



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:

**“CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DEL MATERIAL COMPUESTO DE
MATRIZ POLIÉSTER REFORZADA CON FIBRA NATURAL DE TOTORA
(SCHOENOPLECTUS CALIFORNICUS) Y SU POSIBLE APLICACIÓN EN
LA INDUSTRIA.”**

Autor: José Luis Pico Vaca

Tutor: Ing. Mg. Segundo Manuel Espín Lagos

AMBATO – ECUADOR

Marzo - 2022

CERTIFICACIÓN

En mi calidad de tutor del Trabajo Experimental, previo a la obtención del Título de Ingeniero Mecánico, con el tema **“CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DEL MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ POLIÉSTER REFORZADA CON FIBRA NATURAL DE TOTORA (SCHOENOPLECTUS CALIFORNICUS) Y SU POSIBLE APLICACIÓN EN LA INDUSTRIA.”**, elaborado por el Sr. José Luis Pico Vaca con CI: 180361349-4, estudiante 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, Marzo 2022

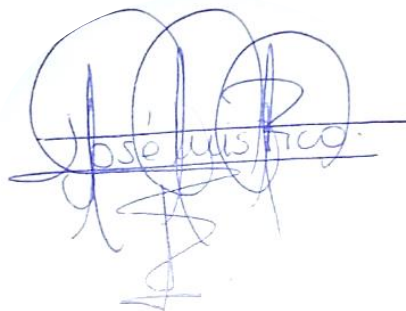
.....
Ing. Mg. Segundo Manuel Espín Lagos

TUTOR

AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Yo, **José Luis Pico Vaca**, con CI. 180361349-4, declaro que todas las actividades y contenidos expuestos en el presente Trabajo experimental con el tema: **“CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DEL MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ POLIÉSTER REFORZADA CON FIBRA NATURAL DE TOTORA (SCHOENOPLECTUS CALIFORNICUS) Y SU POSIBLE APLICACIÓN EN LA INDUSTRIA”**, así como también los análisis estadísticos, gráficos, conclusiones y recomendaciones son de mi exclusiva responsabilidad como autor del proyecto, a excepción de las referencias bibliográficas citadas en el mismo.

Ambato, Marzo 2022



.....
José Luis Pico Vaca

C. I: 180361349-4

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 documento dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica potencial y se realice respetando mis derechos de autor.

Ambato, Marzo 2022



.....
José Luis Pico Vaca

C. I: 180361349-4

AUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del tribunal de grado aprueban el informe del Trabajo Experimental realizado por el estudiante José Luis Pico Vaca, de la carrera de Ingeniería Mecánica bajo el tema: **“CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DEL MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ POLIÉSTER REFORZADA CON FIBRA NATURAL DE TOTORA (SCHOENOPLECTUS CALIFORNICUS) Y SU POSIBLE APLICACIÓN EN LA INDUSTRIA.”**

Ambato, Marzo 2022

Para constancia firman:

.....
Ing. Mg. María Belén Paredes Robalino
Miembro Calificador

.....
Ing. Mg. Jorge Enrique López Velástegui
Miembro Calificador

AGRADECIMIENTO

A toda mi familia, por su apoyo y por ser el pilar fundamental donde me forme como persona.

A las autoridades y profesores de la Facultad de ingeniería civil y mecánica, en especial al Ing. Mg. Segundo Espín por su paciencia, consejos y disposición que fueron fundamentales para poder terminar mi proyecto de investigación.

Al Ing. Sebastián Villegas S. por ayudarme con la realización de los ensayos mecánicos.

Al Ing. Luis Coapanta M. por ayudarme con sus conocimientos que fueron de gran ayuda en mi proyecto de investigación

José Luis Dico

DEDICATORIA

A todas las personas que siempre me brindaron su apoyo y confiaron en mí.

A mis padres Joselito Dico y Luzmila Vaca por brindarme su apoyo y por estar conmigo incondicionalmente, además de darme sus consejos que me han ayudado a ser una mejor persona y sacar siempre mi mejor versión.

A mi esposa Patricia Guerra por estar siempre a mi lado, por ser una parte fundamental en mi vida y por ser mi complemento.

A mi hijo Mateo Dico que es lo más hermoso que me ha pasado en la vida, por ser la razón por la que vale la pena luchar.

José Luis Dico

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDO

PÁGINAS PRELIMINARES

CERTIFICACIÓN	ii
AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN	iii
DERECHOS DE AUTOR	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO	v
AGRADECIMIENTO	vi
DEDICATORIA	vii
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDO	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xii
INDICE DE TABLAS	xiii
RESUMEN.....	xv
ABSTRACT	xvi
CAPÍTULO I.....	1
1.1 TEMA:.....	1
1.2 ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS:.....	1
1.3 JUSTIFICACIÓN:.....	2
1.4 OBJETIVOS:.....	3
1.4.1 OBJETIVO GENERAL.....	3
1.4.2 OBJETIVO ESPECÍFICO.....	3
CAPÍTULO II	4
MARCO TEÓRICO.....	4
2.1 INGENIERÍA DE LOS MATERIALES.....	4
2.2 MATERIALE COMPUESTO.....	4
2.3 COMPONENTES DE UN MATERIAL COMPUESTO	5
2.3.1 LA MATRIZ.....	5
2.3.2 EL REFUERZO	7

2.3.3 INTERFAZ.....	10
2.4 VOLUMEN Y ORIENTACIÓN DE LA FIBRA	10
2.5 REGLA DE LAS MEZCLAS	11
2.6 PROCESOS DE MOLDEO ABIERTO PARA MATERIALES COMPUESTOS DE MATRIZ POLIMÉRICA REFORZADA CON FIBRAS. ...	12
2.6.1 ESTRATIFICACIÓN MANUAL	12
2.7 ENSAYOS DE MATERIALES	13
2.7.1 ENSAYOS DE TRACCIÓN.....	13
2.7.2 ENSAYOS A FLEXIÓN.....	14
2.7.3 ENSAYOS A IMPACTO.....	15
2.8 HIPÓTESIS	15
2.9 SEÑALAMIENTO DE VARIABLES DE LA HIPÓTESIS	15
2.9.1 VARIABLE INDEPENDIENTE	15
2.9.2 VARIABLE DEPENDIENTE.....	15
CAPÍTULO III.....	16
3.1 NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	16
3.1.1 DESCRIPTIVO	16
3.1.2 EXPERIMENTAL.....	16
3.1.3 CORRELACIONAL.....	16
3.2 POBLACIÓN Y MUESTRA	16
3.2.1 POBLACIÓN.....	16
3.2.2 MUESTRA	17
3.3 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.....	18
3.3.1 VARIABLE INDEPENDIENTE.....	18
3.3.2 VARIABLE DEPENDIENTE.....	19
3.4 PLAN DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN.....	20
3.5 PLAN PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS	20

3.5.1 PLAN DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	21
3.6 DIAGRAMA DE OBTENCIÓN DE LAS PROBETAS DEL MATERIAL COMPUESTO.....	21
3.7 DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD DE LA FIBRA DE TOTORA.....	23
3.8 DETERMINACIÓN DE LAS FRACCIONES VOLUMÉTRICA DEL MATERIAL COMPUESTO.	25
3.9 CÁLCULO DE LAS DENSIDADES, PESO DEL REFUERZO Y VOLUMEN DE LA RESINA NECESARIAS PARA CADA FRACCIÓN VOLUMÉTRICA	25
3.10 DIMENSIÓN, ORIENTACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE LA FIBRA.....	30
3.11 CONSTRUCCIÓN DEL MOLDE.....	31
3.12 MOLDEO POR ESTRATIFICACIÓN MANUAL	31
3.6.10 CONTROL DE CALIDAD DE LAS PROBETAS.....	33
3.6.11 DIMENSIONAMIENTO Y CORTADO DE LAS PROBETAS	34
CAPÍTULO IV.....	37
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	37
4.1 RECOLECCIÓN DE DATOS	37
4.2 CARACTERIZACIÓN MECÁNICA	37
4.2.1 ENSAYO A TRACCIÓN.....	37
4.2.3 ENSAYO A FLEXIÓN	48
4.2.4 ENSAYO DE IMPACTO.....	59
4.2.5 ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.	64
4.2.7 SELECCIÓN DEL MEJOR MATERIAL COMPUESTO.....	65
4.3 VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS	65
APLICACIÓN INDUSTRIAL.....	74
CAPÍTULO V.....	76
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	76
5.1 CONCLUSIONES	76

5.2 RECOMENDACIONES	77
BIBLIOGRAFÍA	78
ANEXOS	81

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO II

Figura 2. 1. Campos d aplicación de los materiales compuestos.....	5
Figura 2. 2. Componentes de un material compuesto.....	5
Figura 2. 3. Refuerzo con fibras y partículas.....	7
Figura 2. 4. Tamaño, forma, distribución y orientación del refuerzo.....	8
Figura 2. 5. Artesanías hechas con la fibra de totora.....	9
Figura 2. 6. Distribución de la fibra, (a) continua longitudinalmente, (b) discontinua longitudinalmente, (c) discontinua al azar.	11
Figura 2. 7. (a) Esquema de un proceso de estratificación manual	13
Figura 2. 8. Máquina universal y probetas ensayadas	14
Figura 2. 9. Esquema del ensayo a flexión.....	14
Figura 2. 10. (a) Máquina para el ensayo de impacto por caída de dardo, (b) dardo	15

CAPÍTULO III

Figura 3. 1. Diagrama para la obtención de las probetas del material compuesto.....	23
Figura 3. 2. Dimensión general del molde.....	31
Figura 3. 3. Alcohol polivinilico.	31
Figura 3. 4. Fibra de totora limpia y pesada..	32
Figura 3. 5. Resina poliéster, catalizador Meck y acelerante cobalto.....	32
Figura 3. 6. Estratificación manual.....	33
Figura 3. 7. Molde cerrado.	33
Figura 3. 8. Material compuesto secado listo para sacarlo.	33
Figura 3. 9. Probetas para ensayos a tracción, flexión e impacto.	36

CAPÍTULO IV

Figura 4. 1. Tabla de valores críticos de la distribución t de Student.....	68
Figura 4. 2. Tabla de valores críticos de la distribución t de Student.....	74

INDICE DE TABLAS

CAPÍTULO II

Tabla 2. 1. Sistemas catalíticos para resinas de poliéster	7
Tabla 2. 2. Propiedades físicas de la fibra de totora	10

CAPÍTULO III

Tabla 3. 1. Total de probetas a ensaya.....	17
Tabla 3. 2. Variable independiente (Material compuesto de matriz poliéster reforzada con fibra de totora)	18
Tabla 3. 3. Variable dependiente (Propiedades mecánicas).	19
Tabla 3. 4. Plan de recolección de la información.....	20
Tabla 3. 5. Densidad de la fibra de polipropileno.....	24
Tabla 3. 6. Fracciones volumétricas del material compuesto.	25
Tabla 3. 7. Densidad del compuesto, volumen de resina, masa de refuerzo. ...	30
Tabla 3. 8. Dimensión, distribución y orientación de la fibra de totora.	30
Tabla 3. 9. Control de calidad de las probetas del material compuesto.....	34
Tabla 3. 10. Dimensionamiento de probetas para ensayo a Tracción, flexión e impacto según normas ASTM.	35

CAPÍTULO IV

Tabla 4. 1. Tipos de fallas del ensayo de tracción.	39
Tabla 4. 2. Ficha técnica de los resultados a ensayos de tracción grupo1.....	40
Tabla 4. 3. Ficha técnica de los resultados a ensayos de tracción grupo2.....	43
Tabla 4. 4. Ficha técnica de los resultados a ensayos de tracción grupo3.....	46
Tabla 4. 5. Tipos de fallas de ensayo a flexión.....	50
Tabla 4. 6. Ficha técnica de resultados a ensayos de flexión grupo 1.	51
Tabla 4. 7. Ficha técnica de resultados a ensayos de flexión grupo 2.	54
Tabla 4. 8. Ficha técnica de resultados a ensayos de flexión grupo 3.	57
Tabla 4. 9. Tipos de fallas en los ensayos de impacto.....	60
Tabla 4. 10. Ficha técnica de los resultados a ensayos de impacto grupo 1.	61
Tabla 4. 11. Ficha técnica de los resultados a ensayos de impacto grupo 2.	62
Tabla 4. 12. Ficha técnica de los resultados a ensayos de impacto grupo 3.	63

Tabla 4. 13. Valores máximos que presenta a ensayos de tracción, flexión e impacto.	64
Tabla 4. 14. Propiedades mecánicas del material compuesto, 70% Matriz y 30% de Refuerzo.....	65
Tabla 4. 15. Resultados de ensayos de tracción del material compuesto fracción volumétrica 70%-30% y 80%-20%.	66
Tabla 4. 16. Resultados de ensayos de flexión del material compuesto fracción volumétrica 70%-30% y 80%-20%.	69
Tabla 4. 17. Resultados de ensayos a impacto del material compuesto fracción volumétrica 70%-30% y 80%-20%.	72
Tabla 4. 18. Propiedades mecánicas del material compuesto de resina poliéster con fibra de totora y de otros materiales utilizados en la industria.	75

RESUMEN

El presente proyecto de investigación se basó en definir las propiedades mecánicas mediante la caracterización del material compuesto de resina Poliéster y fibra natural de totora, con una configuración de fibra continua distribuida longitudinalmente, además se establecieron tres diferentes fracciones volumétricas (90 por ciento matriz-10 por ciento fibra, 80 por ciento matriz-20 por ciento refuerzo, 70 por ciento matriz-30 por ciento refuerzo) que corresponden al porcentaje de la matriz y refuerzo respectivamente, con la finalidad de determinar el material compuesto que mejor comportamiento mecánico presente en base a su fracción volumétrica. Se determinó la densidad de la fibra utilizando el método gravimétrico dándonos una densidad de 0.19 gramos/centímetros cúbicos y además se utilizó una estratificación manual para la elaboración de las probetas. Para la caracterización mecánica se realizaron tres ensayos mecánicos: tracción, flexión e impacto, éstos se los realizó bajo las Normas ASTM D3039, ASTM D7464, ASTM D5628, respectivamente. Para la elaboración de las probetas se utilizó la estratificación manual, en un molde hecho de acero estructural ASTM-A36. Con los datos obtenidos de los ensayos de tracción, flexión e impacto se determinó que el material compuesto con una fracción volumétrica de 70 por ciento de matriz polimérica resina poliéster y 30 por ciento de refuerzo fibra de totora presenta las mejores propiedades mecánicas con los siguientes valores: un esfuerzo máximo a tracción de 14.41MPa, Módulo de elasticidad de 1036.598MPa, Esfuerzo máximo a flexión de 71.51MPa, Módulo de flexión de 10941.27MPa, y Energía de impacto de 0.23J.

Palabras claves: Schoenoplectus californicus, Resina poliéster, Fibra natural, Método gravimétrico y Fibra de Totora.

ABSTRACT

This research project was based on defining the mechanical properties through the characterization of the composite material of Polyester resin and natural reed fiber, with a configuration of continuous fiber distributed longitudinally, in addition three different volumetric fractions were established (90 percent matrix 10 percent fiber, 80 percent matrix-20 percent reinforcement, 70 percent matrix 30 percent reinforcement) that correspond to the percentage of the matrix and reinforcement respectively, in order to determine the composite material with the best mechanical performance based on its volumetric fraction . The density of the fiber was determined using the gravimetric method, giving us a density of 0.19 grams / cubic centimeter and a manual stratification was also used for the preparation of the test tubes. For the mechanical characterization, three mechanical tests were carried out: traction, bending and impact, these were carried out under the ASTM D3039, ASTM D7464, ASTM D5628 Standards, respectively. Manual stratification was used to make the specimens, in a mold made of ASTM-A36 structural steel. With the data obtained from the tensile, bending and impact tests, it was determined that the composite material with a volumetric fraction of 70 percent of polyester resin polymer matrix and 30 percent of reed fiber reinforcement presents the best mechanical properties with the following values: a maximum tensile stress of 14.41MPa, Modulus of elasticity of 1036.598MPa, Maximum flexural stress of 71.51MPa, Flexural modulus of 10941.27MPa, and Impact energy of 0.23J.

Keywords: Schoenoplectus californicus, Polyester resin, Natural fiber, Gravimetric method and Cattail fiber.

CAPÍTULO I

1.1 TEMA:

CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DEL MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ POLIÉSTER REFORZADA CON FIBRA NATURAL DE TOTORA (SCHOENOPLECTUS CALIFORNICUS) Y SU POSIBLE APLICACIÓN EN LA INDUSTRIA.

1.2 ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS:

Existen trabajos similares realizados dentro del país que se utilizó como referencia para el desarrollo de nuestra investigación, las conclusiones a las que han llegado los autores las presentamos a continuación.

Como se indica en [22], este trabajo es importante ya que nos da una idea de las utilidades que le puede dar a la fibra de totora. Como conclusión se tiene: La fibra de Totora es una excelente materia prima para la elaboración de accesorios como: apliques, objetos de decoración textil, accesorios artesanales (manillas, tirantes, collares, etc.). Además, para obtener una fibra apta para la elaboración de prendas de vestir es recomendable aplicar nuevos procesos de mejora para obtener una fibra de mejor calidad.

Para Sánchez [23], este trabajo es importante ya que hablan de las múltiples utilidades que se le puede dar a la fibra de totora, que es la fibra que utilizamos en nuestro estudio. Como conclusión de este trabajo se tiene: La fibra de totora son resistentes al impacto puesto que son materiales provenientes de la naturaleza, los cuales se pueden ajustar a cualquier estilo y uso arquitectónico. Las fibras vegetales de totora y cabuya se han identificado con potenciales propiedades acústicas y térmicas, estos elementos vegetales desempeñan una doble función como es revestimiento y aislamiento, aplicados como materiales de complemento en la fabricación de paneles.

Como se demuestra en [24], esta investigación es muy importante como referencia ya que utiliza tejidos de la fibra de totora, de igual manera pretendemos usar una fibra vegetal como la totora en nuestro estudio. Como conclusión de este trabajo se tiene: Las propiedades mecánicas obtenidas a tracción del tejido TC_24 es un módulo de

elasticidad de $1299,21 \pm 313,28$ MPa, del tejido TC_12 es un módulo de elasticidad de $1224,92 \pm 405,47$ MPa y del tejido TS_22 es un módulo de elasticidad de $987,76 \pm 26,11$ MPa. Siendo el tejido TC_24 Y TC_12 los que presentan mejores valores y que pueden ser utilizados en trabajos donde se necesite un material sumamente ligero y fuerte a tensión.

1.3 JUSTIFICACIÓN:

Hoy en día se busca sustituir a los materiales tradicionales por materiales que tengan mejores comportamientos mecánicos y ambientales, que permitan hacer un mejor producto, que sea amigable con el ambiente y sobre todo que sea fácil de obtener y elaborar. Es por esto que se realizan diversas investigaciones de materiales compuestos elaborados con resinas y fibras naturales, con lo que se puede encontrar un nuevo material de baja densidad que sea resistente y rígido, para posteriormente ser utilizado en la industria.

La fibra de totora es muy versátil y se ha identificado su potencial ya que se utiliza en la fabricación de canastos, esteras, aventadores entre otras cosas, esta fibra es de fácil obtención, ya que la totora es una planta que se encuentra en toda la sierra Ecuatoriana.

La caracterización mecánica es importante porque nos permite establecer el comportamiento mecánico del material cuando es sometido a esfuerzos de tracción flexión e impacto, el comportamiento mecánico dependerá de la configuración y proporción de la matriz y refuerzo con la que será construida.

Este estudio nos permitirá desarrollar un material compuesto con unas propiedades mecánicas que serán de gran utilidad en la industria, con lo que se logra causar un impacto a nivel social ya que se conseguirá una alternativa más en la búsqueda de nuevos materiales compuestos que puedan sustituir a materiales tradicionales, este es viable y se lo puede realizar ya que se cuenta con los conocimientos necesarios impartidos durante toda la carrera, además que para el desarrollo de los ensayos se cuenta con laboratorios y profesionales capacitados.

1.4 OBJETIVOS:

1.4.1 OBJETIVO GENERAL

Realizar la caracterización mecánica del material compuesto de matriz poliéster reforzada con fibra natural de totora (*schoenoplectus californicus*).

1.4.2 OBJETIVO ESPECÍFICO

- Proponer las fracciones volumétricas del material compuesto así como orientación y distribución de la fibra de totora.
- Determinar el proceso de obtención de probetas que se utilizaran para los diferentes ensayos mecánicos según normas ASTM.
- Establecer las propiedades mecánicas a tracción, flexión e impacto según normas ASTM.
- Evaluar los resultados obtenidos y su posible aplicación en la industria.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 INGENIERÍA DE LOS MATERIALES

La ciencia de los materiales se basa en la investigación y análisis de la relación existente entre la estructura y las propiedades que puedan presentar. Por otro lado la ingeniería de los materiales se fundamenta en la relación existente entre las propiedades del material y su estructura, se hace un diseño de la estructura de un material para conseguir un conjunto predeterminado de propiedades, tanto físicas, como mecánicas [1].

Si lo que queremos es diseñar algún tipo de producto, se debe empezar por el material del que va ser elaborado, y se debe conocer todas las propiedades físicas y mecánicas de los materiales, para poder elaborar un buen diseño y darle la aplicación adecuada en la industria, esto nos ayudara a ser más eficientes y optimizar los costos de producción. Las constantes investigaciones dan origen a encontrar nuevos materiales (composites) con propiedades mecánicas aceptables y una baja densidad [1].

2.2 MATERIALE COMPUESTO

Un material compuesto son aquellos que se obtienen al unir dos o más componentes o elementos para formar un nuevo material. El nuevo material presentará mejores propiedades en comparación con los materiales que los conforman por separado, los componentes de un material compuestos se selecciona para lograr combinaciones poco usuales de rigidez, resistencia, peso, conductibilidad térmica y eléctrica, dureza y resistencia a la corrosión.

Los materiales compuestos están formados por la matriz y el refuerzo, cabe mencionar que los componentes de un material compuesto no son solubles entre si y pueden ser separados mediante una acción mecánica [2], [3].



Figura 2. 1. Campos d aplicación de los materiales compuestos [4].

Un material compuesto tiene la capacidad de ir reemplazando a materiales tradicionales debido a que presentan buenas relaciones entre su resistencia, rigidez y peso. Las propiedades mecánicas dependen de cuatro factores muy importantes que son: propiedades de sus componente, geometría, distribución y fracción volumétrica.

2.3 COMPONENTES DE UN MATERIAL COMPUESTO

Los materiales compuestos están constituidos por tres fases; una llamada matriz, es continua y es la que contiene a la otra fase denominada fase dispersa, la fase dispersa es el refuerzo, y por último la interfaz, que es el espacio que existe entre la matriz y el refuerzo.

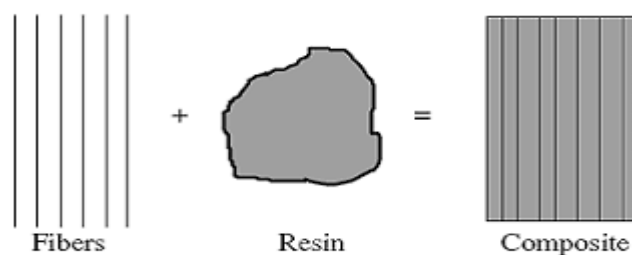


Figura 2. 2. Componentes de un material compuesto [4].

2.3.1 LA MATRIZ

La matriz es el componente que se presenta de una forma continua en el material compuesto y cubre al refuerzo actuando como aglutinante, además la matriz es el elemento que se presenta en mayor porcentaje volumétrico dentro del material

compuesto definiendo su comportamiento o modo de falla. Si dentro del material compuesto existe una cantidad mayor de fracción volumétrica del refuerzo con respecto a la matriz, la matriz pierde sus propiedades y se impone las del refuerzo.

Si un material tiene como matriz un polímero, el material compuesto actuara como un polímero. La matriz tiene como función; contener al refuerzo, aglutinar al refuerzo y transferir las cargas aplicadas hacia el refuerzo [4].

2.3.1.1 MATRIZ POLIMÉRICA

La matriz polimérica son los más comunes en los materiales compuestos ya que son más baratos y fácil de fabricarlos, se caracterizan por tener baja densidad y excelentes propiedades a temperaturas ambiente. Aunque no son muy resistentes a altas temperaturas, los polímeros se utilizan como matriz y son reforzados con fibras orgánicas e inorgánicas.

2.3.1.2 MATRICES TERMOPLÁSTICAS

La característica principal de las matrices termoplásticas es que al aplicarles altas temperaturas pasan por el estado líquido, es decir que se trasforman en un fluido, con lo cual permite su moldeabilidad. Algunos ejemplos de termoplásticos pueden ser: polietileno, polipropileno, policarbonatos, poliuretanos.

2.3.1.3 MATRICES TERMOESTABLES

La característica principal de las matrices termoestables es que al aplicarles altas temperaturas no pasan por el estado líquido, es decir que pasan al estado gaseoso directamente llamado carbonización, con lo cual no permite ser remodelados y se descompone químicamente. Algunos ejemplos de termoestables son: resinas poliéster, epóxicas, fenólicas [5], [6].

2.3.1.4 RESINA POLIÉSTER

La resina poliéster son las más utilizadas a nivel industrial ya que son baratas, ocupan un sitio destacado con más del 90% del volumen del consumo entre todas las matrices termoestables, y dada a sus características son utilizadas en la construcción de embarcaciones, carcasas, recipientes y en materiales compuestos, su costo es barato en comparación con las otras resinas. En línea general la resina poliéster presenta gran resistencia y rigidez.

El proceso en el cual la resina pasa de estado líquido a sólido se llama proceso de curado y para facilitararlo se necesita de un catalizador y acelerante, el catalizador es el Meck y el cobalto es utilizado como acelerante. A continuación presentamos algunos catalizadores para resinas poliéster. Tabla 2.1. [7].

Tabla 2. 1. *Sistemas catalíticos para resinas de poliéster [7].*

<i>Catalizador</i>	<i>Acelerador</i>	<i>Tiempo de gel</i>	<i>Tiempo de endurecimiento</i>
<i>Peróxido de benzoilo</i>	<i>Dimetil-Anilina</i>	<i>Largo</i>	<i>De medio a rápido</i>
<i>Peróxido de benzoilo</i>	<i>Dimetil-Anilina</i>	<i>Largo</i>	<i>Largo</i>
<i>Peróxido de benzoilo</i>	<i>Dimetil-p.toluidina</i>	<i>Largo</i>	<i>Muy largo</i>
<i>Peróxido de metiletilcetona</i>	<i>Naftalato de cobalto</i>	<i>Corto</i>	<i>Lento</i>
<i>Peróxido de acetilacetona</i>	<i>Naftalato de cobalto</i>	<i>Mediano</i>	<i>Rápido</i>
<i>Peróxido de ciclohexanona</i>	<i>Naftalato de cobalto</i>	<i>Mediano</i>	<i>Progresivo</i>

2.3.2 EL REFUERZO

El refuerzo es el elemento que se encuentra en menor porcentaje dentro del material compuesto, la principal función del refuerzo es mejorar las características de la matriz. El refuerzo es el componente del material compuesto que soporta la carga que son conducidas a través de la matriz y también puede aportar con propiedades adicionales al material compuesto [8].

El refuerzo puede ser en forma de partículas o de fibras. Como regla general, es más efectivo cuanto menor tamaño tienen las partículas y más homogéneamente distribuidas estén dentro la matriz o cuando más larga sea la fibra, es decir mientras más pequeña sea su diámetro y más larga sea su longitud soportara de mejor manera los esfuerzos sometidos. Los materiales compuestos más numerosos y ampliamente utilizados son aquellos reforzados con fibras. [8]

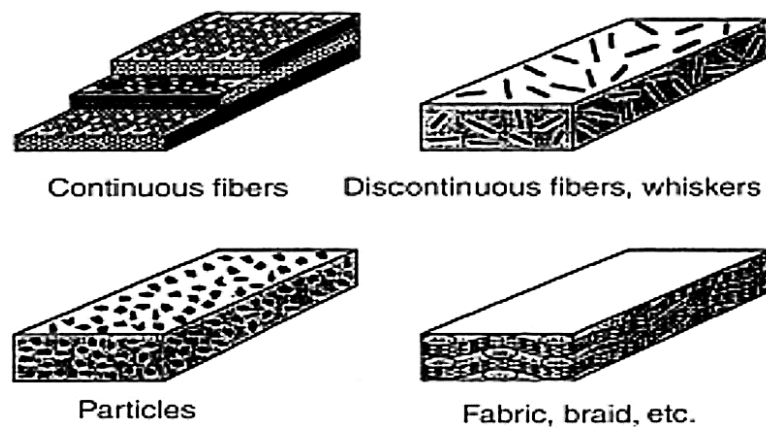


Figura 2. 3. *Refuerzo con fibras y partículas [9].*

2.3.2.1 MATERIALES COMPUESTOS REFORZADOS CON FIBRAS

Los materiales compuestos con fases dispersas en forma de fibras son los más importantes. Estos materiales compuestos reforzados con fibras son fabricados con la finalidad de conseguir una buena resistencia y rigidez a baja densidad. Una característica especial de los materiales compuestos reforzados con fibras es que tiene un comportamiento anisotrópico, esto quiere decir que sus propiedades varían dependiendo del plano o cara.

Utilizando materiales de baja densidad, tanto para la matriz como para las fibras, se fabrican compuestos que tienen resistencias y módulos específicos elevados [10].

Los comportamientos a esfuerzos mecánicos dependen directamente de la concentración, orientación, distribución y tamaño de la fibra, como se muestra en la figura 2.4

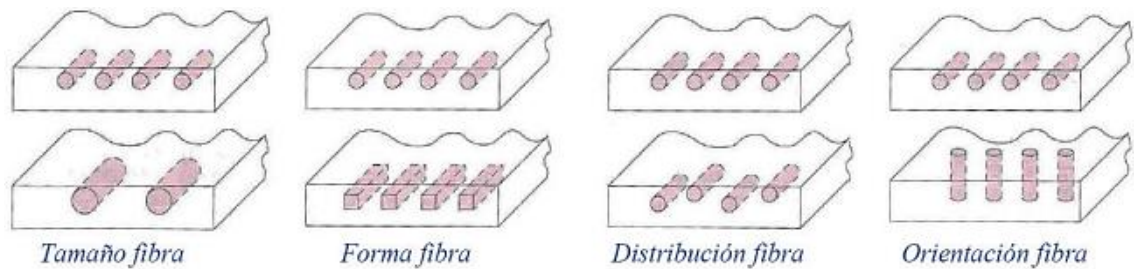


Figura 2. 4. Tamaño, forma, distribución y orientación del refuerzo [10].

2.3.2.2 FIBRAS VEGETALES

Las fibras vegetales son abundantes y están presentes en nuestra vida cotidiana, estas fibras están presentes en los textiles, papel, cartón y artesanías hechas con las fibras naturales. Las plantas que son fibrosas han sido utilizadas en muchas partes del mundo por ejemplo: el lino y cáñamo en Europa, la paja de arroz y el ramio en Asia, el agave, el yute, el algodón y la totora, en la India, África o en América.

Los materiales compuestos reforzadas con fibras vegetales presentan propiedades mecánicas semejantes a los materiales compuestos reforzadas con fibras artificiales, la ventaja de las fibras vegetales es su costo ya que son abundantes y fáciles de extraer [11].

2.3.2.3 FIBRA DE TOTORA

El nombre científico de la planta de totora es *Scirpus californicus*, la totora son plantas acuáticas de la familia de las Ciperáceas. La totora es una planta que crece en lagunas y zonas pantanosas de la Costa y Sierra Ecuatoriana, existen totoras silvestres así como cultivadas, en toda la zona andina crecen de forma silvestre a más 2,000 metros sobre el nivel del mar.

La fibra de totora se utiliza para elaboración de esteras, asientos, petates, carteras, canastas. De igual forma se utiliza los juncos para la elaboración de balsas, estas balsas son muy famosas ya que los utilizaban los indios uros del lago Titicaca y los famosos caballitos de totora que lo utilizan en la costa peruana para pescar, como se muestra en la figura 2.5. [12].



Figura 2. 5. Artesanías hechas con la fibra de totora [12].

En la provincia de Imbabura se encuentra la mayor producción de totora, de esta producción depende unas 3000 familias del lago San Pablo y la laguna de Yahuarcocha [13]. A continuación se puede observar algunas propiedades físicas de la fibra de totora en la tabla 2.2.

Tabla 2. 2. Propiedades físicas de la fibra de totora [13].

Propiedades Físicas	
Densidad	Un grupo de totora atada con presión mediana, de manera que no altere su volumen, pero mantenga estable el conjunto, tiene un peso de 180kg/m ³ .
Absorción	La totora sin presión, al estar saturada de agua (24 horas sumergida) aumenta en promedio cuatro veces su peso seco inicial.
Velocidad de absorción	La velocidad inicial de absorción, tomada en los primeros 20 minutos de inmersión, es de 7% de aumento de su peso/minuto, y la velocidad de absorción general, hasta su estado de saturación, es de 0.3%/minuto.
Velocidad de pérdida de humedad	La velocidad inicial de pérdida de peso al secarse, tomada en los primeros 20 minutos, es de 0.3% de pérdida de su peso/minuto, y la velocidad de secado general hasta su estado seco original, es de 0.13%/minuto.

2.3.3 INTERFAZ

La interfaz es el espacio que existe entre la matriz y el refuerzo, si el refuerzo está pegado fuertemente a la matriz es que la interfaz es buena, caso contrario no. La interfaz toma un papel más importante cuando el material compuesto tiene una fibra como refuerzo, ya que de esto depende las propiedades mecánicas del material, si la unión de la interfaz es buena permitirá que los esfuerzos mecánicos se transmitan por toda la matriz hacia el esfuerzo, si la unión es mala el refuerzo no cumplirá su papel y se saldrá de la matriz.

Para que el refuerzo pueda pegarse a la matriz de una buena manera, es importante que la matriz tenga una buena mojabilidad y el refuerzo tienen que poseer una buena capacidad de absorber esto dependerá de la fibrosidad [14].

2.4 VOLUMEN Y ORIENTACIÓN DE LA FIBRA

Una fracción volumétrica de la fibra mayor incrementa la rigidez y resistencia del material compuesto. La fracción volumétrica máxima de las fibras es aproximadamente del ochenta por ciento, más allá de esta cantidad las fibras no quedaran rodeadas por la matriz, no se aglutinaran de buen manera y su interfaz será débil, por lo tanto no cumplirán con su función.

