

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

**CARRERA DE:
INGENIERÍA MECÁNICA**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:
INGENIEROS MECÁNICOS**

**TEMA
CARACTERIZACIÓN DE UN MATERIAL COMPUESTO DE UNA MATRIZ
DE POLIÉSTER REFORZADO CON FIBRA DE CORTEZA DE
EUCALYPTUS GLOBULUS MEDIANTE MOLDEO POR COMPRESIÓN**

**AUTORES:
ALEX DARIO ANGUAYA ISAMA
JIMMY DAVID GARCÍA QUIROZ**

**TUTOR
MILTON SALOMÓN JAMI LEMA**

Quito, abril de 2021

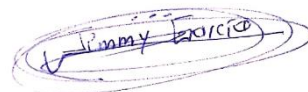
CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Nosotros, Alex Dario Anguaya Isama, con documento de identificación N° 1004034052 y Jimmy David García Quiroz con documento de identificación N° 0202048054 manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de titulación intitulado: CARACTERIZACIÓN DE UN MATERIAL COMPUESTO DE UNA MATRIZ DE POLIÉSTER REFORZADO CON FIBRA DE CORTEZA DE EUCALYPTUS GLOBULUS MEDIANTE MOLDEO POR COMPRESIÓN, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de Ingenieros Mecánicos, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribimos este documento en el momento que hacemos entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.



Alex Dario Anguaya Isama
C.I. 1004034052



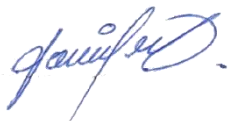
Jimmy David García Quiroz
C.I. 0202048054

Quito, abril del 2021

DECLARATORIA DE COAUTORIA DEL DOCENTE TUTOR

Yo declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el Proyecto Técnico, CARACTERIZACIÓN DE UN MATERIAL COMPUESTO DE UNA MATRIZ DE POLIÉSTER REFORZADO CON FIBRA DE CORTEZA DE EUCALYPTUS GLOBULUS MEDIANTE MOLDEO POR COMPRESIÓN, realizado por Alex Dario Anguaya Isama y Jimmy David García Quiroz, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana, para ser considerado como trabajo de final de titulación.

Quito, abril del 2021



Milton Salomón Jami Lema

CI: 1707254171

DEDICATORIA

El presente trabajo de titulación se lo dedico con mucho cariño y respeto a mis padres, Saúl y Marianita, por no dudar de mis capacidades, brindarme el apoyo económico y afectivo, y por siempre estar al pendiente de mí.

A mis abuelitos Abdón y María por haber llevado en muchas ocasiones el papel de unos padres abnegados, desde que nací hasta la actualidad. Me siento muy dichoso de tenerlos con vida y que puedan verme alcanzar mis metas. Estoy seguro que no me alcanzará la vida para agradecer todo lo que han hecho por mí.

A mis hermanos Mauricio, Hernán y Santiago por los momentos compartidos y el apoyo brindado durante el transcurso de mi carrera Universitaria.

A mí tía Chelita y a su esposo Rafael, por haber asumido el papel de unos padres durante mí estadía en la ciudad de Quito y apoyarme en todo momento.

Jimmy

El presente proyecto de titulación va dedicado a mis padres, Manuel y Rosita, por haberme dado ese apoyo incondicional en lo material, económico y emocional. Con sus consejos sabios y acertados me han llevado a tomar decisiones correctas en todo momento.

A mis hermanos Ronaldo, Dina e Hilda por el apoyo brindado. Ellos son mi motivación para seguir superándome.

A todos mis familiares que me supieron apoyar en momentos difíciles.

Alex

AGRADECIMIENTO

A mí tío Rafael García por todo el apoyo, la formación en valores y sabios consejos recibidos durante el transcurso de mi vida.

A mis tíos Rodrigo y Catalina Ramos por apoyarme siempre durante mi estadía en la ciudad de Quito. A mí tío político Lauro Chaves, por brindarme el cálido refugio de un hogar.

A la Universidad Politécnica Salesiana y de manera especial a la grandiosa Carrera de Ingeniería Mecánica, por darme la oportunidad de haber sido parte de sus estudiantes.

A todos los docentes que formaron parte de mi formación profesional, agradezco toda la paciencia y dedicación mostrada durante el transcurso de mi carrera, de manera especial al Ingeniero Milton Jami, quien nos supo guiar durante todo el trabajo de titulación.

A todos mis compañeros de estudio, de manera especial, a Alex Anguaya, Víctor Idrovo y Favio Silva, por todo el apoyo mostrado y las experiencias compartidas.

Jimmy

Agradezco a Dios por toda la bendición que ha derramado sobre mí, ha sido un ente sobrenatural que me ha guiado dándome sabiduría, inteligencia, paciencia y sobre todo cordura para sobreponerme cuando me encontraba en la soledad de mi cuarto.

A la Universidad Politécnica Salesiana, lugar que acogí como un segundo hogar, en donde pasé los mejores momentos de mi vida.

Finalmente, a todos los docentes que me guiaron en la formación académica, de manera especial a nuestro tutor de tesis, el Ingeniero Milton Jami, quien estuvo dispuesto a orientarnos durante el proceso de investigación del proyecto de titulación. A todos mis compañeros de estudio; de manera especial a mis amigos Jimmy García, Víctor Idrovo, Favio Silva y Sandro Chuqui, quienes fueron más que compañeros, unos amigos honorables.

Alex

ÍNDICE

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR.....	i
DECLARATORIA DE COAUTORIA DEL DOCENTE TUTOR	ii
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO	iv
ÍNDICE.....	v
ÍNDICE DE TABLAS	viii
ÍNDICES DE FIGURAS	ix
RESUMEN.....	xi
ABSTRACT.....	xii
GLOSARIO DE TÉRMINOS.....	xiii
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I.....	7
MARCO TEÓRICO.....	7
1.1 Materiales compuestos	7
1.1. Clasificación de los materiales compuestos	8
1.1.1. Según el tipo de refuerzo.....	8
1.1.2. Según el tipo de matriz.....	8
1.2. Resina poliéster	10
1.2.1. Tipos y aplicaciones de resinas Poliéster	10
1.2.2. Propiedades de las resinas Poliéster	11
1.2.3. Proceso de curado	12
1.3. Fibras naturales	13
1.3.1. Fibras vegetales o lignocelulósicas	14
1.3.2. Compuestos de matriz polimérica reforzados con fibras lignocelulósicas.....	16
1.3.3. Comparación entre fibras naturales y fibras sintéticas	16
1.3.4. Orientación de las fibras.....	17
1.3.5. Formas de obtener las fibras	18
1.4. Eucalipto	19
1.4.1. Corteza de eucalipto	20
1.5. Técnicas de fabricación.....	22
1.5.1. Moldeo por compresión	23
1.5.2. Salida de gases	23
1.5.3. Estratificación manual.....	23
1.6. Ensayos de caracterización mecánica	24
1.6.1. Ensayo de tracción	24
1.6.1.1. <i>Esfuerzo de tracción</i>	26
1.6.1.2. <i>Deformación unitaria axial</i>	26

1.6.1.3.	<i>Módulo de elasticidad</i>	27
1.6.2.	Ensayo de flexión	27
1.6.2.1.	<i>Esfuerzo máximo a flexión</i>	29
1.6.2.2.	<i>Deflexión máxima</i>	29
1.6.2.3.	<i>Módulo de elasticidad secante de flexión</i>	30
1.6.3.	Ensayo de impacto	31
1.6.3.1	<i>Masa media de falla</i>	31
1.6.3.2	<i>Altura media de falla</i>	31
1.6.3.3	<i>Energía de falla media</i>	32
CAPÍTULO II		33
MÉTODOLOGÍA EXPERIMENTAL.....		33
2.1.	Materiales y equipos	34
2.1.1	Materiales.....	34
2.1.2	Equipos.....	39
2.2.	Diseño y fabricación del molde.....	40
2.3.1.	Probetas de tracción	41
2.3.2.	Probetas de flexión.....	42
2.3.3.	Probetas de Impacto	43
2.3.4.	Distribución de las probetas en la plancha del molde	44
2.3.5.	Diseño del molde.....	45
2.3.6.	Construcción del molde.....	46
2.3.	Procedimiento para la obtención de las probetas	47
2.4.1.	Obtención, limpieza y secado de la fibra de eucalipto	47
2.4.2.	Ensayo del porcentaje de humedad	49
2.4.3.	Cálculo de densidad de la resina poliéster.	50
2.4.4.	Determinación de la densidad de la fibra de la corteza de eucalipto.....	51
2.4.5.	Cálculo de las fracciones volumétricas	52
2.4.6.	Proceso de obtención de las probetas de tracción, flexión e impacto.	54
CAPÍTULO III.....		62
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....		62
3.	Resultados de los ensayos	62
3.1.	Ensayo de tracción	62
3.2.	Ensayo de flexión.....	67
3.3.	Ensayo de impacto	72
3.4.	Discusión de resultados.....	74
3.5.	Aplicación industrial	75
4.	Análisis de costos.....	77

CAPÍTULO IV	79
Conclusiones	79
Recomendaciones.....	81
REFERENCIAS	83
ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tipos de poliéster más utilizadas y sus aplicaciones[32]	11
Tabla 2. Propiedades mecánicas de la resina poliéster[33]	11
Tabla 3. Principales ventajas del uso de fibras lignocelulósicas en compuestos de matriz polimérica[36]	16
Tabla 4. Comparación entre fibras sintéticas y naturales[37]	17
Tabla 5. Propiedades de la fibra de corteza del Eucalyptus[21]	20
Tabla 6. Energía de impacto Charpy de la corteza de Eucalipto[19]	21
Tabla 7. Disposición de grupos para las probetas	33
Tabla 8. Materiales utilizados en la realización de las probetas.....	34
Tabla 9. Equipos utilizados para la elaboración y ensayo de probetas	39
Tabla 10. Obtención de la densidad de la resina	51
Tabla 11. Número de muestras aplicadas para obtener la densidad de la fibra.....	52
Tabla 12. Cantidad de masa de fibra requerida según el volumen del molde	53
Tabla 13. Cantidad de resina poliéster requerida según el volumen del molde	53
Tabla 14. Valores del porcentaje resina en la elaboración del compuesto.....	54
Tabla 15. Designación del tipo de falla para las probetas de tracción	63
Tabla 16. Esfuerzo máximo a tracción y deformación última vs fracciones volumétricas	63
Tabla 17. Decremento del esfuerzo máximo a tracción con respecto a la resina.....	65
Tabla 18. Módulos de elasticidad a tracción y deformación unitaria vs fracciones volumétricas	66
Tabla 19. Incremento del módulo de elasticidad a tracción con respecto a la resina poliéster ..	67
Tabla 20. Descripción del tipo de falla para ensayos de flexión.....	68
Tabla 21. Esfuerzo máximo a flexión y fracciones volumétricas	68
Tabla 22. Decremento del esfuerzo máximo a flexión con respecto a la resina.....	69
Tabla 23. Módulo de elasticidad a flexión y fracciones volumétricas	70
Tabla 24. Incremento del módulo de elasticidad a flexión con respecto a la resina	71
Tabla 25. Energía media de fallo y fracciones volumétricas.....	72
Tabla 26. Incremento de la energía media de fallo con respecto a la resina.	73
Tabla 27. Comparación del material compuesto con respecto al material de resina pura.....	74
Tabla 28. Propiedades mecánicas del MDF[55]	75
Tabla 29. Propiedades mecánicas obtenidas del material compuesto de resina poliéster y fibra de corteza de eucalipto	76
Tabla 30. Costos aproximados que interviene en la elaboración de las probetas.....	77

ÍNDICES DE FIGURAS

Figura 1. Componentes de los materiales compuestos[14]	7
Figura 2. Configuración básica de un material compuesto [15]	8
Figura 3. Clasificación de los materiales compuestos según el tipo de refuerzo [16]	8
Figura 4. Estructura molecular de las matrices poliméricas [16].....	10
Figura 5. Estructura de los principales compuestos empleados en la síntesis de la resina poliéster insaturada [22].....	10
Figura 6. Proceso de curado de la resina poliéster [10]	13
Figura 7. Clasificación de las fibras naturales [21].....	14
Figura 8. Visualización esquemática de la pared celular vegetal, constituida por la lámina media (LM), una pared primaria (P) y una pared secundaria (S), que puede diferenciarse en capa externa (S1), media (S2) e interna (S3)[27].....	15
Figura 9. Representación esquemática de los principales constituyentes de la pared celular vegetal (Celulosa, lignina y hemicelulosa) [28].....	15
Figura 10. a) Fibras continuas y alineadas; b) fibras discontinuas y alineadas; c) fibras discontinuas y orientadas al azar [29]	18
Figura 11. Resistencia a la tracción (a) y módulo elástico (b) de compuestos de matriz de poliéster con diferentes fracciones de volumen de fibra de eucalipto[20].....	21
Figura 12. Resistencia al impacto Charpy (J/m) vs Porcentaje de fibra (%) [19].....	22
Figura 13. Técnicas de fabricación de los compuestos[9]	22
Figura 14. Moldeo por compresión [38]	23
Figura 15. Estratificación manual [2].....	24
Figura 16. Máquina para ensayos de tensión con sistema automático de procesamiento de datos[46].....	25
Figura 17. Probeta común con un extensómetro en la zona calibrada[46].....	25
Figura 18. Diagrama esfuerzo-deformación unitaria para un acero estructural común en tensión (no a escala)[46].....	26
Figura 19. Esfuerzo a flexión aplicado con una carga fija[49]	28
Figura 20. Esfuerzo a flexión aplicado con dos cargas simultáneas[49]	28
Figura 21. Dimensión de la probeta para ensayo a tracción de acuerdo con la Norma ASTM D3039[47].....	41
Figura 22. Dimensiones propuestas por la Norma ASTM 7264 para las probetas a flexión[49]42	
Figura 23. Dimensiones de las probetas a impacto de acuerdo con la Norma ASTM5628[53] 43	
Figura 24. Distribución de las 15 probetas en el molde	45
Figura 25. Base o hembra diseñado en inventor	46

Figura 26. Macho o tapa del molde diseñado en inventor	46
Figura 27. Base y tapa del molde	47
Figura 28. (a)Árbol joven;(b) árbol antiguo;(c) corteza de eucalipto	48
Figura 29. (a) Corteza ablandada y removido el material orgánico que protege a la fibra; (b) Fibra de la corteza de Eucalipto	48
Figura 30. (a) Lavando la fibra (b) Fibra lavada	49
Figura 31. Porcentaje de humedad medido antes y después del secado.....	49
Figura 32. (a) Pesar la resina (b) Medir el cambio de volumen	51
Figura 33. El nivel se toma en los 2 sentidos de las burbujas indicadoras para que no exista error de medida	54
Figura 34. Enserado del molde.....	55
Figura 35. Distribución de la fibra en el molde	56
Figura 36. Preparación de la resina poliéster	57
Figura 37. La tapa debe ir de forma tal que no exista ninguna obstrucción en las caras del molde para que encajen y de el espesor adecuado	58
Figura 38. Probeta terminada transcurrida las 4 horas	59
Figura 39. Corte láser de las planchas del material compuesto	59
Figura 40. Corte láser terminado, dando lugar a las probetas requeridas	60
Figura 41 (a) Probetas de flexión;(b) probetas de impacto;(c) probetas de tracción	61
Figura 42. Comparación entre esfuerzos máximos a tracción	64
Figura 43. Decremento de esfuerzos máximos a tracción con respecto a la resina	65
Figura 44. Comparación entre módulos de elasticidad a tracción	66
Figura 45. Incremento del módulo de elasticidad a tracción con respecto a la resina	67
Figura 46. Comparación entre esfuerzos máximos a flexión.....	69
Figura 47. Decremento de esfuerzos máximos a flexión con respecto a la resina.....	70
Figura 48. Comparación entre esfuerzos máximos a flexión promedios.	71
Figura 49. Incremento del módulo de elasticidad a flexión con respecto a la resina	72
Figura 50. Comparación entre las energías media de fallo promedios	73
Figura 51. Incremento de la energía media de fallo con respecto a la resina.....	74
Figura 52. Brida acoplado a un refrigerador[18].....	77

RESUMEN

En el capítulo I se estudió la situación actual de los materiales compuestos en la industria y las variables que intervienen en la caracterización mecánica de los mismos, además, las ventajas de utilizar una fibra natural como refuerzo de una matriz polimérica.

En el capítulo II se diseñó y se construyó un molde en acero ASTM A36, para obtener planchas con diferentes fracciones volumétricas, y luego ser cortadas a láser bajo las dimensiones especificadas en la norma ASTM D3039M-17, ASTM D7264M-15 Y ASTM D5628M-10 para ensayos de tracción, flexión e impacto respectivamente. Las fracciones volumétricas de material compuesto elaboradas son 70%-30%, 80%-20% y 90%-10% de matriz y refuerzo respectivamente.

En el capítulo III se evaluó el comportamiento mecánico del material compuesto, en donde, el grupo de probetas de 70% de matriz y 30% de refuerzo poseen el valor más alto de resistencia a la tracción y energía de impacto con 13.54 MPa y 0.75J respectivamente, por otro lado, el grupo de probetas con 90% de matriz y 10% de refuerzo presentan el valor más alto de esfuerzo máximo a flexión con 34.02 MPa.

Se elaboró y ensayó probetas de resina pura, luego se comparó con las propiedades mecánicas del material compuesto, en donde, se observa que el esfuerzo máximo a tracción y el esfuerzo máximo a la flexión disminuyen, mientras que el módulo de elasticidad a tracción, módulo de elasticidad a flexión y resistencia al impacto aumentan, todo esto con respecto a la resina.

Finalmente se investigó que el material compuesto puede ser utilizado en el área de la mueblería.

Palabras claves: caracterización, corteza de eucalipto, material compuesto, resina poliéster.

ABSTRACT

In Chapter I the current situation of composite materials in industry and the variables involved in their mechanical characterization were studied, as well as the advantages of using a natural fiber as reinforcement of a polymeric matrix.

In chapter II, a mold in ASTM A36 steel was designed and built, to obtain plates with different volumetric fractions, and then be laser cut under the dimensions specified in the ASTM D3039M-17, ASTM D7264M-15 and ASTM D5628M-10 standard for tensile tests, flexion and impact respectively. The volumetric fractions of composite material produced are 70% -30%, 80% -20% and 90% -10% of matrix and reinforcement respectively.

In chapter III the mechanical behavior of the composite material was evaluated, where the group of specimens with 70% matrix and 30% reinforcement have the highest value of tensile strength and impact energy with 13.54 MPa and 0.75 J respectively, on the other hand, the group of specimens with 90% matrix and 10% reinforcement presented the highest value of maximum bending stress with 34.02 MPa.

Pure resin specimens were developed and tested, then compared with the mechanical properties of the composite material, where it is observed that the maximum tensile stress and the maximum bending stress decrease, while the tensile modulus of elasticity, modulus of flexural elasticity and impact resistance are increased, all this with respect to resin.

Finally, it was investigated that the composite material can be used in the furniture area.

Keywords: composite material, characterization, eucalyptus bark, polyester resin.

GLOSARIO DE TÉRMINOS

Catalizador. - Son sustancias que aumentan significativamente la velocidad de una reacción química, sin que la misma sufra un cambio químico. Teniendo así sintetizar grandes cantidades de productos en tiempos razonables y económicos[1].

Celulosa. - Es un polímero natural que tiene como estructura base los enlaces 1,4- β glucosídico. Además tienen una estructura semicristalina que puede variar dependiendo del tipo de fuente[2].

Deformación unitaria. - Es la relación existente entre la deformación total y la longitud inicial del elemento, la cual permite determinar la deformación del elemento sometido a tensión o compresión axial[3].

Esfuerzo. - Es una propiedad de estado en un punto específico dentro de un cuerpo, la cual es una función de la carga, geometría, la temperatura y el proceso de manufactura[4].

Hidrofóbico. - Es la tendencia no polar de las moléculas de permanecer juntas en soluciones acuosas[5].

Lignina. - Es uno de los biopolímeros más abundantes en las plantas vasculares que conforma la pared celular de las mismas. Además se considera como un recurso renovable asequible y de uso potencial para la industria[6].

Tenacidad. - Es la energía por unidad de volumen que puede absorber un material antes de romperse, es equivalente al área debajo de la curva[7].

INTRODUCCIÓN

Los materiales compuestos son la combinación macroscópica de dos o más de dos materiales que tienen diferentes propiedades físicas o químicas, para dar como resultado un tercer material más eficaz y útil, en donde, la relación resistencia / peso es alta[8]. Un material compuesto de origen natural es la madera, que está formada por cadenas fibrosas de moléculas de celulosa en una matriz de polímero orgánico conocida como lignina, otro ejemplo son los tejidos óseos de los huesos, compuestos de cristales inorgánicos llamados hidroxiapatita en una matriz de un material orgánico llamado colágeno[9].

La historia de los compuestos modernos quizás comenzó en la década de 1930. En 1960, la introducción de compuestos a base de polímeros impulsó la explotación comercial por parte de múltiples sectores. Históricamente el avance y el crecimiento de las sociedades ha estado estrechamente relacionada con la experiencia de sus miembros para desarrollar y utilizar materiales para satisfacer sus necesidades, es así que, las antiguas civilizaciones han construido estructuras laminadas compuestas de materiales metálicos y no metálicos[10].

Los materiales compuestos han llegado a ser conocidos como los materiales emergentes de este siglo, sin embargo, el hombre se relacionó con este hecho tiempo atrás, es así que, se entendió que los ladrillos de barro hacían casas más resistentes si estaban revestidas con paja, los mismos que se utilizaban para construir edificios que duraban mucho tiempo[11].

Los polímeros por sí solos presentan baja resistencia mecánica, es por ello que se introdujo la utilización de la fibra de vidrio como refuerzo de la matriz, no obstante, este tipo de fibra sintética tiene un carácter no biodegradable y un alto coste, es así que, en la actualidad se busca reducir la fibra de vidrio por los compuestos de fibras naturales, los mismos que se están convirtiendo en una alternativa a muchas de las fibras sintetizadas químicamente dominantes desde la década de 1990[11][12] [13]. El sector industrial y los investigadores están aumentando su atención hacia las fibras naturales como material de refuerzo para la fabricación de materiales compuestos[13].

Sajin et. al [14] realizó un estudio con las fibras cortas de yute de variada longitud con resina poliéster para la fabricación de un material compuesto, la cual tuvo una porción constante de 70 y 30% como matriz y refuerzo, correspondientemente. De las cuales más se realizaron ensayos de tensión, flexión e impacto; obteniendo valores medidos de 20.3 a 72.8 MPa, 21.5 a 64.66 MPa y 0.39 a 0.61 J, respectivamente.

El uso de materiales compuestos híbridos reforzados con fibra de hoja piña y fibra de carbono, para la fabricación de ballestas de suspensión, logró reducir el peso del mismo con respecto al material acero, hasta en un 75%, por lo tanto, se mejora el consumo de combustible y el costo de producción en la fabricación de los vehículos[15].

Alemayehu et. al [16] los compuestos reforzados con fibra de sisal son atractivos debido a su alta resistencia, ligereza y biodegradabilidad. Por lo tanto, es un excelente reemplazo en aplicaciones de carrocerías de vehículos. Con la orientación de la fibra a 0°, 45°, 90° se logró caracterizar propiedades mecánicas a la tracción y a la flexión dando lugar: en el sentido bidireccional (0-90°) tiene una mayor resistencia a la tracción que en la orientación de 0 y 45°, caso similar ocurre en el ensayo de flexión.

Según Gaibor Chacha [17] en el Ecuador las universidades han realizado investigaciones en materiales compuestos llegando a experimentar con algunas de las 25 especies de plantas de las cuales la balsa, cabuya, totora, abacá, coco, palma, paja toquilla, algodón, bambú y caucho son las más renombradas. De donde se puede extraer las fibras para su uso en aplicaciones industriales.

Existen investigaciones previas realizadas por la Universidad Politécnica Salesiana, en donde, se investigó los materiales compuestos reforzados con fibra naturales. Se muestra la viabilidad de reemplazar a las fibras sintéticas. Tal es el ejemplo del trabajo denominado “Caracterización mecánica a flexión de materiales compuestos con matriz fotopolimérica reforzados con fibras de abacá y cabuya mediante impresión 3D,”. Se logró eliminar los atrapamientos de aire y así obtener un mejor acabado superficial, además, la inclusión de la fibra redujo el costo de procesamiento[18].

Según Barbosa et. al [19] estudiaron la tenacidad del material compuesto mediante el ensayo Charpy, la cual está constituida por resina poliéster reforzado con una fibra continua larga y alineada en la dirección longitudinal de la corteza de eucalipto, con una concentración volumétrica de 0, 10, 20 y 30 % de fibra. Los resultados mostraron que mientras se aumenta el contenido de fibra, la tenacidad del material también aumenta, es así que, el valor más alto de resistencia al impacto fue de 251.1 ± 24.3 J/m con 30 % de fracción en volumen de fibra. Así mismo, se realizó una observación macroscópica de las probetas posterior al ensayo, y un análisis de la fractura mediante un microscopio electrónico de barrido (SEM), llegando a identificar una ruptura a través de la interfaz, lo que resulta deseable en este tipo de materiales, de manera que se alcance una alta resistencia al impacto.

Oliveira et. al [20] compararon la resistencia a tracción entre una matriz de poliéster y una matriz epóxica, en los dos casos reforzado con fibras de eucalipto de 9 cm de longitud con una fracción en volumen de fibra del 30, 40 y 50 %. El material se obtuvo mediante moldeo por compresión. Con la ayuda de un molde de acero se aplicó una carga de 3 MPa. Luego de realizar los ensayos de tracción, se observó que la resistencia a la tensión no cambió para la matriz epóxica, mientras que para la matriz de poliéster disminuyó ligeramente, por otro lado, el módulo de elasticidad aumentó en ambos casos, sin embargo, este incremento fue más notorio en la matriz epóxica, hasta un valor de 50% más que la matriz pura. Además, se realizó un análisis SEM, en donde se observó la falta de adherencia entre el refuerzo y la matriz, debido al carácter hidrofóbico de la matriz y la presencia de agua en las fibras, así mismo, recomiendan utilizar un tratamiento químico para mejorar dicha interfaz de modo que se incrementen las propiedades mecánicas antes mencionadas.

Según Muñoz et. al [21] el volumen de la corteza del árbol *Eucalyptus globulus* es aproximadamente 9.3% del volumen total, además, la edad del árbol que comprende este valor está entre 4-7 años. Varias industrias madereras tales como: aserraderos, plantas de tableros, pulpaje y papel; así también como el sector de la exportación generan grandes cantidades de residuos en forma de astillas, aserrín y corteza; las cuales no son aprovechadas en los procesos. Es importante mencionar que la carencia o poca divulgación sobre las características además de la calidad de este subproducto forestal conlleva a que no sea tratado de manera sostenible[22] . Por otro lado, el consumo de fibra de vidrio a nivel mundial es extremadamente significativo, es por ello, que se busca reducir su consumo. En La fabricación de fibra de vidrio se consume altos niveles de energía; además, este tipo de fibra es contaminante. El Ecuador cuenta con mucha diversidad de plantas que pueden ser aprovechadas como refuerzo de una matriz polimérica, tal es el caso del árbol de eucalipto; presente en abundancia en la región Sierra. En este escenario, se propone la utilización de la corteza de eucalipto como refuerzo de una matriz de resina poliéster, para el desarrollo de un material compuesto y su posible aplicación industrial.

Los materiales compuestos son muy importantes para las diferentes áreas de aplicación de la Ingeniería como por ejemplo en la industria automotriz, aeronáutica, deportiva, biomedicina, aeroespacial y muchas otras; debido a su alta resistencia específica y tenacidad, así mismo presentan baja densidad y en consecuencia bajo peso. Las fibras naturales se encuentran en abundancia en la naturaleza, es por ello que es significativo el aprovechamiento de estos recursos naturales como refuerzo o relleno de una matriz polimérica. Su bajo coste de procesamiento y obtención de las fibras se traduce, por ejemplo, en amenorar la fracción volumétrica de la matriz y en consecuencia el coste del material compuesto. Por otra parte, se han realizado estudios en donde se presenta que el uso de fibras naturales ayuda a la degradación de los materiales compuestos de matriz polimérica. Las fibras naturales como refuerzo de una matriz polimérica han sido estudiadas a nivel nacional e internacional en muchos casos para reemplazar o disminuir el consumo de la fibra tradicional conocida como fibra de vidrio. El Ecuador es un país muy rico en fibras naturales, una gran cantidad de ellas ya han sido estudiadas, sin embargo, no se presentan estudios de la corteza de Eucalipto en el Ecuador, como refuerzo de una matriz polimérica. Por lo expuesto, se propone la caracterización mecánica de una matriz de poliéster reforzado con fibra de la corteza de Eucalipto, de

modo que se pueda conocer las propiedades mecánicas a tracción, flexión e impacto y sus posibles aplicaciones en la industria.

Este proyecto se centra en buscar la viabilidad de implementar en la industria un material compuesto de una matriz polimérica reforzado con fibra de corteza de eucalipto, las probetas se fabrican de acuerdo con las especificaciones técnicas de cada ensayo; las mismas que se rigen en las normas ASTM. La técnica de fabricación que se utiliza es la estratificación a compresión. Por lo tanto, los datos obtenidos de los ensayos mecánicos de tracción, flexión e impacto servirán para evaluar el desempeño con respecto a otras fibras naturales, además de analizar si la fibra actúa como refuerzo o relleno de la matriz a través del estudio comparativo de las propiedades mecánicas entre matriz pura y el material compuesto; esto mediante la adición de fibras a la resina, así mismo, se estudia los costos directos e indirectos en la obtención de las probetas.

Por otra parte, en el Área de Ciencia y Tecnología de la Universidad Politécnica Salesiana se estudian temas como el análisis estructural, ciencia e ingeniería de los materiales y comportamiento mecánico en general, es decir, se podrá ampliar los conocimientos a través del estudio de materiales compuestos.

El marco del presente trabajo de investigación se delimita en encontrar las propiedades mecánicas del material compuesto a la tracción, flexión e impacto a través de ensayos destructivos especificados en normas, dichos ensayos se los realizará en la Escuela Politécnica Nacional (EPN) y en la Universidad Técnica de Ambato (UTA). La fabricación del molde se lo realizará en la empresa Insoplastic ubicada en la ciudad de Quito. Se determinará la densidad del refuerzo y de la resina mediante un método gravimétrico a través del principio de Arquímedes, en los laboratorios de Ciencias de la Vida de la Universidad Politécnica Salesiana. Todo esto con el propósito de realizar un análisis comparativo de las propiedades mecánicas según las diferentes fracciones volumétricas del material compuesto, de manera que se pueda analizar la combinación que sobresale sobre el resto. Además, se propone el estudio de un material de resina pura para medir la influencia de la fibra de la corteza de eucalipto en el esfuerzo máximo a tracción, esfuerzo máximo a flexión y en la Energía Media de Fallo(EMF).

El objetivo general consiste en caracterizar un material compuesto de una matriz de poliéster reforzado con fibra de corteza de *Eucalyptus globulus* mediante moldeo por compresión.

Los objetivos específicos son:

- Establecer las ventajas y la situación actual que presentan los materiales compuestos a partir de la utilización de una fibra natural en la industria.

- Determinar las propiedades mecánicas del material compuesto variando el porcentaje de fracciones volumétricas entre el 10%-90%, 20%-80%, y 30%-70% de refuerzo dispuesto al azar y matriz respectivamente mediante el proceso descrito en las normas ASTM para los ensayos de tracción, flexión e impacto.

- Definir la combinación óptima del material compuesto mediante un análisis comparativo de resultados.

- Comparar las propiedades mecánicas del material compuesto con respecto a un material de resina pura.

- Establecer las aplicaciones viables en la industria del material compuesto obtenido basado en sus propiedades mecánicas.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1 Materiales compuestos

Los materiales compuestos son la combinación de dos o más materiales en distintas fases que tienen diferentes propiedades físicas o químicas para dar como resultado un nuevo material más eficiente y útil, en donde la relación resistencia peso es alta[8]. Los materiales compuestos son la unión de una matriz, que puede ser orgánica e inorgánica en fase continua con refuerzos en forma de partículas, fibras o láminas en fase dispersa. La unión de estas superficies de conexión se conoce como interfaz, que cumple con la función de garantizar la adherencia de las fases constituyentes del material. Una interfaz débil o inadecuada corresponde a una baja resistencia, debido que la carga de la matriz al refuerzo no se produce correctamente [10],[23],[24].

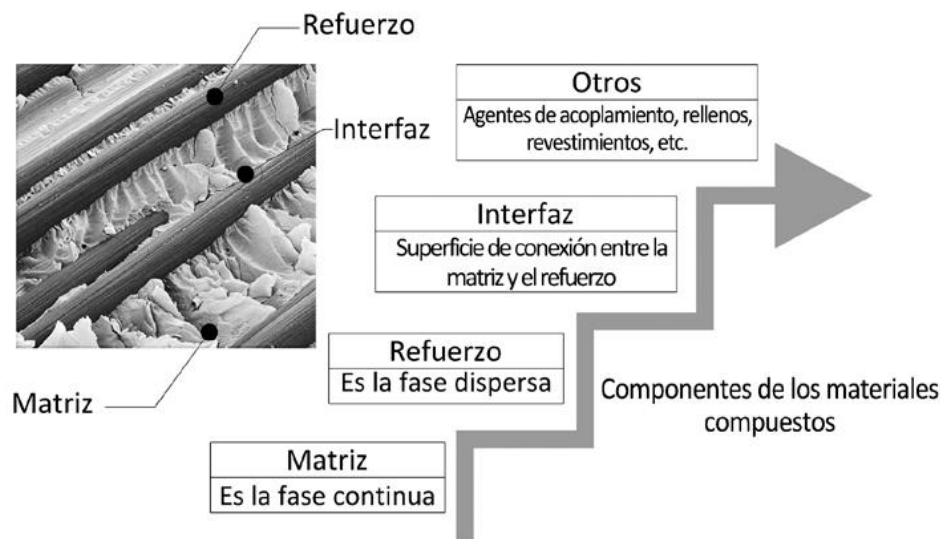


Figura 1. Componentes de los materiales compuestos[14]

La matriz cumple con varias funciones como escudar al refuerzo de la abrasión mecánica, proporcionar protección al refuerzo de las condiciones ambientales como la humedad, adherir los refuerzos y mantener la orientación del refuerzo [24]. Por otra parte, el refuerzo proporciona resistencia y rigidez, ayudando a soportar la carga estructural. La composición básica de un material compuesto es la que se muestra en la Figura 1.

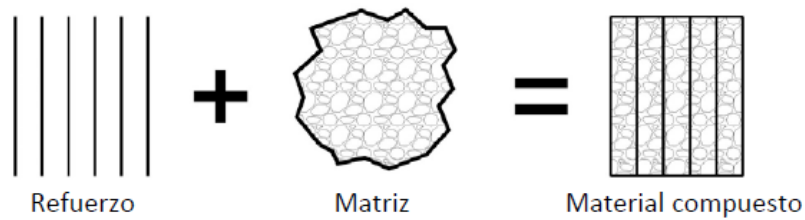


Figura 2. Configuración básica de un material compuesto [15]

Algunos factores que influyen en el comportamiento mecánico de los materiales compuestos son las dimensiones del refuerzo, la orientación del refuerzo, las técnicas de fabricación, la fracción en volumen de la matriz y refuerzo, entre otros [10].

1.1. Clasificación de los materiales compuestos

Generalmente los materiales compuestos se pueden clasificar de acuerdo al tipo de matriz y de acuerdo al tipo de refuerzo, como se muestra en los siguientes apartados.

1.1.1. Según el tipo de refuerzo

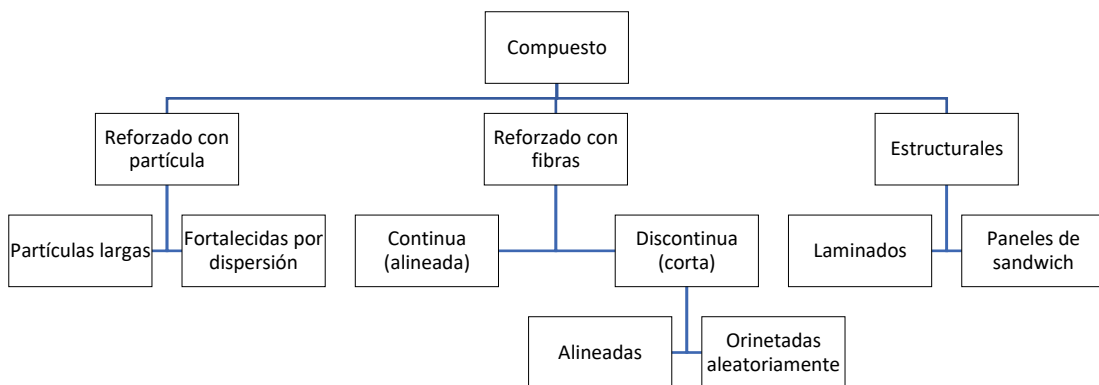


Figura 3. Clasificación de los materiales compuestos según el tipo de refuerzo [16]

1.1.2. Según el tipo de matriz

a. Matriz metálica

Son compuestos que tiene como base un metal. Son considerados en la industria como materiales avanzados[10]. Estos materiales brindan características que mejoran la resistencia, rigidez, resistencia a la abrasión, conductividad térmica, resistencia a la fluencia y también proporcionan estabilidad dimensional al material compuesto. El

titanio, el magnesio, el aluminio y el cobre son los materiales más comunes que se utilizan para la matriz[25].

b. Matriz cerámica

Las matrices cerámicas se caracterizan por resistir altas temperaturas, brindar buena resistencia mecánica y tenacidad, sin embargo, al ser un material duro también es frágil. En comparación con las matrices metálicas presentan menor densidad[26]. Las principales fibras de refuerzo utilizadas son las de carburo de silicio y las de óxido de aluminio[27].

c. Matriz Polimérica

Los compuestos avanzados más comunes son los de matriz polimérica que a su vez se clasifican en matrices termoplásticas, elastoméricas, termoestables. Las matrices termoplásticas tienen la característica para pasar de estado sólido a líquido cuando se someten a la acción de la temperatura, algunos ejemplos son el polietileno, polipropileno, tereftalato de polietileno entre otros. Los termoestables son polimerizados por una reacción química que generalmente no es reversible, no se funden al calentarse, sino que empiezan a degradarse. Algunos ejemplos son la resina poliéster, epoxi y fenólica. Las matrices elastoméricas tienen una zona elástica grande y pueden estirarse hasta cinco o seis veces su longitud original. Sin embargo, sus módulos de elasticidad son bajos [28].

- Matriz termoestable

Los termoestables se encuentran fuertemente unidos entre moléculas por enlaces covalentes entrecruzados, formando una estructura de red tridimensional, en gran medida reticulada, así mismo, tienen mayor dureza, resistencia y fragilidad; con respecto a los termoplásticos [29]. Estos polímeros no logran fluir al calentarlos para que puedan ser remodelados, es decir para que sean reutilizables. Las matrices termoestables más utilizadas son la resina poliéster, viniléster, epoxi y fenólicas, además, necesitan un agente externo (catalizador) para cambiar su estructura en otra diferente. Una vez que el termoplástico se endurece, resulta imposible regresar a su forma original, a diferencia de los termoplásticos [30].



Figura 4. Estructura molecular de las matrices poliméricas [16]

1.2. Resina poliéster

La resina poliéster es sintetizada por medio de la reacción de policondensación entre ácidos o anhídridos dibásicos saturados e insaturados con alcoholes u óxidos divalentes. Entre los reactivos que se usan con más frecuencia en la industria se encuentran el anhídrido maléico, anhídrido ftálico y el propilenglicol, así mismo, se utiliza un monómero estructural necesario para la reticulación del poliéster formado[31].

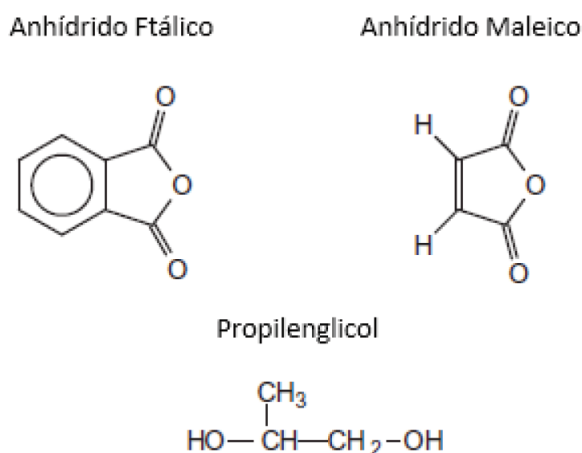


Figura 5. Estructura de los principales compuestos empleados en la síntesis de la resina poliéster insaturada [22]

1.2.1. Tipos y aplicaciones de resinas Poliéster

De manera general existen pocos tipos de resina poliéster, sin embargo, las más comunes son las ortoftálticas e isoftálticas que pueden ser pre-aceleradas y no preaceleradas (vírgenes). A continuación, se muestra los tipos de resina poliéster más utilizadas y sus aplicaciones.

Tabla 1. Tipos de poliéster más utilizadas y sus aplicaciones[32]

Tipos	Aplicaciones
Ortoftálticas	Semirrígidas: estratificados industriales, placas onduladas. Rígidas: barnices, preimpregnados
Isoftálticas	Gel coats, depósitos, ingeniería química.
Tereftálticas	Ingeniería Química, estratificados con alta resistencia química.
Tetrahidroftálticas	Barnices, depósitos de alimentos, cubas.
Bisfenólicas	Aplicaciones anticorrosión, alta resistencia química.

1.2.2. Propiedades de las resinas Poliéster

A continuación, se presenta las propiedades mecánicas de un tipo de resina poliéster, sin embargo, estas características pueden ser cuantificadas con valores diferentes, dependiendo del tipo de resina, proceso de curado, el tipo de catalizador y acelerante a utilizar, espesor de la lámina a conformar y en la aplicación o ausencia de presión.

Tabla 2. Propiedades mecánicas de la resina poliéster[33]

Propiedad	Valor
Densidad	$1.28 \frac{g}{cm^3}$
Dureza	110 <i>Rockwell M</i>
Esfuerzo máximo a la tracción	55 MPa
Esfuerzo máximo a la compresión	140 MPa
Tenacidad	$2 \frac{kJ}{m^2}$

Módulo de elasticidad	$3.5 \frac{GPa}{m^2}$
Deformación a la rotura	2 %
Conductividad Térmica	$3.5 \frac{W}{m^{\circ}C}$
Coefficiente de dilatación lineal	$100 \times 10^6 \text{ }^{\circ}C$
Absorción de agua 24hr, 20°C	0.15 %

1.2.3. Proceso de curado

Las resinas de poliéster son líquidas a temperatura ambiente y pueden ser llevadas a estado sólido, a este proceso se lo llama curado , polimerización o endurecimiento, que viene acompañado de una reacción exotérmica (desprende calor) que llega aproximadamente hasta 160°C, en el caso de las resinas pre-aceleradas, por la adición de un catalizador (iniciador); y para resinas no pre-aceleradas un acelerador y un catalizador[34].

El catalizador se encarga de dar inicio a la reacción, el más común es el metil-etil-cetona (Meck por sus siglas en inglés), los mismos que se añaden a la resina generalmente en un porcentaje del 1 al 3 %, por otra parte, el acelerador se selecciona según el catalizador; en procesos de curado a temperatura ambiente las sales de cobalto orgánicas suelen ser el acelerador y los porcentajes mínimos requeridos suelen estar entre 0.1 a 0.3 % respectivamente. Los aceleradores más utilizados son el octoato de cobalto y el naftanato de cobalto[30][34].

En el proceso de curado intervienen tres etapas:

- Gelificación: Es la etapa en que la resina cambia de un estado líquido viscoso a un estado de gel blando.
- Endurecimiento: Es la etapa en que la resina pasa de un gel blando a un estado de endurecimiento.
- Curado final: es la última etapa, en donde se completa el proceso de polimerización y el material obtiene sus propiedades mecánicas, físicas, químicas y eléctricas finales.

El proceso de curado de puede entender de mejor manera a partir de la Figura 6.

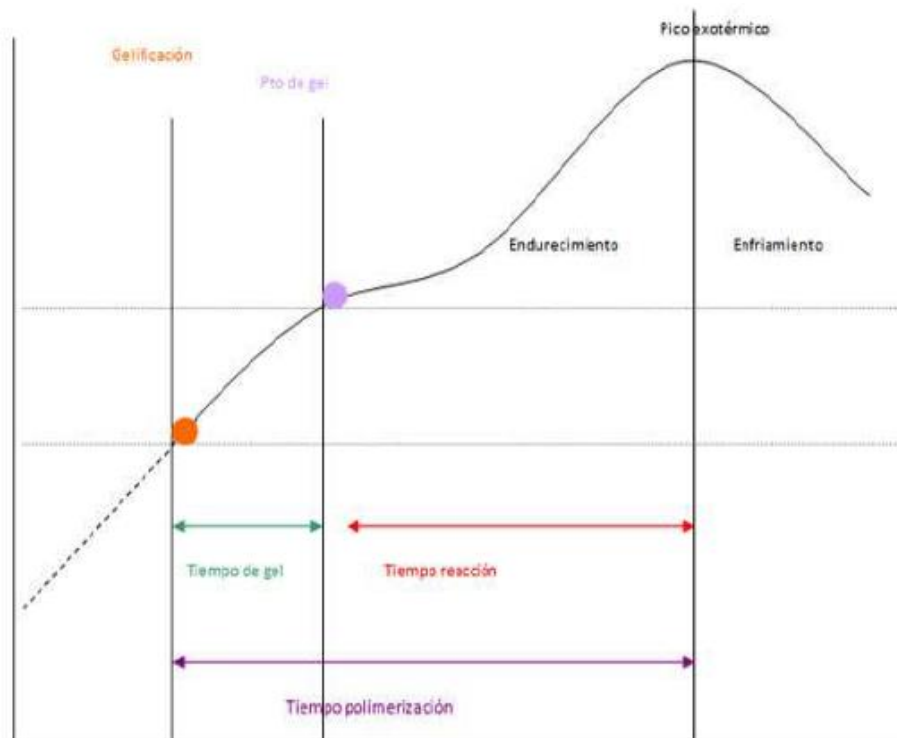


Figura 6. Proceso de curado de la resina poliéster [10]

Las dos primeras etapas del curado son relativamente cortas, no obstante, en la etapa del curado final, si se lo realiza a temperatura ambiente puede tardar de 24 a 48 horas para obtener un curado del 90%, así mismo, para que el curado se complete y se obtenga propiedades mecánicas y químicas óptimas, se necesita que el tiempo de curado sea de aproximadamente dos semanas; en caso de que el curado se lo realice con la adición de temperatura, la etapa final tarda varias horas[35].

