



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

Trabajo Experimental previo a la obtención del Título de Ingeniero Mecánico

TEMA:

“INFLUENCIA DE LA EXPOSICIÓN A LA INTEMPERIE EN LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN, FLEXIÓN E IMPACTO DE DOS MATERIALES COMPUESTOS DE MATRIZ POLIÉSTER REFORZADOS CON FIBRA DE ABACÁ Y PLÁTANO.”

AUTOR: Francisco Javier Oquendo Lazo

TUTOR: Ing. Mg. Cristian Fabián Pérez Salinas

AMBATO-ECUADOR

Septiembre-2020

CERTIFICACIÓN

En mi calidad de tutor del Trabajo experimental, previo a la obtención del título de Ingeniero Mecánico, con el tema **“INFLUENCIA DE LA EXPOSICIÓN A LA INTEMPERIE EN LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN, FLEXIÓN E IMPACTO DE DOS MATERIALES COMPUESTOS DE MATRIZ POLIÉSTER REFORZADOS CON FIBRA DE ABACÁ Y PLÁTANO”** elaborado por el Sr. Francisco Javier Oquendo Lazo, portador de la cédula de ciudadanía: 1804583050, egresado de la Carrera de Ingeniería Mecánica, de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Certifico:

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

Ambato, Septiembre 2020



.....
Ing. Mg. Cristian Fabián Pérez Salinas

TUTOR

AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Yo, Francisco Javier Oquendo Lazo, con CI. 1804583050 declaro que todas las actividades y contenidos expuestos en el presente trabajo experimental con el tema **“INFLUENCIA DE LA EXPOSICIÓN A LA INTEMPERIE EN LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN, FLEXIÓN E IMPACTO DE DOS MATERIALES COMPUESTOS DE MATRIZ POLIÉSTER REFORZADOS CON FIBRA DE ABACÁ Y PLÁTANO”**, así como también los análisis estadísticos, gráficos, conclusiones y recomendaciones son de mi exclusiva responsabilidad como autor de la investigación, a excepción de las referencias bibliográficas citadas en el mismo.

Ambato, Septiembre 2020



Francisco Javier Oquendo Lazo

c.c.: 1804583050

Autor

DERECHOS DE AUTOR

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

Cedo los derechos en línea patrimonial de mi proyecto experimental con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este documento dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.

Ambato, Septiembre 2020



Francisco Javier Oquendo Lazo

c.c.: 1804583050

Autor

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el informe del Trabajo Experimental, realizado por el estudiante **FRANCISCO JAVIER OQUENDO LAZO** de la Carrera de Ingeniería Mecánica bajo el tema: **“INFLUENCIA DE LA EXPOSICIÓN A LA INTEMPERIE EN LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN, FLEXIÓN E IMPACTO DE DOS MATERIALES COMPUESTOS DE MATRIZ POLIÉSTER REFORZADOS CON FIBRA DE ABACÁ Y PLÁTANO”**.


Ambato, Septiembre 2020

Para constancia firman:



Ing. Mg Christian Byron Castro Miniguano

Miembro del Tribunal



Ing. Mg. Diego Fernando Núñez Núñez

Miembro del Tribunal

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a todas las personas que no creyeron en mí y de manera indirecta me ayudaron tanto en mi carrera.

AGRADECIMIENTO

El más cordial agradecimiento a mi padre Francisco Oquendo por el sustento moral y financiero no solo al momento de ejecutar este importante trabajo sino también en el transcurso de mi vida académica.

A mi tutor Ing. Mg. Cristian Pérez por su gran ayuda y colaboración en cada momento de consulta y soporte en este trabajo experimental, ya que con sus directrices pude efectuar de manera correcta el trabajo.

A mi prometida Evelyn Pérez por hacer de esta carga más liviana y ayudarme a superar las adversidades, también por mantenerme firme y apoyarme durante este gran esfuerzo que comprendió mi carrera.

A Dios por darme la inteligencia perseverancia y sabiduría durante todo el camino que conlleva esta etapa de mi vida.

A la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica que impartió mediante los excelentes Docentes su cátedra y me inundó con su conocimiento día tras día a lo largo de estos años.

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN.....	i
AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN	ii
DERECHOS DE AUTOR	iii
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO	iv
AGRADECIMIENTO	vi
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS.....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
RESUMEN EJECUTIVO	xiv
ABSTRACT.....	xv
TEMA DEL TRABAJO EXPERIMENTAL	1
CAPÍTULO I.- MARCO TEÓRICO.....	1
1.1 Antecedentes investigativos	1
1.2 Fundamentación teórica	5
1.2.1 Composites.....	5
1.2.2 Proceso de estratificación manual de un composites	6
1.2.3 Ensayo de tracción (ASTM-D3039).....	7
1.2.4 Ensayo de flexión (ASTM – D7264)	10
1.2.5 Ensayo de impacto charpy (NTE INEN-ISO 179-2)	11
1.2.6 Ensayo para la exposición a la intemperie (ASTM D1435-99).....	13
1.3 Objetivo.....	15
1.3.1 Objetivo General	15
1.3.2 Objetivos Específicos.....	15
CAPÍTULO II.- METODOLOGÍA	16
2.1 Materiales	16
2.1.1 Resina poliéster.....	16
2.1.2 Fibras	17
2.2 Métodos.....	20

2.2.1 Método investigativo	20
2.2.2 Método descriptivo	20
2.2.3 Método bibliográfico	20
2.2.3 Método experimental	20
2.3 Hipótesis.....	20
2.4 Operacionalización de variables.....	21
2.4.1 Variable independiente	21
2.4.2 Variable dependiente	21
2.5 Señalamiento de variables de la hipótesis.....	23
2.5.1 Variable independiente	23
2.5.2 Variable dependiente	23
2.5.3 Término de relación	23
2.6 Procedimiento.....	23
2.6.1 Estratificación de las probetas.....	23
2.6.2 Elaboración del tejido	31
2.6.3 Elaboración de probetas en resina poliéster	33
2.6.4 Exposición y medición de las probetas a intemperie.....	37
2.6.5 Proceso para el ensayo de tracción.....	38
2.6.6 Proceso para el ensayo de flexión	40
2.6.7 Proceso para el ensayo de impacto charpy	41
CAPÍTULO III.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN	43
3.1 Análisis y discusión de los resultados.....	43
3.1.1 Recolección de datos para ensayo de tracción.....	43
3.1.2 Recolección de datos para ensayo de flexión	51
3.1.3 Recolección de datos para ensayo de impacto charpy	59
3.1.4 Análisis de ensayo de tracción	67
3.1.5 Análisis de ensayo de flexión.....	73
3.1.6 Análisis de ensayo de impacto charpy.....	78
3.1.7 Análisis de ensayo para exposición a la intemperie	81
3.2 Cuantificación de pérdidas de las propiedades mecánicas.....	84
3.2.1 Cuantificaciones: resina poliéster-fibra abacá	84
3.2.2 Cuantificaciones: resina poliéster-fibra de plátano	86
3.2 Verificación de la hipótesis	88
CAPITULO IV.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	95

4.1 Conclusiones	95
4.2 Recomendaciones	98
Referencias Bibliográficas	98
Anexos	102
Anexo 1. Norma ASTM D3039-2017 (ensayo de tracción)	102
Anexo 2. Norma ASTM D7264-2015 (ensayo de flexión)	109
Anexo 3. Norma NTE INEN ISO 179-2:2014 (ensayo de impacto charpy)	115
Anexo 5. Resultados del ensayo de tracción	132
Anexo 6. Resultados del ensayo de flexión	139
Anexo 7. Resultados de ensayo de impacto charpy	146
Anexo 8. Datos del registro de las condiciones climáticas de la ciudad de Ambato	153
Anexo 9. Datos de los pesos registrados durante 6 meses	159
Anexo 10. Datos de análisis de varianza para ensayo de tracción	160
Anexo 11. Datos de análisis de varianza para ensayo de flexión	162
Anexo 12. Datos de análisis de varianza para ensayo de impacto charpy	164

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. 1 Material compuesto	6
Figura 1. 2 Proceso de estratificación manual o Hand Lay Up	7
Figura 1. 3 Máquina de ensayos universal polímeros metrotest 50KN.	8
Figura 1. 4 Códigos de avería en pruebas de tracción	9
Figura 1. 5 Diagrama de cuerpo libre del ensayo de flexión	10
Figura 1. 6 Máquina de ensayos universal polímeros metrotest 50KN.	11
Figura 1. 7 Máquina de ensayos impacto charpy	12
Figura 1. 8 Métodos de ensayo, a) impacto de borde, b) impacto plano.	12
Figura 1. 9 Impacto plano de las probetas	13
Figura 2. 1 Composición de los materiales	24
Figura 3. 1 Gráfica de fuerza máxima (N) efectuado en el ensayo a tracción a cero y seis meses	71

Figura 3. 2 Gráfica de esfuerzo máximo de tracción (MPa) a cero y seis meses	72
Figura 3. 3 Gráfica de módulo de elasticidad (MPa) efectuado en el ensayo a tracción a cero y seis meses	72
Figura 3. 4 Gráfica del % elongación efectuado en el ensayo a tracción a cero y seis meses	73
Figura 3. 5 Gráfica de fuerza máxima (N) efectuado en el ensayo a flexión a cero y seis meses	75
Figura 3. 6 Gráfica de deflexión (mm) a cero y seis meses	76
Figura 3. 7 Gráfica de esfuerzo máximo de flexión (MPa) a cero y seis meses	77
Figura 3. 8 Gráfica de módulo de elasticidad (MPa) efectuado en el ensayo a flexión a cero y seis meses	77
Figura 3. 9 Gráfica de deformación (%) efectuado en el ensayo a flexión a cero y seis meses	78
Figura 3. 10 Gráfica de energía de ruptura (J) efectuado en el ensayo de impacto charpy a cero y seis meses	79
Figura 3. 11 Gráfica de resistencia al impacto (J/m) efectuado en el ensayo de impacto charpy a cero y seis meses	80
Figura 3. 12 Gráfica de resistencia al impacto (KJ/m ^2) efectuado en el ensayo de impacto charpy a cero y seis meses	81
Figura 3. 13 Parámetros para el análisis de exposición a la intemperie	83
Figura 3. 14 Variaciones de peso de las probetas de abacá y plátano de cero a seis meses	83
Figura 3. 15 Comparación de probetas ensayadas a tracción	92
Figura 3. 16 Comparación de probetas ensayadas a flexión.....	93
Figura 3. 17 Comparación de probetas ensayadas a impacto charpy.....	94

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. 1 Resumen de antecedentes investigativos en el campo de materiales compuestos	4
Tabla 2. 1 Propiedades de la resina poliéster utilizada en materiales compuestos (Johnson 1979) 16	
Tabla 2. 2 Propiedades de la fibra de abacá.....	18
Tabla 2. 3 Propiedades de la fibra de plátano	19
Tabla 2. 4 Listado de materiales.....	19
Tabla 2. 5 Variable independiente.....	21
Tabla 2. 6 Variable dependiente.....	22
Tabla 2. 7 Proceso de elaboración del tejido de fibra de abacá y fibra de plátano	31
Tabla 2. 8 Elaboración de las probetas.....	33
Tabla 2. 9 Exposición y medición de las probetas a intemperie	37
Tabla 2. 10 Proceso para el ensayo de tracción	38
Tabla 2. 11 Proceso para en ensayo de flexión.....	40
Tabla 2. 12 Proceso para el ensayo de impacto charpy.....	41
Tabla 3. 1 Datos para el ensayo de tracción (resina poliéster y fibra de abacá a cero meses).....	43
Tabla 3. 2 Datos para el ensayo de tracción (resina poliéster y fibra de plátano a cero meses).....	45
Tabla 3. 3 Datos para el ensayo de tracción (resina poliéster y fibra de abacá a seis meses).....	47
Tabla 3. 4 Datos para el ensayo de tracción (resina poliéster y fibra de plátano a seis meses).....	49
Tabla 3. 5 Datos para el ensayo de flexión (resina poliéster y fibra de abacá a cero meses)	51
Tabla 3. 6 Datos para el ensayo de flexión (resina poliéster y fibra de plátano a cero meses).....	53
Tabla 3. 7 Datos para el ensayo de flexión (resina poliéster y fibra de abacá a seis meses)	55

<i>Tabla 3. 8 Datos para el ensayo de flexión (resina poliéster y fibra de plátano a seis meses)</i>	57
<i>Tabla 3. 9 Datos para el ensayo de impacto (resina poliéster y fibra de abacá a cero meses)</i>	59
<i>Tabla 3. 10 Datos para el ensayo de impacto (resina poliéster y fibra de plátano a cero meses)</i>	61
<i>Tabla 3. 11 Datos para el ensayo de impacto (resina poliéster y fibra de abacá a seis meses)</i>	63
<i>Tabla 3. 12 Datos para el ensayo de impacto (resina poliéster y fibra de plátano a seis meses)</i>	65
<i>Tabla 3. 13 Comparación de probetas evaluadas a tracción a cero y seis meses</i>	67
<i>Tabla 3. 14 Nomenclatura del tipo de falla evaluado a tracción según la norma ASTM D3039-2017</i>	68
<i>Tabla 3. 15 Tipo de falla evaluado a tracción en las probetas de abacá a cero y seis meses</i>	69
<i>Tabla 3. 16 Tipo de falla evaluado a tracción en las probetas de plátano a cero y seis meses</i>	70
<i>Tabla 3. 17 Comparación de probetas evaluadas a flexión a cero y seis meses</i>	73
<i>Tabla 3. 18 Nomenclatura del tipo de falla evaluado a flexión según la norma ASTM D7264-2015</i>	74
<i>Tabla 3. 19 Tipo de falla evaluado a flexión en las probetas de abacá a cero y seis meses</i>	74
<i>Tabla 3. 20 Tipo de falla evaluado a flexión en las probetas de plátano a cero y seis meses</i>	75
<i>Tabla 3. 21 Comparación de probetas evaluadas a impacto charpy a cero y seis meses</i>	78
<i>Tabla 3. 22 Parámetros de exposición a intemperie</i>	82
<i>Tabla 3. 23 Pesos promedios registrados en seis meses</i>	82
<i>Tabla 3. 24 Variaciones ante la exposición a intemperie en ensayos de tracción con resina poliéster y fibra de abacá</i>	84

Tabla 3. 25 Variaciones ante la exposición a intemperie en ensayos de flexión con resina poliéster y fibra de abacá.....	85
Tabla 3. 26 Variaciones ante la exposición a intemperie en ensayos de impacto charpy con resina poliéster y fibra de abacá.....	85
Tabla 3. 27 Variaciones ante la exposición a intemperie en ensayos de tracción con resina poliéster y fibra de plátano	86
Tabla 3. 28 Variaciones ante la exposición a intemperie en ensayos de flexión con resina poliéster y fibra de plátano	87
Tabla 3. 29 Variaciones ante la exposición a intemperie ensayos de impacto charpy con resina poliéster y fibra de plátano	88
Tabla 3. 30 Análisis de datos por medio de T de Student.....	89
Tabla 3. 31 Análisis de datos por medio de ANOVA factorial.....	90
Tabla 3. 32 Resultados de ensayo a tracción	92
Tabla 3. 33 Resultados de ensayo a flexión.....	93
Tabla 3. 34 Resultados de ensayo impacto charpy.....	94

RESUMEN EJECUTIVO

El Presente trabajo experimental tiene la finalidad de analizar la influencia de la exposición a la intemperie bajo la norma ASTM D1435-99 (temperatura máxima y mínima, humedad relativa, lluvia promedio y radiación UV), tiempo (cero a seis meses) ángulo de exposición (45 grados) y tipo de fibra (abacá y plátano), en el comportamiento de las propiedades mecánicas de los materiales compuestos.

Por medio de la elaboración de dos materiales compuestos realizados uno con matriz poliéster y fibra de abacá y otro de matriz poliéster y fibra de plátano, se efectuó las probetas con las siguientes dimensiones (largo, ancho y espesor), para el ensayo de tracción 250x25x4 mm bajo la norma ASTM D3039-2017, las probetas de flexión 160x13x4 mm bajo la norma ASTM D7264 y las probetas de impacto charpy 80x10x4 mm bajo la norma NTE INEN-ISO 179-2.

Se efectuó el primer ensayo al inicio del estudio y el segundo después de seis meses, también se registraron los datos de las variaciones climatológicas y las variaciones de los pesos de las probetas. Con la ayuda de los datos obtenidos se pudo verificar que existen variaciones en las propiedades mecánicas en ambos materiales en los ensayos de tracción, flexión e impacto.

Los resultados del estudio se presentan mediante un análisis estadístico y gráfico efectuado en el trabajo experimental.

ABSTRACT

The present experimental work has the determination of analysis the influence of outdoor exposure under ASTM D1435-99 (maximum and minimum temperature, relative humidity, average rainfall and UV radiation), time (zero to six months) angle of exposure (45 degrees) and type of fiber (abaca and banana), in the behavior of the mechanical properties of composite materials.

By means of the elaboration of two composite materials made with a polyester matrix and abaca fiber and another of a polyester matrix and banana fiber, the probes with the following dimensions (length, width and thickness) are made for the tensile test 250x25x4 mm under ASTM D3039-2017, bending specimens 160x13x4 mm under ASTM D7264 and 80x10x4 mm charpy impact specimens under NTE INEN-ISO 179-2 .

The first test was carried out at the beginning of the study and the second after six months, the data of the climatological variations and the variations of the weights of the specimens were also recorded. With the help of the data obtained, it was possible to verify that there are variations in the mechanical properties of both materials in the tensile, flexural and impact tests.

The results of the study are presented through a statistical and graphic analysis carried out in the experimental work.

TEMA DEL TRABAJO EXPERIMENTAL

“INFLUENCIA DE LA EXPOSICIÓN A LA INTEMPERIE EN LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN, FLEXIÓN E IMPACTO DE DOS MATERIALES COMPUESTOS DE MATRIZ POLIÉSTER REFORZADOS CON FIBRA DE ABACÁ Y PLÁTANO.”

CAPÍTULO I.- MARCO TEÓRICO

1.1 Antecedentes investigativos

Por medio de las investigaciones previas realizadas por diferentes autores, se obtuvo información de gran aporte, las cuales ayudaron al desarrollo de una nueva investigación.

Lalaleo [1], desarrolló un material compuesto elaborado con 17% cascarilla de arroz y 83% resina poliéster, el cual se realizó por medio de estratificación manual y se efectuaron ensayos de tracción, flexión e impacto, en donde se generó un mejor resultado puesto en comparación con un cielo raso importado de yeso, en el cual se obtuvo un incremento en la resistencia a la tracción, un módulo de elasticidad de 7955 MPa correspondiente al 65% de incremento, un soporte máximo de deflexión de 3.37% dando como efecto que las propiedades del material compuesto son 8 veces mayor que el cielo raso. Por otra parte, se debe realizar un corte que no recaliente la superficie con el propósito de no alterar las propiedades mecánicas.

Mientras que Mazón [2], realizó una investigación con el objetivo de buscar una alternativa para reducir la dependencia de fibras sintéticas y utilizar fibras vegetales. Las probetas para los ensayos fueron fabricados bajo las siguientes normas: tracción (ASTM D-3039), flexión (ASTM D-7264) e impacto (ASTM D-5628). Se obtuvo el mejor resultado en el material compuesto realizado con resina epoxi reforzada con fibra de vidrio y tejidos naturales de caña guadúa y algodón, con una orientación de 0° y estratificación

al vacío, con un esfuerzo a tracción de 131.654 MPa, esfuerzo a flexión de 128.541 MPa y una resistencia al impacto de 6.01 J, siendo la mejor combinación.