La isotropía en un material le da las mismas propiedades mecánicas en todos sus lados. Para que un compuesto sea isótropo todos los refuerzos deben estar orientados

de forma aleatoria, sin embargo esto es difícil ya que en el proceso de fabricación siempre van orientados de alguna manera en especial si se utiliza fibras largas o continuas, esto hace que los materiales tengan mayor rigidez en una dirección [14].

El refuerzo puede tener una distribución al azar o alineado, como se puede ver en la figura 2.6.

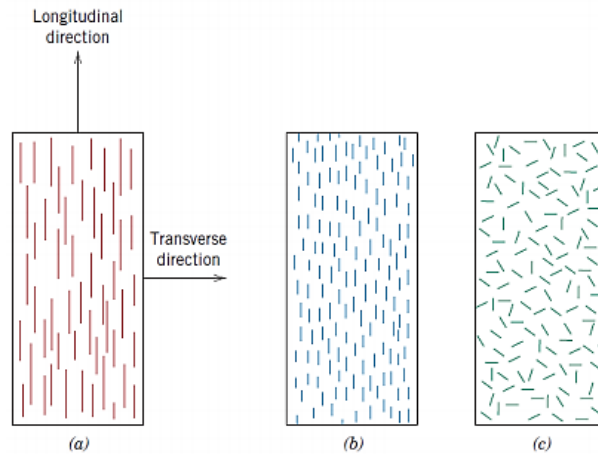


Figura 2. 6. Distribución de la fibra, (a) continua longitudinalmente, (b) discontinua longitudinalmente, (c) discontinua al azar [14].

2.5 REGLA DE LAS MEZCLAS

La regla de las mezclas sirve para encontrar la densidad de los materiales compuestos reforzados con fibra. Esta ecuación está en función de las fracciones volumétricas y densidades tanto de la matriz como la del refuerzo. A continuación se presenta la ecuación que permite encontrar la densidad del compuesto.

$$\rho_c = f_m \rho_m + f_f \rho_f \quad (2.1)$$

Donde:

- f es la fracción volumétrica
- ρ es la densidad

f y m son subíndices y corresponden a la fibra y matriz respectivamente

Las reglas de las mezclas también puede predecir con mucha exactitud la conductividad térmica y eléctrica a lo largo de la dirección de las fibras, siempre que estas sean largas y alineadas en una sola dirección [15].

2.6 PROCESOS DE MOLDEO ABIERTO PARA MATERIALES COMPUESTOS DE MATRIZ POLIMÉRICA REFORZADA CON FIBRAS.

Se debe seleccionar el proceso de fabricación más adecuado para la obtención de materiales compuestos reforzados con fibras, dado que el costo de fabricación del material compuesto representa un cincuenta por ciento del costo total del producto, para poder seleccionar se debe tomar en cuenta muchos parámetros tales como: el tipo de matriz, el tipo de fibra (larga, corta) y la aplicación del producto terminado, para fabricar un material compuesto con fibra continua o larga orientada y distribuida longitudinalmente el mejor proceso a seguir es la estratificación manual [16].

2.6.1 ESTRATIFICACIÓN MANUAL

La estratificación significa que el material está formado de muchas capas o divisiones, y está relacionado con el refuerzo, el refuerzo se coloca de acuerdo a la fracción volumétrica requerida y a su orientación y distribución, formando diferentes capas. La estratificación manual es el método más sencillo para fabricar una material compuesto de matriz poliéster reforzado con fibra [16].

Los pasos a seguir de la estratificación manual son:

1. Limpieza del molde y aplicación de un agente desmoldeante como ceras o películas de alcohol polivinílicos en solución.
2. Aplicación del Gel coat, este gel le da un buen acabado superficial además de protegerlo de agentes externos.
3. Se procede a colocar una primera capa de resina.
4. Luego se coloca el refuerzo en este caso las fibras, orientadas y distribuidas.
5. Se deposita una segunda capa de resina catalizada sobre cada capa de refuerzo.
6. Se pasa un rodillo para que las fibras se impregnen en la resina, además que se elimina las burbujas de aire atrapadas en el material.
7. Se deja curar a temperatura ambiente, el proceso de curado depende del tipo de resina.
8. Por último se retira la pieza del molde.

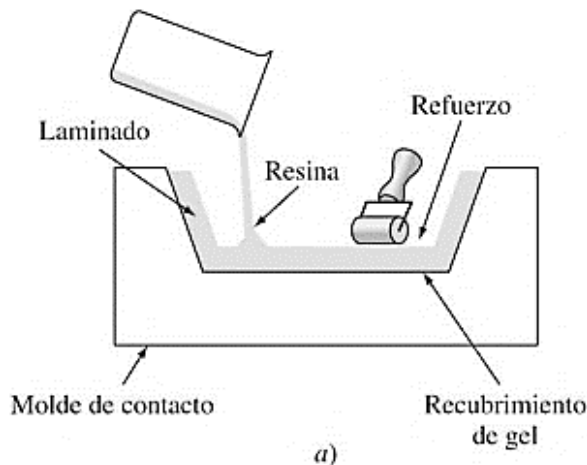


Figura 2. 7. (a) Esquema de un proceso de estratificación manual [16].

La ventaja de la estratificación manual es que es un proceso sencillo y nos permite fabricar elementos de gran tamaño.

2.7 ENSAYOS DE MATERIALES

La caracterización de un material compuesto se los realiza mediante ensayo destructivo, es decir que se destruye el material, es por eso que se elabora probetas. El proceso de ensayo se lo realiza tomando muestras de cada fracción volumétrica establecidas anteriormente, estas muestras se las llama probetas y están en función de normas ASTM, y se realizan los ensayos para determinar el comportamiento mecánico del mismo. Para que un material compuesto pueda estar caracterizado es necesario realizar por lo menos tres ensayos, estos pueden ser, ensayos de esfuerzos máximos a tracción, flexión e impacto. Estos ensayos están regidos por las normas ASTM, estas normas tiene una sección para caracterización de composites [17].

2.7.1 ENSAYOS DE TRACCIÓN

El ensayo de tracción es el más común utilizado para la caracterización de un material compuesto, este ensayo consiste en aplicar una carga en forma creciente en la dirección del eje de la probeta que esta sujeta por los extremos con unas mordazas, lo que tiende a producir el alargamiento de la probeta hasta el punto de ruptura. El ensayo de tracción para composites está regido bajo la norma ASTM D3039/D3039, para que los valores obtenidos sean lo más reales posibles la norma establece que por lo menos se debe realizar los ensayos a 5 probetas. Las dimensiones de las probetas están especificadas en la norma, la velocidad de

aplicación del esfuerzo es de 2mm/mint, uno de los valores encontrados gracias a este ensayo son: esfuerzo máximo, módulo de elasticidad y el alargamiento porcentual. [17].

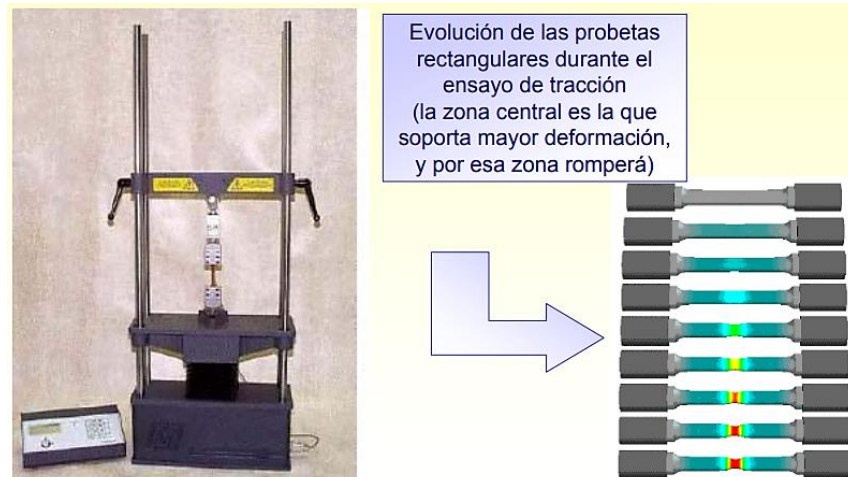


Figura 2. 8. Máquina universal y probetas ensayadas [18].

2.7.2 ENSAYOS A FLEXIÓN

El ensayo de flexión se caracteriza por producir esfuerzos de tracción y compresión en forma simultánea. El ensayo de flexión tiene que estar realizado mediante la norma ASTM D7264, esta norma es para ensayos de flexión en composites, las dimensiones de las probetas están determinadas en esta norma, con este ensayo determinaremos propiedades como el módulo de elasticidad, valores de esfuerzo y deformación. Este ensayo consiste en aplicar una carga en un elemento soportado en dos puntos, se aplica una carga F en la parte superior de la superficie de la probeta, de esta manera la parte superior de la probeta está sometida a un esfuerzo de compresión y la parte inferior a un esfuerzo de tracción.

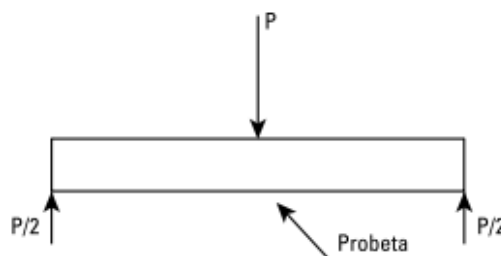


Figura 2. 9. Esquema del ensayo a flexión [17].

La norma ASTM nos indica las dimensiones de las probetas, además especifica que se debe realizar ensayos a mínimo 5 probetas para que los datos obtenidos sean lo

más reales posibles. La carga se aplica sobre la probeta con una velocidad de 1mm/min [19], [20].

2.7.3 ENSAYOS A IMPACTO

El ensayo de impacto de un material compuesto se lo realiza dejando caer un dardo sobre un material de masa constante y una altura variable, este ensayo está regido bajo la norma ASTM D5628. El ensayo consiste en dejar caer el dardo sobre la probeta hasta encontrar la altura máxima de fallo, es por esto que se debe aumentar la altura si el material no falla o aumentar el peso del dardo colocando rodela, las dimensiones de las probetas están especificadas en la norma. El valor que se quiere encontrar mediante este ensayo es la energía e impacto absorbido por el material, la altura media de impacto entre otros. [20].

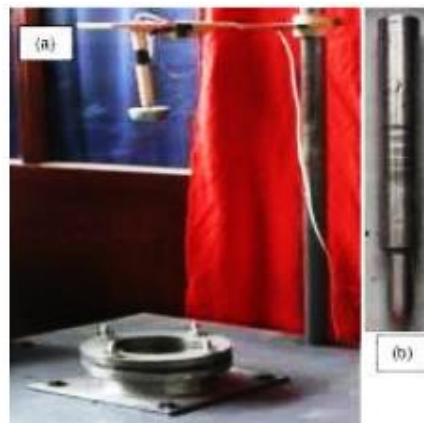


Figura 2. 10. (a) Máquina para el ensayo de impacto por caída de dardo, (b) dardo [20].

2.8 HIPÓTESIS

El material compuesto de matriz poliéster reforzada con fibra natural de totora, ofrecerá propiedades mecánicas mínimas requeridas para su aplicación en cualquier área de la industria.

2.9 SEÑALAMIENTO DE VARIABLES DE LA HIPÓTESIS

2.9.1 VARIABLE INDEPENDIENTE

Material compuesto de matriz poliéster reforzada con fibra natural de totora.

2.9.2 VARIABLE DEPENDIENTE

Propiedades mecánicas.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1 NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN

3.1.1 DESCRIPTIVO

Esta investigación es de carácter descriptivo ya que se buscó describir las propiedades, características y aspectos importantes de la muestra, que son arrojados luego de los ensayos mecánicos y que permitirá encontrar el material compuesto que mejor comportamiento mecánico.

3.1.2 EXPERIMENTAL.

La investigación también es experimental, debido a que se utiliza muestras para la realización de ensayos mecánicos, con la finalidad de dar respuesta a la hipótesis y encontrarle una aplicación al nuevo material compuesto en la industria.

3.1.3 CORRELACIONAL

Esta investigación además es de carácter correlacional, ya que asociamos las dos variables que están involucradas con el propósito de conocer y dar respuesta a diferentes preguntas que se generaron en el instante del análisis e interpretación de la muestra.

3.2 POBLACIÓN Y MUESTRA

3.2.1 POBLACIÓN

La población es el material compuesto propuesto (resina poliéster + fibra natural de totora) para este estudio, se utilizará quince probetas por cada fracción volumétrica (90% - 10%, 80% - 20%, 70% - 30%) porcentajes de matriz y refuerzo respectivamente, en total como población tenemos 45 probetas.

3.2.2 MUESTRA

La muestra de nuestro estudio es como mínimo cinco probetas por cada fracción volumétrica para cada ensayo mecánico, según están establecidas en las normas ASTM, siendo estos:

- 15 probetas 70% de matriz (resina poliéster) y 30% refuerzo (fibra de totora)
- 15 probetas de 80% matriz (resina poliéster) y 20% refuerzo (fibra de totora)
- 15 probetas de 90% matriz (resina poliéster) y 10% refuerzo (fibra de totora)

En total son 45 probetas. Estas probetas serán sometidas a ensayos de tracción ASTM D3039, flexión ASTM D7264 e impacto ASTM D5628. Como se indica a continuación en la tabla 3.1.

Tabla 3. 1. Total de probetas a ensaya.

Longitud de Refuerzo	Distribución	Fracciones Volumétricas (%)		Número de probetas			Número de probetas por cada fracción volumétrica
		Matriz	Refuerzo	Tracción ASTM D3039	Flexión ASTM D7264	Impacto ASTM D5628	
Fibra larga (Totora)	Alineado longitudinalmente	70	30	5	5	5	15
		80	20	5	5	5	15
		90	10	5	5	5	15
TOTAL PROBETAS							45

Fuente: El Autor

3.3 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

3.3.1 VARIABLE INDEPENDIENTE

Tabla 3. 2. Variable independiente (Material compuesto de matriz poliéster reforzada con fibra de totora)

VARIABLE	TIPO DE VARIABLE	CONCEPTUALIZACIÓN	CATEGORÍAS	INDICADORES	ÍNDICE	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS
Material compuesto de matriz poliéster reforzada con fibra natural de totora.	Independiente	Un material compuesto se define como el que tiene dos o más componentes, que se han unido para formar un nuevo material, el nuevo material debe tener mejores propiedades mecánicas y físicas en comparación con los materiales que los conforman por separado, un material compuesto está formado por dos partes fundamentales, una llamada matriz y el otro refuerzo.	Material compuesto	Longitud de la fibra	Continua Larga	Observación y medición
				Distribución y orientación de la fibra	Alineado longitudinal	Observación y medición
				Fracción volumétrica	70% matriz y 30% refuerzo	Bibliografía y medición
					80% matriz y 20% refuerzo	
					90% matriz y 10% refuerzo	

Fuente: El Autor

3.3.2 VARIABLE DEPENDIENTE

Tabla 3. 3. Variable dependiente (Propiedades mecánicas).

VARIABLE	TIPO DE VARIABLE	CONCEPTUALIZACIÓN	CATEGORÍAS	INDICADORES	ÍNDICE	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS
Propiedades mecánicas	Dependiente	Es el comportamiento mecánico que puede presentar un material al ser sometido a diferentes ensayos mecánicos, siendo estos, ensayos a flexión, tracción e impacto.	Tracción	Resistencia a la tracción	(Mpa)	Observación y ensayo
			Flexión	Resistencia a flexión	(Mpa)	Observación y ensayo
			Impacto	Resistencia al impacto	Energía de impacto (J)	Observación y ensayo

Fuente: El autor

3.4 PLAN DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

Para la recolección de la información, se lo realizó de forma planificada, en la recolección de la información se emplearon libros, tesis, artículos técnicos, normas e informes de laboratorios. A continuación presentamos el plan de recolección de la información tabla 3.4.

Tabla 3. 4. Plan de recolección de la información.

Localización de las fuentes de información	<ul style="list-style-type: none">• Ciudad de Ambato• Internet
Fuentes de recolección de la información	<ul style="list-style-type: none">• Bibliografía• Tesis• Informes de laboratorios• Normas técnicas
Variables involucrados en la evaluación	<ul style="list-style-type: none">• Fracciones volumétricas• Resistencia a la tracción• Resistencia a la flexión• Resistencia al impacto• Módulos de elasticidad
Métodos de recolección de información	Ensayos mecánicos: <ul style="list-style-type: none">• Tracción• Flexión• Impacto
Preparación y recolección de la información para su posterior análisis	<ul style="list-style-type: none">• Fichas técnicas• Diagramas esfuerzo-deformación• Fichas técnicas de comparación de resultados

Fuente: El autor

3.5 PLAN PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS

Para el procesamiento y análisis se tomaron los datos arrojados de los ensayos mecánicos de tracción, flexión e impacto del material compuesto de reina poliéster reforzada con fibras de totora y se los procesaron mediante:

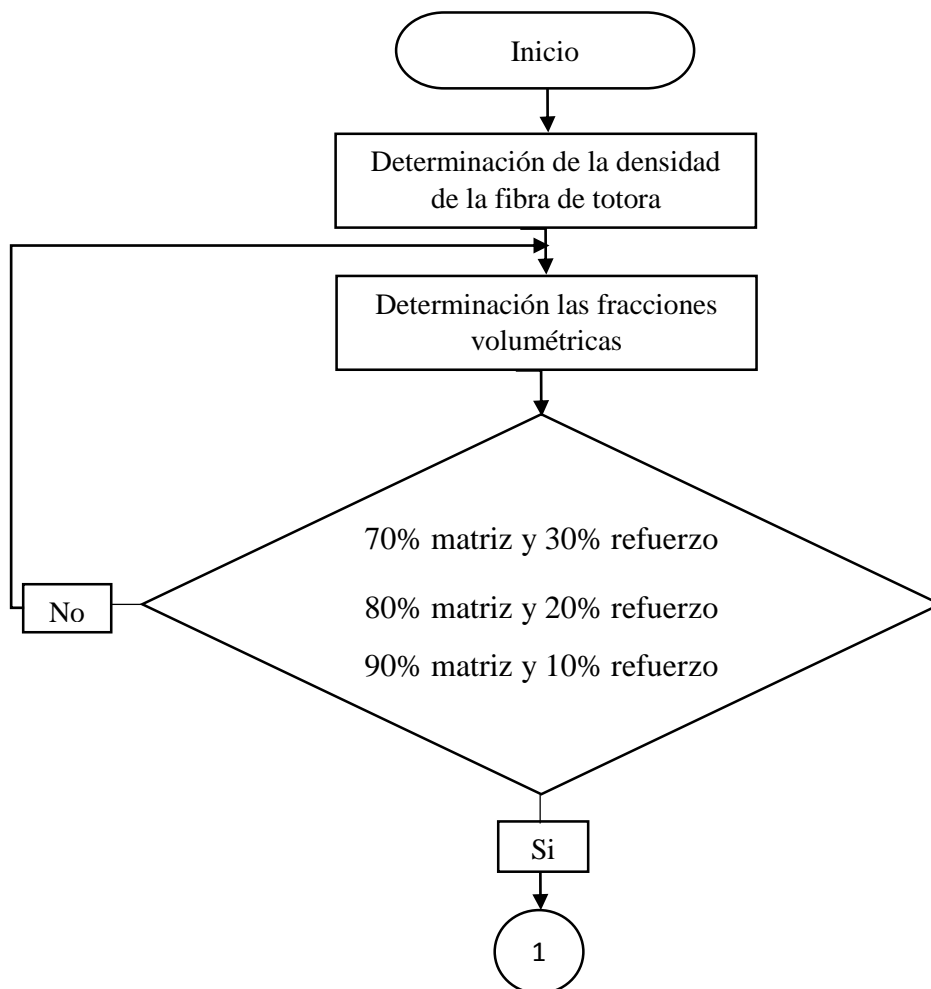
- Fichas de informes técnicos para el procesado y presentación de la información. En estas fichas constan los resultados de las probetas ensayadas.
- Fotografías y diagramas que presenten el comportamiento mecánico del material compuesto frente a los esfuerzos sometidos.
- Tablas de comparación que nos permitan determinar el material compuesto con mejores propiedades mecánicas.

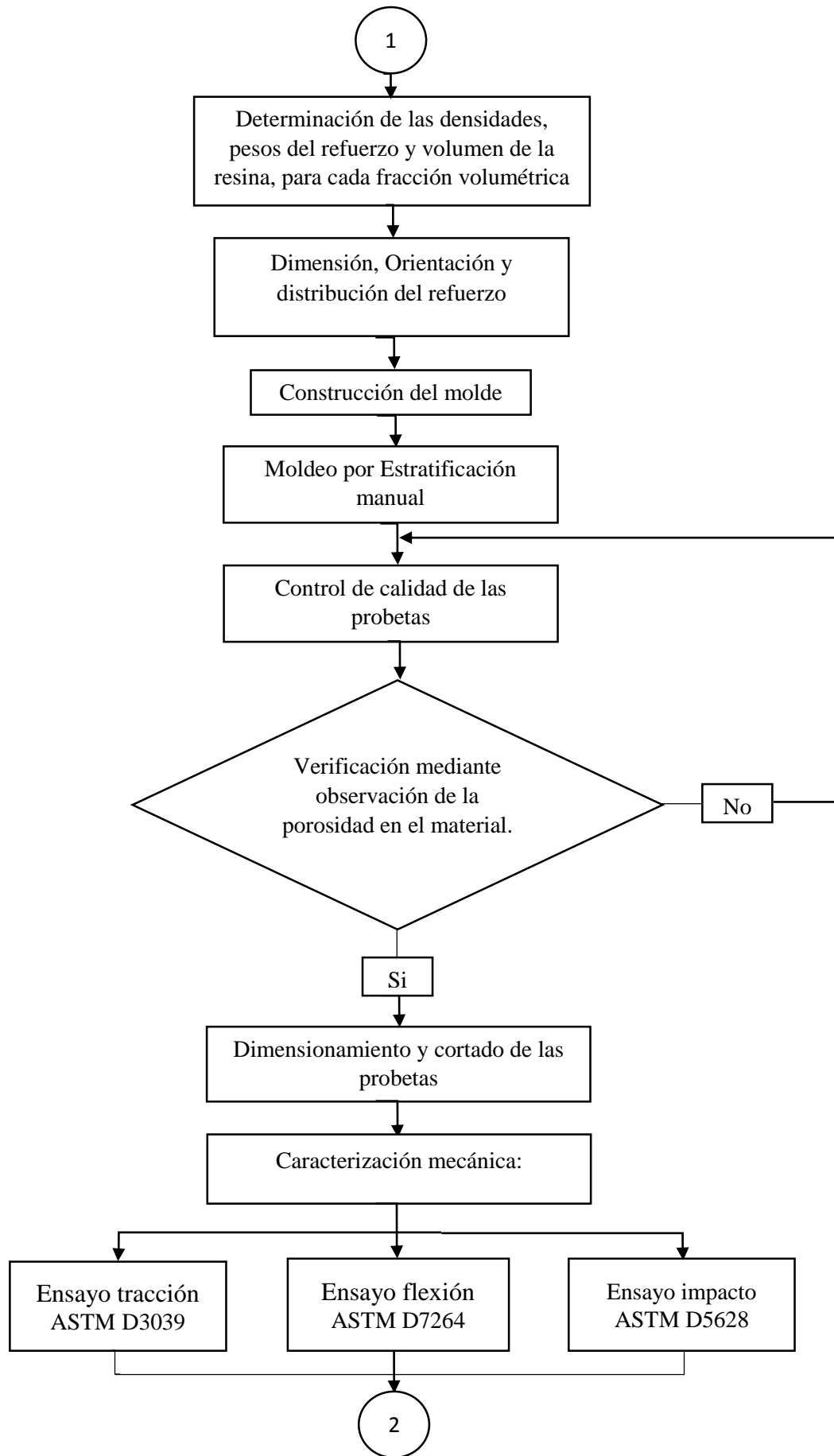
3.5.1 PLAN DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

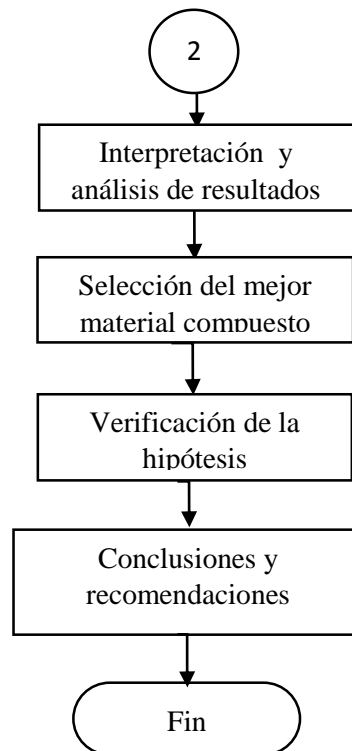
Luego de procesar la información de los ensayos mecánicos en fichas técnicas, diagramas de esfuerzo-deformación y cuadros comparativos ponderados, se procedió al análisis e interpretación de las mismas. Se analizó los esfuerzos que soportaron a los ensayos de tracción, flexión e impacto con relación a las fracciones volumétricas, de esta manera seleccionaremos el material compuesto que mejores propiedades mecánicas tengan, para luego encontrar una posible aplicación en cualquier área de la industria, luego de esto se puede confirmar o rechazar la hipótesis planteada.

3.6 DIAGRAMA DE OBTENCIÓN DE LAS PROBETAS DEL MATERIAL COMPUESTO

Para la elaboración de las probetas del material compuesto (matriz epoxi+ fibra de polipropileno) se siguió el siguiente plan estratégico.







*Figura 3. 1. Diagrama para la obtención de las probetas del material compuesto.
Fuente: El autor*





3.7 DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD DE LA FIBRA DE TOTORA

Al no tener información de la densidad de la fibra de totora, se procedió a determinar dicha densidad y para esto se utilizó en método gravimétrico. Los pasos a seguir para encontrar la densidad de la fibra de totora son:

- Tomar 4 muestras de la fibra de totora y pesar cada una de las muestras.
- Luego tomar una cierta cantidad de agua en un vaso de precipitación.
- Posteriormente colocar la fibra de totora dentro del vaso de precipitación con agua, lo que produce un incremento volumétrico.
- Observar y determinar el incremento volumétrico.
- Una vez obtenido los valores del incremento volumétrico aplicar la fórmula:
Densidad= masa/ volumen.

Los resultados obtenidos de la densidad de la fibra de totora se presentan a continuación en la tabla

Tabla 3. 5. Densidad de la fibra de polipropileno

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS Y EVALUACIÓN DE DENSIDAD DE LA FIBRA DE TOTORA.					
Fecha:		3 de Julio de 2021		Ciudad:	
Tipo de fibra:		Fibra de totora		Número de muestras:	
Tipo de método:		Gravimétrico		Temperatura:	
Realizado por:		José Luis Pico Vaca			
Revisado por:		Ing. Segundo Espín , Mg.			
RESULTADOS DEL LA DENSIDAD DE LA FIBRA DE TOTORA					
# Muestra	Masa de la fibra de totora (gr)	Volumen inicial de agua (cm ³)	Volumen final de agua (cm ³)	Incremento volumétrico (cm ³)	Densidad (gr/cm ³)
1	3	400	415	20	0.15
2	6	400	435	35	0.17
3	9	400	440	45	0.2
4	12	400	460	55	0.22
Promedio densidad					0.19
Fotografías del ensayo					
Pesado de la fibra.					
					
Incremento volumétrico.					
					
Evaluación					
La densidad de la fibra de totora es de 0.19 gr/cm³					

Fuente: El autor

3.8 DETERMINACIÓN DE LAS FRACCIONES VOLUMÉTRICA DEL MATERIAL COMPUESTO.

Se proponen tres fracciones volumétrica con las que se van a trabajar, como se indica a continuación en la tabla 3.6.

Tabla 3. 6. Fracciones volumétricas del material compuesto.

Longitud de Refuerzo	Distribución	Fracciones Volumétricas (%)	
		Matriz	Refuerzo
Fibra larga (Totora)	Alineado longitudinalmente	70	30
		80	20
		90	10

Fuente: El autor

Con las fracciones volumétricas propuestas se calcula la densidad del material compuesto, así como el peso de la fibra y volumen de la resina que se necesita para cada caso.

3.9 CÁLCULO DE LAS DENSIDADES, PESO DEL REFUERZO Y VOLUMEN DE LA RESINA NECESARIAS PARA CADA FRACCIÓN VOLUMÉTRICA

A. Cálculos (fracción volumétrica 90% matriz y 10% refuerzo).

Como datos tenemos:

$$\rho_m = 1.2\text{g/cm}^3$$

$$\rho_f = 0.19\text{g/cm}^3$$

$$f_m = 90\%$$

$$f_f = 10\%$$

Dónde:

ρ_m = Densidad de la matriz

ρ_f = Densidad de la fibra

f_m = Fracción volumétrica de la matriz

f_f = Fracción volumétrica de la fibra

a. Cálculo de la densidad del material compuesto resina poliéster y fibra de totora.

$$\rho_c = 0.9 * 1.2 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} + 0.1 * 0.19 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

$$\rho_c = 1.1 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

b. Cálculo el volumen del molde.

Dimensiones del molde:

- Largo = 43cm
- Ancho = 25.6cm
- Espesor = 0.3cm

$$V_{\text{molde}} = 43 * 25.6 * 0.3$$

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

Con las fracciones volumétricas y el volumen del molde, se procede a calcular el volumen de la matriz y el peso del refuerzo.

c. Cálculo del volumen de la matriz.

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

$$f_m = 90\%$$

Dónde:

V_{molde} = Volumen del molde

f_m = Fracción volumétrica matriz

$$\frac{330.24 \text{cm}^3}{\text{volumen}} \Leftrightarrow \frac{100\%}{90\%}$$

$$\text{volumen requerido} = 297.216 \text{ cm}^3$$

d. Cálculo de la masa del refuerzo.

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

$$f_f = 10\%$$

Dónde:

$$V_{\text{molde}} = \text{Volumen del molde}$$

$$f_f = \text{Fracción volumétrica fibra}$$

$$\frac{330.24\text{cm}^3}{\text{volumen requerido}} \Leftrightarrow \frac{100\%}{10\%}$$

$$\text{volumen requerido} = 33.024\text{cm}^3$$

$$\text{masa requerido} = d * v$$

$$\text{masa requerido} = 0.19 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} * 33.024\text{cm}^3$$

$$\text{masa requerido} = 6.27\text{g}$$

B. Cálculos (fracción volumétrica 80% matriz y 20% refuerzo).

Como datos tenemos:

$$\rho_m = 1.2\text{g/cm}^3$$

$$\rho_f = 0.19\text{g/cm}^3$$

$$f_m = 80\%$$

$$f_f = 20\%$$

a. Calculo de la densidad del material compuesto de poliéster y fibra de totora..

$$\rho_c = 0.8 * 1.2 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} + 0.2 * 0.19 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

$$\rho_c = 1 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

b. Cálculo del volumen de la matriz requerida

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

$$f_m = 80\%$$

Dónde:

$$V_{\text{molde}} = \text{Volumen del molde}$$

$$f_m = \text{Fracción volumétrica matriz}$$

$$\frac{330.24\text{cm}^3}{\text{volumen}} \Leftrightarrow \frac{100\%}{80\%}$$

$$\text{volumen requerido} = 264.19\text{cm}^3$$

c. Cálculo de la masa del refuerzo.

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

$$f_f = 20\%$$

Donde:

$$V_{\text{molde}} = \text{Volumen del molde}$$

$$f_f = \text{Fracción volumétrica del refuerzo}$$

$$\frac{330.24\text{cm}^3}{\text{volumen}} \times \frac{100\%}{20\%}$$

$$\text{volumen requerido} = 66.05\text{cm}^3$$

$$\text{masa requerido} = d * v$$

$$\text{masa requerido} = 0.19 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} * 66.05\text{cm}^3$$

$$\text{masa requerido} = 12.55\text{g}$$

C. Cálculos (fracción volumétrica 70% matriz y 30% refuerzo).

Como datos tenemos:

$$\rho_m = 1.2\text{g/cm}^3$$

$$\rho_f = 0.19\text{g/cm}^3$$

$$f_m = 70\%$$

$$f_f = 30\%$$

a. Cálculo de la densidad del compuesto de poliéster y fibra de totora.

$$\rho_c = 0.7 * 1.2 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} + 0.3 * 0.19 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

$$\rho_c = 0.9 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

b. Cálculo del volumen de la matriz.

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

$$f_m = 70\%$$

Dónde:

V_{molde} = Volumen del molde

f_m = Fracción volumétrica matriz

$$\frac{330.24\text{cm}^3}{\text{volumen}} \Leftrightarrow \frac{100\%}{70\%}$$

$$\text{volumen requerido} = 231.17\text{cm}^3$$

c. Cálculo de la masa del refuerzo.

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

$$f_f = 30\%$$

Donde:

V_{molde} = Volumen del molde

f_f = Fracción volumétrica del refuerzo

$$\frac{330.24\text{cm}^3}{\text{volumen}} \Leftrightarrow \frac{100\%}{30\%}$$

$$\text{volumen requerido} = 99.07\text{cm}^3$$

masa requerido = d * v

$$\text{masa requerido} = 0.19 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} * 99.07 \text{cm}^3$$

$$\text{masa requerido} = 18.82 \text{g}$$

Los resultados obtenidos de los cálculos de la densidad, volumen de la resina y peso del refuerzo necesario para cada fracción volumétrica se presentan a continuación en la tabla 3.7.

Tabla 3. 7. Densidad del compuesto, volumen de resina, masa de refuerzo.

Configuración del fibra	Fracciones volumétrica	Densidad del material compuesto (gr/cm ³)	Volumen de resina requerido (cm ³)	Masa de refuerzo requerido (gr)
Fibra larga (totora)	90% matriz y 10% refuerzo	1.1	297.216	6.27
	80% matriz y 20% refuerzo	1	264.19	12.55
	70% matriz y 30% refuerzo	0.9	231.17	18.82

Fuente: El Autor

3.10 DIMENSIÓN, ORIENTACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE LA FIBRA

Se utilizara fibra larga o también llamada continua de totora con una distribución alineada y una orientación longitudinal. Como se muestra a continuación en la tabla 3.8.

