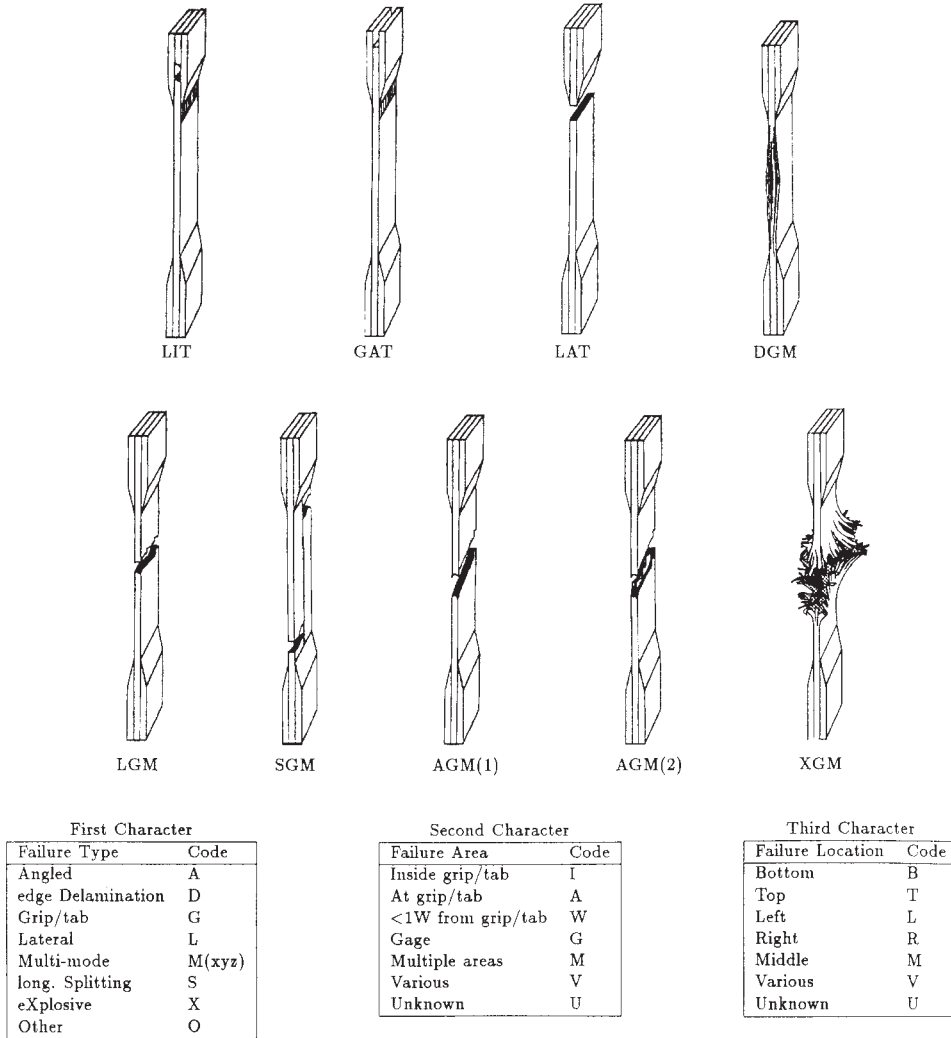


FIG. 4 Tensile Test Failure Codes/Typical Modes

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

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

12.4 Poisson's Ratio:

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

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

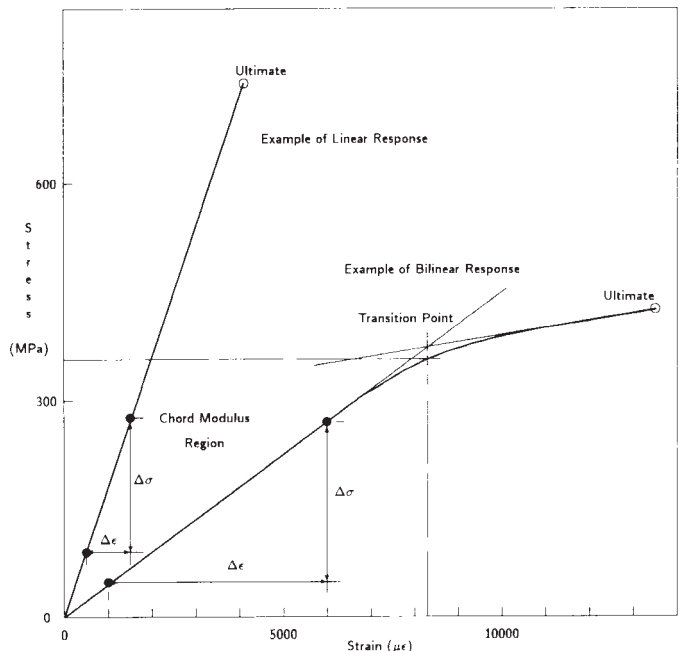


FIG. 5 Typical Tensile Stress-Strain Curves

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

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

where:

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

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

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

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

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

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

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

where:

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

13. Report

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

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

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

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

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

13.1.7 Ply orientation stacking sequence of the laminate.

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

13.1.9 Average ply thickness of the material.

13.1.10 Results of any nondestructive evaluation tests.

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

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

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

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

13.1.15 Dimensions of each test specimen.

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

13.1.17 Relative humidity and temperature of the testing laboratory.

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

13.1.19 Number of specimens tested.

13.1.20 Speed of testing.

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

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

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

13.1.24 Percent bending results for each specimen so evaluated.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

13.1.34 Failure mode and location of failure for each specimen.

14. Precision and Bias

14.1 Precision:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

TABLE 4 Precision Statistics

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

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

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

TABLE 5 Averages of the Coefficients of Variation

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

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

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

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

15. Keywords

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

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

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

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

**Anexo 3. Norma
para ensayo a flexión
ASTM D 7264-07.**



Standard Test Method for Flexural Properties of Polymer Matrix Composite Materials¹

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

1. Scope

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

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

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

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

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

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

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

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:²

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

Polymer Matrix Composite Materials and Their Laminates

- D 3878 Terminology for Composite Materials
 - D 5229/D 5229M Test Method for Moisture Absorption Properties and Equilibrium Conditioning of Polymer Matrix Composite Materials
 - D 5687/D 5687M Guide for Preparation of Flat Composite Panels with Processing Guidelines for Specimen Preparation
 - D 6272 Test Method for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials by Four-Point Bending
 - D 6856 Guide for Testing Fabric-Reinforced “Textile” Composite Materials
 - E 4 Practices for Force Verification of Testing Machines
 - E 6 Terminology Relating to Methods of Mechanical Testing
 - E 18 Test Methods for Rockwell Hardness and Rockwell Superficial Hardness of Metallic Materials
 - E 122 Practice for Calculating Sample Size to Estimate, With a Specified Tolerable Error, the Average for a Characteristic of a Lot or Process
 - E 177 Practice for Use of the Terms Precision and Bias in ASTM Test Methods
 - E 456 Terminology Relating to Quality and Statistics
 - E 1309 Guide for Identification of Fiber-Reinforced Polymer-Matrix Composite Materials in Databases
 - E 1434 Guide for Recording Mechanical Test Data of Fiber-Reinforced Composite Materials in Databases
- 2.2 *Other Documents:*
- ANSI Y14.5-1999 Dimensioning and Tolerancing—Includes Inch and Metric³
 - ANSI B46.1-1995 Surface Texture (Surface Roughness, Waviness and Lay)³

3. Terminology

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

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

Current edition approved April 1, 2007. Published April 2007. Originally approved in 2006. Last previous edition approved in 2006 as D 7264/D 7264M – 06.

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

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

3.2 Definitions of Terms Specific to This Standard:

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

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

3.3 Symbols:

- b = specimen width
- CV = sample coefficient of variation, in percent
- E_f^{chord} = flexural chord modulus of elasticity
- E_f^{secant} = flexural secant modulus of elasticity
- h = specimen thickness
- L = support span
- m = slope of the secant of the load-deflection curve
- n = number of specimens
- P = applied force
- s_{n-1} = sample standard deviation
- x_i = measured or derived property
- \bar{x} = sample mean
- δ = mid-span deflection of the specimen
- ϵ = strain at the outer surface at mid-span of the specimen
- σ = stress at the outer surface at mid-span of the specimen

4. Summary of Test Method

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

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

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

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

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

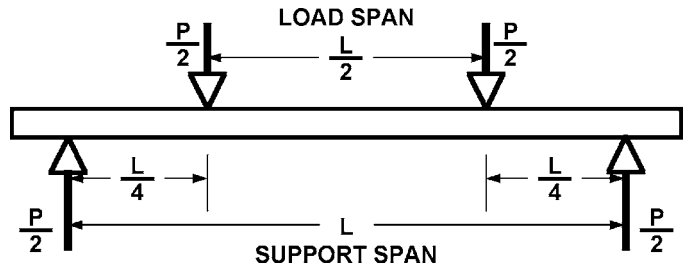


FIG. 2 Procedure B—Loading Diagram

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

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

5. Significance and Use

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

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

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

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

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

6. Interferences

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

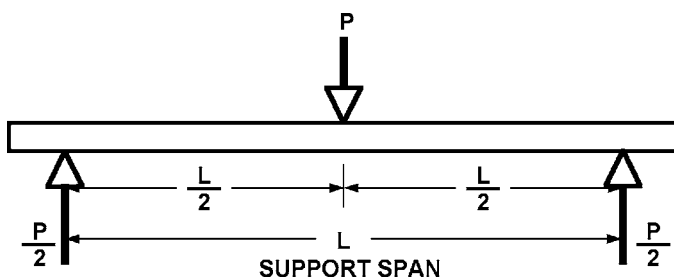


FIG. 1 Procedure A—Loading Diagram

Licensed by WEX to UNIVERSIDADE DE SAO PAULO-CRUESP. Downloaded: 1/29/2008 11:27:41 AM single-user license only, copying and networking prohibited.