1.3. Fibras naturales

Las fibras naturales se encuentran en la naturaleza en gran cantidad, y pueden proceder de tres fuentes distintas, como son: plantas (celulósicas/leñosas), animales y minerales, tal y como se muestra en la Figura 7 [29].

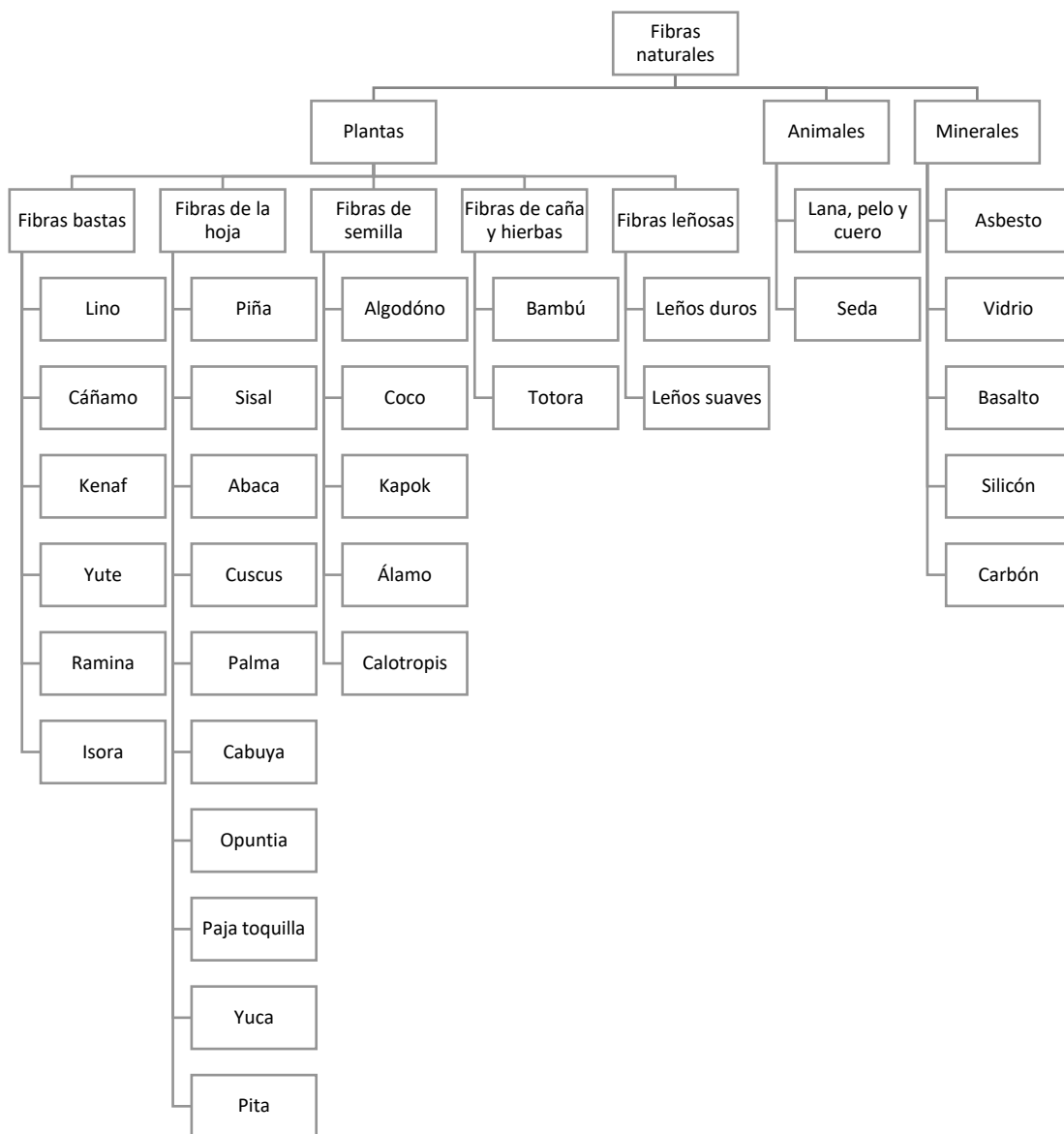


Figura 7. Clasificación de las fibras naturales [21]

1.3.1. Fibras vegetales o lignocelulósicas

Las fibras lignocelulósicas se encuentran en las plantas en forma de tejidos y están ubicados en las hojas, semillas, tallos y frutos, entre otros. Los componentes principales de estas fibras, y que por lo general se encuentran en mayor proporción son la celulosa, lignina y hemicelulosa, y en menor proporción las ceras, proteínas, pectina y ácidos grasos, dependiendo del tipo de planta [36]. La celulosa, hemicelulosa y lignina por lo general se encuentran en una proporción de 4:4:3 respectivamente[35].

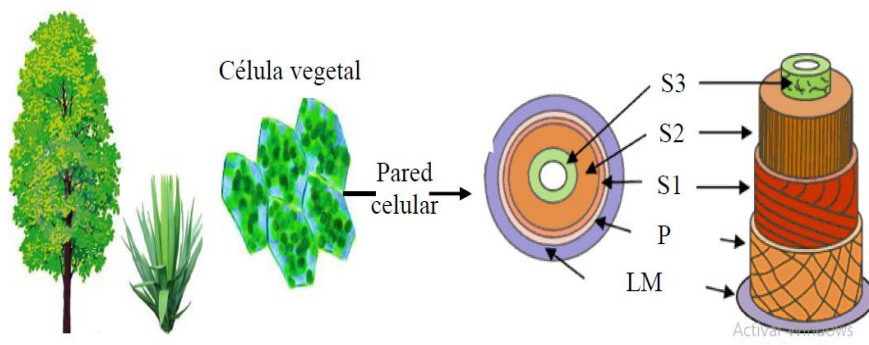


Figura 8. Visualización esquemática de la pared celular vegetal, constituida por la lámina media (LM), una pared primaria (P) y una pared secundaria (S), que puede diferenciarse en capa externa (S1), media (S2) e interna (S3)[27]

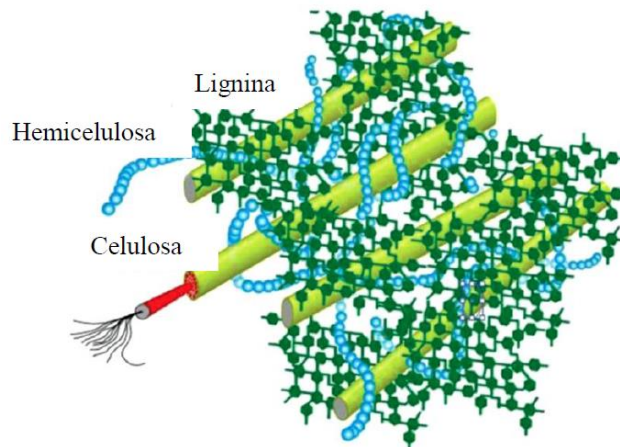


Figura 9. Representación esquemática de los principales constituyentes de la pared celular vegetal (Celulosa, lignina y hemicelulosa) [28]

Las propiedades específicas y la composición de las fibras lignocelulósicas dependen de varios factores como la edad de la planta, los métodos de obtención de la fibra, la temporada del año, entre otros. Debido a la diversidad de fibras lignocelulósicas las propiedades específicas como resistencia y rigidez varían de un tipo a otro. Se han realizado estudios que muestran que las fibras con un alto contenido de celulosa, un diámetro pequeño, alta cristalinidad y un bajo ángulo microfibrilar ayudan a obtener una alta resistencia y rigidez [36].

1.3.2. Compuestos de matriz polimérica reforzados con fibras lignocelulósicas

Las fibras lignocelulósicas son conocidas como rellenos en fabricación de materiales compuestos, los mismo que se clasifican en cargas y refuerzos. Cuando las propiedades mecánicas del material compuesto disminuyen, se denominan cargas, y son utilizadas para disminuir el uso de resina, y en consecuencia disminuir costos de producción, por otro lado, cuando las fibras actúan como refuerzo, las propiedades mecánicas específicas como rigidez y resistencia aumentan, con respecto a la matriz [36].

El estudio de materiales compuestos de matriz polimérica reforzados con fibras naturales ha despertado la atención a nivel nacional e internacional en las últimas décadas, debido a sus características, y de manera general, las fibras vegetales poseen altas propiedades específicas, baja densidad y peso, además, no son abrasivas, al contrario del refuerzo tradicional conocido como fibra de vidrio, así mismo, se encuentran de manera abundante en la naturaleza. Finalmente, son del tipo biodegradables, es decir amigables con el medio ambiente. A continuación, se presentan las ventajas y desventajas del uso de fibras vegetales en una matriz polimérica [36].

Tabla 3. Principales ventajas del uso de fibras lignocelulósicas en compuestos de matriz polimérica[36]

Ventajas	Inconvenientes
Origen renovable, abundancia y bajo coste	Calidad y propiedades variables
Biodegradabilidad/Compostabilidad	Relativamente baja estabilidad térmica
Baja densidad	Carácter hidrofílico
Alta resistencia mecánica específica	Degradación ambiental y biológica
Posibilidad de reciclar en matrices termoplásticas	
No abrasivas	

1.3.3. Comparación entre fibras naturales y fibras sintéticas

Las fibras naturales en comparación con las fibras sintéticas son más livianas y también exhiben propiedades mecánicas aceptables. Los compuestos con matriz polimérica

utilizan fibras sintéticas y naturales como refuerzo. Las fibras naturales poseen numerosas ventajas sobre las fibras sintéticas tales como propiedades físicas, mecánicas, corrosivas y térmicas, además el respeto al medio ambiente y un menor costo de producción, así mismo, las fibras naturales en comparación con las fibras sintéticas presentan algunas desventajas como absorción de agua, es decir presentan un carácter hidrófilo, para lo cual se necesitan procesos de eliminación de humedad, y propiedades mecánicas más bajas. En la Tabla 4 se muestran una confrontación entre las fibras sintéticas y naturales[37].

Tabla 4. Comparación entre fibras sintéticas y naturales[37]

Criterios	Fibra sintética	Fibra natural
Densidad	Alto	Bajo
Estructura de fibra	Puede ser modificada	No se puede modificar
Naturaleza	Hidrofóbico	Hidrófilo
Durabilidad, uso, costo	Alto	Bajo
Renovable y reciclable	No	Si
Biodegradabilidad	No	Si
Resistencia específica y módulo	Bajo	Alto
Fuerza y módulo	Alto	Bajo

1.3.4. Orientación de las fibras

Las fibras generalmente se disponen en dos direcciones: unidireccional y bidireccional. En la orientación unidireccional las fibras están alineadas en una sola dirección mientras que en la orientación bidireccional las fibras están dispuestas en ambos sentidos. Los compuestos que tiene arreglo unidireccional son muy fuertes en la dirección longitudinal de la fibra, pero débiles en la dirección perpendicular a las fibras. Mientras que el refuerzo bidireccional la resistencia es igual en ambos sentidos. En algunas aplicaciones se coloca de una menor cantidad de fibras en la dirección perpendicular para mitigar daños y la separación de la fibra durante la manipulación debido a la poca resistencia que esta ofrece en la otro sentido de la fibra[13].

Entonces se tiene los diferentes arreglos:

- Orientados al azar: generalmente este arreglo suele disponerse para fibras discontinuas y cortas.
- Perfectamente alineadas: este tipo de arreglo suele utilizarse en materiales compuestos reforzados con fibras continuas que requieren trabajar con cargas paralelas el eje de sus fibras[38].

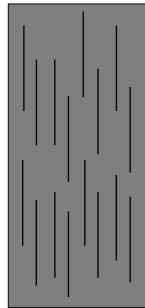


Figura a

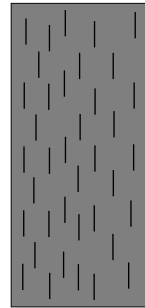


Figura b

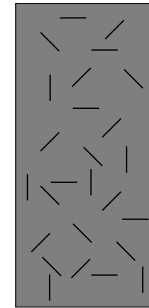


Figura c

Figura 10. a) Fibras continuas y alineadas; b) fibras discontinuas y alineadas; c) fibras discontinuas y orientadas al azar [29]

1.3.5. Formas de obtener las fibras

Las fibras vegetales que forman parte de las fibras naturales se pueden obtener de varias partes de la planta dependiendo de la ubicación de la fibra. Estas se clasifican en fibras blandas y fibras duras. Las fibras blandas son extraídas de los tallos mientras que las fibras duras se obtienen de las hojas, estas últimas tienen mayor grado de consistencia. Independientemente del uso de la fibra se necesita de procesos como el secado, enriado, machado y vareado; para la obtención de las fibras. Durante el proceso de purificación de las fibras, en la fase de peinado y rastrillaje se clasifican las fibras por tamaños para obtener hebras homogéneas[39].

El primer método para la obtención de las fibras blandas se denomina enriado, consiste en poner en remojo la materia prima en un recipiente (estanque) o directamente en el cauce de un río con poco caudal. Dicho proceso dura entre 1 y 3 semanas, este tiempo depende de la cantidad de materia prima y la dureza de esta. Con esto se logra la degradación de los tejidos y por ende la obtención de las fibras. Seguidamente, se extraen del agua, se limpian las fibras y se secan al sol[39].

El segundo método se utiliza para obtener fibras duras y se llama descortezación, por lo tanto, se separa la corteza de los tejidos manualmente o mediante el uso de maquinaria, seguidamente se secan al sol y finalmente por medio de un proceso químico se extrae la fibra. Este procedimiento lleva a cabo al poner las fibras en agua con sosa cáustica, fosforo u otros químicos para eliminar las gomas y pectinas que contiene los tejidos de la propia fibra[39].

1.4. Eucalipto

El eucalipto es el de árbol más plantado y forma una buena parte en la producción biocombustibles, productos químicos, fabricación de papel, nanomateriales, películas y aplicaciones biomédicas a partir de la biomasa. Este beneficio se consigue mediante varios procesos como la biorrefinería que es la separación selectiva de los componentes principales de los árboles como la hemicelulosa, celulosa y lignina[40].

La especie de eucalipto es un tipo de madera dura más plantado con aproximadamente 18 millones de hectáreas y de estas incluyen 700 especies que crecen zonas tropicales, subtropicales y templadas. Obteniendo ventajas sobre otras fuentes de biomasa como su alta densidad, bajo contenido de humedad, fácil cosecha, además de poder crecer en lugares apartados y en localidades donde haya escasez de agua se prefiere a este árbol como materia prima para la producción industrial[41].

El eucalipto globulus es un árbol de tronco cilíndrico recto y grueso, alcanza hasta los 2m de diámetro además alcanza alturas entre 45 y 55 m, el espesor de corteza es de 3cm que generalmente se desprende al madurar dejando una segunda corteza lisa, las hojas son de color gris-azulado y este depende de su edad[42].

En Ecuador la especie plantada es *E. globulus* que fue introducida en 1865. La altura para su mejor crecimiento se da en alturas de 2000 a 2900 m, pero además de esta hay otras especies en menor grado de concentración como *E. saligna*, *E. camaldulensiss* y de *E. robusta*. Las zonas con más abundancia de árboles están en la región sierra que ofrecen suelos de origen volcánico y muy fértiles. La longitud de la fibras en los eucaliptos no son muy largas y varían entre 0.6 a 1.44 mm de longitud[43].

1.4.1. Corteza de eucalipto

Según Muñoz et. al [21] la corteza puede contener fibras de aproximadamente de la misma longitud que las fibras de madera. Reportaron valores promedio de longitud de fibra de $l_f = 860\mu m$ y $d_f = 13.2\mu m$ para la madera, mientras que, para la fibra de la corteza obtuvieron valores promedio de $l_f = 1443\mu m$ de longitud y $d_f = 22.6\mu m$ de diámetro. En la Tabla 5 se muestra algunas propiedades obtenidas de la fibra de corteza del eucalipto globulus.

Tabla 5. Propiedades de la fibra de corteza del Eucalystus[21]

Propiedades evaluadas	Promedio	Desviación estándar	Coefficiente de variación (%)
Espesor de corteza, $E_c (mm)$	4.40	0.94	21.40
Volumen de corteza, $V_c (cm^3)$	837.88	278.07	30.22
Densidad anhidra, $D_o (kg \cdot m^3)$	757.31	41.52	5.48
Largo de fibra, $l_f (\mu m)$	1442.96	153.99	10.67
Diámetro de fibra, $d_f (\mu m)$	21.66	1.79	8.26
Razón l_f / d_f	69.14	11.49	16.61

El peso específico de la fibra de la corteza de eucalipto es una propiedad muy relevante ya que de esta depende los valores numéricos de resistencia/peso y rigidez/peso por lo tanto, las relaciones indicadas son utilizados como indicadores de efectividad de la fibra. Si la corteza posee un valor alto de peso específico significa que esta tiene suficiente fibra por unidad de volumen, en consecuencia, es provechoso para aplicaciones de refuerzo de una matriz termoplástica. Además, alrededor de los 200 °C comienza la degradación de la fibra, pero sigue conservando la masa que alrededor de los 250 °C empieza a perder peso, seguido de la etapa final y temperatura máxima soportada de 345 °C, no obstante, se considera que a los 200 °C tiene una mejor estabilidad térmica[21].

Existen estudios anteriores de materiales compuestos formados de resina poliéster con la corteza de Eucalipto, Según [20] et al estudiaron el comportamiento a tracción del material antes mencionado, con fracciones volumétricas del 30, 40 y 50 % de fibra, posterior a los ensayos, el material mostró una línea elástica típica seguido de una fractura repentina, es decir el material es frágil. Además, en la Figura 11 se aprecia que la resistencia a la tracción disminuyo ligeramente y el módulo elástico aumento, tomando como referencia la matriz de resina poliéster pura.

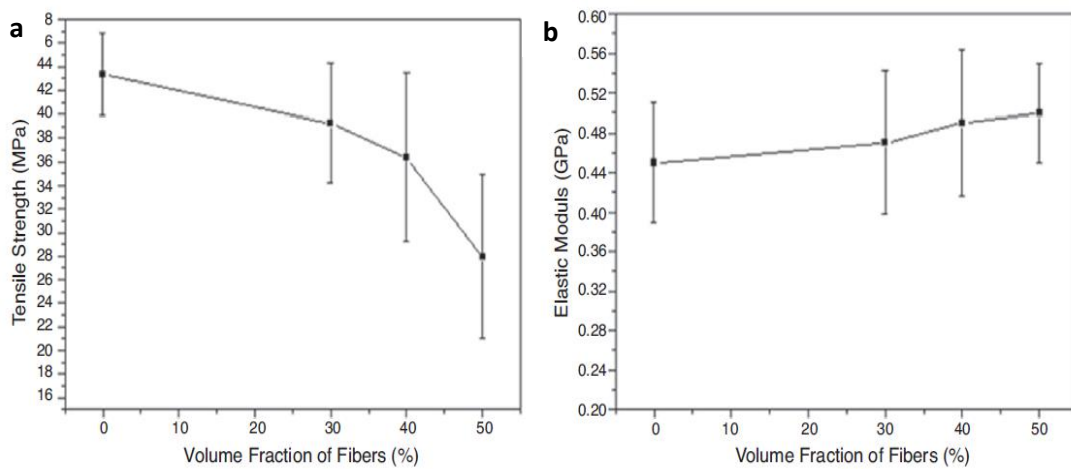


Figura 11. Resistencia a la tracción (a) y módulo elástico (b) de compuestos de matriz de poliéster con diferentes fracciones de volumen de fibra de eucalipto[20]

Un estudio realizado por [19] et al, sobre la tenacidad de un material compuesto de resina poliéster reforzado con fibras de la corteza de eucalipto, dispuestas de forma continuas y alineadas, utilizando la norma ASTM 6110-10, en donde se obtienen probetas de dimensiones de 63 x 12.7 x 10 mm, con muescas de 2.4 mm de profundidad a 45 grados y un radio de curvatura de la punta de 2 mm, para ser ensayadas mediante un péndulo de impacto, en donde se encontró los siguientes resultados.

Tabla 6. Energía de impacto Charpy de la corteza de Eucalipto[19]

Fracción volumétrica de fibra de la corteza de eucalipto(%)	Energía de impacto Charpy (J)
0	23.8±1.2
10	69.3±8.6
20	178.6±17.3
30	251.1±24.3

Como se observa en la Tabla 6 en tanto aumenta la fracción volumétrica de la fibra, también lo hace la energía de impacto, es así como, a partir de la Tabla 6 se obtiene la siguiente figura.

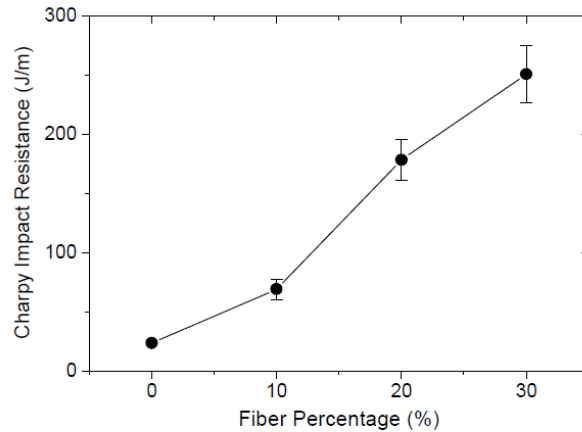


Figura 12. Resistencia al impacto Charpy (J/m) vs Porcentaje de fibra (%) [19]

1.5. Técnicas de fabricación

Los compuestos se pueden fabricar mediante variadas técnicas y a veces hay combinaciones de dos o más procesos. Las técnicas se escogen en función del tipo de matriz o material de fibra utilizado [9]. A continuación, se muestra una clasificación de las técnicas de fabricación.

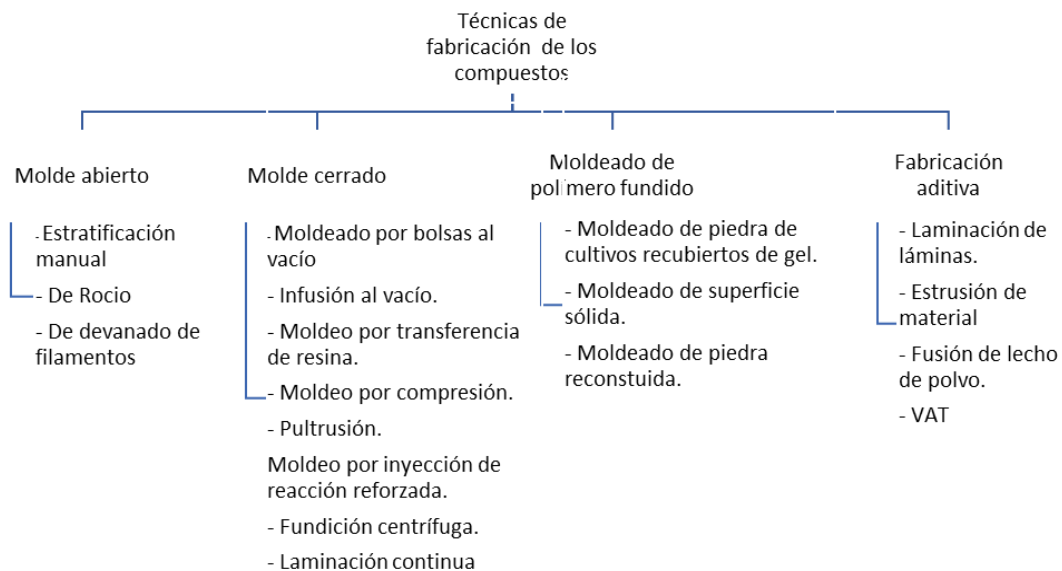


Figura 13. Técnicas de fabricación de los compuestos [9]

1.5.1. Moldeo por compresión

El moldeo por compresión es un procedimiento para la producción en masa de piezas complejas, las fibras son de longitud relativamente largas en comparación con el moldeo por inyección además este proceso es relativamente económico. Por lo tanto, las propiedades mecánicas del compuesto se sujeta a la orientación de la fibra y la fracción volumétrica[44]. Los compuestos reforzados con fibras largas hechos por moldeo por compresión suelen ofrecer propiedades mecánicas comparables con el aluminio[45].

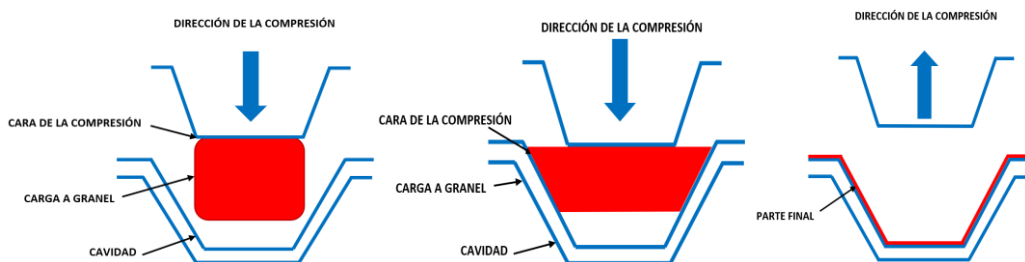


Figura 14. Moldeo por compresión [38]

1.5.2. Salida de gases

Son canales o agujeros muy pequeños creados en el molde, los mismo que son de un tamaño aproximado de 0.02mm. Estos permiten la salida de gases que se forman o existen en el molde al momento de ser comprimidos o inyectados. Además de esta forma permiten un llena del material homogéneo, así como también garantiza que la pieza generada no se adhiera a la cavidad[46],[47].

1.5.3. Estratificación manual

Es un método sencillo que se emplea para la producción de compuestos, este tipo de método es el más utilizado ya que requiere de una menor cantidad de equipos. El molde puede ser tan simple como una hoja plana o tener infinitas curvas y bordes. Antes del laminado, el molde se prepara con un agente desmoldante para asegurar que la pieza no se adhiera al molde[11].

El proceso de estratificación consiste en impregnar las fibras con resina de manera que se genere capas o divisiones de láminas en serie, una encima de la otra. Generalmente se utiliza cepillos y rodillos giratorios para introducir la resina en las fibras con el fin de eliminar burbujas de aire como se indica en la Figura 15. Este proceso no se requiere de calor para el curado, ya que los laminados se dejan a temperatura ambiente[9].

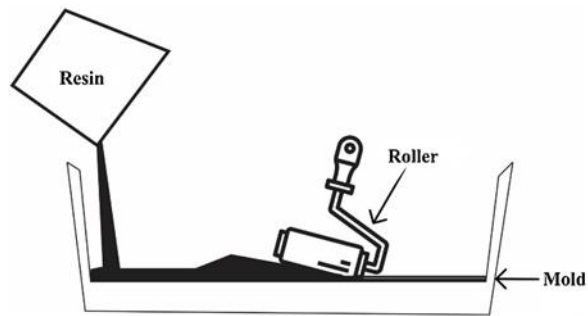


Figura 15. Estratificación manual [2]

En el proceso de elaboración del material compuesto mediante estratificación, se sigue los siguientes pasos:

- Impregnación: Se mezcla de manera uniforme la resina con las fibras.
- Estratificación: Se forman láminas en serie de la mezcla de resina con las fibras.
- Consolidación: Se elimina el aire de las láminas aplicando presión.
- Solidificación: La mezcla se endurece, a este paso se lo conoce como curado de la resina[17].

1.6. Ensayos de caracterización mecánica

En el siguiente apartado se muestran los diferentes ensayos a ocupar a lo largo de este documento tales como: ensayo a la tracción, flexión e impacto de manera que se pueda conocer las propiedades mecánicas del compuesto.

1.6.1. Ensayo de tracción

El procedimiento consiste en someter a tensión a muestras de materiales denominadas probetas, las mismas que son normalizadas según la sociedad americana de pruebas y materiales conocida como ASTM por sus siglas en inglés (American Society for Testing and Materials) en una máquina de tracción. La muestra de ensayo a tracción se coloca entre las mordazas de la máquina, luego se somete a tracción. Dispositivos de control miden las deformaciones y los sistemas de control automático y de procesamiento de datos tabulan y grafican los resultados[48].



Figura 16. Máquina para ensayos de tensión con sistema automático de procesamiento de datos[48]

En la Figura 17 se muestra en detalle una probeta sometida a tensión.

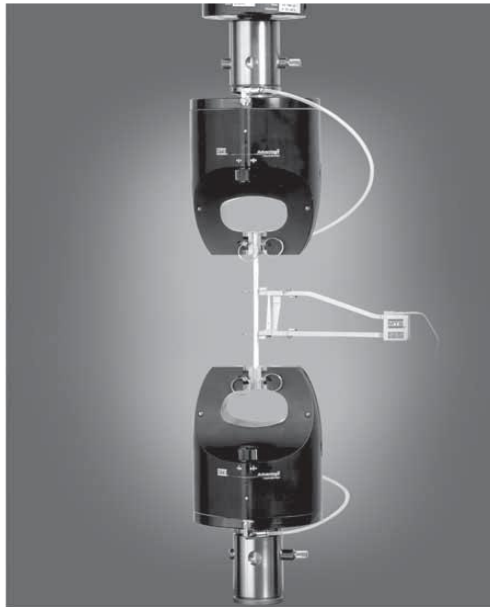


Figura 17. Probeta común con un extensómetro en la zona calibrada[48]

A continuación, se muestra el diagrama esfuerzo vs deformación unitaria puesto que los puntos importantes de análisis son el límite de proporcionalidad, el esfuerzo de fluencia y el esfuerzo último que resulta del ensayo de tensión de un acero dulce, cabe mencionar que para fines explicativos el grafico no está a escala[48].

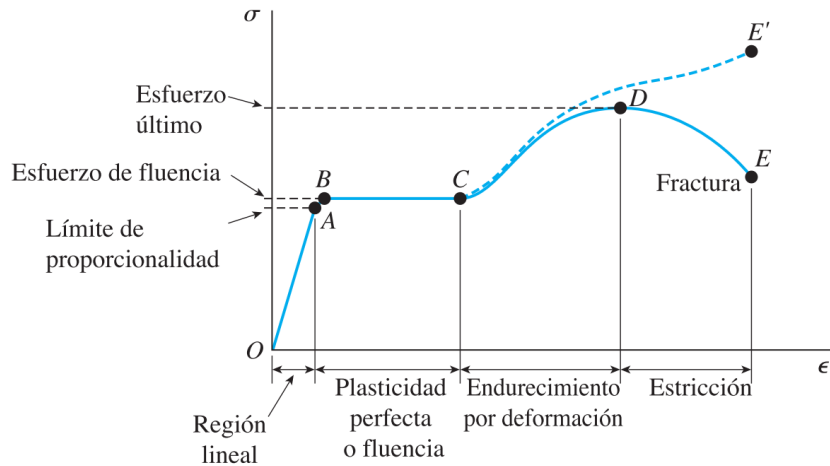


Figura 18. Diagrama esfuerzo-deformación unitaria para un acero estructural común en tensión (no a escala)[48]

Las ecuaciones a utilizar en el ensayo de tensión son la del esfuerzo, deformación unitaria, el módulo de elasticidad y el porcentaje de alargamiento, de modo que se puedan caracterizar la muestra del material a tracción[49].

1.6.1.1.Esfuerzo de tracción

Se calcula de la siguiente manera:

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (1)$$

Donde:

σ = Esfuerzo axial a tracción

P = Carga en la dirección axial

A = Área de la sección transversal

1.6.1.2.Deformación unitaria axial

La deformación unitaria ϵ es el cambio de longitud por unidad de área, la cual se determina dividiendo la zona de alargamiento δ obtenido para la longitud inicial calibrada L :

$$\epsilon = \frac{\delta}{L} \quad (2)$$

Donde:

ε = Deformación unitaria

δ = Alargamiento medido a través del extensómetro

L = Longitud inicial calibrada

1.6.1.3. Módulo de elasticidad

Se cuantifica mediante los valores de esfuerzo y deformación en la parte recta de la curva:

$$E = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon} \quad (3)$$

Donde:

E = Módulo de elasticidad

$\Delta\sigma$ = Diferencia de esfuerzos aplicados entre dos puntos de deformación

$\Delta\varepsilon$ = Diferencia de deformación entre dos puntos

La ductilidad de un material en tensión se puede caracterizar por su alargamiento y la reducción de su área en la sección transversal donde ocurre la fractura. El porcentaje de alargamiento se define como sigue:

$$\text{Porcentaje de alargamiento} = \frac{L_1 - L_0}{L_0} * 100 \quad (4)$$

Donde:

L_0 = Longitud calibrada inicial

L_1 = Distancia entre las marcas de calibración en la fractura

1.6.2. Ensayo de flexión

El ensayo a flexión es un procedimiento que se basa en el pandeo de una viga o probeta por efectos de carga en el eje perpendicular al axial. Este ensayo consta de cargar una viga de forma prolongada o constante para medir la capacidad de resistencia de la viga ante fuerzas externas e internas que van en la dirección de la gravedad. Generalmente el

método es utilizado para calcular el esfuerzo a flexión que actúan o soporta la viga cuando se le es aplicada una carga, estas incluyen deflexiones que se generan por el momento que efectúa la carga[50].

Según la Norma ASTM/D7264 existen 2 procedimientos las cuales se describen de la siguiente manera: el primer procedimiento es en la cual la barra o viga descansa sobre dos soportes y la carga se aplica de forma simétrica en el medio de los dos soportes tal cual se aprecia en la Figura 19. En el segundo procedimiento la barra o viga descansa sobre dos soportes y la carga se aplica en dos puntos simétricos desde el punto de apoyo adyacente mostrado en la Figura 20 [51].

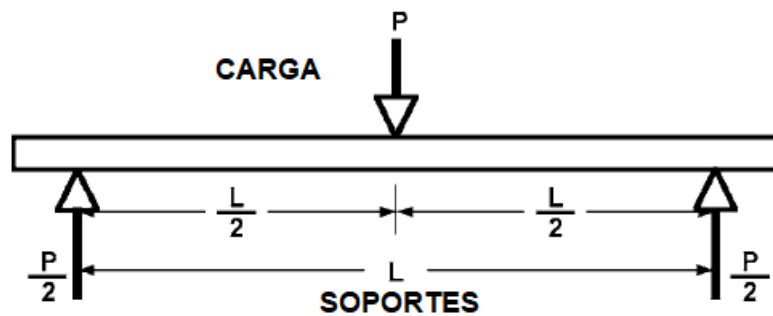


Figura 19. Esfuerzo a flexión aplicado con una carga fija[51]

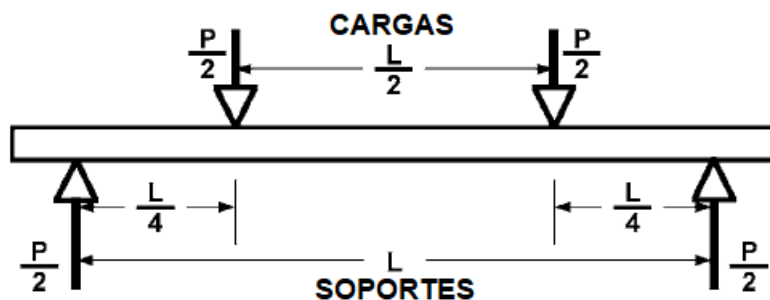


Figura 20. Esfuerzo a flexión aplicado con dos cargas simultáneas[51]

Estos métodos determinan las propiedades a flexión incluyendo la resistencia, la rigidez y el comportamiento de carga/deflexión de los materiales compuestos de matriz polimérica. Las propiedades determinadas por estos procedimientos pueden ser utilizados con fines de control de calidad y pueden encontrarse aplicaciones de diseño. El número de pruebas a realizarse son cinco para poder obtener resultados válidos. La velocidad de

prueba o de avance de la máquina debe ser de 1.0 mm / min para probetas con dimensiones estándar[51].

1.6.2.1.Esfuerzo máximo a flexión

La ecuación 5 se aplica para el procedimiento donde la viga es apoyada en dos soportes con una sola carga y la ecuación 6 se aplica para el procedimiento donde la viga es cargada en dos puntos simétricos del espécimen.

$$\sigma = \frac{3PL}{2bh^2} \quad (5)$$

$$\sigma = \frac{3PL}{4bh^2} \quad (6)$$

Donde:

σ = es la tensión superficial (MPa)

P = es la fuerza aplicada (N)

L = es la longitud desde el apoyo (mm)

b = es el ancho de la viga (mm)

h = es el espesor de la viga (mm)

1.6.2.2.Deflexión máxima

La deformación máxima en la superficie exterior puede ser calculado de la siguiente forma para ambos casos de aplicación de la carga.

Con una sola carga en la mitad de la viga.

$$\epsilon = \frac{6\delta h}{L^2} \quad (7)$$

Donde:

ϵ = es la deformación máxima en la superficie exterior (mm/mm)

δ = es la deflexión en la mitad del tramo (mm)

L = es distancia de apoyo (mm)

h = es el espesor de la viga (mm)

Con dos cargas a distancias simétricas desde el apoyo.

$$\epsilon = \frac{4.36\delta h}{L^2} \quad (8)$$

Donde:

ϵ = es la deformación máxima en la superficie exterior (mm)

δ = es la deflexión en la mitad del tramo (mm)

L = es la distancia de apoyo (mm)

h = es el espesor de la viga (mm)

1.6.2.3. Módulo de elasticidad secante de flexión

Es la relación entre el esfuerzo y la deformación en cualquier punto dado de la curva tensión-deformación y se calcula de la siguiente forma.

Para el procedimiento con una sola carga

$$E_f^{secant} = \frac{L^3 m}{4bh^3} \quad (9)$$

Donde:

E_f^{secant} = es el módulo de elasticidad secante a la flexión (MPa)

L = es la distancia del soporte (mm)

b = es el ancho de la viga (mm)

h = es el espesor de la viga (mm)

m = es la pendiente de la secante de la curva fuerza-deflexión.

Para el procedimiento de dos cargas a distancias simétricas.

$$E_f^{secant} = \frac{0.17L^3 m}{bh^3} \quad (10)$$

1.6.3. Ensayo de impacto

Los ensayos de impacto determinan la fragilidad o capacidad de un material de absorber cargas instantáneas bajo condiciones impuestas, además cuando las piezas experimentan concentración de tensiones, cambios de sección, maquinados incorrectos, fileteados, entre otros. El desplazamiento que ocurre en las probetas se conoce como resiliencia[52], [53].

Los ensayos dinámicos de impacto generalmente se realizan en máquinas llamadas péndulos o martillos pendulares, en las cuales se verifica el comportamiento de los materiales al ser golpeados por una masa conocida que se deja caer de una altura determinada. Existen dos métodos para realizar este ensayo el primero es el método de Izod y el segundo es el método de Charpy, en ambos procedimientos la rotura se produce por la flexión de la probeta[53], [54].

Según la Norma ASTM D5628 establece que se deja caer un dardo con una masa constante a cuál se le varia la altura. El ensayo consiste en precisar la altura en la que el material falle al dejarse caer un dardo, de esta manera se aumenta o disminuye la altura hasta que material falle. Además, se verifica que el dardo no rebote sobre la probeta, sino que solo de un solo golpe[55].

La finalidad de este ensayo es conocer la cantidad de energía que este material puede absorber, para esto la probeta debe estar en perfectas condiciones y sin ningún tipo de fallas o imperfecciones en la zona de impacto. La energía medida se representas en Joules (J).

1.6.3.1 Masa media de falla

Si se utiliza una altura constante, la masa media de falla se calcula de la siguiente forma:

$$w = w_o + d_w (A / N \pm 0.5) \quad (11)$$

1.6.3.2 Altura media de falla

Si se utiliza el procedimiento con masa constante la altura media de falla los datos se obtienen así:

$$h = h_o + d_h(A / N \pm 0.5) \quad (12)$$

Donde:

w = es la masa media de falla (kg)

h = es la altura media de falla (mm)

d_w = incremento del peso (kg)

d_h = es el incremento de la altura (mm)

N = es el número total de fallas o no fallas registrado

w_o = es la masa más pequeña a la que ocurre el fallo (kg)

h_o = es la altura más baja a la que ocurre el fallo (mm)

$$A = \sum_{i=0}^k in_i$$

$i = 0,1,2\dots k$ (índice de conteo comienza en h_o o w_o)

n_i = número de fallas que ocurren en (h_i o w_i)

$$w_i = w_o + id_w$$

$$h_i = h_o + id_h$$

1.6.3.3 *Energía de falla media*

La energía de falla media se calcula de la siguiente forma:

$$MFE = hwf \quad (13)$$

Donde:

MFE = energía media de falla (J)

h = es la altura media de falla o constante según corresponda (mm)

w = es la masa media falla o constante (kg)

f = factor de conversión a Joules, use $f = 9.80665 \times 10^{-3}$ si h =mm y w =kg

CAPÍTULO II

MÉTODOLOGÍA EXPERIMENTAL

En el presente capítulo se detalla los materiales, equipos, diseño y fabricación del molde además de la metodología empleada para la obtención del material compuesto.

Las fracciones volumétricas empleadas, son las que se muestran en la Tabla 7, refiriéndose a M para la matriz y R para el refuerzo.

Tabla 7. Disposición de grupos para las probetas

Tracción, flexión e impacto				
Grupo A	Fracción Volumétrica	Tipo de fibra	Orientación	N° de probetas
1	100% M/0%R	Sin fibra	NA	15
Tracción				
Grupo B	Fracción volumétrica (%)	Tipo	Orientación	N° de probetas
1	90% M/ 10% R	Mixta	Al azar	5
2	80% M/ 20% R	Mixta	Al azar	5
3	70% M /30% R	Mixta	Al azar	5
Flexión				
Grupo C	Fracción volumétrica (%)	Tipo	Orientación	N° de probetas
1	90% M / 10% R	Mixta	Al azar	5
2	80% M / 20% R	Mixta	Al azar	5
3	70% M / 20% R	Mixta	Al azar	5
Impacto				



Grupo D	Fracción volumétrica (%)	Tipo	Orientación	N° de probetas
1	90% M / 10% R	Mixta	Al azar	5
2	80% M / 20% R	Mixta	Al azar	5
3	70% M / 30% R	Mixta	Al azar	5
Total Probetas				60





Elaborado por: Jimmy García y Alex Anguaya



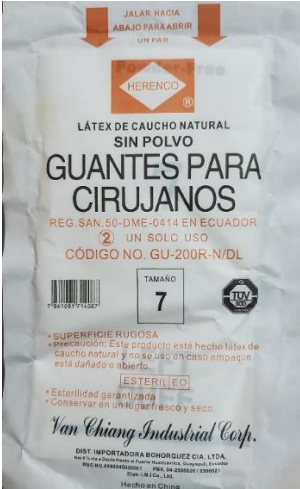
2.1. Materiales y equipos


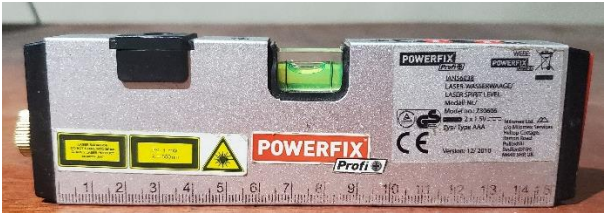


2.1.1 Materiales

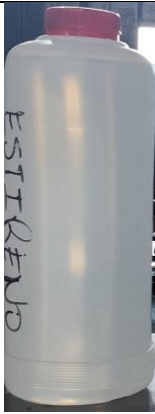



Tabla 8. Materiales utilizados en la realización de las probetas

Nombre	Representación gráfica
Envases plásticos	
Guaípe	
Llave inglesa #14	

	
Mandil	
Jeringuillas de 5 y 10 ml	
Cera desmoldante	
Probeta graduada	

	
<p>Resina</p>	
<p>Guantes de látex</p>	
<p>Lijas #150</p>	

	
<p>Nivel</p>	
<p>Calibrador</p>	
<p>Tornillo y perno #10</p>	
<p>Estireno</p>	

	
Catalizador	
Acelerador	
Tiñer	

Elaborado por: Jimmy García y Alex Anguaya

2.1.2 Equipos

Tabla 9. Equipos utilizados para la elaboración y ensayo de probetas

<p>Máquina universal de ensayos marca: Tinius Olsen, modelo: H25KS; capacidad máxima 25 kN. Se utiliza la misma máquina para ensayos de tracción y ensayos de flexión.</p>	 Two universal testing machines of the Tinius Olsen H25KS model are shown side-by-side. They are white with blue accents and feature digital displays on the right side. The machines are used for tensile and flexion tests.
<p>Máquina tipo caída de masas de Impacto</p>	 The image shows two components of an impact testing machine. On the left is a pendulum arm with a weight, mounted on a base. On the right is a red tray containing several cylindrical weights of different sizes, used for impact testing.
<p>Analizador de humedad marca Mettler Toledo HB43-S</p>	 A Mettler Toledo HB43-S moisture analyzer is shown. It is a white and black device with a digital display showing '2.486 g'. The lid is open, revealing a sample of brown material in a weighing pan inside the chamber.

<p>Estufa de convección forzada marca Esco.</p>	
<p>Torquímetro</p>	
<p>Balanza semi analítica de capacidad 2200 g con una resolución de 0.1 g</p>	
<p>Balanza digital</p>	

Elaborado por: Jimmy García y Alex Anguaya

2.2. Diseño y fabricación del molde

Son las dos causas para considerar para la fabricación de la matriz. Por lo tanto, en esta sección se detalla las dimensiones del molde a obtener garantizando que se consiga las probetas propuestas en las Normas ASTM 3039 para ensayos a flexión, ASTM 7264 para ensayos a tracción y ASTM 5628 para los ensayos a impacto. Entonces, las dimensiones del molde se pueden optimizar de modo que se obtenga 5 probetas por cada tipo de

ensayo. En consecuencia, se calculó el volumen de las probetas para luego encontrar un volumen total de 15 probetas en una sola plancha del material compuesto.