A su vez Iza [3], ejecutó un material compuesto de matriz epoxi reforzada con fibra vegetal (algodón) y fibra natural de stipa ichu (pasto de páramo) a compresión con una fracción volumétrica de 30% refuerzo y 70% matriz y otro compuesto de 45% de refuerzo y 55% matriz. Además, se efectuaron ensayos de tracción, flexión e impacto, en los cuales se determinó la mejor configuración 30% refuerzo (fibra vegetal de algodón y fibra natural de stipa ichu) y 70% matriz (resina epoxi) con dos capas de refuerzo con una dirección de 90°. Conjuntamente, se tomó en cuenta el secado de las fibras ya sea natural, precocido o por medio de algún químico (NaOH). Dando como mejor resultado el secado con limpieza NaOH para los ensayos de tracción e impacto y para el ensayo de flexión el mejor resultado fue por medio de un secado natural. De tal forma que los diferentes tipos de secado mejoraron las propiedades mecánicas.

Además, Mazón [4], efectuó un material compuesto de matriz poliéster con fibra de coco, con una estratificación manual con 30% refuerzo y 70% matriz, el cual tuvo el mejor resultado en las propiedades mecánicas y gran amplitud en las aplicaciones industriales. En el ensayo de tracción se obtuvo un valor de 21.88 MPa, en el ensayo de flexión 1.3 MPa y en el ensayo de impacto 1.8 J. Se toma en cuenta que la fibra corta forma un material homogéneo a diferencia de la fibra larga que no posee la capacidad de transmitir homogéneamente los esfuerzos hacia la matriz, dando como resultado la disminución del esfuerzo a tracción, por ende, se originan la fractura.

Espín [5], realizó un material compuesto de matriz poliéster y lana de oveja, con una fracción volumétrica de 40% matriz y 60% refuerzo y otro compuesto 30% matriz y 70% refuerzo, por medio de normas se elaboraron las probetas para la realización de los ensayos de tracción, flexión e impacto. Los resultados del material compuestos fueron los siguientes: carga a tracción 1435.47N, esfuerzo de rotura a tracción 17.08MPa, carga a flexión 45.99N, esfuerzo a rotura a flexión 36.52 MPa, módulo de elasticidad 766.12 MPa,

módulo de flexión 2247.88 MPa y energía de Impacto 1.12 J. En el ensayo a tracción las probetas deben contar con una sobre monta con la finalidad de sujetar las probetas.

De tal forma Izurieta [6], elaboró un compuesto de matriz polimérica reforzada con partículas residuales de cuero, con una estratificación al vacío y una fracción volumétrica 70% matriz y 30% refuerzo, con el propósito de realizar las probetas para los ensayos de tracción, flexión e impacto. Por medio del ensayo se efectuaron los mejores resultados con un esfuerzo a tracción 5.5 MPa, esfuerzo a flexión 16.58 MPa, módulo de elasticidad de 154.1 MPa y módulo de flexión 54.9MPa y una resistencia al impacto de 1.09 J.

El campo de los materiales compuestos es muy amplio, es así como Pérez et al. [7], efectuó un compuesto de matriz poliéster reforzado con fibra de vidrio 375 y cabuya, por medio de estratificación manual, en donde se produjo el mejor resultado en el ensayo de tracción con un 7.7% comportamiento mecánico mayor al de los materiales comunes (fibras sintéticas). Se obtuvo un equilibrio y una adherencia microestructural superior, con un refuerzo polimérico de 30% y una matriz de 70%, además se comprobaron por medio del método de elementos finitos los resultados obtenidos.

Mientras que Sinha et al. [8], elaboraron un material compuesto por matriz polimérica y refuerzo de fibra natural, en el cual se determinó que la fibra de abacá es muy utilizada con matriz de polipropileno, por ejemplo, se utilizaba para fabricar los pisos de los automóviles. En este estudio se hizo las probetas para el ensayo de flexión, con fibra natural de abacá y resina por medio de una estratificación manual y previamente se trató la fibra químicamente con un 5% en peso por medio de una solución alcalina con la finalidad de mejorar la adhesión interfacial entre capas.

Y con el mismo objetivo Adhikari et al. [9], ejecutó un ensayo de tracción, flexión e impacto por medio de un compuesto elaborado con matriz poliéster y refuerzo de banano/yute con una fracción volumétrica de la fibra de 5%, 10%, 15%, 20% y 25%. Cada probeta tenía un espesor de 3mm y 5 mm, que se obtuvo por medio de una estratificación por compresión. Además, cada probeta estaba realizada bajo normativa ASTM D3039,

ASTM D7264 y ASTM D256, dando como resultado la mejor estratificación al 15% de fibra natural, con el cual se incrementó las propiedades mecánicas, en donde se obtuvo un esfuerzo de tracción 25,21 MPa y 32,38 MPa, resistencia a la flexión de 182.34 MPa y 184.37 MPa y una energía de impacto de 18.51 J/m y 29.55 J/m en las probetas de 3mm y 5 mm respectivamente.

De la misma forma Dhakal [10], realizó un compuesto con matriz poliéster y fibra de banano cruda corta, con el objetivo de verificar sus propiedades mecánicas. Utilizó combinaciones de fibra de 5%, 10%, 15%, 17.5% y 20% por medio de estratificación a compresión en caliente. Dando como mejor resultado la estratificación al 20% de fibra un valor máximo de resistencia a la tracción de 23.04 MPa, resistencia a la flexión de 124.61 MPa y resistencia al impacto de 147.15 J.

Tabla 1. 1 Resumen de antecedentes investigativos en el campo de materiales compuestos

AUTOR	MATRIZ	REFUERZO	ESTRATIF.	ORIENT.	ESFUER. TRACCIÓN (MPa)	ESFUER. FLEXIÓN (MPa)	ENERG. DE IMPACTO (J)
Lalaleo [1]	resina poliéster	casarilla de arroz	manual	continua	7955	3772	1.26
Mazón [2]	resina epoxi	fibra de vidrio y tejidos naturales de caña guadúa y algodón	al vacío	0°	131.654	128.541	6.01
Iza [3]	resina epoxi	algodón y fibra natural de stipa ichu (pasto de páramo)	compresión	90°	15.76	338.84	2.06
Mazón [4]	resina poliéster	fibra de coco	manual	al azar	21.88	1.3	1.8
Espín [5]	resina poliéster	lana de oveja	compresión	0°	17.08	36.52	1.12

Izurieta [6]	resina poliéster	partículas residuales de cuero	al vacío	0°	5.5	16.58	1.09
Pérez et al. [7]	resina poliéster	fibra de vidrio 375 y cabuya	manual	0°	78.24	120.52	2.38
Sinha et al. [8]	resina poliéster	fibra de abacá	manual	0°	---	43.45	---
Adhikari et al. [9]	resina poliéster	fibra de banano/yute	compresión	0°	32,38	184.37	29.55
Dhakai [10]	resina poliéster	fibra de banano cruda corta	compresión en caliente	0°	23.04	124.61	147.15

Fuente: Autor

1.2 Fundamentación teórica

1.2.1 Composites

En la actualidad todos los materiales compuestos han tenido un gran auge en la industria, ya que es muy aplicable tanto por su coste y sus propiedades mecánicas. De tal forma, que son conformados por una matriz polimérica y un refuerzo de fibra natural, cuyo objetivo es mejorar todas las propiedades e incrementar la resistencia y la flexibilidad [11].

La finalidad de crear nuevos materiales con distintos procesos de fabricación, se han convertido en un desafío para la industria en la creación de partes y piezas, además por su costo se realizaron nuevos diseños para que los materiales sean más prácticos, flexibles y de menor peso [11].

Se han realizado ensayos de flexión, tracción e impacto en los materiales compuestos, con el propósito de verificar las propiedades mecánicas que posee cada material, su bajo peso es uno de los factores que ha permitido la creación de nuevas partes y piezas [12].

Los dos factores importantes de un composite es el refuerzo y la matriz, en donde de uno pasan a ser dos materiales con dos o más fases con el propósito de comparar su comportamiento mecánico y las propiedades [12].

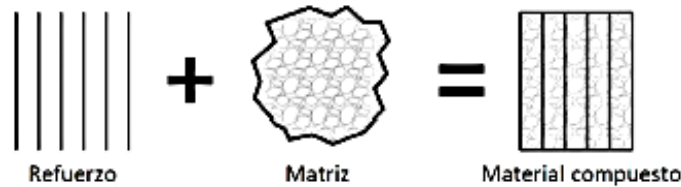


Figura 1. 1 Material compuesto

Fuente: [12]

1.2.2 Proceso de estratificación manual de un composites

Es un proceso de manera rápida y fácil, cuyo objetivo es reforzar el material. Se debe cumplir con un proceso estricto, ya que debe compactar el material y no debe ingresar aire y formar burbujas. De manera general se emplea resinas con baja densidad, además se utiliza un catalizador con recomendaciones de fabricantes, en donde el 4% se emplea cuando se desea un curado antes de culminar con el proceso, el 3% se utiliza para un curado acelerado, el 2% es lo óptimo y el 1% es para un curado de manera lenta [13].

Una vez culminado con este proceso se procede con el desmolde de la pieza para finalmente utilizar en compuesto en los diferentes ensayos. Una de las ventajas es que se puede realizar parte y piezas de productos complejos, conjuntamente se utiliza este material ya que su proceso es sencillo y el costo de inversión es mínimo. Es importante que en el molde se aplique previamente una cera desmoldante para evitar que se adhiera. Conjuntamente se debe verificar que no existan residuos de basuras en el molde ya que afectan posteriormente en el material [13] [14].

Hand Layup

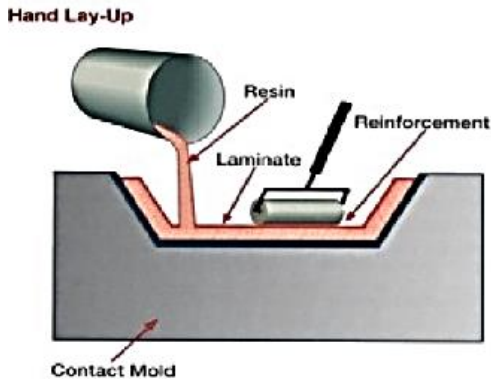


Figura 1. 2 Proceso de estratificación manual o *Hand Lay Up*

Fuente: [15]

1.2.3 Ensayo de tracción (ASTM-D3039)

El ensayo a tracción se realiza bajo la norma ASTM - D3039 “Método de prueba estándar para propiedades de tracción de los materiales compuestos de matriz polimérica”, en donde se toman datos con la finalidad de mejorar la calidad de un material compuesto. Por medio de este ensayo se puede valorar la resistencia máxima a la tracción, el último esfuerzo de tracción, el módulo de elasticidad de la cuerda de tracción, la relación de Poisson y la tensión de tracción [16].

La norma está destinada generalmente para materiales elaborados con matriz polimérica y refuerzos de fibras, en los cuales se toma en cuenta la continuidad del laminado, la simetría y la dirección de la fibra. Los valores emitidos por la norma se pueden establecer en el sistema internacional o en unidades de pulgada-libra, por lo que cada sistema de unidades debe ser utilizado independientemente del otro [16].

Para el ensayo de tracción se debe realizar un procedimiento estricto en lo que respecta a la calibración del equipo en donde se va a ensayar, los cuales deben contar con la certificación al día. Además, se considera el procedimiento estándar del acondicionado

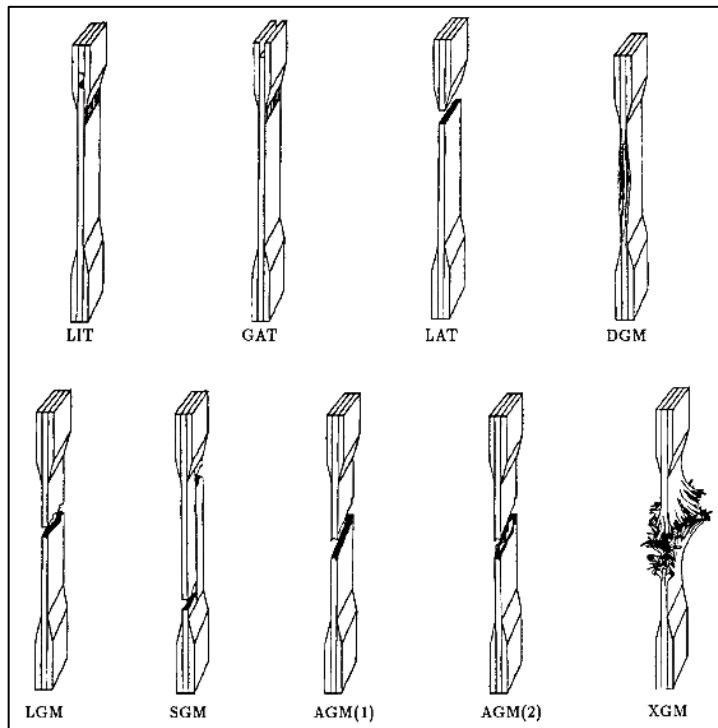
debe estar a temperatura ambiente. De la misma forma las probetas deben ser realizadas con los parámetros adecuados [16].



Figura 1. 3 Máquina de ensayos universal polímeros metrotest 50KN.

Fuente: Autor

Por lo general en el informe se emiten los datos reales de cada una de las probetas, en los cuales se determinan las propiedades del material y la precisión, de acuerdo con la instrumentación y el registro de los equipos. A su vez se utilizan ciertos tipos de códigos de avería para la identificación de las probetas como se muestra en la figura 1.4 [16].



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

Figura 1. 4 Códigos de avería en pruebas de tracción

Fuente: [16]

Con los resultados obtenidos se puede determinar valores como la fuerza máxima (N), el esfuerzo máximo de tracción (MPa), el módulo de elasticidad (MPa) y el % elongación. Los mismos que pueden variar por la preparación de las muestras [16].

1.2.4 Ensayo de flexión (ASTM – D7264)

El ensayo de flexión se realiza bajo la norma ASTM D7264 “Método de prueba estándar para las propiedades de flexión de los materiales compuestos de matriz polimérica”, en el cual se determinan la rigidez, la resistencia y el comportamiento de la carga (deflexión) de un material compuesto [17].

El material debe ser elaborado de matriz polimérica y refuerzo de fibra, en donde se puede realizar dos tipos de procedimientos, en el procedimiento A se considera tres puntos para la aplicación de la carga cuando la viga esta simplemente apoyada, mientras que en el procedimiento B se utiliza cuatro puntos para la aplicación de la carga [17].

El objetivo de este ensayo es determinar las propiedades del material y mejorar la calidad, siempre y cuando se utilice el mismo procedimiento para todas las pruebas ya que pueden generar resultados erróneos si se mezclan los procedimientos [17].

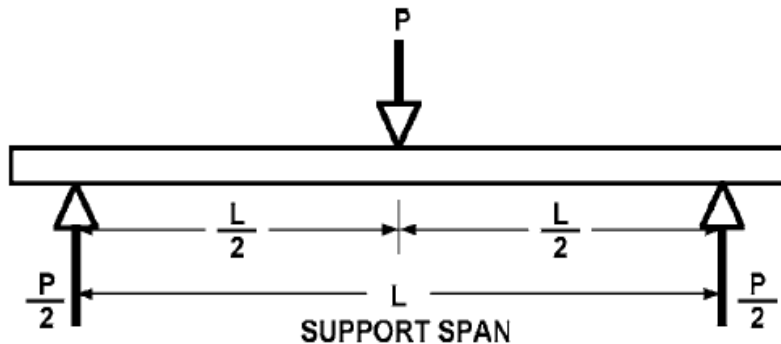


Figura 1. 5 Diagrama de cuerpo libre del ensayo de flexión

Fuente: [17].

Para el desarrollo del ensayo de flexión se necesita de la máquina universal de flexión, en la cual se toman ciertos parámetros para que el ensayo se efectúe de la mejor manera. De tal forma que la máquina debe ser calibrada y tomar en cuenta las cargas y los soportes. A su vez se verifica la temperatura requerida y la humedad relativa [17].



Figura 1. 6 Máquina de ensayos universal polímeros metrotest 50KN.

Fuente: Autor

1.2.5 Ensayo de impacto charpy (NTE INEN-ISO 179-2)

El ensayo de impacto se realiza bajo la norma NTE INEN-ISO 179-2 “Plásticos: determinación de las propiedades frente al impacto charpy. Parte 2: ensayo de impacto instrumentado (ISO 179-2:1997, IDT)”, en el cual se determina las propiedades de impacto a partir de un diagrama de fuerza-flexión [18].

Los resultados obtenidos de los ensayos dependen netamente del material, temperatura, condiciones de ensayo, espesor, entre otros, por ende, se debe especificar las condiciones en las cuales fueron desarrolladas [18].

El principio fundamental del ensayo de impacto se efectúa en las muestras que son apoyadas cerca de los extremos y se ve afectada por un impacto que se ejecuta entre los soportes con una velocidad indicada en la norma. Este ensayo se lo realiza por medio de la máquina de ensayos impacto charpy [18].



Figura 1. 7 Máquina de ensayos impacto charpy

Fuente: Autor

Se realiza por el método b) en donde: **1** indica la dirección del golpe, **2** la barra del péndulo, **3** la probeta y **5** el soporte [18].

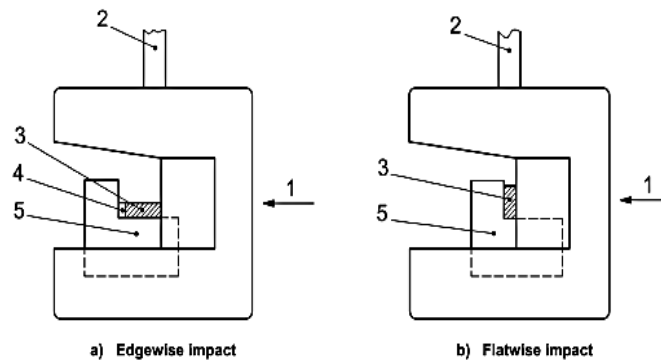


Figura 1. 8 Métodos de ensayo, a) impacto de borde, b) impacto plano.

Fuente: [18].

Las probetas para el ensayo de impacto charpy se realizaron bajo el método de impacto plano en donde **1** representa la dirección del golpe, **b** el ancho (10mm), **h** el espesor (4mm), **l** la longitud (80mm) [18].

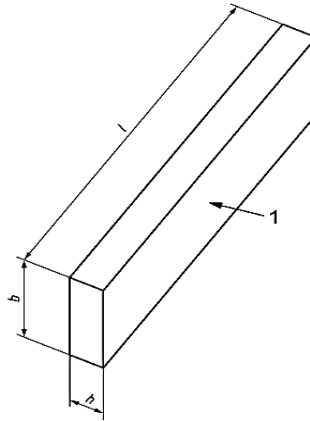


Figura 1. 9 Impacto plano de las probetas

Fuente: [18].

1.2.6 Ensayo para la exposición a la intemperie (ASTM D1435-99)

EL ensayo de intemperie está basado en la norma ASTM D1435-99 “Práctica estándar para la exposición a la intemperie de plásticos”, la cual está destinada a exponer los materiales compuestos con matriz polimérica bajo intemperie [19].

El material se limita a ser expuesto en un lugar en donde reciba rayos UV y la temperatura sea $23^{\circ}\text{C}\pm 5$. Además, se debe contar con un bastidor que tenga ángulos de inclinación (45° y 90°), se recomienda utilizar al menos dos réplicas para verificar la variabilidad. Conjuntamente se toma en cuenta la radiación solar ya que es uno de los factores que más deterioran a los plásticos [19].

El objetivo de realizar este ensayo es evaluar la estabilidad de todos los materiales plásticos cuando se exponen al aire libre, estos dependen mucho de la ubicación que son expuestos a las diferentes radiaciones ultravioletas, su temperatura, la humedad y otros factores [19].

Depende mucho de las variaciones climatológicas en las que se deja las probetas ya que en todo el año no se presentan las mismas estaciones. Por ende, los resultados de las exposiciones a corto plazo no pueden ser utilizados para predecir el rendimiento a largo plazo de un material, en donde los resultados de las pruebas efectuadas en menos de 12 meses dependerán mucho de las temporadas en las que fueron expuestos [19].