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.

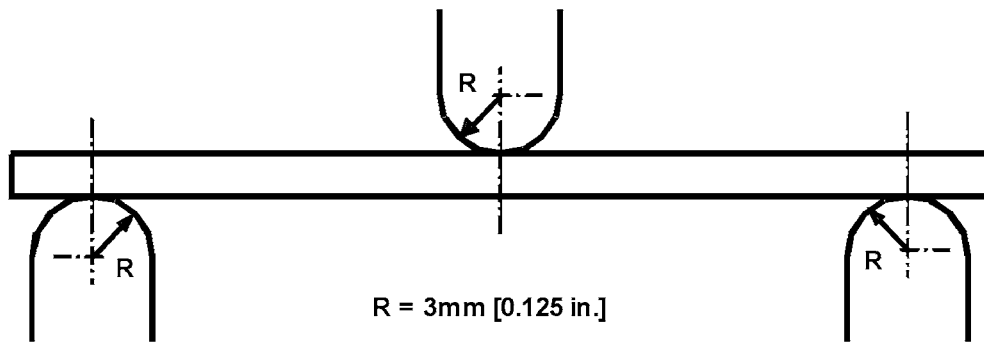
6.4 Loading noses may be fixed, rotatable or rolling. Typically, for testing composites, fixed or rotatable loading noses are used. The type of loading nose can affect results, since non-rolling paired supports on either the tension or compression side of the specimen introduce slight longitudinal forces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

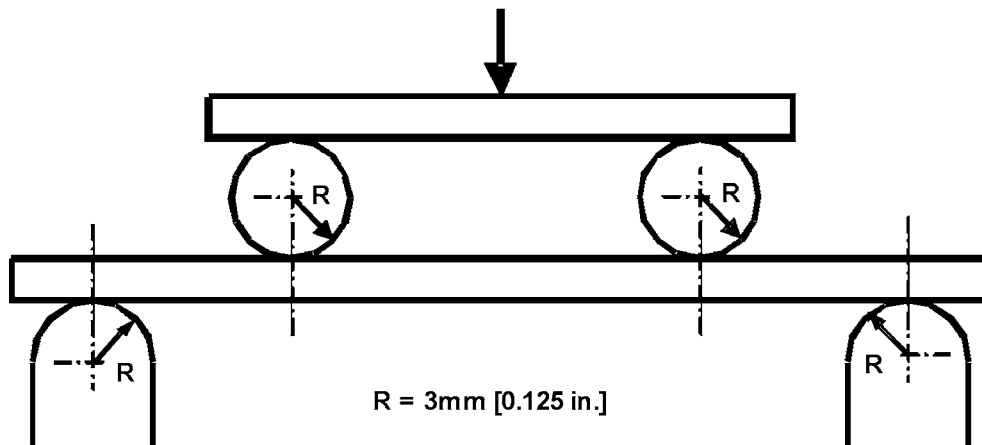
7. Apparatus

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)

Licensed by WEX to UNIVERSIDADE DE SAO PAULO-CRUESP. Downloaded: 1/29/2008 11:27:41 AM single-user license only, copying and networking prohibited.

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

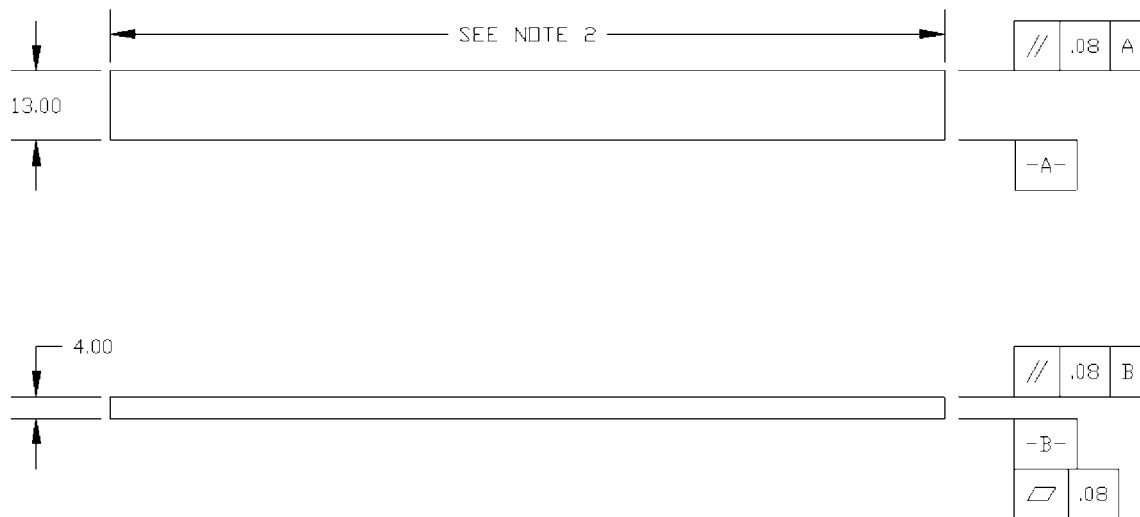
within $\pm 3^\circ\text{C}$ [$\pm 5^\circ\text{F}$] and the required vapor level to within ± 5 % relative humidity.

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.

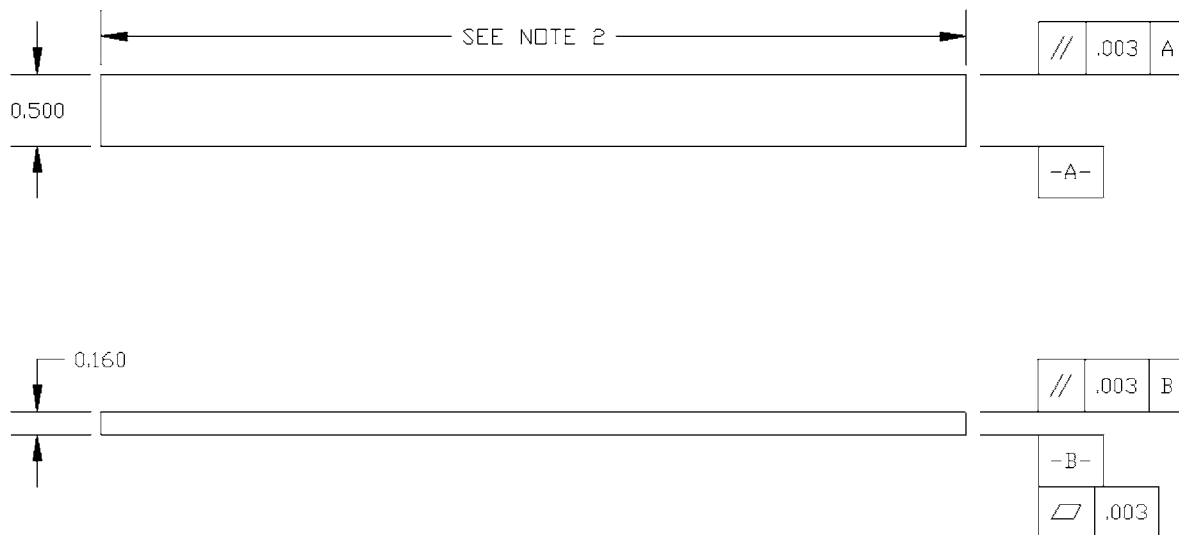


NOTE 1—Drawing interpretation per ANSI Y14.5-1999 and ANSI B46.1-1995.

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)

Licensed by WEX to UNIVERSIDADE DE SAO PAULO-CRUESP. Downloaded: 1/29/2008 11:27:41 AM single-user license only, copying and networking prohibited.