2.3.1. Probetas de tracción

En los ensayos a tracción para las probetas están dispuestas bajo la normativa ASTM D3039, en la cual se procede a dar las dimensiones recomendadas.

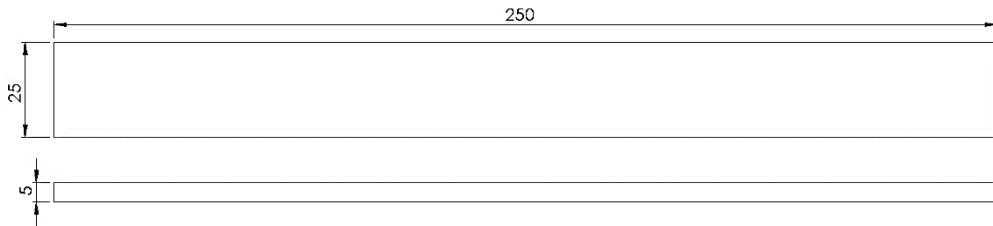


Figura 21. Dimensión de la probeta para ensayo a tracción de acuerdo con la Norma ASTM D3039[49]

Con las dimensiones propuestas en la Figura 21 se procede a determinar el volumen general de las probetas a tracción.

Cálculo del área:

$$A = l * a \quad (14)$$

Donde:

l = largo de la probeta en (mm)

a = ancho de la probeta en (mm)

$$A = 250mm * 25mm$$

$$A = 6250mm^2$$

Cálculo del volumen:

$$V = A * e \quad (15)$$

Donde:

A = área de la probeta en (mm)

e = espesor de la probeta en (mm)

$$V = 6250mm^2 * 5mm$$

$$V = 31250mm^3$$

$$V = 31.25cm^3$$

Por lo tanto, para 5 probetas se tiene:

$$V_T = 31.25cm^3 * 5$$

$$V_T = 156.25cm^3$$

2.3.2. Probetas de flexión

La ASTM D7264 dispone dimensiones para las probetas indicado en la Figura 22 las cuales se realizarán los ensayos a flexión.

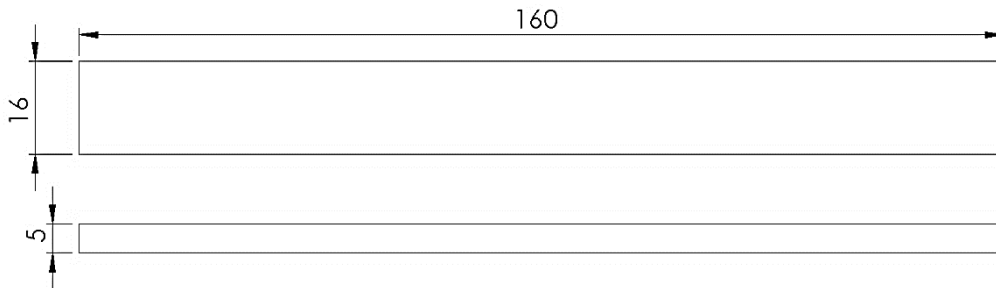


Figura 22. Dimensiones propuestas por la Norma ASTM 7264 para las probetas a flexión[51]

Con las dimensiones propuestas en la Figura 22 se procede a calcular el volumen general de las probetas de flexión.

Cálculo del área:

$$A = l * a$$

Donde:

l = largo de la probeta en (mm)

a = ancho de la probeta en (mm)

$$A = 160mm * 16mm$$

$$A = 2560mm^2$$

Cálculo del volumen:

$$V = A * e$$

A = área de la probeta en (mm)

e = espesor de la probeta en (mm)

$$V = 2560mm^2 * 5mm$$

$$V = 12800mm^3$$

$$V = 12.80cm^3$$

Por lo tanto, para 5 probetas se tiene un volumen de:

$$V_F = 12.80cm^3 * 5$$

$$V_F = 64cm^3$$

2.3.3. Probetas de Impacto

La Norma ASTM D5628 designa valores recomendados de dimensiones para las probetas de impacto.

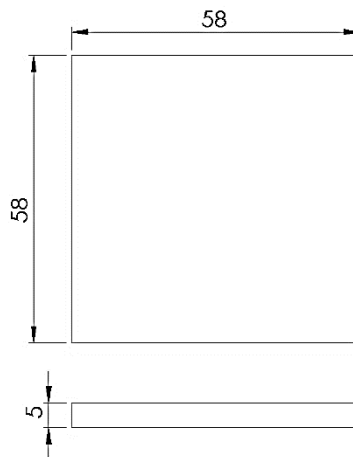


Figura 23. Dimensiones de las probetas a impacto de acuerdo con la Norma ASTM5628[55]

Con las dimensiones de la Figura 23 se procede a sacar el volumen general de las probetas a impacto.

Cálculo del área:

$$A = l * a$$

Donde:

l = largo de la probeta en (mm)

a = ancho de la probeta en (mm)

$$A = 58mm * 58mm$$

$$A = 3364mm^2$$

Cálculo del volumen:

$$V = A * e$$

A = área de la probeta en (mm)

e = espesor de la probeta en (mm)

$$V = 3364mm^2 * 5mm$$

$$V = 16820mm^3$$

$$V = 16.82cm^3$$

Por consiguiente, el volumen para las 5 probetas es:

$$V_I = 16.82cm^3 * 5$$

$$V_I = 84.1cm^3$$

Entonces se tiene que, para obtener 15 probetas, 5 por cada tipo de ensayo en una sola plancha el volumen aproximado es:

$$V_T = V_F + V_T + V_I \quad (16)$$

$$V = (156.25 + 64.84.1)cm^3$$

$$V = 304.65cm^3$$

Una vez obtenida el volumen se procede a distribuir las probetas en área del molde a fabricarse con el fin de dimensional el molde.

2.3.4. Distribución de las probetas en la plancha del molde

En la Figura 24 se muestra la distribución de las probetas en un área efectiva de $79200mm^2$, donde se obtiene 5 probetas de flexión (F), 5 probetas de tracción (T) y 5 probetas de impacto (I).

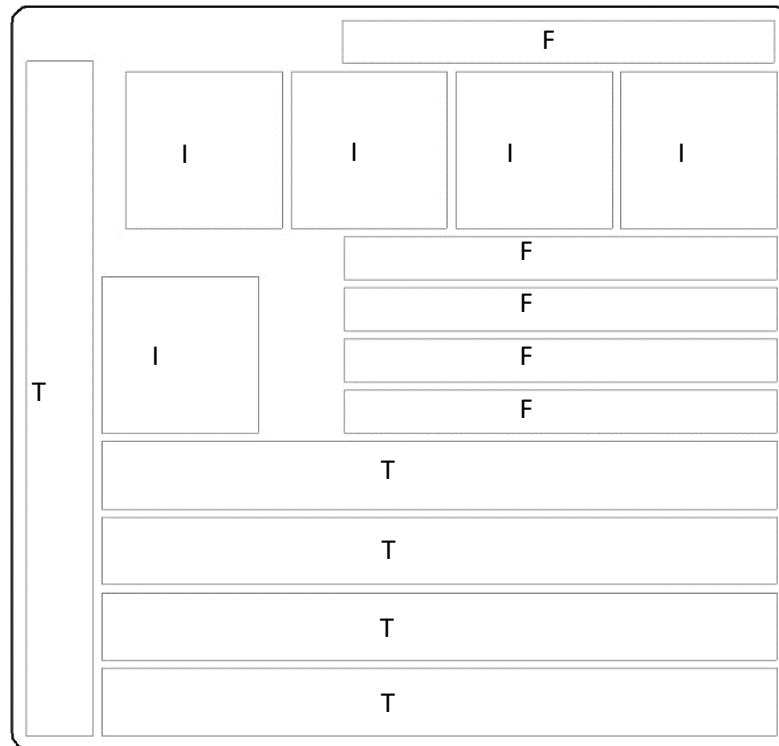


Figura 24. Distribución de las 15 probetas en el molde

Elaborado por: Jimmy García y Alex Anguaya

En consecuencia, se obtiene un área determinada para el molde llegando al siguiente paso que es diseño del molde.

2.3.5. Diseño del molde

El molde se diseñó en el software Inventor y es del tipo macho-hembra es decir consta de dos partes que son la tapa y la base con una forma rectangular de dimensiones principales de 358mm x 345mm, además el espesor de la tapa y base es de 25mm y 28mm respectivamente de manera que se pueda evitar el pandeo , también consta de 16 agujeros para la ubicación de los pernos y posterior para la compresión del material compuesto, también cuenta con unas manijas para facilitar el trabajo al momento de tapar y destapar el molde, así como también para poder movilizar el mismo, a su vez, en la conexión del molde macho-hembra se tiene un chaflan a 45° para eliminar el aire que se pueda quedar atrapado en el mismo, como se ilustra en la Figura 25 y Figura 26.

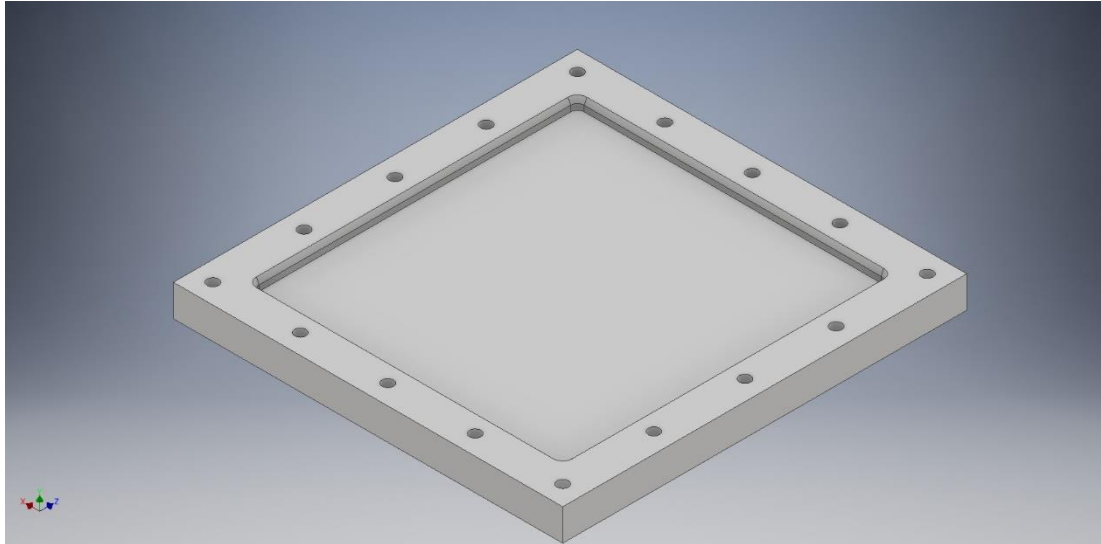


Figura 25. Base o hembra diseñado en inventor

Elaborado por: Jimmy García y Alex Anguaya

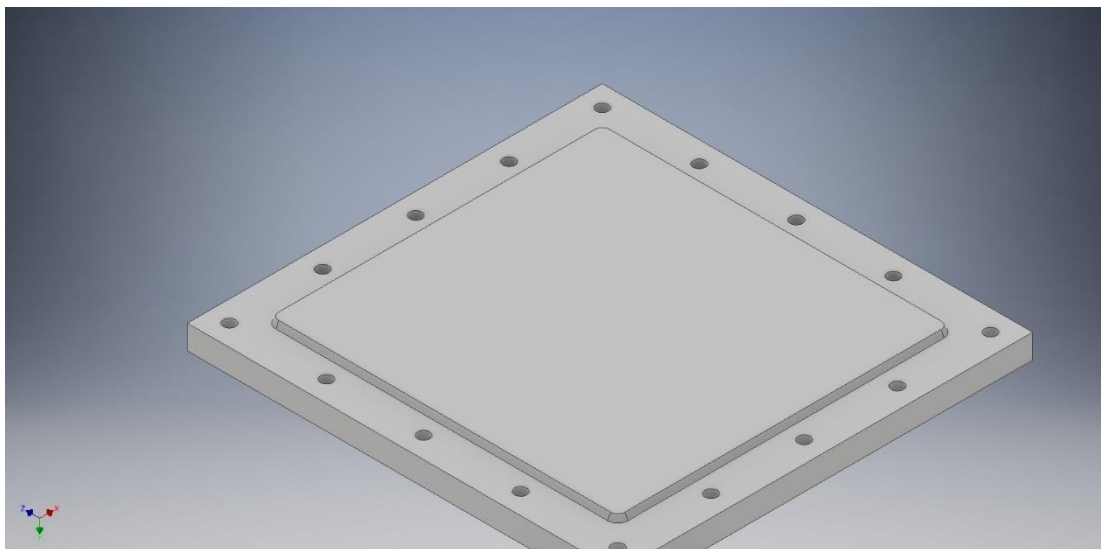


Figura 26. Macho o tapa del molde diseñado en inventor

Elaborado por: Jimmy García y Alex Anguaya

2.3.6. Construcción del molde

El molde se elaboró con placas de acero estructural ASTM A36 en la empresa Insoplastic ubicada en la Ciudad de Quito, mediante un centro de mecanizado CNC. Luego se llevó a cabo un proceso de pulido para eliminar las huellas del mecanizado con la ayuda de piedras abrasivas y posterior mediante lijas desde la 150 hasta la 800, de manera que se obtuvo un buen acabado superficial como se observa en la Figura 27.

El molde se realizó bajo la normativa ASTM D3039 para los ensayos de tracción, ASTM D7264 para los ensayos de flexión y ASTM D5628 para los ensayos de impacto. En los Anexos 7 y 7.1 se puede observar más a detalles.



Figura 27. Base y tapa del molde

Elaborado por: Jimmy García y Alex Anguaya

2.3.Procedimiento para la obtención de las probetas

2.4.1. Obtención, limpieza y secado de la fibra de eucalipto

- a) Las cortezas de eucalipto fueron recolectadas en la provincia Bolívar, las mismas que se recogieron del suelo de un bosque de esta plantación, como resultado del desprendimiento natural del árbol. Una vez que se desprende

existe un rebrote de la corteza cada cierto tiempo en el árbol, además, se pudo observar que la corteza que se encuentra en árboles jóvenes tiene un espesor menor con respecto a arboles antiguos, por otro lado, la corteza adquirida tiene una longitud de hasta 2m, un espesor desde 2mm hasta 5mm, es fácil de recoger, flexible y existe en una cantidad considerablemente alta.

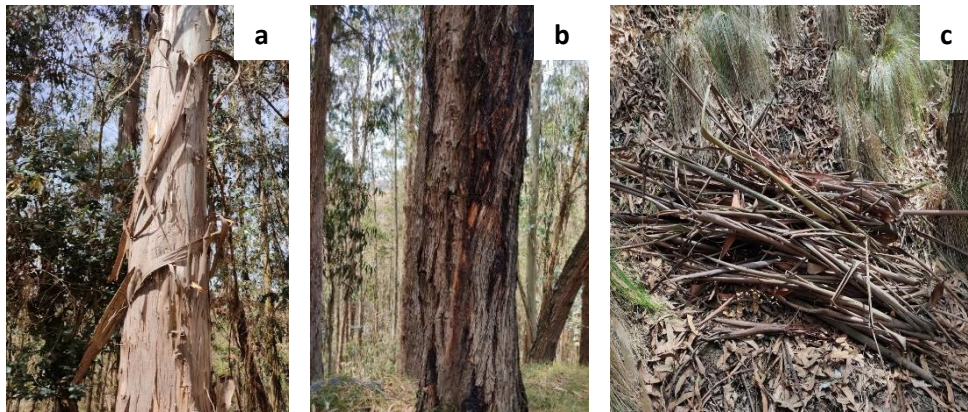


Figura 28. (a)Árbol joven;(b) árbol antiguo;(c) corteza de eucalipto

Elaborado por: Jimmy García y Alex Anguaya

- b) Una vez obtenida la corteza de eucalipto se la deja en remojo por un día para ablandar las mismas, después se golpea la corteza de modo que se puede remover el material orgánico que protege a las fibras como se aprecia en la Figura 29, luego se corta la fibra con una longitud de 5 cm.

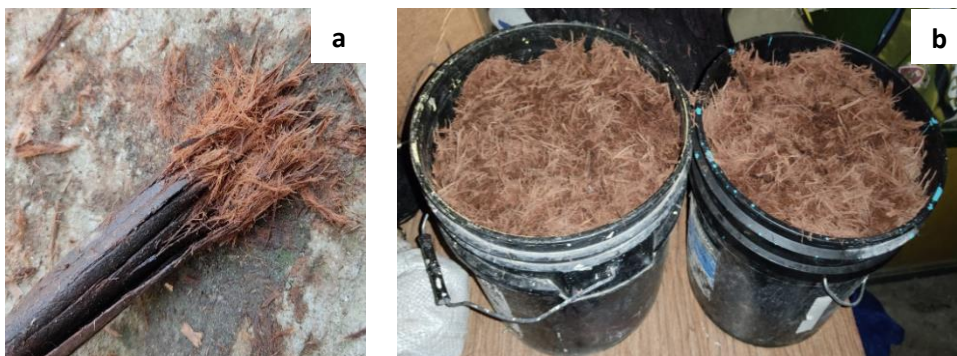


Figura 29. (a) Corteza ablandada y removido el material orgánico que protege a la fibra; (b) Fibra de la corteza de Eucalipto

Elaborado por: Jimmy García y Alex Anguaya

- c) Se procede a lavar la fibra con agua y jabón neutro, luego de ello se enjuaga 5 veces hasta que se elimine por completo el jabón y la suciedad, tal como se indica en la Figura 30.

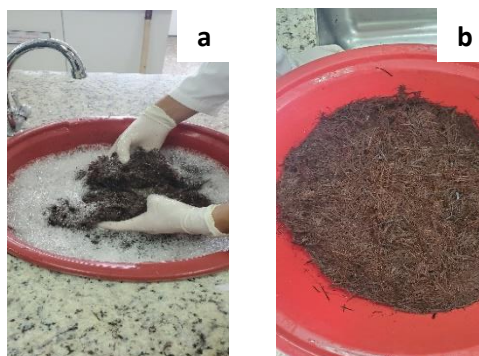


Figura 30. (a) Lavando la fibra (b) Fibra lavada

Elaborado por: Jimmy García y Alex Anguaya

- d) A continuación, las fibras fueron sometidas a un proceso de secado mediante una estufa de convección forzada marca Esco ubicada en los laboratorios de ciencias de la vida de la Universidad Politécnica Salesiana. La temperatura utilizada fue de 105 °C por un tiempo de 8 horas, hasta obtener un porcentaje de humedad de la fibra menor al 8%.

2.4.2. Ensayo del porcentaje de humedad

Se encontró el porcentaje de humedad presente en la fibra antes y después del secado mediante un analizador de humedad marca Mettler Toledo HB43-S, ubicado en los laboratorios de ciencias de la vida de la Universidad Politécnica Salesiana, como se muestra en la Tabla 31.

Figura 31. Porcentaje de humedad medido antes y después del secado

Fibra antes del secado		
Masa inicial(g)	Masa Final (g)	% de humedad
4	2.839	29.02%
4	2.842	29.95%

4	2.702	32.45%
4	2.486	37.85%

Fibra luego del secado

Masa inicial(g)	Masa Final(g)	% de humedad
2.80	2.657	5.11%
2.805	5.618	6.66%
2.803	2.650	5.44%
2.802	2.620	6.49%

Elaborado por: Jimmy García y Alex Anguaya

2.4.3. Cálculo de densidad de la resina poliéster.

Se utilizó un método experimental gravimétrico para encontrar la densidad de la resina poliéster, basado en el principio de Arquímedes. Para determinar la densidad se empleó la siguiente fórmula.

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (17)$$

Donde:

ρ = es la densidad ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)

m = es la masa (g)

V = es el volumen (cm^3)

En la Figura 32 se puede observar el procedimiento, el cual consistió en pesar una muestra de resina endurecida en una balanza. Luego se llenó agua en un vaso de plástico hasta una medida de 300 ml. A continuación, se sumergió la resina en el agua y se midió el cambio de volumen del agua, siendo este igual al volumen de la resina.

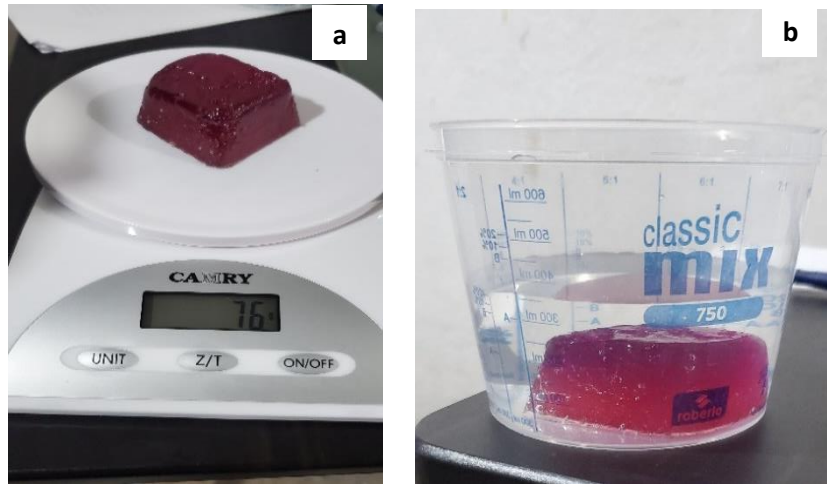


Figura 32.(a) Pesar la resina (b) Medir el cambio de volumen

Elaborado por: Jimmy García y Alex Anguaya

En la Tabla 10 se muestra la densidad de la resina poliéster.

Tabla 10. Obtención de la densidad de la resina

Densidad resina poliéster					
Especímen	Masa (g)	Volumen inicial (ml)	Volumen final (ml)	Cambio de volumen	Densidad
1	76	300	360	60	1,266667

Elaborado por: Jimmy García y Alex Anguaya

2.4.4. Determinación de la densidad de la fibra de la corteza de eucalipto.

De manera similar como se determinó la densidad de la resina poliéster se procede a calcular la densidad de la fibra. Se pesó una muestra de fibra en una balanza semi analítica con una resolución de 0.1 g de modo que se tenga una buena precisión de los datos. Luego se llenó agua en tubo de ensayo hasta una medida de 50 ml. A continuación, se sumergió la fibra en el agua y se midió el cambio de volumen del agua, siendo este igual al volumen de la fibra. Finalmente, se repite el proceso de manera que se obtenga una densidad promedio, como se muestra a continuación en la Tabla 11.

Tabla 11. Número de muestras aplicadas para obtener la densidad de la fibra

Muestra	Masa (g)	Volumen inicial (ml)	Volumen final (ml)	Cambio de volumen	Densidad
1	2,5	50	54,5	4,5	0,555556
2	1,7	50	52,9	2,9	0,586207
3	2,1	50	53,9	3,9	0,538462
4	2,6	50	54,9	4,9	0,530612
Densidad promedio					0,552709

Elaborado por: Jimmy García y Alex Anguaya

2.4.5. Cálculo de las fracciones volumétricas

Para el cálculo de las diferentes fracciones volumétricas utilizadas es necesario conocer el volumen del molde.

a) Cálculo del área del molde

$$A = l * a$$

$$A = 275mm * 288mm$$

$$A = 79200mm^2$$

$$A = 792cm^2$$

b) Cálculo del volumen del molde

$$V = A * e$$

$$V = 79200mm^2 * 5mm$$

$$V = 396000mm^3$$

$$V = 396cm^3$$

Una vez que se tiene todos los datos es posible calcular la masa de fibra y la masa de resina para la obtención de una plancha de material compuesto, tal y como se muestra en la Tabla 12.

Tabla 12. Cantidad de masa de fibra requerida según el volumen del molde

	Volumen total (cm ³)	Densidad (g/cm ³)	Porcentaje de refuerzo	Volumen del refuerzo(cm ³)	Masa calculada(g)
Muestra 1	396	0.55	10%	39.6	21.78
Muestra 2	396	0.55	20%	79.2	43.56
Muestra 3	396	0.55	30%	118.8	65.34
Total de masa de la fibra					130.68

Elaborado por: Jimmy García y Alex Anguaya

La cantidad total requerida de fibra por las 6 planchas son 261.36 g.

En la Tabla 13 se muestra la cantidad de volumen requerido de resina para la obtención de las planchas del nuevo material compuesto.

Tabla 13. Cantidad de resina poliéster requerida según el volumen del molde

	Volumen total (cm ³)	Densidad (g/cm ³)	Porcentaje de matriz	Volumen de la matriz(cm ³)
Muestra 1	396	1.26	90%	356.4
Muestra 2	396	1.26	80%	316.8
Muestra 3	396	1.26	70%	277.2
Total de volumen de resina poliéster				950.4

Elaborado por: Jimmy García y Alex Anguaya

La cantidad total requerida de resina para las 6 planchas son 1900.8 cm³.

En la Tabla 14 se puede observar la cantidad de resina poliéster requerida por cada fracción volumétrica, además de los porcentajes de aglutinantes y acelerantes necesarios para la obtención de la mezcla resina-adictivos.

Tabla 14. Valores del porcentaje de catalizador y acelerante en la elaboración del compuesto.

	Volume n total (cm ³)	Densi- dad (g/cm ³)	Porcentaj e de matriz	Volume n de la matriz (cm ³)	Masa de la resina (g)	10% de estire -no (g)	1 % de cobal -to (g)	2.5% de mec k (g)
Muestra 1	396	1.26	90%	356.4	499.0 6	44.90	4.49	11.2 3
Muestra 2	396	1.26	80%	316.8	399.1 6	39.91	3.99	9.98
Muestra 3	396	1.26	70%	277.2	349.2 7	34.93	3.49	8.73
Volume n total				950.4				

Elaborado por: Jimmy García y Alex Anguaya

2.4.6. Proceso de obtención de las probetas de tracción, flexión e impacto.

- a) Se nivela el molde para obtener una superficie de la base del molde plana de modo que no exista variación de espesor en la plancha. Como se aprecia en la Figura 33.



Figura 33. El nivel se toma en los 2 sentidos de las burbujas indicadoras para que no exista error de medida

Elaborado por: Jimmy García y Alex Anguaya

- b) Se coloca cera desmoldante en la superficie del molde para que al momento del desmoldeo no se tenga complicaciones para desmontar la plancha con el nuevo material compuesto. Seguidamente se espera un tiempo prudente a que se seque. El tiempo de secado dependerá de la cantidad y el tipo de cera aplicada, como se observa en la Figura 34a y 34b.

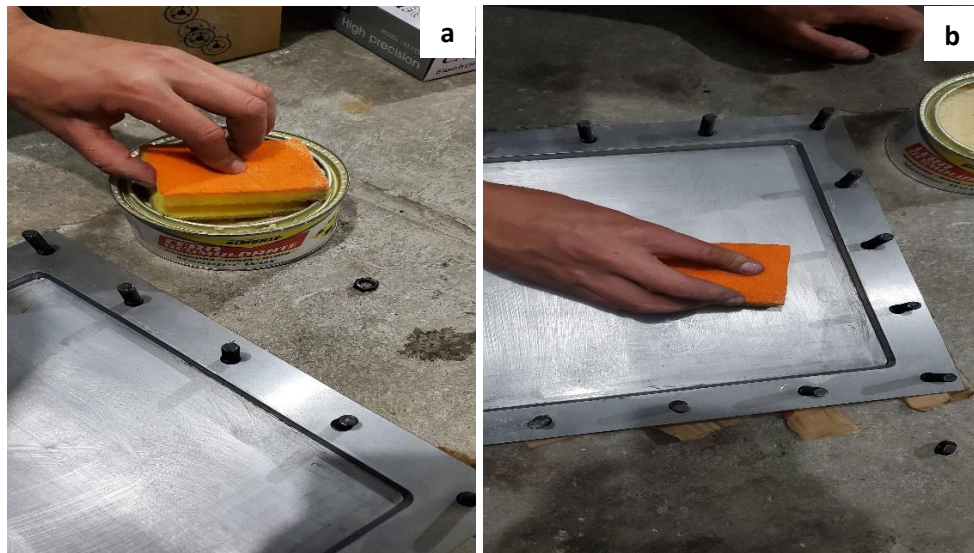


Figura 34. Enserado del molde

Elaborado por: Jimmy García y Alex Anguaya

- c) Se pesa la cantidad de fibra requerida según la fracción volumétrica antes calculada, luego se coloca la fibra en el molde asegurándose que cubra la mayor parte de este, como se observa en la Figura 35, la disposición de la fibra es al azar o en múltiples direcciones el este caso.



Figura 35. Distribución de la fibra en el molde

Elaborado por: Jimmy García y Alex Anguaya

- d) Se prepara la resina según las recomendaciones que recomienda el fabricante y tomando en cuenta la masa calculada por cada fracción volumétrica calculada anteriormente. La resina poliéster fue diluida con estireno monómero al 10%, con la finalidad de disminuir la viscosidad de la resina y así pueda ser mezclado con las fibras, como se muestra en la Figura 36a. Luego se agregó octoato de cobalto con una concentración volumétrica del 1%, con el fin de pre-acelerar la reacción como se indica en la Figura 36b, a partir de ello, la mezcla se torna de un color rosado como se muestra en la Figura 36c. Luego se añade Meck para catalizar la mezcla, con una concentración volumétrica de 2.5%, en consecuencia, la mezcla se torna de un color negro como se muestra en la Figura 36d.

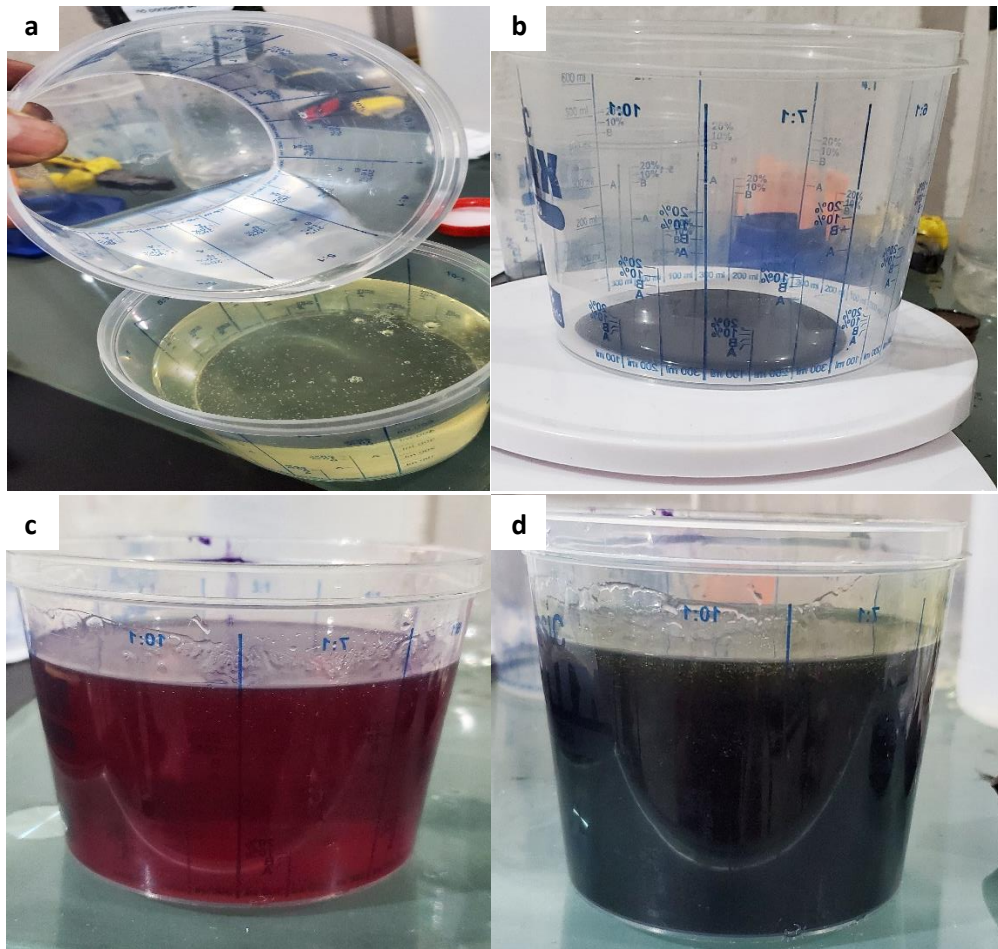


Figura 36. Preparación de la resina poliéster

Elaborado por: Jimmy García y Alex Anguaya

- e) Se coloca la mezcla de la resina en el molde, verificando que ocupe todos los espacios del molde y no exista burbujas de aire. Seguidamente se coloca la tapa como se indica en la Figura 37a y 37b, para luego someter a presión a la plancha del material compuesto mediante pernos M10 aplicando un torque de 40lb.ft en cada uno de los pernos, obteniendo así un torque total de 640lb.ft por los 16 pernos. Esto permitió dar la presión adecuada al molde con esto mejorar la adherencia entre matriz y refuerzo ayudando a que no exista burbujas de aire en el material compuesto.

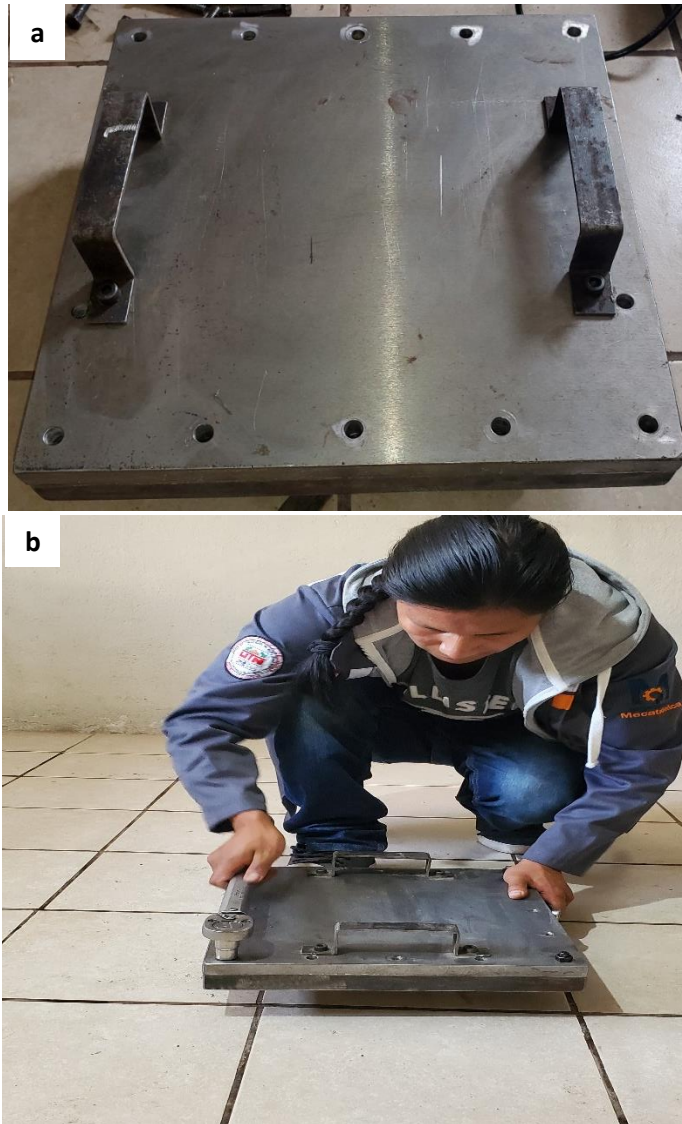


Figura 37. La tapa debe ir de forma tal que no exista ninguna obstrucción en las caras del molde para que encajen y de el espesor adecuado

Elaborado por: Jimmy García y Alex Anguaya

- f) Después de 4 horas de reposo, se procede a desmontar con cuidado la plancha del molde.



Figura 38. Probeta terminada transcurrida las 4 horas

Elaborado por: Jimmy García y Alex Anguaya

- g) Ubicar las planchas en un lugar con una temperatura controlada de 18-40°C con el fin de mantener el proceso de curado que dura alrededor de 2 semanas.
- h) Ya obtenidas todas las planchas necesarias se procede a realizar el corte. El corte láser realizó con una máquina láser marca BODOR tipo Tubo CO₂ con una potencia de 150W y una velocidad de corte que varía según la fracción volumétrica, teniendo así: 8mm/s, 10mm/s y 12mm/s para probetas de 30%, 20 % y 10% de fibra respectivamente.



Figura 39. Corte láser de las planchas del material compuesto

Elaborado por: Jimmy García y Alex Anguaya



Figura 40. Corte láser terminado, dando lugar a las probetas requeridas

Elaborado por: Jimmy García y Alex Anguaya

- i) Separación y almacenamiento. Las probetas se clasifican según la fracción volumétrica de la fibra y el tipo de ensayo a realizar.

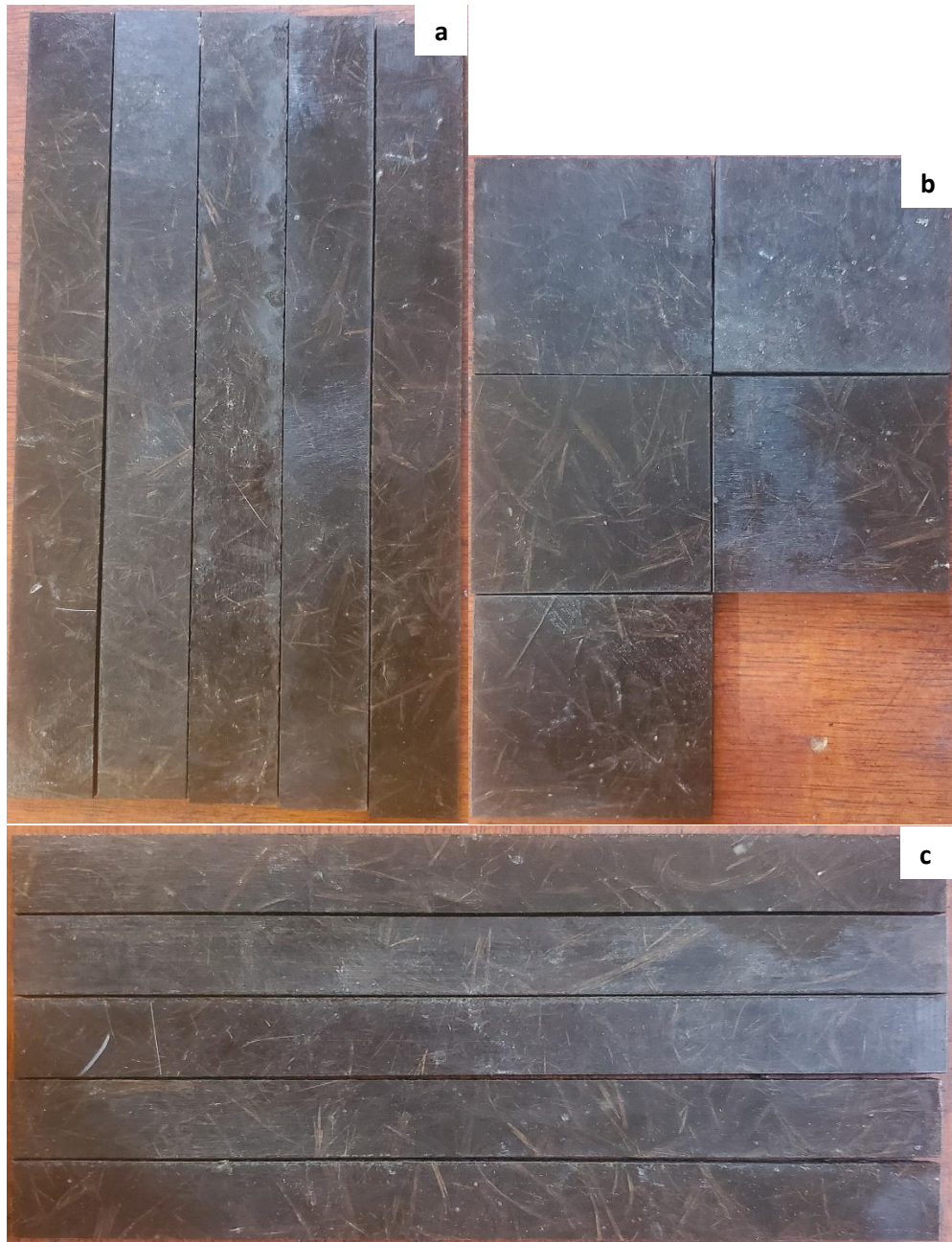


Figura 41 (a) Probetas de flexión;(b) probetas de impacto;(c) probetas de tracción

Elaborado por: Jimmy García y Alex Anguaya

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se realizaron ensayos destructivos de tracción, flexión e impacto especificados en normas ASTM para materiales compuestos poliméricos, con la finalidad de evaluar el comportamiento mecánico del nuevo material al ser sometido a diferentes fuerzas o cargas.

Por otro lado, se desea conocer la fracción volumétrica de material compuesto que brinde mejores características mecánicas a la tracción, flexión e impacto, además, es de suma importancia conocer la influencia de añadir la fibra a la matriz, es por ello, que se obtendrá probetas de resina poliéster, de modo que se pueda medir si dichas propiedades aumentan, se mantienen o disminuyen.

Los ensayos mecánicos de tracción y flexión fueron realizados en los laboratorios de nuevos materiales (LANUM) de la Escuela Politécnica Nacional (EPN), en donde, se utilizó la máquina universal de ensayos marca Tinius Olsen con capacidad de 25kN, por otro parte, los ensayos de impacto se realizaron en la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, en una máquina tipo caída de masas de impacto.

Las condiciones ambientales de los ensayos, las dimensiones de las probetas, los resultados con su respectiva desviación estándar por cada probeta y fracción volumétrica se muestran en el Anexo 2.

3. Resultados de los ensayos

3.1. Ensayo de tracción

Se ensayaron 5 probetas a tracción por cada fracción volumétrica del material compuesto y 5 ensayos a tracción del material de resina poliéster pura. En la Tabla 15 se muestra los modos de falla que pueden ocurrir en las probetas según la Norma ASTM D3039 M-17 y las diferentes codificaciones. Estas fallas pueden ser en la zona calibra o fuera de ella.

Tabla 15. Designación del tipo de falla para las probetas de tracción

Descripción del tipo de falla					
Primer carácter		Segundo carácter		Tercer carácter	
L	Lateral	A	En el agarre	T	Parte superior
G	Agarre	I	Dentro del agarre	B	Fondo
A	Angular	G	Zona calibrada	M	Medio
D	Borde	M	Múltiples áreas	L	Izquierdo
M	Multiforma	V	Varios	R	Derecho
S	Larga división	U	Desconocido	V	Varios
X	Explosiva	W	<1W desde el agarre	U	Desconocido

Elaborado por: Jimmy García y Alex Anguaya

En la Tabla 16 se muestran los valores promedios del esfuerzo máximo a tracción y su respectiva desviación estándar del material compuesto y de la resina poliéster. Las desviaciones estándar muestran valores cercanos a la media, es por ello que se ensayaron 5 probetas como mínimo, como se recomienda la Norma ASTM D3039M-17, en caso de obtener un valor atípico se debe ensayar una probeta adicional.

Tabla 16. Esfuerzo máximo a tracción y deformación última vs fracciones volumétricas

Fracciones volumétricas (%)	Esfuerzo máximo (MPa)	Deformación última (%)
100% M/ 0% R	26,49±3.06	0.46±0.1
90% M/ 10% R	12,54±2.12	0.16±0.03
80% M/ 20% R	10,33±1.87	0.16±0.05
70% M /30% R	13,24±1.71	0.22±0.05

Elaborado por: Jimmy García y Alex Anguaya

A partir de los datos obtenidos se observa que el material de resina pura presenta el valor más alto de esfuerzo máximo promedio con 26.49 ± 3.06 MPa, es decir la presencia de fibra en la matriz, disminuye el esfuerzo máximo a la tracción. La deformación unitaria disminuye a medida que se incrementa la presencia de fibra en la matriz.

Luego de analizar los datos se tiene un comportamiento frágil del material compuesto, como es característico de los materiales termoestables que se encuentran fuertemente entrelazados, además, las fibras no detienen las dislocaciones de la matriz de manera eficiente, es decir actúan como concentrador de esfuerzos, aumentando la rigidez. Los diagramas esfuerzo vs deformación se muestran en el Anexo 2 por cada probeta y fracción

volumétrica, en donde se puede observar una fractura repentina del material compuesto. Así mismo, las fracturas de las probetas se produjeron en la zona de calibrada y fuera de ellas.

La disminución del esfuerzo máximo a tracción del material compuesto con respecto a la resina poliéster podría deberse a la presencia de concentradores de esfuerzo tales como defectos internos en las probetas, así mismo, la disposición de la fibra en múltiples direcciones no ayudó a que aumente dicha propiedad. El esfuerzo máximo a tracción podría aumentar, si la disposición de las fibras se encuentra en la dirección de la carga.

Por otra parte, la mejor fracción volumétrica de material compuesto corresponde a 70%M/30%R, así mismo, los valores de esfuerzo máximo a tracción y deformación última del material compuestos presentan valores similares, es decir no se encuentran muy alejados, como se muestra en la Figura 42.

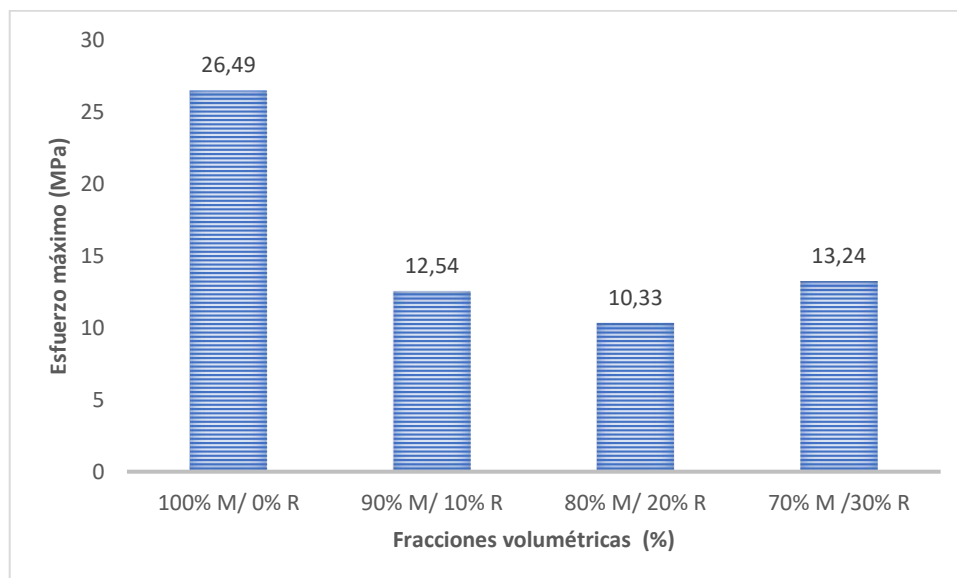


Figura 42. Comparación entre esfuerzos máximos a tracción

Elaborado por: Jimmy García y Alex Anguaya

El esfuerzo máximo a tracción del material compuesto disminuye con respecto al material de resina pura, sin embargo, es de suma importancia conocer en qué porcentaje disminuye, para el efecto se considera la Tabla 17 y Figura 43.