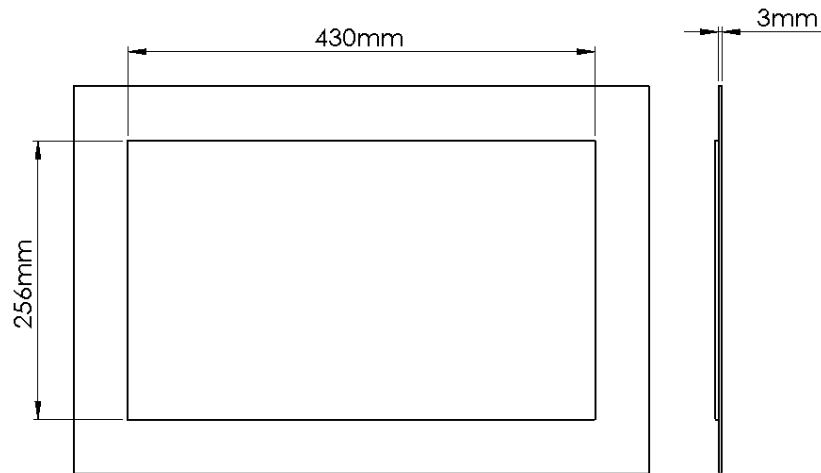
Tabla 3. 8. Dimensión, distribución y orientación de la fibra de totora.

Longitud de Refuerzo (Totora)	Orientación	Distribución	Fracciones Volumétricas (%)	
			Matriz	Refuerzo
Fibra larga	Longitudinal	Alineado	70	30
			80	20
			90	10

Fuente: El Autor

3.11 CONSTRUCCIÓN DEL MOLDE

Tomando en cuenta las dimensiones de las probetas para los ensayos de tracción flexión e impacto se construyó un molde general, donde va estar inmersas todas las probetas para los diferentes ensayos mecánicos. Las dimensiones del molde es (430mmx256mmx0.3mm), como se indica en la figura 3.2.



*Figura 3. 2. Dimensión general del molde.
Fuente: El Autor*

Las partes del molde estas hechas con acero estructural ASTM A-36.

3.12 MOLDEO POR ESTRATIFICACIÓN MANUAL

Para la obtención de las probetas se realizó un moldeo por estratificación manual, a continuación se detalla los pasos a seguir:

- A. Limpieza del molde, el molde debe de estar seco y libre de impurezas.
- B. Colocar una capa de alcohol poli vinílico, este alcohol nos ayudará para evitar que el material compuesto se pegue al molde.



*Figura 3. 3. Alcohol polivinílico.
Fuente: El autor*

D. Limpiar y pesar la fibra según las masas calculadas para cada fracción volumétrica, como se muestra en la figura 3.4.



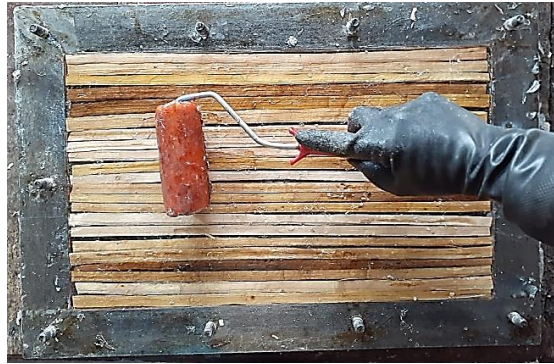
*Figura 3. 4. Fibra de totora limpia y pesada..
Fuente: El autor*

E. Preparar la mezcla, mezclar la resina poliéster en primer lugar con el acelerador cobalto al 0.75%, y luego con el catalizador Meck y se coloca al 1.5%, con respecto al volumen de la resina.



*Figura 3. 5. Resina poliéster, catalizador Meck y acelerante cobalto.
Fuente: El autor*

F. Colocar una primera capa de resina poliéster catalizado, luego colocar la fibra de totora orientada longitudinalmente, después colocar una segunda capa de resina y finalmente con un rodillo sacar el aire que pueda estar atrapada dentro de la resina, como se indica en la figura 3.6.



*Figura 3. 6. Estratificación manual.
Fuente: El autor*

G. Por último se coloca la tapa del molde y se deja secar por 24 horas, para posteriormente retirar el material, como se indica en la figura 3.7, 3.8.



*Figura 3. 7. Molde cerrado.
Fuente: El autor*






*Figura 3. 8. Material compuesto secado listo para sacarlo.
Fuente: El autor*

3.6.10 CONTROL DE CALIDAD DE LAS PROBETAS

Se realiza un control de calidad mediante una inspección visual. Verificamos que no exista porosidad o incrustaciones en el material compuesto. Como se indica en la tabla 3.9.

Tabla 3. 9. Control de calidad de las probetas del material compuesto.


70% matriz y 30% refuerzo, fibra larga longitudinal

80% matriz y 20% refuerzo, fibra larga longitudinal

90% matriz y 10% refuerzo, fibra larga longitudinal

Fuente: El autor

Se verificó mediante la inspección visual que el material compuesto no presenta imperfecciones que puedan afectar los resultados de los ensayos mecánicos.

3.6.11 DIMENSIONAMIENTO Y CORTADO DE LAS PROBETAS

El dimensionamiento de las probetas está realizadas según normas ASTM, estas normas son específicamente para ensayos de materiales compuestos. Como se indica a continuación en la tabla 3.10.

Tabla 3. 10. Dimensionamiento de probetas para ensayo a Tracción, flexión e impacto según normas ASTM.

Configuración	Fracciones volumétricas	Numero de probetas	Ensayos	Dimensión (mm)
Fibra larga, distribuida y orientada longitudinalmente	90% matriz y 10% refuerzo	5	Tracción ASTM D3039	25x250x3
	80% matriz y 20% refuerzo	5		25x250x3
	70% matriz y 30% refuerzo	5		25x250x3
Fibra larga, distribuida y orientada longitudinalmente	90% matriz y 10% refuerzo	5	Flexión ASTM D7264	13x160x3
	80% matriz y 20% refuerzo	5		13x160x3
	70% matriz y 30% refuerzo	5		13x160x3
Fibra larga, distribuida y orientada longitudinalmente	90% matriz y 10% refuerzo	5	Impacto ASTM D5628	58x58x3
	80% matriz y 20% refuerzo	5		58x58x3
	70% matriz y 30% refuerzo	5		58x58x3

Fuente: El autor

Con el dimensionamiento de las probetas se procede a cortar en una maquina laser, una vez cortado las probetas se procede a preparar las mismas para los diferentes ensayos mecánicos, colocando lijas a los extremos de las probetas para ensayos a tracción y también marcando con un marcador las fracciones volumétricas respectivas para poder identificarlas, como se indica en las figuras 3.9.



Figura 3. 9. *Probetas para ensayos a tracción, flexión e impacto.*
 Fuente: El autor

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 RECOLECCIÓN DE DATOS

4.2 CARACTERIZACIÓN MECÁNICA

La caracterización mecánica consta de tres ensayos mecánicos, ensayos a tracción, flexión e impacto. El ensayo a tracción y flexión e impacto se los realizó en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, de la Universidad Técnica de Ambato, ubicada en la ciudad de Ambato provincia de Tungurahua.

4.2.1 ENSAYO A TRACCIÓN

A. ESFUERZO MÁXIMO A TRACCIÓN

Para poder determinar el esfuerzo máximo se aplicó la siguiente fórmula:

$$\sigma_{\max} = \frac{F}{A} \quad (4.1)$$

Dónde:

σ_{\max} = Esfuerzo máximo a tracción (Mpa)

F = Fuerza máxima aplicada (N)

A = Área de la sección transversal de la superficie donde se aplicó la fuerza (mm²)

B. PORCENTAJE DE DEFORMACIÓN

El porcentaje de deformación se calculó con la longitud inicial antes del ensayo y la longitud final, después del ensayo, y lo multiplicamos por 100.

$$\varepsilon(\text{elongación}) = \frac{l_f - l_i}{l_i} * 100 \quad (4.2)$$

Dónde:

l_i = longitud inicial (mm), antes del ensayo.

l_f = longitud final (mm), después del ensayo.

C. MÓDULO DE ELASTICIDAD

El módulo de elasticidad o módulo de Young es la deformación elástica de un cuerpo al ser aplicada una fuerza y se calcula con la siguiente relación.

$$E = \frac{\sigma_{\max}}{\varepsilon} \quad (4.3)$$

Dónde:

σ_{\max} = Esfuerzo máximo que soporta el material.

E = Elongación.

D. CÁLCULO ESTADÍSTICO

Se calculó el promedio, desviación estándar y el coeficiente de variación de las probetas usadas como muestra. Se utilizó las siguientes relaciones:

Promedio.

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

Desviación estándar.

$$S_{n-1} = \sqrt{\frac{(\sum_{i=1}^n x_i^2 - \bar{x}^2)}{n - 1}}$$

Coeficiente de variación.

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

Dónde:

\bar{x} = el promedio

S_{n-1} = Desviación estándar

x_i = Ensayo mecánico realizado

CV = Coeficiente de variación

E. TIPOS DE FALLAS

Las fallas constan de tres letras:

- La primera indica la forma de falla.
- El segundo indica la zona de la falla.
- La tercera letra indica la ubicación de la falla.



Tabla 4. 1. Tipos de fallas del ensayo de tracción.

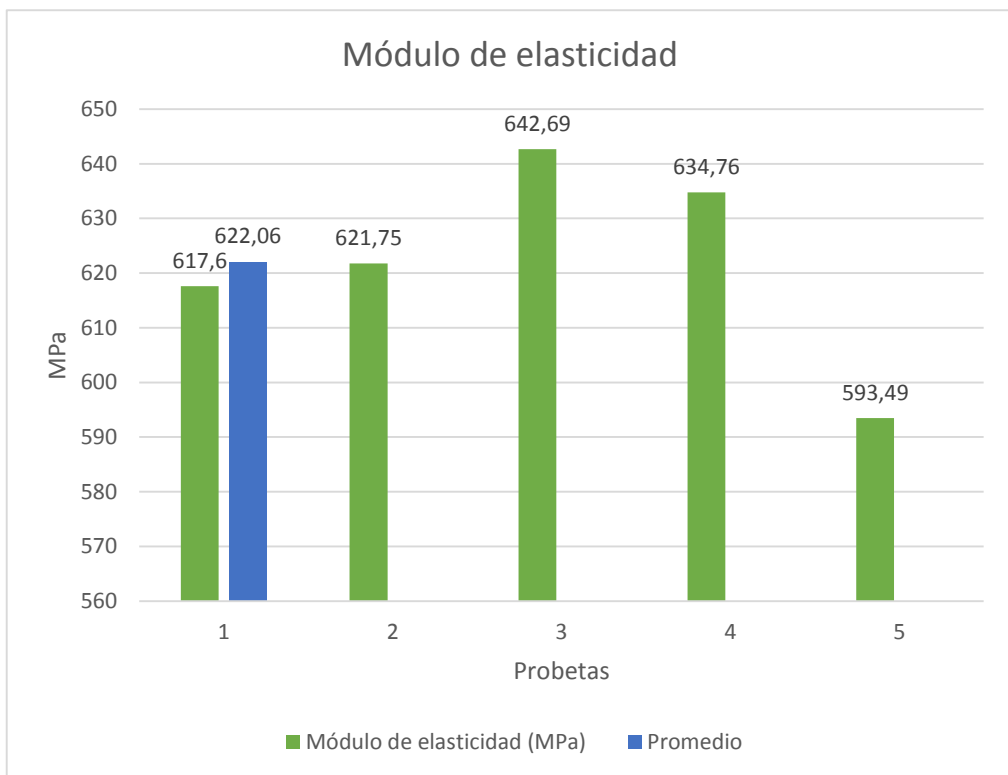
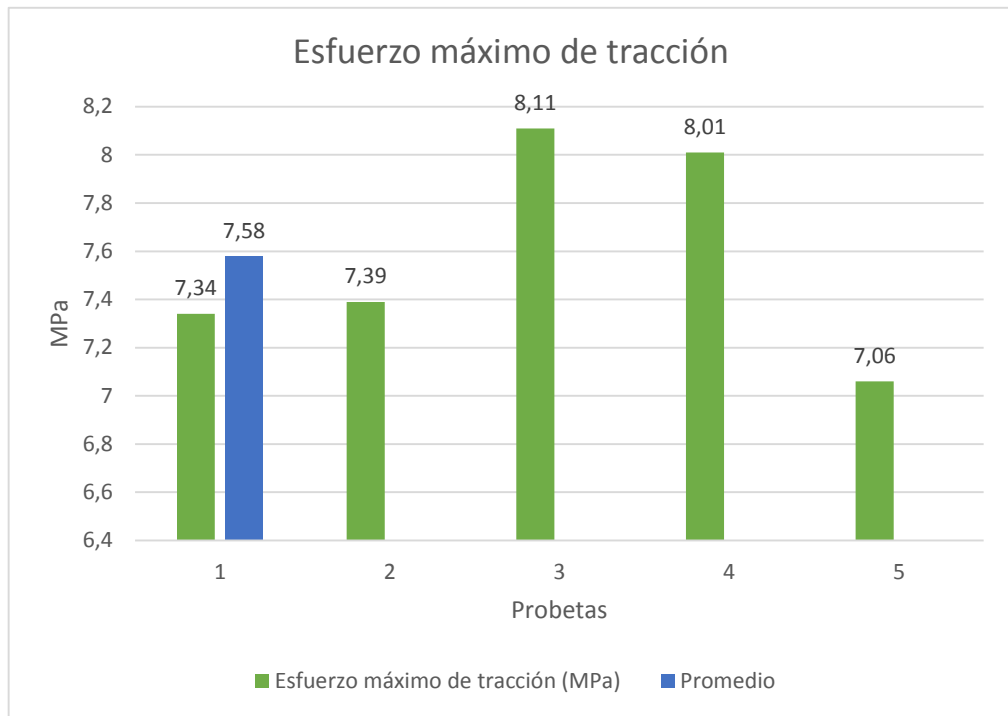
Primer letra		Segundo letra		Tercer letra	
A	Angular	I	Dentro de la empuñadura	B	Fondo
D	De laminación de borde	A	Al agarre/pestaña	T	Superior
G	Agarre/pestaña	W	<1w de agarre/pestaña	L	Izquierda
L	lateral	G	Zona calibrada	R	Derecha
M(xyz)	Modo múltiple	M	Varias áreas	M	Media
S	A lo largo partiéndose	V	Varios	V	Varios
X	explosivo	U	Desconocido	U	Desconocido
O	otros	-	-	-	-

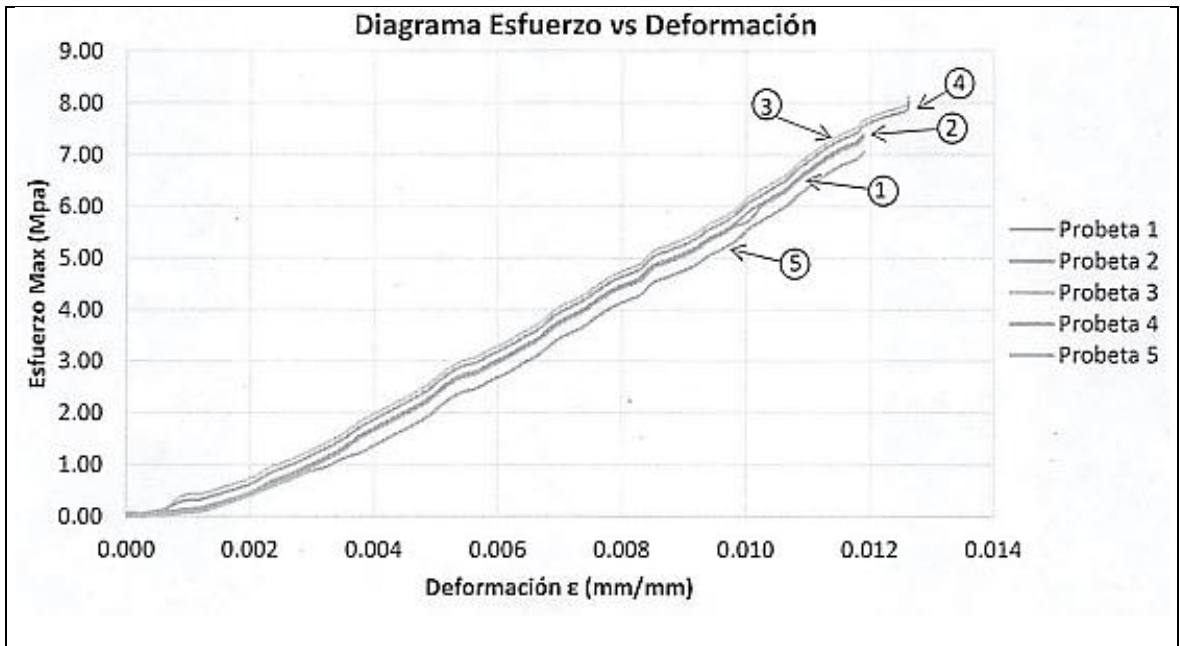
Fuente: El autor

D. TABULACIÓN DE DATOS DE PROBETAS ENSAYADAS A TRACCIÓN

Tabla 4. 2. Ficha técnica de los resultados a ensayos de tracción grupo 1.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA 					
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS					
DATOS INFORMATIVOS					
Fecha:	24-Noviembre-2021	Ciudad:	Ambato		
Tipo de ensayo:	TRACCIÓN	Norma:	ASTM D3039		
Laboratorio:	FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA, Centro de Transferencia y Tecnología “CTT-FICM”				
Máquina:	Máquina Universal Controls Capacidad 2000KN				
Matriz:	Poliéster	Fracción volumétrica	90%		
Refuerzos:	Fibra de totora.	Fracción volumétrica	10%		
Configuración de refuerzo:	Fibra larga orientada y distribuida longitudinalmente				
Método de obtención:	Estratificación Manual	Número de probetas:	5		
Dimensiones de la probeta:	250×25×3(mm)				
RESULTADOS DEL ENSAYO A TRACCIÓN					
# Probeta	Carga máxima (N)	Esfuerzo máximo de tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	% de elongación	Tipo de falla
1	550.693	7.34	617.60	1.19	AGM
2	554.39	7.39	621.75	1.19	AGM
3	608.41	8.11	642.69	1.26	LAT
4	600.91	8.01	634.76	1.26	AGM
5	529.19	7.06	593.49	1.19	LAT
Promedio	568.72	7.58	622.06	1.22	
Desviación estándar	34.29	0.46	18.86	0.04	
Fotografía probetas					
					
Gráfica de resultados					





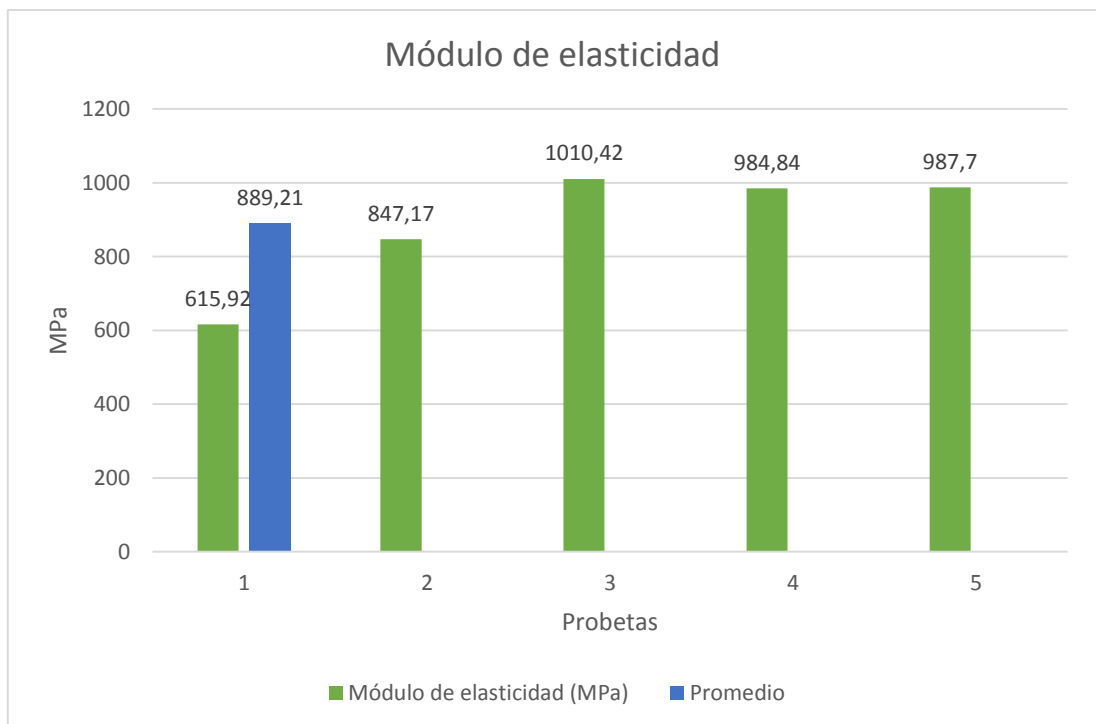
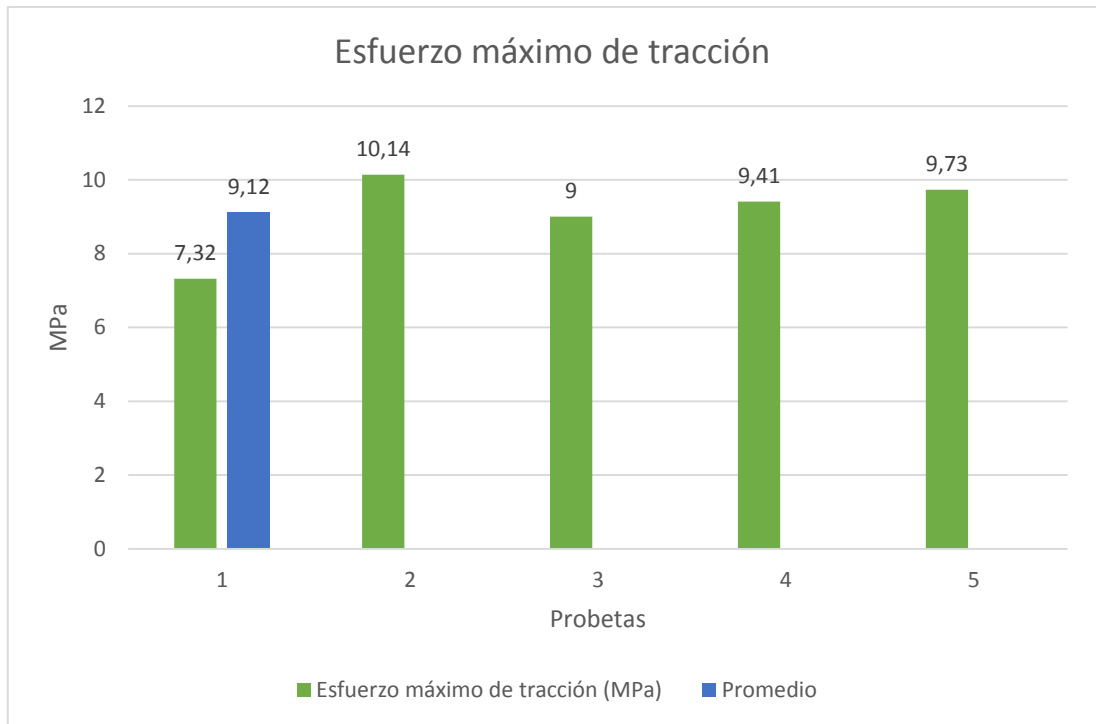
Observación	Resultado de la valuación
La probeta 3 y 5 presenta una rotura en el agarre de la parte superior, mientras que las otras presentan rotura en la zona media calibrada.	Esfuerzo máximo promedio = 7.58 MPa Módulo de elasticidad promedio = 662.06MPa
Elaborado por: José Luis Pico Vaca	Revisado por: Ing. Segundo Espín, Mg

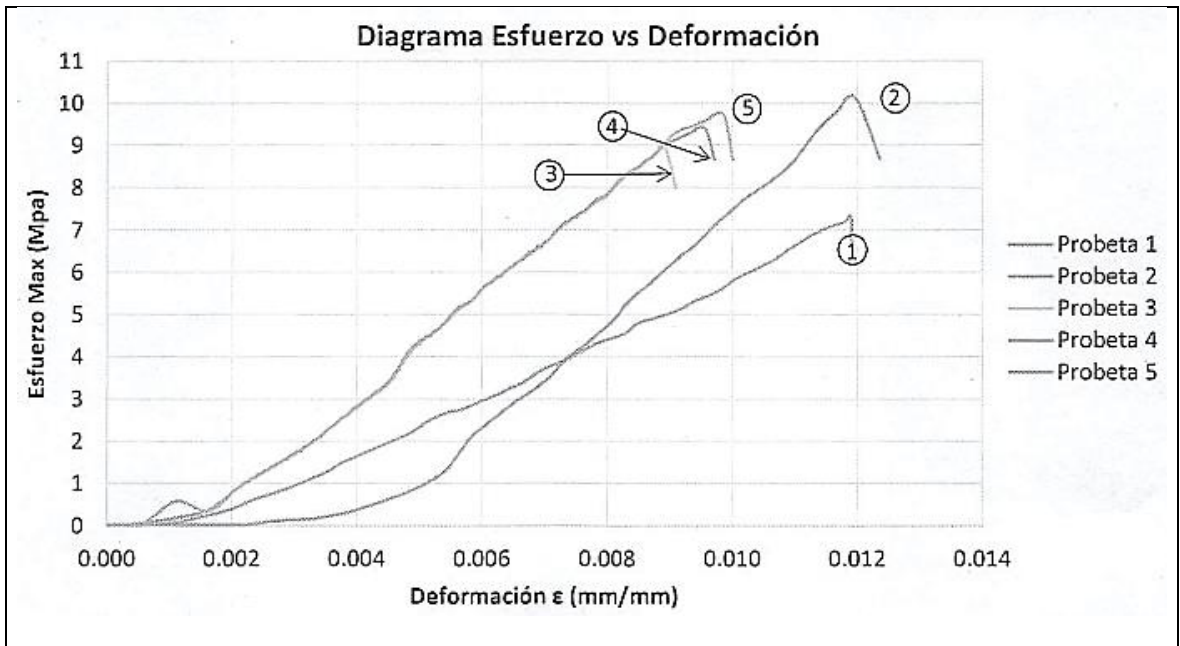
Fuente: El autor

Tabla 4. 3. Ficha técnica de los resultados a ensayos de tracción grupo2.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA 					
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS					
DATOS INFORMATIVOS					
Fecha:	24-Noviembre-2021	Ciudad:	Ambato		
Tipo de ensayo:	TRACCIÓN	Norma:	ASTM D3039		
Laboratorio:	FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA, Centro de Transferencia y Tecnología “CTT-FICM”				
Máquina:	Máquina Universal Controls Capacidad 2000KN				
Matriz:	Poliéster	Fracción volumétrica	80%		
Refuerzos:	Fibra de totora.	Fracción volumétrica	20%		
Configuración de refuerzo:	Fibra larga orientada y distribuida longitudinalmente				
Método de obtención:	Estratificación manual	Número de probetas:	5		
Dimensiones de la probeta:	250×25×3(mm)				
RESULTADOS DEL ENSAYO A TRACCIÓN					
# Probeta	Carga máxima (N)	Esfuerzo máximo de tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	% de elongación	Tipo de falla
1	549.19	7.32	615.92	1.19	AGM
2	760.10	10.14	847.17	1.20	LAT
3	675.30	9.00	1010.42	0.89	LAT
4	705.80	9.41	984.84	0.96	LAT
5	729.80	9.73	987.7	0.99	AGM
Promedio	684.04	9.12	889.21	1.05	
Desviación estándar	81.57	1.09	165.83	0.14	
Fotografía probetas					
					

Gráfica de resultados





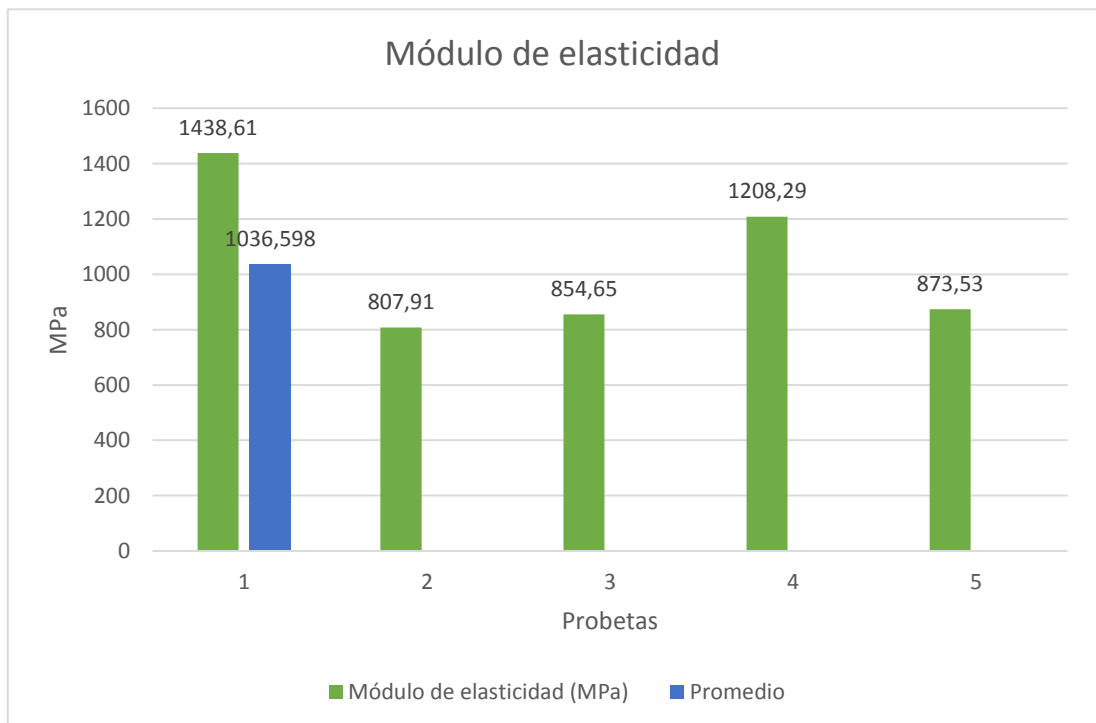
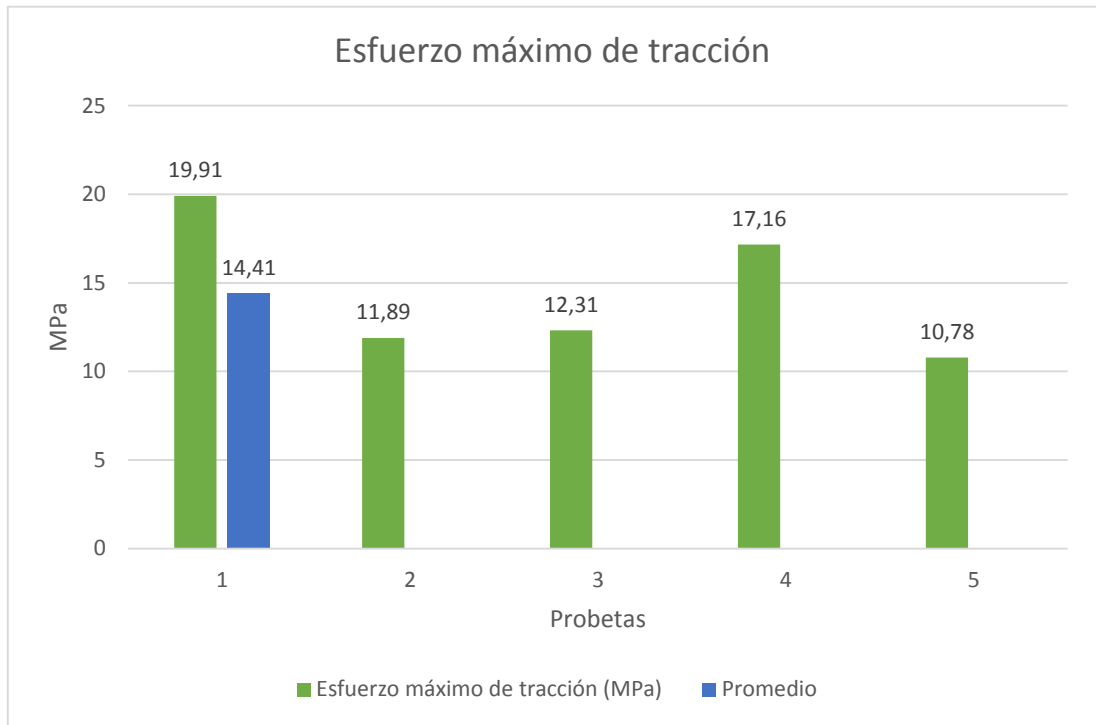
Observación	Resultado de la evaluación
Las probetas 1 y 5 presentan rotura en la zona calibrada media, mientras que las otras presentan rotura en el agarre superior de la probeta.	Esfuerzo máximo promedio = 9.12MPa Módulo de elasticidad promedio = 889.21MPa
Elaborado por: José Luis Pico Vaca	Revisado por: Ing. Segundo Espín, Mg

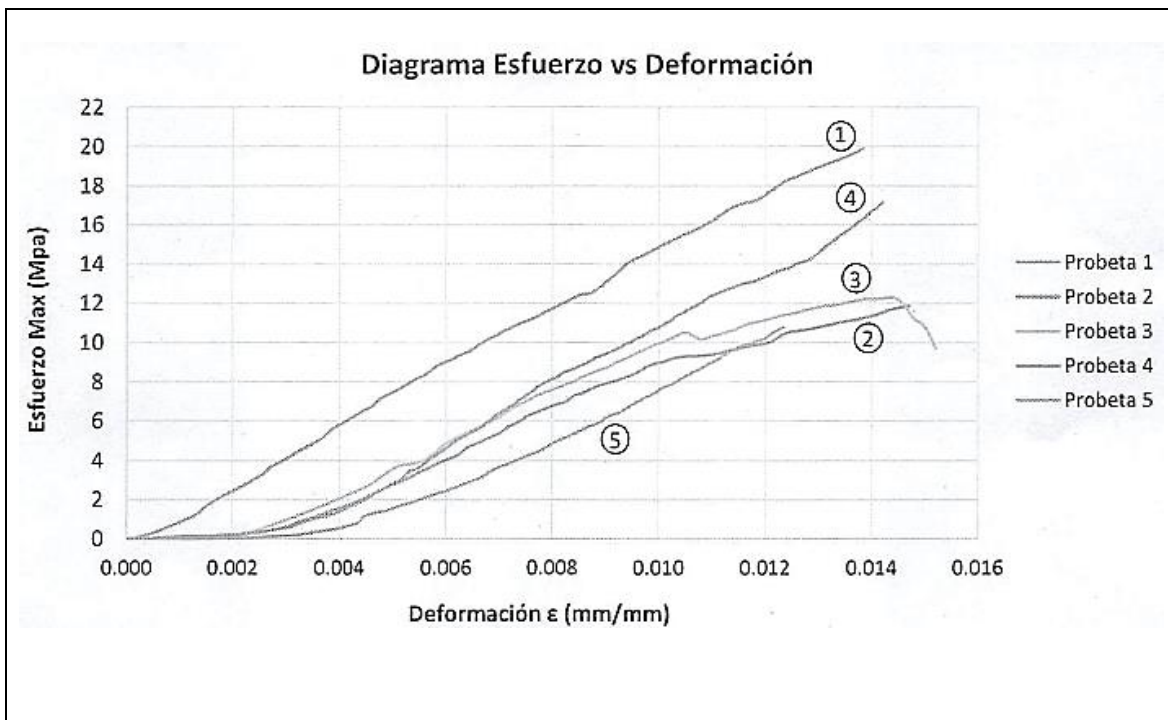
Fuente: El autor

Tabla 4. 4. Ficha técnica de los resultados a ensayos de tracción grupo3.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA 					
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS					
DATOS INFORMATIVOS					
Fecha:	24-Noviembre-2021	Ciudad:	Ambato		
Tipo de ensayo:	TRACCIÓN	Norma:	ASTM D3039		
Laboratorio:	FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA, Centro de Transferencia y Tecnología “CTT-FICM”				
Máquina:	Máquina Universal Controls Capacidad 2000KN				
Matriz:	Poliéster	Fracción volumétrica	70%		
Refuerzos:	Fibra de totora.	Fracción volumétrica	30%		
Configuración de refuerzo:	Fibra larga orientada y distribuida longitudinalmente				
Método utilizado:	Estratificación manual	Número de probetas:	5		
Dimensiones de la probeta:	250×25×3(mm)				
RESULTADOS DEL ENSAYO A TRACCIÓN					
# Probeta	Carga máxima (N)	Esfuerzo máximo de tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	% de elongación	Tipo de falla
1	1492.96	19.91	1438.61	1.38	AGM
2	891.39	11.89	807.91	1.47	LAT
3	923.5	12.31	854.65	1.44	LAT
4	1287.5	17.16	1208.29	1.42	LAT
5	808.5	10.78	873.53	1.23	AGM
Promedio	1080.77	14.41	1036.598	1.388	
Desviación estándar	294.69	3.93	275.27	0.09	
Fotografía probetas ensayadas					
					

Gráfica de resultados





Observación	Resultados de la evaluación
Las probetas 2, 3 y 4 presentan una rotura en el agarre de la parte superior, mientras que las otras presentan rotura en la zona calibrada media.	Esfuerzo máximo promedio = 14.41MPa Módulo de elasticidad promedio = 1036.598 MPa
Elaborado por: José Luis Pico Vaca	Revisado por: Ing. Segundo Espín, Mg

Fuente: El autor

4.2.3 ENSAYO A FLEXIÓN

A. ESFUERZO MÁXIMO A FLEXIÓN

Para poder determinar el esfuerzo máximo a flexión, se calcula con la siguiente relación.

$$\sigma_{\max f} = \frac{3PL}{2bh^2} \tag{4.4}$$

Dónde:

$\sigma_{\max f}$ = esfuerzo máximo producido a flexión (Mpa)

P = fuerza aplicada sobre la probeta (N)

L = longitud entre los apoyos (mm)

b = ancho de la probeta (mm)

h = espesor de la probeta (mm)

B. MÓDULO DE FLEXIÓN O ELASTICIDAD

El módulo de elasticidad en flexión se calcula con la siguiente relación:

$$E_f = \frac{L^3 P}{4bh^3 \delta} \quad (4.5)$$

Dónde:

E_f = Módulo de elasticidad

P = fuerza aplicada sobre la probeta(N)

L = Longitud entre los apoyos (mm)

b = Ancho de la probeta (mm)

h = Espesor de la probeta (mm)

δ = Deflexión producida por acción de la fuerza aplicada (mm)

C. CÁLCULO ESTADÍSTICO

Se calculó el promedio, desviación estándar y el coeficiente de variación de las muestras. Con las siguientes relaciones:

Promedio.