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

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

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

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

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

9. Number of Test Specimens

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

10. Conditioning

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

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

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

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

11. Procedure

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

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

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

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

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

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

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

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

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

12. Validation

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

13. Calculation

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

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

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

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

where:

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

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

13.2 *Maximum Flexural Stress, Procedure B*—When a beam of homogeneous, elastic material is tested in flexure as a beam simply supported at two outer points and loaded at two central points separated by a distance equal to 1/2 the support span and at equal distance from the adjacent support point, the maximum stress at the outer surface occurs between the two central loading points that define the load span (Fig. 2). The stress may be calculated for any point on the load-deflection curve by the following equation (Note 7):

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

where:

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

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

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

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

Licensed by WEX to UNIVERSIDADE DE SAO PAULO-CRUESP. Downloaded: 1/29/2008 11:27:41 AM single-user license only, copying and networking prohibited.

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

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

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

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

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

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

where:

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

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

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

where:

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

13.7 Flexural Modulus of Elasticity:

13.7.1 *Flexural Chord Modulus of Elasticity*—The flexural chord modulus of elasticity is the ratio of stress range and corresponding strain range. For calculation of flexural chord modulus, the recommended strain range is 0.002 with a start point of 0.001 and an end point 0.003. If the data is not available at the exact strain range end points (as often occurs with digital data), use the closest available data point. Calculate the flexural chord modulus of elasticity from the stress-strain data using Eq 5 (for multidirectional or highly orthotropic composites, see Note 8).

$$E_f^{chord} = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\epsilon} \quad (5)$$

where:

- E_f^{chord} = flexural chord modulus of elasticity, MPa [psi],
- $\Delta\sigma$ = difference in flexural stress between the two selected strain points, MPa [psi], and
- $\Delta\epsilon$ = difference between the two selected strain points (nominally 0.002).

13.7.1.1 Report the chord modulus of elasticity in MPa [psi] for the strain range 0.001 to 0.003. If a different strain range is used in the calculations, also report the strain range used.

NOTE 8—Shear deformation can seriously reduce the apparent flexural modulus of highly orthotropic laminates when they are tested at low span-to-thickness ratios.⁵ For this reason, a high span-to-thickness ratio is recommended for flexural modulus determinations. In some cases, separate sets of specimens may have to be used for modulus and strength determination.

13.7.2 *Flexural Secant Modulus of Elasticity*—The flexural secant modulus of elasticity is the ratio of stress to corresponding strain at any given point on the stress-strain curve. The flexural secant modulus is same as the flexural chord modulus in which the initial strain point is zero. It shall be expressed in MPa [psi]. It is calculated as follows (for multidirectional or highly orthotropic composites, see Note 8):

13.7.2.1 *For Procedure A:*

$$E_f^{secant} = \frac{L^3 m}{4bh^3} \quad (6)$$

where:

- E_f^{secant} = flexural secant modulus of elasticity, MPa [psi],
- L = support span, mm [in.],
- b = width of beam, mm [in.],
- h = thickness of beam, mm [in.] and
- m = slope of the secant of the force-deflection curve.

13.7.2.2 *For Procedure B:*

$$E_f^{secant} = \frac{0.17L^3 m}{bh^3} \quad (7)$$

where E_f^{secant} , m , L , b , and h are the same as for Eq 6.

13.7.3 Chord modulus of elasticity shall be reported although other definitions of moduli may also be used. However, when other definitions of moduli are used, it should be clearly indicated in the report.

13.8 *Statistics*—For each series of tests calculate the average value, standard deviation, and coefficient of variation for each property determined:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n x_i \right) \quad (8)$$

$$s_{n-1} = \sqrt{\frac{\left(\sum_{i=1}^n x_i^2 - nx^2 \right)}{n-1}}$$

$$CV = 100 \cdot \frac{s_{n-1}}{\bar{x}}$$

where:

- \bar{x} = average value or sample mean,
- x_i = value of single measured or derived property,
- n = number of specimens,
- s_{n-1} = estimated standard deviation,
- CV = coefficient of variation in percentage.

⁵ For discussion of these effects, see Zweben C., Smith, W. S., and Wardle, M. W., "Test Methods for Fiber Tensile Strength, Composite Flexural Modulus, and Properties of Fabric-Reinforced Laminates," *Composite Materials: Testing and Design (Fifth Conference)*, ASTM STP 674, 1979, pp. 228-262.

14. Report

14.1 The information reported for this test method includes material identification and mechanical testing data. These data shall be reported in accordance with Guides E 1309 and E 1471. At a minimum, the following should be reported:

14.1.1 The revision level or date of issue of the test method used.

14.1.2 The date(s) and location(s) of the testing.

14.1.3 The name(s) of the test operator(s).

14.1.4 The test Procedure used (A or B).

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

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

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

14.1.8 Ply orientation stacking sequence of the laminate.

14.1.9 If requested, report density, reinforcement volume fraction, and void content test methods, specimen sampling method and geometries, test parameters, and test data.

14.1.10 Average ply thickness of the material.

14.1.11 Results of any nondestructive evaluation tests.

14.1.12 Method of preparing the test specimens, including specimen labeling scheme and method, specimen geometry, sampling method, and specimen cutting method.

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

14.1.14 Type of test machine, grips, jaws, alignment data, and data acquisition sampling rate and equipment type.

14.1.15 Dimensions of each specimen to at least three significant figures, including specimen width, thickness, and overall length.

14.1.16 Conditioning parameters and results, and the procedure used if other than that specified in this test method.

14.1.17 Relative humidity and temperature of the testing laboratory.

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

14.1.19 Number of specimens tested.

14.1.20 Load-span length, support-span length, and support span-to-thickness ratio.

14.1.21 Loading and support nose type and dimensions.

14.1.22 Speed of testing.

14.1.23 Transducer placement on the specimen, transducer type, and calibration data for each transducer used.

14.1.24 Force-deflection curves for each specimen. Note method and offset value if toe compensation was applied to force-deflection curve.

14.1.25 Tabulated data of flexural stress versus strain for each specimen.

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

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

14.1.28 Strain range used for the flexural chord modulus of elasticity determination.

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

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

14.1.31 Individual values of the alternate (see above) flexural modulus of elasticity, and the average value, standard deviation, and coefficient of variation (in percent) for the population.

14.1.32 Individual maximum flexural stresses, and the average, standard deviation, and coefficient of variation (in percent) values for the population. Note any test in which the failure load was less than the maximum load before failure.

14.1.33 For flexural modulus only tests: maximum load applied, strain at maximum applied load, and calculated flexural modulus of elasticity (E_f).

14.1.34 Individual maximum flexural strains and the average, standard deviation, and coefficient of variation (in percent) values for the population. Note any test that was truncated to 2 % strain.

14.1.35 Failure mode and location of failure for each specimen.

15. Precision and Bias

15.1 *Precision*—The data required for the development of precision is not currently available for this test method.

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

16. Keywords

16.1 fiber-reinforced composites; flexural properties; stiffness; strength

(Mandatory Information)

A1. MEASURING AND SETTING SPAN

A1.1 For flexural fixtures that have adjustable spans, it is important that the span between the supports is maintained constant or the actual measured span is used in the calculation of flexural stress, flexural modulus and strain, and the loading noses are positioned and aligned properly with respect to the supports. Some simple steps as follows can improve the repeatability of results when using adjustable span fixtures.

A1.2 *Measurement of Span:*

A1.2.1 This technique is needed to ensure that the correct span, not an estimated span, is used in calculation of results.

A1.2.2 Scribe a permanent line or mark at the exact center of the support where the specimen makes complete contact. The type of mark depends on whether the supports are fixed or rotatable (see Figs. A1.1 and A1.2).

A1.2.3 Using a vernier caliper with pointed tips that is readable to at least 0.1 mm [0.004 in.], measure the distance between the supports, and use this measurement of span in the calculations.

A1.3 *Setting the Span and Alignment of Loading Nose(s)*—To ensure a constant day-to-day setup of the span and ensure the alignment and proper positioning of the loading nose(s), simple jigs should be manufactured for each of the standard setups used. An example of a jig found to be useful is shown in Fig. A1.3.

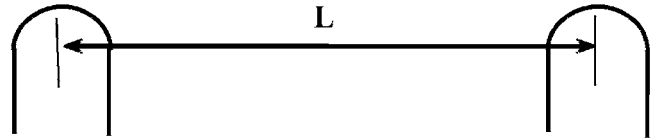


FIG. A1.1 Markings on Fixed Specimen Supports

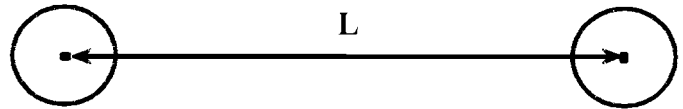


FIG. A1.2 Markings on Rotatable Specimen Supports

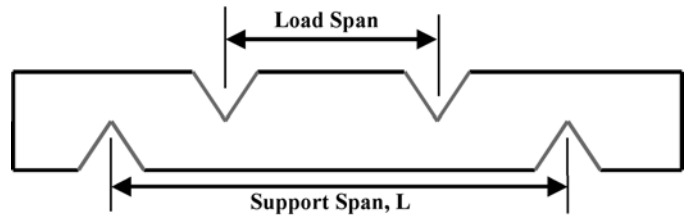


FIG. A1.3 Fixture Used to Align Loading Noses and Supports

Licensed by WEX to UNIVERSIDADE DE SAO PAULO-CRUESP. Downloaded: 1/29/2008 11:27:41 AM single-user license only, copying and networking prohibited.