Tabla 17. Decremento del esfuerzo máximo a tracción con respecto a la resina

Fracciones volumétricas	Decremento del esfuerzo máximo con respecto a la resina (%)
100% M/ 0% R	0,00
90% M/ 10% R	52,66
80% M/ 20% R	61,00
70% M /30% R	50,02

Elaborado por: Jimmy García y Alex Anguaya

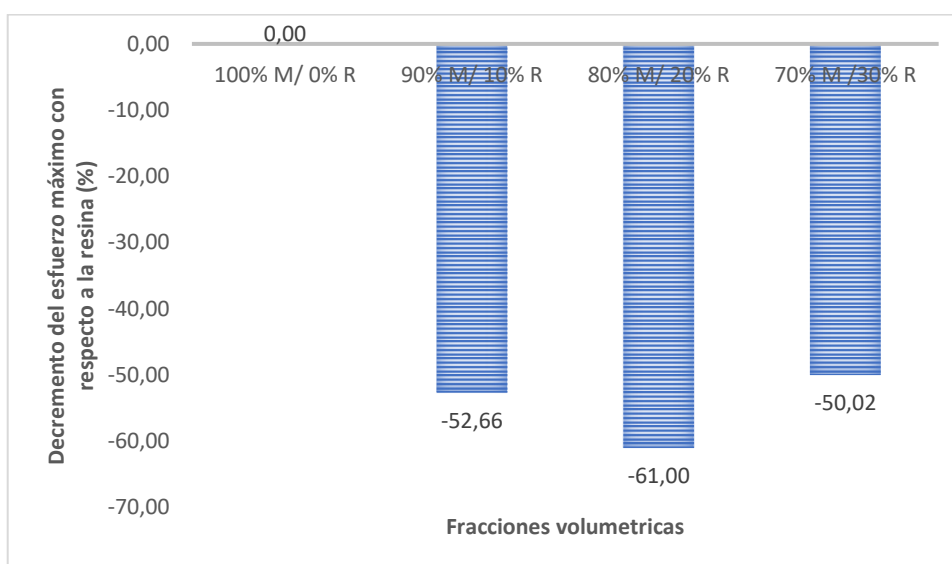


Figura 43. Decremento de esfuerzos máximos a tracción con respecto a la resina

Elaborado por: Jimmy García y Alex Anguaya

En la Tabla 17 y Figura 43 se puede observar que los esfuerzos máximos a tracción de las diferentes fracciones en volumen del material compuesto disminuyen con respecto a la resina poliéster, hasta un valor máximo de 61% en la combinación de 80%M/20%R con respecto al material de resina pura.

En la Tabla 18 se muestran los módulos de elasticidad a tracción promedios por cada fracción volumétrica y resina poliéster pura.

Tabla 18. Módulos de elasticidad a tracción y deformación unitaria vs fracciones volumétricas

Fracciones volumétricas (%)	Módulo de elasticidad (Mpa)	Deformación última
100% M/ 0% R	5563,08±382.95	0.46±0.1
90% M/ 10% R	6716,88±259.44	0.16±0.03
80% M/ 20% R	5818±862.12	0.16±0.05
70% M /30% R	5661,68±672.95	0.22±0.05

Elaborado por: Jimmy García y Alex Anguaya

Luego de analizar los datos se observa que el módulo de elasticidad aumenta cuando se añade la fibra a la resina. El material compuesto presenta un carácter más rígido con respecto al material de resina pura, lo cual se ve reflejado en el aumento del módulo de elasticidad y en la disminución de la deformación unitaria, así mismo, se tiene que la mejor combinación de fracción volumétrica corresponde a la 90%M/10%R. El material compuesto tiene un mayor módulo de elasticidad en todas las fracciones volumétricas utilizadas con relación a la resina pura, como se percibe en la Figura 44.

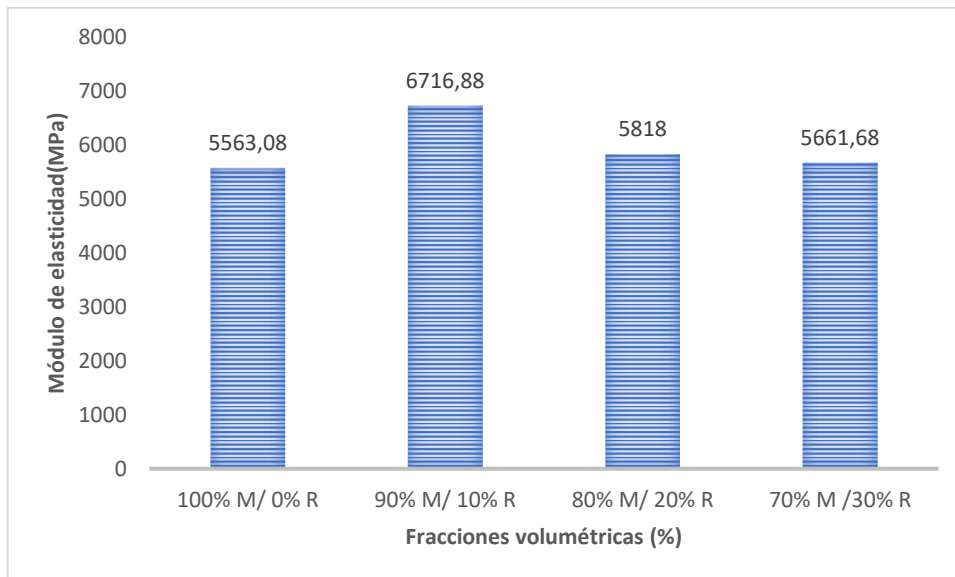


Figura 44. Comparación entre módulos de elasticidad a tracción

Elaborado por: Jimmy García y Alex Anguaya

El módulo de elasticidad a flexión se incrementó hasta un valor máximo de 20.74% para la fracción volumétrica de 90% M/ 10% R, como se muestra en la Tabla 19 y la Figura 45.

Tabla 19. Incremento del módulo de elasticidad a tracción con respecto a la resina poliéster

Fracciones volumétricas (%)	Incremento del módulo de elasticidad con respecto a la resina (%)
100% M/ 0% R	0,00
90% M/ 10% R	20,74
80% M/ 20% R	4,58
70% M /30% R	1,77

Elaborado por: Jimmy García y Alex Anguaya

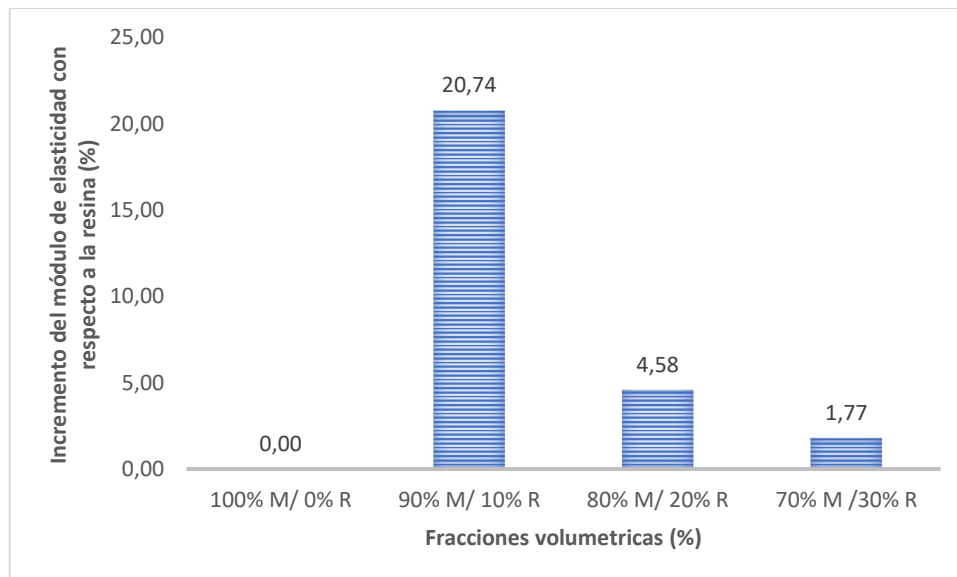


Figura 45. Incremento del módulo de elasticidad a tracción con respecto a la resina

Elaborado por: Jimmy García y Alex Anguaya

3.2. Ensayo de flexión

Se realizaron 5 ensayos a flexión por cada fracción volumétrica de material compuesto y 5 ensayos para el material de resina pura, bajo la Norma ASTM D7264 M-17. Los ensayos permiten conocer propiedades de resistencia y de rigidez. Los modos de falla fueron registrados con los códigos que se muestra en la Tabla 20.

Tabla 20. Descripción del tipo de falla para ensayos de flexión.

Descripción del tipo de falla					
Primer carácter		Segundo carácter		Tercer carácter	
T	Tensión	A	En la zona de carga	T	Parte superior
C	Compresión	B	Entre los puntos de la carga	B	Fondo
B	Pandeo	S	En la zona de apoyo	M	Medio
S	Cizalla interlaminar	L	Entre la carga y la zona de apoyo	L	Izquierdo
M	Multimodo	U	Desconocido	R	Derecho
O	Otros			V	Varios
				U	Desconocido

Elaborado por: Jimmy García y Alex Anguaya

En la Tabla 21 se muestra los valores de esfuerzo máximo a flexión y deformación unitaria promedios por cada fracción volumétrica de material compuesto y de resina poliéster pura.

Tabla 21. Esfuerzo máximo a flexión y fracciones volumétricas

Fracciones volumétricas(%)	Esfuerzo máximo (MPa)	Deformación última (%)
100% M/ 0% R	78,42±6.39	4.12±0.87
90% M/ 10% R	34,02±6.43	1.32±0.31
80% M/ 20% R	31,49±3.81	1.19±0.15
70% M /30% R	25,32±3.12	0.93±0.1

Elaborado por: Jimmy García y Alex Anguaya

A partir de los datos obtenidos se observa que el esfuerzo máximo de flexión y la deformación última disminuyen con respecto al material de resina poliéster, es decir la presencia de fibra en la matriz conlleva un comportamiento frágil y rígido. Las desviaciones estándar presentan valores cercanos a la media por lo que se ensayó 5 probetas, tal y como recomienda la Norma ASTM D7264M-15. La disminución de esta propiedad podría deberse a los concentradores de esfuerzos generados por defectos internos presentes en las probetas, además, debido a una baja adhesión entre la fibra y la matriz. Los resultados del ensayo a flexión se muestran en el Anexo 2, así mismo, los modos de falla ocurrieron en la zona de aplicación de la carga y fuera de ella para las diferentes probetas. Por otra parte, la mejor combinación de material compuesto

corresponde a la fracción volumétrica de 90% M/ 10% R, como se muestra en la Figura 46.

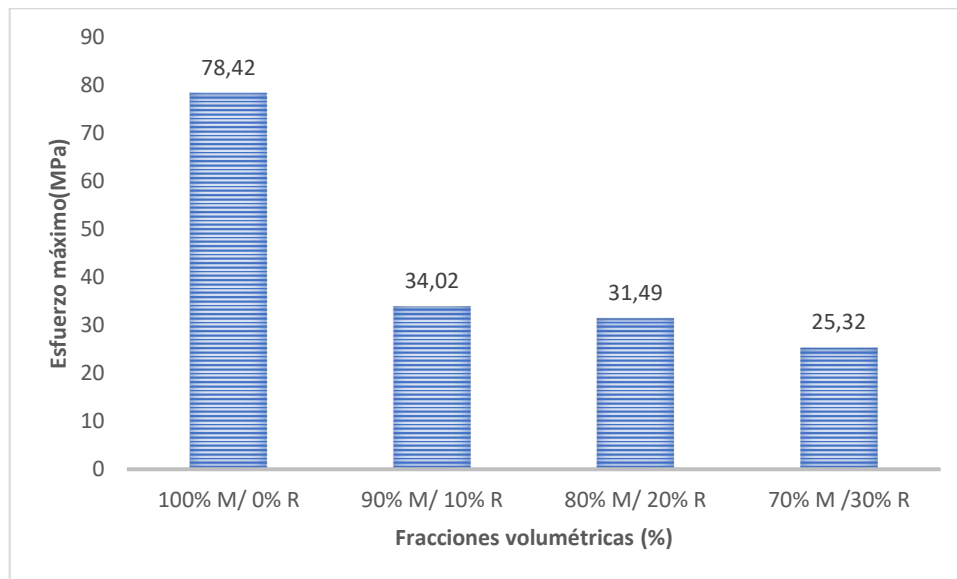


Figura 46. Comparación entre esfuerzos máximos a flexión

Elaborado por: Jimmy García y Alex Anguaya

El esfuerzo máximo a flexión del material compuesto disminuye con respecto al material de resina pura. Luego de analizar la Tabla 22 y Figura 47 se obtiene que, al aumentar sucesivamente la fracción en volumen de la fibra, el esfuerzo máximo a flexión disminuye hasta un valor máximo de 67.71%.

Tabla 22. Decremento del esfuerzo máximo a flexión con respecto a la resina

Fracciones volumétricas(%)	Decremento del esfuerzo máximo a tracción (%)
100% M/ 0% R	0,00
90% M/ 10% R	56,62
80% M/ 20% R	59,84
70% M /30% R	67,71

Elaborado por: Jimmy García y Alex Anguaya

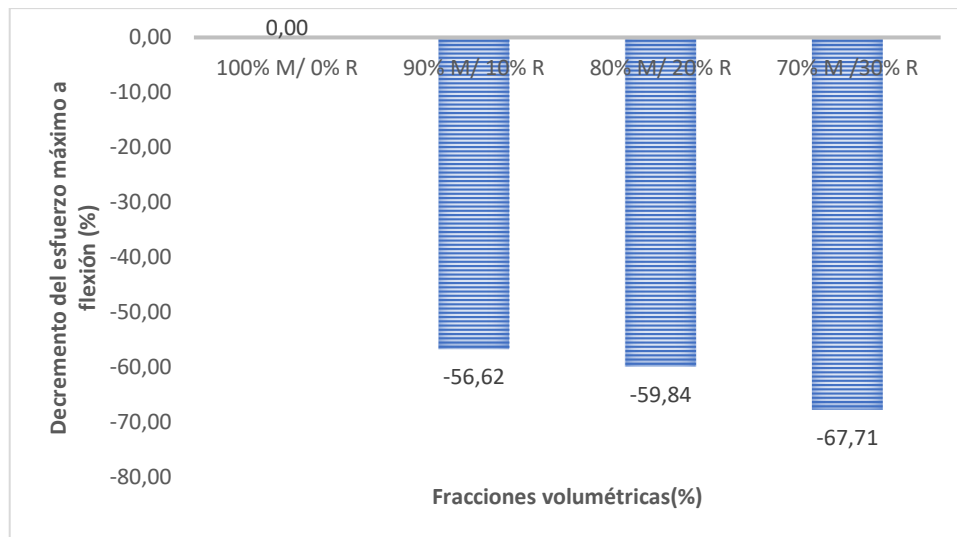


Figura 47. Decremento de esfuerzos máximos a flexión con respecto a la resina

Elaborado por: Jimmy García y Alex Anguaya

En la Tabla 23 se muestra los módulos de elasticidad a flexión promedios.

Tabla 23. Módulo de elasticidad a flexión y fracciones volumétricas

Fracciones volumétricas(%)	Módulo de elasticidad (MPa)
100% M/ 0% R	2551,69
90% M/ 10% R	2656,87
80% M/ 20% R	2800,96
70% M /30% R	2872,18

Elaborado por: Jimmy García y Alex Anguaya

Luego de analizar los datos se observa que el módulo de elasticidad aumenta a medida que se añade la fibra en la resina, así mismo, se tiene que la mejor combinación de fracción volumétrica corresponde a la de 70%M/30%R, como se observa en la Figura 48.

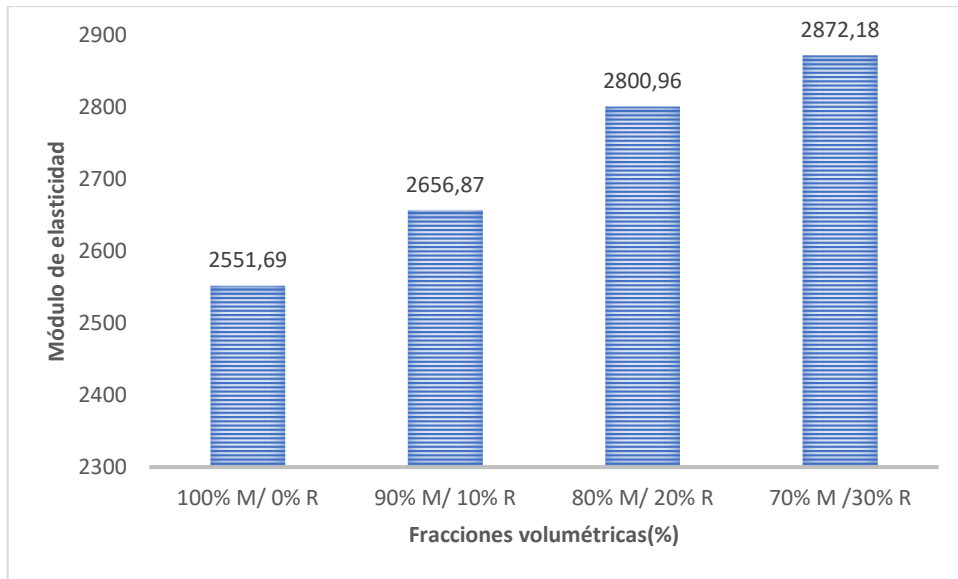


Figura 48. Comparación entre esfuerzos máximos a flexión promedios.

Elaborado por: Jimmy García y Alex Anguaya

Luego de analizar la Tabla 24 y Figura 49 se obtiene que los módulos de flexión de las diferentes combinaciones del material compuesto aumentan, hasta un valor máximo de 12.56% para la fracción volumétrica de 70% M /30% R, con respecto al material de resina pura.

Tabla 24. Incremento del módulo de elasticidad a flexión con respecto a la resina

Fraciones volumétricas(%)	Incremento del módulo de elasticidad a flexión (%)
100% M/ 0% R	0,00
90% M/ 10% R	4,12
80% M/ 20% R	9,77
70% M /30% R	12,56

Elaborado por: Jimmy García y Alex Anguaya

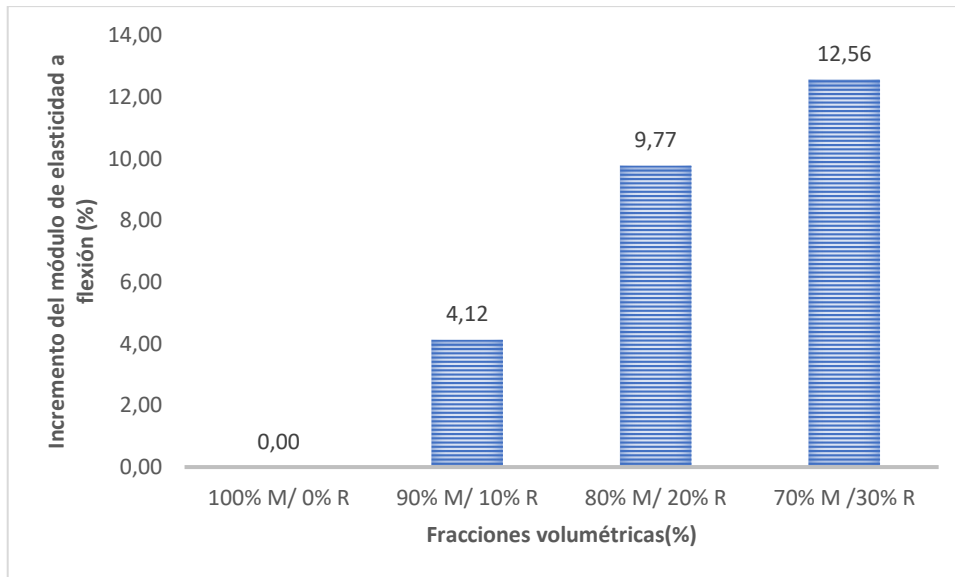


Figura 49. Incremento del módulo de elasticidad a flexión con respecto a la resina

Elaborado por: Jimmy García y Alex Anguaya

3.3. Ensayo de impacto

Se realizaron 5 ensayos por cada fracción volumétrica de material compuesto y 5 ensayos del material de resina poliéster bajo la Norma ASTM D5627 - M10, en donde, se obtuvo que la energía media de fallo aumenta a medida que la fracción en volumen de fibra aumenta. La fracción volumétrica que sobresale sobre las demás corresponde a la de 70% M /30% R, como se aprecia en la Figura 50, además, las desviaciones estándar muestran valores relativamente altos, debido los intervalos de altura utilizados en el ensayo, como se muestra en la Tabla 25.

Tabla 25. Energía media de fallo y fracciones volumétricas

Fraciones volumétricas(%)	Energía media de Fallo (J)
100% M/ 0% R	0,251±0.13
90% M/ 10% R	0,421±0.16
80% M/ 20% R	0,568±0.25
70% M /30% R	0,751±0.3

Elaborado por: Jimmy García y Alex Anguaya

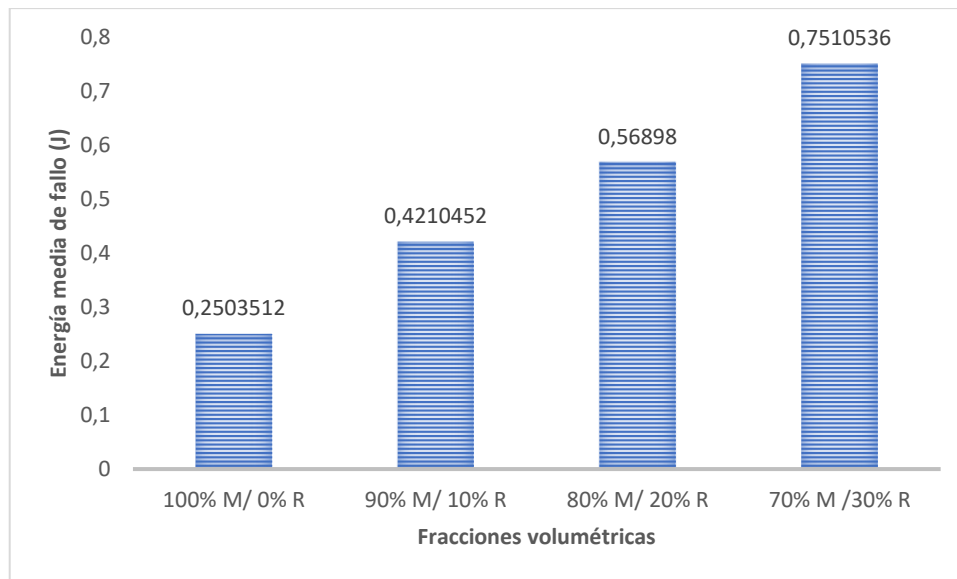


Figura 50. Comparación entre las energías media de fallo promedios

Elaborado por: Jimmy García y Alex Anguaya

Las dimensiones de las probetas, la masa aplicada, la altura media de fallo y la energía media de fallo se encuentran en el Anexo 2 para cada probeta y fracción volumétrica de material compuesto y para el material de resina poliéster.

El aumento de la energía media de fallo podría deberse a la disposición de la fibra al azar, la misma ayudó a que se pueda absorber de mejor manera la energía de impacto provista por el dardo, además, dicha energía podría haberse transmitido del refuerzo hacia las cargas, lo que resulta conveniente en los materiales compuestos.

La energía media de fallo del material compuesto aumenta hasta un valor máximo de 200% con respecto al material de resina, como se describe en la Tabla 26 y se indica en la Figura 51.

Tabla 26. Incremento de la energía media de fallo con respecto a la resina.

Fraciones volumétricas(%)	Incremento de la Energía media de Fallo (%)
100% M/ 0% R	0,00
90% M/ 10% R	68,18
80% M/ 20% R	127,27
70% M /30% R	200,00

Elaborado por: Jimmy García y Alex Anguaya

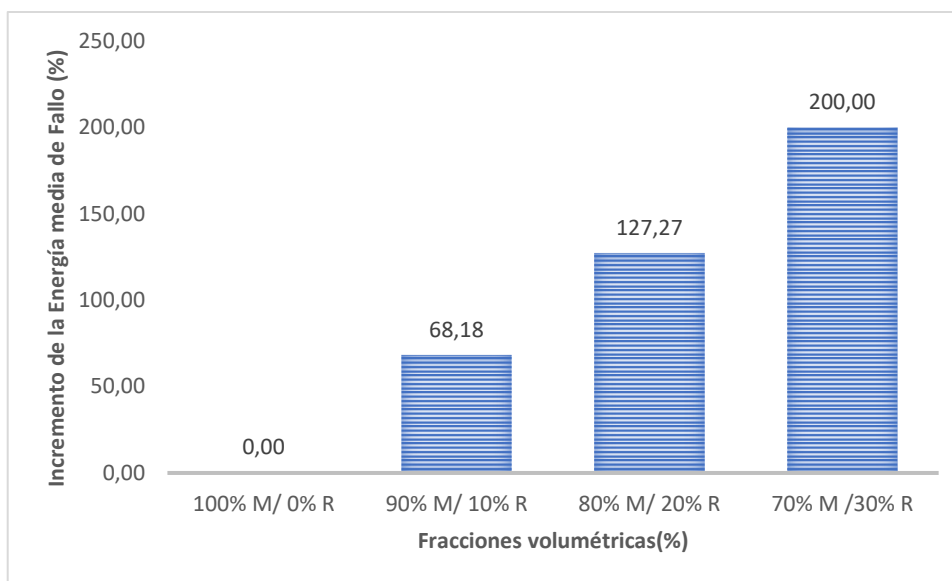


Figura 51. Incremento de la energía media de fallo con respecto a la resina

Elaborado por: Jimmy García y Alex Anguaya

3.4.Discusión de resultados

En la Tabla 27 se realizó un análisis comparativo de resultados entre el material de resina poliéster y el material compuesto, además, se determina el incremento o decremento de las propiedades mecánicas a tracción, flexión e impacto del material compuesto con respecto al material de resina pura.

Tabla 27. Comparación del material compuesto con respecto al material de resina pura

Propiedades mecánicas promedios	Material de resina poliéster	Material compuesto - fracción volumétrica	Incremento (%)
Esfuerzo máximo a tracción	26.49 MPa	13.24 MPa - 70% M/ 30%R	- 50.02
Esfuerzo máximo a flexión	78.42 MPa	34.04 MPa - 90% M/ 10%R	-56.59
Módulo de elasticidad a tracción	5563.08 MPa	6716.88 MPa 90% M/ 10%R	20.74
Módulo de elasticidad a flexión	2551.69 MPa	2872.18 MPa - 70% M/ 30%R	12.56
Energía media de fallo	0.251 J	0.751 J - 70% M/ 30%R	200

Elaborado por: Jimmy García y Alex Anguaya

Luego de analizar la Tabla 27 se concluye que, de manera general, la fracción volumétrica de material compuesto que sobresale sobre el resto corresponde la de - 70% M/ 30%R, debido a que aumento el módulo de elasticidad a tracción, el módulo de elasticidad a flexión y la energía media de fallo, esta última en un valor del 200%, todo esto en comparación con el material de resina pura, además, presenta el valor más alto de resistencia a la tracción con respecto a las fracciones volumétricas de material compuesto. El material compuesto muestra un comportamiento rígido, frágil y con una alta capacidad para absorber energía.

3.5. Aplicación industrial

Los paneles de fibra de densidad media (MDF) por sus siglas en inglés, sufren limitaciones críticas cuando entran en contacto con líquidos polares. Estos materiales se utilizan ampliamente en interiores, como en muebles y gabinetes[56].

En la Tabla 28 se describe las propiedades mecánicas del MDF que se utiliza en la fabricación de muebles modulares.

Tabla 28. Propiedades mecánicas del MDF[57]

Propiedades mecánicas del MDF				
Ensayos mecánicos del MDF	Método de ensayo	de	Unidad de medida	de Especificaciones UNE 662-2 rango de espesores en mm > 4 a 6
Esfuerzo máximo a la tracción	UNE-EN 319		MPa	0.65
Esfuerzo máximo a la flexión	UNE-EN 310		MPa	23
Módulo de elasticidad	UNE-EN 310		MPa	2700

Las propiedades mecánicas del nuevo material compuesto de poliéster y fibra de corteza de eucalipto, en comparación con el MDF ofrecen mejores propiedades mecánicas a la tracción y flexión, como se representa en la Tabla 29.

Tabla 29. Propiedades mecánicas obtenidas del material compuesto de resina poliéster y fibra de corteza de eucalipto

Propiedades mecánicas del compuesto poliéster y fibra de corteza de eucalipto			
Ensayos mecánicos	Unidades de medida (MPa)	Espesor promedio mm	Método de ensayo
Resistencia a la tracción	13.24	5.058	ASTM D3039 M-17
Resistencia a la flexión	34.02	5.016	ASTM D7264 M-15
Módulo de elasticidad	2872.18	5.016	ASTM D7264 M-15

Elaborado por: Jimmy García y Alex Anguaya

Como se muestra en la Tabla 28 y la Tabla 29, se observa que el material compuesto presenta mejores propiedades mecánicas a la tracción y flexión, además, la energía media de fallo del material en estudio es relativamente alta. Es por ello, que el material compuesto se puede utilizar en la fabricación de modulares y muebles de mediana longitud.

También se puede utilizar como bridas de cordón de seguridad en aplicaciones menores que no requieran de mucho esfuerzo como se aprecia en la Figura 52.



Figura 52. Brida acoplado a un refrigerador[18]

4. Análisis de costos

El costo estimado del proyecto es desarrollado en la Tabla 30, los cuales incluyen materiales, fabricación del molde, fabricación de probetas y ensayos mecánicos, el cual genera un costo total de 1730.59 dólares.

Tabla 30. Costos aproximados que interviene en la elaboración de las probetas

	Productos	Cantidad	Valor total
Material para el molde	Acero ASTM A36	1	600
	Resina	2	27.76
	Thinner	1	1.76
	Envases plásticos	4	9.45
	Estireno	1	2.42
	Cobalto	1	4.50
Material para las probetas	Meck	1	6.50
	Balanza digital	1	7.00
	Probeta de vidrio	1	10.50
	Lijas	3	8.50
	Pernos y tuercas	16	4.80
	Fibra	-	75.00

Ensayos mecánicos	Ensayos de flexión y tracción	2	582.40
	Ensayo de impacto	1	100.00
Corte láser	-	8	90
Varios	-	-	200.00
		Total	1730.59

Elaborado por: Jimmy García y Alex Anguaya

CAPÍTULO IV

Conclusiones

- Los materiales compuestos reforzados con fibras naturales son temas de investigación y aplicación industrial que se encuentran en auge a nivel nacional e internacional, debido a que presentan ventajas económicas, técnicas, sociales y medioambientales. En consecuencia, se convirtieron en una solución atractiva y viable para reemplazar las fibras sintéticas del tipo no renovable, con altos costos de producción y contaminantes. El Ecuador es un país rico en fibras naturales, por lo que vale la pena seguir investigando las propiedades mecánicas, físicas, químicas y eléctricas de los materiales compuestos reforzados con fibras naturales, y a la par se necesita ir desarrollando métodos de fabricación eficientes en conjunto con la automatización, que permita incrementar el volumen de producción, empezando por la forma en que se extraen las fibras hasta llegar a la producción en serie de materiales compuestos que puedan ser implementados en diferentes industrias.

- Se realizó un análisis comparativo de resultados para determinar las fracciones volumétricas de material compuesto que brinde las mejores propiedades mecánicas, en donde, de manera general se concluye que la combinación de 70%M/30%R sobresale sobre las demás, con un valor de esfuerzo máximo a tracción de 13.24 MPa, módulo de elasticidad a tracción de 5661.68 MPa, esfuerzo máximo a flexión de 25.32 MPa, módulo de elasticidad a flexión de 2872.18 MPa, y energía media de fallo de 0.75J.

- Se comparó las propiedades mecánicas del material compuesto con respecto a las propiedades mecánicas del material de resina, en donde se encontró que algunas de ellas aumentan y otras disminuyen, como se muestra a continuación:
El esfuerzo máximo a tracción disminuyó hasta un porcentaje máximo de 61% para la combinación de 80% M/ 20% R con 10.33 MPa.
El esfuerzo máximo a flexión disminuyó hasta un porcentaje máximo de 67.61% para la combinación de 70% M /30% R con 25.32 MPa.

El módulo de elasticidad a tracción aumento hasta un porcentaje máximo de 20.74% para la combinación de 90%M/10%R con 6716.88 MPa.

El módulo de elasticidad a flexión aumento hasta un porcentaje máximo de 12.56% para la combinación 70%M/30%R con 2872.18 MPa.

La energía media de fallo aumento hasta en un porcentaje máximo de 200% para la combinación 70%M/30%R con 0.75 J.

- Se determinó que el material compuesto puede ser implementado en donde se utilice los paneles de fibra de densidad media (MDF), como, por ejemplo, en la industria de la mueblería.

Recomendaciones

- Las propiedades mecánicas a tracción del material compuesto pueden aumentar de manera significativa al utilizar fibras largas en la dirección longitudinal, es decir, dicha propiedad aumenta cuando las fibras se encuentran en la dirección de la carga aplicada.
- Es de suma importancia que la fibra de la corteza de eucalipto se encuentre completamente seca, y que la misma se almacene en un lugar libre de humedad hasta el día en que se fabrique el material compuesto, debido a que la resina poliéster presenta un carácter hidrofóbico y la fibra presenta un carácter hidrófilo, lo antes mencionado con el fin de aumentar la adhesión entre la matriz y la fibra.
- Diseñar y fabricar el molde tomando en cuenta las dimensiones y el acabado superficial que deben tener las probetas según las normas ASTM para materiales compuestos. Con un buen acabado de la superficie del molde y eliminando las burbujas de aire de la resina, se obtienen probetas con un buen acabado de la superficie.
- Para pesar la fibra se debe usar una balanza analítica o semanalita, con el propósito de encontrar un valor exacto de densidad de la misma, y posterior a ello, calcular la fracción en volumen de la fibra para cada combinación de material compuesto a ensayar.
- Se puede mejorar la interfaz del material compuesto, al someter a un tratamiento químico alcalino con hidróxido de sodio (NaOH) a la fibra de eucalipto, de manera que se elimine el porcentaje de lignina, hemicelulosa, ceras y otros componentes inherentes a la fibra, con la finalidad de aumentar la rugosidad de la fibra, de modo que la unión fibra-matriz sea más eficiente, sin embargo, no es muy recomendable, debido a que este tipo de químico es contaminante e interviene en el costo final de fabricación del material.

- Se recomienda estudiar la caracterización mecánica de un compuesto híbrido constituido de resina poliéster, fibra de la corteza de eucalipto y fibra de vidrio, debido a que se podría obtener excelentes resultados.
- Al momento de diseñar el molde tener se debe tomar en cuenta los desahogos y salidas de aire para que no se produzca un encapsulamiento del aire al interior del molde, de esta forma se garantiza que el material compuesto no tenga imperfecciones a causa de este.

REFERENCIAS

- [1] Universidad De Valencia, “CATÁLISIS HETEROGÉNEA,” pp. 1–56, 2020.
- [2] C. Gañán, Piedad; Zuluaga, Robin; Castro, Cristina; Restrepo-Osorio, Adriana; Velásquez Cock, Jorge; Osorio, Marlon; Montoya, Úrsula; Vélez, Lina; Álvarez, Catalina; Correa, Carlos; Molina, “Celulosa: Un polímero de siempre con mucho futuro.,” *Rev. Colomb. Mater.*, vol. 110, no. 9, pp. 1689–1699, 2017.
- [3] A. Valencia Rey, “COMPARACIÓN DE DEFORMACIONES UNITARIAS Y DESPLAZAMIENTOS UTILIZANDO UNA ARMADURA,” UNIVERSIDAD PONTIFICI BOLIVARIANA SECCIONAL PIEDECUESTA, 2015.
- [4] R. Budynas and J. Keith, *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*, Octava edi. México, 2008.
- [5] Y. Espinosa Silva, “Propiedades Termodinámicas del Efecto Hidrofóbico en la Estabilidad Proteica,” *J. Cienc. e Ing.*, vol. 7, no. 1, pp. 1–9, 2015.
- [6] M. Chávez Sifontes and M. E. Domine, “Lignin, Structure and Applications: Depolymerization Methods for Obtaining Aromatic Derivatives of Industrial Interest / Lignina, Estructura Y Aplicaciones: Métodos De Despolimerización Para La Obtención De Derivados Aromáticos De Interés Industrial,” *Av. en Ciencias e Ing. ISSN-e 0718-8706, Vol. 4, N°. 4, 2013, págs. 15-46*, vol. 4, no. 4, pp. 15–46, 2010.
- [7] F. A. Bermejo Altamar, “Propiedades mecánicas de los materiales,” 2016.
- [8] S. Kushwaha and A. K. Bagha, “Application of composite materials for vibroacoustic – A review,” *Mater. Today Proc.*, vol. 26, pp. 1567–1571, 2020.
- [9] D. K. Rajak, D. D. Pagar, R. Kumar, and C. I. Pruncu, “Recent progress of reinforcement materials: A comprehensive overview of composite materials,” *J. Mater. Res. Technol.*, vol. 8, no. 6, pp. 6354–6374, 2019.
- [10] A. K. Sharma, R. Bhandari, A. Aherwar, and R. Rimašauskiene, “Matrix materials used in composites: A comprehensive study,” *Mater. Today Proc.*, vol. 21, pp. 1559–1562, 2020.
- [11] K. Murugan, S. Venkatesh, R. Thirumalai, and S. Nandhakumar, “Fabrication and investigations of kenaf fiber and banana fiber reinforced composite material,” *Mater. Today Proc.*, 2020.
- [12] V. Mahesh, S. Joladarashi, and S. M. Kulkarni, “A comprehensive review on material selection for polymer matrix composites subjected to impact load,” *Def.*

- Technol.*, vol. 17, no. 1, pp. 257–277, 2021.
- [13] Gaurav, H. Gohal, V. Kumar, and H. Jena, “Study of natural fibre composite material and its hybridization techniques,” *Mater. Today Proc.*, vol. 26, pp. 1368–1372, 2019.
- [14] J. B. Sajin, P. Babu Aurtherson, J. S. Binoj, N. Manikandan, M. S. Senthil Saravanan, and T. M. Haarison, “Influence of fiber length on mechanical properties and microstructural analysis of jute fiber reinforced polymer composites,” *Mater. Today Proc.*, 2020.
- [15] K. Umanath, M. K. Prabhu, A. Yuvaraj, and D. Devika, “Fabrication and analysis of Master leaf spring plate using carbon fibre and pineapple leaf fibre as natural composite materials,” in *Materials Today: Proceedings*, 2020, vol. 33, pp. 183–188.
- [16] Z. Alemayehu, R. B. Nallamotheu, M. Liben, S. K. Nallamotheu, and A. K. Nallamotheu, “Experimental investigation on characteristics of sisal fiber as composite material for light vehicle body applications,” *Mater. Today Proc.*, pp. 0–5, 2020.
- [17] E. R. Gaibor Chacha, “CARACTERIZACION DE UN MATERIAL COMPUESTO CON MATRIZ DE RESINA DE POLIÉSTER REFORZADO CON PARTÍCULA DE TOTORA,” Universidad Internacional SEK, 2017.
- [18] A. I. Delgado Pinos, “Estudio de la factibilidad técnica de remplazar poliestireno de alto impacto (PAI) por un compuesto bio-basado reforzado con fibra natural (PP-GAK) en la inyección de bridas cordón de seguridad incorporadas en refrigeradoras domésticas,” UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA, 2018.
- [19] A. D. P. Barbosa, F. Muylaert Margem, C. C. G. Oliveira, N. Tonini Simonassi, F. de Oliveira Braga, and S. Neves Monteiro, “Charpy toughness behavior of eucalyptus fiber reinforced polyester matrix composites,” in *Materials Science Forum*, 2016, vol. 869, pp. 227–232.
- [20] C. G. d. Oliveira, F. M. Margem, S. N. Monteiro, and F. P. D. Lopes, “Comparison between tensile behavior of epoxy and polyester matrix composites reinforced with eucalyptus fibers,” *J. Mater. Res. Technol.*, vol. 6, no. 4, pp. 406–410, 2017.
- [21] F. Muñoz, A. Ballerini, and W. Gacitúa, “Variability of physical, morphological and thermal properties of eucalyptus nitens bark fiber,” *Maderas Cienc. y Technol.*, vol. 15, no. 1, pp. 17–30, 2013.

- [22] J. Andrew, J. Masetlwa, T. Tesfaye, and B. Sithole, “Beneficiation of eucalyptus tree barks in the context of an integrated biorefinery – Optimisation of accelerated solvent extraction (ASE) of polyphenolic compounds using response surface methodology,” *Sustain. Chem. Pharm.*, vol. 18, no. June, p. 100327, 2020.
- [23] G. Sabari Narayanan and K. Senthil Kumar, “Study of mechanical properties of the polymer matrix composite material (solid wool),” *Mater. Today Proc.*, 2020.
- [24] J. Dávila *et al.*, *Nuevos Materiales: Aplicaciones Estructurales E Industriales*. 2011.
- [25] Gaurav, H. Gohal, V. Kumar, and H. Jena, “Study of natural fibre composite material and its hybridization techniques,” *Mater. Today Proc.*, 2020.
- [26] A. C. P., “No Title,” *Character. MECÁNICO UN Mater. COMPUESTO MATRIZ EPÓXICA Reforz. CON FIBRAS POLIPROPILENO Y SU POSIBLE Apl. Ind.*, vol. 1, pp. 1–13, 2018.
- [27] S. Das and S. Das, *Properties for Polymer, Metal and Ceramic Based Composite Materials*. Elsevier Ltd., 2021.
- [28] D. E. V. Cabezas, “Caracterización De Materiales Compuestos Obtenidos Mediante Extrusión,” 2013.
- [29] E. F. Cunalata Sánchez and C. A. Jiménez Abarca, “Caracterización de un material compuesto de matriz poliéster reforzada con fibra de yute precargada mediante moldeo por compresión,” Escuela Politécnica Nacional, 2019.
- [30] A. R. Reinoso Arias, “Evaluación del comportamiento mecánico de un material compuesto de matriz poliéster con fibra de cabello humano y su posible aplicación industrial,” Universidad Técnica de Ambato, 2019.
- [31] J. L. Masache Jiménes, “OBTENCIÓN DE Bio-RESINA POLIÉSTER INSATURADA A PARTIR DE SAVIA DE BANANO,” Escuela Politécnica Nacional, 2018.
- [32] A. Navarro Muedra, “INFLUENCIA EN EL CICLO DE CURADO EN LAS CARACTERÍSTICAS A CIZALLADURA DE COMPOSITOS A ALTO GRAMAJE CON RESINAS VINIL-URETANO,” Universidad Politécnica de Valencia.
- [33] G. E. Mazón Ortíz, “CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DEL MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ POLIÉSTER CON FIBRA DE COCO PARA LA DETERMINACIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS EN APLICACIONES INDUSTRIALES,” Universidad Técnica de Ambato, 2017.