Cuando los bastidores son de 45° y 90° se deben ajustar las muestras de tal forma que formen ese ángulo con la horizontal, mientras que si los bastidores son horizontales las probetas se dejan de forma plana. El porta probetas debe ser realizado bajo norma en donde se construido con materiales inertes [19].

Las etapas de exposición dependen mucho del método que se utilice y por ende no se refleja los mismo resultados por las diferentes variaciones que existen. De tal forma que el tiempo de exposición se debe especificar de acuerdo con el número de meses o años en los que fue expuesto, además depende de la estación del año [19].

1.3 Objetivo

1.3.1 Objetivo General

- Analizar la influencia de la exposición a la intemperie en la resistencia a la tracción, flexión e impacto de los materiales compuestos por matriz poliéster y refuerzo de fibra de abacá, y matriz poliéster y refuerzo de fibra de plátano.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Elaborar un material compuesto conformado de matriz poliéster y refuerzo de fibra de abacá y otro material conformado de matriz poliéster y refuerzo de fibra de plátano.
- Realizar las probetas de acuerdo con la normativa adecuada para el ensayo de tracción (ASTM-D3039), flexión (ASTM D7264) e impacto charpy (NTE INEN-ISO 179.2)
- Determinar las propiedades mecánicas por medio de los ensayos de tracción, flexión e impacto, antes y después de exponer a la intemperie los dos materiales compuestos.
- Comparar las propiedades mecánicas entre los dos materiales.

CAPÍTULO II.- METODOLOGÍA

2.1 Materiales

2.1.1 Resina poliéster

Es uno de los productos más utilizados en la elaboración de materiales compuestos. El 90% en escala mundial se utiliza este producto por su bajo costo, ya que está en una matriz termoestable y se emplean en la fabricación de embarcaciones. Además, tienden a gelificarse y a polimerizarse de manera más rápida y se utiliza inhibidores para su preparación [20].

Se debe realizar un proceso de curado, en donde pasa de líquido a estado sólido, luego se añade un acelerador y un catalizador en cantidades exactas tomando en cuenta las especificaciones de los fabricantes, dependiendo de las marcas de los productos. Generalmente se añade de 1 a 3 % de catalizador dependiendo si se encuentra en temperatura ambiente. El catalizador está formado por cantidades pequeñas de cobalto orgánico [20].

Tabla 2. 1 Propiedades de la resina poliéster utilizada en materiales compuestos (Johnson 1979)

Propiedad	Resina poliéster
Densidad	1.2-1.5 Mg m ⁻³
Módulo de Young	2-4.5 GN m ⁻²
Resistencia (tracción)	40-90 MN m ⁻²
Resistencia (compresión)	90-250 MN m ⁻²
Alargamiento a la rotura	2 %

Fuente: [20]

2.1.2 Fibras

2.1.2.1 Fibra natural de abacá

Se conoce también como musa textiles, es una fibra que posee diferentes grados de pureza, tiene mucho parecido con las plantas de banano, su diferencia está en las propiedades y en los usos de cada una de las fibras. Esta fibra cuenta con altos niveles de resistencia de calidad. Se cultivan en climas tropicales a una temperatura de 22 y 28°C [21].

Es una de las fibras que resiste al agua salada, por ende, resiste a la corrosión y es empleada en las redes para la pesca. Además, se utiliza para la elaboración de paneles, cables, servilletas, bolsas de té, diferentes tipos de papeles como higiénico y de servilleta [21].

Ecuador es uno de los exportadores de fibra de abacá, se necesita un estimado de 18 a 24 meses para su producción y de 2 a 3 meses para su cosecha. Una vez cosechado se deja secar por un lapso para reducir las pequeñas cantidades de agua y evitar que el producto se dañe. El suelo debe ser óptimo para la producción, el cual debe ser fértil y contener una gran parte de materia orgánica, además debe estar en un lugar que llegue la luz solar, la humedad y soporte las inundaciones cuando exista lluvia [21].

La fibra de abacá llega hasta los 6 grados de calidad, en donde 1 es el mejor y 6 son los residuos de la fibra, mientras se trabaje con grado 1, 2 o 3 se puede obtener un compuesto de buena calidad. Se identifica por su color blanco cuando es de buena de calidad y color oscuro cuando no lo es, otra forma de comprobar la calidad es verificando su diámetro, mientras más delgada sea la fibra será mejor. Ecuador exporta desde grado 1 a grado 5, ya que poseen propiedades de dureza, flexibilidad y son aplicables en cualquier área industrial [21].

Tabla 2. 2 Propiedades de la fibra de abacá

Propiedad	Fibra de abacá
Densidad	1.3 g/cm ³
Módulo	18.5-37.2 (GPa)
Deformación unitaria	3.10-4.27 (%)
Esfuerzo ultimo a la tracción	774.7-1261.3 (MPa)
Absorción de agua	8-10 (%)

Fuente: [21]

2.1.2.2 Fibra natural de plátano

Es una de las fibras más reconocidas por sus propiedades de dureza, se la conoce también como fibra de musa, es biodegradable y resistente. Esta fibra es muy similar a la fibra de bambú, pero de mejor calidad ya que cuenta con gran capacidad de rotación y resistencia a la tracción. Se puede realizar varios tejidos ya que cuenta con fibras gruesas se ubican en el vástago del plano y fibras finas y suaves que se encuentra en el interior, además es utilizado ya que es su peso es liviano y se puede formar tejido de diferentes espesores [22].

El proceso de extracción de la fibra de plátano empieza en la obtención del tallo de la planta del cual se extrae por capas la fibra. En el proceso de desfibrado se obtiene las capas internas ya que cuentan con un grado de humedad. Se puede obtener fibras suaves, duras, en forma de malla y en formas de pelos. Luego se realiza el proceso de secado en el cual se deja unos días en el sol hasta que se torne de color claro [22].

La fibra natural de plátano se emplea en diferentes aplicaciones, por ejemplo, en la elaboración de recubrimientos en las paredes, obtención de papel y de sus derivados, ya que poseen propiedades mecánicas muy elevadas [22].

Tabla 2. 3 Propiedades de la fibra de plátano

Propiedades de la fibra de plátano	
Densidad	0.71 g/cm ³
Finura y diámetro	0.18-0.20 mm
Propiedades mecánicas	Tracción, torsión, tensión (resistencia y dureza)
Propiedades eléctricas	Aislamiento y resistencia
Resistencia al agua	El agua salada no afecta
Elongación a la ruptura	No se rompe fácilmente
Recuperación de la humedad	9.86%

Fuente: [22].

Tabla 2. 4 Listado de materiales

Materiales		Descripción
Fibras naturales	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>Fibra de abacá</p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p>Fibra de plátano</p>  </div> </div>	La obtención de las fibras fue por medio de un proveedor de Sto. Domingo. Se utilizó la fibras de grado 2 por su alta calidad de tal forma se distingue por el color claro.
Resina poliéster		La resina es conocida por sus amplias aplicaciones ya que es un plástico termoestable y se lo emplea en composites.
Catalizador		Es empleado con la finalidad de cambiar la estructura de la resina, en donde reacciona químicamente, produce la gelificación y permite endurecer al material.

Fuente: Autor

2.2 Métodos

Para la ejecución del material compuesto y ensayos se efectuaron los siguientes métodos:

2.2.1 Método investigativo

Por medio de investigaciones previas y fundamentaciones teóricas se pudo concatenar que tipo de material se va a realizar, cual es la fracción volumétrica y el tipo de estratificación que se debe emplear.

2.2.2 Método descriptivo

Se empleo el método descriptivo con la finalidad de representar cada uno de los pasos a seguir en la elaboración del compuesto y los ensayos posteriores. Además, por medio de este método se pudo emplear fotografías para extender la información.

2.2.3 Método bibliográfico

La bibliografía empleada sirvió como ayuda ya que por medio de la misma se pudo recopilar información por medio de libros, artículos y tesis efectuadas con anterioridad. Además, se obtuvo una referencia para efectuar el compuesto.

2.2.3 Método experimental

Por medio de la ejecución de los ensayos de flexión, tracción e impacto, se pueden obtener datos reales de las propiedades de los materiales compuestos realizados. Con los cuales se puede efectuar gráficas y comparar los dos materiales compuestos y notar sus semejanzas o sus diferencias.

2.3 Hipótesis

H_0 : Los materiales compuestos con matriz polimérica y fibra natural de abacá y plátano no presentarán una variación significativa en los resultados de sus propiedades mecánicas, al transcurrir el tiempo de cero a seis meses mediante los ensayos efectuados a tracción, flexión e impacto charpy.

H₁: Los materiales compuestos con matriz polimérica y fibra natural de abacá y plátano presentarán una variación significativa en los resultados de sus propiedades mecánicas, al transcurrir el tiempo de cero a seis meses mediante los ensayos efectuados a tracción, flexión e impacto charpy.

2.4 Operacionalización de variables

2.4.1 Variable independiente

Variable independiente: exposición a la intemperie

Tabla 2. 5 Variable independiente

Concepto	Categoría	Indicadores	Ítem	Herramientas
Son todos los parámetros para efectuar los ensayos	Parámetros de exposición	Tiempo	-Sin exposición (0 meses) -Expuesta (6 meses)	-Ensayos de laboratorio -Observación -Bibliografía -Norma ASTM Internacional D1435-99
Materiales de origen natural	Fibras	Tipos de fibras	Fibra de abacá	Selección directa de la fibra.
			Fibra de plátano	Selección directa de la fibra.

Fuente: Autor

2.4.2 Variable dependiente

Variable dependiente: comportamiento del material

Tabla 2. 6 Variable dependiente

Concepto	Categoría	Indicadores	Ítem	Herramientas	
Aquellos parámetros que se detallan en la eficiencia de cada uno de los ensayos realizados	Propiedades mecánicas	Carga máxima (tracción)	¿Cuál es la carga máxima?	-Máquina universal de tracción para materiales compuestos. -Norma de tracción ASTM D3039.	
		Esfuerzo de ruptura (tracción)	¿Qué resistencia última a la tracción tendrá el material?		
		Módulo de elasticidad (tracción)	¿Qué módulo de elasticidad se obtendrá?		
		Deformación a la ruptura (tracción)	¿Qué porcentaje de deformación se obtendrá?		
	Carga Máxima (flexión)	Propiedades mecánicas	Carga Máxima (flexión)	¿Cuál es la carga máxima?	-Máquina universal de flexión para materiales compuestos. -Norma de flexión ASTM D7264.
			Esfuerzo de Ruptura (Flexión)	¿Qué resistencia última a la tracción tendrá el material?	
			Módulo de elasticidad (flexión)	¿Qué módulo de elasticidad se obtendrá?	
			Deflexión (flexión)	¿Cuánta deflexión obtendrá el material?	

		Energía de impacto (<i>impacto</i>)	¿Qué energía se obtendrá?	-Máquina universal de impacto para materiales compuestos. -Norma de impacto charpy NTE INEN-ISO 179-2.
--	--	--	---------------------------	---

Fuente: Autor

2.5 Señalamiento de variables de la hipótesis

2.5.1 Variable independiente

Exposición a la intemperie (tiempo, tipo de fibra)

2.5.2 Variable dependiente

Comportamiento del material

2.5.3 Término de relación

Afectación

2.6 Procedimiento

2.6.1 Estratificación de las probetas

Para el proceso de estratificación de la probetas se toma como referencia el estudio de Paredes [23], Benavides [24] y Chisaguano [25], en donde se determinan las

configuraciones para los materiales compuestos, dando como resultado una matriz de 70% y un refuerzo de 30%.

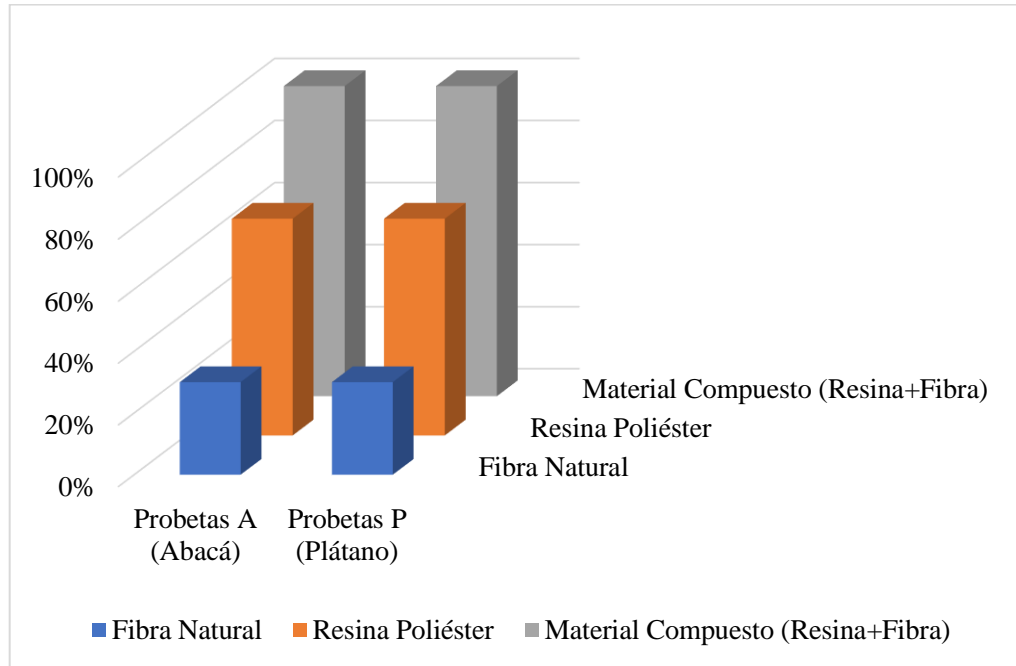


Figura 2. 1 Composición de los materiales

Fuente: Autor

2.6.1.1 Cálculo de fracción volumétrica (resina poliéster)

Para el cálculo de la fracción volumétrica se toma en cuenta la **ecuación 1**, en donde ρ_c es la densidad del compuesto, y $(\rho_m f_m + \rho_f f_f)$ es la fracción volumétrica para cada uno de los componentes, de tal forma que el subíndice m es de la matriz y el subíndice f es la fibra [26].

Además, se considera los valores de las densidades: resina poliéster = 1.20 g/cm³ [20] , fibra de plátano = 0.71 g/cm³ [22] y fibra de abacá = 1.3 g/cm³ [21].

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

Ecuación 1

Plátano

$$\rho_c = \rho_{mf_m} + \rho_{ff}$$

$$\rho_c = (1.20 \text{ g/cm}^3) (70\%) + (0.71 \text{ g/cm}^3) (30\%)$$

$$\rho_c = 1.053 \text{ g/cm}^3$$

Abacá

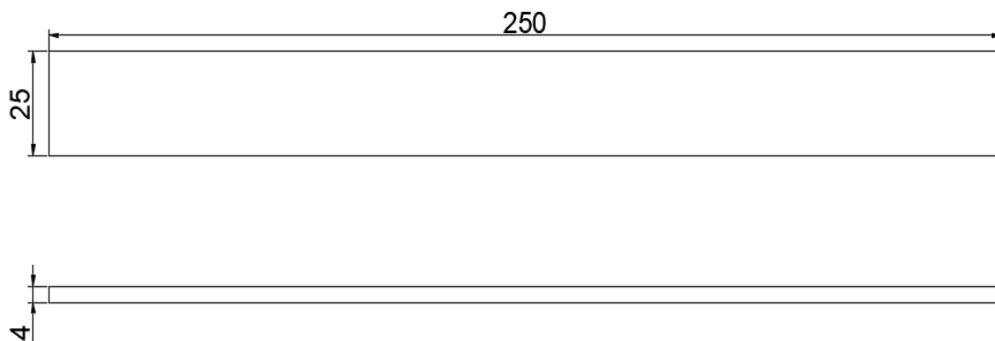
$$\rho_c = \rho_{mf_m} + \rho_{ff}$$

$$\rho_c = (1.20 \text{ g/cm}^3) (70\%) + (1.3 \text{ g/cm}^3) (30\%)$$

$$\rho_c = 1.23 \text{ g/cm}^3$$

En consecuencia, la densidad teórica del composite con fibra de plátano será: 1.053 g/cm³ y la densidad teórica del composite con fibra de abacá será: 1.23 g/cm³

TRACCIÓN



Se elaboró 5 probetas de resina poliéster con fibra de plátano y 5 probetas de resina poliéster con fibra de abacá con las medidas siguientes:

- Largo = 25cm

- Ancho = 2,5cm
- Espesor = 0,4cm

Se calcula el volumen del composite (Vc):

$$V_c = (25 \times 2,5 \times 0,4) \text{ cm}^3$$

$$V_c = 25 \text{ cm}^3$$

a) Matriz del compuesto

Volumen del composite (Vc) = 25 cm³, contribución del compuesto = 70%, densidad de la resina poliéster = 1.2 g/cm³, volumen de la matriz del compuesto (Vm)

$$V_m = (0,7 * 25)$$

$$V_m = 17,5 \text{ cm}^3$$

Se incrementa el 10% del volumen de la matriz del compuesto ya que en el momento de la elaboración existen pérdidas, por ende:

$$V_{\text{pérdidas}} = (10\%) (17,5 \text{ cm}^3) = 1,75 \text{ cm}^3$$

Por resultante, el volumen real del compuesto será:

$$V_{\text{mp}} = (17,5+1,75) \text{ cm}^3$$

$$V_{\text{mp}} = 19,25 \text{ cm}^3$$

b) Refuerzo del compuesto (para fibra de abacá y fibra de plátano)

Volumen del composite (V_c) = 25 cm³, contribución del compuesto = 30%, densidad de la fibra de plátano = 0,71 g/cm³, densidad de la fibra de abacá = 1,3 g/cm³, volumen del refuerzo del compuesto (V_r), volumen de cada capa individual (V_{ci}).

$$V_r = (30\% * 25)$$

$$V_r = 7,5 \text{ cm}^3$$

Se considera 3 capas de tejido de aproximadamente 1 mm cada una, por ende:

$$\text{Número de Capas} = V_r / V_{ci}.$$

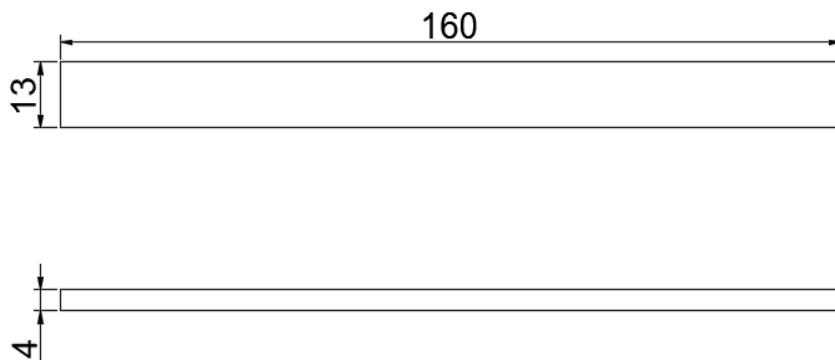
$$V_{ci} = V_r / \# \text{capas}$$

$$V_{ci} = 7,5 \text{ cm}^3 / 3$$

$$V_{ci} = 2,5 \text{ cm}^3$$

Por consecuencia, se necesita de 2,5 cm³ para cada capa de tejido, tanto para fibra de plátano como fibra de abacá.