A2. TOE COMPENSATION

A2.1 In a typical force-deflection curve (see Fig. A2.1) there is a toe region, AC, which does not represent a property of the material. It is an artifact caused by a take-up of slack and alignment, or seating of the specimen. In order to obtain correct values of such parameters as flexural modulus, and deflection at failure, this artifact must be compensated for to give the corrected zero point on the deflection, or extension axis.

A2.2 In the case of a material exhibiting a region of Hookean (linear) behavior (see Fig. A2.1), a continuation of the linear (CD) region is constructed through the zero axis. This intersection (B) is the corrected zero deflection point from which all deflections must be measured. The slope can be determined by dividing the change in force between any two points along the line CD (or its extension) by the change in deflection at the same two points (measured from Point B, defined as zero-deflection).

A2.3 In the case of a material that does not exhibit any linear region (see Fig. A2.2), the same kind of toe correction of zero-deflection point can be made by constructing a tangent to the maximum slope at the inflection Point H'. This is extended to intersect the deflection axis at Point B', the corrected zero-deflection point. Using Point B' as zero deflection, the force at any point (G') on the curve can be divided by the deflection at that point to obtain a flexural chord modulus (slope of Line B'G').

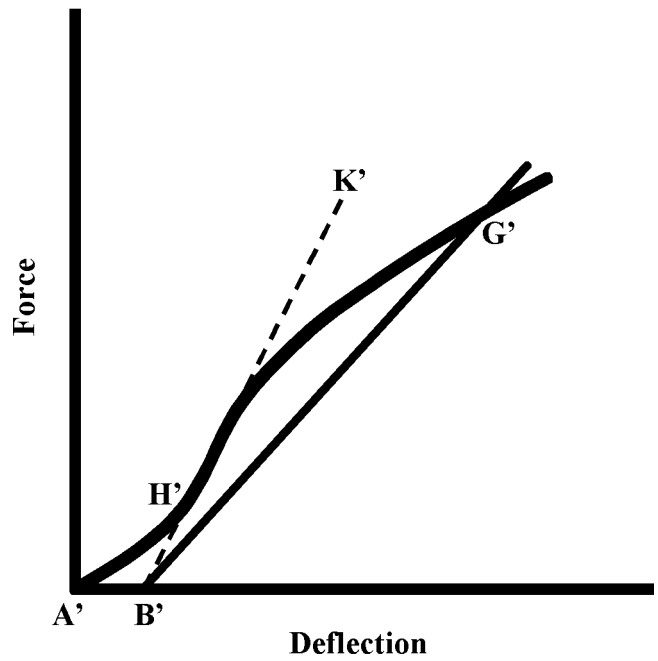


FIG. A2.2 Material without a Hookean Region

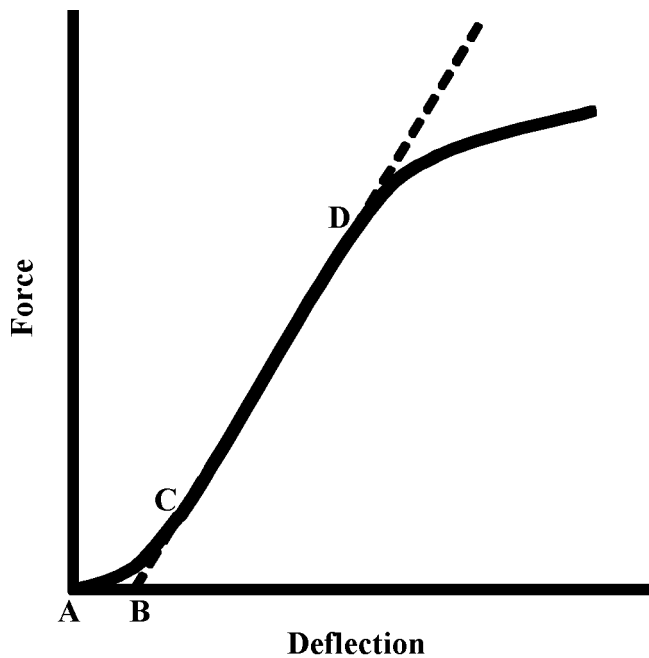


FIG. A2.1 Material with a Hookean Region

Licensed by WEX to UNIVERSIDADE DE SAO PAULO-CRUESP. Downloaded: 1/29/2008 11:27:41 AM single-user license only, copying and networking prohibited.

 **D 7264/D 7264M – 07**

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

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

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

Licensed by WEX to UNIVERSIDADE DE SAO PAULO-CRUESP. Downloaded: 1/29/2008 11:27:41 AM single-user license only, copying and networking prohibited. /

**Anexo 4. Norma
para ensayo a
impacto ASTM D
5628-10.**



Standard Test Method for Impact Resistance of Flat, Rigid Plastic Specimens by Means of a Falling Dart (Tup or Falling Mass)¹

This standard is issued under the fixed designation D5628; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

1. Scope*

1.1 This test method covers the determination of the threshold value of impact-failure energy required to crack or break flat, rigid plastic specimens under various specified conditions of impact of a free-falling dart (tup), based on testing many specimens.

1.2 The values stated in SI units are to be regarded as the standard. The values in parentheses are for information only.

1.3 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.* Specific hazard statements are given in Section 8.

NOTE 1—This test method and ISO 6603-1 are technically equivalent only when the test conditions and specimen geometry required for Geometry FE and the Bruceton Staircase method of calculation are used.

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:²

- D618 Practice for Conditioning Plastics for Testing
- D883 Terminology Relating to Plastics
- D1600 Terminology for Abbreviated Terms Relating to Plastics
- D1709 Test Methods for Impact Resistance of Plastic Film by the Free-Falling Dart Method
- D2444 Test Method for Determination of the Impact Resistance of Thermoplastic Pipe and Fittings by Means of a Tup (Falling Weight)
- D3763 Test Method for High Speed Puncture Properties of Plastics Using Load and Displacement Sensors

D4000 Classification System for Specifying Plastic Materials

D5947 Test Methods for Physical Dimensions of Solid Plastics Specimens

D6779 Classification System for Polyamide Molding and Extrusion Materials (PA)

E691 Practice for Conducting an Interlaboratory Study to Determine the Precision of a Test Method

2.2 ISO Standards:³

ISO 291 Standard Atmospheres for Conditioning and Testing

ISO 6603-1 Plastics—Determination of Multiaxial Impact Behavior of Rigid Plastics—Part 1: Falling Dart Method

3. Terminology

3.1 Definitions:

3.1.1 For definitions of plastic terms used in this test method, see Terminologies D883 and D1600.

3.2 Definitions of Terms Specific to This Standard:

3.2.1 *failure (of test specimen)*—the presence of any crack or split, created by the impact of the falling tup, that can be seen by the naked eye under normal laboratory lighting conditions.

3.2.2 *mean-failure energy (mean-impact resistance)*—the energy required to produce 50 % failures, equal to the product of the constant drop height and the mean-failure mass, or, to the product of the constant mass and the mean-failure height.

3.2.3 *mean-failure height (impact-failure height)*—the height at which a standard mass, when dropped on test specimens, will cause 50 % failures.

NOTE 2—Cracks usually start at the surface opposite the one that is struck. Occasionally incipient cracking in glass-reinforced products, for example, is difficult to differentiate from the reinforcing fibers. In such cases, a penetrating dye can confirm the onset of crack formation.

3.2.4 *mean-failure mass (impact-failure mass)*—the mass of the dart (tup) that, when dropped on the test specimens from a standard height, will cause 50 % failures.

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

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.

*A Summary of Changes section appears at the end of this standard.