- [34] C. X. Espín Medina, “OBTENCIÓN DE UN MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ POLIÉSTER Y LANA DE OVEJA PARA EVALUAR EL COMPORTAMIENTO MECÁNICO”, Universidad Técnica de Ambato, 2017.
- [35] J. C. FARINANGO MORALES and E. D. MOYA SEGOVIA, “CARACTERIZACIÓN DE UN MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ POLIÉSTER REFORZADO CON FIBRA TEJIDA DE BANANO.”, Escuela Politécnica Nacional, 2019.
- [36] E. L. Sánchez Safont, “Desarrollo y caracterización de compuestos biodegradables basados en polihidroxialcanoatos y fibras lignocelulósicas para aplicaciones de un solo uso,” Escuela de Doctorado de la Universitat Jaume I, 2018.
- [37] V. Mahesh, S. Joladarashi, and S. M. Kulkarni, “A comprehensive review on material selection for polymer matrix composites subjected to impact load,” *Def. Technol.*, no. xxxx, 2020.
- [38] A. Moral Borque and M. Nogueira López, “MATERIALES COMPUESTOS - COMPOSITES,” *Máster Of. en Proy. Arquít. y Ciudad . ETSAG . UAH*, 2007.
- [39] G. Vidal and S. Hormazábal, “Las fibras naturales y sus aplicaciones. Innovación en su generación a partir de la depuración de agua,” *Univ. Concepción.*, p. 100, 2016.
- [40] M. Z. Xiao *et al.*, “Unmasking the heterogeneity of carbohydrates in heartwood, sapwood, and bark of Eucalyptus,” *Carbohydr. Polym.*, vol. 238, no. March, p. 116212, 2020.
- [41] L. Penín, M. López, V. Santos, J. L. Alonso, and J. C. Parajó, “Technologies for Eucalyptus wood processing in the scope of biorefineries: A comprehensive review,” *Bioresour. Technol.*, vol. 311, no. May, p. 123528, 2020.
- [42] P. T. S. Jara, “Comparación del diseño y evaluación de miembros estructurales de madera laminada encolada con uniones dentadas, de Pino Radiata y Eucalyptus Globulus,” p. 114, 2017.
- [43] M. Acosta Solis, *El eucalipto en el Ecuador*, 2nd ed. Quito: Instituto Ecuatoriano de Ciencias Naturales, 1949.
- [44] N. Meyer, L. Schöttl, L. Bretz, A. N. Hrymak, and L. Kärger, “Direct Bundle Simulation approach for the compression molding process of Sheet Molding Compound,” *Compos. Part A*, vol. 132, no. February, p. 105809, 2020.
- [45] H. Kim and S. Chang, “Simulation of compression moulding process for long- fibre reinforced thermoset composites considering fibre bending,” *Compos. Struct.*,

- vol. 230, no. September, p. 111514, 2019.
- [46] S. A. Elsheikhi and K. Y. Benyounis, *Review of Recent Developments in Injection Molding Process for Polymeric Materials*. Elsevier Ltd., 2016.
- [47] Ramón Baeza García, “Diseño Y Fabricación De Un Molde De Inyección Para Envases De Uso Alimentario,” p. 12, 2015.
- [48] J. Gere and B. J. Goodno, *Mecánica De Materiales*, Octava edi., vol. 1. México, 2012.
- [49] ASTM D 3039, “Tensile Properties of Polymer Matrix,” *Stand. Test Method Tensile Prop. Polym. Matrix Compos. Mater.*, vol. 03, 2008.
- [50] J. M. Gere and B. J. Goodno, *MECÁNICA DE MATERIALES*, 8th ed., vol. 1, no. 3. México: CENGAGE Learning, 2013.
- [51] ASTM D 7264, “Standard Test Method for Flexural Properties of Polymer Matrix Composite Materials,” vol. i, pp. 1–11, 2007.
- [52] L. M. Bowie Ward, K. P. Canabal, M. Contreras Ruiz, J. E. Jiménez Wilches, S. Sarmiento Ibarra, and C. Ricardo, “Ensayo De Tenacidad O Impacto (Prueba Charpy),” 2018.
- [53] N. G. Muñoz Bello and L. Hurtado, “Ensayo De Impacto,” 2018.
- [54] ASTM International, “Standard test method for impact testing of miniaturized Charpy V-notch specimens,” *ASTM B. Stand.*, pp. 1–6, 2013.
- [55] ASTM D 5628, “Standard Test Method for Impact Resistance of Flat , Rigid Plastic Specimen by Means of a Striker Impacted by a Falling Weight (Gardner Impact) 1,” vol. i, no. Reapproved, pp. 1–8, 2004.
- [56] P. Henrique, G. De Cademartori, W. Herwig, W. Luiz, and E. Magalhães, “Progress in Organic Coatings Facile one-step fabrication of highly hydrophobic medium density fiberboard (MDF) surfaces via spray coating,” *Prog. Org. Coatings*, vol. 125, no. August, pp. 153–159, 2018.
- [57] C. A. Pazmiño Guerrero, “CARATERIZACIÓN MECÁNICA DEL MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ POLIÉSTER REFORZADA CON FIBRA DE HOJA DE YUCCA ELEPHANTIPES PARA LA DETERMINACIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS EN APLICACIONES INDUSTRIALES”,” UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO, 2018.

ANEXOS

Anexo 1. Ajuste de los pernos con un torquímetro y lavado de la fibra.



Anexo 2. Fichas de recolección de datos

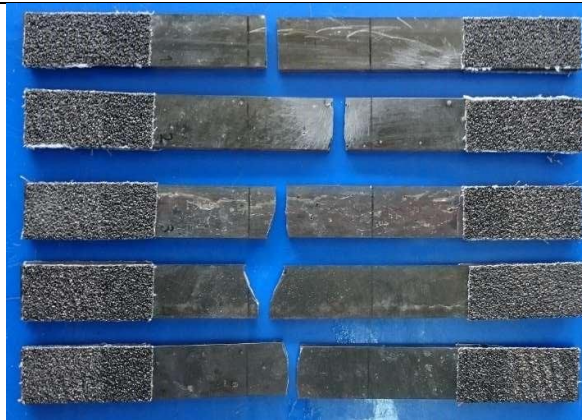
Ficha de reporte de los ensayos a tracción

Resultado de los ensayos a tracción de la configuración 10% de fibra.

Universidad Politécnica Salesiana						
Carrera de Ingeniería Mecánica						
Ficha de Reporte de datos						
Datos informativos						
Ciudad	Quito					
Lugar	Laboratorio de nuevos materiales EPN					
Fecha	05/02/2021					
Nombre de la máquina	Máquina universal de ensayos Tinius Olsen H25KS					
Realizado por	Ing. Orlando Campaña					
Revisado por	Ing. Salomé Galeas					
Aprobado por	Ing. Milton Jami					
Parámetro de ensayo						
Tipo de ensayo	Tracción	Norma			ASTM D3039/ D3039 M-17	
Orientación	Múltiples direcciones	Tipo de estratificación			Compresión	
Matriz	Resina poliéster	Fracción volumétrica			100%	
Refuerzo	Fibra de corteza de eucalipto	Fracción volumétrica			0%	
Dimensiones	250mm*25mm*e	Número de probetas			6	
Espesor promedio	4.88mm	Velocidad de ensayo			2mm/min	
Dimensiones de las probetas						
Muestra #	Ancho(mm)	Espesor(mm)			Área(mm ²)	
T1-100%M/0%R	24.76	4.92			121.70	
T2-100%M/0%R	24.86	4.78			118.83	
T3-100%M/0%R	24.78	4.93			122.17	
T4-100%M/0%R	24.84	4.91			121.94	
T5-100%M/0%R	24.93	4.9			122.13	
Resultado del ensayo						
Muestra #	Carga última(N)	Resistencia última (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Deformación última (%)	Deformación a la rotura (%)	Código de falla
T1-100%M/0%R	3177.50	26.11	5108.54	0.42	0.42	LGM
T2-100%M/0%R	2704.08	22.76	5326.07	0.40	0.40	LGM
T3-100%M/0%R	3006.15	24.61	5531.88	0.35	0.35	MGM

T4- 100%M/0 %R	3475.14	28.50	5748.85	0.56	0.56	MGM
T5- 100%M/0 %R	3720.34	30.46	6100.04	0.57	0.57	MGM
Promedio	3216.64	26.49	5563.08	0.46	0.46	-
Desviación estándar	396.58	3.06	382.95	0.10	0.10	-
Coefficiente de variación	12.33	11.54	6.88	21.58	21.58	-

Fotografía del ensayo

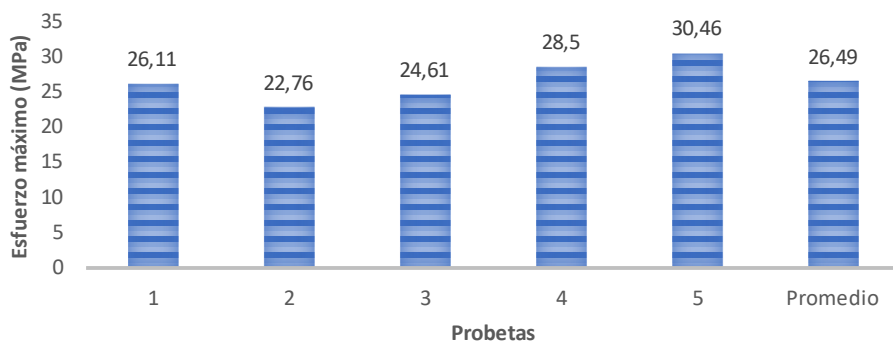


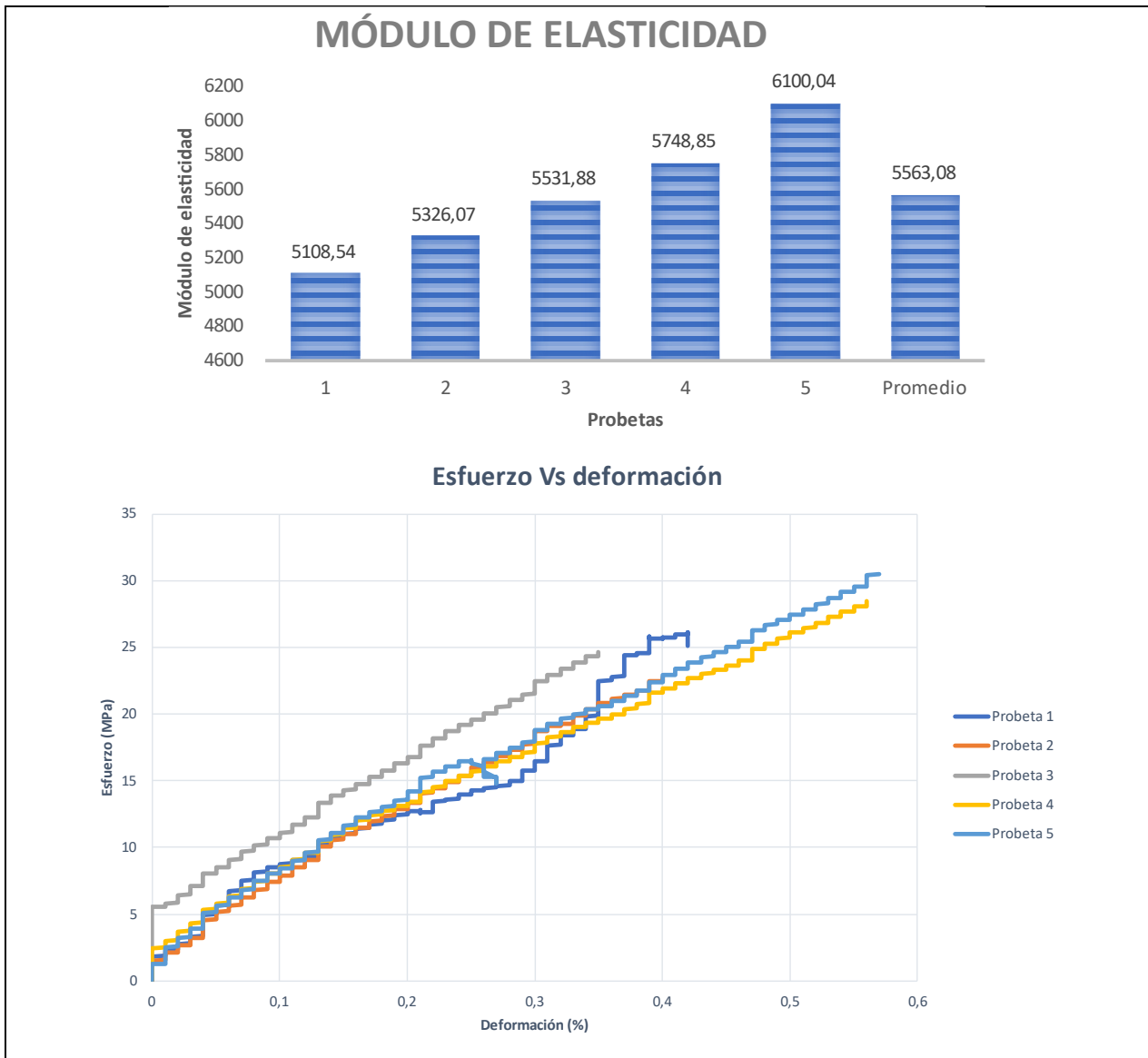
Descripción del tipo de falla

Primer carácter		Segundo carácter		Tercer carácter	
L	Lateral	A	En el agarre	T	Parte superior
G	Agarre	I	Dentro del agarre	B	Fondo
A	Angular	G	Zona calibrada	M	Medio
D	Borde	M	Múltiples áreas	L	Izquierdo
M	Multiforma	V	Varios	R	Derecho
S	Larga división	U	Desconocido	V	Varios
X	Explosiva	W	<1W desde el agarre	U	Desconocido

Gráficos de los resultados

RESISTENCIA ÚLTIMA A LA TRACCIÓN

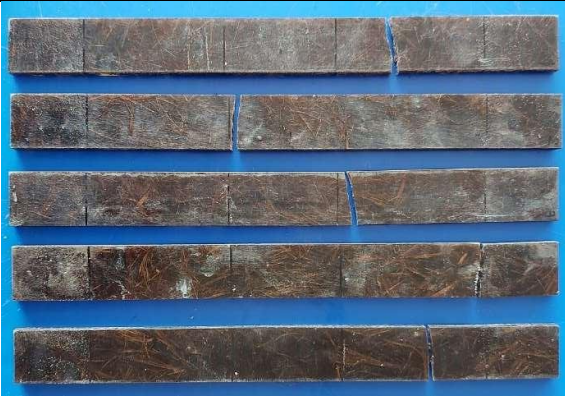




Fuente: El autor.

Resultado de los ensayos a tracción de la configuración 10% de fibra.

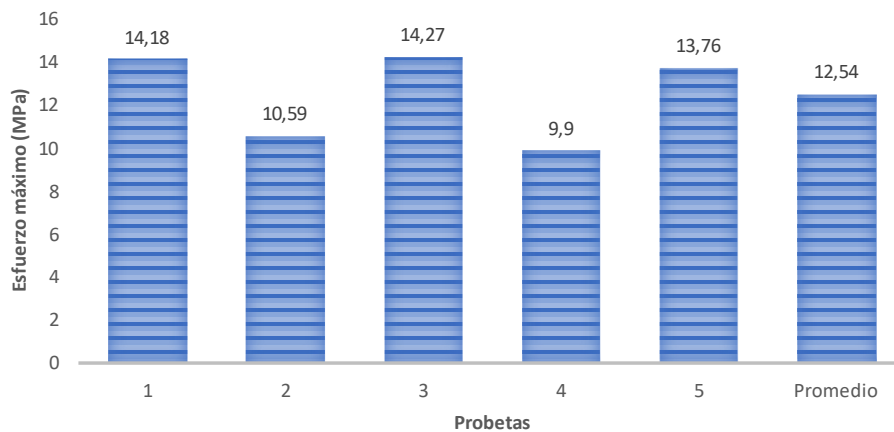
Universidad Politécnica Salesiana			
Carrera de Ingeniería Mecánica			
Ficha de Reporte de datos			
Datos informativos			
Ciudad	Quito		
Lugar	Laboratorio de nuevos materiales EPN		
Fecha	08/02/2021		
Nombre de la máquina	Máquina universal de ensayos Tinius Olsen H25KS		
Realizado por	Ing. Orlando Campaña		
Revisado por	Ing. Salomé Galeas		
Aprobado por	Ing. Milton Jami		
Parámetro de ensayo			
Tipo de ensayo	Tracción	Norma	ASTM D3039/

						D3039 M-17
Orientación	Múltiples direcciones	Tipo de estratificación		Compresión		
Matriz	Resina poliéster	Fracción volumétrica		90%		
Refuerzo	Fibra de corteza de eucalipto	Fracción volumétrica		10%		
Dimensiones	250mm*25mm*e	Número de probetas		6		
Espesor promedio	5.032mm	Velocidad de ensayo		2mm/min		
Dimensiones de las probetas						
Muestra #	Ancho(mm)	Espesor(mm)		Área(mm ²)		
T1-90%M/10%R	25.27	5.02		126.83		
T2-90%M/10%R	25.11	5.07		127.16		
T3-90%M/10%R	25.19	4.92		123.78		
T4-90%M/10%R	25.14	5.12		128.59		
T5-90%M/10%R	24.96	5.03		125.42		
Resultado del ensayo						
Muestra #	Carga última(N)	Resistencia última (MPa)	Módulo de elasticidad (Mpa)	Deformación última (%)	Deformación a la rotura (%)	Código de falla
T1-90%M/10%R	1798.78	14.18	6473.91	0.18	-	AUT
T2-90%M/10%R	1346.05	10.59	6499.14	0.14	0.14	AGM
T3-90%M/10%R	1766.53	14.27	6922.06	0.18	-	AUT
T4-90%M/10%R	1273.33	9.90	6634.81	0.11	-	AAT
T5-90%M/10%R	1726.42	13.76	7054.47	0.17	-	AWT
Promedio	1582.22	12.54	6716.88	0.16	-	-
Desviación estándar	251.42	2.12	259.44	0.03	-	-
Coefficiente de variación	15.89	16.89	3.86	19.55	-	-
Fotografía del ensayo						
						
Descripción del tipo de falla						
Primer carácter	Segundo carácter		Tercer carácter			

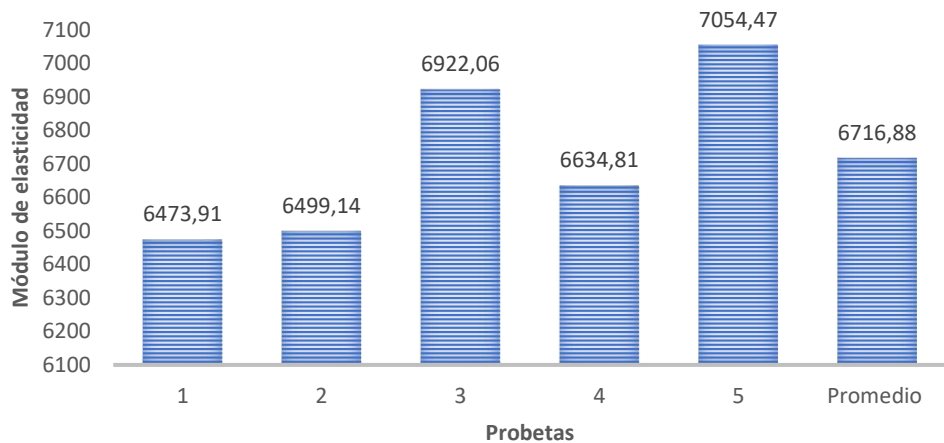
L	Lateral	A	En el agarre	T	Parte superior
G	Agarre	I	Dentro del agarre	B	Fondo
A	Angular	G	Zona calibrada	M	Medio
D	Borde	M	Múltiples áreas	L	Izquierdo
M	Multiforma	V	Varias	R	Derecho
S	Larga división	U	Desconocido	V	Varios
X	Explosiva	W	<1W desde el agarre	U	Desconocido

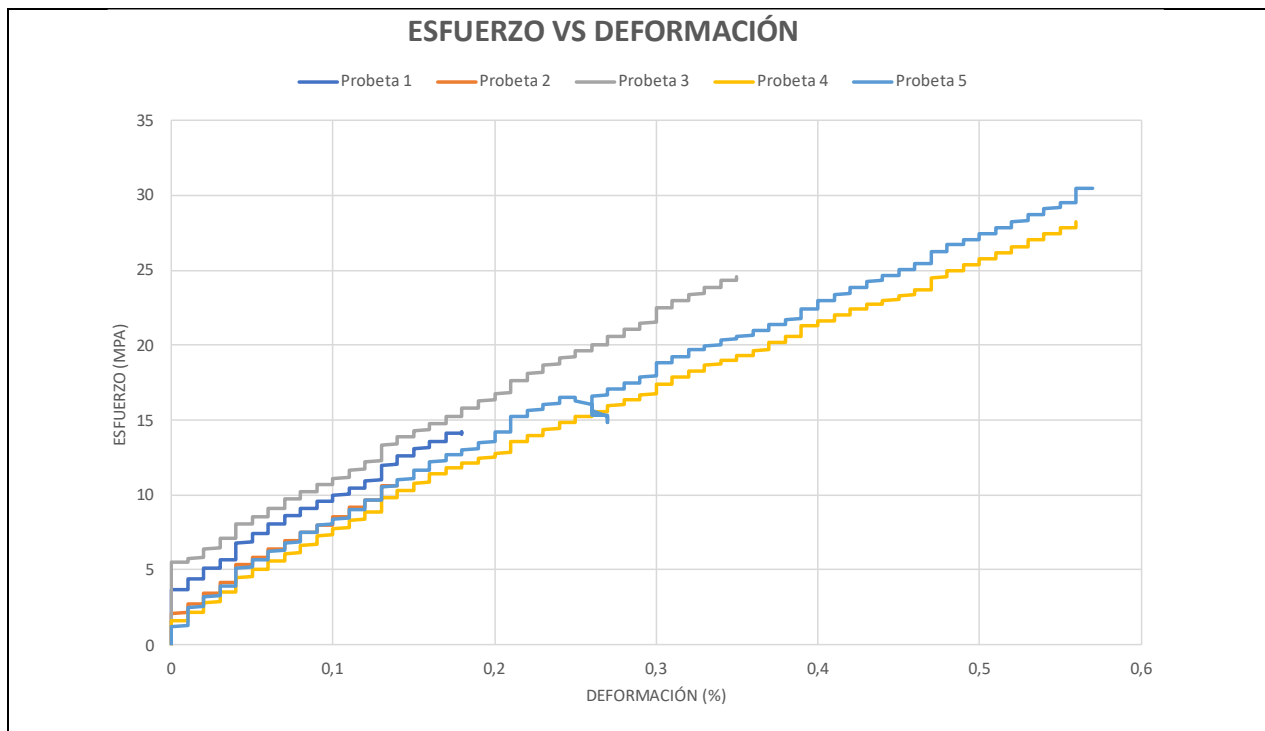
Gráficos de los resultados

ESFUERZO MÁXIMO A LA TRACCIÓN



MÓDULO DE ELASTICIDAD





Fuente: El autor.

Resultado de los ensayos a tracción de la configuración 20% de fibra.

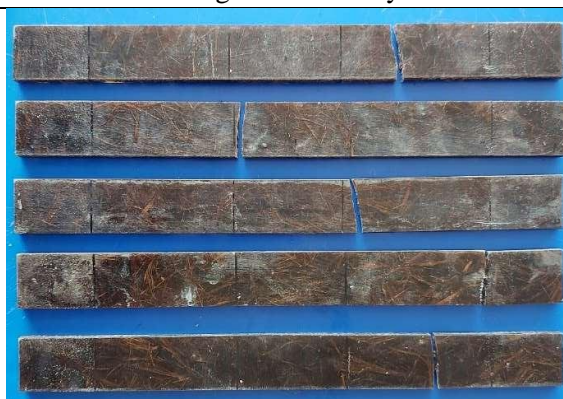
Universidad Politécnica Salesiana			
Carrera de Ingeniería Mecánica			
Ficha de Reporte de datos			
Datos informativos			
Ciudad	Quito		
Lugar	Laboratorio de nuevos materiales EPN		
Fecha	09/02/2021		
Nombre de la máquina	Máquina universal de ensayos Tinius Olsen H25KS		
Realizado por	Ing. Orlando Campaña		
Revisado por	Ing. Salomé Galeas		
Aprobado por	Ing. Milton Jami		
Parámetro de ensayo			
Tipo de ensayo	Tracción	Norma	ASTM D3039/ D3039 M-17
Orientación	Múltiples direcciones	Tipo de estratificación	Compresión
Matriz	Resina poliéster	Fracción volumétrica	80%
Refuerzo	Fibra de corteza de eucalipto	Fracción volumétrica	20%
Dimensiones	250mm*25mm*e	Número de probetas	6
Espesor promedio	5.086mm	Velocidad de ensayo	2mm/min
Dimensiones de las probetas			
Muestra #	Ancho(mm)	Espesor(mm)	Área(mm ²)
T1-80%M/20%R	25.19	5.17	130.08
T2-80%M/20%R	25.09	5.08	127.31

T3-80%M/20%R	25.10	5.06	126.88
T4-80%M/20%R	26.06	5.03	131.06
T5-80%M/20%R	25.06	5.09	1217.53

Resultado del ensayo

Muestra #	Carga última(N)	Resistencia última (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Deformación última (%)	Deformación a la rotura (%)	Código de falla
T-20%-1(MS-21-064)	1636.67	12.58	4878.41	0.24	-	AUT
T-20%-2(MS-21-065)	1428.63	11.22	6932.40	0.15	0.15	LGM
T-20%-3(MS-21-066)	951.15	7.50	5908.86	0.11	0.11	AGM
T-20%-4(MS-21-067)	1361.65	10.39	5050.84	0.18	-	AUB
T-20%-5(MS-21-068)	1270.96	9.97	6319.50	0.13	0.13	LGM
Promedio	1329.81	10.33	5818.00	0.16	0.13	-
Desviación estándar	250.89	1.87	862.12	0.05	0.02	-
Coefficiente de variación	18.87	18.10	14.82	31.29	13.38	-

Fotografía del ensayo



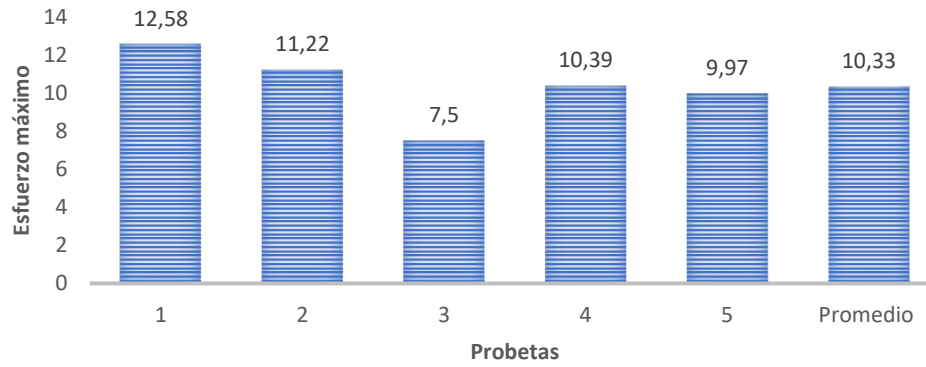
Descripción del tipo de falla

Primer carácter		Segundo carácter		Tercer carácter	
L	Lateral	A	En el agarre	T	Parte superior
G	Agarre	I	Dentro del agarre	B	Fondo
A	Angular	G	Zona calibrada	M	Medio
D	Borde	M	Múltiples áreas	L	Izquierdo
M	Multiforma	V	Varias	R	Derecho

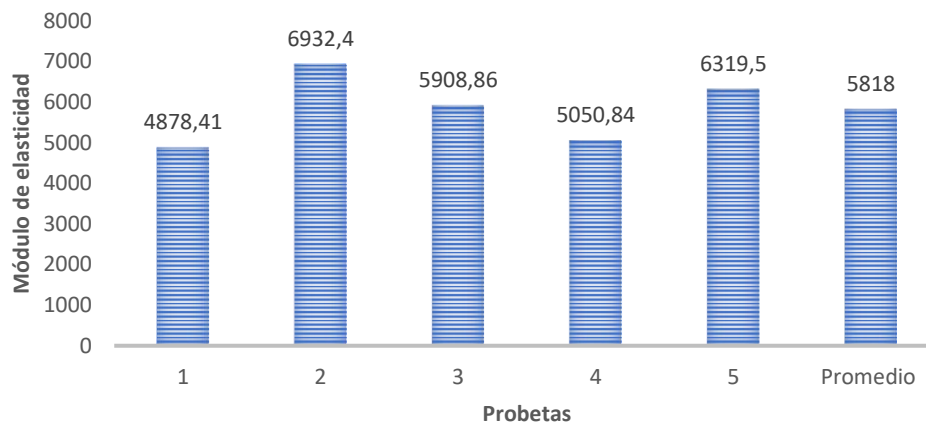
S	Larga división	U	Desconocido	V	Varios
X	Explosiva	W	<1W desde el agarre	U	Desconocido

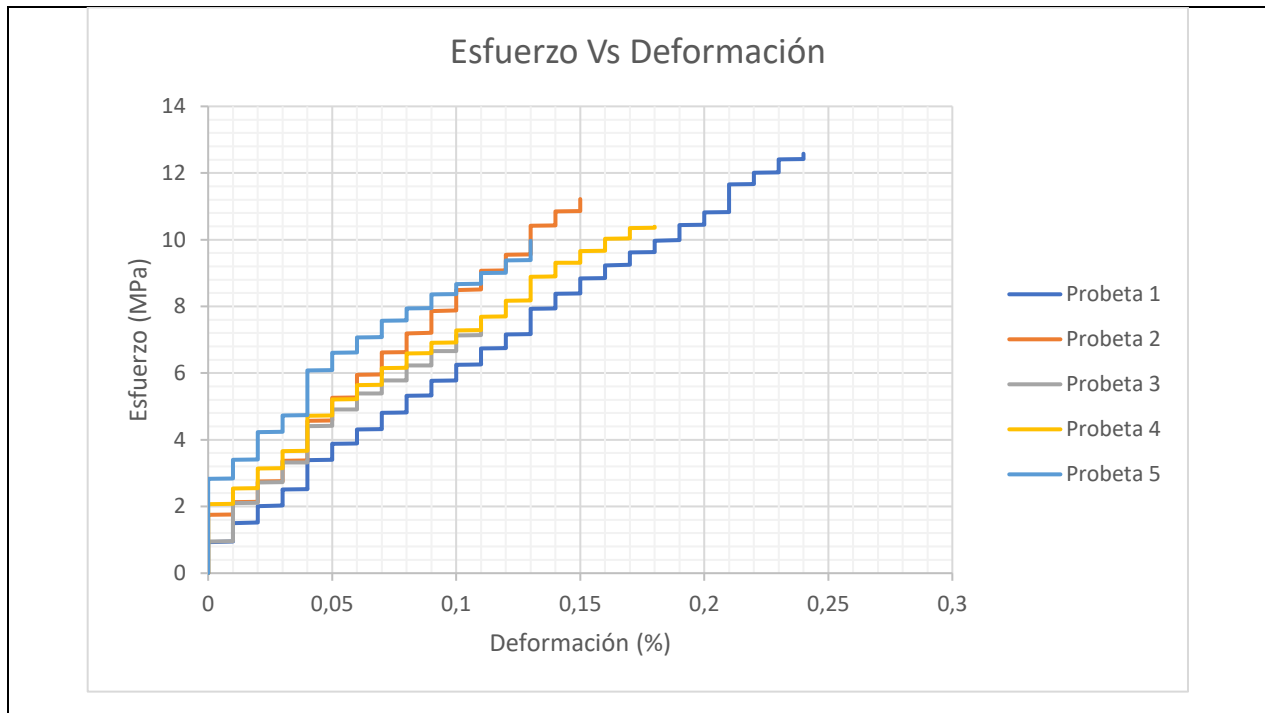
Gráficos de los resultados

ESFUERZO MÁXIMO A LA TRACCIÓN



MÓDULO DE ELASTICIDAD





Fuente: El autor.

Resultado de los ensayos a tracción de la configuración 30% de fibra.

Universidad Politécnica Salesiana			
Carrera de Ingeniería Mecánica			
Ficha de Reporte de datos			
Datos informativos			
Ciudad	Quito		
Lugar	Laboratorio de nuevos materiales EPN		
Fecha	09/02/2021		
Nombre de la máquina	Máquina universal de ensayos Tinius Olsen H25KS		
Realizado por	Ing. Orlando Campaña		
Revisado por	Ing. Salomé Galeas		
Aprobado por	Ing. Milton Jami		
Parámetro de ensayo			
Tipo de ensayo	Tracción	Norma	ASTM D3039/ D3039 M-17
Orientación	Múltiples direcciones	Tipo de estratificación	Compresión
Matriz	Resina poliéster	Fracción volumétrica	70%
Refuerzo	Fibra de corteza de eucalipto	Fracción volumétrica	30%
Dimensiones	250mm*25mm*e	Número de probetas	6
Espesor promedio	5.058mm	Velocidad de ensayo	2mm/min
Dimensiones de las probetas			
Muestra #	Ancho(mm)	Espesor(mm)	Área(mm ²)
T1-70%M/30%R	25.00	5.14	128.47
T2-70%M/30%R	24.89	5.15	128.06
T3-70%M/30%R	24.84	5.07	125.94

T4-70%M/30%R	25.01	4.96	123.93
T5-70%M/30%R	24.67	4.97	122.61

Resultado del ensayo

Muestra #	Carga última(N)	Resistencia última (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Deformación última (%)	Deformación a la rotura (%)	Código de falla
T1-70%M/30%R	1751.80	13.64	6506.14	0.17	-	AWT
T2-70%M/30%R	1430.41	11.17	6031.87	0.15	-	AWT
T3-70%M/30%R	1994.95	15.84	5701.87	0.28	-	AWB
T4-70%M/30%R	1602.91	12.93	5327.81	0.25	-	AUB
T5-70%M/30%R	1548.81	12.63	4740.70	0.23	-	AUT
Promedio	1665.81	13.24	5661.68	0.22	-	-
Desviación estándar	217.22	1.71	672.95	0.05	-	-
Coefficiente de variación	13.04	12.90	11.89	25.27	-	-

Fotografía del ensayo

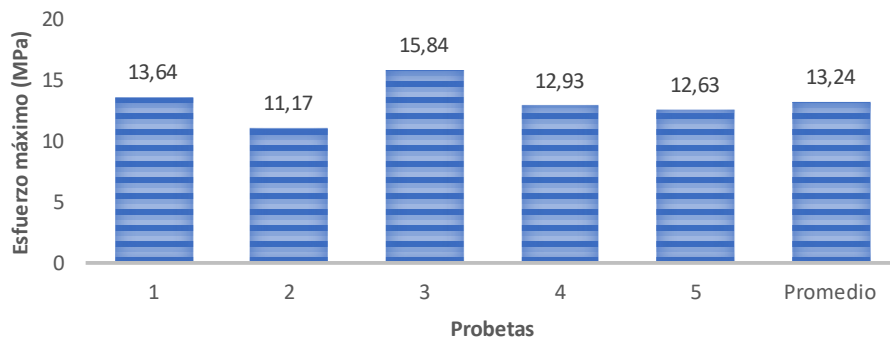


Descripción del tipo de falla

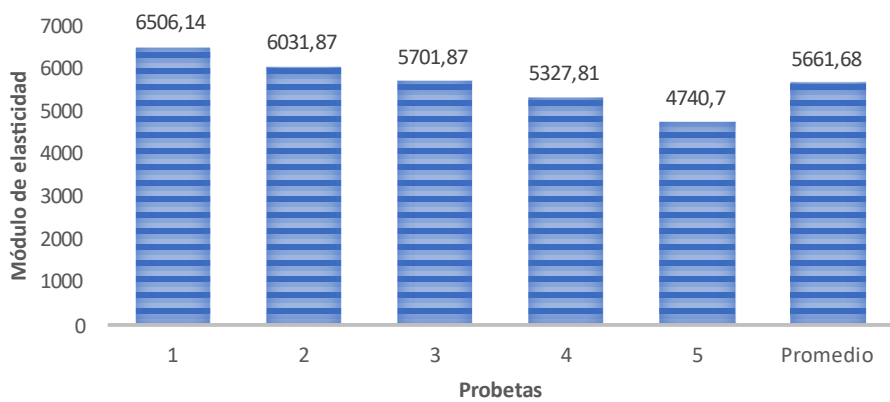
Primer carácter		Segundo carácter		Tercer carácter	
L	Lateral	A	En el agarre	T	Parte superior
G	Agarre	I	Dentro del agarre	B	Fondo
A	Angular	G	Zona calibrada	M	Medio
D	Borde	M	Múltiples áreas	L	Izquierdo
M	Multiforma	V	Varias	R	Derecho
S	Larga división	U	Desconocido	V	Varios
X	Explosiva	W	<1W desde el agarre	U	Desconocido

Gráficos de los resultados

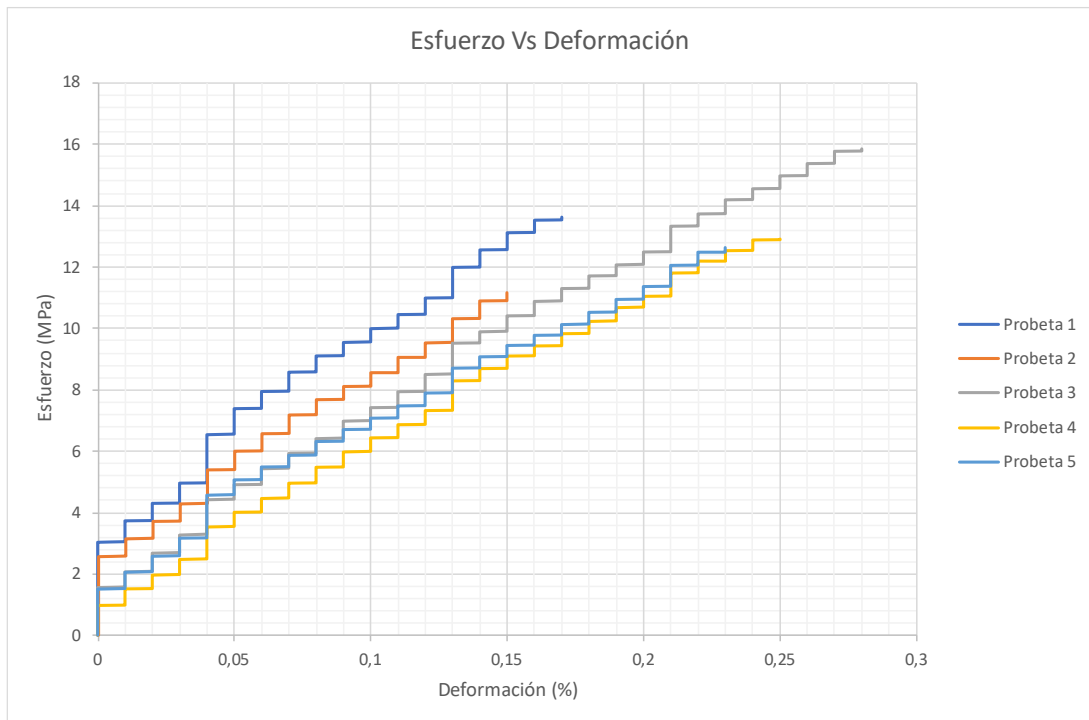
ESFUERZO MÁXIMO A LA TRACCIÓN



MÓDULO DE ELASTICIDAD



Esfuerzo Vs Deformación



Fuente: El autor.

Ficha de reporte de los ensayos a flexión

Condiciones ambientales en las que se realizaron los ensayos de flexión.

Técnica	Id. Muestra	Fecha	Temperatura Inicial (°C)	Humedad Inicial (% HR)	Temperatura Final (°C)	Humedad Final (% HR)
Resistencia a flexión ASTM D7264/D7264 M-15	F-0%-1 a F-0%-5	09/02/2021	22,4	48,5	22,0	48,6
	F-10%-1 a F-10%-5	10/02/2021	21,9	48,8	22,0	48,3
	F-20%-1 a F-20%-5	10/02/2020	22,2	49,8	22,0	49,8
	F-30%-1 a F-30%-5	10/02/2021	21,9	49,5	22,0	49,5

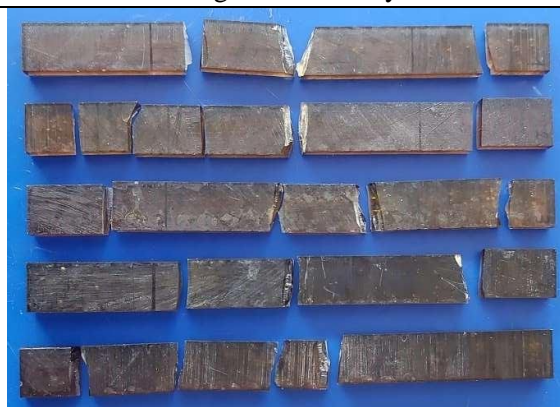
Fuente: El autor.

. Resultado de los ensayos a flexión de la configuración 0% de fibra.

Universidad Politécnica Salesiana			
Carrera de Ingeniería Mecánica			
Reporte de datos			
Datos informativos			
Ciudad	Quito		
Lugar	Laboratorio de nuevos materiales EPN		
Fecha	09/02/2021		
Nombre de la máquina	Máquina universal de ensayos Tinius Olsen H25KS		
Realizado por	Ing. Orlando Campaña		
Revisado por	Ing. Salomé Galeas		
Aprobado por	Ing. Milton Jami		
Parámetro de ensayo			
Tipo de ensayo	Flexión	Norma	ASTM D7264 / D7264 M-15
Orientación	-	Tipo de estratificación	Compresión
Matriz	Resina poliéster	Fracción volumétrica	100%
Refuerzo	Fibra de corteza de eucalipto	Fracción volumétrica	0%
Dimensiones	160mm*16mm*e	Número de probetas	6
Espesor promedio	4.86mm	Velocidad de ensayo	1mm/min
Dimensiones de las probetas			
Muestra #	Ancho(mm)	Espesor(mm)	Área(mm ²)
F1-100%M/0%R	15.83	4.80	75.98
F2-100%M/0%R	15.78	4.84	76.27
F3-100%M/0%R	15.77	4.84	76.33
F4-100%M/0%R	15.80	4.94	77.97
F5-100%M/0%R	15.83	4.86	76.91
Resultado del ensayo			

Muestra #	Carga última(N)	Resistencia última (MPa)	Módulo elástico a flexión (MPa)	Deformación última (%)	Deformación a la rotura (%)	Tipo de falla	Distancia entre apoyos(mm)
F1-100%M/0%R	238.33	75.28	2574.87	3.55	3.56	MLV	76.80
F2-100%M/0%R	276.67	87.06	2661.82	5.16	5.25	MLV	77.36
F3-100%M/0%R	265.00	83.33	2411.90	4.85	4.86	MLV	77.44
F4-100%M/0%R	239.17	73.62	2753.48	3.21	3.23	MLV	78.96
F5-100%M/0%R	233.33	72.81	2356.38	3.85	3.85	MLV	77.76
Promedio	250.50	78.42	2551.69	4.12	4.15	-	-
Desviación estándar	19.15	6.39	166.64	0.84	0.87	-	-
Coefficiente de variación	7.64	8.14	6.53	20.43	20.86	-	-

Fotografía del ensayo

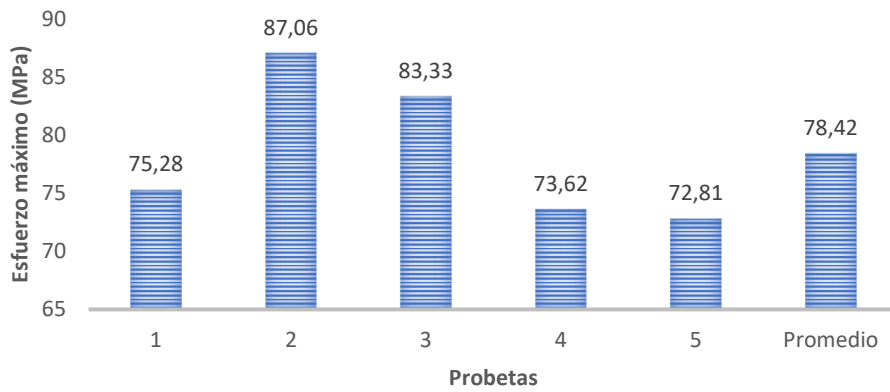


Descripción del tipo de falla

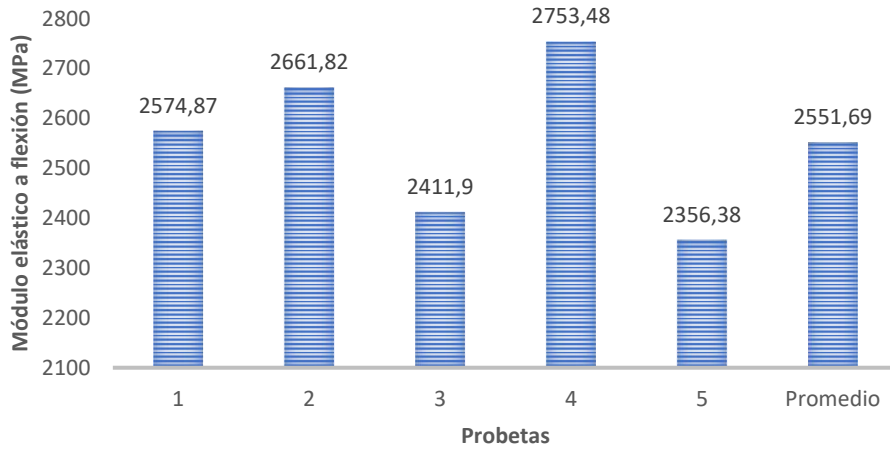
Primer carácter		Segundo carácter		Tercer carácter	
T	Tensión	A	En el punto de carga	T	Parte superior
C	Compresión	B	Entre los puntos de la carga	B	Fondo
B	Pandeo	S	En el punto de apoyo	M	Medio
S	Cizalla interlaminar	L	Entre la carga y el punto de apoyo	L	Izquierdo
M	Multimodo	U	Desconocido	R	Derecho
O	Otros			V	Varios
				U	Desconocido

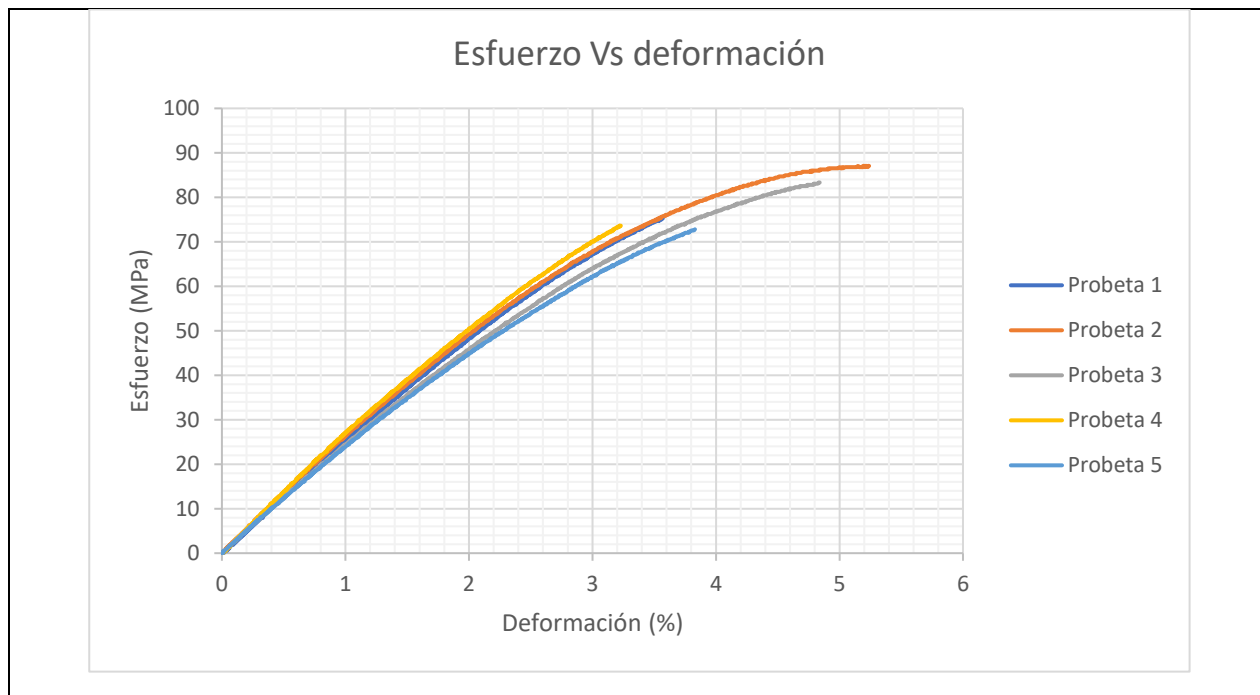
Gráficos de los resultados

ESFUERZO MÁXIMO A LA FLEXIÓN



MÓDULO DE ELASTICIDAD






Fuente: El autor.