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

Desviación estándar.

$$S_{n-1} = \sqrt{\frac{(\sum_{i=1}^n x_i^2 - n\bar{x}^2)}{n-1}}$$

Coeficiente de variación

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

Dónde:

\bar{x} = Media aritmética o promedio

S_{n-1} = Desviación estándar

x_i = Ensayo realizado

CV = Coeficiente de variación

D. TIPOS DE FALLA

Los tipos de fallas están representadas por tres letras:

- La primera letra indica la forma de falla.
- La segunda letra indica la zona de falla.
- La tercera letra indica la ubicación de falla.

Como se ve en la tabla 4.5.

Tabla 4. 5. Tipos de fallas de ensayo a flexión.

Primer letra		Segundo letra		Tercer letra	
T	Tensión	A	En el punto de carga	T	Parte superior
C	Compresión	B	Entre la carga	B	Fondo
B	Pandeo	S	Entre los soportes	L	Izquierdo
S	Cizalla interlaminar	L	Entre la cara y el punto de apoyo	R	Derecho
M(xyz)	Modo múltiple	U	Desconocido	M	Medio
O	otros			V	Varios
				U	desconocido

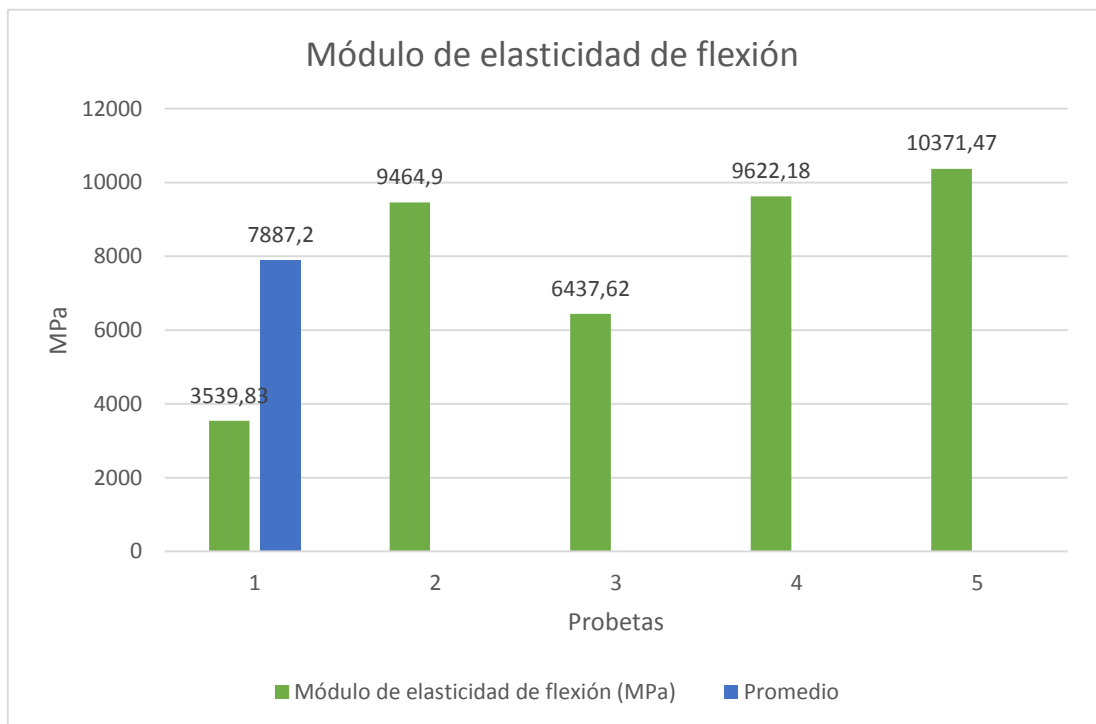
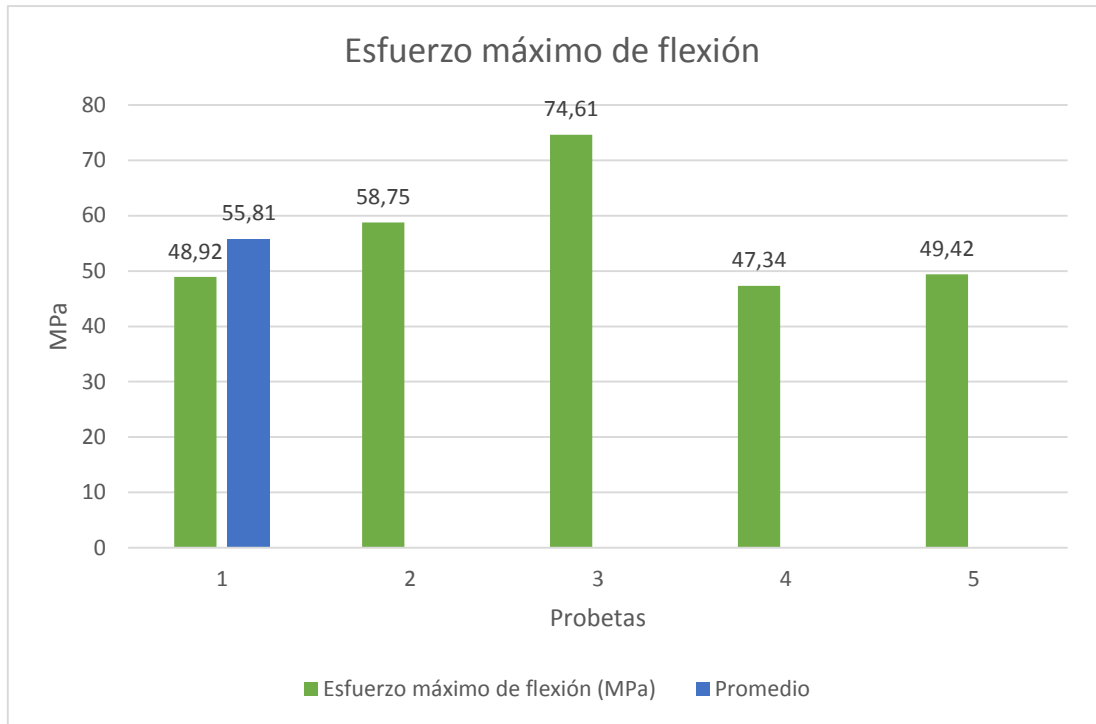
Fuente: El autor

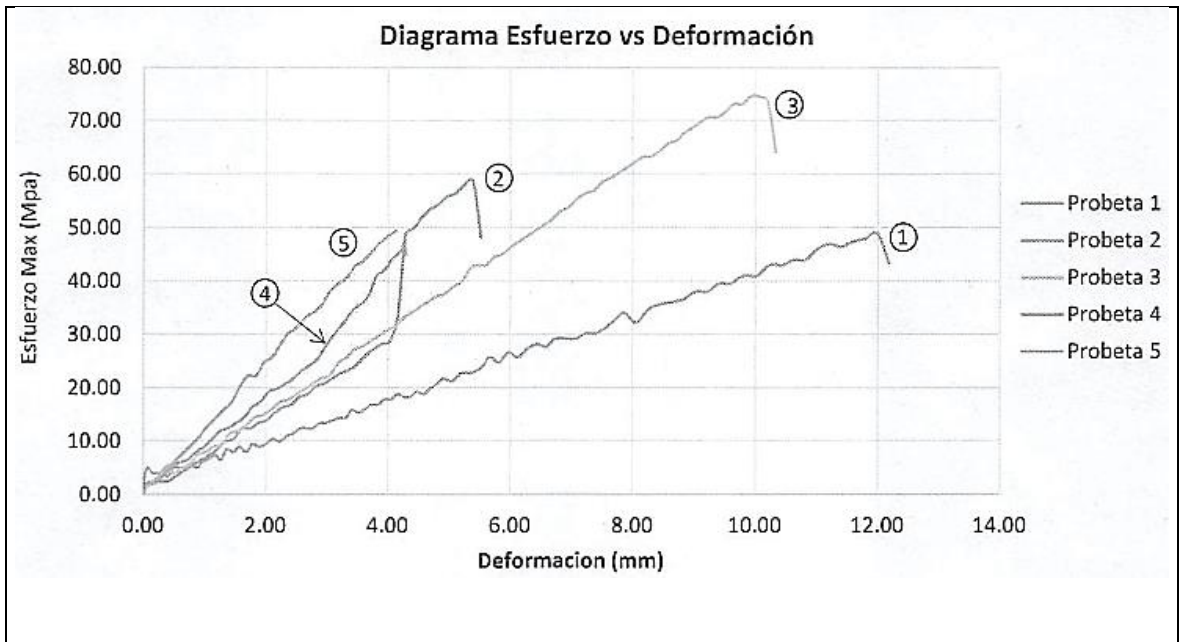
E. TABULACIÓN DE DATOS

Tabla 4. 6. Ficha técnica de resultados a ensayos de flexión grupo 1.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA 						
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS						
DATOS INFORMATIVOS						
Fecha:	24-11-2021	Ciudad:	Ambato			
Tipo de ensayo:	Flexión	Norma:	ASTM D7264			
Laboratorio:	FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA, Centro de Transferencia y Tecnología "CTT-FICM"					
Máquina:	Máquina Universal Controls Capacidad 2000KN					
Matriz:	Poliéster	Fracción volumétrica	90%			
Refuerzos:	Fibra de totora.	Fracción volumétrica	10%			
Configuración de refuerzo:	Fibra larga orientada y distribuida longitudinalmente					
Método de obtención:	Estratificación manual	Número de probetas:	5			
Dimensiones de la probeta:	160x13x3 (mm)					
RESULTADOS DEL ENSAYO A FLEXIÓN						
# Probeta	Carga máxima (N)	Esfuerzo máximo de flexión (MPa)	Módulo de elasticidad de flexión (MPa)	Deflexión (mm)	Deformación máxima %	Tipo de falla
1	30.52	48.92	3539.83	12.00	8.00	OLV
2	36.65	58.75	9464.90	5.39	3.59	OAB
3	45.94	74.61	6437.62	10.06	6.71	OLV
4	29.54	47.34	9622.18	4.27	2.85	OAB
5	30.83	49.42	10371.47	4.14	2.76	OLV
Promedio	34.696	55.81	7887.20	7.17	4.78	
Desviación estándar	6.88	11.43	2857.96	3.62	2.41	
Fotografía probetas ensayadas						
						

Gráfica de resultados








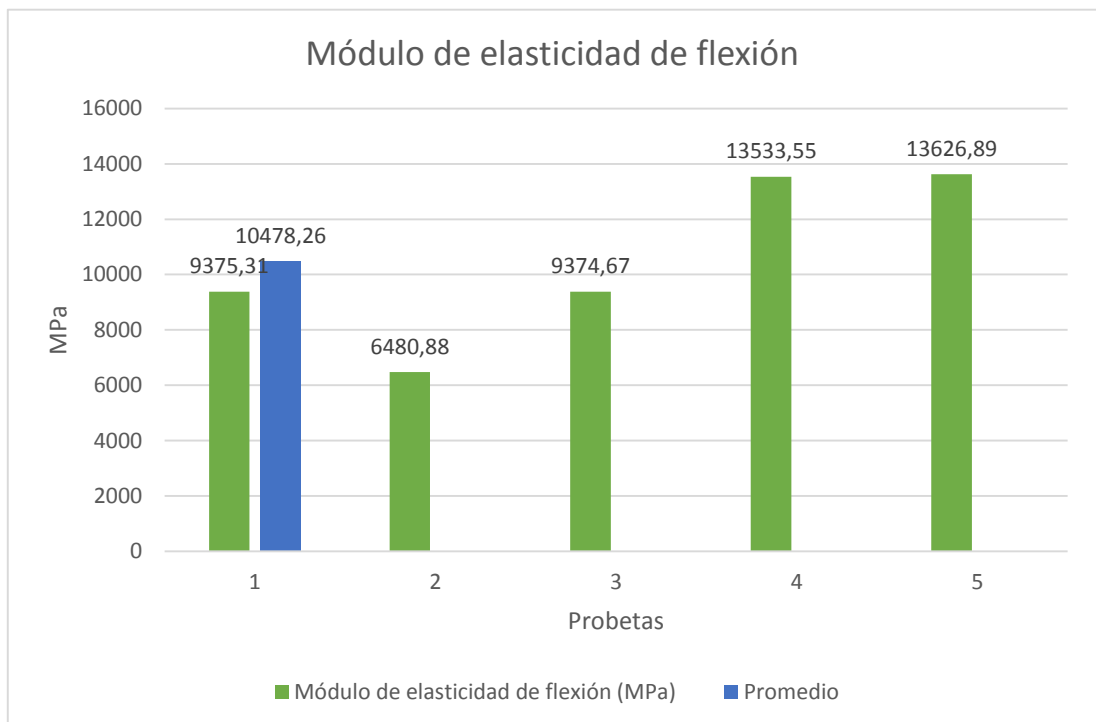
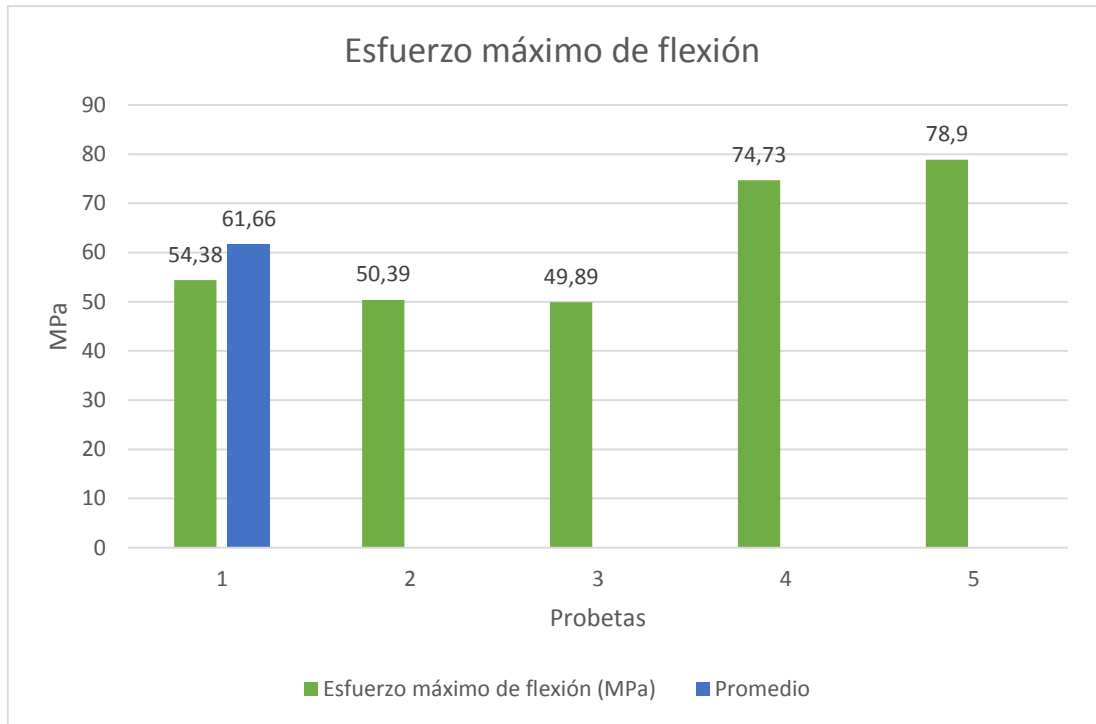
Observación	Resultado de la evaluación
La probeta 1, 3 y 5 presenta una rotura entre la carga y el punto de apoyo, mientras que las demás presentan rotura en el punto de la carga.	Esfuerzo máximo promedio = 55.81 MPa Módulo de elasticidad promedio = 7887.2MPa
Elaborado por: José Luis Pico Vaca	Revisado por: Ing. Segundo Espín, Mg

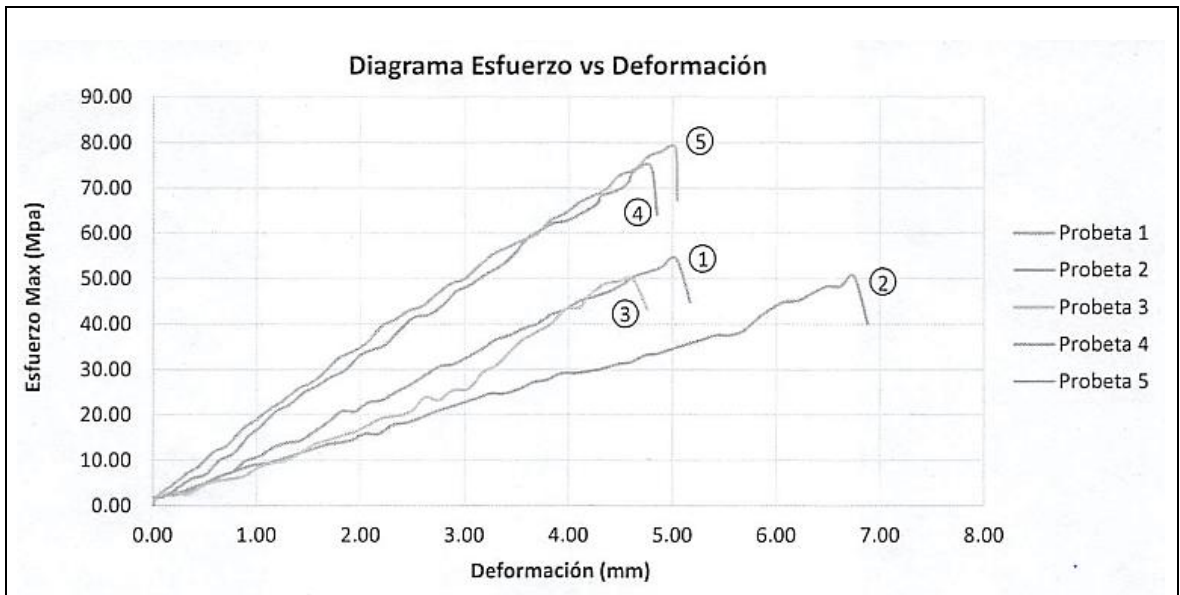
Fuente: El autor

Tabla 4. 7. Ficha técnica de resultados a ensayos de flexión grupo 2.

<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;">  <div style="text-align: center;"> UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA </div>  </div>						
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS						
DATOS INFORMATIVOS						
Fecha:	24-11-2021	Ciudad:	Ambato			
Tipo de ensayo:	Flexión	Norma:	ASTM D7264			
Laboratorio:	FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA, Centro de Transferencia y Tecnología “CTT-FICM”					
Máquina:	Máquina Universal Controls Capacidad 2000KN					
Matriz:	Poliéster	Fracción volumétrica	80%			
Refuerzos:	Fibra de totora.	Fracción volumétrica	20%			
Configuración de refuerzo:	Fibra larga orientada y distribuida longitudinalmente					
Método de obtención:	Estratificación manual	Número de probetas:	5			
Dimensiones de la probeta:	160×13×3 (mm)					
RESULTADOS DEL ENSAYO A FLEXIÓN						
# Probeta	Carga máxima (N)	Esfuerzo máximo de flexión (MPa)	Módulo de elasticidad de flexión (MPa)	Deflexión (mm)	Deformación máxima %	Tipo de falla
1	33.93	54.38	9375.31	5.04	3.36	OAB
2	31.44	50.39	6480.88	6.75	4.50	OAB
3	31.13	49.89	9374.67	4.62	3.08	OAB
4	46.62	74.73	13533.55	4.85	3.23	OAB
5	49.23	78.90	13626.89	5.03	3.35	OLV
Promedio		61.66	10478.26	5.26	3.51	
Desviación estándar		14.02	3068.47	0.85	0.57	
Fotografía probetas ensayadas						
						

Gráfica de resultados








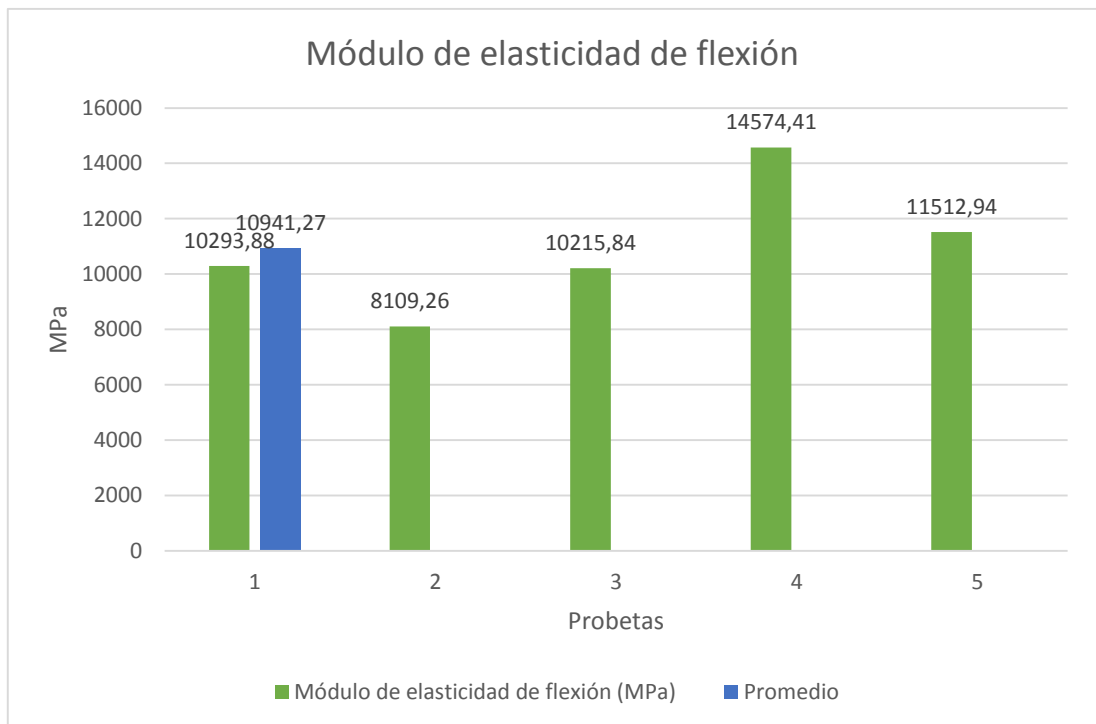
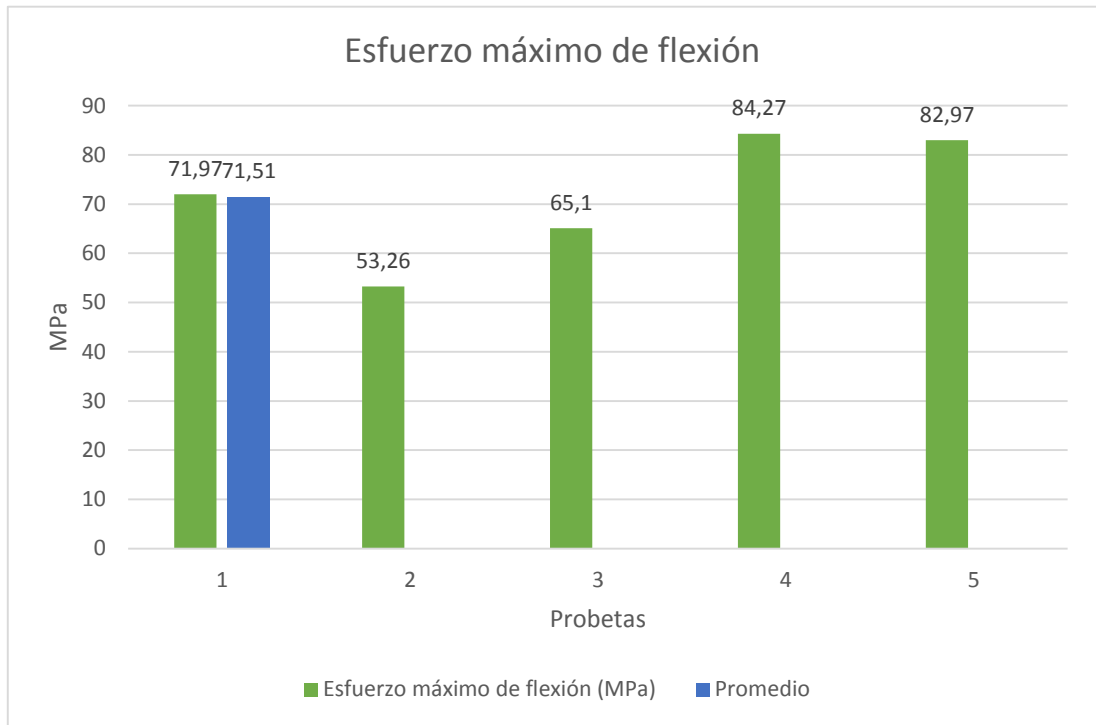
Observación	Resultado de la evaluación
La probeta 5 presenta una rotura entre la carga y el punto de apoyo, mientras que las demás presentan rotura en el punto de la carga.	Esfuerzo máximo promedio = 61.66 MPa Módulo de elasticidad promedio = 10478.26 MPa.
Elaborado por: José Luis Pico Vaca	Revisado por: Ing. Segundo Espín, Mg

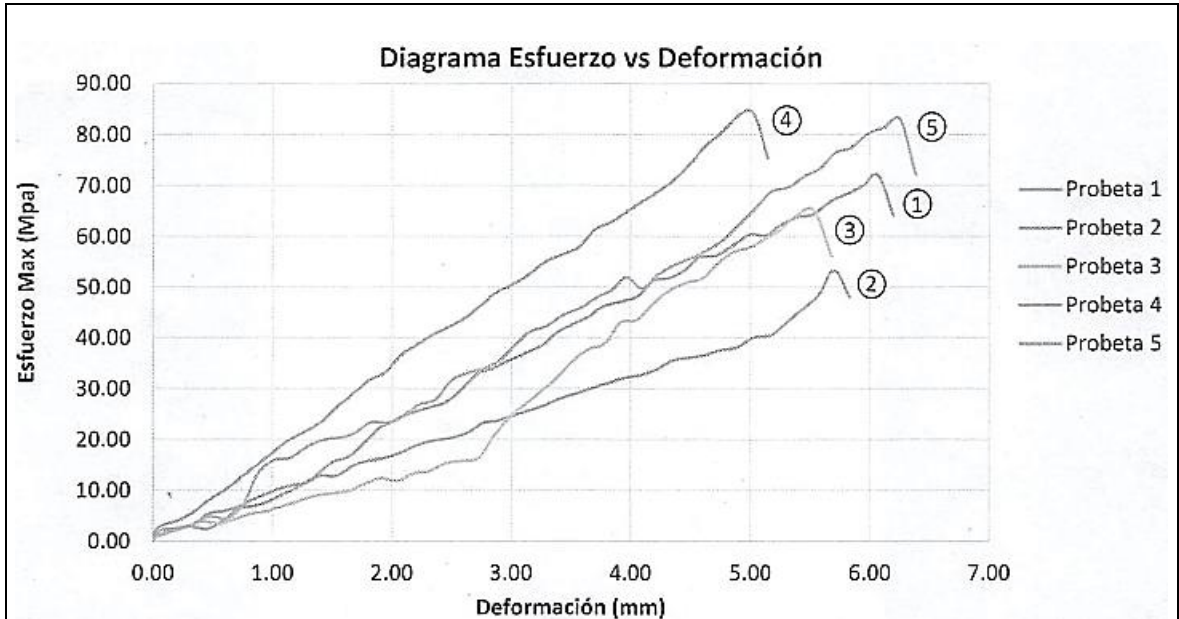
Fuente: El autor

Tabla 4. 8. Ficha técnica de resultados a ensayos de flexión grupo 3.

<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;">  <div style="text-align: center;"> UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA </div>  </div>						
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS						
DATOS INFORMATIVOS						
Fecha:	24-11-2021	Ciudad:	Ambato			
Tipo de ensayo:	Flexión	Norma:	ASTM D7264			
Laboratorio:	FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA, Centro de Transferencia y Tecnología “CTT-FICM”					
Máquina:	Máquina Universal Controls Capacidad 2000KN					
Matriz:	Poliéster	Fracción volumétrica	70%			
Refuerzos:	Fibra de totora.	Fracción volumétrica	30%			
Configuración de refuerzo:	Fibra larga orientada y distribuida longitudinalmente					
Método de obtención:	Manual	Número de probetas:	5			
Dimensiones de las probetas:	160x13x3 (mm)					
RESULTADOS DEL ENSAYO A FLEXIÓN						
# Probeta	Carga máxima (N)	Esfuerzo máximo de flexión (MPa)	Módulo de elasticidad de flexión (MPa)	Deflexión (mm)	Deformación máxima %	Tipo de falla
1	44.9	71.97	10293.88	6.20	4.13	OAB
2	33.23	53.26	8109.26	5.70	3.80	OLV
3	40.62	65.10	10215.84	5.53	3.69	OLV
4	52.58	84.27	14574.41	5.02	3.35	OLV
5	51.77	82.97	11512.94	6.26	4.17	OLV
Promedio	44.62	71.51	10941.27	5.74	3.83	
Desviación estándar	8.07	12.93	2371.29	0.51	0.34	
Fotografía probetas ensayadas						
						

Gráfica de resultados





Observación	Resultado de la evaluación
La probeta 1 presenta una rotura en el punto de carga, mientras que las demás presentan rotura entre la carga y el punto de apoyo.	Esfuerzo máximo promedio = 71.51 MPa Módulo de elasticidad promedio = 10941.27MPa
Elaborado por: José Luis Pico Vaca	Revisado por: Ing. Segundo Espín, Mg

Fuente: El autor

4.2.4 ENSAYO DE IMPACTO

El ensayo de impacto es realizado es por caída de dardo, determinando así la altura máxima de impacto con la siguiente relación:

$$MEF = hwf \tag{4.6}$$

Dónde:

MEF = Es la resistencia máxima al impacto por caída de dardo (J)

h = Altura máxima de fallo (mm)

w = Peso del dardo (Kg)

f = Factor de conversión, siendo este $9,80665 \times 10^{-3}$, si (h) está en (mm) y (w) en (Kg).

A. TIPOS DE FALLA

Los tipos de fallas que se pueden encontrar en las probetas ensayadas son las siguientes, tabla 4.9.




Tabla 4. 9. Tipos de fallas en los ensayos de impacto.