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

4. Summary of Test Method

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

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

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

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

5. Significance and Use

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

6. Interferences

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

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

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

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

7. Apparatus

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

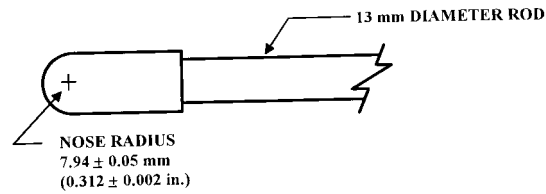


FIG. 1 (a)

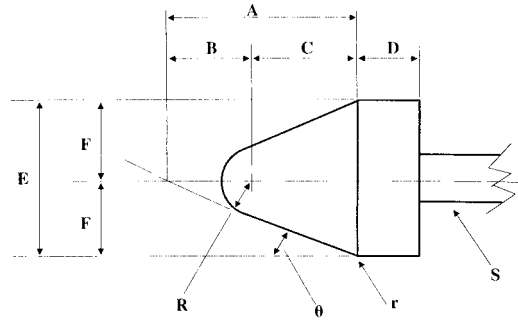


FIG. 1 (b)

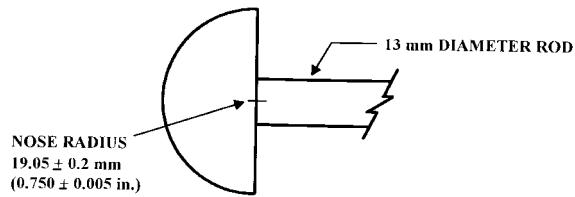


FIG. 1 (c)

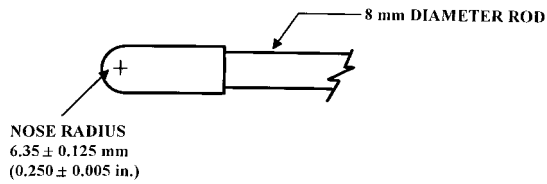


FIG. 1 (d)

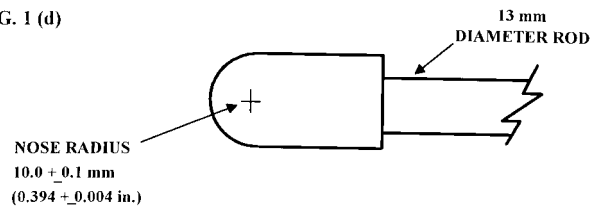


FIG. 1 (e)

Dimensions of Conical Dart (Not to scale.)—Fig. 1(b)

NOTE 1—Unless specified, the tolerance on all dimensions shall be ±2 %.

Position	Dimension, mm	Dimension, in.
A	27.2	1.07
B	15	0.59
C	12.2	0.48
D	6.4	0.25
E	25.4	1
F	12.7	0.5
R	6.35 ± 0.05	0.250 ± 0.002
(nose radius)		
r (radius)	0.8	0.03
S (diameter) ^A	6.4	0.25
θ	25 ± 1°	25 ± 1°

^A Larger diameter shafts shall be used.

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

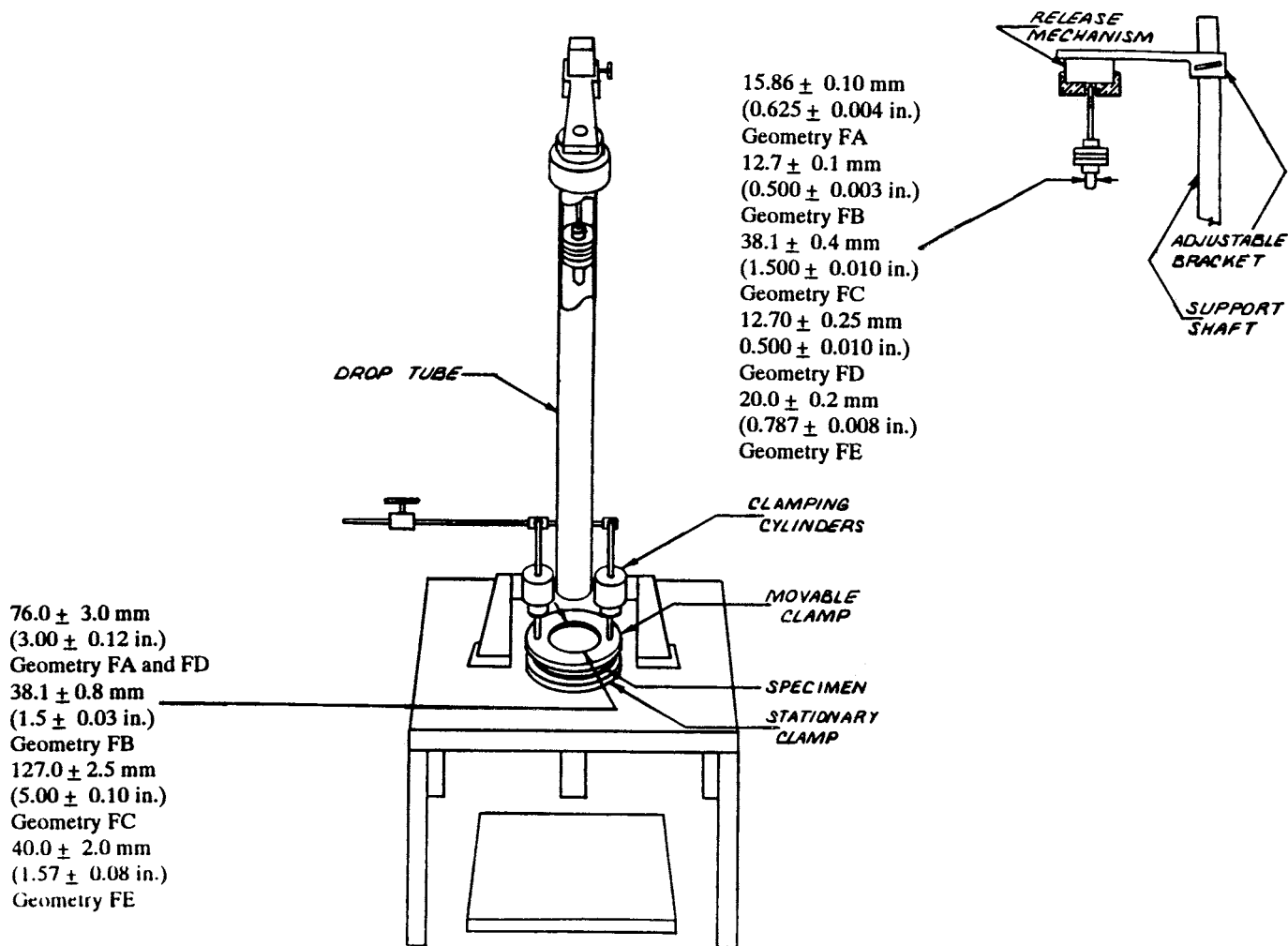


FIG. 2 One Type of Falling Mass Impact Tester

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

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

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

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

7.1.3 *Positioning Device*—Means shall be provided for positioning the tup so that the distance from the impinging surface of the tup head to the test specimen is as specified.

7.2 *Tup:*

7.2.1 The tup used in Geometry FA shall have a 15.86 ± 0.10-mm (0.625 ± 0.004-in.) diameter hemispherical head of tool steel hardened to 54 HRC or harder. A steel shaft about 13 mm (0.5 in.) in diameter shall be attached to the center of the flat surface of the head with its longitudinal axis at 90° to that surface. The length of the shaft shall be great enough to accommodate the maximum mass required (see Fig. 1(a) and Table 1).

7.2.2 The tup used in Geometry FB shall be made of tool steel hardened to 54 HRC or harder. The head shall have a diameter of 12.7 ± 0.1 mm (0.500 ± 0.003 in.) with a conical (50° included angle) configuration such that the conical surface is tangent to the hemispherical nose. A 6.4-mm (0.25-in.) diameter shaft is satisfactory (see Fig. 1(b) and Table 1).

7.2.3 The tup used for Geometry FC shall be made of tool steel hardened to 54 HRC or harder. The hemispherical head shall have a diameter of 38.1 ± 0.4 mm (1.5 ± 0.015 in.). A steel shaft about 13 mm (0.5 in.) in diameter shall be attached to the center of the flat surface of the head with its longitudinal

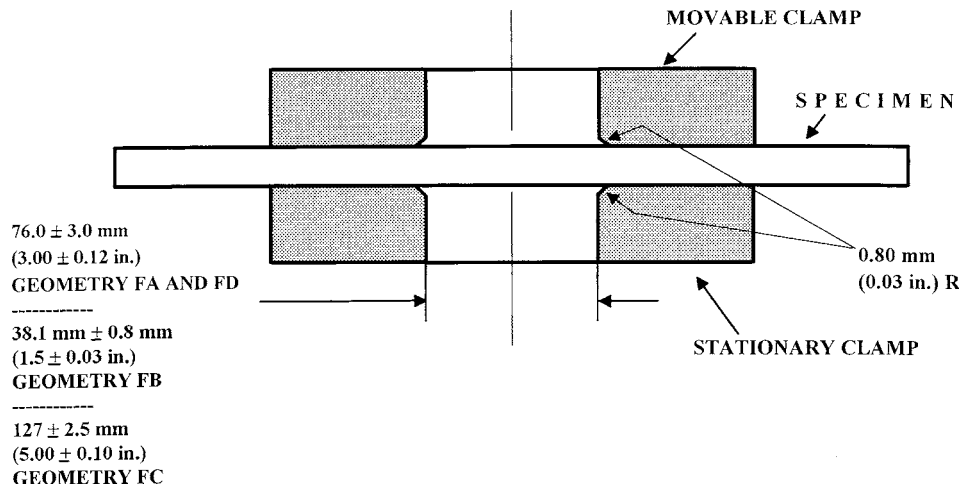


FIG. 3 Support Plate/Specimen/Clamp Configuration for Geometries FA, FB, FC, and FD