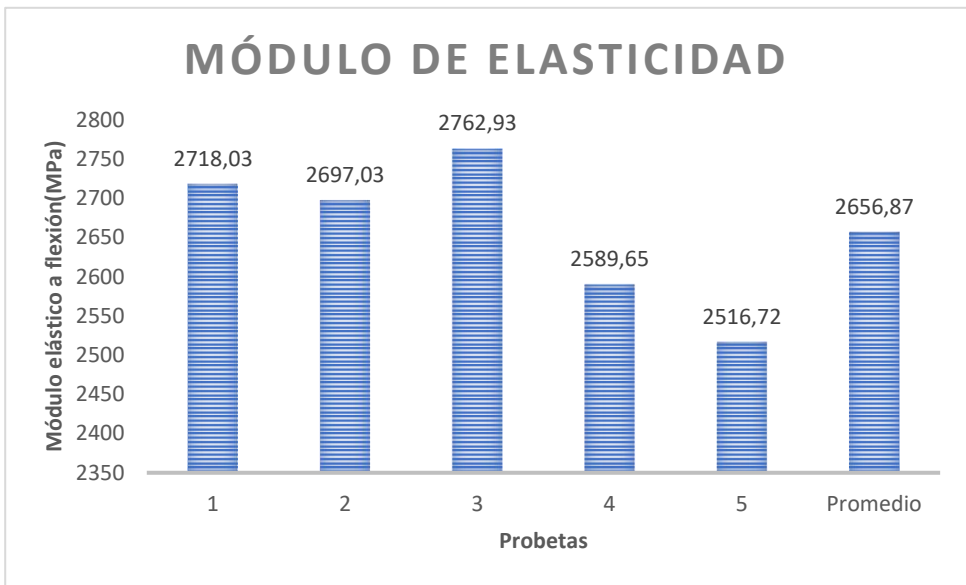
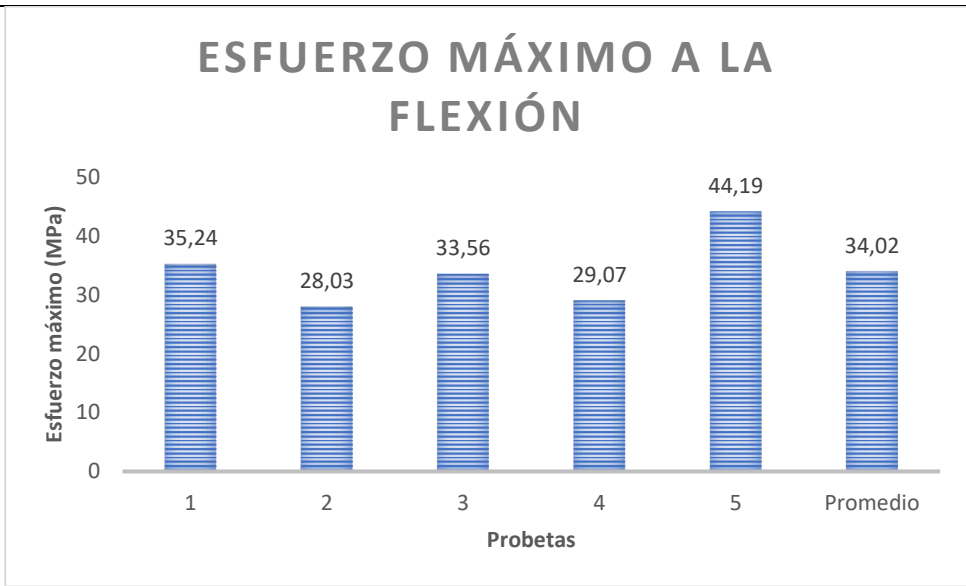
Resultado de los ensayos a flexión de la configuración 10% de fibra.

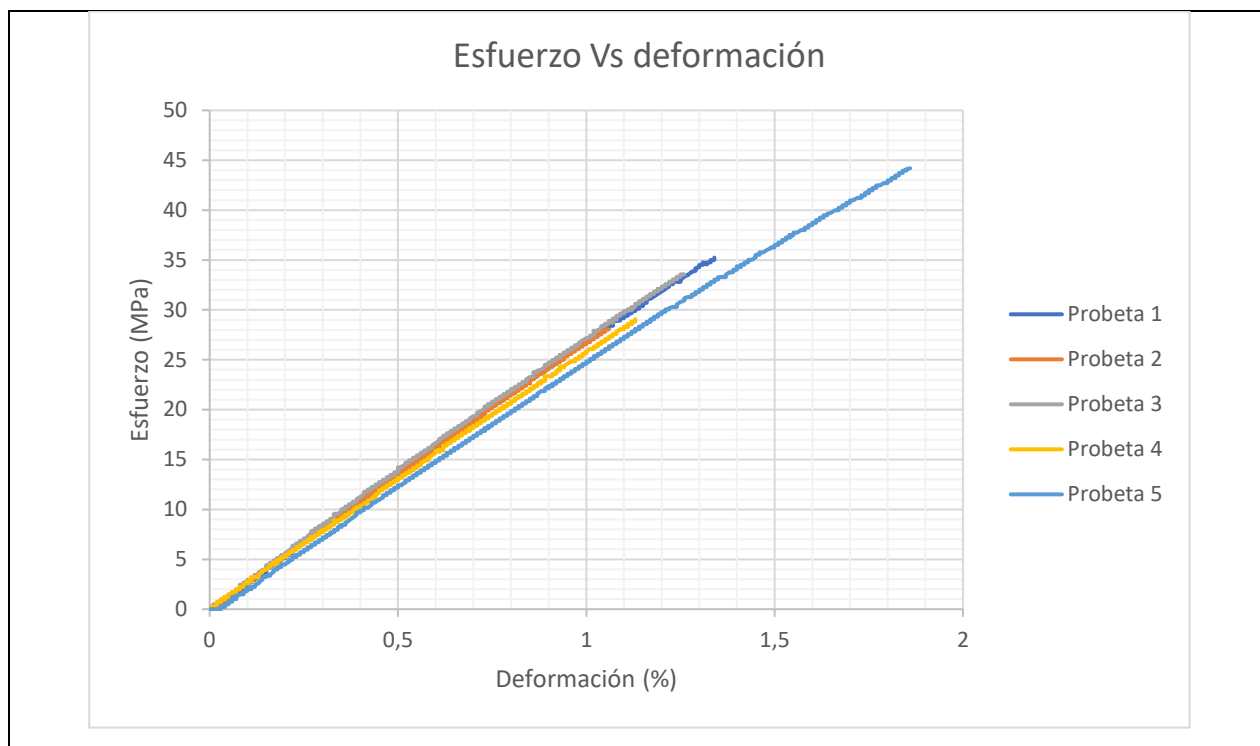
Universidad Politécnica Salesiana			
Carrera de Ingeniería Mecánica			
Ficha de Reporte de datos			
Datos informativos			
Ciudad	Quito		
Lugar	Laboratorio de nuevos materiales EPN		
Fecha	10/02/2021		
Nombre de la máquina	Máquina universal de ensayos Tinius Olsen H25KS		
Realizado por	Ing. Orlando Campaña		
Revisado por	Ing. Salomé Galeas		
Aprobado por	Ing. Milton Jami		
Parámetro de ensayo			
Tipo de ensayo	Flexión	Norma	ASTM D7264 / D7264 M-15
Orientación	Múltiples direcciones	Tipo de estratificación	Compresión
Matriz	Resina poliéster	Fracción volumétrica	90%
Refuerzo	Fibra de corteza de eucalipto	Fracción volumétrica	10%
Dimensiones	160mm*16mm*e	Número de probetas	6
Espesor promedio	5.024mm	Velocidad de ensayo	1mm/min
Dimensiones de las probetas			
Muestra #	Ancho(mm)	Espesor(mm)	Área(mm ²)
F1-90%M/10%R	16.03	5.14	82.29
F2-90%M/10%R	16.30	4.99	81.34
F3-90%M/10%R	16.07	5.08	81.64
F4-90%M/10%R	16.23	4.93	80.50

F5-90%M/10%R		16.19		4.98		80.52	
Resultado del ensayo							
Muestra #	Carga última(N)	Resistencia última (MPa)	Módulo elástico a flexión (MPa)	Deformación última (%)	Deformación a la rotura (%)	Tipo de falla	Distancia entre apoyos(mm)
F-10%-1(MS-21-079)	120.83	35.24	2718.03	1.33	1.34	MAM	82.16
F-10%-2(MS-21-080)	95.00	28.03	2697.03	1.05	1.06	MAM	79.84
F-10%-3(MS-21-081)	114.17	33.56	2762.93	1.26	1.26	MAM	81.28
F-10%-4(MS-21-082)	97.50	29.07	2589.65	1.13	.13	MAM	79.36
F-10%-5(MS-21-083)	148.24	44.19	2516.72	1.84	1.84	MLB	79.60
Promedio	115.15	34.02	2656.87	1.32	1.33	-	-
Desviación estándar	21.48	6.43	100.95	0.31	0.31	-	-
Coefficiente de variación	18.66	18.91	3.80	23.41	23.18	-	-
Fotografía del ensayo							
							
Descripción del tipo de falla							
Primer carácter		Segundo carácter		Tercer carácter			
T	Tensión	A	En el punto de carga	T	Parte superior		
C	Compresión	B	Entre los puntos de la carga	B	Fondo		
B	Pandeo	S	En el punto de apoyo	M	Medio		
S	Cizalla interlaminar	L	Entre la carga y el punto de apoyo	L	Izquierdo		

M	Multimodo	U	Desconocido	R	Derecho
O	Otros			V	Varios
				U	Desconocido

Gráficos de los resultados





Fuente: El autor.

Resultado de los ensayos a flexión de la configuración 20% de fibra.

Universidad Politécnica Salesiana			
Carrera de Ingeniería Mecánica			
Ficha de Reporte de datos			
Datos informativos			
Ciudad	Quito		
Lugar	Laboratorio de nuevos materiales EPN		
Fecha	10/02/2021		
Nombre de la máquina	Máquina universal de ensayos Tinius Olsen H25KS		
Realizado por	Ing. Orlando Campaña		
Revisado por	Ing. Salomé Galeas		
Aprobado por	Ing. Milton Jami		
Parámetro de ensayo			
Tipo de ensayo	Flexión	Norma	ASTM D7264 / D7264 M-15
Orientación	Múltiples direcciones	Tipo de estratificación	Compresión
Matriz	Resina poliéster	Fracción volumétrica	80%
Refuerzo	Fibra de corteza de eucalipto	Fracción volumétrica	20%
Dimensiones	160mm*16mm*e	Número de probetas	6
Espesor promedio	5.016mm	Velocidad de ensayo	1mm/min
Dimensiones de las probetas			
Muestra #	Ancho(mm)	Espesor(mm)	Área(mm ²)
F1-80%M20%R	16.30	5.05	82.21
F2-80%M20%R	16.16	5.01	80.96
F3-80%M20%R	16.29	5.08	82.75

F4-80%M20%R	16.22	4.94	80.05
F5-80%M20%R	16.21	5.00	81.05

Resultado del ensayo

Muestra #	Carga última(N)	Resistencia última (MPa)	Módulo elástico a flexión (MPa)	Deformación última (%)	Deformación a la rotura (%)	Tipo de falla	Distancia entre apoyos(mm)
F1-80%M20%R	109.17	31.87	2769.99	1.21	1.21	MAM	80.72
F2-80%M20%R	118.33	35.08	2869.79	1.30	1.30	MAM	80.16
F3-80%M20%R	103.33	29.97	2695.50	1.16	1.16	MLT	81.28
F4-80%M20%R	115.83	34.73	2742.65	1.31	1.31	MAM	78.96
F5-80%M20%R	87.19	25.82	2926.89	0.95	0.95	MLT	80.00
Promedio	106.77	31.49	2800.96	1.19	1.19	-	-
Desviación estándar	12.42	3.81	94.97	0.15	0.15	-	-
Coefficiente de variación	11.63	12.09	3.39	12.31	12.31	-	-

Fotografía del ensayo

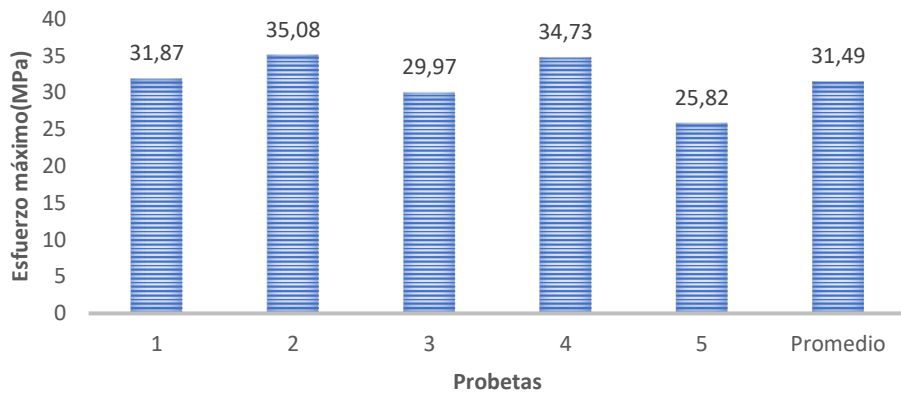


Descripción del tipo de falla

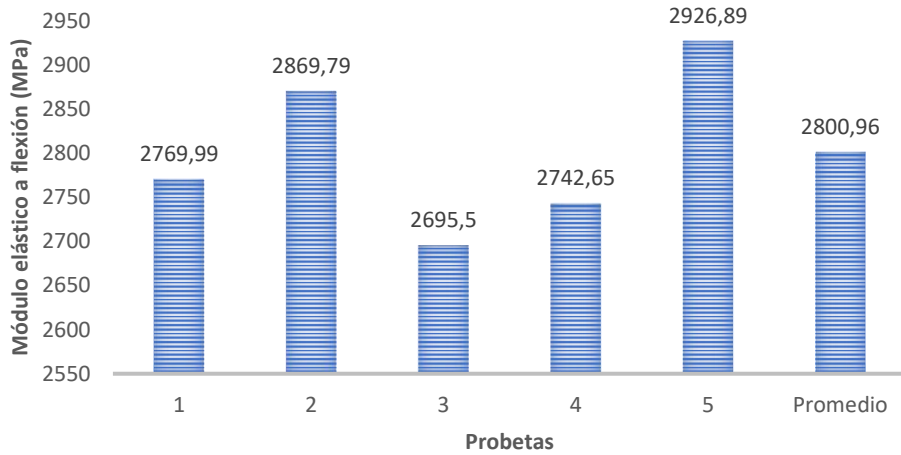
Primer carácter		Segundo carácter		Tercer carácter	
T	Tensión	A	En el punto de carga	T	Parte superior
C	Compresión	B	Entre los puntos de la carga	B	Fondo
B	Pandeo	S	En el punto de apoyo	M	Medio
S	Cizalla interlaminar	L	Entre la carga y el punto de apoyo	L	Izquierdo
M	Multimodo	U	Desconocido	R	Derecho
O	Otros			V	Varios
				U	Desconocido

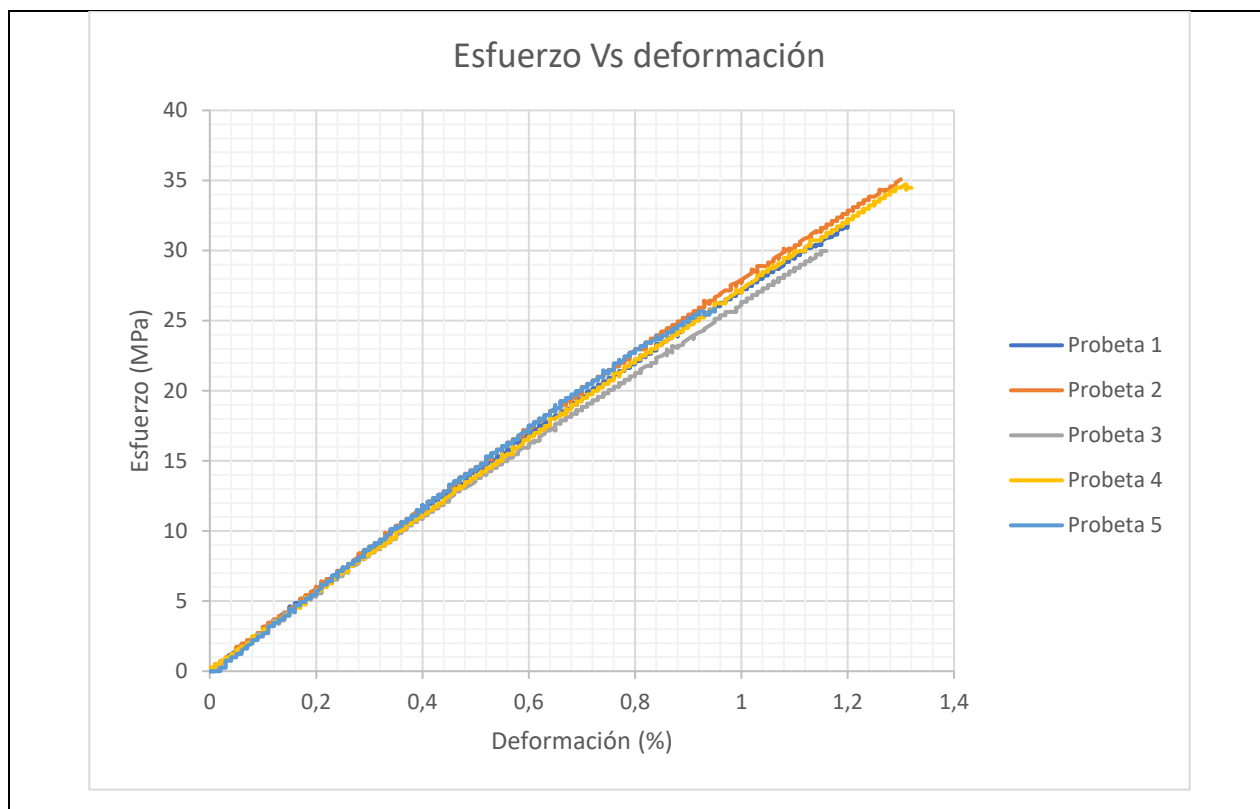
Gráficos de los resultados

ESFUERZO MÁXIMO A LA FLEXIÓN



MÓDULO DE ELASTICIDAD





Fuente: El autor.

Resultado de los ensayos a flexión de la configuración 30% de fibra.

Universidad Politécnica Salesiana			
Carrera de Ingeniería Mecánica			
Ficha de Reporte de datos			
Datos informativos			
Ciudad	Quito		
Lugar	Laboratorio de nuevos materiales EPN		
Fecha	10/02/2021		
Nombre de la máquina	Máquina universal de ensayos Tinius Olsen H25KS		
Realizado por	Ing. Orlando Campaña		
Revisado por	Ing. Salomé Galeas		
Aprobado por	Ing. Milton Jami		
Parámetro de ensayo			
Tipo de ensayo	Flexión	Norma	ASTM D7264 / D7264 M-15
Orientación	Múltiples direcciones	Tipo de estratificación	Compresión
Matriz	Resina poliéster	Fracción volumétrica	70%
Refuerzo	Fibra de corteza de eucalipto	Fracción volumétrica	30%
Dimensiones	160mm*16mm*e	Número de probetas	6
Espesor promedio	4.938mm	Velocidad de ensayo	1mm/min
Dimensiones de las probetas			
Muestra #	Ancho(mm)	Espesor(mm)	Área(mm ²)
F1-70%M30%R	16.34	4.95	80.73

F2-70%M30%R	12.32	4.88	79.62
F3-70%M30%R	16.49	502	82.67
F4-70%M30%R	16.37	4.93	80.62
F5-70%M30%R	16.58	4.91	81.41

Resultado del ensayo

Muestra #	Carga última(N)	Resistencia última (MPa)	Módulo elástico a flexión (MPa)	Deformación última (%)	Deformación a la rotura (%)	Tipo de falla	Distancia entre apoyos(mm)
F1-70%M30%R	95.00	28.23	2899.04	1.04	1.05	MLT	79.12
F2-70%M30%R	92.50	27.88	2890.89	1.02	1.02	MAM	78.08
F3-70%M30%R	90.00	26.13	3106.10	0.89	0.89	MLB	80.24
F4-70%M30%R	70.00	20.84	2668.28	0.80	0.86	MAM	78.80
F5-70%M30%R	79.85	23.54	2796.60	0.92	0.92	MAM	78.56
Promedio	85.47	25.32	2872.18	0.93	0.95	-	-
Desviación estándar	10.39	3.12	160.53	0.10	0.05	-	-
Coefficiente de variación	12.15	12.32	5.59	10.53	8.74	-	-

Fotografía del ensayo

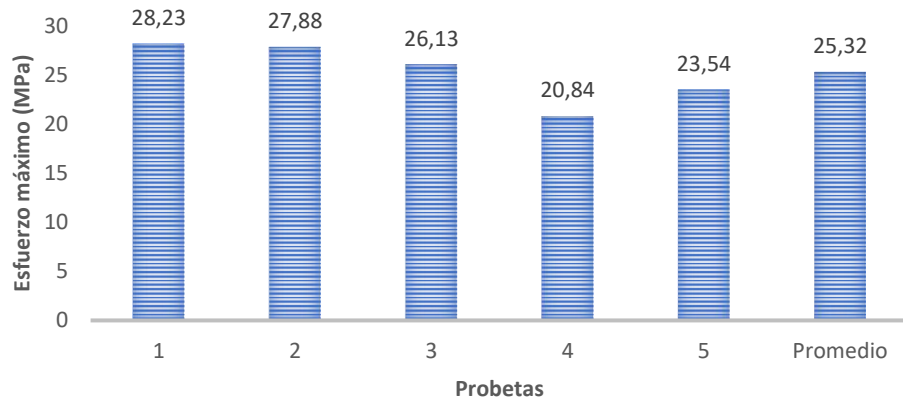


Descripción del tipo de falla

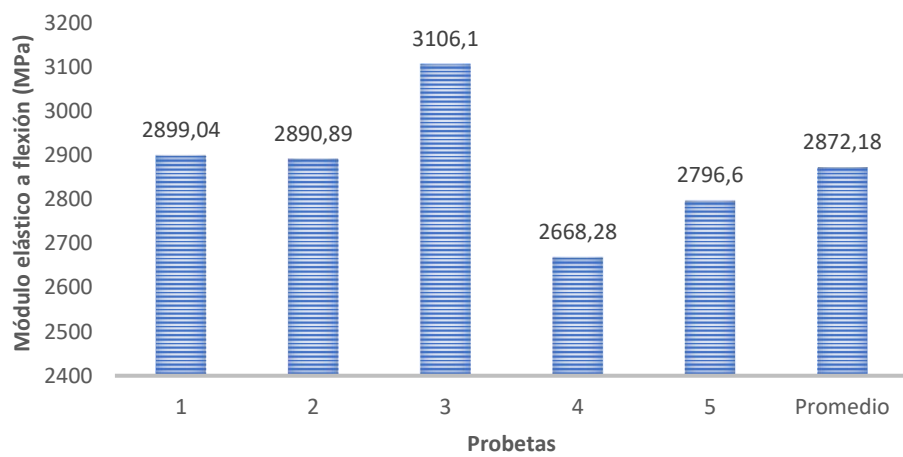
Primer carácter		Segundo carácter		Tercer carácter	
T	Tensión	A	En el punto de carga	T	Parte superior
C	Compresión	B	Entre los puntos de la carga	B	Fondo
B	Pandeo	S	En el punto de apoyo	M	Medio
S	Cizalla interlaminar	L	Entre la carga y el punto de apoyo	L	Izquierdo
M	Multimodo	U	Desconocido	R	Derecho
O	Otros			V	Varios
				U	Desconocido

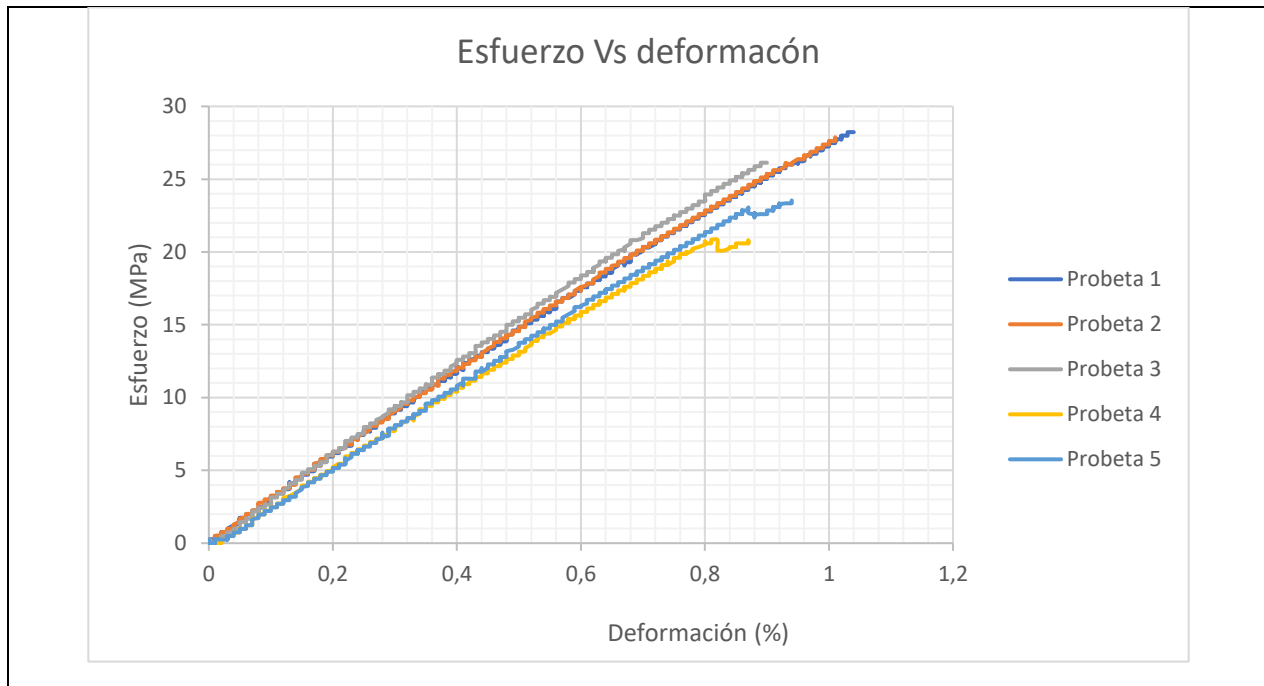
Gráficos de los resultados

ESFUERZO MÁXIMO A LA FLEXIÓN



MÓDULO DE ELASTICIDAD





Fuente: El autor.

Ficha de reporte de los ensayos a impacto

Resultado de los ensayos a impacto de la configuración 0% de fibra.

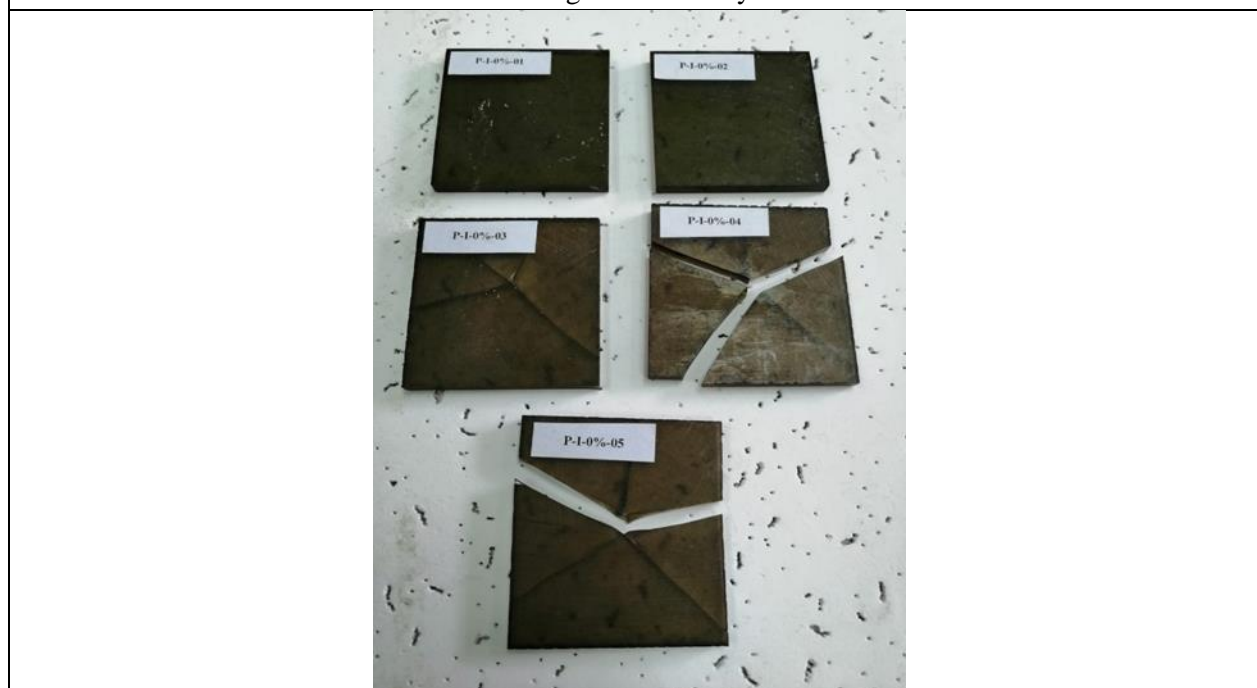
Universidad Politécnica Salesiana			
Carrera de Ingeniería Mecánica			
Ficha de recolección de datos			
Datos informativos			
Ciudad	Ambato		
Lugar	Laboratorio de materiales – Campus Huachi		
Fecha	04/02/2021		
Nombre de la máquina	Máquina tipo caída de masas de impacto		
Realizado por	Ing. Sebastián Villegas S.		
Revisado por	Ing. Milton Jami		
Aprobado por	Ing. Milton Jami		
Parámetro de ensayo			
Tipo de ensayo	Impacto	Norma	ASTM D5627 - 10
Orientación	-	Tipo de estratificación	Compresión
Matriz	Resina poliéster	Fracción volumétrica	100%
Refuerzo	Fibra de corteza de eucalipto	Fracción volumétrica	0%
Dimensiones	58mm*58mm*e	Número de probetas	5
Espesor promedio	4.87 mm	Tipo de medición	Energía media de impacto (J)
Dimensiones de las probetas			
Codificación (% fibra)	Ancho(mm)	Espesor(mm)	Largo(mm)
P-I-0%-01	57.73	5.13	57.7

P-I-0%-02	57.56	4.83	57.67
P-I-0%-03	57.58	4.77	57.51
P-I-0%-04	57.49	4.79	57.55
P-I-0%-05	57.5	4.83	57.52

Resultado del ensayo

Codificación (% fibra)	Masa aplicada(kg)	Incremento de masa(kg)	Altura media de fallo (mm)	Energía media de fallo (J)	Criterio de falla
P-I-0%-01	0.232	0	50	0.113796	No falla
P-I-0%-01	0.232	0	75	0.170694	No falla
P-I-0%-01	0.232	0	100	0.227592	Falla
P-I-0%-01	0.232	0	125	0.28449	Falla
P-I-0%-01	0.232	0	200	0.455184	Falla

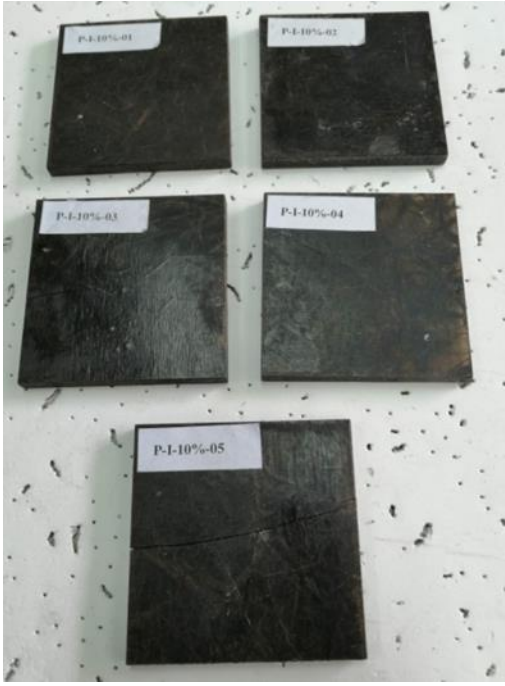
Fotografía del ensayo



Fuente: El autor.

Resultado de los ensayos a impacto de la configuración 10% de fibra.

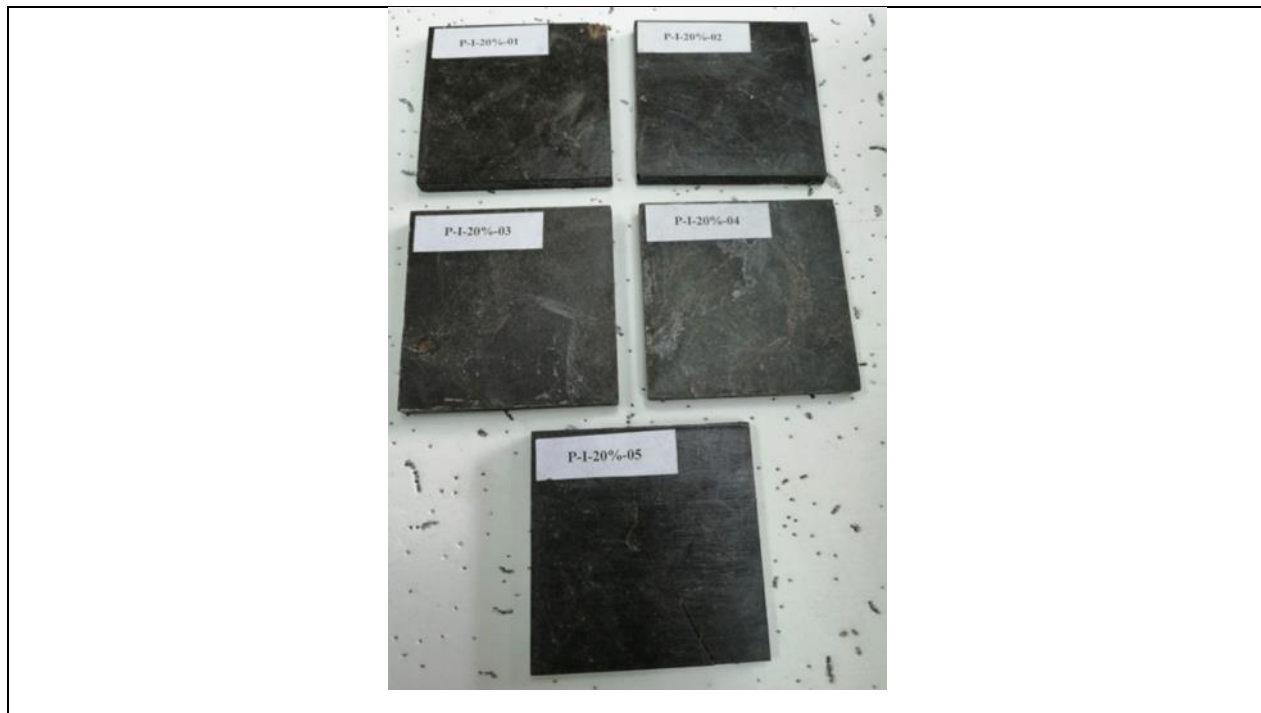
Universidad Politécnica Salesiana	
Carrera de Ingeniería Mecánica	
Ficha de recolección de datos	
Datos informativos	
Ciudad	Ambato
Lugar	Laboratorio de materiales – Campus Huachi
Fecha	04/02/2021
Nombre de la máquina	Máquina tipo caída de masas de impacto
Realizado por	Ing. Sebastián Villegas S.
Revisado por	Ing. Milton Jami
Aprobado por	Ing. Milton Jami
Parámetro de ensayo	

Tipo de ensayo	Impacto		Norma	ASTM D5627 - 10	
Orientación	Múltiples direcciones		Tipo de estratificación	Compresión	
Matriz	Resina poliéster		Fracción volumétrica	90%	
Refuerzo	Fibra de corteza de eucalipto		Fracción volumétrica	10%	
Dimensiones	58mm*58mm*e		Número de probetas	5	
Espesor promedio	4.87 mm		Tipo de medición	Energía media de impacto (J)	
Dimensiones de las probetas					
Codificación (% fibra)	Ancho(mm)	Espesor(mm)	Largo(mm)		
P-I-10%-01	58.06	5.12	58.21		
P-I-10%-02	58.07	4.91	58.32		
P-I-10%-03	58.15	4.78	57.9		
P-I-10%-04	58.08	4.8	57.92		
P-I-10%-05	58.23	5.03	58.1		
Resultado del ensayo					
Codificación (% fibra)	Masa aplicada(kg)	Incremento de masa(kg)	Altura media de fallo (mm)	Energía media de fallo (J)	Criterio de falla
P-I-10%-01	0.232	0	100	0.227592	No falla
P-I-10%-02	0.232	0	150	0.341388	No falla
P-I-10%-03	0.232	0	175	0.398286	Falla
P-I-10%-04	0.232	0	200	0.455184	Falla
P-I-10%-05	0.232	0	300	0.682776	Falla
Fotografía del ensayo					
					

Fuente: El autor.

Resultado de los ensayos a impacto de la configuración 20% de fibra.

Universidad Politécnica Salesiana					
Carrera de Ingeniería Mecánica					
Ficha de recolección de datos					
Datos informativos					
Ciudad	Ambato				
Lugar	Laboratorio de materiales – Campus Huachi				
Fecha	04/02/2021				
Nombre de la máquina	Máquina tipo caída de masas de impacto				
Realizado por	Ing. Sebastián Villegas S.				
Revisado por	Ing. Milton Jami				
Aprobado por	Ing. Milton Jami				
Parámetro de ensayo					
Tipo de ensayo	Impacto	Norma	ASTM D5627 - 10		
Orientación	Múltiples direcciones	Tipo de estratificación	Compresión		
Matriz	Resina poliéster	Fracción volumétrica	80%		
Refuerzo	Fibra de corteza de eucalipto	Fracción volumétrica	20%		
Dimensiones	58mm*58mm*e	Número de probetas	5		
Espesor promedio	4.87 mm	Tipo de medición	Energía media de impacto (J)		
Dimensiones de las probetas					
Codificación (% fibra)	Ancho(mm)	Espesor(mm)	Largo(mm)		
P-I-20%-01	58.14	4.92	58.2		
P-I-20%-02	58.07	4.7	58.17		
P-I-20%-03	58.19	5.29	58.18		
P-I-20%-04	58.3	5.28	57.94		
P-I-20%-05	58.12	5.08	58.33		
Resultado del ensayo					
Codificación (% fibra)	Masa aplicada(kg)	Incremento de masa(kg)	Altura media de fallo (mm)	Energía media de fallo (J)	Criterio de falla
P-I-20%-01	0.232	0	100	0.227592	No falla
P-I-20%-02	0.232	0	200	0.455184	Falla
P-I-20%-03	0.232	0	250	0.56898	Falla
P-I-20%-04	0.232	0	300	0.682776	Falla
P-I-20%-05	0.232	0	400	0.910368	Falla
Fotografía del ensayo					



Fuente: El autor.

Resultado de los ensayos a impacto de la configuración 30% de fibra.

Universidad Politécnica Salesiana			
Carrera de Ingeniería Mecánica			
Ficha de recolección de datos			
Datos informativos			
Ciudad	Ambato		
Lugar	Laboratorio de materiales – Campus Huachi		
Fecha	04/02/2021		
Nombre de la máquina	Máquina tipo caída de masas de impacto		
Realizado por	Ing. Sebastián Villegas S.		
Revisado por	Ing. Milton Jami		
Aprobado por	Ing. Milton Jami		
Parámetro de ensayo			
Tipo de ensayo	Impacto	Norma	ASTM D5627 - 10
Orientación	Múltiples direcciones	Tipo de estratificación	Compresión
Matriz	Resina poliéster	Fracción volumétrica	70%
Refuerzo	Fibra de corteza de eucalipto	Fracción volumétrica	30%
Dimensiones	58mm*58mm*e	Número de probetas	5
Espesor promedio	4.87 mm	Tipo de medición	Energía media de impacto (J)
Dimensiones de las probetas			
Codificación (% fibra)	Ancho(mm)	Espesor(mm)	Largo(mm)
P-I-30%-01	58.02	6.04	58.31
P-I-30%-02	57.92	5.23	58.19
P-I-30%-03	57.96	5.56	58.15
P-I-30%-04	57.96	5.55	58.29

P-I-30%-05		58.42	5.4	58.45	
Resultado del ensayo					
Codificación (% fibra)	Masa aplicada(kg)	Incremento de masa(kg)	Altura media de fallo (mm)	Energía media de fallo (J)	Criterio de falla
P-I-30%-01	0.232	0	150	0.341388	No falla
P-I-30%-02	0.232	0	250	0.56898	Presenta una fisura
P-I-30%-03	0.232	0	350	0.796572	Falla
P-I-30%-04	0.232	0	400	0.910368	Falla
P-I-30%-05	0.232	0	500	1.13796	Falla
Fotografía del ensayo					
					

Fuente: El autor.

POL® 33000

Resina poliéster Ortoftálica de propósito general

APLICACIONES

- Sistemas reforzados de mediana exigencia mecánica y química.
- Diseñada para la producción de mármol sintético, tanto para piezas moldeadas como para placas planas.
- Laminación manual, vaciados con carga y aplicaciones de propósito general.

RECOMENDACIONES DE USO

Para curado a temperatura ambiente entre 20 y 25°C (no se recomienda trabajar por debajo de 15°C) se sugiere la siguiente formulación:

Partes en peso	
POL® 33000	100
Estireno ⁽¹⁾	-
Octoato de Cobalto (12% Co)	0.1 a 0.3
MEK Peróxido (9 % oxígeno activo)	1.0 a 2.5

(1) La cantidad exacta de Estireno depende de la viscosidad final deseada según la aplicación, sin embargo no se recomienda que sea mayor a 25 partes.

En la siguiente tabla se presentan las variaciones del tiempo de gel a partir de diferentes porcentajes de cobalto en el sistema de catalización y a diferentes temperaturas.

Octoato de Co al 12% (partes en peso)	TIEMPO DE GEL (min)		
	Temperatura °C		
	15 °C	25 °C	35 °C
0.10%	33	15	7
0.15%	23	10	5
0.25%	16	8	4

(1) El sistema de catalización utilizado para la determinación de los tiempos de gel fue: la variación de % de Cobalto registrada en la tabla con 1 g de MEK Peróxido por 100 g de resina.

La temperatura ambiente, la cantidad de Octoato de Cobalto y de catalizador controlan el tiempo de gel de la resina POL® 33000. El curado debe realizarse a temperaturas superiores a 15°C, que es la temperatura mínima de activación de la reacción de reticulación. Catalizaciones por debajo de ésta temperatura afectan notablemente las propiedades mecánicas de los laminados.

Con el curado a temperatura ambiente se obtienen laminados satisfactorios para muchas aplicaciones, aunque la resistencia mecánica final se logra unos días después de fabricado el producto.

Cuando se requieren óptimas propiedades y buen desempeño a largo plazo, el laminado se debe poscurar durante un período de tres (3) horas a 80°C o por más tiempo a menor temperatura.

FORMA DE APLICACIÓN DEL PRODUCTO

La resina POL® 33000 es apropiada para la laminación manual, o moldeo a máquina, y para la aplicación de sistemas cargados y encapsulados. Los laminados obtenidos tienen mediana resistencia mecánica.

La resina se suministra al 70% en sólidos y puede ser modificada por el usuario con la adición de Estireno monómero hasta un 25% máximo, según su aplicación particular.

Las propiedades físicas y de funcionalidad de los productos terminados están influenciados por variables que dependen directamente del transformador de la resina como son: tipo de carga y relación de resina/carga, nivel de catalización, tiempos de gel y velocidades de curado, condiciones de ambiente de trabajo, tiempos y sistemas para desmolde, espesor y área de las placas, espesor y configuración de piezas, etc.

A la resina POL® 33000 se le puede agregar un agente tixotrópico para ser aplicada en superficies verticales. El empleo de estos y sus cantidades deben ser consultados con el personal técnico de andercol s.a.

Fecha de actualización: Enero 2015 v.1

ESPECIFICACIONES DE LA RESINA LÍQUIDA

Propiedad	Unidad	Valor MIN	Valor MAX	Método
Apariencia	Verdosa transparente			ASTM D2090
Viscosidad Brookfield ⁽¹⁾	cP @ 25°C	1500	2500	ASTM D2196
Sólidos	% nvm	68	72	ASTM D1259
Tiempo de gel ⁽²⁾	min @ 25°C	7	10	ASTM D2471
Tiempo de máxima exotermia ⁽²⁾	min @ 25°C	15	25	ASTM D2471
Temperatura de máxima exotermia ⁽²⁾	°C	130	150	ASTM D2471
Estabilidad	meses		6	

- (1) La medida de viscosidad fue realizada con viscosímetro RVF, aguja 3, 10 rpm, 1 min
 (2) Sistema de catalización a 25°C, 100 g de POL 33000, más 0.25 mL de Octoato Cobalto al 12%, más 1.0 mL de MEK-P.