Tipo de falla	Descripción	Consideración
A	Grietas o fisuras en una sola cara	No falla
B	Grietas que se extiendan por todo el espesor	No falla
C	Quebradizo	Falla
D	Placa traspasada totalmente rota	falla

Fuente: El autor

B. TABULACIÓN DE DATOS

Tabla 4. 10. Ficha técnica de los resultados a ensayos de impacto grupo 1.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA 					
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS					
DATOS INFORMATIVOS					
Fecha:	25-11-2021	Ciudad:	Ambato		
Tipo de ensayo:	IMPACTO	Norma:	ASTM D5628		
Laboratorio:	Laboratorio de Materiales Universidad Técnica de Ambato FICM, Centro de Transferencia y Tecnología.				
Máquina:	Máquina tipo caída de masas de Impacto				
Matriz:	Poliéster	Fracción volumétrica	90%		
Refuerzos:	Fibra de totora.	Fracción volumétrica	10%		
Configuración de refuerzo:	Fibra larga orientada y distribuida longitudinalmente				
Método de obtención:	Estratificación manual	Número de probetas:	7		
Dimensiones de las probetas:	58x58x3(mm)	Geometría de la masa (dardo):	FE		
RESULTADOS DEL ENSAYO A IMPACTO					
# Probeta	Altura (mm)	Peso de dardo (kg)	Incremento de masa (kg)	Resistencia al impacto (J)	Criterio de falla
1	50	0.232	0	0.113796	No falla
2	50	0.232	0	0.113796	No falla
3	65	0.232	0	0.1479348	Falla
4	65	0.232	0	0.1479348	Falla
5	70	0.232	0	0.1593144	Falla
6	80	0.232	0	0.1820736	Falla
7	100	0.232	0	0.227592	Falla
Fotografía probetas					
					
Observación			Resultado de la evaluación		
Las probetas 1 y 2 presenta una fractura de tipo A, B, mientras que las demás presenta una fractura de tipo C y D.			El material compuesto soporta una resistencia al impacto de 0.15 J debido a que tiene una fractura de tipo C.		
Elaborado por: José Luis Pico Vaca			Revisado por: Ing. Segundo Espín, Mg		

Fuente: El autor

Tabla 4. 11. Ficha técnica de los resultados a ensayos de impacto grupo 2.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA 					
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS					
DATOS INFORMATIVOS					
Fecha:	25-11-2021	Ciudad:	Ambato		
Tipo de ensayo:	IMPACTO	Norma:	ASTM D5628		
Laboratorio:	Laboratorio de Materiales Universidad Técnica de Ambato FICM, Centro de Transferencia y Tecnología.				
Máquina:	Máquina tipo caída de masas de Impacto				
Matriz:	Poliéster	Fracción volumétrica	80%		
Refuerzos:	Fibra de totora.	Fracción volumétrica	20%		
Configuración de refuerzo:	Fibra larga orientada y distribuida longitudinalmente				
Método de obtención:	Estratificación manual	Número de probetas:	6		
Dimensiones de las probetas:	58x58x3(mm)	Geometría de dardo:	FE		
RESULTADOS DEL ENSAYO A IMPACTO					
# Probeta	Altura (mm)	Peso de dardo (kg)	Incremento de masa (kg)	Resistencia al impacto (J)	Criterio de falla
1	50	0.232	0	0.113796	No falla
2	70	0.232	0	0.1593144	No falla
3	80	0.232	0	0.1820736	Falla
4	100	0.232	0	0.227592	Falla
5	120	0.232	0	0.2731104	Falla
6	150	0.232	0	0.341388	Falla
Fotografía probetas ensayadas					
					
Observación			Resultado de la evaluación		
Las probetas 1 y 2 presenta una fractura de tipo A, B, mientras que las demás presenta una fractura de tipo C y D.			El material compuesto soporta una resistencia al impacto de 0.18 J debido a que tiene una fractura de tipo C.		
Elaborado por: José Luis Pico Vaca			Revisado por: Ing. Segundo Espín, Mg		

Fuente: El autor

Tabla 4. 12. Ficha técnica de los resultados a ensayos de impacto grupo 3.

<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;">  <div style="text-align: center;"> UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA </div>  </div>					
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS					
DATOS INFORMATIVOS					
Fecha:	25-11-2021	Ciudad:	Ambato		
Tipo de ensayo:	IMPACTO	Norma:	ASTM D5628		
Laboratorio:	Laboratorio de Materiales Universidad Técnica de Ambato FICM, Centro de Transferencia y Tecnología.				
Máquina:	Máquina tipo caída de masas de Impacto				
Matriz:	Poliéster	Fracción volumétrica	70%		
Refuerzos:	Fibra de totora.	Fracción volumétrica	30%		
Configuración del refuerzo:	Fibra larga orientada y distribuida longitudinalmente				
Método de obtención:	Estratificación manual	Número de probetas:	7		
Dimensiones de las probetas:	58x58x3(mm)	Geometría de dardo:	FE		
RESULTADOS DEL ENSAYO A IMPACTO					
Probeta	Altura (mm)	Peso de dardo (kg)	Incremento de masa (kg)	Resistencia al impacto (J)	Criterio de falla
1	50	0.232	0	0.113796	No falla
2	80	0.232	0	0.1820736	No falla
3	100	0.232	0	0.227592	Falla
4	120	0.232	0	0.2731104	Falla
5	150	0.232	0	0.341388	Falla
6	200	0.232	0	0.455184	Falla
7	300	0.232	0	0.682776	Falla
Fotografía probetas ensayadas					
					
Observación			Resultado de la e valuación		
Las probetas 1 y 2 presenta una fractura de tipo A, B, mientras que las demás presenta una fractura de tipo C y D.			El material compuesto soporta una resistencia al impacto de 0.23 J debido a que tiene una fractura de tipo C.		
Elaborado por: José Luis Pico Vaca			Revisado por: Ing. Segundo Espín, Mg		

Fuente: El autor

4.2.5 ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.

Para el análisis e interpretación de resultados se tomaron el promedio de los valores máximos de los diferentes ensayos mecánicos, para realizar una comparación de las mismas, y de esta manera poder seleccionar el material compuesto que mejores propiedades mecánicas presente. Como se muestra en la tabla 4.13.

Tabla 4.13. Valores máximos que presenta a ensayos de tracción, flexión e impacto.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		INGENIERÍA MECÁNICA	
FICHA DE EVALUACIÓN DE RESULTADOS PROMEDIO DE PROBETAS DEL MATERIAL COMPUESTO					
Ensayo	Tracción	Flexión	Impacto		
fracción volumétrica	Esfuerzo de rotura (MPa)	Esfuerzo de rotura (MPa)	Resistencia al impacto (J)		
90%-10%	7.58	55.81	0.15		
80%-20%	9.12	61.66	0.18		
70%-30%	14.41	71.51	0.23		
Gráfico de resultados					
Evaluación					
<p>En el gráfico de barras podemos apreciar que el material compuesto que mejores propiedades mecánicas presentan es el de fracción volumétrica 70% matriz poliéster y 30% de refuerzo (fibra de totora), ya que presenta mejores comportamiento ante los ensayos de tracción, flexión e impacto.</p> <p>Los valores que presenta el mejor material compuesto son: Esfuerzo a tracción 14.41 MPa. Esfuerzo a flexión 71.51 MPa. Resistencia al impacto 0.23 J.</p>					
Elaborado por: José Luis Pico Vaca			Revisado por: Ing. Segundo Espín, Mg		

Fuente: El autor

4.2.7 SELECCIÓN DEL MEJOR MATERIAL COMPUESTO

De acuerdo con la evaluación e interpretación de los valores promedios de cada configuración volumétrica, y al hacer una comparación entre todos los valores de los resultados, se determinó que el material compuesto que mejores resultados presenta ante los ensayos de tracción, flexión impacto, es el material compuesto de 70% Matriz poliéster y 30% de Refuerzo, fibra larga, distribución alineada y orientación longitudinal. A continuación se muestra las propiedades mecánicas del material compuesto en la tabla 4.14.

Tabla 4. 14. Propiedades mecánicas del material compuesto, 70% Matriz y 30% de Refuerzo.

Propiedades ensayo tracción	
Esfuerzo máximo (Mpa)	14.41
Módulo de elasticidad (Mpa)	1036.598
Deformación máxima (%)	1.388
Propiedades ensayo flexión	
Esfuerzo máximo (Mpa)	71.51
Módulo de elasticidad (Mpa)	10941.27
Deflexión máxima (mm)	5.57
Propiedades ensayo impacto	
Resistencia máxima a impacto (J)	0.23

Fuente: El autor

4.3 VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS

Para la verificación de la hipostasis se utilizó el método T-Student que es un método estadístico para dos muestras diferentes, comparando así los resultados de los ensayos a tracción, flexión e impacto. Para la realización de este método se tomó un nivel de confianza del 95%, lo que da un margen de error del 5% recomendado para proyectos de investigación. A demás utilizaremos los siguientes términos:

Ha = Hipótesis alternativa

Ho = Hipótesis nula

α = Margen de error

X = Resultados de los ensayos de la muestra 1.

Y=Resultados de los ensayos de la muestra 2.

n1= Población 1

n2= Población 2

A. MÉTODO T-STUDENT PARA EL ENSAYO A TRACCIÓN

Hipótesis nula (H_a)

El material compuesto de 70% matriz poliéster y 30% de fibra larga de totora, presentara mejores resultados a ensayos de tracción que el material compuesto de 80% matriz poliéster y 20% de fibra larga de totora.

Hipótesis alternativa (H_o)

El material compuesto de 70% matriz poliéster y 30% de fibra larga de totora, no presentara mejores resultados a ensayos de tracción que el material compuesto de 80% matriz poliéster y 20% de fibra larga de totora.

Solución

Calculo de la distribución t.

A continuación se muestra en la tabla 4.15, los resultados obtenidos de los ensayos a tracción del material compuesto con fracción volumétrica (70% matriz poliéster+30% fibra larga de totora) y (80% matriz poliéster+20% fibra larga de totora).

Tabla 4. 15. Resultados de ensayos de tracción del material compuesto fracción volumétrica 70%-30% y 80%-20%.

Número de Probetas	Esfuerzo máximo a tracción (Mpa)	
	70% matriz poliéster y 30% fibra larga de totora	80% matriz poliéster y 20% fibra larga de totora
1	19.91	7.32
2	11.89	10.14
3	12.31	9.00
4	17.16	9.41
5	10.78	9.73
Media	14.41	9.12

Fuente: El autor

Cálculo de la varianza.

$$s_1^2 = \frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{n - 1}$$

$$s_1^2 = \frac{61.75}{4}$$

$$\mathbf{s_1^2 = 15.44}$$

$$s_2^2 = \frac{\sum(y_i - \bar{y})^2}{n - 1}$$

$$s_2^2 = \frac{4.751}{4}$$

$$\mathbf{s_2^2 = 1.19}$$

Cálculo de la S_p .

$$S_p = \sqrt{\frac{s_1^2(n_1 - 1) + s_2^2(n_2 - 1)}{n_1 + n_2 - 2}}$$

$$S_p = \sqrt{\frac{15.44(5 - 1) + 1.19(5 - 1)}{5 + 5 - 2}}$$

$$\mathbf{S_p = 3.0}$$

Cálculo de la tc.

$$tc = \frac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2)}{S_p \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}}$$

$$tc = \frac{(14.41 - 9.12)}{3 \sqrt{\frac{1}{5} + \frac{1}{5}}}$$

$$\mathbf{tc = 2.64}$$

La regla de decisión es: aceptar H_0 si, t-calculado > t-tabulado

Nivel de confianza 95%

Margen de error 5%.

Nivel de significancia o potencia de la prueba $\alpha = 0.05/2=0.025$.


Grados de libertad

$$V = n_1 + n_2 - 2$$

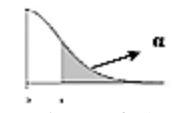
$$V = 5 + 5 - 2$$

$$V = 8$$

Tabla de valores críticos de la distribución t de Student



	Niveles de Significancia DOS COLA								
	0.500	0.250	0.200	0.100	0.050	0.025	0.020	0.010	0.005
1	1.00	2.41	3.08	6.31	12.71	25.45	31.82	63.66	127.32
2	0.82	1.60	1.89	2.92	4.30	6.21	6.96	9.92	14.09
3	0.76	1.42	1.64	2.35	3.18	4.18	4.54	5.84	7.45
4	0.74	1.34	1.53	2.13	2.78	3.50	3.75	4.60	5.60
5	0.73	1.30	1.48	2.02	2.57	3.16	3.36	4.03	4.77
6	0.72	1.27	1.44	1.94	2.45	2.97	3.14	3.71	4.32
7	0.71	1.25	1.41	1.89	2.36	2.84	3.00	3.50	4.03
8	0.71	1.24	1.40	1.86	2.31	2.75	2.90	3.38	3.83
9	0.70	1.23	1.38	1.83	2.26	2.69	2.82	3.25	3.69
10	0.70	1.22	1.37	1.81	2.23	2.63	2.76	3.17	3.58
11	0.70	1.21	1.36	1.80	2.20	2.59	2.72	3.11	3.50
12	0.70	1.21	1.35	1.78	2.18	2.56	2.68	3.05	3.43
13	0.69	1.20	1.35	1.77	2.16	2.53	2.65	3.01	3.37
14	0.69	1.20	1.35	1.76	2.14	2.51	2.62	2.98	3.33
15	0.69	1.20	1.34	1.75	2.13	2.49	2.60	2.95	3.29
16	0.69	1.19	1.34	1.75	2.12	2.47	2.58	2.92	3.25
17	0.69	1.19	1.33	1.74	2.11	2.46	2.57	2.90	3.22
18	0.69	1.19	1.33	1.73	2.10	2.45	2.55	2.88	3.20
19	0.69	1.19	1.33	1.73	2.09	2.43	2.54	2.86	3.17
20	0.69	1.18	1.33	1.72	2.09	2.42	2.53	2.85	3.15
21	0.69	1.18	1.32	1.72	2.08	2.41	2.52	2.83	3.14
22	0.69	1.18	1.32	1.72	2.07	2.41	2.51	2.82	3.12
23	0.69	1.18	1.32	1.71	2.07	2.40	2.50	2.81	3.10
24	0.68	1.18	1.32	1.71	2.06	2.39	2.49	2.80	3.09
25	0.68	1.18	1.32	1.71	2.06	2.38	2.49	2.79	3.08
26	0.68	1.18	1.31	1.71	2.06	2.38	2.48	2.78	3.07
27	0.68	1.18	1.31	1.70	2.05	2.37	2.47	2.77	3.06
28	0.68	1.17	1.31	1.70	2.05	2.37	2.47	2.76	3.05
29	0.68	1.17	1.31	1.70	2.05	2.36	2.46	2.76	3.04
30	0.68	1.17	1.31	1.70	2.04	2.36	2.46	2.75	3.03
31	0.68	1.17	1.31	1.70	2.04	2.36	2.45	2.74	3.02
32	0.68	1.17	1.31	1.69	2.04	2.35	2.45	2.74	3.01
33	0.68	1.17	1.31	1.69	2.03	2.35	2.44	2.73	3.01
34	0.68	1.17	1.31	1.69	2.03	2.35	2.44	2.73	3.00
35	0.68	1.17	1.31	1.69	2.03	2.34	2.44	2.72	3.00
36	0.68	1.17	1.31	1.69	2.03	2.34	2.43	2.72	2.99
37	0.68	1.17	1.30	1.69	2.03	2.34	2.43	2.72	2.99
38	0.68	1.17	1.30	1.69	2.02	2.33	2.43	2.71	2.98
39	0.68	1.17	1.30	1.68	2.02	2.33	2.43	2.71	2.98
40	0.68	1.17	1.30	1.68	2.02	2.33	2.42	2.70	2.97
	0.250	0.125	0.100	0.050	0.025	0.013	0.010	0.005	0.003



Niveles de Significancia UNA COLA

Figura 4. 1. Tabla de valores críticos de la distribución t de Student [21].

$$t\text{-tabulado} = 2.75$$

ANÁLISIS:

$$t\text{-calculado} = 2.64 < t\text{-tabulado} = 2.75$$

Como el t-calculado es menor que el t-tabulado se aceptado la hipótesis de trabajo la misma que dice: El material compuesto de 70% matriz poliéster y 30% de fibra larga de totora, presentara mejores resultados a ensayos de tracción que el material compuesto de 80% matriz poliéster y 20% de fibra larga de totora.

B. MÉTODO T-STUDENT PARA EL ENSAYO A FLEXIÓN

Hipótesis nula (Ha)

El material compuesto de 70% matriz poliéster y 30% de fibra larga de totora, presentara mejores resultados a ensayos de flexión que el material compuesto de 80% matriz poliéster y 20% de fibra larga de totora.

Hipótesis alternativa (Ho)

El material compuesto de 70% matriz poliéster y 30% de fibra larga de totora, no presentara mejores resultados a ensayos de flexión que el material compuesto de 80% matriz poliéster y 20% de fibra larga de totora.

Solución

Calculo de la distribución t.

A continuación se muestra en la tabla 4.16, los resultados obtenidos de los ensayos a tracción del material compuesto con fracción volumétrica (70% matriz poliéster+30% fibra larga de totora) y (80% matriz poliéster+20% fibra larga de totora).

Tabla 4. 16. Resultados de ensayos de flexión del material compuesto fracción volumétrica 70%-30% y 80%-20%.

Número de Probetas	Esfuerzo máximo a flexión (Mpa)	
	70% matriz poliéster y 30% fibra larga de totora	80% matriz poliéster y 20% fibra larga de totora
1	71.97	54.38
2	53.26	50.39
3	65.10	49.89
4	84.27	74.73
5	82.97	78.90
Media	71.51	61.66

Fuente: El autor.

Cálculo de la varianza.

$$s_1^2 = \frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{n - 1}$$

$$s_1^2 = \frac{668.51}{4}$$

$$\mathbf{s_1^2 = 167.13}$$

$$s_2^2 = \frac{\sum(y_i - \bar{y})^2}{n - 1}$$

$$s_2^2 = \frac{786.59}{4}$$

$$\mathbf{s_2^2 = 196.64}$$

Cálculo de la S_p .

$$S_p = \sqrt{\frac{s_1^2(n_1 - 1) + s_2^2(n_2 - 1)}{n_1 + n_2 - 2}}$$

$$S_p = \sqrt{\frac{167.13(5 - 1) + 196.64(5 - 1)}{5 + 5 - 2}}$$

$$\mathbf{S_p = 11.48}$$

Cálculo de la tc.

$$tc = \frac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2)}{S_p \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}}$$

$$tc = \frac{(71.51 - 61.66)}{11.48 \sqrt{\frac{1}{5} + \frac{1}{5}}}$$

$$\mathbf{tc = 1.36}$$

La regla de decisión es: aceptar H_0 si, t-calculado > t-tabulado

Nivel de confianza 95%

Margen de error 5%.

Nivel de significancia o potencia de la prueba $\alpha = 0.05/2=0.025$.

Grados de libertad

$$V = n_1 + n_2 - 2$$

$$V = 5 + 5 - 2$$

$$V = 8$$

$$t\text{-tabulado} = 2.75$$

ANÁLISIS:

$$t\text{-calculado} = 1.36 < t\text{-tabulado} = 2.75$$

Como el t-calculado es menor que el t-tabulado se aceptado la hipótesis de trabajo la mismo que dice: El material compuesto de 70% matriz poliéster y 30% de fibra larga de totora, presentara mejores resultados a ensayos de flexión que el material compuesto de 80% matriz poliéster y 20% de fibra larga de totora.

C. MÉTODO T-STUDENT PARA EL ENSAYO A IMPACTO

Hipótesis nula (H_a)

El material compuesto de 70% matriz poliéster y 30% de fibra larga de totora, presentara mejores resultados a ensayos de impacto que el material compuesto de 80% matriz poliéster y 20% de fibra larga de totora.

Hipótesis alternativa (H_o)

El material compuesto de 70% matriz poliéster y 30% de fibra larga de totora, no presentara mejores resultados a ensayos de impacto que el material compuesto de 80% matriz poliéster y 20% de fibra larga de totora.

Solución

Calculo de la distribución t.

A continuación se muestra en la tabla 4.17, los resultados obtenidos de los ensayos a impacto del material compuesto con fracción volumétrica (70% matriz poliéster+30% fibra larga de totora) y (80% matriz poliéster+20% fibra larga de totora).

Tabla 4. 17. Resultados de ensayos a impacto del material compuesto fracción volumétrica 70%-30% y 80%-20%.

Número de Probetas	Esfuerzo máximo a impacto (J)	
	70% matriz poliéster y 30% fibra larga de totora	80% matriz poliéster y 20% fibra larga de totora
1	0.113796	0.113796
2	0.1820736	0.1593144
3	0.227592	0.1820736
4	0.2731104	0.227592
5	0.341388	0.2731104
6	0.455184	0.341388
7	0.682776	-
Media	0.33	0.21

Fuente: El autor

Cálculo de la varianza.

$$s_1^2 = \frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{n - 1}$$

$$s_1^2 = \frac{0.22}{6}$$

$$s_1^2 = 0.036$$

$$s_2^2 = \frac{\sum(y_i - \bar{y})^2}{n - 1}$$

$$s_2^2 = \frac{0.033}{5}$$

$$s_2^2 = 0.0066$$

Cálculo de la S_p .

$$S_p = \sqrt{\frac{s_1^2(n_1 - 1) + s_2^2(n_2 - 1)}{n_1 + n_2 - 2}}$$

$$S_p = \sqrt{\frac{0.036(7 - 1) + 0.0066(6 - 1)}{7 + 6 - 2}}$$

$$S_p = 0.15$$

Cálculo de la tc.

$$tc = \frac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2)}{S_p \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}}$$
$$tc = \frac{(0.33 - 0.21)}{0.15 \sqrt{\frac{1}{7} + \frac{1}{6}}}$$

tc = 1.43

La regla de decisión es: aceptar H_0 si, t-calculado > t-tabulado

Nivel de confianza 95%

Margen de error 5%.

Nivel de significancia o potencia de la prueba $\alpha = 0.05/2 = 0.025$.

Grados de libertad

$$V = n_1 + n_2 - 2$$

$$V = 7 + 6 - 2$$

$$V = 11$$

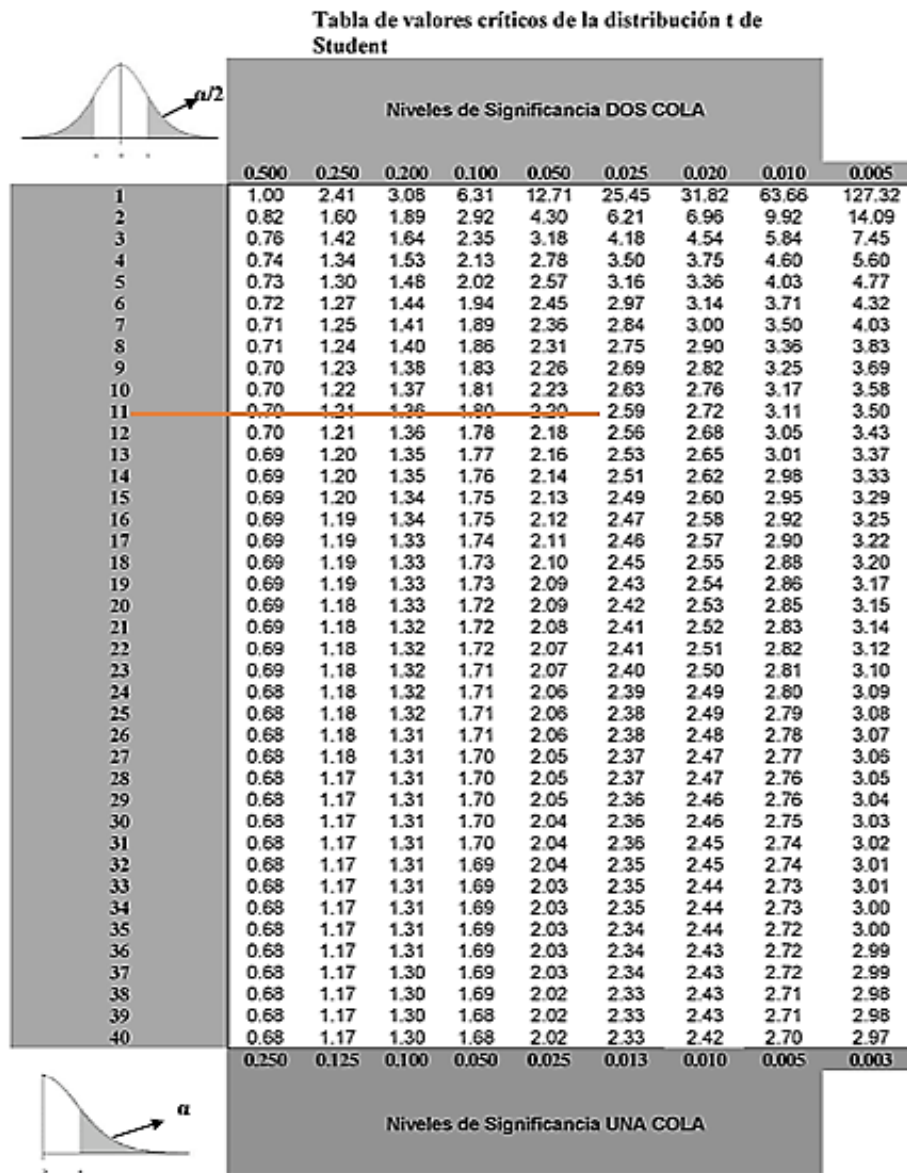


Figura 4. 2. Tabla de valores críticos de la distribución t de Student. [21].

$$t\text{-calculado} = 1.43 < t\text{-tabulado} = 2.59$$

Como el t-calculado es menor que el t-tabulado se aceptado la hipótesis de trabajo la mismo que dice: El material compuesto de 70% matriz poliéster y 30% de fibra larga de totora, presentara mejores resultados a ensayos de impacto que el material compuesto de 80% matriz poliéster y 20% de fibra larga de totora.

APLICACIÓN INDUSTRIAL

El nuevo material compuesto de matriz poliéster reforzada con fibra natural de totora presenta buenas propiedades mecánicas para poder aplicar en la industria. A

continuación en la tabla 4.18 presentamos un cuadro comparativo con materiales utilizados en la industria.

Tabla 4. 18. *Propiedades mecánicas del material compuesto de resina poliéster con fibra de totora y de otros materiales utilizados en la industria.*

Materiales	Propiedades mecánicas		
	Resistencia a Tracción (MPa)	Resistencia a Flexión (MPa)	Resistencia al Impacto (J)
Yeso	11.76 - 24.5	-	-
Madera estructural	18	30	-
70% matriz poliéster y 30% de fibra larga de totora	14.41	71.51	0.23

Fuente: El autor

Como podemos ver el material compuesto de 70% matriz poliéster y 30% de fibra larga de totora, presenta propiedades mecánicas aceptables para la aplicación en la industria de la construcción. Este material compuesto puede ser usado como techos falsos ya que presenta una resistencia a la tracción de 14.41MPa y este valor está dentro de lo requerido, según la norma ASTM-C472 el yeso que es el material común para los techos falsos debe tener una resistencia a la tracción que de 11.76 - 24.5 MPa.

De igual forma este material compuesto se podría utilizar en la industria del mueble, ya que presenta resistencia a la tracción y flexión muy similares a la de la madera.

Por último se podría utilizar en la industria automotriz para la fabricación de accesorios como son alerones.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- Las fracciones volumétricas utilizadas para la conformación del material compuesto son: 90% resina poliéster 10% fibra larga de totora, 80% resina poliéster 20% fibra larga de totora, 70% resina poliéster 30% fibra larga de totora, con una distribución alineada y orientación longitudinalmente.
- La densidad de la fibra de totora es 0.19 gr/cm^3 , este valor fue determinado mediante el método gravimétrico.
- La estratificación manual es el método más sencillo y utilizado para la elaboración de un material compuesto. Los diferentes ensayos mecánicos para composites están bajo la norma ASTM D3039 para el ensayo de tracción, ASTM D7264 para el ensayo de flexión, ASTM D5628 para el ensayo de impacto.
- Se determinó que el material compuesto que mejor comportamiento mecánico tiene es el de (70% Matriz poliéster – 30% Refuerzo, fibra de totora), con una distribución alineada y orientación longitudinal, los valores encontrados son las siguientes:
 - Esfuerzo máximo a tracción = 14.41MPa
 - Módulo de elasticidad = 1036.598MPa
 - Esfuerzo máximo a flexión = 71.51MPa
 - Módulo de flexión = 10941.27MPa
 - Energía de impacto = 0.23J
- El material compuesto de 70% matriz poliéster y 30% de fibra larga de totora, presenta propiedades mecánicas aceptables para la aplicación en la industria de la construcción. Este material compuesto puede ser usado como techos falsos ya que presenta una resistencia a la tracción de 14.41MPa y este valor está dentro de lo requerido, según la norma ASTM-C472 el yeso que es el material común para los techos falsos debe tener una resistencia a la tracción que de 11.76 - 24.5 MPa.

- De igual forma este material compuesto se podría utilizar en la industria del mueble, ya que presenta resistencia a la tracción y flexión muy similares a la de la madera. Por último se podría utilizar en la industria automotriz para la fabricación de accesorios como son alerones, esto es posible ya que no requieren de propiedades mecánicas elevadas debido a que solo son accesorios y no son sometidos a ningún tipo de esfuerzos.
- La fibra larga orientada y distribuida longitudinalmente soporta de mejor manera los esfuerzos al que son sometidos, debido a que existe menor cantidad de espacios entre la fibra y el refuerzo llamados interfaz.
- Un material compuesto reforzada con fibras presenta mejores propiedades mecánicas, con una fracción volumétrica de 70% matriz y 30% refuerzo, ya que si se tiene menor cantidad de matriz este no podrá distribuir los esfuerzos de buena manera hacia el refuerzo.

5.2 RECOMENDACIONES

- Se debe realizar una investigación utilizando resina epóxica para determinar las propiedad mecánicas que pueda alcanzar.
- Realizar investigaciones de este material utilizando una distribución de la fibra al azar, y también con tejido de la fibra de totora.
- Encontrar más aplicaciones en las que se pueda utilizar este nuevo material compuesto (resina poliéster + fibra de totora).
- Para que el material compuesto cure rápido se debe colocar más cantidad de acelerante (cobalto), esto está en función de la temperatura ambiental, a mayor calor menor cantidad de catalizador y a menor calor mayor cantidad de catalizador.

BIBLIOGRAFÍA

[1] W.D. Callister, *Introducción a la Ciencia e Ingeniería de los Materiales*, 4ª ed. Medellín: Editorial Reverte, 2006, pp.2.

[2] D.R. Askeland, *Ciencia e Ingeniería de los Materiales*, 3ª ed. Universidad de Missouri-Rolla, Columbia-Estados Unidos: International Thomson Editores, Materiales Compuestos, pp.508.

[3] M.A. Pérez, y M. Sánchez, *Fundamentos de la Mecánica de los Materiales Compuestos*, Universidad Politécnica de Catalunya, España: Omnia Publiher, 2014, Introducción a la Mecánica de los Materiales compuestos, pp.1-2.

[4] H.V. Guerrero, et al. *Nuevos Materiales Aplicaciones estructurales e industriales*, 1ª ed. Ecuador: Imprefepp, 2011, Nuevos materiales en el mundo actual, pp16, 50-52.

[5] E. Olivares, “*Materiales de última generación y materiales eficientes*”. Master Universitario en Proyecto Avanzado de Arquitectura y Ciudad UAH, Curso 2013-2014. PP.4.

[6] E. Barbero, S.K. García, S. Sánchez, “*Mecánica de materiales compuestos*”. Universidad Carlos III de Madrid, España, Introducción a los materiales compuestos, Curso para Master en Mecánica Estructural Avanzada. 2010/2011.

[7] A. Besednjak, *Materiales Compuestos Procesos de Fabricación de Embarcaciones*, 1ª ed. Baecelona: Edicions Virtuals: www.edicionsupc.es, 2005, Clasificación de Polímeros, pp.27-29.

[8] F. Stupenengo, *Materiales y materias prima*, Argentina-Buenos Aires: Colección Encuentro Inet, 2011, Materiales compuestos, pp.9.

[9] J. Aguilar, *Compuestos*, 2013 disponible en línea, <http://recursosbiblio.url.edu.gt/Libros/2013/cmI/16-Compuestos>. Pdf, pp.13.

[10] A. Moral y M. Nogueira, *Materiales Compuestos-Composites*, Máster Oficial en Proyecto de Arquitectura y Ciudad. ETSAG. UAH 2007, Materiales Compuestos, pp 7, 8.

- [11] G. Vidal y S. HOrmazábal, *Las fibras Vegetales y sus Aplicaciones*, Universidad de Concepción, Facultad de Ciencias Ambientales, 2016, Chile, pp 12.
- [12] V. Araujo, “*Curso de manejo y aprovechamiento de productos forestales no maderables*,” Ingeniero Forestal, Magister en Botánica tropical con mención en taxonomía y sistemática evolutiva, Dr. en administración de la educación departamento académico de manejo forestal, Universidad Nacional de Ucayali, Facultad de Ciencias Forestales, Pucallpa, Perú 2019. PP24, 26.
- [13] L. Rodríguez, “*Caracterización experimental de las propiedades mecánicas del tejido múltiple de totora (schoenoplectus californicus)*”. Trabajo de grado previo a la obtención del título de Ingeniero en Mecatrónica, Universidad Técnica del Norte, Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas, Carrera de Ingeniería en Mecatrónica, Ibarra-Ecuador, 2019.
- [14] M. Balladares, “*Aplicabilidad de un material compuesto con matriz polimérica reforzado con fibras de planta de mora (rubus glaucus) en partes interiores de carrocerías de la industria carrocera de Tungurahua*”. Trabajo experimental previo a la obtención del título de Ingeniera Mecánica, Universidad Técnica del Ambato, Facultad de Ingeniería civil y Mecánica, Carrera de Ingeniería Mecánica , Ambato-Ecuador, 2017.
- [15] L. Toapanta, “*Caracterización mecánica del material compuesto de matriz epóxica reforzada con fibras de polipropileno y su posible aplicación en la industria*,”. Trabajo experimental previo a la obtención del título de Ingeniero Mecánico, Universidad Técnica del Ambato, Facultad de Ingeniería civil y Mecánica, Carrera de Ingeniería Mecánica , Ambato-Ecuador, 2018.
- [16] W.F. Smith, *Fundamentos de la Ciencia e Ingeniería de Materiales*, 4ª ed. España: Mc Graw Hill, 2006, Materiales compuestos, Proceso de moldeo cerrado para materiales compuestos de plásticos reforzados con fibras, pp.656.
- [17] D. Ruiz, *Fundamentos y ensayos en materiales metálicos*, 8ª ed. Buenos aires-Argentina: MDC MACHINE S.A, 2006, Ensayos de materiales, pp.32-33.
- [18] James F. Shackelford “*Introducción a la Ciencia de Materiales para Ingenieros*”. Cuarta edición. Ed. Prentice Hall.