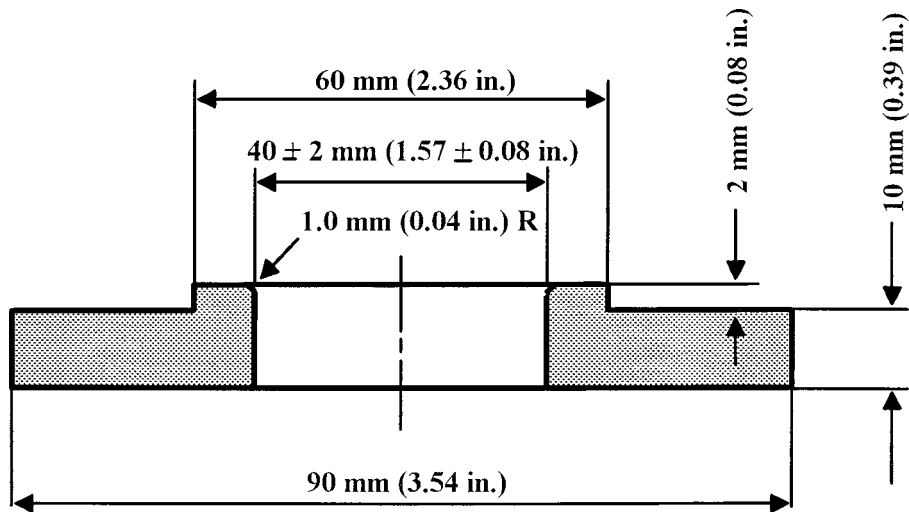


FIG. 4 Test-Specimen Support for Geometry FE

TABLE 1 Tup and Support Ring Dimensions

Geometry	Dimensions, mm (in.)	
	Tup Diameter	Inside Diameter Support Ring
FA	15.86 ± 0.10 (0.625 ± 0.004)	76.0 ± 3.0 (3.00 ± 0.12)
FB	12.7 ± 0.1 (0.500 ± 0.003)	38.1 ± 0.8 (1.5 ± 0.03)
FC	38.1 ± 0.4 (1.5 ± 0.010)	127.0 ± 2.5 (5.00 ± 0.10)
FD	12.70 ± 0.25 (0.500 ± 0.010)	76.0 ± 3.0 (3.00 ± 0.12)
FE	20.0 ± 0.2 (0.787 ± 0.008)	40.0 ± 2.0 (1.57 ± 0.08)

axis at 90° to that surface. The length of the shaft shall be great enough to accommodate the maximum mass (see Fig. 1(c) and Table 1).

7.2.4 The tup used in Geometry FD shall have a 12.70 ± 0.25-mm (0.500 ± 0.010-in.) diameter hemispherical head of tool steel hardened to 54 HRC or harder. A steel shaft about 8

mm (0.31 in.) in diameter shall be attached to the center of the flat surface of the head with its longitudinal axis at 90° to the surface. The length of the shaft shall be great enough to accommodate the maximum mass required (see Fig. 1(d) and Table 1).

7.2.5 The tup used in Geometry FE shall have a 20.0 ± 0.2-mm (0.787 ± 0.008-in.) diameter hemispherical head of tool steel hardened to 54 HRC or harder. A steel shaft about 13 mm (0.5 in.) in diameter shall be attached to the center of the flat surface of the head with its longitudinal axis at 90° to the surface. The length of the shaft shall be great enough to accommodate the maximum mass required (see Fig. 1(e) and Table 1).

7.2.6 The tup head shall be free of nicks, scratches, or other surface irregularities.

7.3 Masses—Cylindrical steel masses are required that have a center hole into which the tup shaft will fit. A variety of masses are needed if different materials or thicknesses are to be

TABLE 2 Minimum Size of Specimen

Geometry	Specimen Diameter, mm (in.)	Square Specimen, mm (in.)
FA	89 (3.5)	89 by 89 (3.5 by 3.5)
FB	51 (2.0)	51 by 51 (2.0 by 2.0)
FC	140 (5.5)	140 by 140 (5.5 by 5.5)
FD	89 (3.5)	89 by 89 (3.5 by 3.5)
FE	58 (2.3)	58 by 58 (2.3 by 2.3)

tested. The optimal increments in tup mass range from 10 g or less for materials of low impact resistance, to 1 kg or higher for materials of high impact resistance.

7.4 *Micrometer*, for measurement of specimen thickness. It should be accurate to within 1 % of the average thickness of the specimens being tested. See Test Methods [D5947](#) for descriptions of suitable micrometers.

7.5 The mass of the tup head and shaft assembly and the additional mass required must be known to within an accuracy of ± 1 %.

8. Hazards

8.1 Safety Precautions:

8.1.1 Cushioning and shielding devices shall be provided to protect personnel and to avoid damage to the impinging surface of the tup. A tube or cage can contain the tup if it rebounds after striking a specimen.

8.1.2 When heavy weights are used, it is hazardous for an operator to attempt to catch a rebounding tup. Figure 2 of Test Method [D2444](#) shows an effective mechanical “rebound catcher” employed in conjunction with a drop tube.

9. Sampling

9.1 Sample the material to meet the requirements of Section [14](#).

10. Test Specimens

10.1 Flat test specimens shall be large enough so that they can be clamped firmly if clamping is desirable. See [Table 2](#) for the minimum size of specimen that can be used for each test geometry.

10.2 The thickness of any specimen in a sample shall not differ by more than 5 % from the average specimen thickness of that sample. However, if variations greater than 5 % are unavoidable in a sample that is obtained from parts, the data shall not be used for referee purposes. For compliance with [ISO 6603-1](#) the test specimen shall be 60 ± 2 mm (2.4 ± 0.08 in.) in diameter or 60 ± 2 mm (2.4 ± 0.08 in.) square with a thickness of 2 ± 0.1 mm (0.08 ± 0.004 in.). Machining specimens to reduce thickness variation is not permissible.

10.3 When the approximate mean failure mass for a given sample is known, 20 specimens will usually yield sufficiently precise results. If the approximate mean failure mass is unknown, six or more additional specimens should be used to determine the appropriate starting point of the test. For compliance with [ISO 6603-1](#) a minimum of 30 specimens must be tested.

10.4 Carefully examine the specimen visually to ensure that samples are free of cracks or other obvious imperfections or damages, unless these imperfections constitute variables under study. Samples known to be defective should not be tested for specification purposes. Production parts, however, should be tested in the as-received condition to determine conformance to specified standards.

10.5 Select a suitable method for making the specimen that will not affect the impact resistance of the material.

10.6 Specimens range from having flat smooth surfaces on both sides, being textured on one side and smooth on the other side, or be textured on both surfaces. When testing, special attention must be paid to how the specimen is positioned on the support.

NOTE 4—As few as ten specimens often yield sufficiently reliable estimates of the mean-failure mass. However, in such cases the estimated standard deviation will be relatively large (**1**).

11. Conditioning

11.1 Unless otherwise specified, by contract or relevant ASTM material specification, condition the test specimens in accordance with Procedure A of Practice [D618](#), for those tests where conditioning is required. Temperature and humidity tolerances shall be in accordance with Section 7 of Practice [D618](#), unless otherwise specified by contract or relevant ASTM material specification. For compliance with ISO requirements, the specimens must be conditioned for a minimum of 16 h prior to testing or post conditioning in accordance with [ISO 291](#), unless the period of conditioning is stated in the relevant ISO specification for the material.

11.1.1 Note that for some hygroscopic materials, such as polyamides, the material specifications (for example, Classification System [D6779](#)) call for testing “dry as-molded specimens”. Such requirements take precedence over the above routine preconditioning to 50 % RH and require sealing the specimens in water vapor-impermeable containers as soon as molded and not removing them until ready for testing.

11.2 Conduct tests at the same temperature and humidity used for conditioning with tolerances in accordance with Section 7 of Practice [D618](#), unless otherwise specified by contract or relevant ASTM material specification.

11.3 When testing is desired at temperatures other than 23°C, transfer the materials to the desired test temperature within 30 min, preferably immediately, after completion of the preconditioning. Hold the specimens at the test temperature for no more than 5 h prior to test, and, in no case, for less than the time required to ensure thermal equilibrium in accordance with Section 10 of Test Method [D618](#).

12. Procedure

12.1 Determine the number of specimens for each sample to be tested, as specified in [10.3](#).

12.2 Mark the specimens and condition as specified in [11.1](#).

12.3 Prepare the test apparatus for the geometry (FA, FB, FC, FD, FE) selected.

12.4 Measure and record the thickness of each specimen in the area of impact. In the case of injection molded specimens, it is not necessary to measure each specimen. It is sufficient to

measure and record thickness for one specimen when it has been previously demonstrated that the thickness does not vary by more than 5 %.