PROPIEDADES DE LA RESINA CURADA (Sin reforzar)⁽¹⁾

Propiedad	Método	Sistema Internacional		Sistema Inglés	
		Unidad	Valor	Unidad	Valor
Tensión					
Esfuerzo de tensión	ASTM D638	Mpa	45	psi	6526.70
Módulo	ASTM D638	Gpa	3.60	Kpsi	522.13
Deformación	ASTM D638	%	2.40	%	2.40
Flexión					
Esfuerzo de flexión	ASTM D790	Mpa	113	psi	16389.26
Módulo	ASTM D790	Gpa	3.77	Kpsi	546.80
Deformación	ASTM D790	%	3.52	%	3.52
Otras propiedades					
Contracción volumétrica		%	5.46	%	5.46
HDT	ASTM D648	°C	60	°F	140
Dureza	ASTM D2583	Barcol	42	Barcol	42
Absorción de agua	ASTM D570	%	0.10	%	0.10

- (1) Ciclo de curado: 24 horas a 25°C, 3 horas a 80°C.

PROPIEDADES DE LA RESINA CURADA (Reforzada) ^(1, 2, 3)

Propiedad	Método	Sistema Internacional		Sistema Inglés	
		Unidad	Valor	Unidad	Valor
Tensión					
Esfuerzo de tensión	ASTM D638	MPa	63	psi	9,137.37
Módulo	ASTM D638	GPa	9.13	Kpsi	1,324.95
Deformación	ASTM D638	%	1.33	%	1.33
Flexión					
Esfuerzo de flexión	ASTM D790	MPa	165	Psi	23,931.23
Módulo	ASTM D790	GPa	8.54	Psi	1,238.62
Deformación	ASTM D790	%	2.38	%	2.38

- (1) Ciclo de curado: 24 horas a 25°C, 3 horas a 80°C.
 (2) Estructura de refuerzo: 2 capas de Mat 450 g/m².
 (3) Contenido de fibra de vidrio: 23.7%

SEGURIDAD Y MANEJO

La información detallada para el manejo seguro de este material se encuentra en la respectiva Hoja de Seguridad de Materiales.

La resina POL@ 33000 está clasificada como "líquido inflamable" según código NFPA 30 (división 3.3.25.2), por tener un punto de inflamación de 31°C en crisol cerrado. Debe mantenerse alejado de llamas abiertas.

La resina POL@ 33000 tiene un tiempo de vida equivalente a seis meses desde el momento de su fabricación, siempre y cuando el producto esté almacenado a condiciones de temperatura y humedad adecuadas. Se recomienda almacenarlo en un lugar fresco a una temperatura menor de 25°C para obtener la máxima estabilidad. Esta resina se suministra en tambores metálicos de 230 kg.

CERTIFICACIONES

andercol s.a. esta certificado bajo los requisitos de las normas ISO 9001 e ISO 14001, en el diseño, fabricación, venta y servicio técnico para resinas de poliéster insaturado en la planta de Medellín.

andercol s.a. hace parte del programa de Responsabilidad Integral® contribuyendo al desarrollo sostenible a través de su compromiso social y ambiental, así lo certifica Responsabilidad Integral® Colombia.

Fecha de actualización: Enero 2015 v.1



LIMITACIÓN DE RESPONSABILIDADES

La información y recomendaciones que aparecen en esta publicación son, a nuestro entender enteramente confiables. Las sugerencias ofrecidas para usos o aplicaciones son solamente la opinión de andercol s.a. Los consumidores deberán hacer sus propias pruebas para determinar el comportamiento de estos productos en sus objetivos específicos. andercol s.a. no da garantías de tipo alguno exceptuando las que se ajustan a las especificaciones estándar del producto. andercol s.a. se reserva el derecho de modificar esta literatura técnica sin previo aviso.

INFORMACIÓN DEL CONTACTO

andercol s.a.
Dirección: Carrera 64C No. 95-84
Medellín, Colombia
Teléfono: 57 (4) 470 0700
Página Web: www.andercol.com.co
Fax: 57 (4) 267 8135
Apartado Aéreo: 2065

Fecha de actualización: Enero 2015 v.1



Anexo 4. Norma para ensayo a tracción



Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials¹

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

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

^{e1} NOTE—Eq 5 was revised editorially in December 2002.

1. Scope

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

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

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

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:

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

Properties and Equilibrium Conditioning of Polymer Matrix Composite Materials⁴

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

3. Terminology

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

3.2 *Definitions of Terms Specific to This Standard:*

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

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

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

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

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

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

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

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



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

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

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

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

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

3.3 *Symbols:*

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

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

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

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

3.3.5 E —modulus of elasticity in the test direction.

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

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

3.3.8 h —coupon thickness.

3.3.9 L_g —extensometer gage length.

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

3.3.11 n —number of coupons per sample population.

3.3.12 P —load carried by test coupon.

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

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

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

3.3.16 w —coupon width.

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

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

3.3.19 δ —extensional displacement.

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

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

3.3.22 σ —normal stress.

3.3.23 ν —Poisson's ratio.

4. Summary of Test Method

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

5. Significance and Use

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

5.1.1 Ultimate tensile strength,

5.1.2 Ultimate tensile strain,

5.1.3 Tensile chord modulus of elasticity,

5.1.4 Poisson's ratio, and

5.1.5 Transition strain.

6. Interferences

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

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

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

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

7. Apparatus

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

7.2.5.1 A rectangular alignment coupon, preferably similar in size and stiffness to the test specimen of interest, is instrumented with a minimum of three longitudinal strain gages of similar type, two on the front face across the width and one on the back face of the specimen, as shown in Fig. 1. Any difference in indicated strain between these gages during loading provides a measure of the amount of bending in the thickness plane (B_y) and width plane (B_x) 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

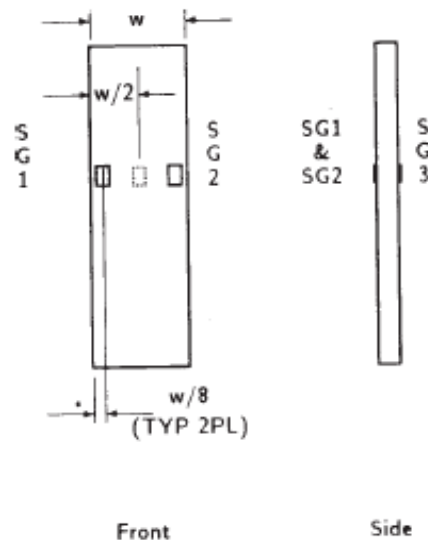


FIG. 1 Gage Locations for System Alignment Check Coupon

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.

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/vapor-level-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.

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.

8. Sampling and Test Specimens

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

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

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

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

8.2.1 *General Requirements:*

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

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

TABLE 1 Tensile Specimen Geometry Requirements

Parameter	Requirement
Coupon Requirements:	
shape	constant rectangular cross-section
minimum length	gripping + 2 times width + gage length
specimen width	as needed ⁴
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

⁴ See 8.2.2 or Table 2 for recommendations.

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

8.2.2 *Specific Recommendations:*

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

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

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

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

TABLE 2 Tensile Specimen Geometry Recommendations⁴

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	—	—

⁴ 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:

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

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^{sa} = ultimate shear strength of adhesive, coupon material, or tab material (whichever is lowest), MPa [psi].

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

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

8.3 Specimen Preparation:

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

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

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

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

9. Calibration

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

10. Conditioning

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

11. Procedure

11.1 Parameters To Be Specified Before Test:

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

11.1.2 The tensile properties and data reporting format desired.

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

11.1.3 The environmental conditioning test parameters.

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

11.2 General Instructions:

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

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

DRAWING NOTES:

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

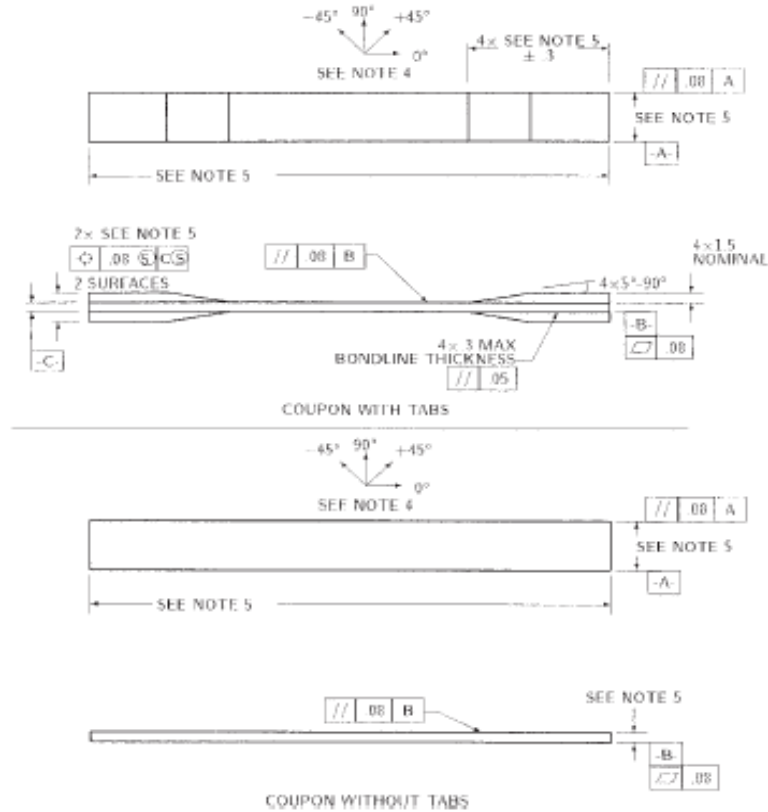


FIG. 2 Tension Test Specimen Drawing (SI)

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

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

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

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

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

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

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

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

DRAWING NOTES:

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

.X	.XX	.XXX
±.1	±.03	±.01
3. ALL ANGLES HAVE TOLERANCE OF ±5°.
4. PLY ORIENTATION DIRECTION TOLERANCE RELATIVE TO [-A-] WITHIN ±5°.
5. FINISH ON MACHINED EDGES NOT TO EXCEED 64√ (SYMBOLGY 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.

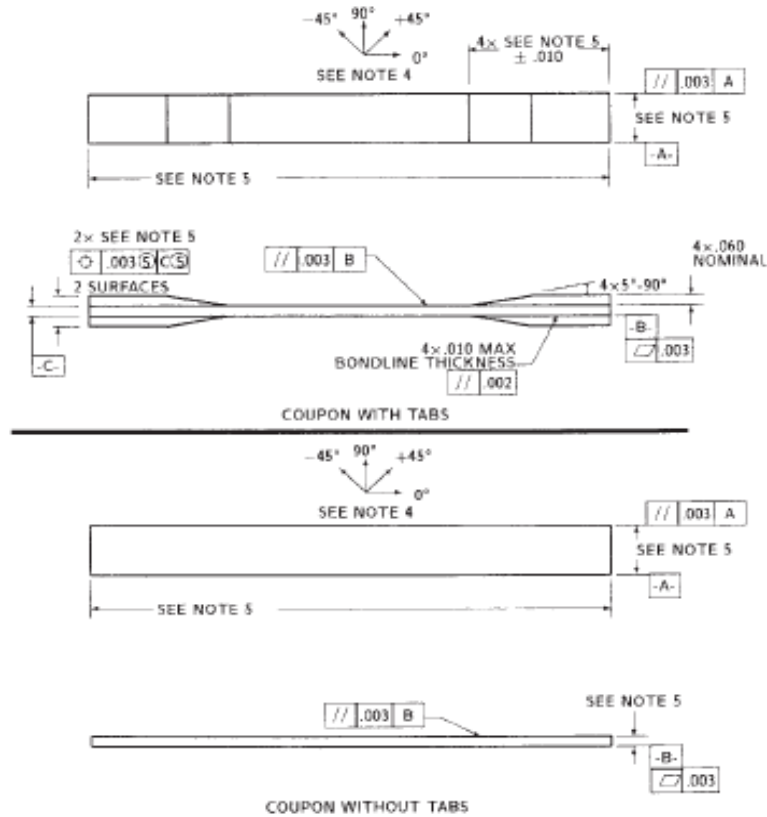


FIG. 3 Tension Test Specimen Drawing (inch-pound)

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 $\mu\epsilon^A$	End Point $\mu\epsilon$	$\mu\epsilon$
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, mm^2 [in.^2].

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

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

where:

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

12.3 Tensile Modulus of Elasticity:

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

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

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

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

where:

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

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

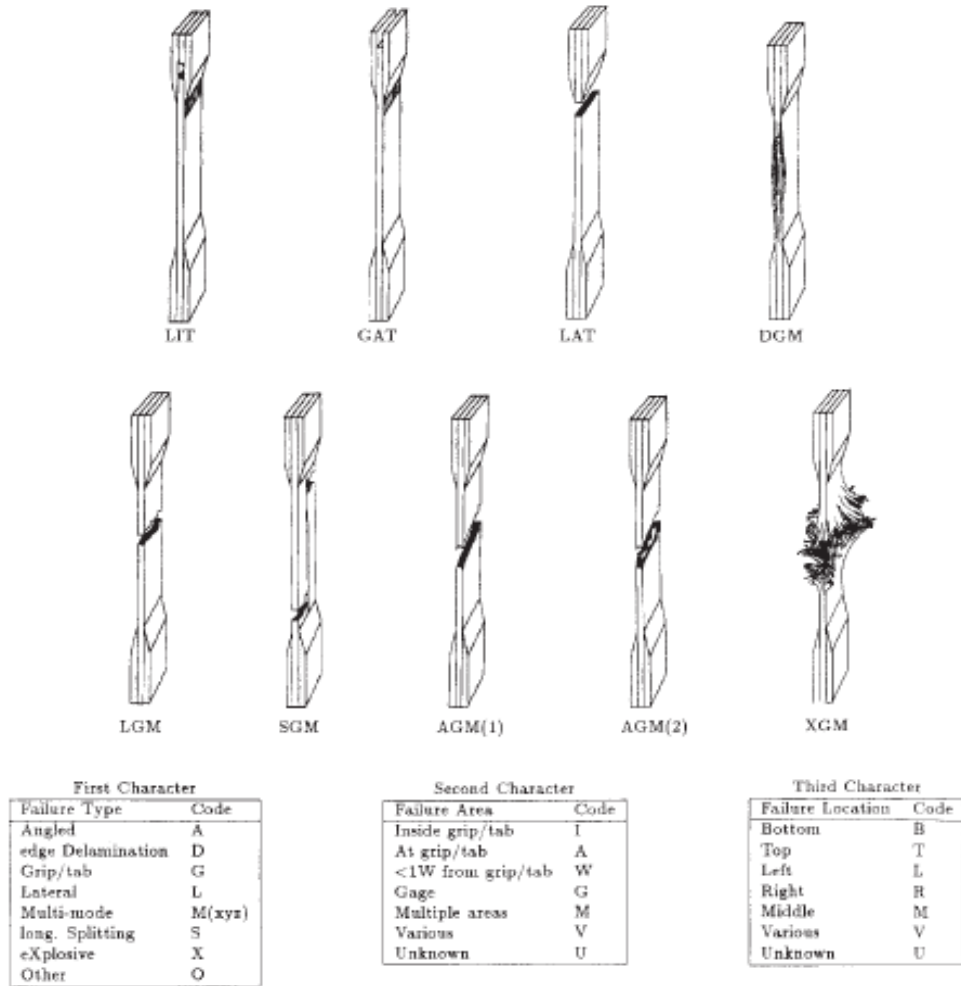


FIG. 4 Tensile Test Failure Codes/Typical Modes

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

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

12.4 Poisson's Ratio:

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

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

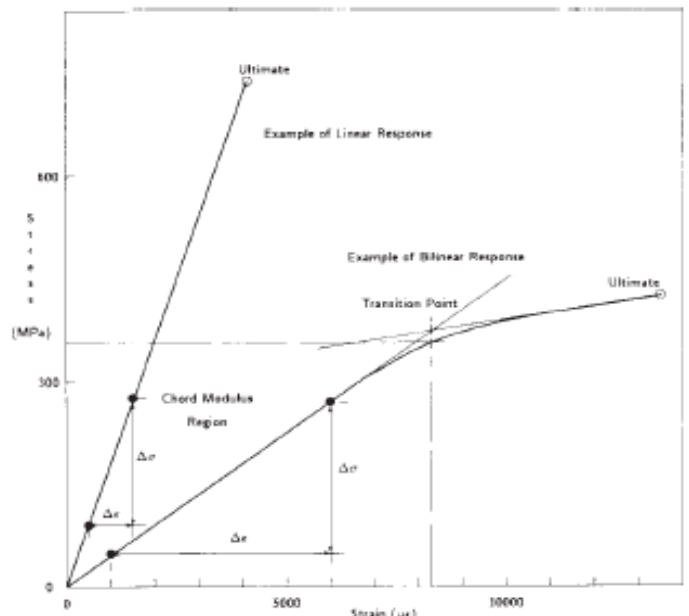


FIG. 5 Typical Tensile Stress-Strain Curves

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

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

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/\bar{X} and S_R/\bar{X} represent the repeatability and the reproducibility coefficients of variation, respectively. These averages permit a relative comparison of the repeatability (within laboratory precision) and reproducibility (between laboratory precision) of the tension test parameters. Overall, this indicates that the failure strain measurements exhibit the least repeatability and reproducibility of all the parameters measured while modulus was found to provide the highest repeatability and reproducibility of the parameters measured.

¹⁰ International Harmonization of Composite Materials—Phase 1: Harmonization of ASTM D 3039/D 3039M and ISO 527-5, Final Report, ASTM Institute for Standards Research, April 1997.



TABLE 5 Averages of the Coefficients of Variation

Parameter	Average of S_p/X , %	Average of S_m/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 19428-2956, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org).

Anexo 5. Norma para ensayo a flexión



Standard Test Method for Flexural Properties of Polymer Matrix Composite Materials¹

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

1. Scope

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

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

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

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

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

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

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

2. Referenced Documents

2.1 *ASTM Standards:*²

D 790 Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials

D 2344/D 2344M Test Method for Short-Beam Strength of

Polymer Matrix Composite Materials and Their Laminates
D 3878 Terminology for Composite Materials

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

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

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

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

E 4 Practices for Force Verification of Testing Machines

E 6 Terminology Relating to Methods of Mechanical Testing

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

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

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

E 456 Terminology Relating to Quality and Statistics

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

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

2.2 *Other Documents:*

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

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

3. Terminology

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

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

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

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

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

3.2 Definitions of Terms Specific to This Standard:

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

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

3.3 Symbols:

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

4. Summary of Test Method

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

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

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

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

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

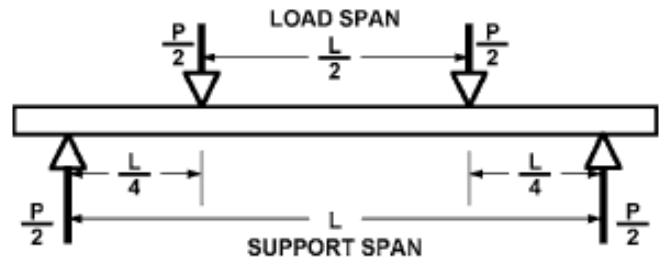


FIG. 2 Procedure B—Loading Diagram

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

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

5. Significance and Use

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

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

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

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

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

6. Interferences

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

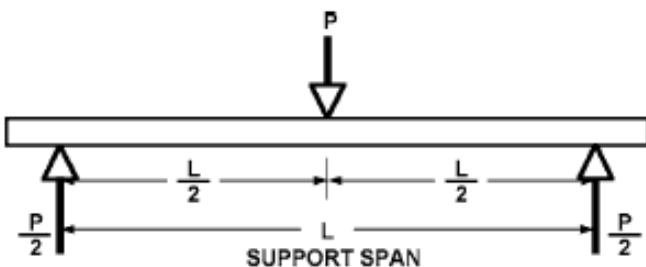


FIG. 1 Procedure A—Loading Diagram

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

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

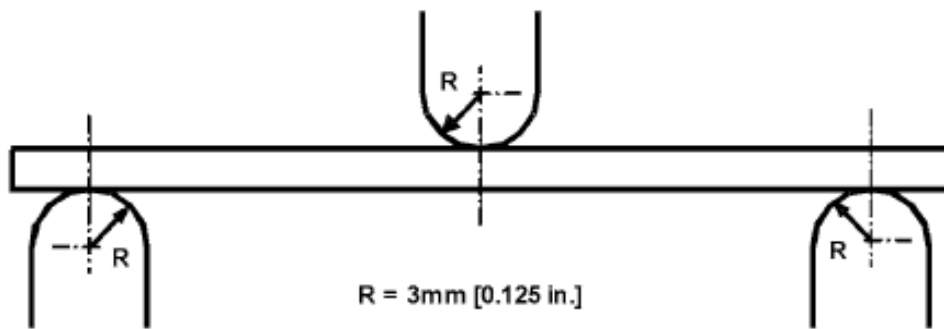
6.4 Loading noses may be fixed, rotatable or rolling. Typically, for testing composites, fixed or rotatable loading noses are used. The type of loading nose can affect results, since non-rolling paired supports on either the tension or compression side of the specimen introduce slight longitudinal forces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

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

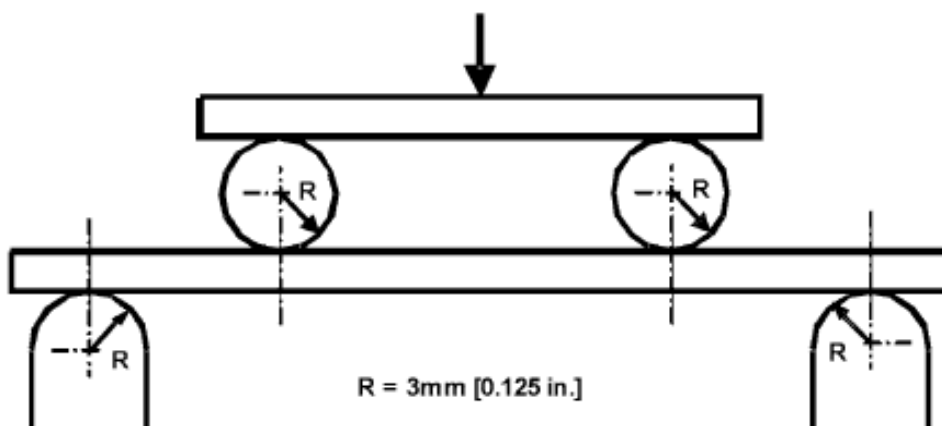
7. Apparatus

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

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



Three-Point Loading Configuration with Fixed Supports and Loading Nose



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

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

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

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

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

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

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

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

8. Test Specimens

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

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

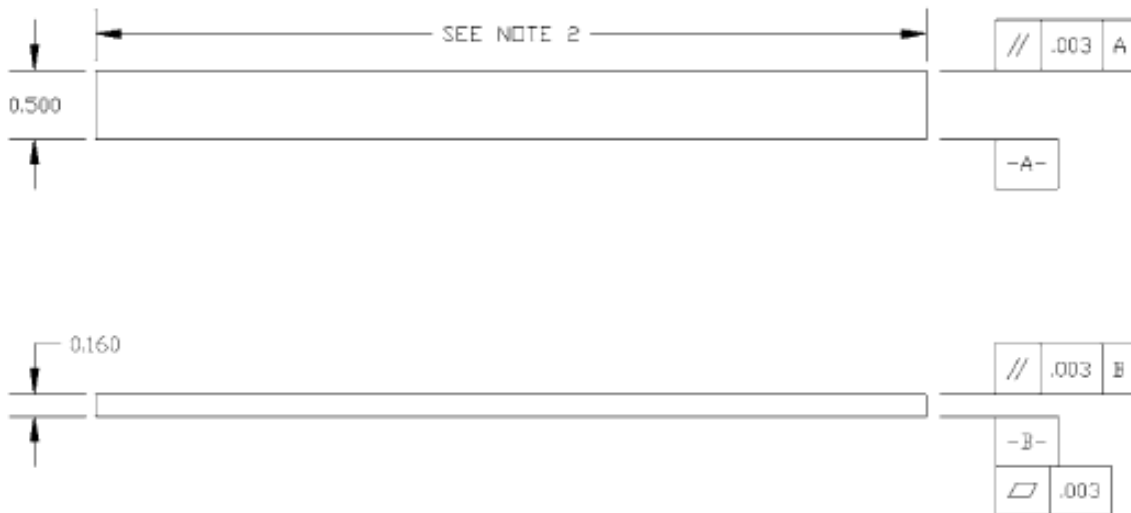
8.2.1 Shear deformations can significantly reduce the apparent modulus of highly orthotropic laminates when they are tested at low support span-to-thickness ratios. For this reason, a high support span-to-thickness ratio is recommended for flexural modulus determinations. In some cases, separate sets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



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

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

FIG. 4 Standard Flexural Test Specimen Drawing (SI)



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

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

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

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

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

9. Number of Test Specimens

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

10. Conditioning

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

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

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

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

11. Procedure

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

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

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

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

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

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

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

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

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

12. Validation

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

13. Calculation

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

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

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

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

where:

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

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

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

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

where:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

where:

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

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

$$\epsilon = \frac{4.368\delta h}{L^2} \quad (4)$$

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:

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

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

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

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.

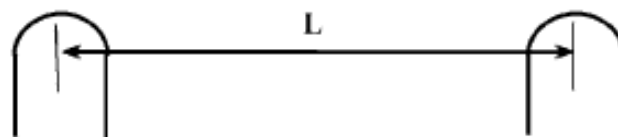


FIG. A1.1 Markings on Fixed Specimen Supports

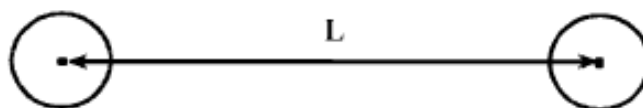


FIG. A1.2 Markings on Rotatable Specimen Supports

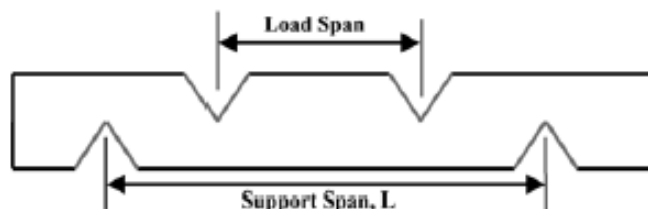


FIG. A1.3 Fixture Used to Align Loading Noses and Supports

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').

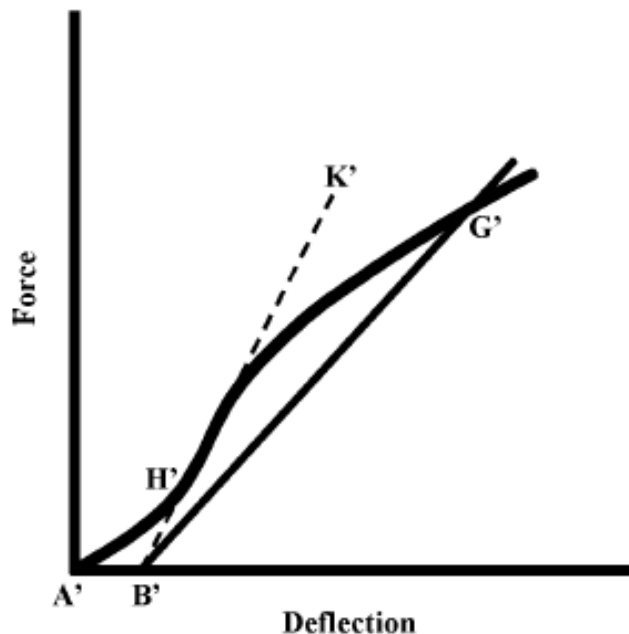


FIG. A2.2 Material without a Hookean Region

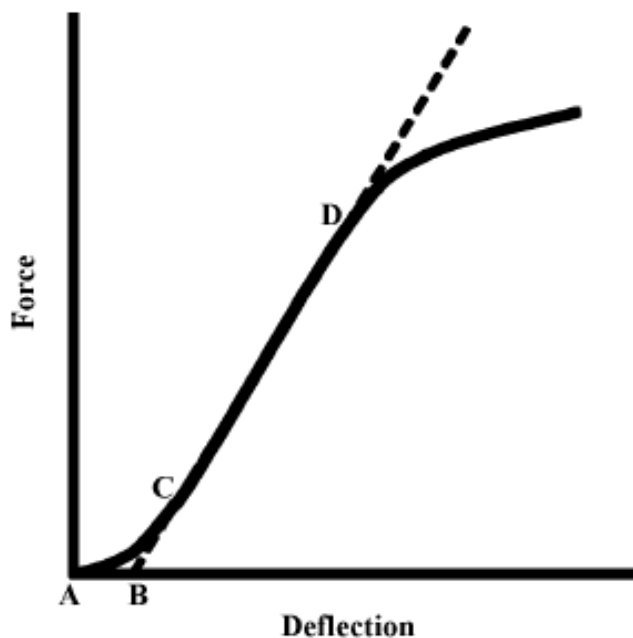


FIG. A2.1 Material with a Hookean Region

 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 19428-2958, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org).

Anexo 6. Norma para ensayo a impacto



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 D 5628; 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.

^{ε1} NOTE—Editorial changes were made throughout in November 2001.

1. Scope

1.1 This test method covers the determination of the relative ranking of materials according to the energy required to crack or break flat, rigid plastic specimens under various specified conditions of impact of a free-falling dart (tup).

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 6603-1-1985 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:

- D 374 Test Methods for Thickness of Solid Electrical Insulation²
- D 618 Practice for Conditioning Plastics for Testing³
- D 883 Terminology Relating to Plastics²
- D 1600 Terminology for Abbreviated Terms Relating to Plastics²
- D 1709 Test Method for Impact Resistance of Plastic Film by the Free Falling Dart Method²
- D 1898 Practice for Sampling of Plastics⁴
- D 2444 Test Method for Determination of the Impact Resistance of Thermoplastic Pipe and Fittings by Means of a

Tup Falling Weight⁵

- D 3763 Test Method for High-Speed Puncture Properties of Plastics Using Load and Displacement Sensors⁶
 - D 4066 Classification System for Nylon Injection and Extrusion Materials PA⁶
 - E 177 Practice for Use of the Terms Precision and Bias in ASTM Test Methods⁷
 - E 691 Practice for Conducting an Interlaboratory Study to Determine the Precision of a Test Method⁷
- #### 2.2 ISO Standards:
- ISO 291 Standard Atmospheres for Conditioning and Testing⁸
 - ISO 6603-1 Plastics-Determination of Multiaxial Impact Behavior of Rigid Plastics—Part 1: Falling Dart Method⁸

3. Terminology

3.1 Definitions:

3.1.1 For definitions of plastic terms used in this test method, see Terminologies D 883 and D 1600.

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 the product of the constant mass and 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

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 March 10, 1996. Published July 1996. Originally published as D 5628 – 94. Last previous edition D 5628 – 95.

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

³ *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 10.01.

⁴ Discontinued; see 1998 *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 08.01.

⁵ *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 08.04.

⁶ *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 08.02.

⁷ *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 14.02.

⁸ Available from American National Standards Institute, 25 W. 43rd St., 4th Floor, New York, NY 10036.

example, may be difficult to differentiate from the reinforcing fibers. In such cases, a penetrating dye may be used to 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.

3.2.5 *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 may be dropped from various heights, or a dart having an adjustable mass may be dropped from a fixed height. (See Fig. 2).

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

4.3 The technique used to determine mean failure energy is commonly called the Bruceton Staircase Method or the Up-and-Down Method (1).⁹ 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 may 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 may produce a punch shear failure on thick sheet. If that type of failure is undesirable, Geometry FC may 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 D 1709. 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 D 3763.

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. While any one of the tup geometries may be selected, knowledge of the final or intended end-use application should 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 somewhat greater impact resistance.

5.9 Before proceeding with this test method, reference should be made to the specification of the material being tested. 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 may be 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 may occur 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.

⁹ The boldface numbers in parentheses refer to a list of references at the end of the text.

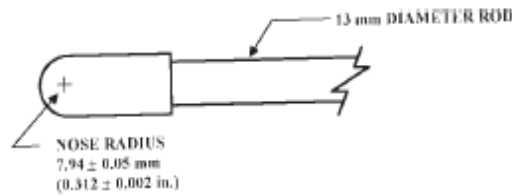


FIG. 1 (a)

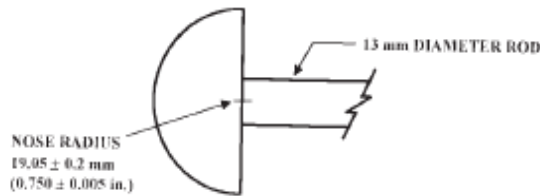
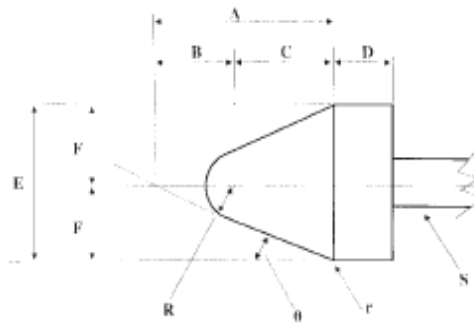


FIG. 1 (c)

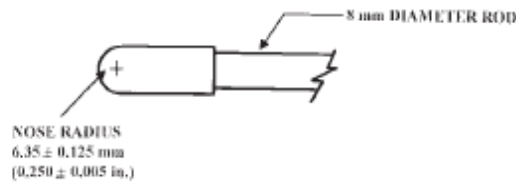


FIG. 1 (d)

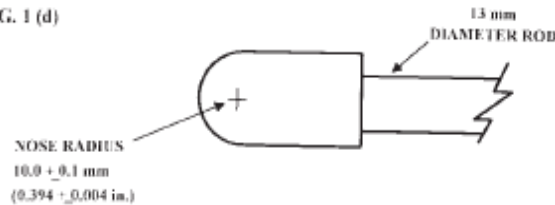


FIG. 1 (e)

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 may be used.

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

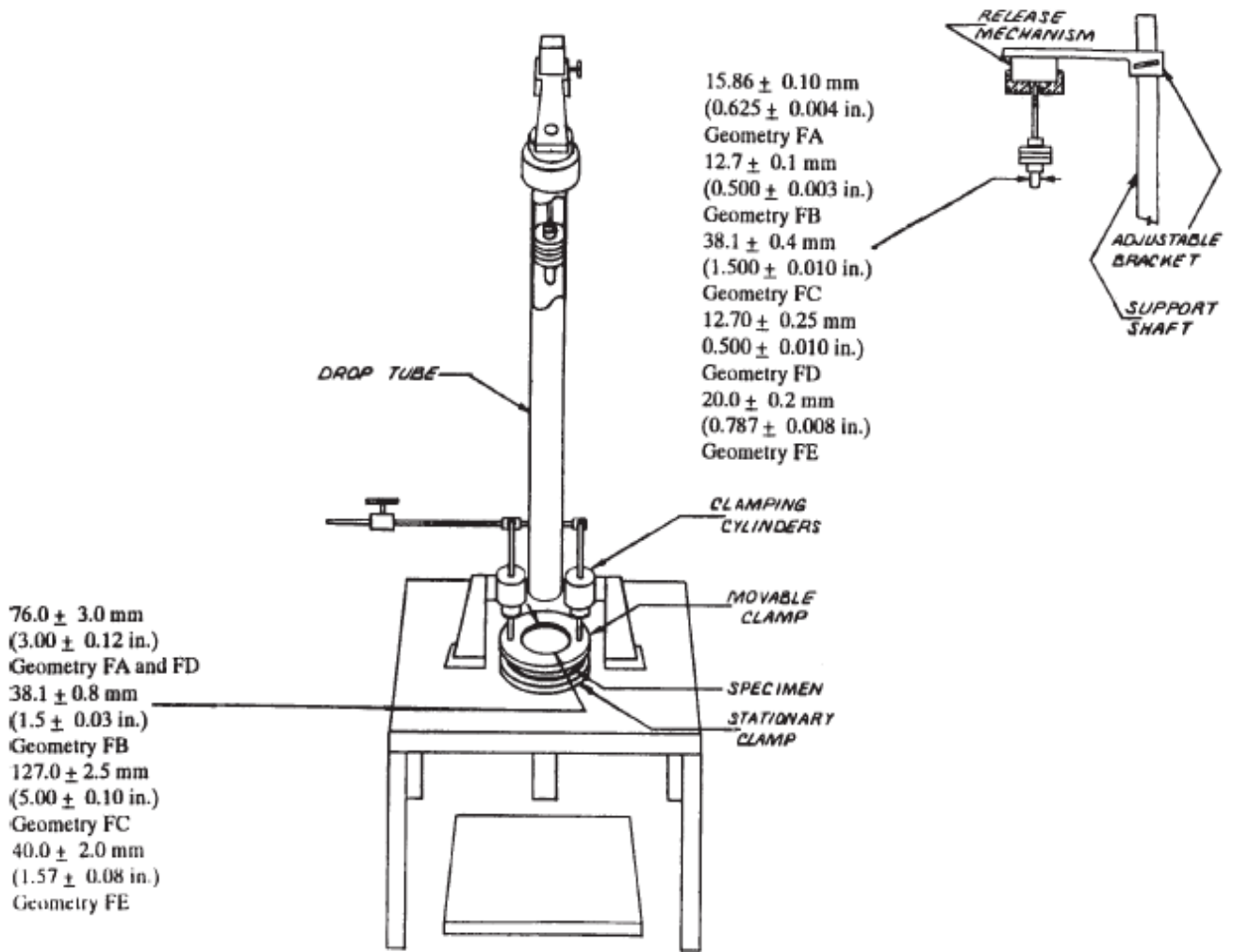


FIG. 2 One Type of Falling Mass Impact Tester

7. 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.

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.).

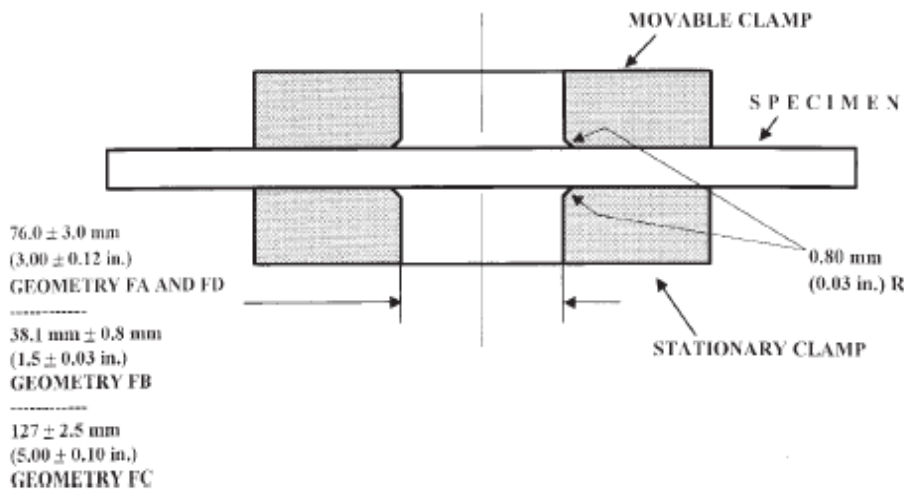


FIG. 3 Support Plate/Specimen/Clamp Configuration for Geometries FA, FB, FC, and FD

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 may be 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

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)

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 (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

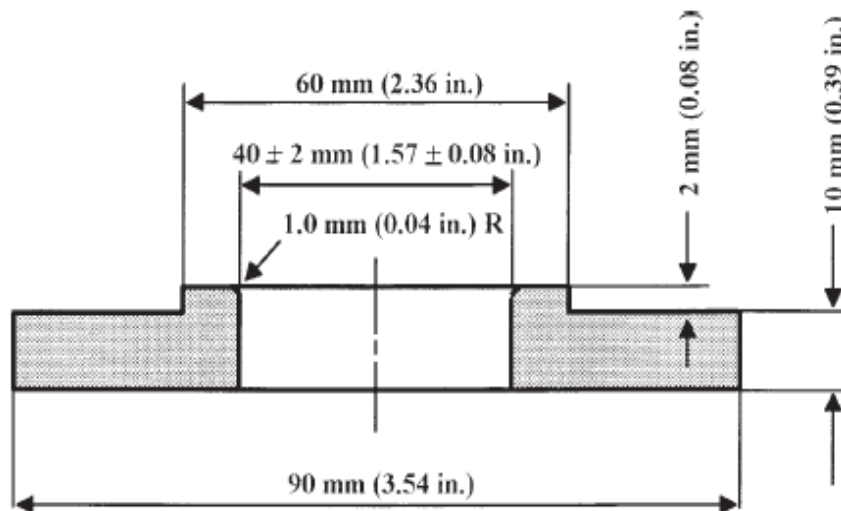


FIG. 4 Test-Specimen Support for Geometry FE

tested. For a material of low impact resistance, the tup mass may need to be adjusted by increments of 10 g or less. Materials of high impact resistance may require increments of 1 kg or more.

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 D 374 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 D 2444 shows an effective mechanical “rebound catcher” employed in conjunction with a drop tube.

9. Sampling

9.1 Unless otherwise agreed upon between the manufacturer and the producer, sample the material in accordance with Sections 9 through 14 of Practice D 1898.

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 sample may be tested, but 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 may have flat smooth surfaces on both sides, be textured on one side and smooth on the other side, or be textured on both surfaces. Both surfaces may have the same texture or two different levels and types of texture. 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, condition the test specimens at $23 \pm 2^\circ\text{C}$ ($73.4 \pm 3.6^\circ\text{F}$) and 50 ± 5 % relative humidity for not less than 40 h prior to test, in accordance with Procedure A of Test Methods D 618, for those tests where conditioning is required. In cases of disagreement, the tolerances shall be $\pm 1^\circ\text{C}$ ($\pm 1.8^\circ\text{F}$) and ± 2 % relative humidity. 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 nylons, the material specifications (for example, Specification D 4066) 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 in the standard laboratory atmosphere of $23 \pm 2^\circ\text{C}$ ($73.4 \pm 3.6^\circ\text{F}$) and at 50 ± 5 % relative humidity, unless otherwise specified.

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 D 618.

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.

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)

12.4 Measure and record the thickness of each specimen in the area of impact.

12.5 Choose a specimen at random from the sample. A random-numbers table may be used if desired.

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 D 618. 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 may be difficult to determine with the naked eye. Exposure of the stressed surface to a penetrating dye, such as gentian violet, may be used to determine the onset of cracking. As a result of the wide range of failure types that may be observed with different materials, the definition of failure defined in the material specification shall take precedence over the definition stated in 3.2.1. Other definitions of failure may be used if agreed upon by supplier and user.

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 may 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 may 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 may be 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:

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

or

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

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,

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 (D 5628), 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 robin¹⁰ 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 E 691. 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.

NOTE 9—Caution: 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 may not be representative of other lots, conditions, materials, or laboratories. Users of this test method should apply the principles outlined in Practice E 691 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

¹⁰ Supporting data are available from ASTM Headquarters. Request RR:D 20-1030.

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.
 $r = 2.83 V_r$.

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

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>in_i</i>	<i>i²n_i</i>
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20						
9.00						X															1	0	2	1	2	4
8.00					O		X		X				X		X						4	1	1	4	4	4
7.00		X		O				O		X		O		O		X		X		O	4	5	0	4	0	0
6.00	O		O								O							O		O	0	5				
Totals																				9	11		9	6	8	
																				(<i>N_x</i>)	(<i>N_o</i>)		(<i>N</i>)	(<i>A</i>)	(<i>B</i>)	

$$w_o = 7.00; N = N_x = 9; d = 1.00$$

$$w = w_o + d(A/N - 0.5)$$

$$= 7.00 + 1.00 (6/9 - 0.5)$$

$$= 7.17 \text{ kg}$$

$$s = 1.620 d \sqrt{[(NB - A^2)/9^2] + 0.029}$$

$$= 1.620 (1.00) \sqrt{[(9.8 - 6^2)/9^2] + 0.029}$$

$$= 0.77 \text{ kg}$$

$$s/d = 0.77/1.00 = 0.77; G = 1.035 \text{ (from Table X1.1)}$$

$$s_w = Gs/\sqrt{N} = 1.035 (0.77)/\sqrt{9} = 0.27 \text{ kg}$$

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

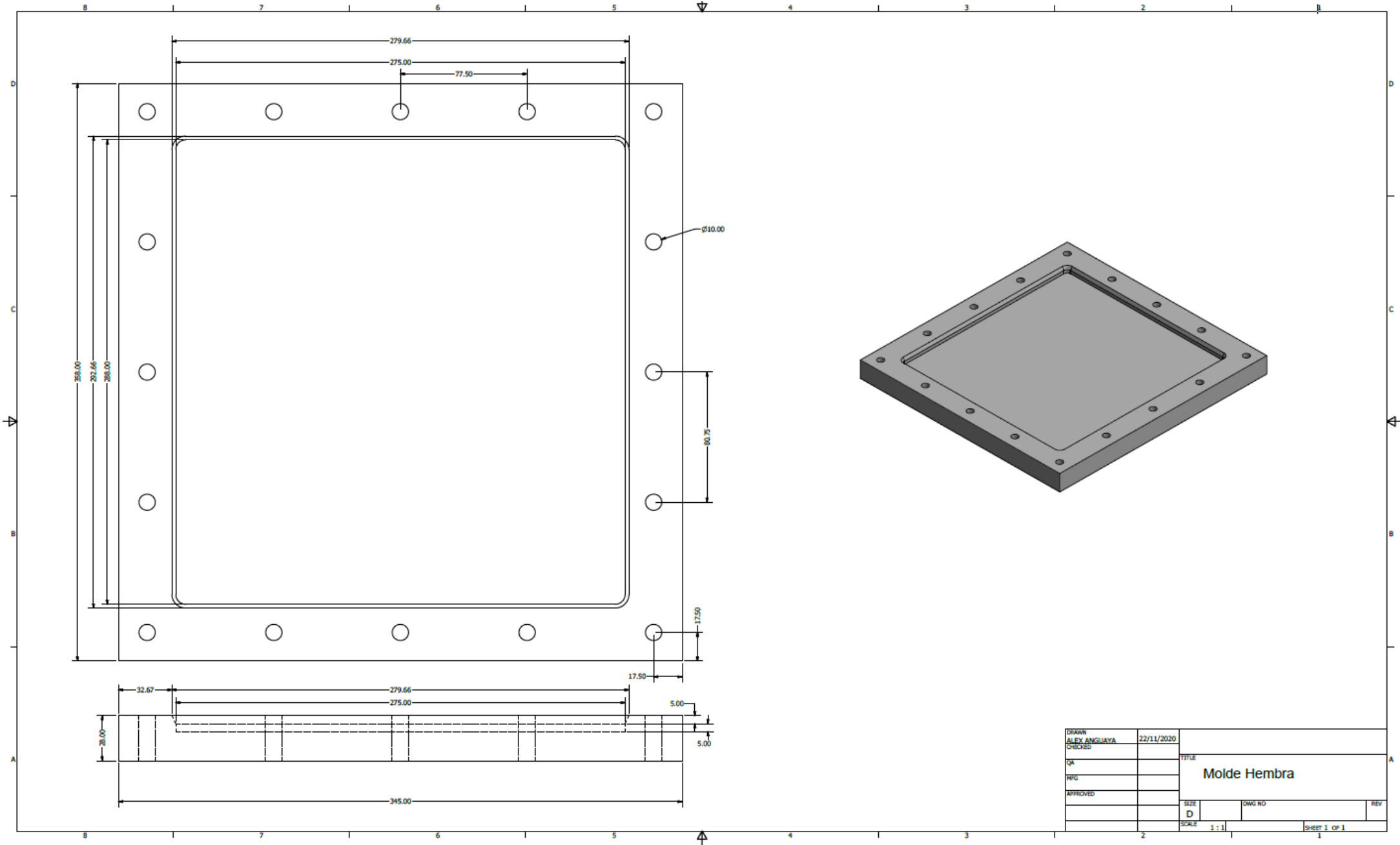
- (1) Brownlee, K. A., Hodgest, J. L., Jr., and Rosenblatt, Murray, "The Up-and-Down Method with Small Samples," *American Statistical Association Journal*, Vol 48, 1953, pp. 262–277.
- (2) Hagan, R. S., Schmitz, J. V., and Davis, D. A., "Impact Testing of High Impact Thermoplastic Sheet," *Technical 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.