FLEXIÓN



Se elaboró 5 probetas de resina poliéster con fibra de plátano y 5 probetas de resina poliéster con fibra de abacá con las medidas siguientes:

- Largo = 16cm
- Ancho = 1,3cm
- Espesor = 0,4cm

Se calcula el volumen del composite (Vc):

$$V_c = (16 \times 1,3 \times 0,4) \text{ cm}^3$$

$$V_c = 8,32 \text{ cm}^3$$

a) Matriz del compuesto

Volumen del composite (Vc) = 8,32 cm³, contribución del compuesto = 70%, densidad de la resina poliéster = 1.2 g/cm³, volumen de la matriz del compuesto (Vm)

$$V_m = (0,7 * 8,32)$$

$$V_m = 5,82 \text{ cm}^3$$

Se incrementa el 10% del volumen de la matriz del compuesto ya que en el momento de la elaboración existen pérdidas, por ende:

$$V_{\text{pérdidas}} = (10\%) (5,82 \text{ cm}^3) = 0,58 \text{ cm}^3$$

Por resultante, el volumen real del compuesto será:

$$V_{\text{mp}} = (5,82+0,58) \text{ cm}^3$$

$$V_{\text{mp}} = 6,4 \text{ cm}^3$$

b) Refuerzo del compuesto (para fibra de abacá y fibra de plátano)

Volumen del composite (V_c) = $8,32\text{cm}^3$, contribución del compuesto = 30%, densidad de la fibra de plátano = $0,71\text{ g/cm}^3$, densidad de la fibra de abacá = $1,3\text{ g/cm}^3$, volumen del refuerzo del compuesto (V_r), volumen de cada capa individual (V_{ci}).

$$V_r = (30\% * 8,32)$$

$$V_r = 2,5\text{ cm}^3$$

Se considera 3 capas de tejido de aproximadamente 1 mm cada una, por ende:

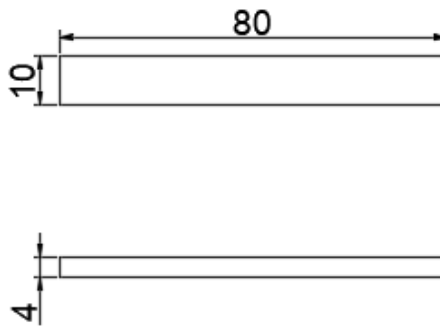
$$\text{Número de Capas} = V_r / V_{ci}.$$

$$V_{ci} = V_r / \# \text{capas}$$

$$V_{ci} = 2,5\text{ cm}^3 / 3$$

$$V_{ci} = 0,83\text{ cm}^3$$

IMPACTO



Se elaboró 5 probetas de resina poliéster con fibra de plátano y 5 probetas de resina poliéster con fibra de abacá con las medidas siguientes:

- Largo = 8 cm
- Ancho = 1 cm
- Espesor = 0,4 cm

Se calcula el volumen del composite (Vc):

$$V_c = (8 \times 1 \times 0,4) \text{ cm}^3$$

$$V_c = 3,2 \text{ cm}^3$$

a) Matriz del compuesto

Volumen del composite (Vc) = 3,2 cm³, contribución del compuesto = 70%, densidad de la resina poliéster = 1.2 g/cm³, volumen de la matriz del compuesto (Vm)

$$V_m = (0,7 * 3,2)$$

$$V_m = 2,24 \text{ cm}^3$$

Se incrementa el 10% del volumen de la matriz del compuesto ya que en el momento de la elaboración existen pérdidas, por ende:

$$V_{\text{pérdidas}} = (10\%) (2,24 \text{ cm}^3) = 0,22 \text{ cm}^3$$

Por resultante, el volumen real del compuesto será:

$$V_{\text{mp}} = (2,24+0,22) \text{ cm}^3$$

$$V_{\text{mp}} = 2,46 \text{ cm}^3$$

b) Refuerzo del compuesto (para fibra de abacá y fibra de plátano)

Volumen del composite (Vc) = 3,2 cm³, contribución del compuesto = 30%, densidad de la fibra de plátano = 0,71 g/cm³, densidad de la fibra de abacá = 1,3 g/cm³, volumen del refuerzo del compuesto (Vr), volumen de cada capa individual (Vci).

$$V_r = (30\% * 3,2)$$

$$V_r = 0,96 \text{ cm}^3$$

Se considera 3 capas de tejido de aproximadamente 1 mm cada una, por ende:

$$\text{Número de Capas} = V_r / V_{ci}$$


$$V_{ci} = V_r / \# \text{capas}$$





$$V_{ci} = 0,96 \text{ cm}^3 / 3$$

$$V_{ci} = 0,32 \text{ cm}^3$$

2.6.2 Elaboración del tejido

Tabla 2. 7 Proceso de elaboración del tejido de fibra de abacá y fibra de plátano


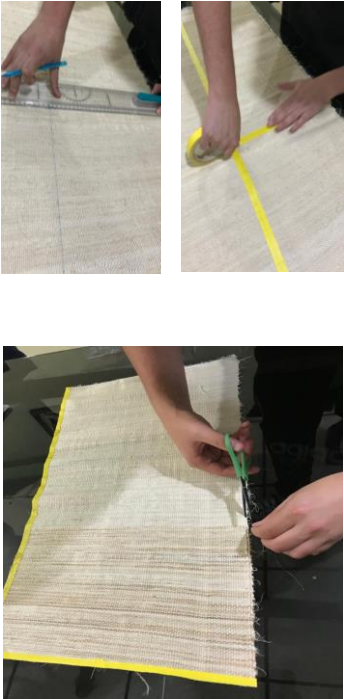
Actividad	Imagen	Descripción
Proceso de Obtención de fibra de abacá y fibra de plátano		Se obtuvieron las fibras naturales de la provincia de Santo Domingo, las cuales se limpian manualmente para ingresar en la máquina desfibadora con la finalidad de sacar residuos, luego se clasifica por grados de calidad.
Selección de la fibra en cantidades necesarias para elaborar tejido		Se separa las fibras de una en una hasta que queden unas 5 tiras y se pueda formar un milímetro de espesor.


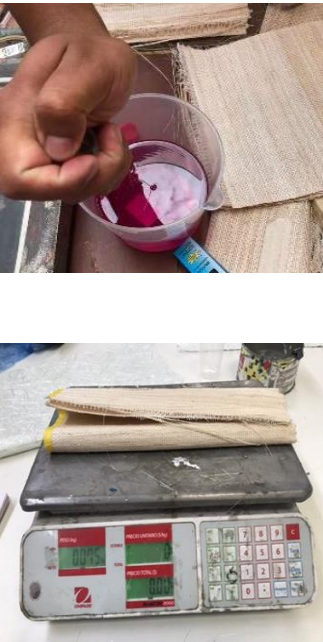

<p>Preparación del telar artesanal</p>		<p>La persona encargada de tejer alista el telar añadiéndole algodón por medio de las agujas con la finalidad de tener mayor sujeción.</p>
<p>Tejido de las fibras naturales (abacá y plátano)</p>		<p>Se realizó dos tejidos con las siguientes dimensiones: 60x120 cm con la finalidad de utilizar toda la fibra.</p>
<p>Separación del tejido del telar artesanal</p>	<p style="text-align: center;">Abacá</p>  <p style="text-align: center;">Plátano</p> 	<p>Los tejidos fueron separados del telar y se cortó el algodón y se hizo un tope para que los tejidos no se deshilen.</p>



Fuente: Autor


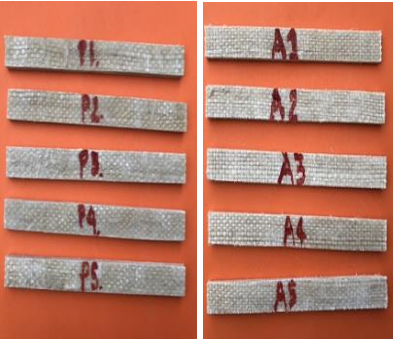

2.6.3 Elaboración de probetas en resina poliéster

Tabla 2. 8 Elaboración de las probetas

Actividad	Imagen	Descripción
Adquisición de los materiales		Se adquirió la resina poliéster con su respectivo catalizador, cera desmoldante, guaipe, balanza, fibra natural de abacá y fibra natural de plátano.
Medición y recorte de los telares		Se dibujo 4 pedazos del mismo tamaño y se cortó el telar de manera bidireccional. El mismo procedimiento se utilizó para ambos tejidos (abacá y plátano).

<p>Colocación de la cera desmoldante en la superficie de trabajo</p>		<p>Se aplicó la cera desmoldante en la superficie y se puso dos capas de cera para facilitar el desprendimiento.</p>
<p>Mezcla de la resina poliéster con el catalizador</p>		<p>Por medio del cálculo de fracción volumétrica se puede verificar la cantidad exacta de resina y de catalizador que se debe utilizar en cada una de las probetas.</p>
<p>Estratificación manual y moldeo del material compuesto</p>		<p>Una vez realizada la mezcla de la resina se va colocando de manera uniforme. De tal forma que se aplica una capa de resina, seguido de una capa de fibra y así</p>

		<p>simultáneamente hasta utilizar tres capas de tejido. Se efectuó el mismo proceso para los dos materiales compuestos (resina poliéster y fibra de abacá, resina poliéster y fibra de plátano).</p>
<p>Desmolde del material compuesto</p>		<p>Luego de haber transcurrido 48 horas de la elaboración del material, se procede a desmoldar las probetas de la base.</p>

<p>Corte de las probetas</p>	<p style="text-align: center;">TRACCION</p>  <p style="text-align: center;">FLEXION</p>  <p style="text-align: center;">IMPACTO</p> 	<p>Se cortó 5 probetas de cada material con las siguientes dimensiones:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Tracción: (250x25) mm • Flexión: (160x13) mm • Impacto: (80x10) mm
------------------------------	---	--

Fuente: Autor

2.6.4 Exposición y medición de las probetas a intemperie

Tabla 2. 9 Exposición y medición de las probetas a intemperie

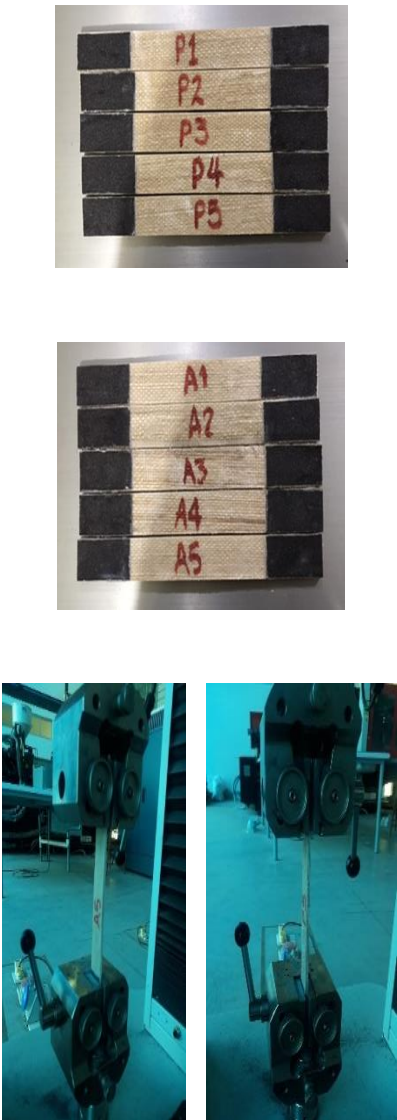
Actividad	Imagen	Descripción
Colocación de las probetas en el porta probetas.		Se colocó cada una de las probetas en el porta probetas respectivo según la norma de ensayo para la exposición a la intemperie (ASTM D1435-99).
Medición del peso de las probetas		Se pesó 2 probetas tanto de abacá y de plátano durante 6 meses.

Fuente: Autor

2.6.5 Proceso para el ensayo de tracción

El ensayo de tracción fue realizado bajo el método de ensayo ASTM D3039-2017, el equipo utilizado fue la máquina de ensayos universal polímeros metrotest 50KN, modelo MTE-50, serie: 8210M002, velocidad de ensayo: 5mm/min, precarga:0,01 N.

Tabla 2. 10 Proceso para el ensayo de tracción

Actividad	Imagen	Descripción
<p>Montaje de las probetas en la máquina de ensayos universal polímeros metrotest 50KN.</p>	 <p>The image block contains four sub-images. The top two are photographs of fiber samples. The first set shows five samples labeled P1, P2, P3, P4, and P5, which are banana fibers. The second set shows five samples labeled A1, A2, A3, A4, and A5, which are abaca fibers. The bottom two images show the universal polymer testing machine (MTE-50) with a sample being prepared for a tensile test.</p>	<p>Se realizó el montaje de cada una de las probetas para el ensayo de tracción (5 probetas de fibra de abacá y 5 probetas de fibra de plátano). Este ensayo se realizó a los 0 meses, es decir apenas se elaboraron las probetas.</p>

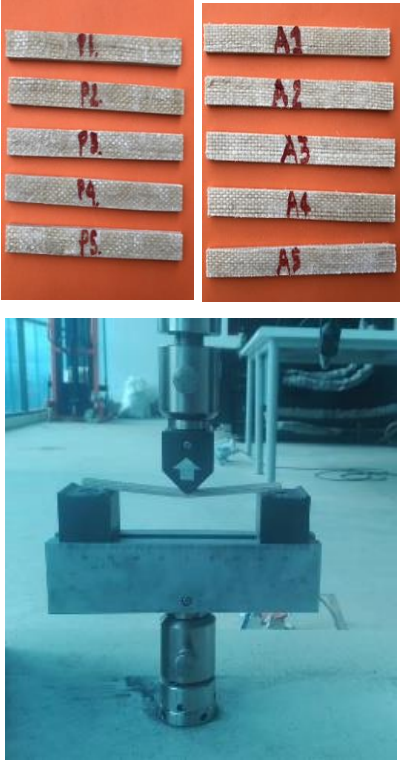
<p>Segundo ensayo de probetas</p>		<p>Se dejó las probetas a intemperie en el porta probetas y después de haber transcurrido 6 meses bajo las condiciones establecidas en la norma, se realizó nuevamente el ensayo de tracción, de la misma forma que se mencionó con anterioridad.</p>
---	---	---

Fuente: Autor

2.6.6 Proceso para el ensayo de flexión

El ensayo de flexión se realizó bajo el método de ensayo ASTM D7264-2015, el equipo utilizado fue la máquina de ensayos universal polímeros metrotest 50KN, modelo MTE 50, Serie: 8210M002, la velocidad del ensayo: 5 mm/min, precarga de 0,01 N y distancia entre apoyos 128 mm.

Tabla 2. 11 Proceso para en ensayo de flexión

Actividad	Imagen	Descripción
<p>Montaje de las probetas en la máquina de ensayos universal polímeros metrotest 50KN.</p>		<p>Se realizó el montaje de cada una de las probetas para el ensayo de flexión (5 probetas de fibra de abacá y 5 probetas de fibra de plátano). Este ensayo se realizó a los 0 meses, es decir apenas se elaboraron las probetas.</p>
<p>Segundo ensayo de probetas</p>		<p>Se dejó las probetas a intemperie en el porta probetas y después de haber transcurrido 6 meses bajo la condiciones establecidas en la norma, se realizó nuevamente el</p>


		<p>ensayo de flexión, de la misma forma que se mencionó con anterioridad.</p>
--	---	---

Fuente: Autor

2.6.7 Proceso para el ensayo de impacto charpy

EL ensayo de Impacto se realizó bajo el método de ensayo: NTE INEN ISO 179-2:2014 Plásticos. Determinación de las propiedades frente al impacto charpy. Parte 2: ensayo de impacto instrumentado. Es un ensayo cuantitativo, en donde se utilizó la máquina ensayo impacto charpy, Modelo: IC-25/IA, Serie: 1986M002. Además, la distancia de los yunques fue de 62 mm, no se utilizó muesca.

Tabla 2. 12 Proceso para el ensayo de impacto charpy

Actividad	Imagen	Descripción
<p>Montaje de las probetas en la máquina ensayo charpy</p>		<p>Se realizó el montaje de cada una de las probetas para el ensayo de impacto charpy (5 probetas de fibra de abacá y 5 probetas de fibra de plátano).</p>

		<p>Este ensayo se realizó a los 0 meses, es decir apenas se elaboraron las probetas.</p>
<p>Segundo ensayo de las probetas</p>		<p>Se dejó las probetas expuestas a intemperie en el porta probetas y después de haber transcurrido 6 meses bajo la condiciones establecidas en la norma, se realizó nuevamente el ensayo de impacto charpy, de la misma forma que se mencionó con anterioridad.</p>

Fuente: Autor

CAPÍTULO III.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN



3.1 Análisis y discusión de los resultados

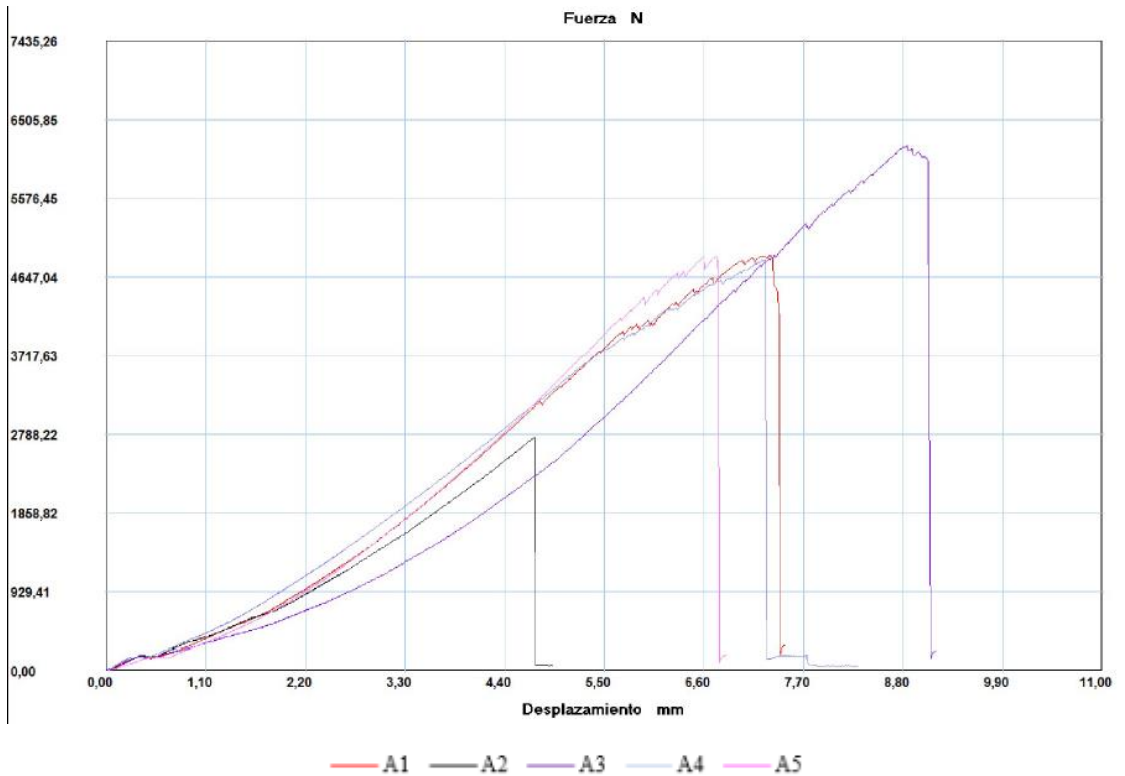
3.1.1 Recolección de datos para ensayo de tracción

3.1.1.1 Recolección de datos para ensayo de tracción (resina poliéster y fibra de abacá a cero meses)

Tabla 3. 1 Datos para el ensayo de tracción (resina poliéster y fibra de abacá a cero meses)

“UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO” CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA					
					
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS					
ENSAYO DE TRACCIÓN					
Elaborado por:	Francisco Oquendo	Revisado por:	Ing. Cristian Pérez		
Laboratorio:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero		Lugar:	Ambato	
Tipo de Ensayo:	Cuantitativo	Método de Ensayo:	ASTM D3039-2017		
Equipo utilizado:	Máquina de ensayos universal Polímeros Metrotest 50 KN				
Modelo:	MTE 50	Serie:	8210M002		
Configuración:	Bidireccional	Estratificación:	Manual		
Espesor:	4 mm	N. de probetas:	5		
Matriz:	Resina Poliéster (70%)	Refuerzo:	Fibra de Abacá (30%)		
Vel. de Ensayo:	5 mm/min	Precarga:	0,01N		
Temperatura:	24.2 °C	Humedad Relativa:	54.9 %		
Resultados a cero meses					
No.	Imagen	Fuerza Máxima (N)	Esfuerzo máximo de Tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	% Elongación
A1		4897.51	40.25	714.57	5.63
A2		2745.38	19.56	538.02	3.63
A3		6196.05	52.62	773.64	6.80