12.5 Choose a specimen at random from the sample.

12.6 Clamp or position the specimen. The same surface or area should be the target each time (see 6.2). When clamping is employed, the force should be sufficient to prevent motion of the clamped portion of the specimen when the tup strikes.

12.7 Unless otherwise specified, initially position the tup 0.660 ± 0.008 m (26.0 ± 0.3 in.) from the surface of the specimen.

12.8 Adjust the total mass of the tup or the height of the tup, or both, to that amount expected to cause half the specimens to fail.

NOTE 5—If failures cannot be produced with the maximum available missile mass, the drop height can be increased. The test temperature could be reduced by (a) use of an ice-water mixture, or (b) by air-conditioned environment to provide one of the temperatures given in 3.3 of Test Methods D618. Conversely, if the unloaded tup causes failures when dropped 0.660 m, the drop height can be decreased. A moderate change in dart velocity will not usually affect the mean-failure energy appreciably. Refer to 5.1.

12.9 Release the tup. Be sure that it hits the center of the specimen. If the tup bounces, catch it to prevent multiple impact damage to the specimen's surface (see 8.1.2).

12.10 Remove the specimen and examine it to determine whether or not it has failed. Permanent deformation alone is not considered failure, but note the extent of such deformation (depth, area). For some polymers, for example, glass-reinforced polyester, incipient cracking is difficult to determine with the naked eye. Exposure of the stressed surface to a penetrating dye, such as gentian violet, confirms the onset of cracking. As a result of the wide range of failure types observed with different materials, the definition of failure defined in the material specification, or a definition agreed upon by supplier and user, shall take precedence over the definition stated in 3.2.1.

12.11 If the first specimen fails, remove one increment of mass from the tup while keeping the drop height constant, or decrease the drop height while keeping the mass constant (see 12.12). If the first specimen does not fail, add one increment of mass to the tup or increase the drop height one increment, as above. Then test the second specimen.

12.12 In this manner, select the impact height or mass for each test from the results observed with the specimen just previously tested. Test each specimen only once.

12.13 For best results, the mass or height increment used should be approximately equivalent to s , the estimated standard deviation of the test for that sample. An increment of 0.5 to 2 times s is satisfactory (see section 13.4).

NOTE 6—An increment of 10 % of the estimated mean-failure mass or mean-failure height has been found to be acceptable in most instances.

12.14 Keep a running plot of the data, as shown in Appendix X1. Use one symbol, such as X , to indicate a failure and a different symbol, such as O , to indicate a non-failure at each mass or height level.

12.15 For any specimen that gives a break behavior that appears to be an outlier, the conditions of that impact shall be

examined. The specimen shall be discarded only if a unique cause for the anomaly can be found, such as an internal flaw visible in the broken specimen. Note that break behavior can vary widely within a set of specimens. Data from specimens that show atypical behavior shall not be discarded simply on the basis of such behavior.

13. Calculation

13.1 *Mean-Failure Mass*—If a constant-height procedure was used, calculate the mean-failure mass from the test data obtained, as follows:

$$w = w_o + d_w(A/N \pm 0.5) \quad (1)$$

13.2 *Mean-Failure Height*—If a constant-mass procedure was used, calculate the mean-failure height from the test data obtained, as follows:

$$h = h_o + d_h(A/N \pm 0.5) \quad (2)$$

where:

w = mean-failure mass, kg,

h = mean-failure height, mm,

d_w = increment of tup weight, kg,

d_h = increment of tup height, mm,

N = total number of failures or non-failures, whichever is smaller. For ease of notation, call whichever are used events,

w_o = smallest mass at which an event occurred, kg

h_o = lowest height at which an event occurred, mm (or in.),

$A = \sum_{i=0}^k in_i$,

$i = 0, 1, 2, \dots, k$ (counting index, starts at h_o or w_o),

n_i = number of events that occurred at h_i or w_i ,

$w_i = w_o + id_w$, and

$h_i = h_o + id_h$.

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

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

where:

MFE = mean-failure energy, J,

h = mean-failure height or constant height as applicable, mm

w = mean-failure mass or constant mass as applicable, kg, and

f = factor for conversion to joules.

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

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

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

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

where:

s_w = estimated standard deviation, mass, kg

s_h = estimated standard deviation, height, mm, and

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

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

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

$$S_{\bar{w}} = G s_w / \sqrt{N} \quad (6)$$

or

$$S_{\bar{h}} = G s_h / \sqrt{N} \quad (7)$$

where:

$S_{\bar{h}}$ = estimated standard deviation of the mean height, mm,

$S_{\bar{w}}$ = estimated standard deviation of the mean mass, kg, and

G = factor that is a function of s/d (see Appendix X2).

A sample computation of s_w is found in Appendix X1.

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

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

$$S_{MFE} = s_{\bar{h}} w f \quad (8)$$

or

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

where:

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

14. Report

14.1 Report the following information:

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

14.1.2 Method of preparation of specimens,

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

14.1.4 If the specimen is textured, report whether textured surface faces upward towards the dart or downward away from the dart,

14.1.5 Means of clamping, if any,

14.1.6 Statement of geometry (FA, FB, FC, FD, FE) and procedure used—constant mass or constant height,

14.1.7 Thickness of specimens tested (average and range).

14.1.8 Number of test specimens employed to determine the mean failure height or mass,

14.1.9 Mean-failure energy,

14.1.10 Types of failure, for example: (a) crack or cracks on one surface only (the plaque could still hold water), (b) cracks that penetrate the entire thickness (water would probably penetrate through the plaque), (c) brittle shatter (the plaque is in several pieces after impact), or (d) ductile failure (the plaque is penetrated by a blunt tear). Report other observed deformation due to impact, whether the specimens fail or not,

TABLE 3 Precision, Method FB

Material	Mean, J	Values Expressed as Percent of the Mean	
		V_r	r
Polymethyl Methacrylate (PMMA)	0.35	12.6	35.7
Styrene-Butadiene (SB) ^A	9.26	18.7	52.9
Acrylonitrile-Butadiene-Styrene (ABS) ^A	11.8	14.9	42.2

^A Data generated in three laboratories.

V_r = within-laboratory coefficient of variation of the mean.

$r = 2.83 V_r$.

14.1.11 If atypical deformation for any specimen within a sample for that material is observed, note the assignable cause, if known,

14.1.12 Date of test and operator's identification,

14.1.13 Test temperature,

14.1.14 In no case shall results obtained with arbitrary geometries differing from those contained in these test methods be reported as values obtained by this test method (D5628), and

14.1.15 The test method number and published/revision date.

15. Precision and Bias

15.1 Tables 3 and 4 are based on a round robin⁵ conducted in 1972 involving three materials tested by six laboratories. Data from only four laboratories were used in calculating the values in these tables. Each test result was the mean of multiple individual determinations (Bruceton Staircase Procedure). Each laboratory obtained one test result for a material.

NOTE 8—The number of laboratories participating in the 1972 round robin and the number of results collected do not meet the minimum requirements of Practice E691. Data in Tables 3 and 4 should be used only for guidance, and not as a referee when there is a dispute between users of this test method.

15.1.1 *Polymethylmethacrylate (PMMA)*—Specimens were cut from samples of 3.18-mm (0.125-in.) thickness extruded sheet.

15.1.2 *Styrene-Butadiene (SB)*—Specimens were cut from samples of 2.54-mm (0.100-in.) thickness extruded sheet.

15.1.3 *Acrylonitrile-Butadiene-Styrene (ABS)*—Specimens were cut from samples of 2.64-mm (0.104-in.) thickness extruded sheet. (**Warning**—The following explanations of r and R (15.2-15.2.3) are only intended to present a meaningful way of considering the approximate precision of this test method. The data in Tables 3 and 4 should not be rigorously applied to acceptance or rejection of material, as those data are specific to the round robin and not necessarily representative of other lots, conditions, materials, or laboratories. Users of this test method should apply the principles outlined in Practice E691 to generate data specific to their laboratory and materials, or between specific laboratories. The principles of 15.2-15.2.3 would then be valid for such data.)

15.2 *Concept of r and R* —If V_r and V_R have been calculated from a large enough body of data, and for test results that were

⁵ Supporting data are available from ASTM Headquarters. Request RR:D20-1030.

TABLE 4 Precision, Method FC

Material	Mean, <i>J</i>	Values Expressed as Percent of the Mean	
		<i>V_r</i>	<i>r</i>
Polymethyl Methacrylate (PMMA)	1.33	4.13	11.7
Styrene-Butadiene (SB)	48.3	18.3	51.8

V_r = within-laboratory coefficient of variation of the mean.
r = 2.83 *V_r*.

means from testing multiple individual specimens (Bruceton Staircase Procedure), the following applies:

15.2.1 *Repeatability, r*—In comparing two test results for the same material obtained by the same operator using the same equipment on the same day, the two test results should be judged not equivalent if they differ by more than the *r* value for that material.