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

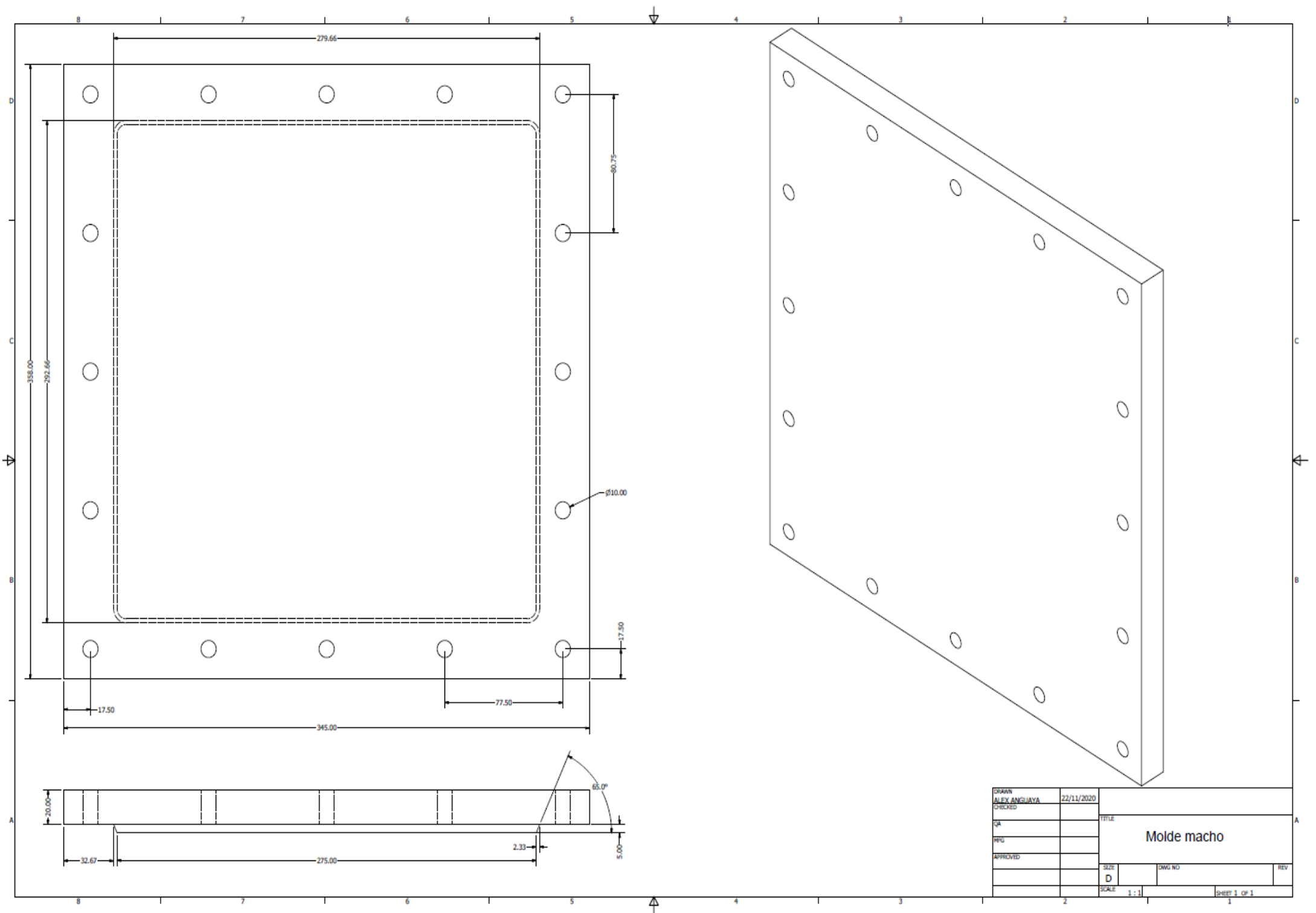
This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM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

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

Anexo 7. Planos del molde



DRAWN	ALEX ANGLIAYA	22/11/2020		
CHECKED			TITLE	
QA			Molde Hembra	
MFG				
APPROVED				
			SIZE	DWG NO
			D	
			SCALE	SHEET 1 OF 1
			1 : 1	1



DESIGN	ALEX ANGUAYA	22/11/2020	TITLE	
CHECKED			Moide macho	
QA			SIZE	DWG NO
W/C			D	
APPROVED			SCALE	1:1
				Sheet 1 of 1

Anexo 8. Informe técnico del ensayo a tracción y flexión emitido por parte de la Escuela Politécnica Nacional



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL LABORATORIO DE NUEVOS MATERIALES (LANUM)

Campus Politécnico "José Rubén Orellana Ricaurte" • Calle Isabela Católica S/N y Alfredo Mena Caamaño
RUC: 1760005620001 • Tel.: (00593-2) 2976300 Ext.: 3000
Apartado 17-01-2759 • E-mail: lanum.fim@epn.edu.ec • Quito – Ecuador



INFORME DE RESULTADOS No. IS-2021-004

Solicitud de trabajo No. DT-OT0004-2021

Quito, 18 de febrero de 2021

DATOS DE LA EMPRESA/INSTITUCIÓN SOLICITANTE

Solicitado por: Sr. Alex Anguaya

Empresa / Institución: Universidad Politécnica Salesiana

Teléfono: 0968146682

Dirección: Otavalo-San Rafael- San Miguel Bajo- Panamericana antigua y Puyo Pamba

E-mail: aanguaya@est.ups.edu.ec

Identificación de la(s) muestra(s) (cliente):

- T-0% (5 probetas)
- T-10% (5 probetas)
- T-20% (5 probetas)
- T-30% (5 probetas)
- F-0% (5 probetas)
- F-10% (5 probetas)
- F-20% (5 probetas)
- F-30% (5 probetas)

Descripción de la(s) muestra(s):

- Probetas de material compuesto con matriz de resina poliéster reforzado con fibra de corteza de eucalipto en diferentes composiciones para ensayos de tracción con referencia a la norma ASTM D3039/D3039 M-17
- Probetas de material compuesto con matriz de resina poliéster reforzado con fibra de corteza de eucalipto en diferentes composiciones para ensayos de flexión con referencia a la norma ASTM D7264/D7264 M-15

LABORATORIO

Fecha de ingreso al Laboratorio: 05/02/2021

Identificación de la(s) muestra(s) (código LANUM):

- *Resistencia a tracción tomando como referencia la norma ASTM D3039/D3039 M-17:*

MS-21-054 a MS-21-058 para las probetas: T-0%-1 a T-0%-5 respectivamente.

MS-21-059 a MS-21-063 para las probetas: T-10%-1 a T-10%-5 respectivamente.

MS-21-064 a MS-21-068 para las probetas: T-20%-1 a T-20%-5 respectivamente.

MS-21-069 a MS-21-073 para las probetas: T-30%-1 a T-30%-5 respectivamente.



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL LABORATORIO DE NUEVOS MATERIALES (LANUM)

Campus Politécnico "José Rubén Orellana Ricaurte" • Calle Isabela Católica S/N y Alfredo Mena Caamaño
RUC: 1760005620001 • Tel.: (00593-2) 2976300 Ext.: 3000
Apartado 17-01-2759 • E-mail: lanum.fim@epn.edu.ec • Quito – Ecuador



- Resistencia a flexión tomando como referencia a la norma ASTM D7264/D7264 M-15:

MS-21-074 a MS-21-078 para las probetas: F-0%-1 a F-0%-5 respectivamente.

MS-21-079 a MS-21-083 para las probetas: F-10%-1 a F-10%-5 respectivamente.

MS-21-084 a MS-21-088 para las probetas: F-20%-1 a F-20%-5 respectivamente.

MS-21-089 a MS-21-093 para las probetas: F-30%-1 a F-30%-5 respectivamente.

Fechas en que se realizaron los ensayos:

Resistencia a tracción tomando como referencia la norma ASTM D3039/D3039 M-17: 05/02/2021; 08/02/2021 y 09/02/2021

Resistencia a flexión tomando como referencia la norma ASTM D7264/D7264 M-15: 09/02/2021 y 10/02/2021

Áreas del laboratorio donde se realizaron los ensayos: Área de caracterización mecánica.

Condiciones ambientales corregidas: En la tabla 1 se presentan las condiciones ambientales en las fechas que se realizaron los ensayos.

Tabla 1. Condiciones ambientales en las fechas que se realizaron los ensayos.

Técnica	Id. Muestra	Fecha	Temperatura Inicial (°C)	Humedad Inicial (% HR)	Temperatura Final (°C)	Humedad Final (% HR)
Resistencia a tracción ASTM D3039/D3039 M-17	T-0%-1 a T-0%-5 (MS-21-054 a MS-21-058)	05/02/2021	21,8	50,2	22,2	48,4
	T-10%-1 a T-10%-5 (MS-21-059 a MS-21-063)	08/02/2021	21,7	52,1	21,8	50,1
	T-20%-1 a T-20%-5 (MS-21-064 a MS-21-068)	09/02/2021	21,8	50,4	21,6	52,0
	T-30%-1 a T-30%-5 (MS-21-069 a MS-21-073)	09/02/2021	23,3	47,5	23,2	47,5
Resistencia a flexión ASTM D7264/D7264 M-15	F-0%-1 a F-0%-5 (MS-21-074 a MS-21-078)	09/02/2021	22,4	48,5	22,0	48,6
	F-10%-1 a F-10%-5 (MS-21-079 a MS-21-083)	10/02/2021	21,9	48,8	22,0	48,3
	F-20%-1 a F-20%-5 (MS-21-084 a MS-21-088)	10/02/2020	22,2	49,8	22,0	49,8
	F-30%-1 a F-30%-5 (MS-21-089 a MS-21-093)	10/02/2021	21,9	49,5	22,0	49,5

EQUIPOS UTILIZADOS

- Máquina universal de ensayos marca: Tinius Olsen, modelo: H25KS; capacidad máxima 25 kN; precisión utilizada: 0,01 N
- Calibrador de vernier marca: Mitutoyo, modelo: Absolute Digimatic (12"/300 mm); apreciación de 0,01 mm
- Micrómetro analógico marca: Mitutoyo, modelo: 103-104 con una apreciación de 0,01 mm
- Termohigrómetro marca ELITECH, modelo RCW-800 wifi; apreciación de 0,1 °C y 0,1 %HR



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL LABORATORIO DE NUEVOS MATERIALES (LANUM)

Campus Politécnico "José Rubén Orellana Ricaurte" • Calle Isabela Católica S/N y Alfredo Mena Caamaño
RUC: 1760005620001 • Tel.: (00593-2) 2976300 Ext.: 3000
Apartado 17-01-2759 • E-mail: lanum.fim@epn.edu.ec • Quito – Ecuador



MÉTODOS EMPLEADOS

Ensayos de Tracción: El método empleado se basa en la norma ASTM D3039/D3039 M-17

- Medidas nominales de las probetas (recomendado): Largo: 250, Ancho: 25 mm (+/- 1%) y Espesor: 2,5 mm (+/- 4%)
- Distancia calibrada para medir la deformación: 50 mm
- Velocidad de ensayo: 2 mm/minuto
- El código de identificación de la falla en las probetas se muestra en la figura 1 y corresponde a la figura 4 de la norma ASTM 3039/D3039 M-17, página 10.

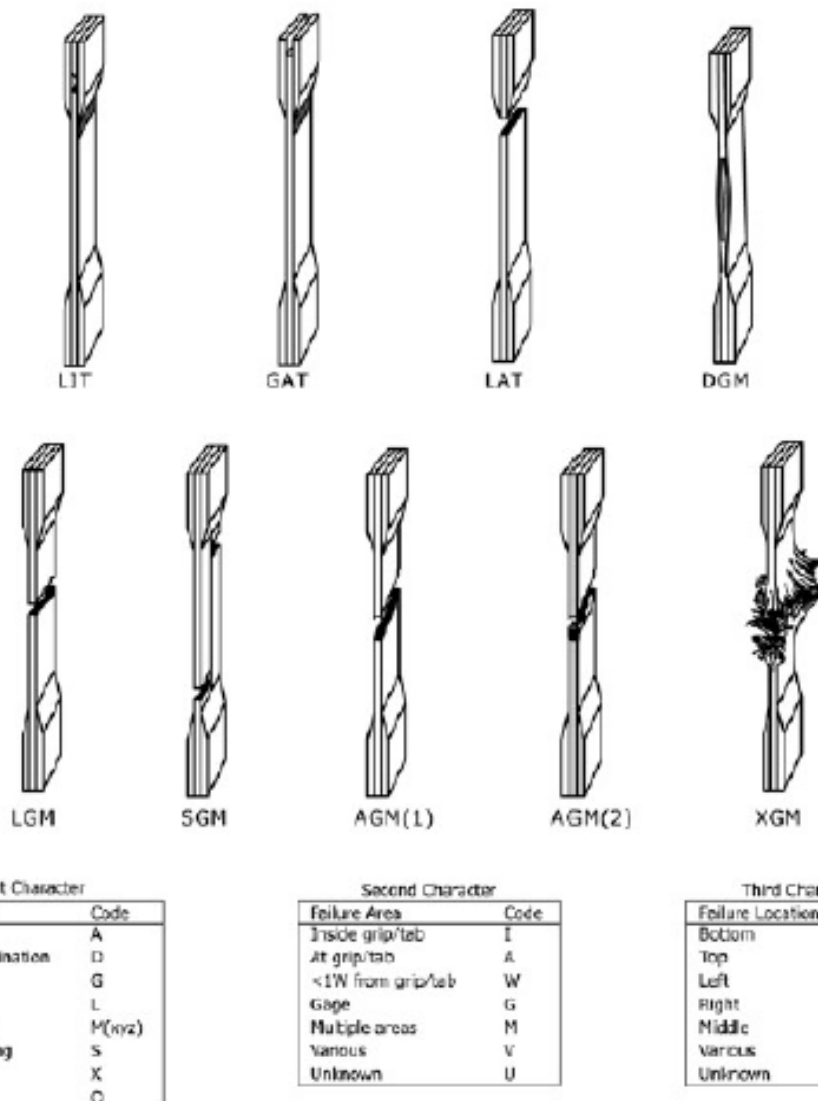


Figura 1. Código de identificación de las fallas en las probetas sometidas a los ensayos de tracción ASTM D3039/D3039 M-17.



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL LABORATORIO DE NUEVOS MATERIALES (LANUM)

Campus Politécnico "José Rubén Orellana Ricaurte" • Calle Isabela Católica S/N y Alfredo Mena Caamaño
RUC: 1760005620001 • Tel.: (00593-2) 2976300 Ext.: 3000
Apartado 17-01-2759 • E-mail: lanum.fim@epn.edu.ec • Quito – Ecuador



Ensayos de flexión: El método empleado se basa en la norma ASTM D7264/D7264 M-15

- Procedimiento A: Flexión en tres puntos
- Relación espesor-distancia entre apoyos: 1:16
- Velocidad de ensayo: 1 mm/min
- El código de identificación de la falla en las probetas se muestra en la figura 2 y corresponde a la figura 6 de la norma ASTM D7264/D7264-M15, página 6.

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

Figura 2. Código de identificación de las fallas en las probetas sometidas a los ensayos de flexión.

RESULTADOS

Ensayos de tracción tomando como referencia la norma ASTM D3039/D3039 M-17:

En la tabla 2 se presentan los resultados de los ensayos de resistencia a tracción tomando como referencia la norma ASTM D3039/D3039 M-17 para las probetas T-0%-1 a T-0%-5 (MS-21-054 a MS-21-058)

Tabla 2. Resultados del ensayo de resistencia a tracción tomando como referencia la norma ASTM D3039/D3039 M-17 para las probetas T-0%-1 a T-0%-5 (MS-21-054 a MS-21-058)

ENSAYO DE TRACCIÓN ASTM D3039/D3039 M-17 (Grupo: T-0%)									
Muestra No.	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Área (mm ²)	Código de falla	Carga última (N)	Resistencia última (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Deformación última (%)	Deformación a la rotura (%)
T-0%-1 (MS-21-054)	24,76	4,92	121,70	LGM	3177,50	26,11	5108,54	0,42	0,42
T-0%-2 (MS-21-055)	24,86	4,78	118,83	LGM	2704,08	22,76	5326,07	0,40	0,40
T-0%-3 (MS-21-056)	24,78	4,93	122,17	MGM	3006,15	24,61	5531,88	0,35	0,35
T-0%-4 (MS-21-057)	24,84	4,91	121,94	MGM	3475,14	28,50	5748,85	0,56	0,56
T-0%-5 (MS-21-058)	24,93	4,9	122,13	MGM	3720,34	30,46	6100,04	0,57	0,57
		Promedio		\bar{x}	3216,64	26,49	5563,08	0,46	0,46
		Desviación estándar		S_{n-1}	396,58	3,06	382,95	0,10	0,10
		Coeficiente de variación		CV	12,33	11,54	6,88	21,58	21,58



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
LABORATORIO DE NUEVOS MATERIALES (LANUM)

Campus Politécnico "José Rubén Drellana Ricaurte" • Calle Isabela Católica S/N y Alfredo Mena Caamaño
 RUC: 1760005620001 • Tel.: (00593-2) 2976300 Ext.: 3000
 Apartado 17-01-2759 • E-mail: lanum.fim@epn.edu.ec • Quito – Ecuador



En la figura 3 se muestran las condiciones de las probetas T-0%-1 a T-0%-5 (MS-21-054 a MS-21-058) después de los ensayos de resistencia a tracción.



Figura 3. Condiciones finales de las probetas T-0%-1 a T-0%-5 (MS-21-054 a MS-21-058) después de los ensayos de resistencia a tracción tomando como referencia la norma ASTM D3039/D3039 M-17.

En la tabla 3 se presentan los resultados de los ensayos de resistencia a tracción tomando como referencia la norma ASTM D3039/D3039 M-17 para las probetas T-10%-1 a T-10%-5 (MS-21-059 a MS-21-063)

Tabla 3. Resultados del ensayo de resistencia a tracción tomando como referencia la norma ASTM D3039/D3039 M-17 para las probetas T-10%-1 a T-10%-5 (MS-21-059 a MS-21-063)

ENSAYO DE TRACCIÓN ASTM D3039/D3039 M-17 (Grupo: T-10%)									
Muestra No.	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Área (mm ²)	Código de falla	Carga última (N)	Resistencia última (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Deformación última (%)	Deformación a la rotura (%)
T-10%-1 (MS-21-059)	25,27	5,02	126,83	AUT	1798,78	14,18	6473,91	0,18	-
T-10%-2 (MS-21-060)	25,11	5,07	127,16	AGM	1346,05	10,59	6499,14	0,14	0,14
T-10%-3 (MS-21-061)	25,19	4,92	123,78	AUT	1766,53	14,27	6922,06	0,18	-
T-10%-4 (MS-21-062)	25,14	5,12	128,59	AAT	1273,33	9,90	6634,81	0,11	-
T-10%-5 (MS-21-063)	24,96	5,03	125,42	AWT	1726,42	13,76	7054,47	0,17	-
Promedio				\bar{x}	1582,22	12,54	6716,88	0,16	-
Desviación estándar				S_{n-1}	251,42	2,12	259,44	0,03	-
Coefficiente de variación				CV	15,89	16,89	3,86	19,55	-



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL LABORATORIO DE NUEVOS MATERIALES (LANUM)

Campus Politécnico "José Rubén Orellana Ricaurte" • Calle Isabela Católica S/N y Alfredo Mena Caamaño
RUC: 1760005620001 • Tel.: (00593-2) 2976300 Ext.: 3000
Apartado 17-01-2759 • E-mail: lanum.fim@epn.edu.ec • Quito – Ecuador



Observación:

Las probetas T-10%-1, T-10%-3, T-10%-4 y T-10%-5 no se rompieron en la región calibrada para medir la deformación, por lo que no se reporta la deformación a la rotura.

En la figura 4 se muestran las condiciones de las probetas T-10%-1 a T-10%-5 (MS-21-059 a MS-21-063) después de los ensayos de resistencia a tracción.



Figura 4. Condiciones finales de las probetas T-10%-1 a T-10%-5 (MS-21-059 a MS-21-063) después de los ensayos de resistencia a tracción tomando como referencia la norma ASTM D3039/D3039 M-17.

En la tabla 4 se presentan los resultados de los ensayos de resistencia a tracción tomando como referencia la norma ASTM D3039/D3039 M-17 para las probetas T-20%-1 a T-20%-5 (MS-21-064 a MS-21-068)

Tabla 4. Resultados del ensayo de resistencia a tracción tomando como referencia la norma ASTM D3039/D3039 M-17 para las probetas T-20%-1 a T-20%-5 (MS-21-064 a MS-21-068)

ENSAYO DE TRACCIÓN ASTM D3039/D3039 M-17 (Grupo: T-20%)									
Muestra No.	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Área (mm ²)	Código de falla	Carga última (N)	Resistencia última (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Deformación última (%)	Deformación a la rotura (%)
T-20%-1 (MS-21-064)	25,19	5,17	130,08	AUT	1636,67	12,58	4878,41	0,24	-
T-20%-2 (MS-21-065)	25,09	5,08	127,31	LGM	1428,63	11,22	6932,40	0,15	0,15
T-20%-3 (MS-21-066)	25,10	5,06	126,88	AGM	951,15	7,50	5908,86	0,11	0,11
T-20%-4 (MS-21-067)	26,06	5,03	131,06	AUB	1361,65	10,39	5050,84	0,18	-
T-20%-5 (MS-21-068)	25,06	5,09	127,53	LGM	1270,96	9,97	6319,50	0,13	0,13
			Promedio	\bar{x}	1329,81	10,33	5818,00	0,16	0,13
			Desviación estándar	S_{n-1}	250,89	1,87	862,12	0,05	0,02
			Coefficiente de variación	CV	18,87	18,10	14,82	31,29	15,38



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL LABORATORIO DE NUEVOS MATERIALES (LANUM)

Campus Politécnico "José Rubén Orellana Ricaurte" • Calle Isabela Católica S/N y Alfredo Mena Caamaño
RUC: 1760005620001 • Tel.: (00593-2) 2976300 Ext.: 3000
Apartado 17-01-2759 • E-mail: lanum.fim@epn.edu.ec • Quito – Ecuador



Observación:

Las probetas T-20%-1 y T-20%-4 no se rompieron en la región calibrada para medir la deformación, por lo que no se reporta la deformación a la rotura.

En la figura 5 se muestran las condiciones de las probetas T-20%-1 a T-20%-5 (MS-21-064 a MS-21-068) después de los ensayos de resistencia a tracción.



Figura 5. Condiciones finales de las probetas T-20%-1 a T-20%-5 (MS-21-064 a MS-21-068) después de los ensayos de resistencia a tracción tomando como referencia la norma ASTM D3039/D3039 M-17.

En la tabla 5 se presentan los resultados de los ensayos de resistencia a tracción tomando como referencia la norma ASTM D3039/D3039 M-17 para las probetas T-30%-1 a T-30%-5 (MS-21-069 a MS-21-073)

Tabla 5. Resultados del ensayo de resistencia a tracción tomando como referencia la norma ASTM D3039/D3039 M-17 para las probetas T-30%-1 a T-30%-5 (MS-21-069 a MS-21-073)

ENSAYO DE TRACCIÓN ASTM D3039/D3039 M-17 (Grupo: T-30%)									
Muestra No.	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Área (mm ²)	Código de falla	Carga última (N)	Resistencia última (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Deformación última (%)	Deformación a la rotura (%)
T-30%-1 (MS-21-069)	25,00	5,14	128,47	AWT	1751,80	13,64	6506,14	0,17	-
T-30%-2 (MS-21-070)	24,89	5,15	128,06	AWT	1430,41	11,17	6031,87	0,15	-
T-30%-3 (MS-21-071)	24,84	5,07	125,94	AWB	1994,95	15,84	5701,87	0,28	-
T-30%-4 (MS-21-072)	25,01	4,96	123,93	AUB	1602,91	12,93	5327,81	0,25	-
T-30%-5 (MS-21-073)	24,67	4,97	122,61	AUT	1548,98	12,63	4740,70	0,23	-
			Promedio	\bar{x}	1665,81	13,24	5661,68	0,22	-
			Desviación estándar	S_{n-1}	217,22	1,71	672,95	0,05	-
			Coefficiente de variación	CV	13,04	12,90	11,89	25,27	-



Observación:

Ninguna de las probetas se rompió en la región calibrada para medir la deformación, por lo que no se reporta la deformación a la rotura.

En la figura 6 se muestran las condiciones de las probetas T-30%-1 a T-30%-5 (MS-21-069 a MS-21-073) después de los ensayos de resistencia a tracción.



Figura 6. Condiciones finales de las probetas T-30%-1 a T-30%-5 (MS-21-069 a MS-21-073) después de los ensayos de resistencia a tracción tomando como referencia la norma ASTM D3039/D3039 M-17.



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
LABORATORIO DE NUEVOS MATERIALES (LANUM)

Campus Politécnico "José Rubén Orellana Ricaurte" • Calle Isabela Católica S/N y Alfredo Mena Caamaño
RUC: 1760005620001 • Tel.: (00593-2) 2976300 Ext.: 3000

Apartado 17-01-2759 • E-mail: lanum.fim@epn.edu.ec • Quito – Ecuador



Resistencia a flexión tomando como referencia la norma ASTM D7264/D7264 M-15

En la tabla 6 se presentan los resultados de los ensayos de resistencia a flexión tomando como referencia la norma ASTM D7264/D7264 M-15 para las probetas F-0%-1 a F-0%-5 (MS-21-074 a MS-21-078)

Tabla 6. Resultados del ensayo de resistencia a flexión tomando como referencia la norma ASTM D7264/D7264 M-15 para las probetas F-0%-1 a F-0%-5 (MS-21-074 a MS-21-078)

ENSAYO DE FLEXIÓN ASTM D7264/D7264-M15 (Grupo: F-0%)										
Muestra No.	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Área (mm ²)	Distancia entre apoyos (mm)	Tipo de falla	Carga última (N)	Resistencia última (MPa)	Módulo elástico a flexión (MPa)	Deformación última (%)	Deformación a la rotura (%)
F-0%-1 MS-21-074	15,83	4,80	75,98	76,80	MLV	238,33	75,28	2574,87	3,55	3,56
F-0%-2 MS-21-075	15,78	4,84	76,27	77,36	MLV	276,67	87,06	2661,82	5,16	5,25
F-0%-3 MS-21-076	15,77	4,84	76,33	77,44	MLV	265,00	83,33	2411,90	4,85	4,86
F-0%-4 MS-21-077	15,80	4,94	77,97	78,96	MLV	239,17	73,62	2753,48	3,21	3,23
F-0%-5 MS-21-078	15,83	4,86	76,91	77,76	MLV	233,33	72,81	2356,38	3,85	3,85
Promedio					\bar{x}	250,50	78,42	2551,69	4,12	4,15
Desviación estándar					S_{n-1}	19,15	6,39	166,64	0,84	0,87
Coeficiente de variación					CV	7,64	8,14	6,53	20,43	20,86

En la figura 7 se muestran las condiciones de las probetas F-0%-1 a F-0%-5 (MS-21-074 a MS-21-078) después de los ensayos de resistencia a flexión.



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL LABORATORIO DE NUEVOS MATERIALES (LANUM)

Campus Politécnico "José Rubén Orellana Ricaurte" • Calle Isabela Católica S/N y Alfredo Mena Caamaño

RUC: 1760005620001 • Tel.: (00593-2) 2976300 Ext.: 3000

Apartado 17-01-2759 • E-mail: lanum.fim@epn.edu.ec • Quito – Ecuador



Figura 7. Condiciones finales de las probetas F-0%-1 a F-0%-5 (MS-21-074 a MS-21-078) después de los ensayos de resistencia a flexión tomando como referencia la norma ASTM D7264/D7264 M-15.

En la tabla 7 se presentan los resultados de los ensayos de resistencia a flexión tomando como referencia la norma ASTM D7264/D7264 M-15 para las probetas F-10%-1 a F-10%-5 (MS-21-079 a MS-21-083).

Tabla 7. Resultados del ensayo de resistencia a flexión tomando como referencia la norma ASTM D7264/D7264 M-15 para las probetas F-10%-1 a F-10%-5 (MS-21-079 a MS-21-083).

ENSAYO DE FLEXIÓN ASTM D7264/D7264-M15 (Grupo: F-10%)										
Muestra No.	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Área (mm ²)	Distancia entre apoyos (mm)	Tipo de falla	Carga última (N)	Resistencia última (MPa)	Módulo elástico a flexión (MPa)	Deformación última (%)	Deformación a la rotura (%)
F-10%-1 MS-21-079	16,03	5,14	82,29	82,16	MAM	120,83	35,24	2718,03	1,33	1,34
F-10%-2 MS-21-080	16,30	4,99	81,34	79,84	MAM	95,00	28,03	2697,03	1,05	1,06
F-10%-3 MS-21-081	16,07	5,08	81,64	81,28	MAM	114,17	33,56	2762,93	1,26	1,26
F-10%-4 MS-21-082	16,23	4,93	80,50	79,36	MAM	97,50	29,07	2589,65	1,13	1,13
F-10%-5 MS-21-083	16,19	4,98	80,52	79,60	MLB	148,24	44,19	2516,72	1,84	1,84
Promedio					\bar{x}	115,15	34,02	2656,87	1,32	1,33
Desviación estándar					S_{n-1}	21,48	6,43	100,95	0,31	0,31
Coeficiente de variación					CV	18,66	18,91	3,80	23,41	23,18



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL LABORATORIO DE NUEVOS MATERIALES (LANUM)

Campus Politécnico "José Rubén Orellana Ricaurte" • Calle Isabela Católica S/N y Alfredo Mena Caamaño

RUC: 1760005620001 • Tel.: (00593-2) 2976300 Ext.: 3000

Apartado 17-01-2759 • E-mail: lanum.fim@epn.edu.ec • Quito – Ecuador



En la figura 8 se muestran las condiciones de las probetas F-10%-1 a F-10%-5 (MS-21-079 a MS-21-083) después de los ensayos de resistencia a flexión.



Figura 8. Condiciones finales de las probetas F-10%-1 a F-10%-5 (MS-21-079 a MS-21-083) después de los ensayos de resistencia a flexión tomando como referencia la norma ASTM D7264/D7264 M-15.

En la tabla 8 se presentan los resultados de los ensayos de resistencia a flexión tomando como referencia la norma ASTM D7264/D7264 M-15 para las probetas F-20%-1 a F-20%-5 (MS-21-084 a MS-21-088).

Tabla 8. Resultados del ensayo de resistencia a flexión tomando como referencia la norma ASTM D7264/D7264 M-15 para las probetas F-20%-1 a F-20%-5 (MS-21-084 a MS-21-088).

ENSAYO DE FLEXIÓN ASTM D7264/D7264-M15 (Grupo: F-20%)										
Muestra No.	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Área (mm ²)	Distancia entre apoyos (mm)	Tipo de falla	Carga última (N)	Resistencia última (MPa)	Módulo elástico a flexión (MPa)	Deformación última (%)	Deformación a la rotura (%)
F-20%-1 MS-21-084	16,30	5,05	82,21	80,72	MAM	109,17	31,87	2769,99	1,21	1,21
F-20%-2 MS-21-085	16,16	5,01	80,96	80,16	MAM	118,33	35,08	2869,79	1,30	1,30
F-20%-3 MS-21-086	16,29	5,08	82,75	81,28	MLT	103,33	29,97	2695,50	1,16	1,16
F-20%-4 MS-21-087	16,22	4,94	80,05	78,96	MAM	115,83	34,73	2742,65	1,31	1,31
F-20%-5 MS-21-088	16,21	5,00	81,05	80,00	MLT	87,19	25,82	2926,89	0,95	0,95
Promedio					\bar{x}	106,77	31,49	2800,96	1,19	1,19
Desviación estándar					S_{n-1}	12,42	3,81	94,97	0,15	0,15
Coeficiente de variación					CV	11,63	12,09	3,39	12,31	12,31



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL LABORATORIO DE NUEVOS MATERIALES (LANUM)

Campus Politécnico "José Rubén Orellana Ricaurte" • Calle Isabela Católica S/N y Alfredo Mena Caamaño
RUC: 1760005620001 • Tel.: (00593-2) 2976300 Ext.: 3000
Apartado 17-01-2759 • E-mail: lanum.fim@epn.edu.ec • Quito – Ecuador



En la figura 9 se muestran las condiciones de las probetas F-20%-1 a F-20%-5 (MS-21-084 a MS-21-088) después de los ensayos de resistencia a flexión.



Figura 9. Condiciones finales de las probetas F-20%-1 a F-20%-5 (MS-21-084 a MS-21-088) después de los ensayos de resistencia a flexión tomando como referencia la norma ASTM D7264/D7264 M-15.

En la tabla 9 se presentan los resultados de los ensayos de resistencia a flexión tomando como referencia la norma ASTM D7264/D7264 M-15 para las probetas F-30%-1 a F-30%-5 (MS-21-089 a MS-21-093).

Tabla 9. Resultados del ensayo de resistencia a flexión tomando como referencia la norma ASTM D7264/D7264 M-15 para las probetas F-30%-1 a F-30%-5 (MS-21-089 a MS-21-093).

ENSAYO DE FLEXIÓN ASTM D7264/D7264-M15 (Grupo: F-30%)										
Muestra No.	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Área (mm ²)	Distancia entre apoyos (mm)	Tipo de falla	Carga última (N)	Resistencia última (MPa)	Módulo elástico a flexión (MPa)	Deformación última (%)	Deformación a la rotura (%)
F-30%-1 MS-21-089	16,34	4,95	80,78	79,12	MLT	95,00	28,23	2899,04	1,04	1,05
F-30%-2 MS-21-090	12,32	4,88	79,62	78,08	MAM	92,50	27,88	2890,89	1,02	1,02
F-30%-3 MS-21-091	16,49	5,02	82,67	80,24	MLB	90,00	26,13	3106,10	0,89	0,89
F-30%-4 MS-21-092	16,37	4,93	80,62	78,80	MAM	70,00	20,84	2668,28	0,80	0,86
F-30%-5 MS-21-093	16,58	4,91	81,41	78,56	MAM	79,85	23,54	2796,60	0,92	0,92
Promedio					\bar{x}	85,47	25,32	2872,18	0,93	0,95
Desviación estándar					S_{n-1}	10,39	3,12	160,53	0,10	0,08
Coeficiente de variación					CV	12,15	12,32	5,59	10,53	8,74



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL LABORATORIO DE NUEVOS MATERIALES (LANUM)

Campus Politécnico "José Rubén Orellana Ricaurte" • Calle Isabela Católica S/N y Alfredo Mena Caamaño
RUC: 1760005620001 • Tel.: (00593-2) 2976300 Ext.: 3000
Apartado 17-01-2759 • E-mail: lanum.fim@epn.edu.ec • Quito – Ecuador



En la figura 10 se muestran las condiciones de las probetas F-30%-1 a F-30%-5 (MS-21-089 a MS-21-093) después de los ensayos de resistencia a flexión.



Figura 10. Condiciones finales de las probetas F-30%-1 a F-30%-5 (MS-21-089 a MS-21-093) después de los ensayos de resistencia a flexión tomando como referencia la norma ASTM D7264/D7264 M-15.

Bibliografía

- American Society for Testing and Materials; ASTM D3039/D3039 M-17; Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials; West Conshohocken; 2017
- American Society for Testing and Materials; ASTM D7264/D7264 M-15; Standard Test Method for Flexural Properties of Polymer Matrix Composite Materials; West Conshohocken; 2015

"El cliente puede hacer uso académico de los resultados presentados en este informe, así como de los respaldos enviados en formato digital para su tratamiento".

NOTA: ESTOS RESULTADOS ESTÁN RELACIONADOS ÚNICAMENTE A LA(S) MUESTRA(S) SOMETIDA(S) A ENSAYO

NOTA DE DESCARGO DE RESPONSABILIDAD: En caso de que las muestras entregadas no cumplieran con las especificaciones solicitadas por el LANUM (dimensiones, tolerancias, calidad y cantidad de muestra), y a pesar de eso el cliente diera su consentimiento para la realización de análisis, el LANUM no se responsabiliza si los resultados son afectados debido a estas desviaciones (no cumplimiento de especificaciones)



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL LABORATORIO DE NUEVOS MATERIALES (LANUM)

Campus Politécnico "José Rubén Orellana Ricaurte" • Calle Isabela Católica S/N y Alfredo Mena Caamaño

RUC: 1760005620001 • Tel.: (00593-2) 2976300 Ext.: 3000

Apartado 17-01-2759 • E-mail: lanum.fim@epn.edu.ec • Quito – Ecuador



Realizado por:

Revisado y aprobado por:

Autorizado por:

Ing. Orlando Campaña
Analista Técnico

Ing. Salomé Galeas
Responsable Técnica

Paulina Romero, Ph.D.
Coordinadora del Laboratorio

Anexo 9. Informe técnico del ensayo a impacto emitido por parte de la Universidad Técnica de Ambato



CENTRO DE TRANSFERENCIA Y TECNOLOGÍA FACULTAD INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA - UTA



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA
MECÁNICA**

RESISTENCIA DE IMPACTO SEGÚN ASTM D 5628-10

FEBRERO DE 2021

AMBATO-ECUADOR

INFORME TÉCNICO Lb1- 0005-2021

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 01 de febrero de 2021, los Señores. Jimmy David García Quiroz y Alex Darío Anguaya Isama egresados de la Universidad Politécnica Salesiana domiciliado en la ciudad de Quito, solicitan 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 24 muestras o probetas, en cuatro grupos y a su vez 6 probetas por cada grupo bajo las designaciones: P-I-0%, P-I-10%, P-I-20%, P-I-30%;(Probeta para ensayo de Impacto en Material compuesto de una matriz de poliéster reforzado con fibra de corteza de Eucalyptus Globulus mediante moldeo de compresión); 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 ensayó un total de 20 probetas, 5 por cada grupo. Todos los grupos presentan superficies lisas.




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.

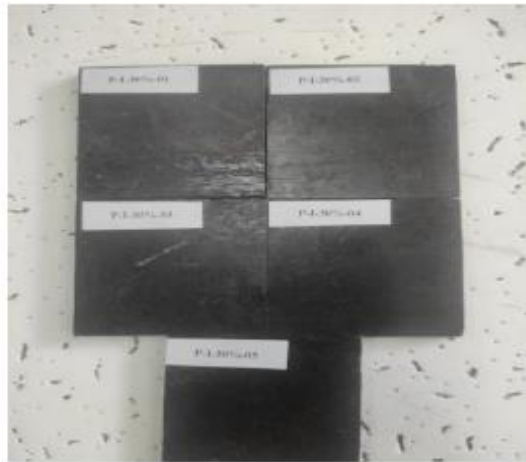


- Colocar la masa a la altura preestablecida, según el método de prueba seleccionado.



- 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:	04/02/2021	Ciudad:	Ambato
Lugar:	Laboratorios de Materiales	Campus Huachi	
Equipo:	Maquina tipo caída de masas de Impacto		
Realizado por:	Ing. Sebastián Villegas S.		
Tipo de material:		Orden:	

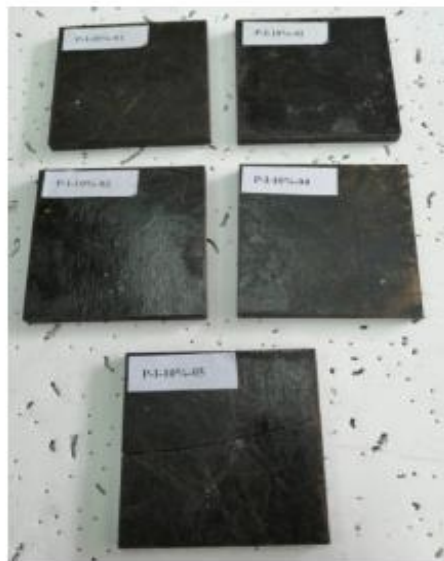
PARAMETROS DE ENSAYO

Tipo de Medición:	Energía Media de Impacto (J)	Norma:	ASTM D5628-10
Dimensiones (mm):	58mm x 58mm	No. de probetas:	5



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
P-I-0%-01	57,73	57,7	5,13	0,232	0	50	0,113796	No falla
P-I-0%-02	57,56	57,67	4,83	0,232	0	75	0,170694	No falla
P-I-0%-03	57,58	57,51	4,77	0,232	0	100	0,227592	Falla
P-I-0%-04	57,49	57,55	4,79	0,232	0	125	0,28449	Falla
P-I-0%-05	57,5	57,52	4,83	0,232	0	200	0,455184	Falla

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO			
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA			
Centro de Transferencia y Tecnología			
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS			
DATOS INFORMATIVOS:			
Fecha:	04/02/2021	Ciudad:	Ambato
Lugar:	Laboratorios de Materiales	Campus Huachi	
Equipo:	Maquina tipo caída de masas de Impacto		
Realizado por:	Ing. Sebastián Villegas S.		
Tipo de material:		Orden:	
PARAMETROS DE ENSAYO			
Tipo de Medición:	Energía Media de Impacto (J)	Norma:	ASTM D5628-10
Dimensiones (mm):	58mm x 58mm	Nº de probetas:	5



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
P-I-10%-01	58,06	58,21	5,12	0,232	0	100	0,227592	No falla
P-I-10%-02	58,07	58,32	4,91	0,232	0	150	0,341388	No falla
P-I-10%-03	58,15	57,9	4,78	0,232	0	175	0,398286	Falla
P-I-10%-04	58,08	57,92	4,8	0,232	0	200	0,455184	Falla
P-I-10%-05	58,23	58,1	5,03	0,232	0	300	0,682776	Falla

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO			
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECANICA			
Centro de Transferencia y Tecnología			
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS			
DATOS INFORMATIVOS:			
Fecha:	04/02/2021	Ciudad:	Ambato
Lugar:	Laboratorios de Materiales	Campus Huachi	
Equipo:	Maquina tipo caída de masas de Impacto		
Realizado por:	Ing. Sebastián Villegas S.		
Tipo de material:		Orden:	
PARAMETROS DE ENSAYO			
Tipo de Medición:	Energía Media de Impacto (J)	Norma:	ASTM D5628-10
Dimensiones (mm):	58mm x 58mm	Nº de probetas:	5



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
P-I-20%-01	58,14	58,2	4,92	0,232	0	100	0,227592	No falla
P-I-20%-02	58,07	58,17	4,7	0,232	0	200	0,455184	Falla
P-I-20%-03	58,19	58,18	5,29	0,232	0	250	0,56898	Falla
P-I-20%-04	58,3	57,94	5,28	0,232	0	300	0,682776	Falla
P-I-20%-05	58,12	58,33	5,08	0,232	0	400	0,910368	Falla

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO								
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA								
Centro de Transferencia y Tecnología								
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS								
DATOS INFORMATIVOS:								
Fecha:	04/02/2021			Ciudad:	Ambato			
Lugar:	Laboratorios de Materiales				Campus Huachi			
Equipo:	Maquina tipo caída de masas de Impacto							
Realizado por:	Ing. Sebastián Villegas S.							
Tipo de material:						Orden:		
PARAMETROS DE ENSAYO								
Tipo de Medición:	Energía Media de Impacto (J)			Norma:	ASTM D5628-10			
Dimensiones (mm):	58mm x 58mm			Nº de probetas:	5			
								
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
P-I-30%-01	58,02	58,31	6,04	0,232	0	150	0,341388	No falla
P-I-30%-02	57,92	58,19	5,23	0,232	0	250	0,56898	Presenta una fisura
P-I-30%-03	57,96	58,15	5,56	0,232	0	350	0,796572	Falla
P-I-30%-04	57,96	58,29	5,55	0,232	0	400	0,910368	Falla
P-I-30%-05	58,42	58,45	5,4	0,232	0	500	1,13796	Falla

Conclusiones

- Para las probetas tipo P-I-0% tienen una energía de fallo de 0,251 J.
- Para las probetas tipo P-I-10% tienen una energía de fallo de 0,421 J.
- Para las probetas tipo P-I-20% tienen una energía de fallo de 0,568 J.
- Para las probetas tipo P-I-30% tienen una energía de fallo de 0,751 J.
- Todas las probetas se las ensayó con el método de prueba E, con el dardo de 0,223 Kg según lo especificado por la normativa ASTM D5628-10.



Ing. Sebastián Villegas S.
TÉCNICO DE LABORATORIO
INGENIERÍA MECÁNICA