- [19] J. Newell, *Ciencia de materiales aplicaciones en ingeniería*, 1ª ed. New Jersey-USA: Alfaomega 2011, Medición de las propiedades mecánicas, pp.80
- [20] J. Paredes, “*Estudio de polímeros híbridos estratificados de matriz poliéster reforzado con fibra de vidrio y cabuya como material alternativo y su incidencia en las propiedades mecánicas en guardachoques para buses,*” Trabajo de investigación previo a la obtención del grado académico de Magister en Diseño Mecánico , Facultad de Ing. Civil y Mecánica, Universidad técnica de Ambato, Ambato 2012.
- [21] [En línea]. Available:
https://www.google.com.ec/search?q=distribuci%C3%B3n+t+student+de+2+colas&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=2ahUKEwjswOCGvs_0AhVRTDABHRA7AAQQ_AUoAXoECAEQAw&biw=1280&bih=689&dpr=1#imgrc=9ejq4wxugmaQAM. [Último acceso: 06 Diciembre 2021].
- [22] V. Farfán, “*Experimentación de la fibra de totora para uso en indumentaria,*” Trabajo de graduación previo a la obtención del título de Diseñadora textil, Facultad de Diseño, Universidad del Azuay, 2015.
- [23] P. Sánchez, “*Fibras vegetales de totora y cabuya y su aplicación en espacios interiores de viviendas sociales de la parroquia Totoras.,*” Proyecto de Investigación previo a la obtención del Título de Arquitecto de Interiores, Facultad de Diseño y Arquitectura, Universidad técnica de Ambato, Ambato 2020.
- [24] L. Rodríguez, “*Caracterización experimental de las propiedades mecánicas del tejido múltiple de totora (schoenoplectus californicus),*” Trabajo de grado previo a la obtención del título de Ingeniero en Mecatrónica, Carrera de Ingeniería en Mecatrónica, Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas, Universidad Técnica del Norte, Ibarra 2019.

ANEXOS

Anexo 1.- Ficha técnica de la resina poliéster.

Anexo 2.- Norma para ensayo de Tracción ASTM D3039.

Anexo 3.- Norma para ensayo de Flexión ASTM D7264.

Anexo 4.- Norma para ensayo de Impacto ASTM D5628.

Anexo 5.- Informe técnico de los ensayos a Tracción, Flexión e Impacto.



Hoja técnica Resina de poliéster



La resina de poliéster presto es una resina elástica insaturada con alta reactividad, que se puede usar prácticamente sobre todo tipo de superficies, especialmente con telas y guatas de fibra de vidrio para reparar orificios grandes, lugares oxidados o daños en general. Aplicable sobre metal, madera y hormigón, en el sector del automóvil, hogar, jardín, construcción de moldes y modelismo, por ejemplo para usarlo en conductos que tienen fugas, tuberías, calderas, embarcaciones etc.

En el caso que haya que pintar posteriormente la superficie recomendamos el uso de presto Masilla de relleno o presto Masilla fina.

Calidad y propiedades

- Fácil aplicación
- Alta elasticidad
- Buena adherencia
- Fácil lijado, incluso después de mucho tiempo
- Resistente a ácidos y lejías débiles, propelentes, disolventes, agua y sales.

Datos físicos y químicos

- **Base:** resina de poliéster insaturada, elasticada
- **Color:** color miel
- **Olor:** a estirolo
- **Forma:** suave, tixotrópico
- **Tiempo estado líquido/tiempo de aplicación con 20°C:** aprox. 10 Min.
- **Temperatura de aplicación:** a partir de 12°C
- **Secado: (con 20°C, 50% humedad relativa del aire):** Lijable después de aprox. 30 Min.
- **Punto de inflamación:** aprox. 33°C (resina); no aplicable para el endurecedor
- **Densidad con 20°C:**
Resina 1,2 g/cm³
Endurecedor 1,15 g/cm³
- **Adición endurecedor:** 2 - 4 % (mezcla óptima 2,5 %)
- **Resistencia a temperaturas del material endurecido:** 120°C
- **Caducidad/almacenaje:** 24 meses con almacenaje correcto (=10°-25°C, humedad relativa del aire de max 60%) en envase original cerrado. Proteger de los rayos solares directos, de las heladas y de la humedad.
- **Formato:**
Resina: envase de boca estrecho
Endurecedor: tubo de plástico

Medioambiente y clasificación

Medioambiente: Los productos de MOTIP DUPLI están al 100 % libres de metales pesados dañinos para la salud y desde el año 1977 libre de propelentes CFC's. Las tapas y los envases son de materiales reciclables.

Reciclado: Solo debe reciclar el envase totalmente vacío en el contenedor correspondiente. aerosoles con restos deben llevarse al punto limpio. Clasificación: Todos los productos MOTIP DUPLI corresponden al actual estado de la normativa de clasificación según disposición 1999/45/CE.

Normativa de preparación: Todos los aerosoles corresponden al reglamento técnico alemán TRGS 200 y TRG 300 así como a la normativa sobre aerosoles 75/324/EWG en su versión actual

Aplicación

- El lugar a reparar debe estar libre de óxido, limpio, seco, libre de grasa y estar lijado.
- Recortar el material de fibra de vidrio según el tamaño del lugar a reparar, de manera que solape lo suficiente en el borde.
- Sacar la cantidad necesaria de material y mezclarlo con la cantidad correspondiente de endurecedor y seguir el siguiente proceso de trabajo:
- Aplicar a la superficie la resina preparada y colocar después el material de fibra de vidrio recortado.
- Con una brocha empezar apretar uniformemente en el borde y volver a embeber con la resina de poliéster. El material de fibra de vidrio no debe tener burbujas de aire.
- Como última capa se debe colocar la guata de fibra de vidrio que forma así una superficie idónea para los siguientes pasos.
- En el caso que posteriormente haya que pintar la superficie se recomienda seguir con la aplicación con presto plástico Masilla de relleno o presto flex Masilla fina. La superficie pegajosa por la resina de poliéster funciona así como el mejor adherente. También si se desea se puede quitar con un diluyente nitro.
- Limpiar los útiles de trabajo inmediatamente después de su uso, en caso necesario con un diluyente nitro.
- No debe volver a poner el material mezclado en el envase.
- Después de aprox. 20-30 min. se puede taladrar, lijar, serrar y pintar la superficie reparada.

Datos para el pedido

Responsabilidad

Estas informaciones sobre las técnicas de aplicación se realizan según nuestro mejor conocimiento, pero es solo una indicación sin compromiso, y no le exime de realizar sus propias pruebas de los productos suministrados por nosotros sobre si son aptos para los fines deseados. El uso y la aplicación de los productos se realizan fuera de nuestras posibilidades de control y por tanto se encuentran solo bajo responsabilidad del usuario. MOTIP DUPLI no se hace responsable, siempre y cuando no se pueda adjudicar el error a MOTIP DUPLI.

Fecha: 16.09.2010

Con esta version se invalidan todas las versiones anteriores.

Print date: 03.12.2015

MOTIP DUPLI GmbH | Kurt-Vogelsang-Straße 6 | 74855 Haßmersheim | info@dupli-color.de

Designation: D 3039/D 3039M – 00^{ε1}

Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials¹

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

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

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

1. Scope

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

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

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

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:

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

Properties and Equilibrium Conditioning of Polymer Matrix Composite Materials⁴

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

3. Terminology

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

3.2 *Definitions of Terms Specific to This Standard:*

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

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

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

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

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

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

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

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



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

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

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

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

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

3.3 Symbols:

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

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

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

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

3.3.5 E —modulus of elasticity in the test direction.

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

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

3.3.8 h —coupon thickness.

3.3.9 L_g —extensometer gage length.

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

3.3.11 n —number of coupons per sample population.

3.3.12 P —load carried by test coupon.

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

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

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

3.3.16 w —coupon width.

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

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

3.3.19 δ —extensional displacement.

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

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

3.3.22 σ —normal stress.

3.3.23 ν —Poisson's ratio.

4. Summary of Test Method

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

5. Significance and Use

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

5.1.1 Ultimate tensile strength,

5.1.2 Ultimate tensile strain,

5.1.3 Tensile chord modulus of elasticity,

5.1.4 Poisson's ratio, and

5.1.5 Transition strain.

6. Interferences

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

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

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

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

7. Apparatus

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

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

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

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

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

7.2.3 *Load Indicator*—The testing machine load-sensing device shall be capable of indicating the total load being carried by the test specimen. This device shall be essentially free from inertia lag at the specified rate of testing and shall indicate the load with an accuracy over the load range(s) of interest of within ± 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

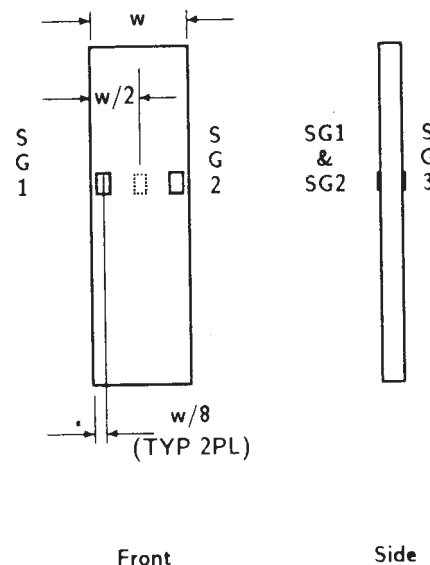


FIG. 1 Gage Locations for System Alignment Check Coupon

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√ (SYMBOLOLOGY IN ACCORDANCE WITH ASA B46.1, WITH ROUGHNESS HEIGHT IN MICROMETRES.)
6. VALUES TO BE PROVIDED FOR THE FOLLOWING, SUBJECT TO ANY RANGES SHOWN ON THE FIELD OF DRAWING: MATERIAL, LAY-UP, PLY ORIENTATION REFERENCE RELATIVE TO [-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.

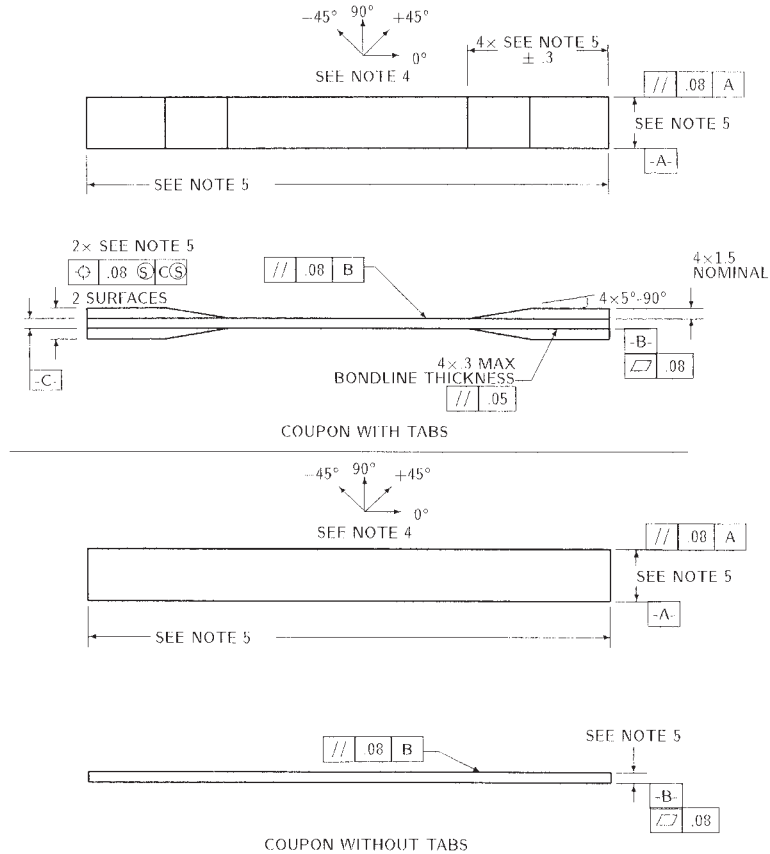


FIG. 2 Tension Test Specimen Drawing (SI)

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.

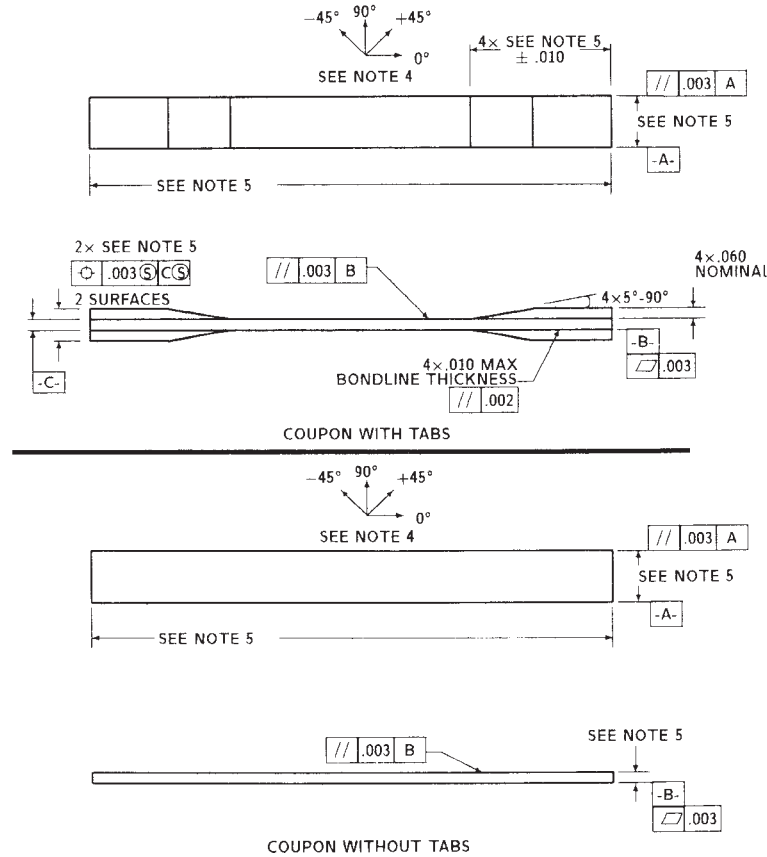


FIG. 3 Tension Test Specimen Drawing (inch-pound)

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.

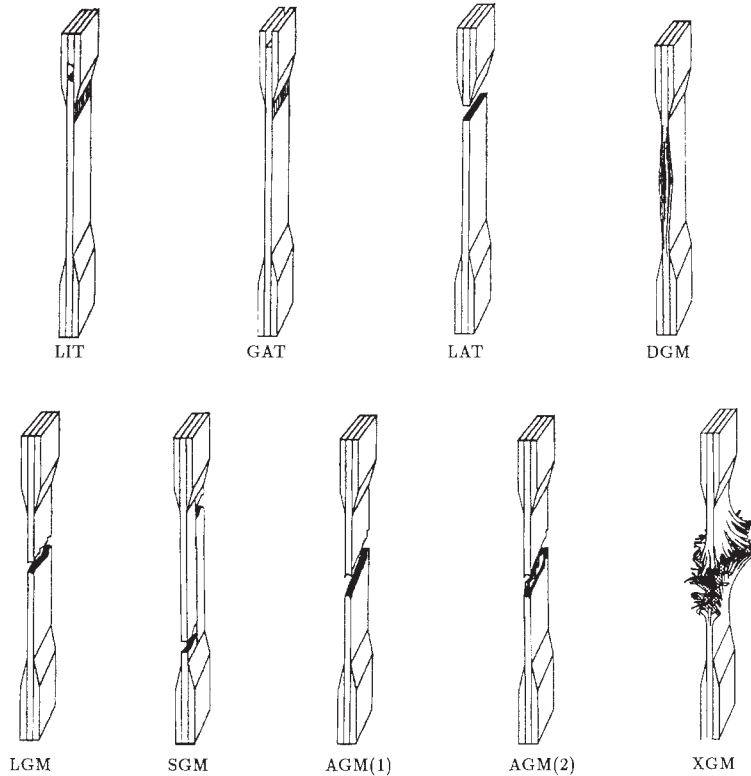
12.3.1.1 The tabulated strain ranges should only be used for materials that do not exhibit a transition region (a significant change in the slope of the stress-strain curve) within the given strain range. If a transition region occurs within the recommended strain range, then a more suitable strain range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



First Character		Second Character		Third Character	
Failure Type	Code	Failure Area	Code	Failure Location	Code
Angled	A	Inside grip/tab	I	Bottom	B
edge Delamination	D	At grip/tab	A	Top	T
Grip/tab	G	<1W from grip/tab	W	Left	L
Lateral	L	Gage	G	Right	R
Multi-mode	M(xyz)	Multiple areas	M	Middle	M
long. Splitting	S	Various	V	Various	V
eXplosive	X	Unknown	U	Unknown	U
Other	O				

FIG. 4 Tensile Test Failure Codes/Typical Modes

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

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

12.4 Poisson's Ratio:

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

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

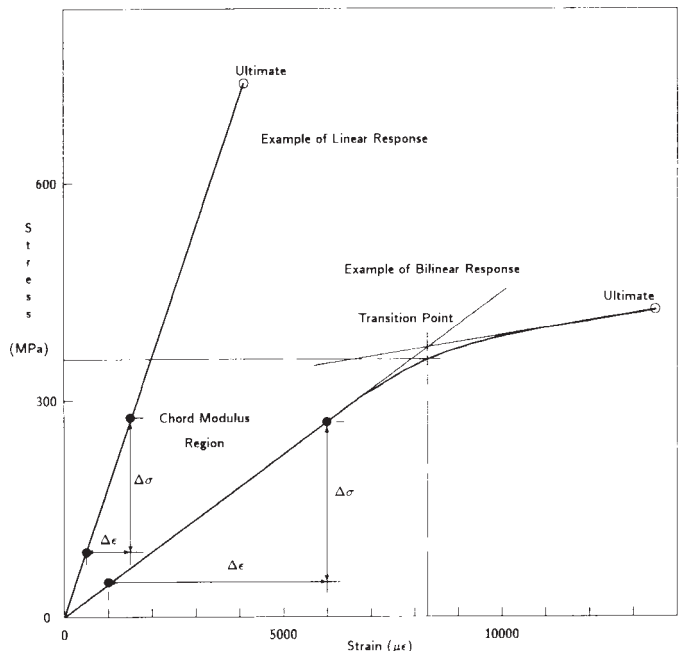


FIG. 5 Typical Tensile Stress-Strain Curves

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

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

where:

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

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

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

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

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

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

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

where:

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

13. Report

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

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

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

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

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

13.1.7 Ply orientation stacking sequence of the laminate.

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

13.1.9 Average ply thickness of the material.

13.1.10 Results of any nondestructive evaluation tests.

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

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

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

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

13.1.15 Dimensions of each test specimen.

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

13.1.17 Relative humidity and temperature of the testing laboratory.

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

13.1.19 Number of specimens tested.

13.1.20 Speed of testing.

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

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

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

13.1.24 Percent bending results for each specimen so evaluated.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

13.1.34 Failure mode and location of failure for each specimen.

14. Precision and Bias

14.1 Precision:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

TABLE 4 Precision Statistics

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

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

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

TABLE 5 Averages of the Coefficients of Variation

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

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

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

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

15. Keywords

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

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

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

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



Designation: D 7264/D 7264M – 07

Standard Test Method for Flexural Properties of Polymer Matrix Composite Materials¹

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

1. Scope

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

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

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

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

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

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

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

2. Referenced Documents

2.1 *ASTM Standards*:²

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

Polymer Matrix Composite Materials and Their Laminates

D 3878 Terminology for Composite Materials

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

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

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

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

E 4 Practices for Force Verification of Testing Machines

E 6 Terminology Relating to Methods of Mechanical Testing

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

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

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

E 456 Terminology Relating to Quality and Statistics

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

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

2.2 *Other Documents*:

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

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

3. Terminology

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

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

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

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

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

3.2 Definitions of Terms Specific to This Standard:

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

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

3.3 Symbols:

b = specimen width

CV = sample coefficient of variation, in percent

E_f^{chord} = flexural chord modulus of elasticity

E_f^{secant} = flexural secant modulus of elasticity

h = specimen thickness

L = support span

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

n = number of specimens

P = applied force

s_{n-1} = sample standard deviation

x_i = measured or derived property

\bar{x} = sample mean

δ = mid-span deflection of the specimen

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

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

4. Summary of Test Method

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

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

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

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

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

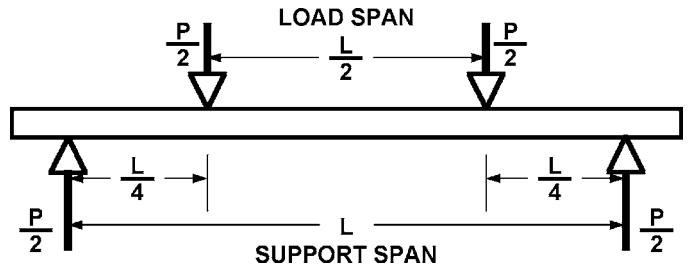


FIG. 2 Procedure B—Loading Diagram

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

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

5. Significance and Use

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

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

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

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

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

6. Interferences

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

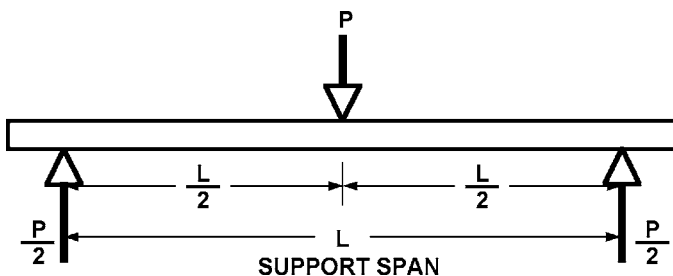


FIG. 1 Procedure A—Loading Diagram

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

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

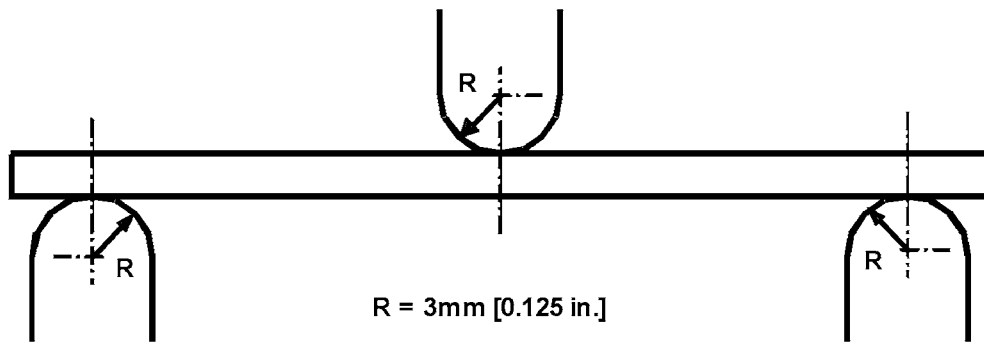
6.4 Loading noses may be fixed, rotatable or rolling. Typically, for testing composites, fixed or rotatable loading noses are used. The type of loading nose can affect results, since non-rolling paired supports on either the tension or compression side of the specimen introduce slight longitudinal forces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

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

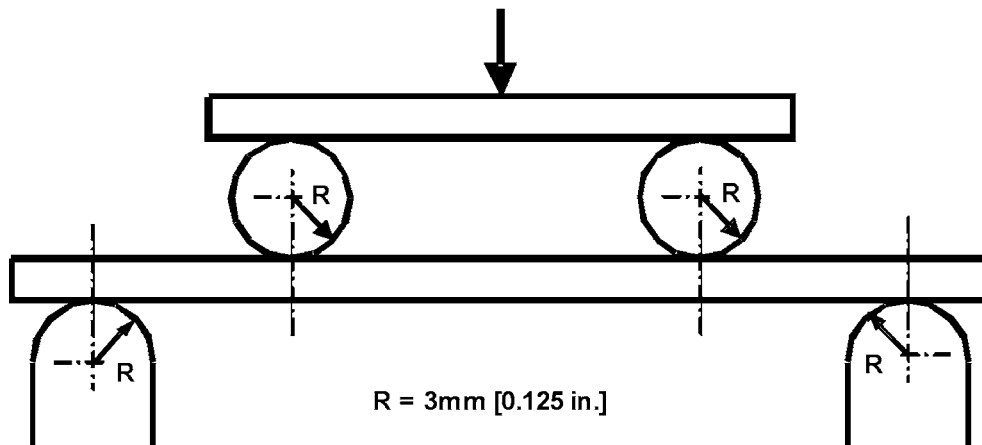
7. Apparatus

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

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



Three-Point Loading Configuration with Fixed Supports and Loading Nose



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

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

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

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

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

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

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

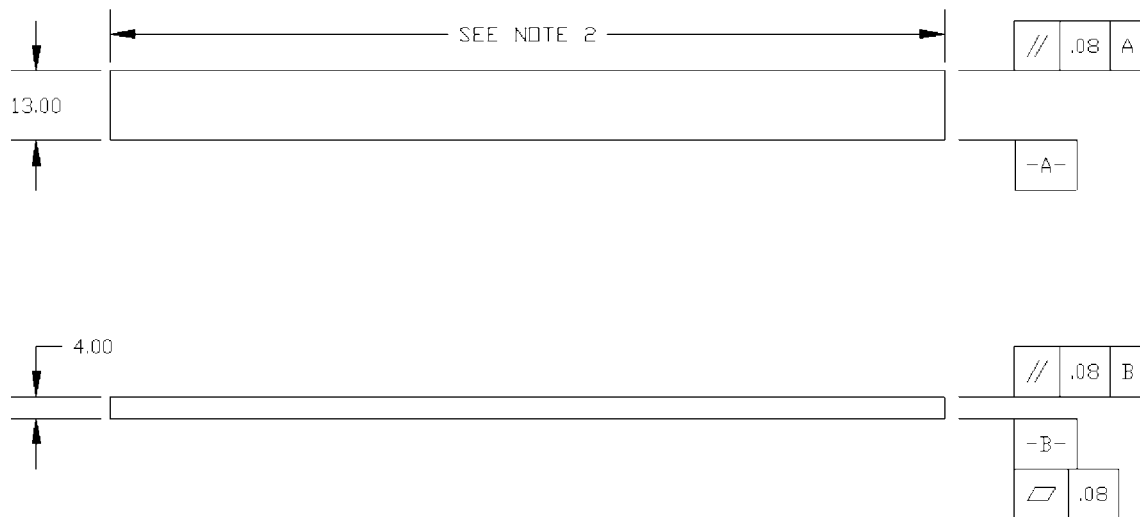
within $\pm 3^\circ\text{C}$ [$\pm 5^\circ\text{F}$] and the required vapor level to within ± 5 % relative humidity.

8. Test Specimens

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

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

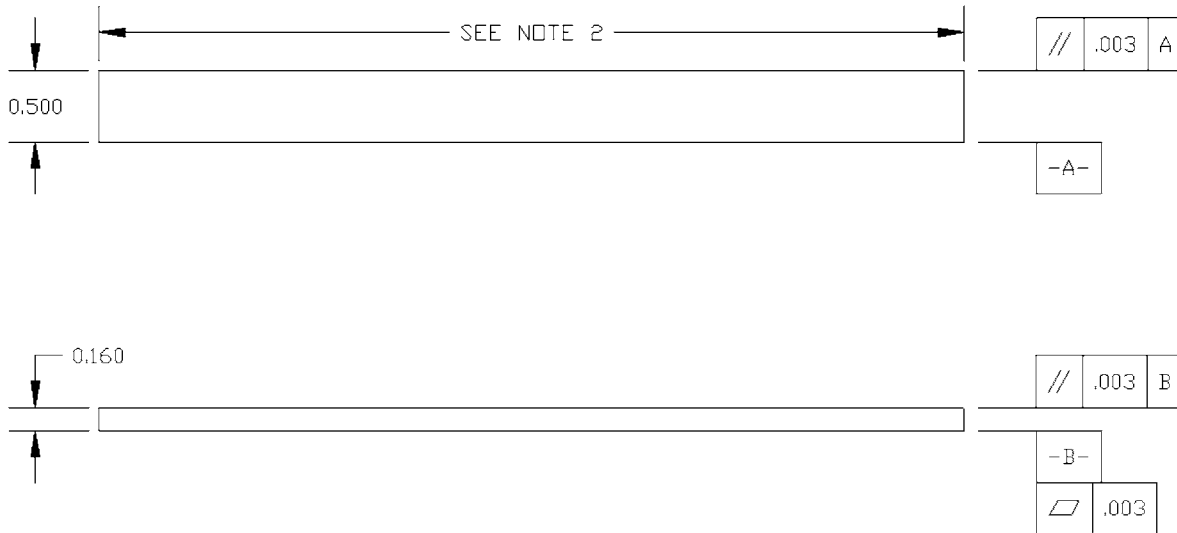
8.2.1 Shear deformations can significantly reduce the apparent modulus of highly orthotropic laminates when they are tested at low support span-to-thickness ratios. For this reason, a high support span-to-thickness ratio is recommended for flexural modulus determinations. In some cases, separate sets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



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

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

FIG. 4 Standard Flexural Test Specimen Drawing (SI)



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

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

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

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

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

9. Number of Test Specimens

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

10. Conditioning

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

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

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

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

11. Procedure

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

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

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

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

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

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

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

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

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

12. Validation

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

13. Calculation

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

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

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

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

where:

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

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

13.2 *Maximum Flexural Stress, Procedure B*—When a beam of homogeneous, elastic material is tested in flexure as a beam simply supported at two outer points and loaded at two central points separated by a distance equal to 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

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

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

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

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

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

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

where:

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

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

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

where:

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

13.7 *Flexural Modulus of Elasticity:*

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

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

where:

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

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

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

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

13.7.2.1 *For Procedure A:*

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

where:

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

13.7.2.2 *For Procedure B:*

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

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

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

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

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

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

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

where:

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

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

14. Report

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

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

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

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

14.1.4 The test Procedure used (A or B).

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

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

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

14.1.8 Ply orientation stacking sequence of the laminate.

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

14.1.10 Average ply thickness of the material.

14.1.11 Results of any nondestructive evaluation tests.

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

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

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

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

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

14.1.17 Relative humidity and temperature of the testing laboratory.

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

14.1.19 Number of specimens tested.

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

14.1.21 Loading and support nose type and dimensions.

14.1.22 Speed of testing.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

14.1.35 Failure mode and location of failure for each specimen.

15. Precision and Bias

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

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

16. Keywords

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

ANNEXES

(Mandatory Information)

A1. MEASURING AND SETTING SPAN

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

A1.2 *Measurement of Span:*

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

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

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

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

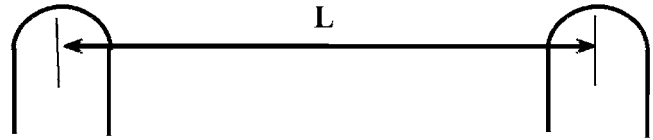


FIG. A1.1 Markings on Fixed Specimen Supports

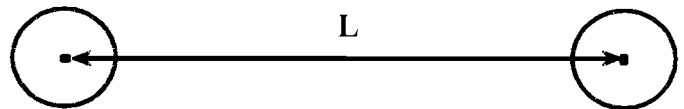


FIG. A1.2 Markings on Rotatable Specimen Supports

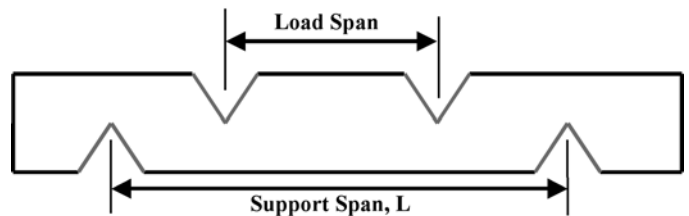


FIG. A1.3 Fixture Used to Align Loading Noses and Supports

A2. TOE COMPENSATION

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

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

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

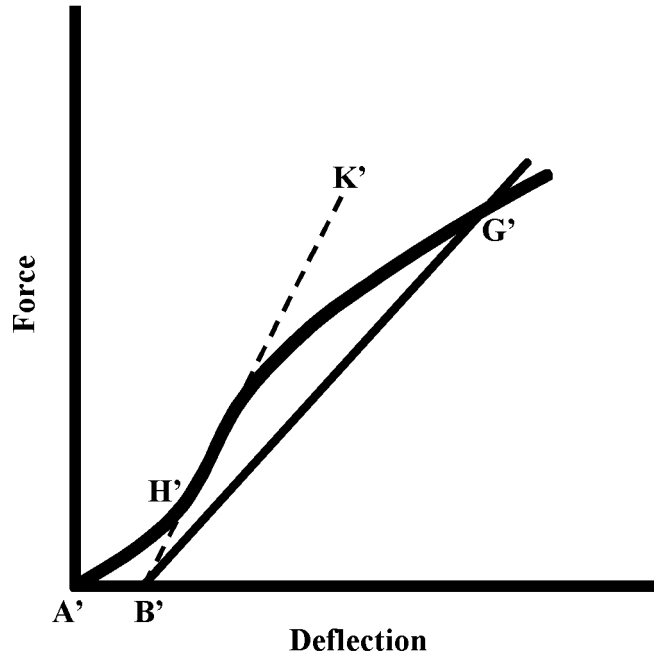


FIG. A2.2 Material without a Hookean Region

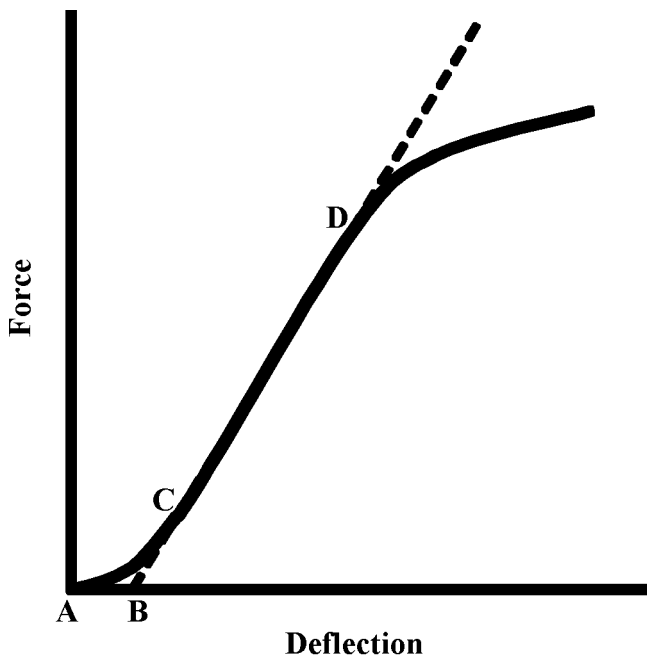


FIG. A2.1 Material with a Hookean Region

 **D 7264/D 7264M – 07**

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

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

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



Designation: D5628 – 10

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

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

1. Scope*

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

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

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

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

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:²

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

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

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

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

D4000 Classification System for Specifying Plastic Materials

D5947 Test Methods for Physical Dimensions of Solid Plastics Specimens

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

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

2.2 ISO Standards:³

ISO 291 Standard Atmospheres for Conditioning and Testing

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

3. Terminology

3.1 Definitions:

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

3.2 Definitions of Terms Specific to This Standard:

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

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

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

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

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

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

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

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

4. Summary of Test Method

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

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

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

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

5. Significance and Use

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

6. Interferences

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

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

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

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

7. Apparatus

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

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

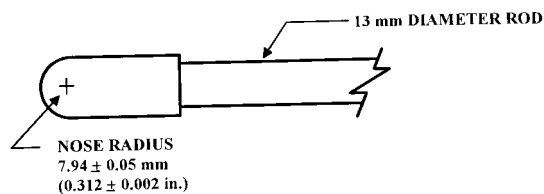


FIG. 1 (a)

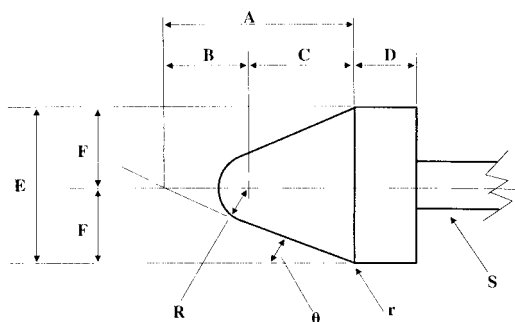


FIG. 1 (b)

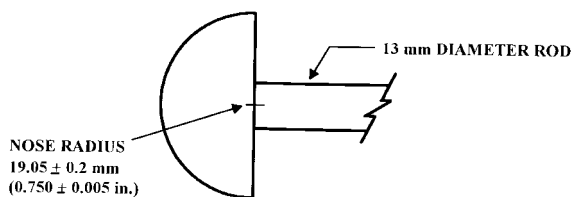


FIG. 1 (c)

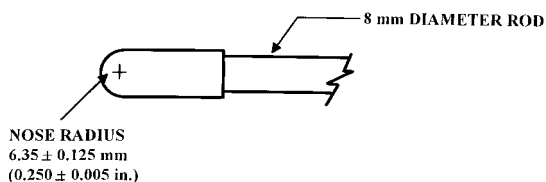


FIG. 1 (d)

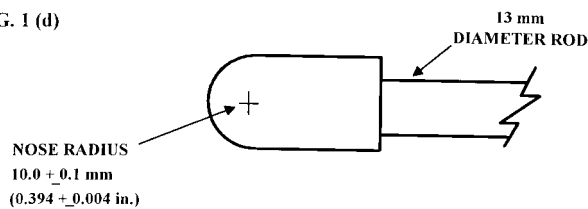


FIG. 1 (e)

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

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

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

^A Larger diameter shafts shall be used.