15.2.2 *Reproducibility, R*—In comparing two test results for the same material obtained by different operators using differ-

ent equipment in different laboratories, reproducibility statistics were not calculated because data from only four and three laboratories do not justify making these calculations.

15.2.3 Any judgment in accordance with 15.2.1 would have an approximate 95 % (0.95) probability of being correct.

15.3 *Bias*—There are no recognized standards by which to estimate bias of this test method.

15.4 Efforts to form a task group to address between laboratory reproducibility of this test method has been unsuccessful. Persons interested in participating in such a task group should contact ASTM Headquarters.

16. Keywords

16.1 dart impact; falling-mass impact; impact; impact resistance; mean-failure energy; mean-failure height; mean-failure mass; rigid plastic; tup

APPENDIX

(Nonmandatory Information)

X1. SAMPLE CALCULATIONS

X1.1 See below.

Total Dart Mass, kg	Outcome of Test (X = failure; O = non-failure)																				<i>n_x</i>	<i>n_o</i>	<i>i</i>	<i>n_i</i>	<i>in₁</i>	<i>i²n₁</i>
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20						
9.00						X															1	0	2	1	2	4
8.00					O		X	X				X		X							4	1	1	4	4	4
7.00		X		O				O	X		O		O		X		X		O	4	5	0	4	0	0	
6.00	O		O							O							O		O	0	5					
Totals																					9 (<i>N_g</i>)	11 (<i>N_o</i>)		9 (<i>N</i>)	6 (<i>A</i>)	8 (<i>B</i>)

$$w_o = 7.00; N = N_x = 9; d = 1.00$$

$$w = w_o + d(A/N - 0.5) = 7.00 + 1.00 (6/9 - 0.5) = 7.17 \text{ kg}$$

$$s = 1.620 d [((NB - A^2)/9^2) + 0.029] = 1.620 (1.00) [((9.8 - 6^2)/9^2) + 0.029] = 0.77 \text{ kg}$$

$$s/d = 0.77/1.00 = 0.77; G = 1.035 \text{ (from Table X1.1)}$$

$$s_w = Gs/\sqrt{N} = 1.035 (0.77)/\sqrt{9} = 0.27 \text{ kg}$$

TABLE X1.1 Values of G for Obtaining the Estimated Standard Deviation of the Mean

<i>s/d</i>	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
0.40						1.18	1.175	1.17	1.16	1.155
0.50	1.15	1.145	1.14	1.135	1.13	1.125	1.12	1.11	1.105	1.10
0.60	1.095	1.09	1.085	1.08	1.075	1.07	1.07	1.065	1.06	1.06
0.70	1.055	1.055	1.05	1.05	1.045	1.04	1.04	1.035	1.035	1.03
0.80	1.03	1.025	1.025	1.02	1.02	1.02	1.015	1.015	1.015	1.01
0.90	1.01	1.01	1.005	1.005	1.005	1.00	1.00	1.00	0.995	0.995
1.00	0.995	0.99	0.99	0.99	0.985	0.985	0.985	0.985	0.98	0.98
1.10	0.98	0.98	0.98	0.975	0.975	0.975	0.975	0.975	0.975	0.97
1.20	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.965	0.965	0.965	0.965
1.30	0.965	0.965	0.965	0.965	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96
1.40	0.96	0.96	0.96	0.955	0.955	0.955	0.955	0.955	0.955	0.955
1.50	0.955	0.955	0.955	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95
1.60	0.95	0.95	0.95	0.95	0.945	0.945	0.945	0.945	0.945	0.945
1.70	0.945	0.945	0.945	0.945	0.945	0.945	0.94	0.94	0.94	0.94
1.80	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.935
1.90	0.935	0.935	0.935	0.935	0.935	0.935	0.935	0.935	0.935	0.935
2.00	0.935	0.935	0.935	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93

REFERENCES

- (1) Brownlee, K. A., Hodgest, J. L., Jr., and Rosenblatt, Murray, "The Up-and-Down Method with Small Samples," *American Statistical Association Journal*, Vol 48, 1953, pp. 262–277.
- (2) Hagan, R. S., Schmitz, J. V., and Davis, D. A., "Impact Testing of High Impact Thermoplastic Sheet," *Technical Papers, 17th Annual Technical Conference of SPE, SPPPB*, Vol VIII, January 1961.
- (3) "Test Method A—Falling Dart Impact, Proposed Method of Test for Impact Resistance of Fabricated Plastics Parts," *Proposed Test Methods for Plastics Parts Used in Appliances*, the Society of the Plastics Industry, New York, NY, January 1965.
- (4) Weaver, O. R., "Using Attributes to Measure a Continuous Variable in Impact Testing Plastic Bottles," *Materials Research and Standards, MR & S*, Vol 6, No. 6, June 1966, pp. 285–291.
- (5) Natrella, M. G., *Experimental Statistics*, National Bureau of Standards Handbook 91, October 1966, pp. 10–22 and 10–23.

SUMMARY OF CHANGES

Committee D20 has identified the location of selected changes to this standard since the last issue (D5628 - 07) that may impact the use of this standard. (July 1, 2010)

- (1) Revised 11.1 and 11.2 for consistency with Practice D618.
- (2) Revised 12.4 to allow measurement of only one specimen for injection molded specimens.

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

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

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

**Anexo 5. Informe
técnico de ensayos a
tracción y flexión.**



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

INFORME DE ENSAYOS MECÁNICOS

LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES

ENSAYO DE TRACCIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS

TIPO DE MATERIAL:	MATERIAL COMPUESTO/Matriz poliéster reforzado con fibra de pelo de res.
SOLICITADO POR:	ÁNGEL VINICIO TONATO PORRAS C.I.: 050358667-9 Email: v-tonato@hotmail.com Telf.: 0995189419
FECHA DE INICIO:	18-02-2020
FECHA DE FINALIZACIÓN:	27-02-2020
MÉTODO DE ENSAYO:	ASTM D3039, método de prueba estándar para propiedades de tracción de materiales compuestos de matriz polimérica.
OBSERVACIONES:	Equipo utilizado: Maquina de ensayos universal marca MTS 5000N Velocidad de ensayo: 10mm/min

ENSAYO SOLICITADO					
N°	Identificación del grupo		Características	Orientación	Probetas a Ensayar
1	TR-(60-40)% 0°	(1-5)	60% Resina y 40% Fibra Natural	0°	5
2	TR-(60-40)% 45°	(6-10)	60% Resina y 40% Fibra Natural	45°	5
3	TR-(60-40)% Azar	(11-15)	60% Resina y 40% Fibra Natural	Entrecruzada/AI azar	5
4	TR-(70-30)% 0°	(16-20)	70% Resina y 30% Fibra Natural	0°	5
5	TR-(70-30)% 45°	(21-25)	70% Resina y 30% Fibra Natural	45°	5
6	TR-(70-30)% Azar	(26-30)	70% Resina y 30% Fibra Natural	Entrecruzada/AI azar	5
Total					30

Ing. Francisco Navas	
Analista de laboratorio de resistencia de materiales	
NOTA: Todas las muestras y los datos de los resultados de cada grupo ensayado se entrega al cliente.	



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

INFORME DE ENSAYOS MECÁNICOS

LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES

ENSAYO DE FLEXIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS

TIPO DE MATERIAL:	MATERIAL COMPUESTO/Matriz poliéster reforzado con fibra de pelo de res.
SOLICITADO POR:	ÁNGEL VINICIO TONATO PORRAS C.I.: 050358667-9 Email: v-tonato@hotmail.com Telf.: 0995189419
FECHA DE INICIO:	18-02-2020
FECHA DE FINALIZACIÓN:	27-02-2020
MÉTODO DE ENSAYO:	ASTM D7264, método de prueba estándar para propiedades de flexión de materiales compuestos de matriz polimérica.
OBSERVACIONES:	Equipo utilizado: Maquina de ensayos universal marca MTS 5000N Velocidad de ensayo: 10mm/min Distancia entre apoyos: 128mm

ENSAYO SOLICITADO					
N°	Identificación del grupo		Características	Orientación	Probetas a Ensayar
1	FL-(60-40)% 0°	(1-5)	60% Resina y 40% Fibra Natural	0°	5
2	FL-(60-40)% 45°	(6-10)	60% Resina y 40% Fibra Natural	45°	5
3	FL-(60-40)% Azar	(11-15)	60% Resina y 40% Fibra Natural	Entrecruzada/AI azar	5
4	FL-(70-30)% 0°	(16-20)	70% Resina y 30% Fibra Natural	0°	5
5	FL-(70-30)% 45°	(21-25)	70% Resina y 30% Fibra Natural	45°	5
6	FL-(70-30)% Azar	(26-30)	70% Resina y 30% Fibra Natural	Entrecruzada/AI azar	5
Total					30

	
Ing. Francisco Navas	
Analista de laboratorio de resistencia de materiales	
NOTA: Todas las muestras y los datos de los resultados de cada grupo ensayado se entrega al cliente.	