A4		4847.02	46.55	833.11	5.59
A5		4889.62	38.36	740.29	5.18
PROMEDIO		4715.12	39.47	719.93	5.37




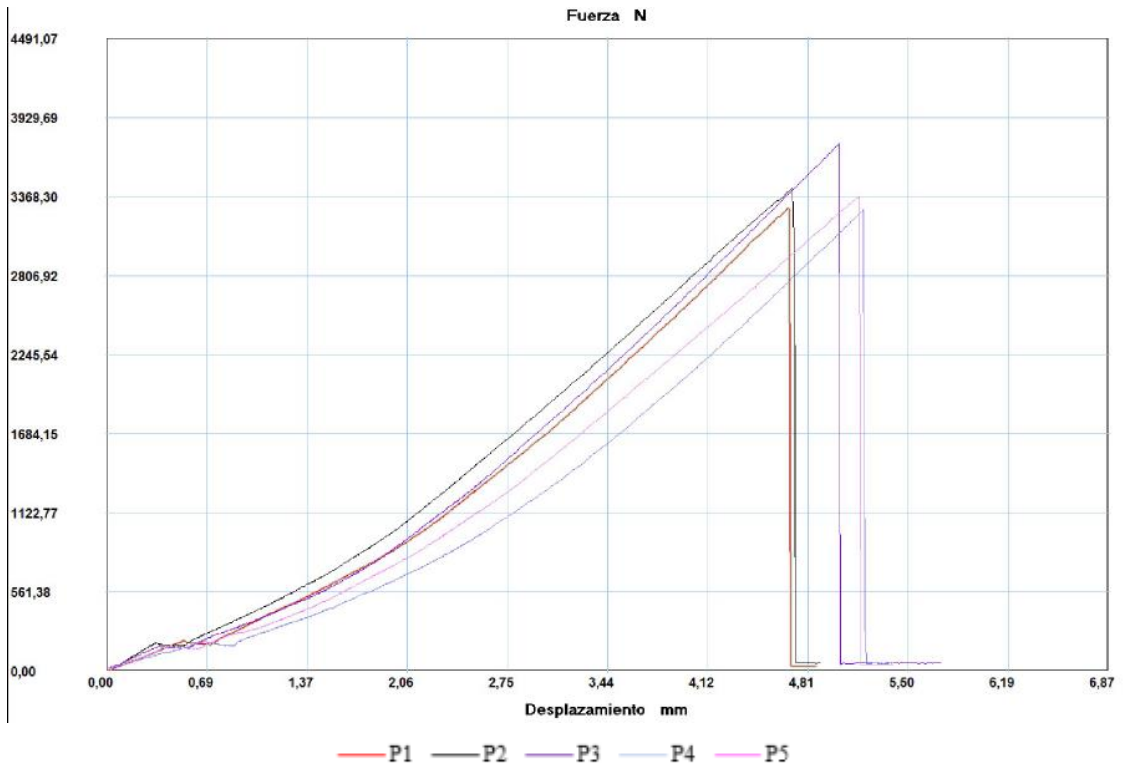
Fuente: Autor

3.1.1.2 Recolección de datos para ensayo de tracción (resina poliéster y fibra de plátano a cero meses)

Tabla 3. 2 Datos para el ensayo de tracción (resina poliéster y fibra de plátano a cero meses)

<p align="center">“UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO” CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</p> 					
<p align="center">FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS</p>					
<p align="center">ENSAYO DE TRACCIÓN</p>					
Elaborado por:	Francisco Oquendo	Revisado por:	Ing. Cristian Pérez		
Laboratorio:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero	Lugar:	Ambato		
Tipo de Ensayo:	Cuantitativo	Método de Ensayo:	ASTM D3039-2017		
Equipo utilizado:	Máquina de ensayos universal Polímeros Metrotest 50 KN				
Modelo:	MTE 50	Serie:	8210M002		
Configuración:	Bidireccional	Estratificación:	Manual		
Espesor:	4 mm	N. de probetas:	5		
Matriz:	Resina Poliéster (70%)	Refuerzo:	Fibra de Plátano (30%)		
Vel. de Ensayo:	5 mm/min	Precarga:	0,01N		
Temperatura:	24.1 °C	Humedad Relativa:	53.5 %		
<p align="center">Resultados a cero meses</p>					
No.	Imagen	Fuerza Máxima (N)	Esfuerzo máximo de Tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	% Elongación
P1		3284.99	24.28	259.95	3.59
P2		3428.57	26.87	285.54	3.62
P3		3742.56	27.91	277.73	3.86
P4		3277.10	22.42	215.90	3.99







P5		3363.88	26.87	260.15	3.97
PROMEDIO		3419.420	25.670	259.854	3.809



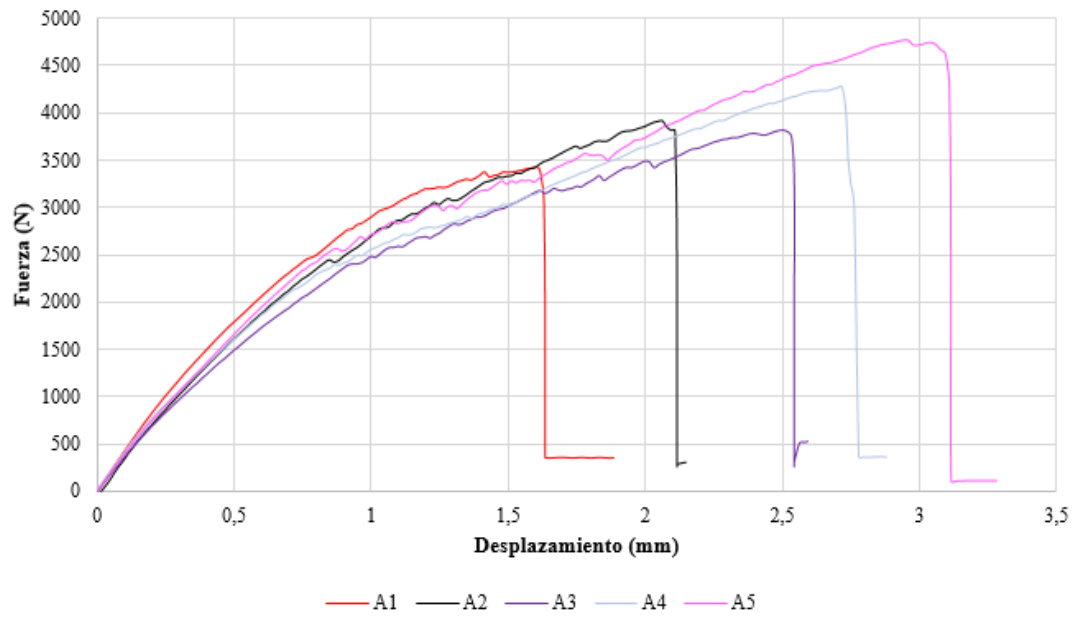
Fuente: Autor

3.1.1.3 Recolección de datos para ensayo de tracción (resina poliéster y fibra de abacá a seis meses)

Tabla 3. 3 Datos para el ensayo de tracción (resina poliéster y fibra de abacá a seis meses)

<p align="center"> “UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO” CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA </p> 					
<p align="center">FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS</p>					
<p align="center">ENSAYO DE TRACCIÓN</p>					
Elaborado por:	Francisco Oquendo	Revisado por:	Ing. Cristian Pérez		
Laboratorio:	UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE	Lugar:	Sangolquí		
Tipo de Ensayo:	Cuantitativo	Método de Ensayo:	ASTM D3039-2017		
Equipo utilizado:	Máquina de Ensayos INSTRON hasta 100 KN				
Modelo:	8801	Serie:	3520		
Configuración:	Bidireccional	Estratificación:	Manual		
Espesor:	4 mm	N. de probetas:	5		
Matriz:	Resina Poliéster (70%)	Refuerzo:	Fibra de Abacá (30%)		
Vel. de Ensayo:	5 mm/min	Precarga:	0,01N		
Temperatura:	24.2 °C	Humedad Relativa:	54.9 %		
<p align="center">Resultados a Seis meses</p>					
No.	Imagen	Fuerza Máxima (N)	Esfuerzo máximo de Tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	% Elongación
A1		3424.1	28.2	2455.6	1.1
A2		3917.1	33.1	2249.7	1.5
A3		3820.4	28.6	1595.1	1.8
A4		4263.1	38.6	1977.4	2.0
A5		4775.1	37.6	1774.7	2.1



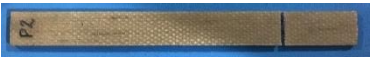



PROMEDIO	4039.9	33.2	2010.5	1.7
-----------------	--------	------	--------	-----



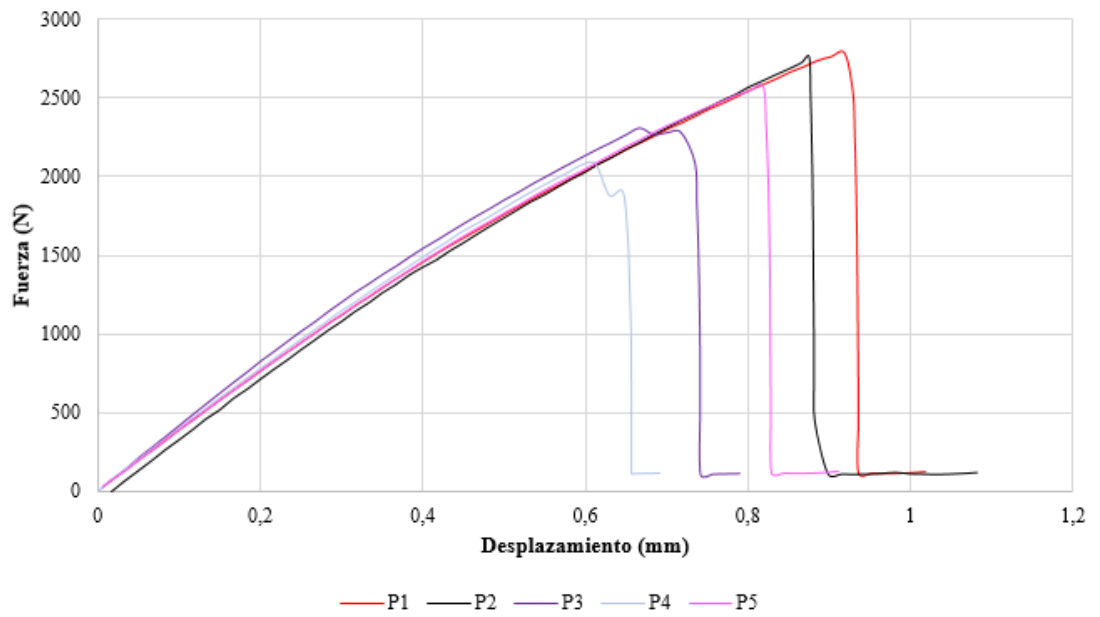
Fuente: Autor

3.1.1.4 Recolección de datos para ensayo de tracción (resina poliéster y fibra de plátano a seis meses)

Tabla 3. 4 Datos para el ensayo de tracción (resina poliéster y fibra de plátano a seis meses)

<p align="center">“UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO” CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</p> 					
<p align="center">FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS</p>					
<p align="center">ENSAYO DE TRACCIÓN</p>					
Elaborado por:	Francisco Oquendo	Revisado por:	Ing. Cristian Pérez		
Laboratorio:	UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE	Lugar:	Sangolquí		
Tipo de Ensayo:	Cuantitativo	Método de Ensayo:	ASTM D3039-2017		
Equipo utilizado:	Máquina de Ensayos INSTRON hasta 100 KN				
Modelo:	8801	Serie:	3520		
Configuración:	Bidireccional	Estratificación:	Manual		
Espesor:	4 mm	N. de probetas:	5		
Matriz:	Resina Poliéster (70%)	Refuerzo:	Fibra de Plátano (30%)		
Vel. de Ensayo:	5 mm/min	Precarga:	0,01N		
Temperatura:	24.2 °C	Humedad Relativa:	54.9 %		
<p align="center">Resultados a Seis meses</p>					
No.	Imagen	Fuerza Máxima (N)	Esfuerzo máximo de Tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	% Elongación
P1		2782.6	19.9	3011.0	0.7
P2		2755.2	22.1	3555.2	0.6
P3		2309.3	16.2	3373.4	0.5
P4		2082.3	14.8	3360.8	0.4
P5		2575.1	19.9	3375.1	0.6

PROMEDIO	2500.9	18.6	3335.1	0.6
-----------------	--------	------	--------	-----









Fuente: Autor

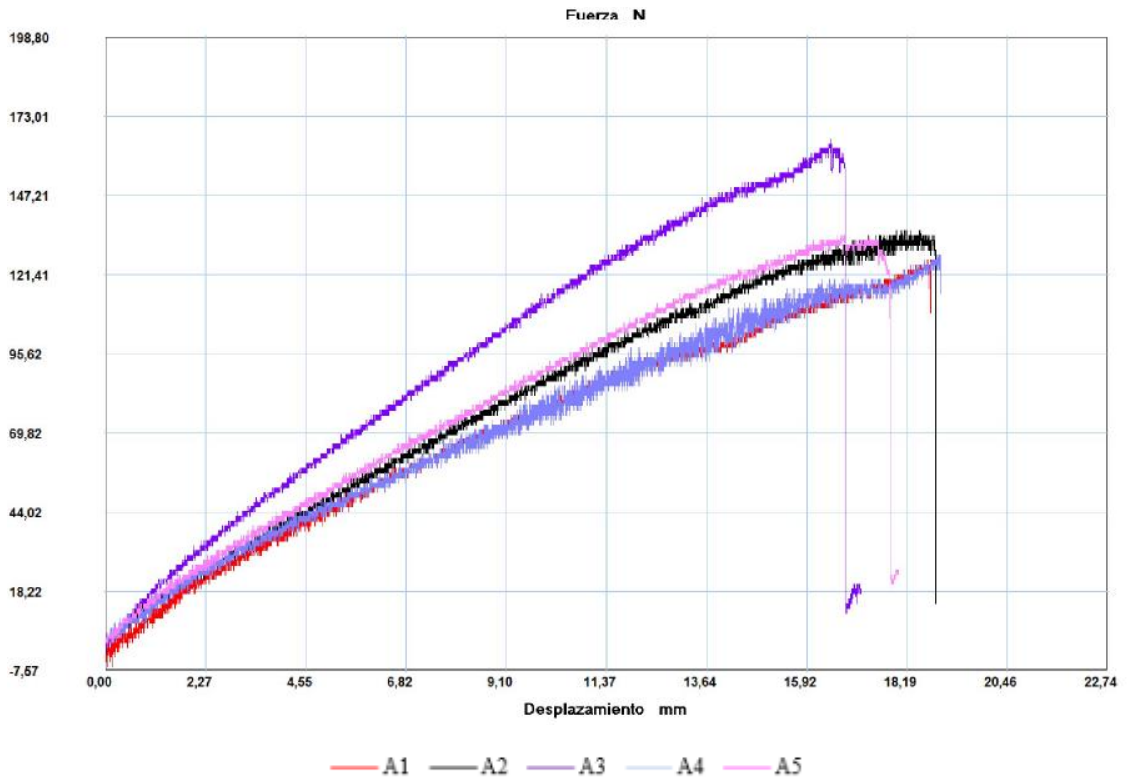
3.1.2 Recolección de datos para ensayo de flexión

3.1.2.1 Recolección de datos para ensayo de flexión (resina poliéster y fibra de abacá a cero meses)

Tabla 3. 5 Datos para el ensayo de flexión (resina poliéster y fibra de abacá a cero meses)

<p align="center">“UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO” CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</p> 						
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS						
ENSAYO DE FLEXIÓN						
Elaborado por:	Francisco Oquendo		Revisado por:	Ing. Cristian Pérez		
Laboratorio:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero			Lugar:	Ambato	
Tipo de Ensayo:	Cuantitativo		Radio de Carga:	5 mm (Procedimiento A)		
Equipo utilizado:	Máquina de ensayos universal Polímeros Metrotest 50 KN					
Modelo:	MTE 50		Serie:	8210M002		
Configuración:	Bidireccional		Estratificación:	Manual		
Espesor:	4 mm		N. de probetas:	5		
Matriz:	Resina Poliéster (70%)		Refuerzo:	Fibra de Abacá (30%)		
Vel. de Ensayo:	5 mm/min		Precarga:	0,01N		
Distancia entre apoyos:	128 mm		Método de Ensayo:	ASTM D7264-2015		
Temperatura:	22.1 °C		Humedad Relativa:	52.2 %		
Resultados a Cero meses						
No.	Imagen de Probeta	Fuerza Máxima (N)	Deflexión (mm)	Esfuerzo máx. de Flexión (MPa)	Módulo de elasticidad (calculado) (MPa)	Deformación máx. (%) (calculado)
A1		126.22	18.646	92.24	3015.36	3.06
A2		135.69	17.945	81.84	2510.70	3.26
A3		165.67	16.447	107.44	3716.21	2.89
A4		127.8	18.882	83.08	2529.49	3.28






A5		134.11	16.597	83.51	2821.44	2.96
PROMEDIO		137.898	17.70	89.62	2918.64	3.09




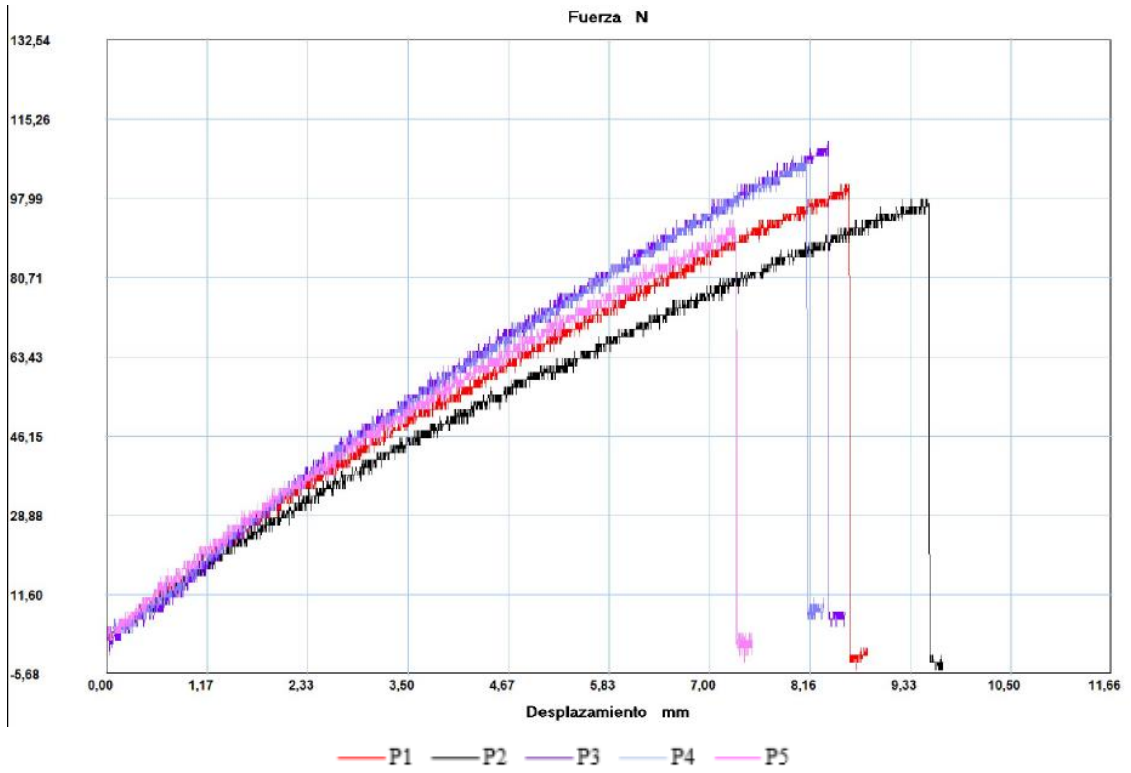
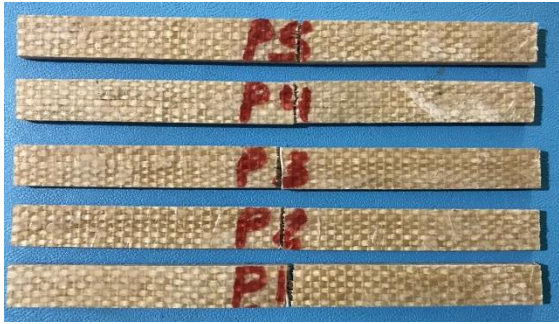
Fuente: Autor