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

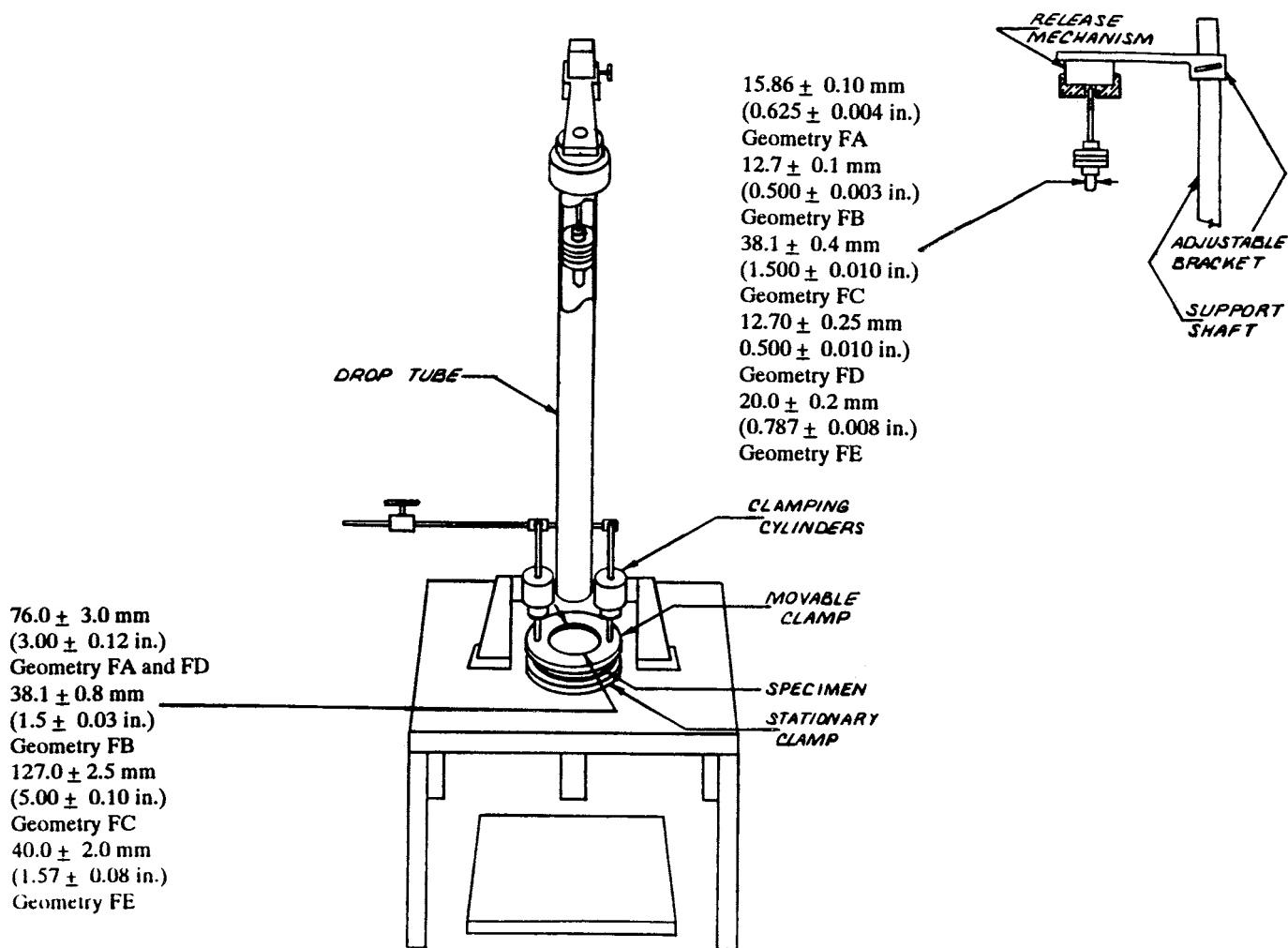


FIG. 2 One Type of Falling Mass Impact Tester

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

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

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

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

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

7.2 *Tup*:

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

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

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

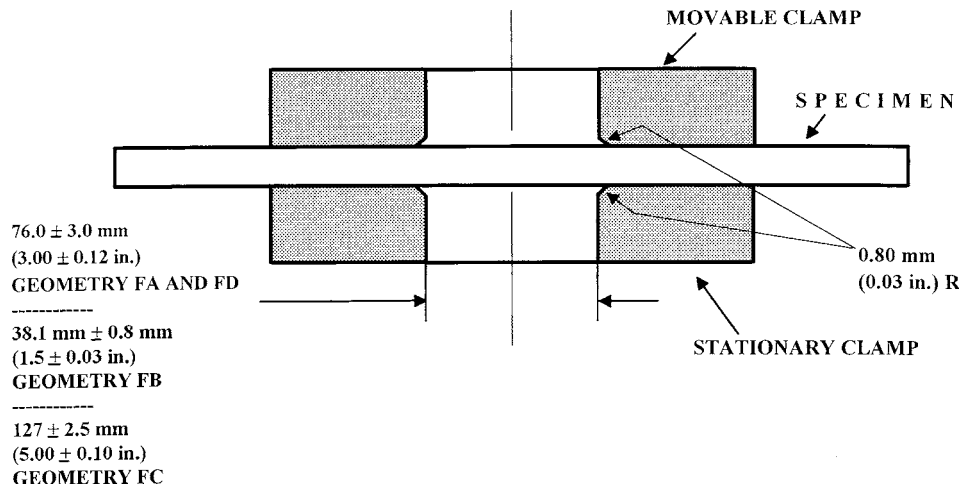


FIG. 3 Support Plate/Specimen/Clamp Configuration for Geometries FA, FB, FC, and FD

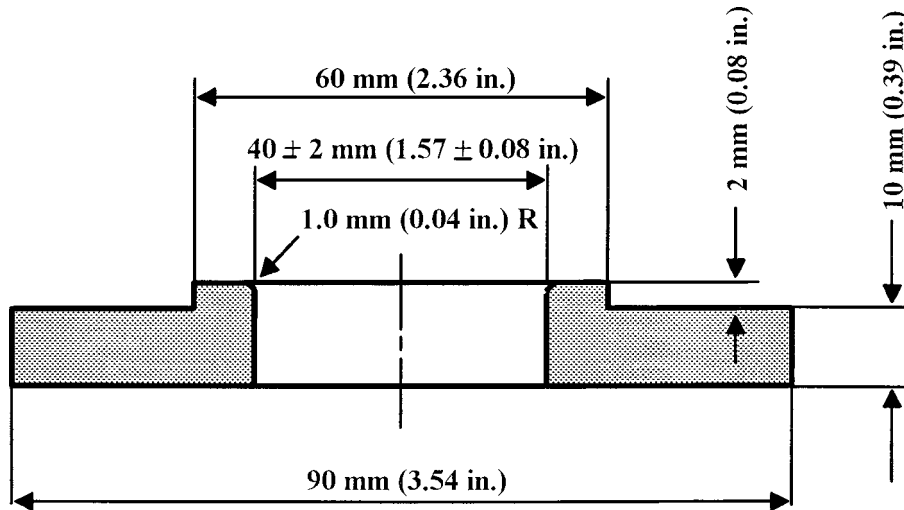


FIG. 4 Test-Specimen Support for Geometry FE

TABLE 1 Tup and Support Ring Dimensions

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

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

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

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

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

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

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

TABLE 2 Minimum Size of Specimen

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

tested. The optimal increments in tup mass range from 10 g or less for materials of low impact resistance, to 1 kg or higher for materials of high impact resistance.

7.4 *Micrometer*, for measurement of specimen thickness. It should be accurate to within 1 % of the average thickness of the specimens being tested. See Test Methods **D5947** for descriptions of suitable micrometers.

7.5 The mass of the tup head and shaft assembly and the additional mass required must be known to within an accuracy of ± 1 %.

8. Hazards

8.1 Safety Precautions:

8.1.1 Cushioning and shielding devices shall be provided to protect personnel and to avoid damage to the impinging surface of the tup. A tube or cage can contain the tup if it rebounds after striking a specimen.

8.1.2 When heavy weights are used, it is hazardous for an operator to attempt to catch a rebounding tup. Figure 2 of Test Method **D2444** shows an effective mechanical “rebound catcher” employed in conjunction with a drop tube.

9. Sampling

9.1 Sample the material to meet the requirements of Section **14**.

10. Test Specimens

10.1 Flat test specimens shall be large enough so that they can be clamped firmly if clamping is desirable. See **Table 2** for the minimum size of specimen that can be used for each test geometry.

10.2 The thickness of any specimen in a sample shall not differ by more than 5 % from the average specimen thickness of that sample. However, if variations greater than 5 % are unavoidable in a sample that is obtained from parts, the data shall not be used for referee purposes. For compliance with **ISO 6603-1** the test specimen shall be 60 ± 2 mm (2.4 ± 0.08 in.) in diameter or 60 ± 2 mm (2.4 ± 0.08 in.) square with a thickness of 2 ± 0.1 mm (0.08 ± 0.004 in.). Machining specimens to reduce thickness variation is not permissible.

10.3 When the approximate mean failure mass for a given sample is known, 20 specimens will usually yield sufficiently precise results. If the approximate mean failure mass is unknown, six or more additional specimens should be used to determine the appropriate starting point of the test. For compliance with **ISO 6603-1** a minimum of 30 specimens must be tested.

10.4 Carefully examine the specimen visually to ensure that samples are free of cracks or other obvious imperfections or damages, unless these imperfections constitute variables under study. Samples known to be defective should not be tested for specification purposes. Production parts, however, should be tested in the as-received condition to determine conformance to specified standards.

10.5 Select a suitable method for making the specimen that will not affect the impact resistance of the material.

10.6 Specimens range from having flat smooth surfaces on both sides, being textured on one side and smooth on the other side, or be textured on both surfaces. When testing, special attention must be paid to how the specimen is positioned on the support.

NOTE 4—As few as ten specimens often yield sufficiently reliable estimates of the mean-failure mass. However, in such cases the estimated standard deviation will be relatively large (**1**).

11. Conditioning

11.1 Unless otherwise specified, by contract or relevant ASTM material specification, condition the test specimens in accordance with Procedure A of Practice **D618**, for those tests where conditioning is required. Temperature and humidity tolerances shall be in accordance with Section 7 of Practice **D618**, unless otherwise specified by contract or relevant ASTM material specification. For compliance with ISO requirements, the specimens must be conditioned for a minimum of 16 h prior to testing or post conditioning in accordance with **ISO 291**, unless the period of conditioning is stated in the relevant ISO specification for the material.

11.1.1 Note that for some hygroscopic materials, such as polyamides, the material specifications (for example, Classification System **D6779**) call for testing “dry as-molded specimens”. Such requirements take precedence over the above routine preconditioning to 50 % RH and require sealing the specimens in water vapor-impermeable containers as soon as molded and not removing them until ready for testing.

11.2 Conduct tests at the same temperature and humidity used for conditioning with tolerances in accordance with Section 7 of Practice **D618**, unless otherwise specified by contract or relevant ASTM material specification.

11.3 When testing is desired at temperatures other than 23°C, transfer the materials to the desired test temperature within 30 min, preferably immediately, after completion of the preconditioning. Hold the specimens at the test temperature for no more than 5 h prior to test, and, in no case, for less than the time required to ensure thermal equilibrium in accordance with Section 10 of Test Method **D618**.

12. Procedure

12.1 Determine the number of specimens for each sample to be tested, as specified in **10.3**.

12.2 Mark the specimens and condition as specified in **11.1**.

12.3 Prepare the test apparatus for the geometry (FA, FB, FC, FD, FE) selected.

12.4 Measure and record the thickness of each specimen in the area of impact. In the case of injection molded specimens, it is not necessary to measure each specimen. It is sufficient to

measure and record thickness for one specimen when it has been previously demonstrated that the thickness does not vary by more than 5 %.

12.5 Choose a specimen at random from the sample.

12.6 Clamp or position the specimen. The same surface or area should be the target each time (see 6.2). When clamping is employed, the force should be sufficient to prevent motion of the clamped portion of the specimen when the tup strikes.

12.7 Unless otherwise specified, initially position the tup 0.660 ± 0.008 m (26.0 ± 0.3 in.) from the surface of the specimen.

12.8 Adjust the total mass of the tup or the height of the tup, or both, to that amount expected to cause half the specimens to fail.

NOTE 5—If failures cannot be produced with the maximum available missile mass, the drop height can be increased. The test temperature could be reduced by (a) use of an ice-water mixture, or (b) by air-conditioned environment to provide one of the temperatures given in 3.3 of Test Methods D618. Conversely, if the unloaded tup causes failures when dropped 0.660 m, the drop height can be decreased. A moderate change in dart velocity will not usually affect the mean-failure energy appreciably. Refer to 5.1.

12.9 Release the tup. Be sure that it hits the center of the specimen. If the tup bounces, catch it to prevent multiple impact damage to the specimen's surface (see 8.1.2).

12.10 Remove the specimen and examine it to determine whether or not it has failed. Permanent deformation alone is not considered failure, but note the extent of such deformation (depth, area). For some polymers, for example, glass-reinforced polyester, incipient cracking is difficult to determine with the naked eye. Exposure of the stressed surface to a penetrating dye, such as gentian violet, confirms the onset of cracking. As a result of the wide range of failure types observed with different materials, the definition of failure defined in the material specification, or a definition agreed upon by supplier and user, shall take precedence over the definition stated in 3.2.1.

12.11 If the first specimen fails, remove one increment of mass from the tup while keeping the drop height constant, or decrease the drop height while keeping the mass constant (see 12.12). If the first specimen does not fail, add one increment of mass to the tup or increase the drop height one increment, as above. Then test the second specimen.

12.12 In this manner, select the impact height or mass for each test from the results observed with the specimen just previously tested. Test each specimen only once.

12.13 For best results, the mass or height increment used should be approximately equivalent to s , the estimated standard deviation of the test for that sample. An increment of 0.5 to 2 times s is satisfactory (see section 13.4).

NOTE 6—An increment of 10 % of the estimated mean-failure mass or mean-failure height has been found to be acceptable in most instances.

12.14 Keep a running plot of the data, as shown in Appendix X1. Use one symbol, such as X , to indicate a failure and a different symbol, such as O , to indicate a non-failure at each mass or height level.

12.15 For any specimen that gives a break behavior that appears to be an outlier, the conditions of that impact shall be

examined. The specimen shall be discarded only if a unique cause for the anomaly can be found, such as an internal flaw visible in the broken specimen. Note that break behavior can vary widely within a set of specimens. Data from specimens that show atypical behavior shall not be discarded simply on the basis of such behavior.

13. Calculation

13.1 *Mean-Failure Mass*—If a constant-height procedure was used, calculate the mean-failure mass from the test data obtained, as follows:

$$w = w_o + d_w(A/N \pm 0.5) \quad (1)$$

13.2 *Mean-Failure Height*—If a constant-mass procedure was used, calculate the mean-failure height from the test data obtained, as follows:

$$h = h_o + d_h(A/N \pm 0.5) \quad (2)$$

where:

w = mean-failure mass, kg,
 h = mean-failure height, mm,
 d_w = increment of tup weight, kg,
 d_h = increment of tup height, mm,
 N = total number of failures or non-failures, whichever is smaller. For ease of notation, call whichever are used events,

w_o = smallest mass at which an event occurred, kg
 h_o = lowest height at which an event occurred, mm (or in.),

$A = \sum_{i=0}^k in_i$,
 $i = 0, 1, 2, \dots, k$ (counting index, starts at h_o or w_o),
 n_i = number of events that occurred at h_i or w_i ,
 $w_i = w_o + id_w$, and
 $h_i = h_o + id_h$.

In calculating w or h , the negative sign is used when the events are failures. The positive sign is used when the events are non-failures. Refer to the example in Appendix X1.

13.3 *Mean-Failure Energy*—Compute the mean-failure energy as follows: $MFE = hwf$

where:

MFE = mean-failure energy, J,
 h = mean-failure height or constant height as applicable, mm
 w = mean-failure mass or constant mass as applicable, kg, and
 f = factor for conversion to joules.
 Use $f = 9.80665 \times 10^{-3}$ if $h = \text{mm}$ and $w = \text{kg}$.

13.4 *Estimated Standard Deviation of the Sample*—If desired for record purposes, the estimated standard deviation of the sample for either variable mass or variable height can be calculated as follows:

$$s_w = 1.62d_w[B/N - (A/N)^2] + 0.047d_w \quad (3)$$

$$s_h = 1.62d_h[B/N - (A/N)^2] + 0.047d_h \quad (4)$$

where:

s_w = estimated standard deviation, mass, kg
 s_h = estimated standard deviation, height, mm, and

$$B = \sum_{i=0}^k i^2 n_i \quad (5)$$

The above calculation is valid for $[B/N - (A/N)^2] > 0.3$. If the value is < 0.3 , use Table I from Ref (3).

13.5 *Estimated Standard Deviation of the Sample Mean*—Calculate the estimated standard deviation of the sample mean-failure height or weight as follows:

$$S_{\bar{w}} = G s_w / \sqrt{N} \quad (6)$$

or

$$S_{\bar{h}} = G s_h / \sqrt{N} \quad (7)$$

where:

$S_{\bar{h}}$ = estimated standard deviation of the mean height, mm,

s_w = estimated standard deviation of the mean mass, kg,
and

G = factor that is a function of s/d (see Appendix X2).

A sample computation of s_w is found in Appendix X1.

NOTE 7—For values of G at other levels of s/d , see Fig. 22 in Ref (4).

13.6 *Estimated Standard Deviation of the Mean-Failure Energy*—Calculate the estimated standard deviation of the mean-failure energy as follows:

$$S_{MFE} = s_{\bar{h}} w f \quad (8)$$

or

$$S_{MFE} = S_w h f, \text{ as applicable} \quad (9)$$

where:

S_{MFE} = estimated standard deviation of the mean-failure energy.

14. Report

14.1 Report the following information:

14.1.1 Complete identification of the sample tested, including type of material, source, manufacturer's code, form, principal dimensions, and previous history,

14.1.2 Method of preparation of specimens,

14.1.3 Whether surface of the specimen is smooth or textured, the level of and type of texture if known, and whether texture is on only one or both surfaces,

14.1.4 If the specimen is textured, report whether textured surface faces upward towards the dart or downward away from the dart,

14.1.5 Means of clamping, if any,

14.1.6 Statement of geometry (FA, FB, FC, FD, FE) and procedure used—constant mass or constant height,

14.1.7 Thickness of specimens tested (average and range).

14.1.8 Number of test specimens employed to determine the mean failure height or mass,

14.1.9 Mean-failure energy,

14.1.10 Types of failure, for example: (a) crack or cracks on one surface only (the plaque could still hold water), (b) cracks that penetrate the entire thickness (water would probably penetrate through the plaque), (c) brittle shatter (the plaque is in several pieces after impact), or (d) ductile failure (the plaque is penetrated by a blunt tear). Report other observed deformation due to impact, whether the specimens fail or not,

TABLE 3 Precision, Method FB

Material	Mean, J	Values Expressed as Percent of the Mean	
		V_r	r
Polymethyl Methacrylate (PMMA)	0.35	12.6	35.7
Styrene-Butadiene (SB) ^A	9.26	18.7	52.9
Acrylonitrile-Butadiene-Styrene (ABS) ^A	11.8	14.9	42.2

^A Data generated in three laboratories.

V_r = within-laboratory coefficient of variation of the mean.

$r = 2.83 V_r$.

14.1.11 If atypical deformation for any specimen within a sample for that material is observed, note the assignable cause, if known,

14.1.12 Date of test and operator's identification,

14.1.13 Test temperature,

14.1.14 In no case shall results obtained with arbitrary geometries differing from those contained in these test methods be reported as values obtained by this test method (D5628), and

14.1.15 The test method number and published/revision date.

15. Precision and Bias

15.1 Tables 3 and 4 are based on a round robin⁵ conducted in 1972 involving three materials tested by six laboratories. Data from only four laboratories were used in calculating the values in these tables. Each test result was the mean of multiple individual determinations (Bruceton Staircase Procedure). Each laboratory obtained one test result for a material.

NOTE 8—The number of laboratories participating in the 1972 round robin and the number of results collected do not meet the minimum requirements of Practice E691. Data in Tables 3 and 4 should be used only for guidance, and not as a referee when there is a dispute between users of this test method.

15.1.1 *Polymethylmethacrylate (PMMA)*—Specimens were cut from samples of 3.18-mm (0.125-in.) thickness extruded sheet.

15.1.2 *Styrene-Butadiene (SB)*—Specimens were cut from samples of 2.54-mm (0.100-in.) thickness extruded sheet.

15.1.3 *Acrylonitrile-Butadiene-Styrene (ABS)*—Specimens were cut from samples of 2.64-mm (0.104-in.) thickness extruded sheet. (**Warning**—The following explanations of r and R (15.2-15.2.3) are only intended to present a meaningful way of considering the approximate precision of this test method. The data in Tables 3 and 4 should not be rigorously applied to acceptance or rejection of material, as those data are specific to the round robin and not necessarily representative of other lots, conditions, materials, or laboratories. Users of this test method should apply the principles outlined in Practice E691 to generate data specific to their laboratory and materials, or between specific laboratories. The principles of 15.2-15.2.3 would then be valid for such data.)

15.2 *Concept of r and R* —If V_r and V_R have been calculated from a large enough body of data, and for test results that were

⁵ Supporting data are available from ASTM Headquarters. Request RR:D20-1030.

TABLE 4 Precision, Method FC

Material	Mean, <i>J</i>	Values Expressed as Percent of the Mean	
		<i>V_r</i>	<i>r</i>
Polymethyl Methacrylate (PMMA)	1.33	4.13	11.7
Styrene-Butadiene (SB)	48.3	18.3	51.8

V_r = within-laboratory coefficient of variation of the mean.
r = 2.83 *V_r*.

means from testing multiple individual specimens (Bruceton Staircase Procedure), the following applies:

15.2.1 *Repeatability, r*—In comparing two test results for the same material obtained by the same operator using the same equipment on the same day, the two test results should be judged not equivalent if they differ by more than the *r* value for that material.

15.2.2 *Reproducibility, R*—In comparing two test results for the same material obtained by different operators using differ-

ent equipment in different laboratories, reproducibility statistics were not calculated because data from only four and three laboratories do not justify making these calculations.

15.2.3 Any judgment in accordance with 15.2.1 would have an approximate 95 % (0.95) probability of being correct.

15.3 *Bias*—There are no recognized standards by which to estimate bias of this test method.

15.4 Efforts to form a task group to address between laboratory reproducibility of this test method has been unsuccessful. Persons interested in participating in such a task group should contact ASTM Headquarters.

16. Keywords

16.1 dart impact; falling-mass impact; impact; impact resistance; mean-failure energy; mean-failure height; mean-failure mass; rigid plastic; tup

APPENDIX

(Nonmandatory Information)

X1. SAMPLE CALCULATIONS

X1.1 See below.

Total Dart Mass, kg	Outcome of Test (X = failure; O = non-failure)																				<i>n_x</i>	<i>n_o</i>	<i>i</i>	<i>n_i</i>	<i>in₁</i>	<i>i²n₁</i>
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20						
9.00						X															1	0	2	1	2	4
8.00					O		X	X				X		X							4	1	1	4	4	4
7.00		X		O				O	X		O		O		X		X		O	4	5	0	4	0	0	
6.00	O		O							O							O		O	0	5					
Totals																					9 (<i>N_g</i>)	11 (<i>N_o</i>)		9 (<i>N</i>)	6 (<i>A</i>)	8 (<i>B</i>)

$w_o = 7.00; N = N_x = 9; d = 1.00$
 $w = w_o + d(A/N - 0.5)$
 $= 7.00 + 1.00 (6/9 - 0.5)$
 $= 7.17 \text{ kg}$
 $s = 1.620 d [((NB - A^2)/9^2) + 0.029]$
 $= 1.620 (1.00) [((9.8 - 6^2)/9^2) + 0.029]$
 $= 0.77 \text{ kg}$
 $s/d = 0.77/1.00 = 0.77; G = 1.035 \text{ (from Table X1.1)}$
 $s_w = Gs/\sqrt{N} = 1.035 (0.77)/\sqrt{9} = 0.27 \text{ kg}$

TABLE X1.1 Values of G for Obtaining the Estimated Standard Deviation of the Mean

<i>s/d</i>	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
0.40						1.18	1.175	1.17	1.16	1.155
0.50	1.15	1.145	1.14	1.135	1.13	1.125	1.12	1.11	1.105	1.10
0.60	1.095	1.09	1.085	1.08	1.075	1.07	1.07	1.065	1.06	1.06
0.70	1.055	1.055	1.05	1.05	1.045	1.04	1.04	1.035	1.035	1.03
0.80	1.03	1.025	1.025	1.02	1.02	1.02	1.015	1.015	1.015	1.01
0.90	1.01	1.01	1.005	1.005	1.005	1.00	1.00	1.00	0.995	0.995
1.00	0.995	0.99	0.99	0.99	0.985	0.985	0.985	0.985	0.98	0.98
1.10	0.98	0.98	0.98	0.975	0.975	0.975	0.975	0.975	0.975	0.97
1.20	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.965	0.965	0.965	0.965
1.30	0.965	0.965	0.965	0.965	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96
1.40	0.96	0.96	0.96	0.955	0.955	0.955	0.955	0.955	0.955	0.955
1.50	0.955	0.955	0.955	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95
1.60	0.95	0.95	0.95	0.95	0.945	0.945	0.945	0.945	0.945	0.945
1.70	0.945	0.945	0.945	0.945	0.945	0.945	0.94	0.94	0.94	0.94
1.80	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.935
1.90	0.935	0.935	0.935	0.935	0.935	0.935	0.935	0.935	0.935	0.935
2.00	0.935	0.935	0.935	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93

REFERENCES

- (1) Brownlee, K. A., Hodgest, J. L., Jr., and Rosenblatt, Murray, "The Up-and-Down Method with Small Samples," *American Statistical Association Journal*, Vol 48, 1953, pp. 262–277.
- (2) Hagan, R. S., Schmitz, J. V., and Davis, D. A., "Impact Testing of High Impact Thermoplastic Sheet," *Technical Papers, 17th Annual Technical Conference of SPE, SPPPB*, Vol VIII, January 1961.
- (3) "Test Method A—Falling Dart Impact, Proposed Method of Test for Impact Resistance of Fabricated Plastics Parts," *Proposed Test Methods for Plastics Parts Used in Appliances*, the Society of the Plastics Industry, New York, NY, January 1965.
- (4) Weaver, O. R., "Using Attributes to Measure a Continuous Variable in Impact Testing Plastic Bottles," *Materials Research and Standards, MR & S*, Vol 6, No. 6, June 1966, pp. 285–291.
- (5) Natrella, M. G., *Experimental Statistics*, National Bureau of Standards Handbook 91, October 1966, pp. 10–22 and 10–23.

SUMMARY OF CHANGES

Committee D20 has identified the location of selected changes to this standard since the last issue (D5628 - 07) that may impact the use of this standard. (July 1, 2010)

- (1) Revised 11.1 and 11.2 for consistency with Practice D618.
- (2) Revised 12.4 to allow measurement of only one specimen for injection molded specimens.

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

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

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

Anexo 5.- Informe técnico de los ensayos a Tracción y Flexión e Impacto.



UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECÁNICA



ENSAYO A TRACCIÓN BAJO LA NORMA ASTM D3039.

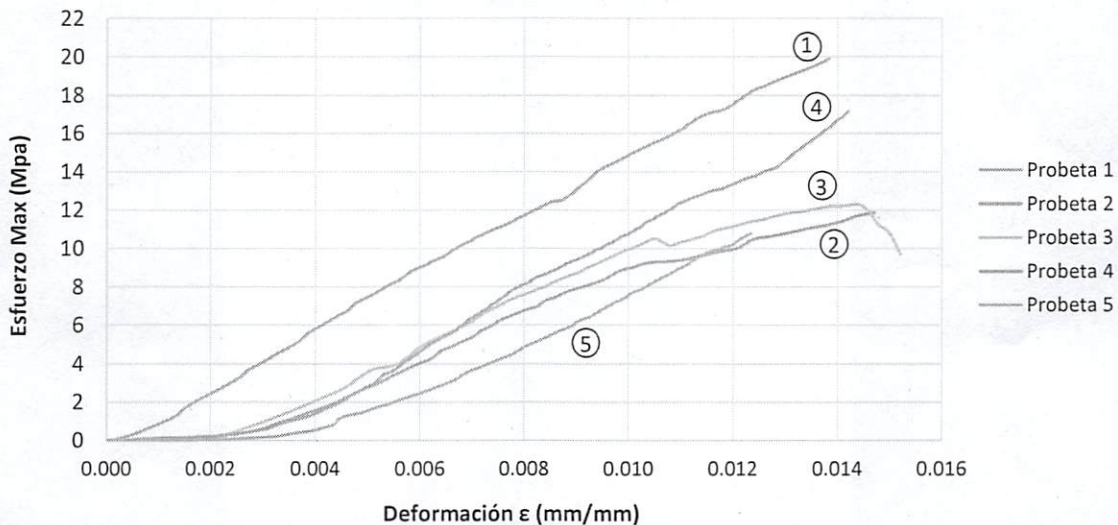
TEMA DE INVESTIGACIÓN:	CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DEL MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ POLIÉSTER REFORZADA CON FIBRA NATURAL DE TOTORA (SCHOENOPLECTUS CALIFORNICUS) Y SU POSIBLE APLICACIÓN EN LA INDUSTRIA		
SOLICITA:	José Luis Pico Vaca		
ID MUESTRA:	M1	FECHA DE EXPEDICIÓN:	15/11/2021
DESCRIPCIÓN:	MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ POLIÉSTER REFORZADA CON FIBRA NATURAL DE TOTORA (SCHOENOPLECTUS CALIFORNICUS).		

ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO

INSTRUMENTO:	MAQUINA UNIVERSAL CONTROLS CAPACIDAD 2000 KN		
ESPECIFICACION DE MATERIAL:	Fracción volumétrica 70% resina poliester-30% fibra larga de totora	LONGITUD ENTRE MORDAZAS:	140 mm
PESO PROBETA:	29.8 gr	LONGITUD PROBETA:	250 mm
TEMPERATURA DEL AMBIENTE:	17 °C	AREA PROBETA:	75 mm ²

RESULTADOS:

Diagrama Esfuerzo vs Deformación




RESUMEN

Probeta	Carga máxima (N)	Esfuerzo máximo de tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	% de elongación	Tipo de falla
1	1492.96	19.91	1438.61	1.38	AGM
2	891.39	11.89	807.91	1.47	LAT
3	923.5	12.31	854.65	1.44	LAT
4	1287.5	17.16	1208.29	1.42	LAT
5	808.5	10.78	873.53	1.23	AGM
Promedio	1080.77	14.41	1036.598	1.388	-
Desviación estándar	294.69	3.93	275.27	0.09	-


Ing. Byron Lopez
TÉCNICO DE LABORATORIO
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECÁNICA




Ing. Freddy Pimbo
AUXILIAR DE LABORATORIO
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECÁNICA





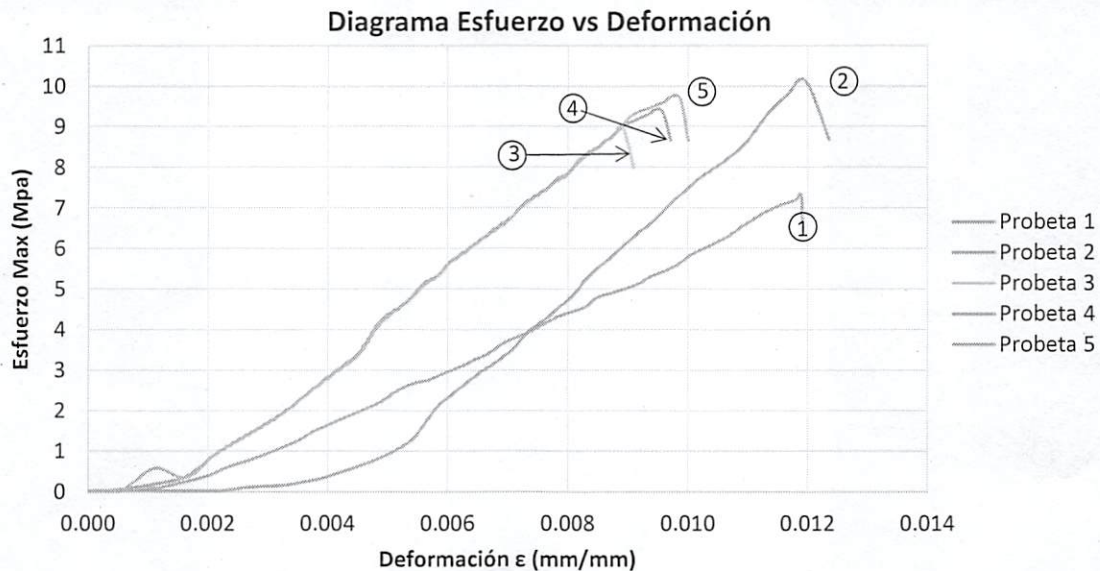
ENSAYO A TRACCIÓN BAJO LA NORMA ASTM D3039.