3.1.2.2 Recolección de datos para ensayo de flexión (resina poliéster y fibra de plátano a cero meses)

Tabla 3. 6 Datos para el ensayo de flexión (resina poliéster y fibra de plátano a cero meses)

<p align="center">“UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO” CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</p>  <p align="center">FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS</p> <p align="center">ENSAYO DE FLEXIÓN</p>						
Elaborado por:	Francisco Oquendo	Revisado por:	Ing. Cristian Pérez			
Laboratorio:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero	Lugar:	Ambato			
Tipo de Ensayo:	Cuantitativo	Radio de Carga:	5 mm (Procedimiento A)			
Equipo utilizado:	Máquina de ensayos universal Polímeros Metrotest 50 KN					
Modelo:	MTE 50	Serie:	8210M002			
Configuración:	Bidireccional	Estratificación:	Manual			
Espesor:	4 mm	N. de probetas:	5			
Matriz:	Resina Poliéster (70%)	Refuerzo:	Fibra de Plátano (30%)			
Vel. de Ensayo:	5 mm/min	Precarga:	0,01N			
Distancia entre apoyos:	128 mm	Método de Ensayo:	ASTM D7264-2015			
Temperatura:	22.7 °C	Humedad Relativa:	56.6 %			
Resultados a Cero meses						
No.	Imagen de Probeta	Fuerza Máxima (N)	Deflexión (mm)	Esfuerzo máx. de Flexión (MPa)	Módulo de elasticidad (calculado) (MPa)	Deformación máx. (%) (calculado)
P1		100.98	8.524	52.60	3143.70	1.67
P2		97.82	9.24	46.91	2484.17	1.89
P3		110.45	8.368	49.96	2865.33	1.74
P4		107.29	8.061	48.58	2887.39	1.68






P5		93.09	7.238	47.53	3339.29	1.42
PROMEDIO		101.926	8.29	49.12	2943.98	1.68




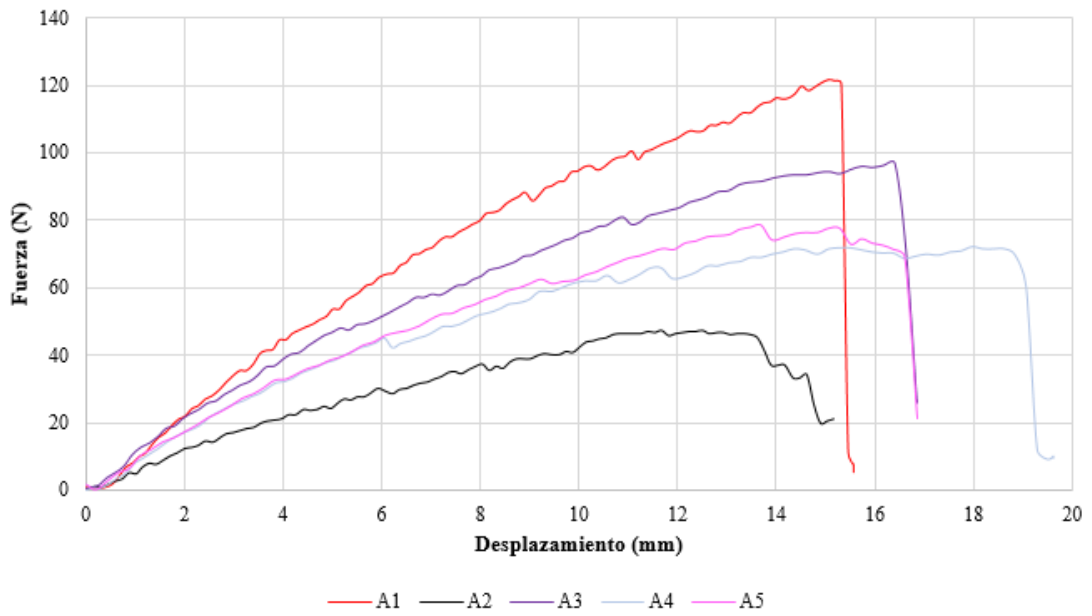
Fuente: Autor

3.1.2.3 Recolección de datos para ensayo de flexión (resina poliéster y fibra de abacá a seis meses)

Tabla 3. 7 Datos para el ensayo de flexión (resina poliéster y fibra de abacá a seis meses)

<p align="center">“UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO” CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</p> 						
<p align="center">FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS</p>						
<p align="center">ENSAYO DE FLEXIÓN</p>						
Elaborado por:	Francisco Oquendo	Revisado por:	Ing. Cristian Pérez			
Laboratorio:	UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE	Lugar:	Sangolquí			
Tipo de Ensayo:	Cuantitativo	Radio de Carga:	5 mm (Procedimiento A)			
Equipo utilizado:	Máquina de Ensayos INSTRON hasta 100 KN					
Modelo:	8801	Serie:	3520			
Configuración:	Bidireccional	Estratificación:	Manual			
Espesor:	4 mm	N. de probetas:	5			
Matriz:	Resina Poliéster (70%)	Refuerzo:	Fibra de Abacá (30%)			
Vel. de Ensayo:	5 mm/min	Precarga:	0,01N			
Distancia entre apoyos:	128 mm	Método de Ensayo:	ASTM D7264-2015			
Temperatura:	22.7 °C	Humedad Relativa:	56.6 %			
<p align="center">Resultados a Seis meses</p>						
No.	Imagen de Probeta	Fuerza Máxima (N)	Deflexión (mm)	Esfuerzo máx. de Flexión (MPa)	Módulo de elasticidad (calculado) (MPa)	Deformación máx. (%) (calculado)
A1		121.60	15.05	76.35	2857.2	2.9
A2		47.47	11.53	30.84	1537.3	1.56
A3		97.07	16.42	50.25	1559.5	1.58
A4		71.94	17.98	54.75	1894.7	1.92






A5		78.54	13.69	46.05	1823.3	1.85
PROMEDIO		83.32	14.93	51.65	1934.39	1.96




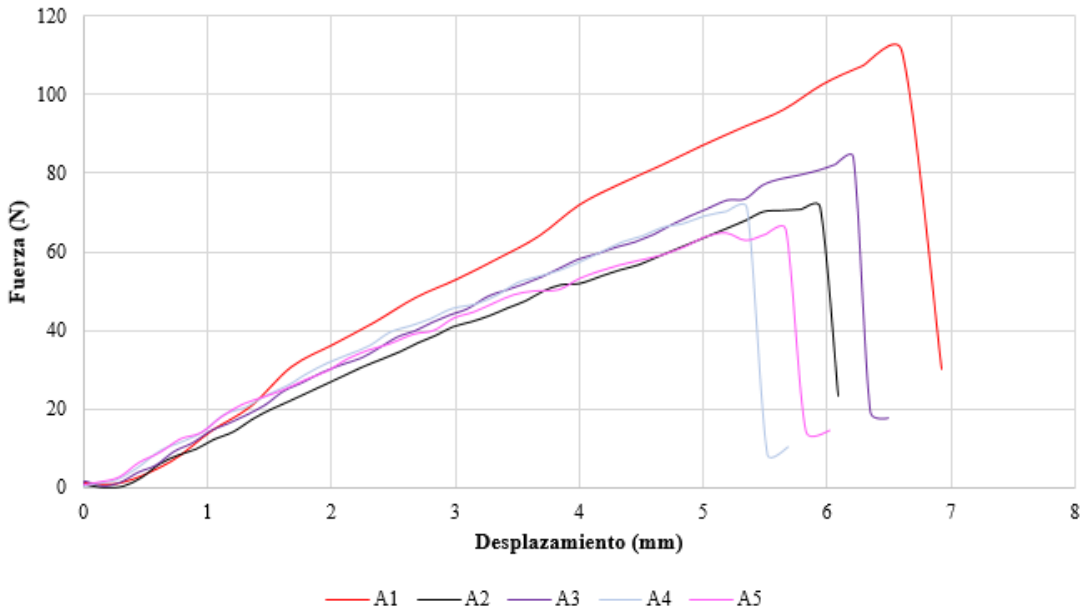
Fuente: Autor

3.1.2.4 Recolección de datos para ensayo de flexión (resina poliéster y fibra de plátano a seis meses)

Tabla 3. 8 Datos para el ensayo de flexión (resina poliéster y fibra de plátano a seis meses)

<p align="center">“UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO” CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</p> 						
<p align="center">FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS</p>						
<p align="center">ENSAYO DE FLEXIÓN</p>						
Elaborado por:	Francisco Oquendo	Revisado por:	Ing. Cristian Pérez			
Laboratorio:	UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE	Lugar:	Sangolquí			
Tipo de Ensayo:	Cuantitativo	Radio de Carga:	5 mm (Procedimiento A)			
Equipo utilizado:	Máquina de Ensayos INSTRON hasta 100 KN					
Modelo:	8801	Serie:	3520			
Configuración:	Bidireccional	Estratificación:	Manual			
Espesor:	4 mm	N. de probetas:	5			
Matriz:	Resina Poliéster (70%)	Refuerzo:	Fibra de Plátano (30%)			
Vel. de Ensayo:	5 mm/min	Precarga:	0,01N			
Distancia entre apoyos:	128 mm	Método de Ensayo:	ASTM D7264-2015			
Temperatura:	22.7 °C	Humedad Relativa:	56.6 %			
<p align="center">Resultados a Seis meses</p>						
No.	Imagen de Probeta	Fuerza Máxima (N)	Deflexión (mm)	Esfuerzo máx. de Flexión (MPa)	Módulo de elasticidad (calculado) (MPa)	Deformación máx. (%) (calculado)
P1		111.20	6.60	53.35	3984.6	2.12
P2		71.31	5.79	42.55	4043.7	2.15
P3		84.19	6.21	36.98	2819.9	1.5
P4		71.31	5.35	33.95	3070.3	1.63

P5		65.66	5.67	36.62	3399.9	1.81
PROMEDIO		80.73	5.92	40.69	3463.68	1.84









Fuente: Autor

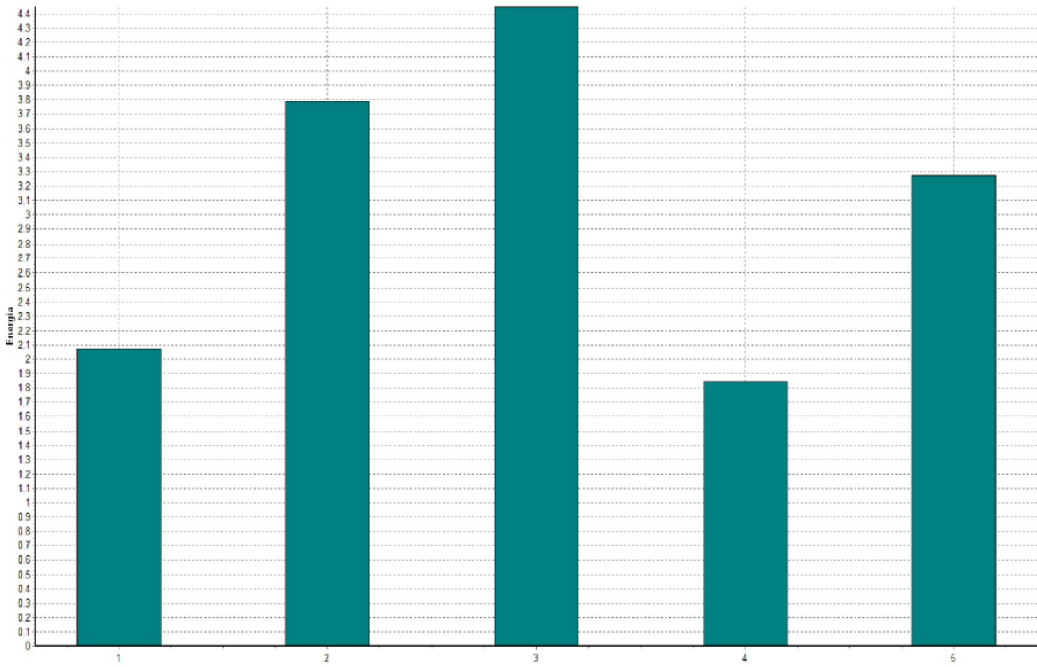
3.1.3 Recolección de datos para ensayo de impacto charpy

3.1.3.1 Recolección de datos para ensayo de impacto charpy (resina poliéster y fibra de abacá a cero meses)

Tabla 3. 9 Datos para el ensayo de impacto (resina poliéster y fibra de abacá a cero meses)

<p align="center">“UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO” CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</p> 				
<p align="center">FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS</p>				
<p align="center">ENSAYO DE IMPACTO CHARPY</p>				
Elaborado por:	Francisco Oquendo	Revisado por:	Ing. Cristian Pérez	
Laboratorio:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero	Ciudad:	Ambato	
Tipo de Ensayo:	Cuantitativo	Capacidad del péndulo:	7.5 (J)	
Equipo utilizado:	Máquina de ensayos Impacto Charpy			
Modelo:	IC-25/IA	Serie:	1986M002	
Configuración:	Bidireccional	Estratificación:	Manual	
Espesor:	4 mm	N. de probetas:	5	
Matriz:	Resina Poliéster (70%)	Refuerzo:	Fibra de Abacá (30%)	
Distancia entre yunques:	62 mm	Muesca de la Probeta:	Sin muesca	
Horas de Acondicionamiento:	No aplica	Método de Ensayo:	NTE INEN ISO 179-2:2014	
Temperatura:	22.9 °C	Humedad Relativa:	62.1 %	
<p align="center">Resultados a Cero meses</p>				
No.	Imagen de Probeta	Energía de ruptura (J)	Resistencia al impacto (J/m)	Resistencia al impacto (KJ/m ²)
A1		2.073	203.635	47.247
A2		3.789	379.279	81.741
A3		4.449	437.894	93.767




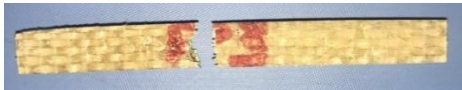
A4		1.849	181.988	39.053
A5		3.271	326.447	77.357
PROMEDIO		3.086	305.849	67.833





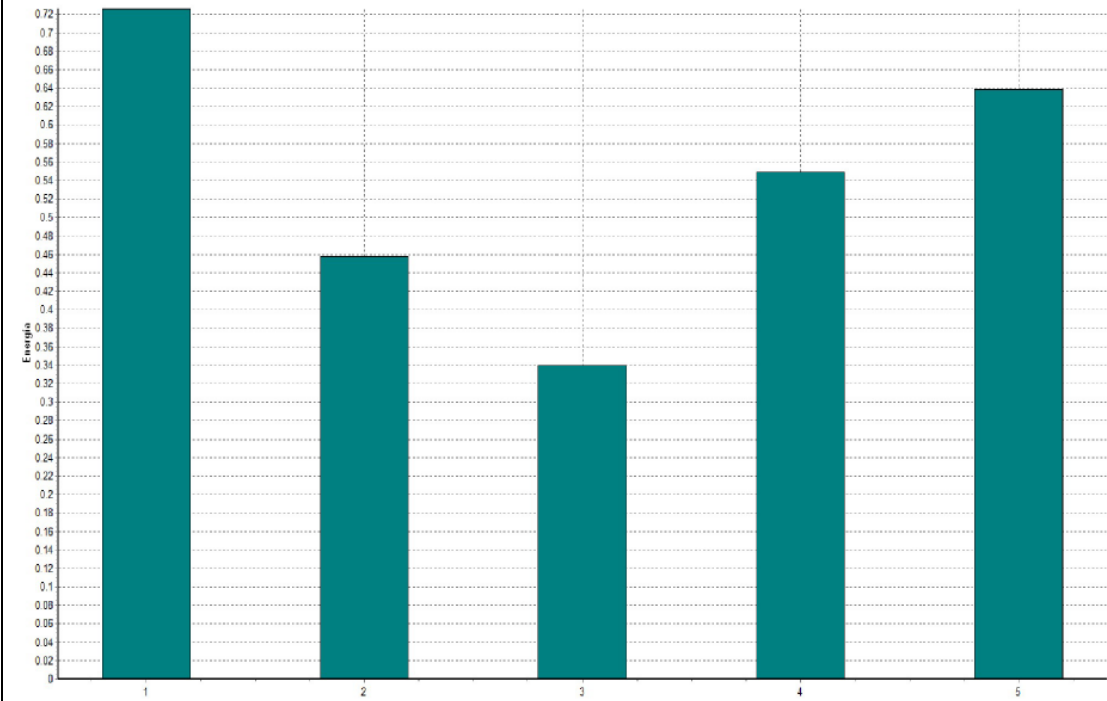
Fuente: Autor

3.1.3.2 Recolección de datos para ensayo de impacto charpy (resina poliéster y fibra de plátano a cero meses)

Tabla 3. 10 Datos para el ensayo de impacto (resina poliéster y fibra de plátano a cero meses)

<p align="center">“UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO” CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</p> 				
<p align="center">FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS</p>				
<p align="center">ENSAYO DE IMPACTO CHARPY</p>				
Elaborado por:	Francisco Oquendo	Revisado por:	Ing. Cristian Pérez	
Laboratorio:	Centro de Fomento Productivo Metalmeccánico Carrocero	Ciudad:	Ambato	
Tipo de Ensayo:	Cuantitativo	Capacidad del péndulo:	7.5 (J)	
Equipo utilizado:	Máquina de ensayos Impacto Charpy			
Modelo:	IC-25/IA	Modelo:	IC-25/IA	
Configuración:	Bidireccional	Estratificación:	Manual	
Espesor:	4 mm	N. de probetas:	5	
Matriz:	Resina Poliéster (70%)	Refuerzo:	Fibra de Plátano (30%)	
Distancia entre yunques:	62 mm	Muesca de la Probeta:	Sin muesca	
Horas de Acondicionamiento:	No aplica	Método de Ensayo:	NTE INEN ISO 179-2:2014	
Temperatura:	23.4 °C	Humedad Relativa:	57.5 %	
<p align="center">Resultados a Cero meses</p>				
No.	Imagen de Probeta	Energía de ruptura (J)	Resistencia al impacto (J/m)	Resistencia al impacto (KJ/m ²)
P1		0.726	73.259	13.693
P2		0.458	46.169	8.425
P3		0.340	34.309	6.573





P4		0.549	53.561	9.668
P5		0.639	63.709	12.275
PROMEDIO		0.542	54.201	10.127





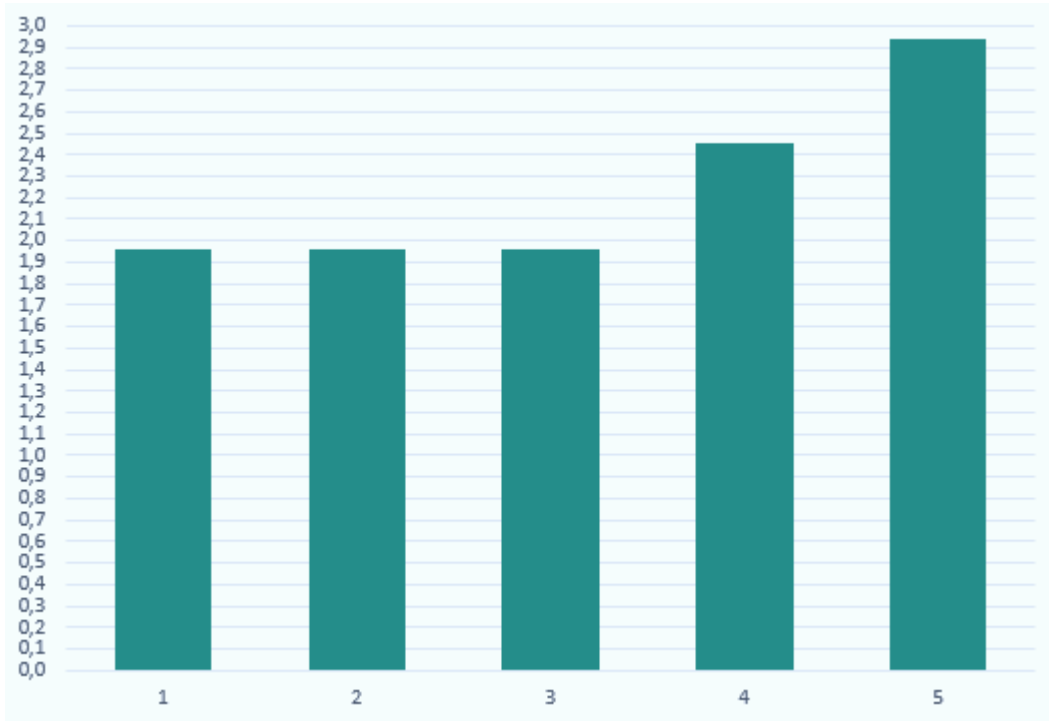
Fuente: Autor

3.1.3.3 Recolección de datos para ensayo de impacto charpy (resina poliéster y fibra de abacá a seis meses)

Tabla 3. 11 Datos para el ensayo de impacto (resina poliéster y fibra de abacá a seis meses)

<p align="center">“UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO” CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</p> 				
<p align="center">FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS</p>				
<p align="center">ENSAYO DE IMPACTO CHARPY</p>				
Elaborado por:	Francisco Oquendo	Revisado por:	Ing. Cristian Pérez	
Laboratorio:	UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE	Ciudad:	Latacunga	
Tipo de Ensayo:	Cuantitativo	Capacidad del péndulo:	7.5 (J)	
Equipo utilizado:	Máquina de ensayos Impacto Charpy			
Modelo:	IC-25/IA	Modelo:	IC-25/IA	
Configuración:	Bidireccional	Estratificación:	Manual	
Espesor:	4 mm	N. de probetas:	5	
Matriz:	Resina Poliéster (70%)	Refuerzo:	Fibra de Abacá (30%)	
Distancia entre yunques:	62 mm	Muesca de la Probeta:	Sin muesca	
Horas de Acondicionamiento:	No aplica	Método de Ensayo:	NTE INEN ISO 179-2:2014	
Temperatura:	23.4 °C	Humedad Relativa:	57.5 %	
<p align="center">Resultados a Seis meses</p>				
No.	Imagen de Probeta	Energía de ruptura (J)	Resistencia al impacto (J/m)	Resistencia al impacto (KJ/m ²)
A1		1.962	194.643	46.454
A2		1.962	195.418	47.202
A3		1.962	195.613	46.575





A4		2.453	242.582	57.620
A5		2.943	292.545	69.820
PROMEDIO		2.256	224.160	53.534


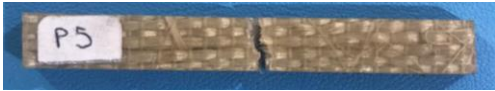


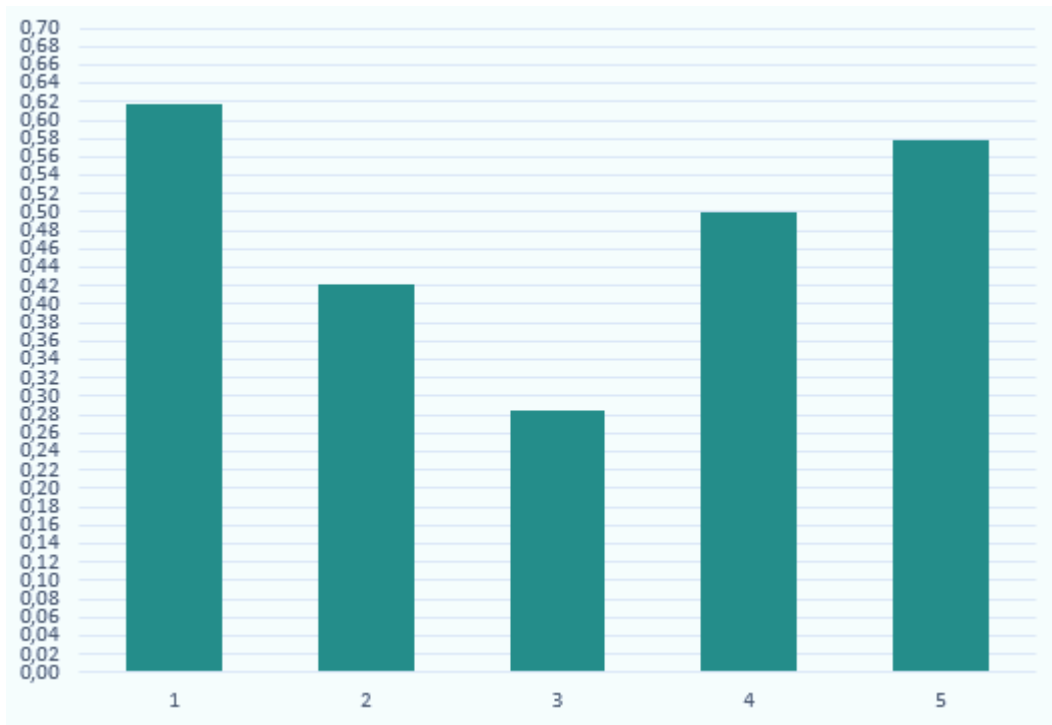
Fuente: Autor

3.1.3.4 Recolección de datos para ensayo de impacto charpy (resina poliéster y fibra de plátano a seis meses)

Tabla 3. 12 Datos para el ensayo de impacto (resina poliéster y fibra de plátano a seis meses)

<p align="center">“UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO” CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</p> 				
<p align="center">FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS</p>				
<p align="center">ENSAYO DE IMPACTO CHARPY</p>				
Elaborado por:	Francisco Oquendo	Revisado por:	Ing. Cristian Pérez	
Laboratorio:	UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE	Ciudad:	Latacunga	
Tipo de Ensayo:	Cuantitativo	Capacidad del péndulo:	7.5 (J)	
Equipo utilizado:	Máquina de ensayos Impacto Charpy			
Modelo:	IC-25/IA	Modelo:	IC-25/IA	
Configuración:	Bidireccional	Estratificación:	Manual	
Espesor:	4 mm	N. de probetas:	5	
Matriz:	Resina Poliéster (70%)	Refuerzo:	Fibra de Plátano (30%)	
Distancia entre yunques:	62 mm	Muesca de la Probeta:	Sin muesca	
Horas de Acondicionamiento:	No aplica	Método de Ensayo:	NTE INEN ISO 179-2:2014	
Temperatura:	23.4 °C	Humedad Relativa:	57.5 %	
<p align="center">Resultados a Seis meses</p>				
No.	Imagen de Probeta	Energía de ruptura (J)	Resistencia al impacto (J/m)	Resistencia al impacto (KJ/m ²)
P1		0.618	61.680	12.311
P2		0.422	42.141	8.395
P3		0.284	28.251	5.617

P4		0.500	49.585	9.877
P5		0.579	57.136	10.024
PROMEDIO		0.481	47.759	9.245







Fuente: Autor

Observación:

Debido a que en el **Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero** en **Ambato** las máquinas se quedaron fuera de servicio después de haber realizado el primer ensayo, se tuvo que buscar otra opción para realizar el ensayo de las probetas en seis meses, el cual se efectuó en la **Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE** en los **laboratorios de Mecánica en Quito-Sangolquí**. Tomando en cuenta que los dos ensayos se efectuaron bajo las mismas condiciones y se manejan el mismo sistema de medición.

3.1.4 Análisis de ensayo de tracción

Tabla 3. 13 Comparación de probetas evaluadas a tracción a cero y seis meses

ABACÁ	PLÁTANO
CERO MESES	
	
SEIS MESES	
	

Fuente: Autor

Tabla 3. 14 Nomenclatura del tipo de falla evaluado a tracción según la norma ASTM D3039-2017

Primer carácter	Tipo de falla	Segundo carácter	Área de la falla	Tercer carácter	Localización de falla
L	Lateral	A	En el agarre	T	Parte superior
G	Agarre	I	Dentro del agarre	U	Desconocido
A	Angular	G	Zona calibrada	M	Medio

Fuente: Autor

En la tabla 3.15 se muestran los tipos de falla evaluados en las probetas de abacá a cero y seis meses, dando como resultado promedio los siguiente:

Cero meses

- Tipo de falla: lateral (L)
- Área de falla: zona calibrada (G)
- Localización de falla: parte inferior (B)

Seis meses

- Falla más común: lateral (L).
- Área de falla: zona calibrada (G).
- Localización de falla: parte superior (T).

Mientras que en la tabla 3.16 se verifica el tipo de falla evaluado en las probetas de plátano en el mismo lapso, dando como resultado promedio lo siguiente:







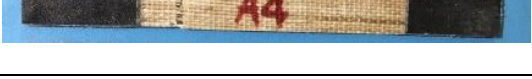



Cero meses

- Tipo de falla: lateral (L)
- Área de falla: zona calibrada (G)
- Localización de falla: parte superior (T)

Seis meses











- Falla más común: lateral (L)
- Área de falla: dentro del agarre (I)
- Localización de falla: parte superior (T).

Tabla 3. 15 Tipo de falla evaluado a tracción en las probetas de abacá a cero y seis meses

PROBETAS DE ABACÁ	TIEMPO	TIPO DE FALLA EVALUADO	IMAGEN
A1	CERO	LAT	
	SEIS	LAB	
A2	CERO	LGB	
	SEIS	LGT	
A3	CERO	LGB	
	SEIS	LAT	
A4	CERO	LGB	
	SEIS	LGB	
A5	CERO	LGM	
	SEIS	LGT	

Fuente: Autor

Tabla 3. 16 Tipo de falla evaluado a tracción en las probetas de plátano a cero y seis meses

PROBETAS DE PLÁTANO	TIEMPO	TIPO DE FALLA EVALUADO	IMAGEN
P1	CERO	LAT	
	SEIS	LIT	
P2	CERO	LGT	
	SEIS	LAB	
P3	CERO	LIB	
	SEIS	LIT	
P4	CERO	LGT	
	SEIS	LIT	
P5	CERO	LGB	
	SEIS	LIT	

Fuente: Autor

En la figura 3.1 se muestra la fuerza máxima (N) que alcanzaron las probetas efectuadas con fibra de abacá y resina poliéster dando como resultado 4715.12 (N) en el ensayo a cero meses, mientras que en el ensayo realizado a seis meses después de haber expuesto a las condiciones climatológicas se redujo a 4039.9 (N). De la misma forma se realizó el ensayo con las probetas de fibra de plátano y resina poliéster, dando como resultado un valor de 3419.4 (N) a cero meses, mientras que a seis meses el valor decreció a 2500.9 (N). Es decir que las probetas de fibra de abacá se redujo la Fuerza máxima en un 14.32% a diferencia de las probetas de fibra de plátano se redujo 26.86%.

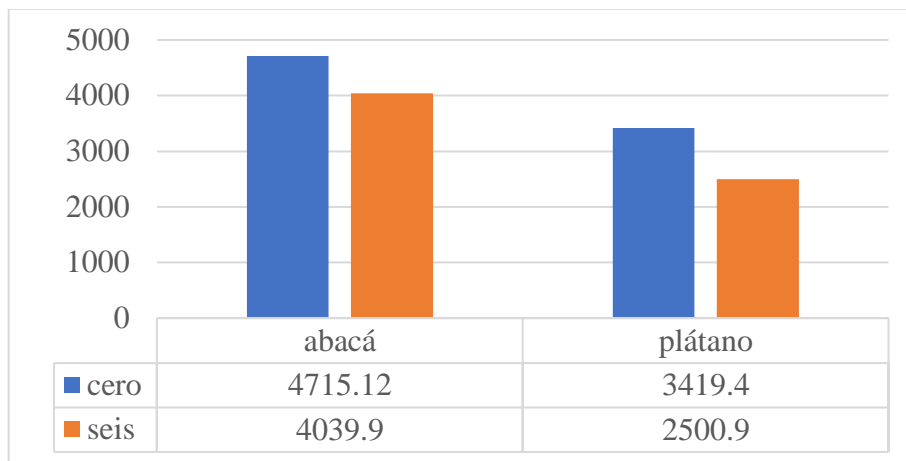


Figura 3. 1 Gráfica de fuerza máxima (N) efectuado en el ensayo a tracción a cero y seis meses
Fuente: Autor

En la figura 3.2 se muestra el esfuerzo máximo de tracción (MPa) obtenido en el ensayo en las probetas de abacá y plátano, dando como resultado a cero meses en las probetas de abacá 39.47 (MPa) mientras que después de seis meses disminuyó a 33.2 (MPa). De la misma forma en las probetas de plátano a cero meses se obtuvo 25.67 (MPa) y después de seis meses se redujo a 18.6 (MPa). De tal forma que se disminuyó en un 15.32% las probetas de abacá mientras que las probetas de plátano se disminuyeron en un 27.54%.

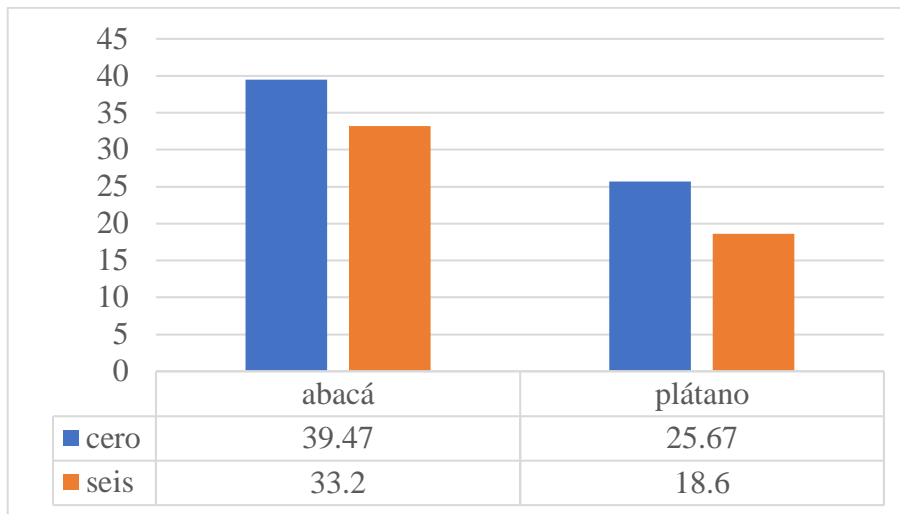


Figura 3. 2 Gráfica de esfuerzo máximo de tracción (MPa) a cero y seis meses

Fuente: Autor

En la figura 3.3 se muestra el módulo de elasticidad (MPa) obtenido en los ensayos, dando como resultado a cero meses 719.93 (MPa) mientras que después de seis meses se incrementó a 2010.5 (MPa), de la misma forma en las probetas de fibra de plátano a cero meses se obtuvo 259.854 (MPa) y después de seis se incrementó a 3335.1 (MPa). Por consecuencia se incrementó en un 92.21% en las probetas de abacá y un incremento del 91.74% en las probetas de plátano.

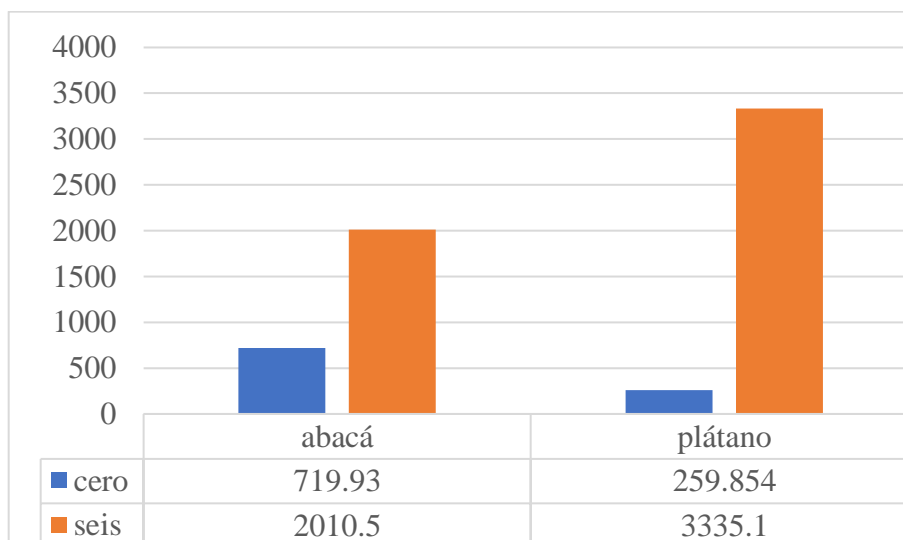


Figura 3. 3 Gráfica de módulo de elasticidad (MPa) efectuado en el ensayo a tracción a cero y seis meses

Fuente: Autor

En la figura 3.4 se muestra el porcentaje de elongación alcanzado en las probetas ensayadas, dando como resultado 5.37% a cero meses y después de seis meses se disminuyó a 1.7 %. Mientras que en las probetas de plátano ensayadas a cero meses se obtuvo 3.809% y después de seis meses se redujo a 0.6%. Los cuales determinan el decrecimiento del 68.34% de elongación para las probetas de abacá y en un 84.25% en las probetas de plátano.