TEMA DE INVESTIGACIÓN:	CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DEL MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ POLIÉSTER REFORZADA CON FIBRA NATURAL DE TOTORA (SCHOENOPLECTUS CALIFORNICUS) Y SU POSIBLE APLICACIÓN EN LA INDUSTRIA		
SOLICITA:	José Luis Pico Vaca		
ID MUESTRA:	M2	FECHA DE EXPEDICIÓN:	15/11/2021
DESCRIPCIÓN:	MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ POLIÉSTER REFORZADA CON FIBRA NATURAL DE TOTORA (SCHOENOPLECTUS CALIFORNICUS).		

ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO

INSTRUMENTO:	MAQUINA UNIVERSAL CONTROLS CAPACIDAD 2000 KN		
ESPECIFICACION DE MATERIAL:	Fracción volumétrica 80% resina poliester-20% fibra larga de totora	LONGITUD ENTRE MORDAZAS:	140 mm
PESO PROBETA:	29.8 gr	LONGITUD PROBETA:	250 mm
TEMPERATURA DEL AMBIENTE:	17 °C	AREA PROBETA:	75 mm ²

RESULTADOS:




RESUMEN

Probeta	Carga máxima (N)	Esfuerzo máximo de tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	% de elongación	Tipo de falla
1	549.19	7.32	615.92	1.19	AGM
2	760.10	10.14	847.17	1.20	LAT
3	675.30	9.00	1010.42	0.89	LAT
4	705.80	9.41	984.84	0.96	LAT
5	729.80	9.73	987.7	0.99	AGM
Promedio	684.04	9.12	889.21	1.05	-
Desviación estándar	81.57	1.09	165.83	0.14	-


Ing. Byron Lopez
TÉCNICO DE LABORATORIO
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECÁNICA




Ing. Freddy Pimbo
AUXILIAR DE LABORATORIO
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECÁNICA





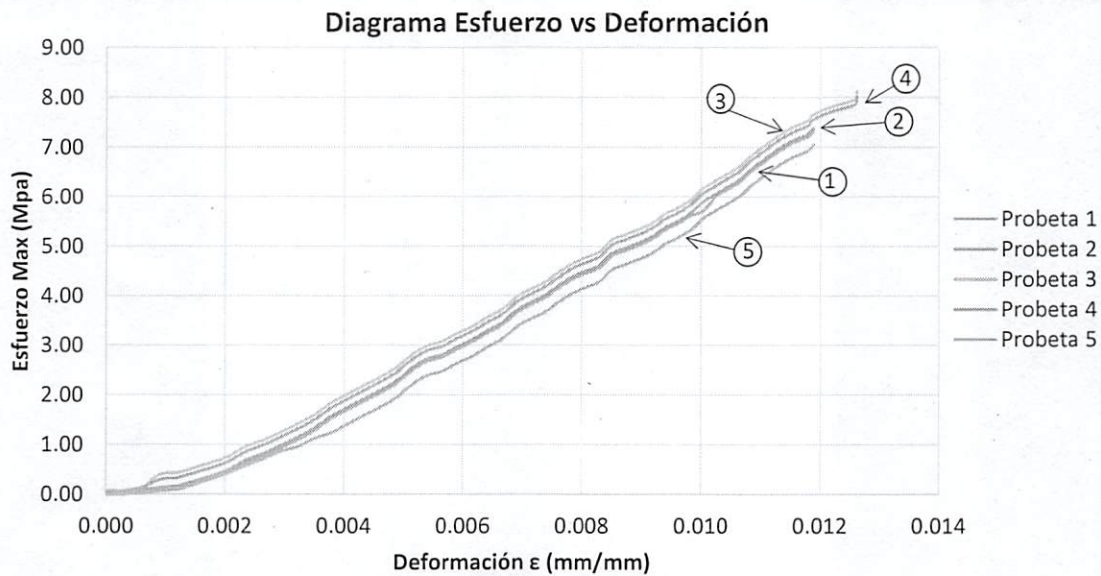
ENSAYO A TRACCIÓN BAJO LA NORMA ASTM D3039.

TEMA DE INVESTIGACIÓN:	CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DEL MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ POLIÉSTER REFORZADA CON FIBRA NATURAL DE TOTORA (SCHOENOPLECTUS CALIFORNICUS) Y SU POSIBLE APLICACIÓN EN LA INDUSTRIA		
SOLICITA:	José Luis Pico Vaca		
ID MUESTRA:	M3	FECHA DE EXPEDICIÓN:	15/11/2021
DESCRIPCIÓN:	MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ POLIÉSTER REFORZADA CON FIBRA NATURAL DE TOTORA (SCHOENOPLECTUS CALIFORNICUS).		

ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO

INSTRUMENTO:	MAQUINA UNIVERSAL CONTROLS CAPACIDAD 2000 KN		
ESPECIFICACION DE MATERIAL:	Fracción volumétrica 90% resina poliéster-10% fibra larga de totora	LONGITUD ENTRE MORDAZAS:	140 mm
PESO PROBETA:	29.8 gr	LONGITUD PROBETA:	250 mm
TEMPERATURA DEL AMBIENTE:	17 °C	AREA PROBETA:	75 mm ²

RESULTADOS:



RESUMEN

Probeta	Carga máxima (N)	Esfuerzo máximo de tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	% de elongación	Tipo de falla
1	550.69	7.34	617.60	1.19	AGM
2	554.39	7.39	621.75	1.19	AGM
3	608.41	8.11	642.69	1.26	LAT
4	600.91	8.01	634.76	1.26	AGM
5	529.19	7.06	593.49	1.19	LAT
Promedio	568.72	7.58	622.06	1.22	-
Desviación estándar	34.29	0.46	18.86	0.04	-

Ing. Byron Lopez
TÉCNICO DE LABORATORIO
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECÁNICA

Ing. Freddy Pimbo
AUXILIAR DE LABORATORIO
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECÁNICA





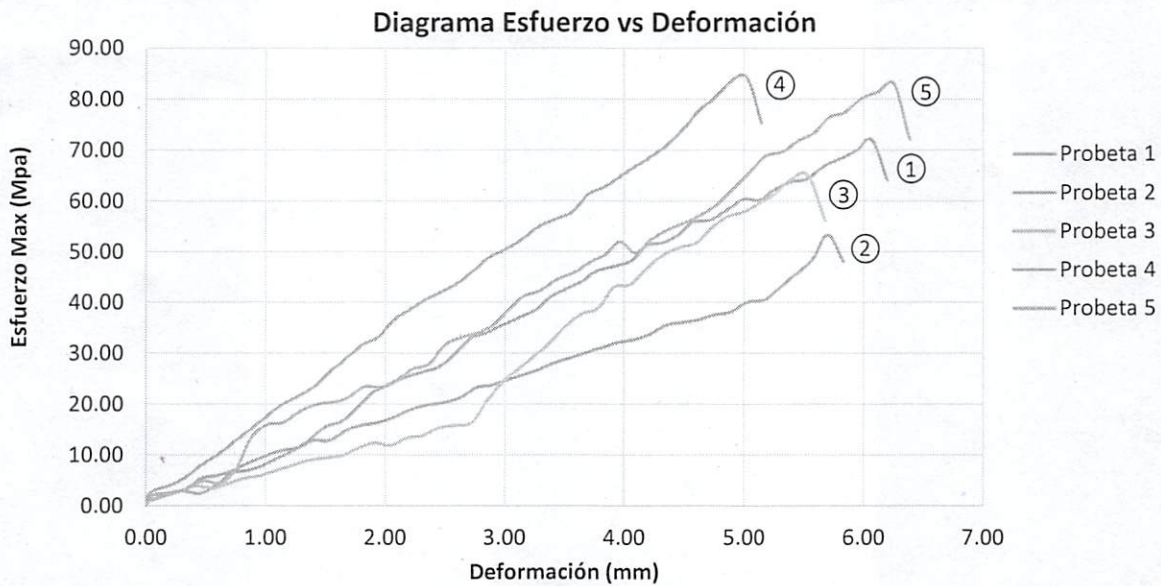
ENSAYO A FLEXIÓN BAJO LA NORMA ASTM D7264.

TEMA DE INVESTIGACIÓN:	CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DEL MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ POLIÉSTER REFORZADA CON FIBRA NATURAL DE TOTORA (SCHOENOPLECTUS CALIFORNICUS) Y SU POSIBLE APLICACIÓN EN LA INDUSTRIA		
SOLICITA:	José Luis Pico Vaca		
ID MUESTRA:	M1	FECHA DE EXPEDICIÓN:	15/11/2021
DESCRIPCIÓN:	MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ POLIÉSTER REFORZADA CON FIBRA NATURAL DE TOTORA (SCHOENOPLECTUS CALIFORNICUS).		

ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO


INSTRUMENTO:	MAQUINA UNIVERSAL CONTROLS CAPACIDAD 2000 KN		
ESPECIFICACION DE MATERIAL:	Fracción volumétrica 70% resina poliéster- 30% fibra larga de totora	LONGITUD ENTRE APOYOS:	125 mm
PESO PROBETA:	7.2 gr	LONGITUD PROBETA:	150 mm
TEMPERATURA DEL AMBIENTE:	17 °C	AREA PROBETA:	39 mm ²

RESULTADOS:




RESUMEN

Probeta	Carga máxima (N)	Esfuerzo máximo de flexión (MPa)	Módulo de elasticidad de flexión (MPa)	Deflexión (mm)	Deformación máxima %	Tipo de falla
1	44.9	71.97	10293.88	6.20	4.13	OAB
2	33.23	53.26	8109.26	5.70	3.80	OLV
3	40.62	65.10	10215.84	5.53	3.69	OLV
4	52.58	84.27	14574.41	5.02	3.35	OLV
5	51.77	82.97	11512.94	6.26	4.17	OLV
Promedio	44.62	71.51	10941.27	5.74	3.83	-
Desviación estándar	8.07	12.93	2371.29	0.51	0.34	-


Ing. Byron López
TÉCNICO DE LABORATORIO
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECÁNICA




Ing. Freddy Pimbo
AUXILIAR DE LABORATORIO
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECÁNICA





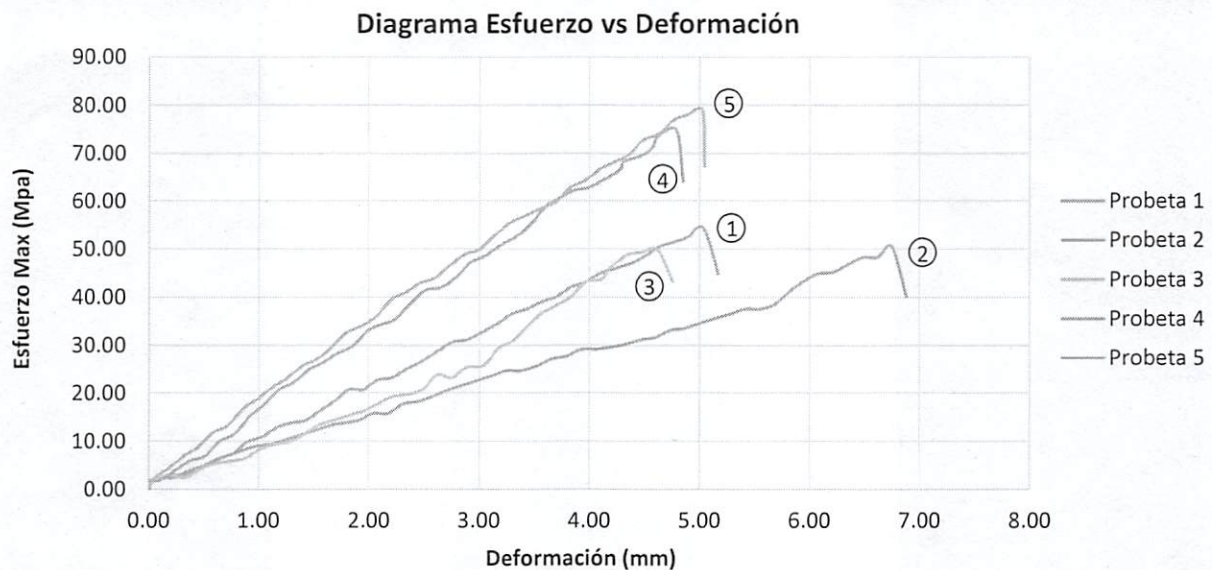
ENSAYO A FLEXIÓN BAJO LA NORMA ASTM D7264.

TEMA DE INVESTIGACIÓN:	CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DEL MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ POLIÉSTER REFORZADA CON FIBRA NATURAL DE TOTORA (SCHOENOPLECTUS CALIFORNICUS) Y SU POSIBLE APLICACIÓN EN LA INDUSTRIA		
SOLICITA:	José Luis Pico Vaca		
ID MUESTRA:	M2	FECHA DE EXPEDICIÓN:	15/11/2021
DESCRIPCIÓN:	MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ POLIÉSTER REFORZADA CON FIBRA NATURAL DE TOTORA (SCHOENOPLECTUS CALIFORNICUS).		

ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO


INSTRUMENTO:	MAQUINA UNIVERSAL CONTROLS CAPACIDAD 2000 KN		
ESPECIFICACION DE MATERIAL:	Fracción volumétrica 80% resina poliéster- 20% fibra larga de totora	LONGITUD ENTRE APOYOS:	125 mm
PESO PROBETA:	7.2 gr	LONGITUD PROBETA:	150 mm
TEMPERATURA DEL AMBIENTE:	17 °C	AREA PROBETA:	39 mm ²

RESULTADOS:

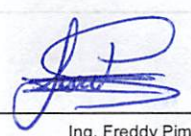


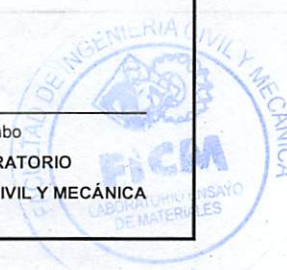
RESUMEN

Probeta	Carga máxima (N)	Esfuerzo máximo de flexión (MPa)	Módulo de elasticidad de flexión (MPa)	Deflexión (mm)	Deformación máxima %	Tipo de falla
1	33.93	54.38	9375.31	5.04	3.36	OAB
2	31.44	50.39	6480.88	6.75	4.50	OAB
3	31.13	49.89	9374.67	4.62	3.08	OAB
4	46.62	74.73	13533.55	4.85	3.23	OAB
5	49.23	78.90	13626.89	5.03	3.35	OLV
Promedio	38.47	61.66	10478.26	5.26	3.51	-
Desviación estándar	8.75	14.02	3068.47	0.85	0.57	-


Ing. Byron Lopez
TÉCNICO DE LABORATORIO
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECÁNICA




Ing. Freddy Pimbo
AUXILIAR DE LABORATORIO
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECÁNICA





ENSAYO A FLEXIÓN BAJO LA NORMA ASTM D7264.

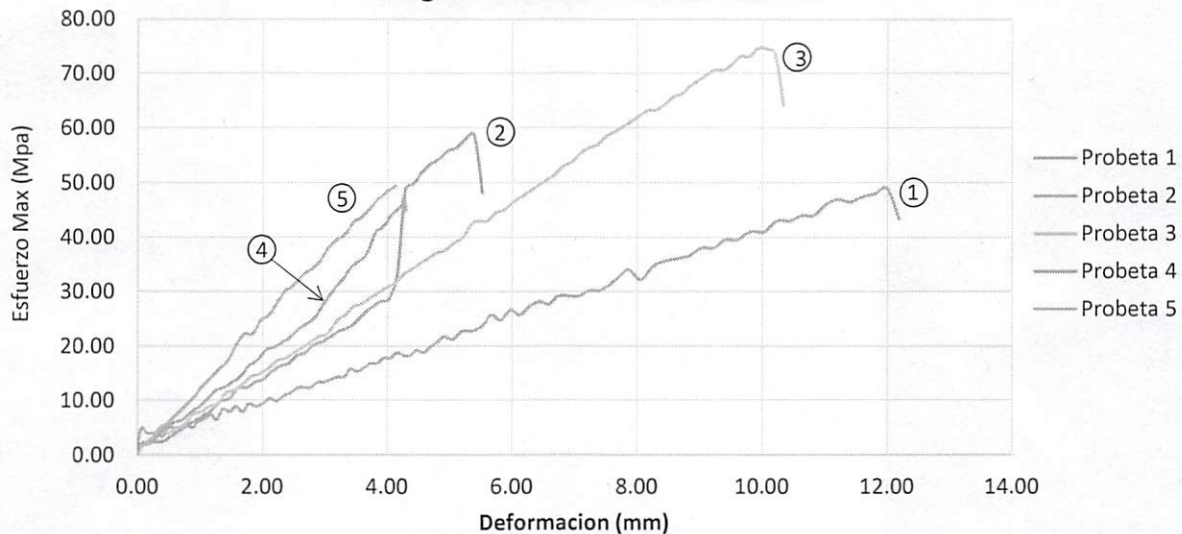
TEMA DE INVESTIGACIÓN:	CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DEL MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ POLIÉSTER REFORZADA CON FIBRA NATURAL DE TOTORA (SCHOENOPLECTUS CALIFORNICUS) Y SU POSIBLE APLICACIÓN EN LA INDUSTRIA		
SOLICITA:	José Luis Pico Vaca		
ID MUESTRA:	M3	FECHA DE EXPEDICIÓN:	15/11/2021
DESCRIPCIÓN:	MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ POLIÉSTER REFORZADA CON FIBRA NATURAL DE TOTORA (SCHOENOPLECTUS CALIFORNICUS).		

ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO

INSTRUMENTO:	MAQUINA UNIVERSAL CONTROLS CAPACIDAD 2000 KN		
ESPECIFICACION DE MATERIAL:	Fracción volumétrica 90% resina poliéster- 10% fibra larga de totora	LONGITUD ENTRE APOYOS:	125 mm
PESO PROBETA:	7.2 gr	LONGITUD PROBETA:	150 mm
TEMPERATURA DEL AMBIENTE:	17 °C	AREA PROBETA:	39 mm ²

RESULTADOS:

Diagrama Esfuerzo vs Deformación



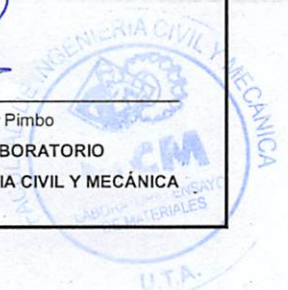
RESUMEN

Probeta	Carga máxima (N)	Esfuerzo máximo de flexión (MPa)	Módulo de elasticidad de flexión (MPa)	Deflexión (mm)	Deformación máxima %	Tipo de falla
1	30.52	48.92	3539.83	12.00	8.00	OLV
2	36.65	58.75	9464.90	5.39	3.59	OAB
3	45.94	74.61	6437.62	10.06	6.71	OLV
4	29.54	47.34	9622.18	4.27	2.85	OAB
5	30.83	49.42	10371.47	4.14	2.76	OLV
Promedio	34.696	55.81	7887.20	7.17	4.78	-
Desviación estándar	6.88	11.43	2857.96	3.62	2.41	-

Ing. Byron Lopez
TÉCNICO DE LABORATORIO
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECÁNICA



Ing. Freddy Pimbo
AUXILIAR DE LABORATORIO
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECÁNICA



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
INGENIERÍA MECÁNICA

RESISTENCIA DE IMPACTO SEGÚN ASTM D 5628-10

Noviembre, 2021

AMBATO–ECUADOR

INFORME TÉCNICO CTT-2021

Objetivo

- Establecer y mantener un método para evaluar la energía media de impacto en polímeros.

Alcance

Determinación de energía necesaria para el fallo de polímeros por impacto de dardo según las especificaciones señaladas en la norma ASTM D 5628-10.

ANTECEDENTES:

Con fecha 11 de noviembre de 2021, el Sr. José Luís Pico Vaca egresado de la Universidad Técnica de Ambato domiciliada en la ciudad de Ambato, solicita al Centro de Transferencia y Tecnología de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, realizar ensayos de laboratorio para medir la energía media de impacto en muestras de material compuesto.

Se reciben 20 muestras o probetas, en 3 grupos de 7 probetas, cada grupo bajo las designaciones:

- I-90%RP10%FLT
- I-80%RP20%FLT
- I-70%RP30%FLT

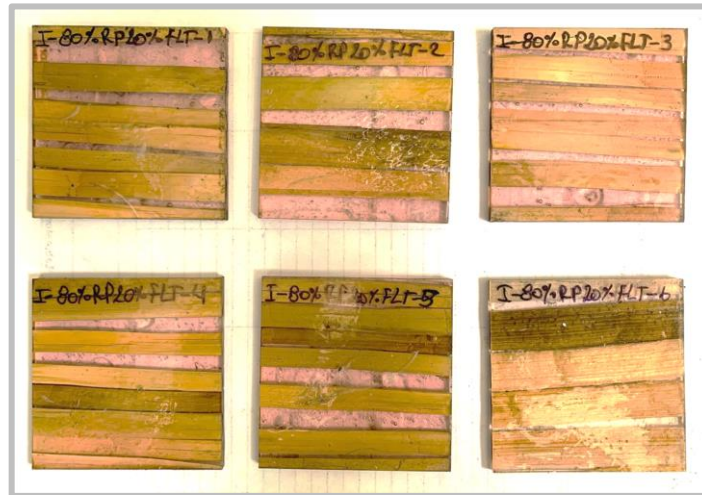
Cada grupo con la numeración de 01 a 07 (Probetas para ensayo de impacto en material compuesto por una matriz poliéster reforzada con fibra natural de totora); se realizó un ensayo piloto de una probeta por cada grupo para comprobar la factibilidad de que las probetas puedan ser ensayadas. Posterior a ello se experimentó un total de 20 probetas, de dimensiones de 58 x 58 mm. Todas las probetas presentan superficies lisas.

PROBETAS PARA ENSAYO DE IMPACTO

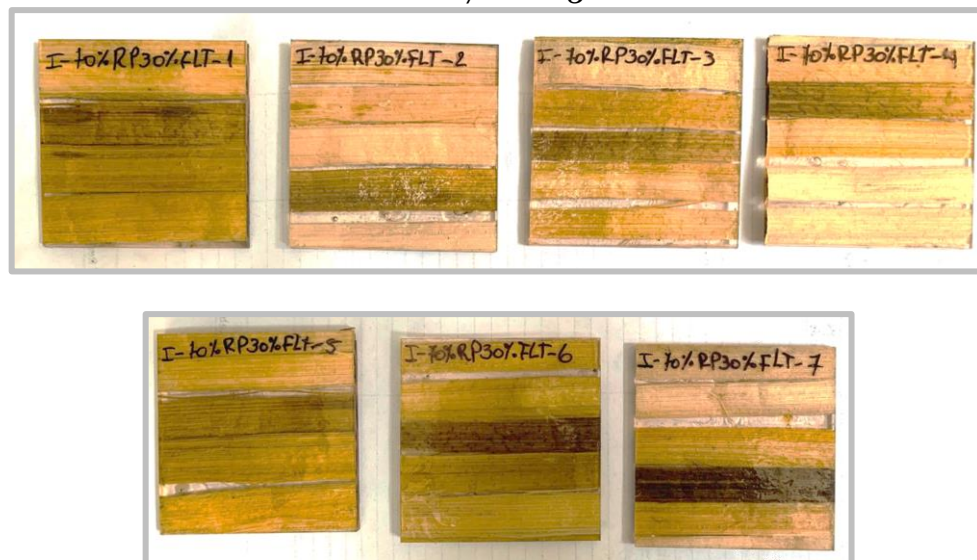
GRUPO: I-90%RP10%FLT



GRUPO: I-80%RP20%FLT



GRUPO: I-70%RP30%FLT



PROCESO GENERAL:

- Determinación de número de especímenes para cada muestra.
- Mantener hermetizadas las muestras hasta el ensayo y marcarlas para su identificación.
- Preparación de la máquina de ensayos para la geometría preestablecida (FA, FB, FC, FD, FE) en este caso para el tipo FE dadas las dimensiones de la probeta.

Geometría	Diámetro de la Probeta mm	Probeta Cuadrada mm
FA	89	89
FB	51	51
FC	140	140
FD	89	89
FE	58	58

- Medición y registro del espesor de cada muestra, el cual se muestra en los resultados del ensayo.
- Realizar la prueba de impacto con probetas de calibración, fuera de los grupos mostrados anteriormente y localizamos el rango de falla del material.
- Se colocan las mordazas utilizando una fuerza que permita la inmovilidad de la probeta al momento del impacto.



- Colocar la masa a la altura preestablecida, según el método de prueba seleccionado.



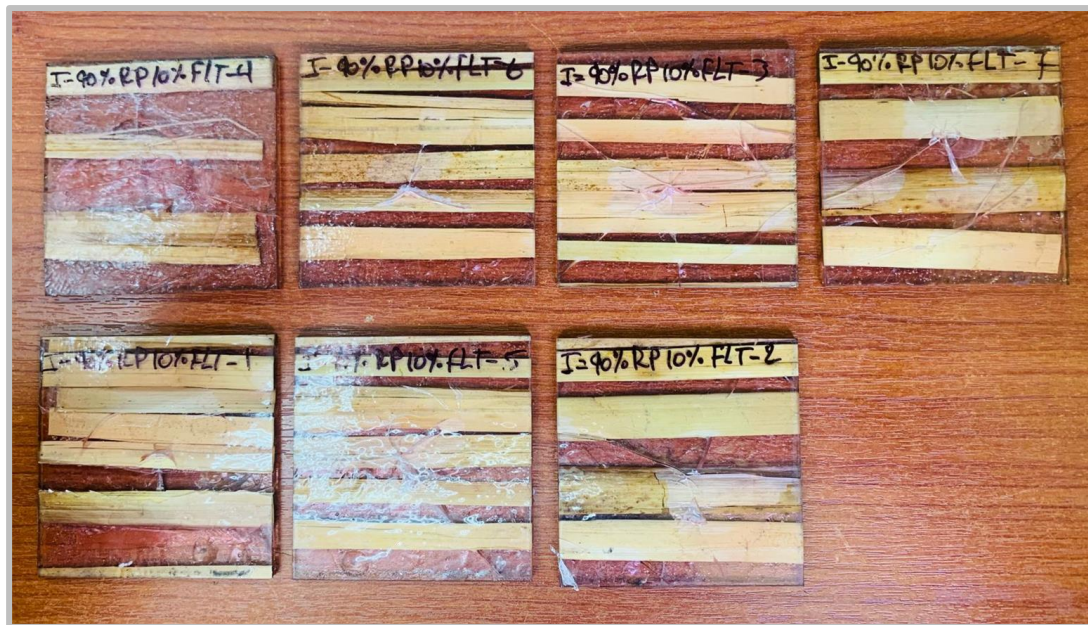
- Se libera el dardo asegurándonos que golpee justo en el centro de la muestra, impidiendo cualquier rebote del dardo.
- Retirar la muestra y revisar si ha fallado o no. Considerando que una falla es cualquier grieta o ruptura generado por el impacto el cual pueda ser distinguido por el ojo humano bajo luz normal en condiciones normales.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

Centro de Transferencia y Tecnología
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS
DATOS INFORMATIVOS:

Fecha:	15/11/2021	Ciudad:	Ambato
Lugar:	Laboratorios de Materiales	Campus Huachi	
Equipo:	Máquina tipo caída de masas de Impacto		
Realizado por:	Ing. Christian Sánchez L.	Supervisado por:	Ing. Sebastián Villegas S.
Tipo de material:	Material polimérico – Código: I-90%RP10%FLT	Orden: CTT-2021	
Composición	Matriz poliéster reforzada con fibra natural de totora		
PARÁMETROS DE ENSAYO			
Tipo de Medición:	Energía Media de Impacto (J)	Norma:	ASTM D5628-10
Dimensiones (mm):	58mm x 58mm	Nº de probetas:	7



CODIFICACIÓN (%fibra)	Ancho (mm)	Largo (mm)	Espesor (mm)	Masa aplicada (kg)	Incremento de masa (kg)	Altura media de fallo (mm)	Energía media de fallo (J)	Criterio de falla
I-90%RP10%FLT-1	58.17	58.01	3.47	0.232	0	50	0.113796	No falla
I-90%RP10%FLT-2	58.13	58.08	3.21	0.232	0	50	0.113796	No falla
I-90%RP10%FLT-3	58.08	58.13	3.34	0.232	0	65	0.1479348	Falla
I-90%RP10%FLT-4	57.96	57.83	3.28	0.232	0	65	0.1479348	Falla
I-90%RP10%FLT-5	57.97	58.06	3.25	0.232	0	70	0.1593144	Falla
I-90%RP10%FLT-6	58.2	58.19	3.27	0.232	0	80	0.1820736	Falla
I-90%RP10%FLT-7	58.19	58.01	3.51	0.232	0	100	0.227592	Falla

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

Centro de Transferencia y Tecnología
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS
DATOS INFORMATIVOS:

Fecha:	15/11/2021	Ciudad:	Ambato
Lugar:	Laboratorios de Materiales	Campus Huachi	
Equipo:	Máquina tipo caída de masas de Impacto		
Realizado por:	Ing. Christian Sánchez L.	Supervisado por:	Ing. Sebastián Villegas S.
Tipo de material:	Material polimérico – Código: I-80%RP20%FLT	Orden: CTT-2021	
Composición	Matriz poliéster reforzada con fibra natural de totora		
PARÁMETROS DE ENSAYO			
Tipo de Medición:	Energía Media de Impacto (J)	Norma:	ASTM D5628-10
Dimensiones (mm):	58mm x 58mm	Nº de probetas:	6



CODIFICACIÓN (%fibra)	Ancho (mm)	Largo (mm)	Espesor (mm)	Masa aplicada (kg)	Incremento de masa (kg)	Altura media de fallo (mm)	Energía media de fallo (J)	Criterio de falla
I-80%RP20%FLT-1	57.92	57.96	3.46	0.232	0	50	0.113796	No falla
I-80%RP20%FLT-2	58.34	58.65	3.21	0.232	0	70	0.1593144	No falla
I-80%RP20%FLT-3	58.21	57.92	3.59	0.232	0	80	0.1820736	Falla
I-80%RP20%FLT-4	57.66	57.79	3.36	0.232	0	100	0.227592	Falla
I-80%RP20%FLT-5	57.96	57.78	3.36	0.232	0	120	0.2731104	Falla
I-80%RP20%FLT-6	57.86	58.31	3.13	0.232	0	150	0.341388	Falla

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

Centro de Transferencia y Tecnología
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS
DATOS INFORMATIVOS:

Fecha:	15/11/2021	Ciudad:	Ambato
Lugar:	Laboratorios de Materiales	Campus Huachi	
Equipo:	Máquina tipo caída de masas de Impacto		
Realizado por:	Ing. Christian Sánchez L.	Supervisado por:	Ing. Sebastián Villegas S.
Tipo de material:	Material polimérico – Código: I-70%RP30%FLT	Orden: CTT-2021	
Composición	Matriz poliéster reforzada con fibra natural de totora		
PARÁMETROS DE ENSAYO			
Tipo de Medición:	Energía Media de Impacto (J)	Norma:	ASTM D5628-10
Dimensiones (mm):	58mm x 58mm	Nº de probetas:	7



CODIFICACIÓN (%fibra)	Ancho (mm)	Largo (mm)	Espesor (mm)	Masa aplicada (kg)	Incremento de masa (kg)	Altura media de fallo (mm)	Energía media de fallo (J)	Criterio de falla
I-70%RP30%FLT-1	58.05	57.95	3.21	0.232	0	50	0.113796	No falla
I-70%RP30%FLT-2	58.01	58.46	3.01	0.232	0	80	0.1820736	No falla
I-70%RP30%FLT-3	57.98	57.86	3.26	0.232	0	100	0.227592	Falla
I-70%RP30%FLT-4	57.93	57.84	2.91	0.232	0	120	0.2731104	Falla
I-70%RP30%FLT-5	58.08	57.92	3.46	0.232	0	150	0.341388	Falla
I-70%RP30%FLT-6	57.83	57.91	3.18	0.232	0	200	0.455184	Falla
I-70%RP30%FLT-7	57.93	58.08	3.19	0.232	0	300	0.682776	Falla

Conclusiones

- El grupo de probetas I-90%RP10%FLT tienen una energía de fallo de 0,1479 J.
- El grupo de probetas I-80%RP20%FLT tienen una energía de fallo de 0,1821 J.
- El grupo de probetas I-70%RP30%FLT tienen una energía de fallo de 0,2276 J.
- Todas las probetas se las ensayó con el método de prueba FE y fueron impactadas con un dardo de 0,232 Kg, sin ningún incremento de peso adicional.



Firmado electrónicamente por:
**CHRISTIAN
VICENTE SANCHEZ
LEON**

REALIZADO POR:
Ing. Christian Sánchez L.
LABORATORIO DE MATERIALES



Firmado electrónicamente por:
**EDMUNDO SEBASTIAN
VILLEGAS SUAREZ**

SUPERVISADO POR:
Ing. Sebastián Villegas S.
TÉCNICO DE LABORATORIO