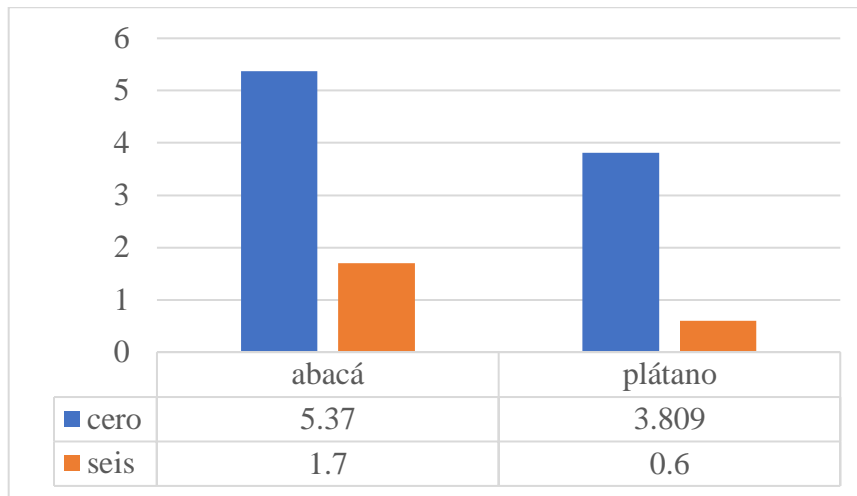




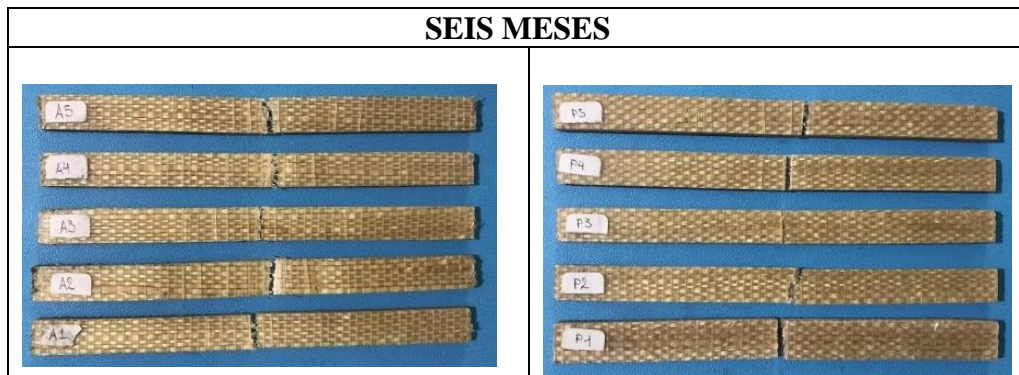
Figura 3. 4 Gráfica del % elongación efectuado en el ensayo a tracción a cero y seis meses

Fuente: Autor

3.1.5 Análisis de ensayo de flexión

Tabla 3. 17 Comparación de probetas evaluadas a flexión a cero y seis meses

ABACÁ	PLÁTANO
CERO MESES	
	



Fuente: Autor

Tabla 3. 18 Nomenclatura del tipo de falla evaluado a flexión según la norma ASTM D7264-2015

Primer carácter	Segundo carácter	Área de falla	Tercer carácter	Ubicación de falla	
O	Otros	A	En el punto de carga	B	Fondo
		L	Entre la carga y el punto de apoyo	V	Varios
		U	No conocido	R	Derecha
		M			Medio
		U			Desconocido
		L			Izquierda
		T			Parte superior

Fuente: Autor

Tabla 3. 19 Tipo de falla evaluado a flexión en las probetas de abacá a cero y seis meses

PROBETAS DE ABACÁ	TIPO DE FALLA EVALUADO CERO MESES	TIPO DE FALLA EVALUADO SEIS MESES
A1	OAB	OAB
A2	OAB	OAB
A3	OAB	OAB
A4	OAB	OAB
A5	OAB	OAB

Fuente: Autor

Tabla 3. 20 Tipo de falla evaluado a flexión en las probetas de plátano a cero y seis meses

PROBETAS DE PLÁTANO	TIPO DE FALLA EVALUADO CERO MESES	TIPO DE FALLA EVALUADO SEIS MESES
P1	OAB	OAB
P2	OAB	OAB
P3	OAB	OAB
P4	OAB	OAB
P5	OAB	OAB

Fuente: Autor

En la figura 3.5 se muestra la fuerza máxima (N) obtenida en el ensayo de flexión, en donde se puede observar que las probetas de abacá a cero meses alcanzaron 137.898 (N) mientras que en el ensayo a seis meses se redujo a 83.32 (N). De la misma forma en las probetas de plátano a cero meses se obtuvo 101.926 (N) y en seis meses se redujo a 80.73 (N). Por consiguiente, se establece que se redujo en un 39.58% para las probetas de abacá y en 20.80% las probetas de plátano.

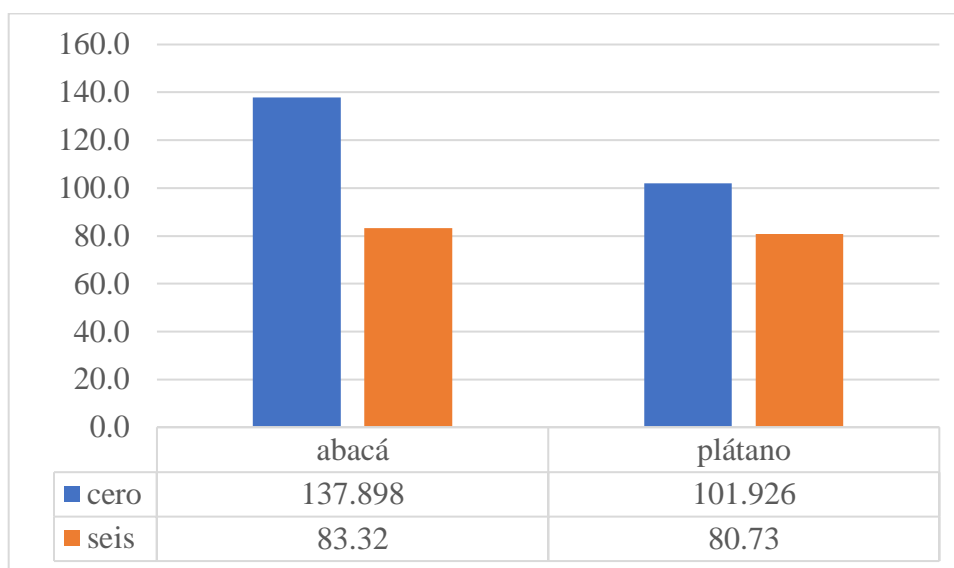


Figura 3. 5 Gráfica de fuerza máxima (N) efectuado en el ensayo a flexión a cero y seis meses

Fuente: Autor

En la figura 3.6 se muestra la deflexión (mm) obtenida en los ensayos, dando como resultado en las probetas de abacá a cero y seis meses un valor de 17.90 mm y 17.93 mm respectivamente. De la misma forma en las probetas de plátano se obtuvo 8.29 mm a cero meses y 5.92mm a seis meses. Proyectando un decrecimiento del 15.65% en las probetas de abacá y un decrecimiento del 28.59% en las probetas de plátano.

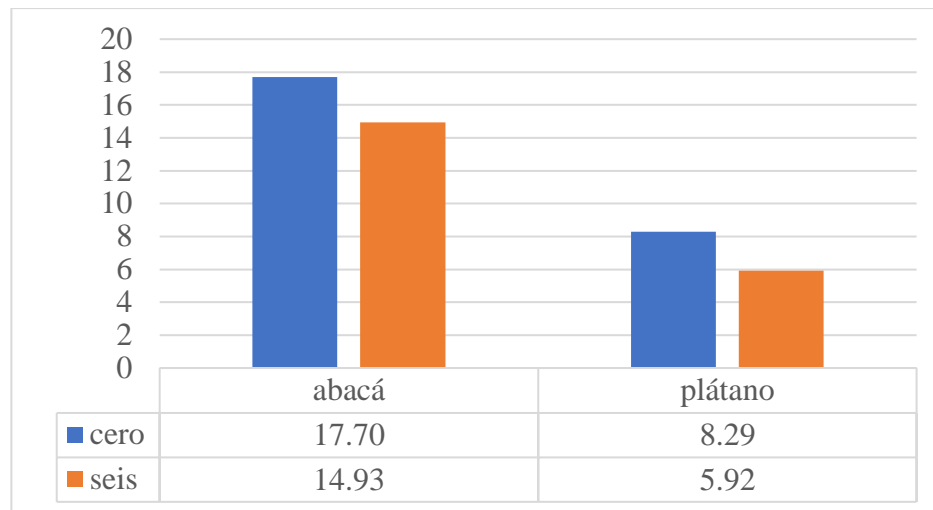


Figura 3. 6 Gráfica de deflexión (mm) a cero y seis meses

Fuente: Autor

En la figura 3.7 se muestra el esfuerzo máximo de flexión (MPa) efectuado en las probetas, dando como resultado en el ensayo a cero meses de las probetas de abacá un valor de 89.62 (MPa) y a seis meses se redujo a 51.65 (MPa), mientras que en las probetas de plátano a cero meses se obtuvo 49.12 (MPa) y a seis meses 40.69 (MPa). De tal forma se produjo una reducción del 42.37% en las probetas de abacá y un 17.16% en las probetas de plátano.

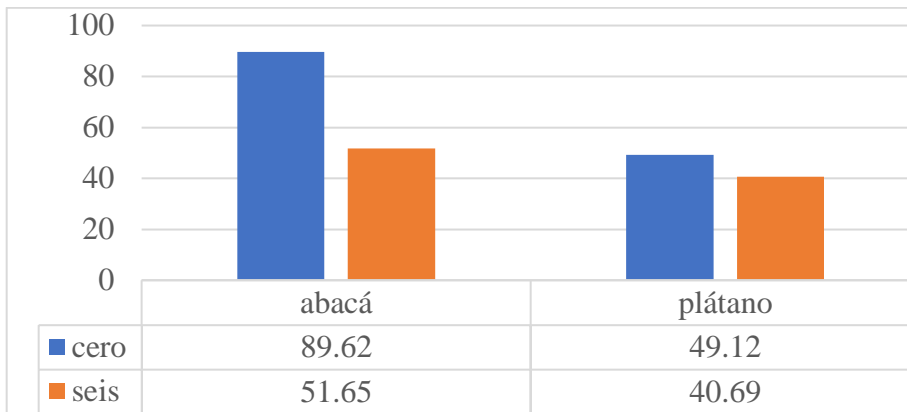


Figura 3. 7 Gráfica de esfuerzo máximo de flexión (MPa) a cero y seis meses

Fuente: Autor

En la figura 3.8 se muestra el módulo de elasticidad (MPa) que se obtuvo en el ensayo de flexión, dando como resultado en las probetas de abacá a cero meses 2918.64 (MPa) y a seis meses 1934.39 (MPa), mientras que en las probetas de plátano a cero meses se obtuvo 2943.98 (MPa) y en seis meses 3463.68 (MPa). Por consiguiente, se observa un decrecimiento en las probetas de abacá de 33.72% y un crecimiento del 35.21% en las probetas de plátano.

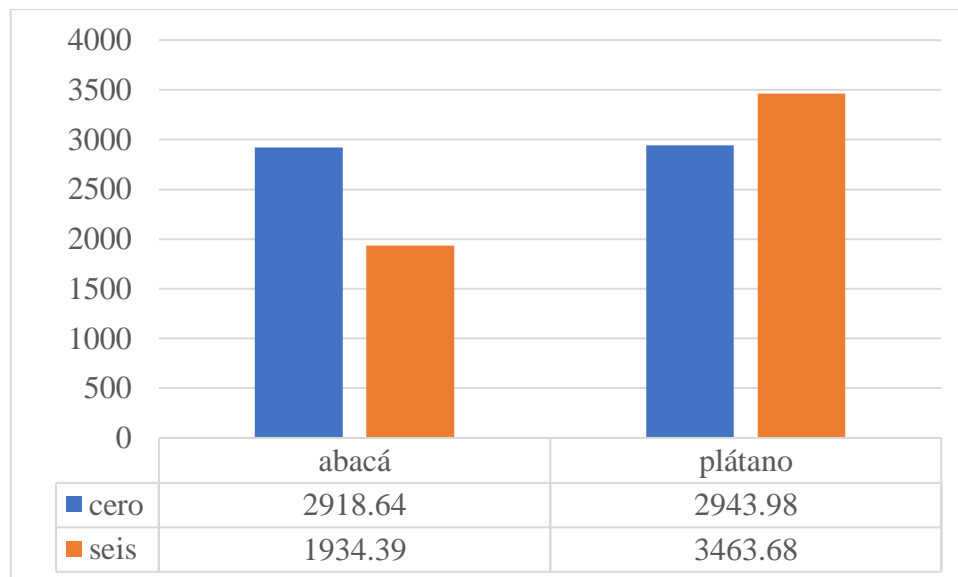


Figura 3. 8 Gráfica de módulo de elasticidad (MPa) efectuado en el ensayo a flexión a cero y seis meses

Fuente: Autor

En la figura 3.9 se puede observar la deformación máxima (%) efectuado en el ensayo a flexión, en el cual las probetas de abacá a cero meses arrojaron un valor de 3.09% y a seis meses 1.96%, mientras que en las probetas de plátano a cero meses se obtuvo 1.68% y a seis meses 1.84%, de tal forma se obtuvo una reducción del 36.57% en las probetas de abacá mientras que en las probetas de plátano se incrementó en un 8.70%.

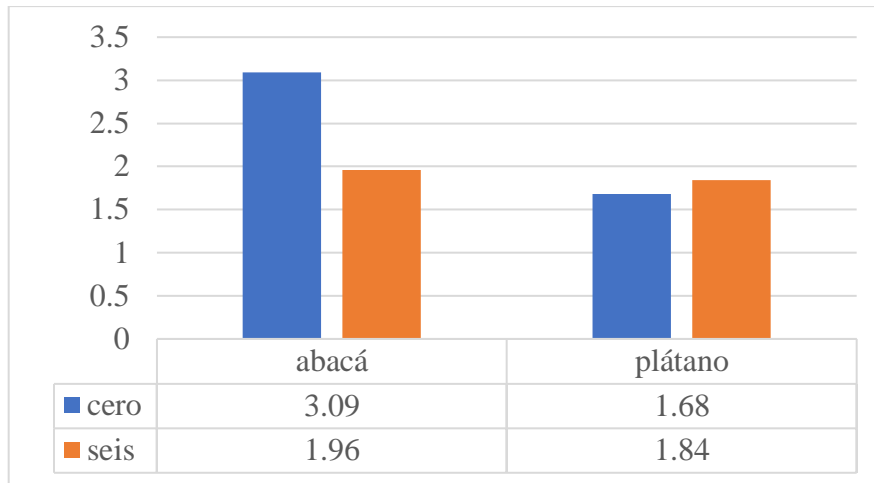
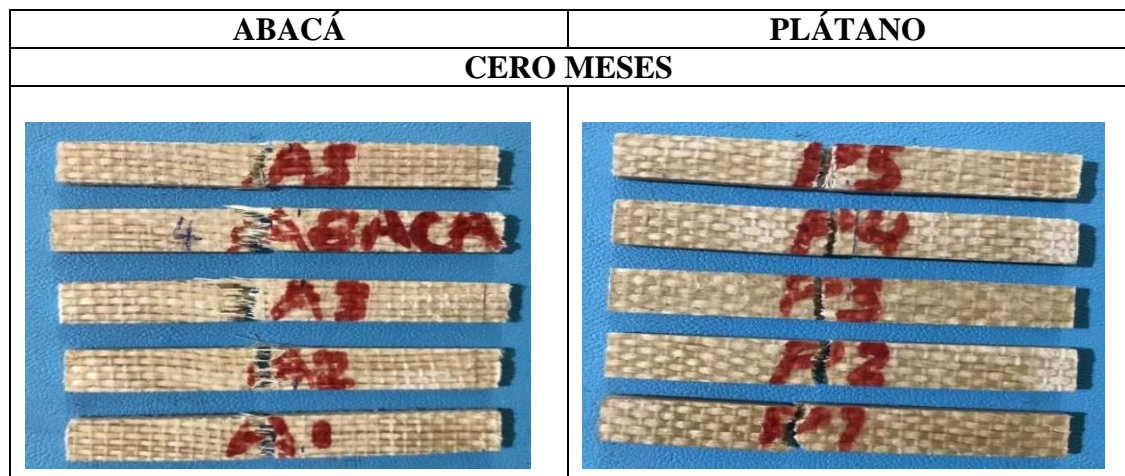


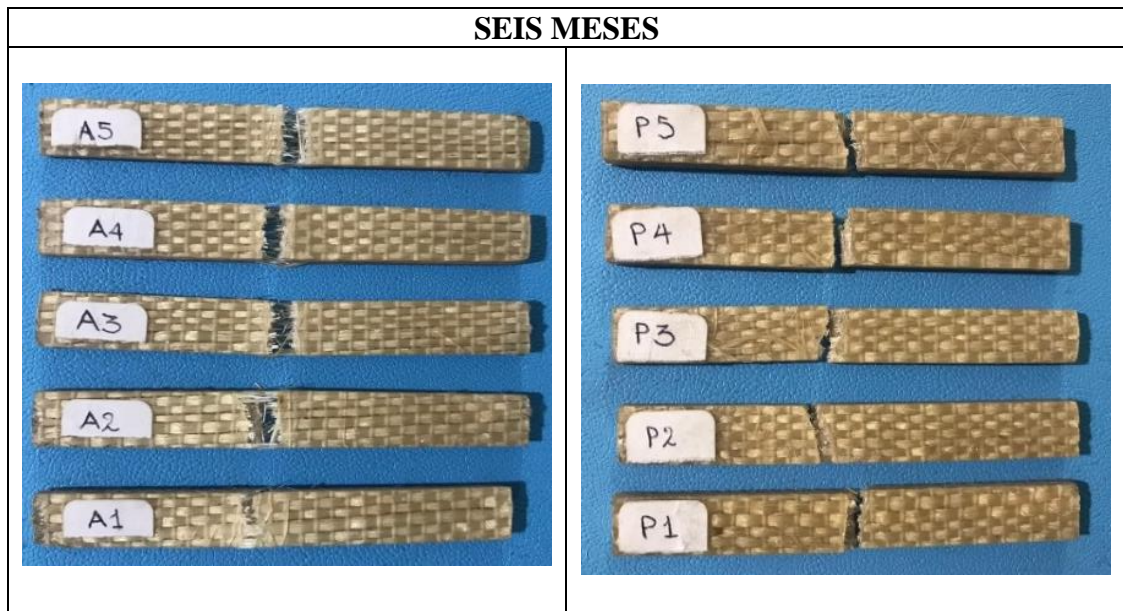
Figura 3. 9 Gráfica de deformación (%) efectuado en el ensayo a flexión a cero y seis meses

Fuente: Autor

3.1.6 Análisis de ensayo de impacto charpy

Tabla 3. 21 Comparación de probetas evaluadas a impacto charpy a cero y seis meses





Fuente: Autor

En la figura 3.10 se muestra la energía de ruptura (J) efectuado en el ensayo de impacto charpy, en donde las probetas de abacá a cero meses se obtuvieron 3.086 (J) y a seis meses 2.256 (J), mientras que en las probetas de plátano se obtuvo 0.542 (J) y en seis meses 0.481 (J). por consecuencia se obtuvo un decrecimiento del 26.90% y 11.25% en las probetas de abacá y probetas de plátano respectivamente.

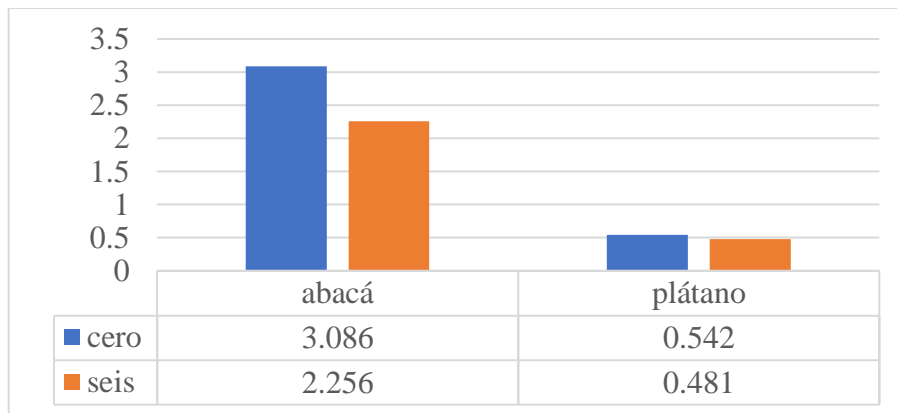


Figura 3. 10 Gráfica de energía de ruptura (J) efectuado en el ensayo de impacto charpy a cero y seis meses

Fuente: Autor

En la figura 3.11 se muestra la resistencia al impacto (J/m) efectuado en el ensayo de impacto, en donde las probetas de abacá a cero meses se obtuvo 305.849 (J/m) y en seis meses 224.16 (J/m), mientras que en las probetas de plátano se obtuvo 54.201 (J/m) y en seis meses 47.759 (J/m), de tal forma se establece que existe una disminución de la resistencia al impacto en un 26.71% en las probetas de abacá y un 11.89% en las probetas de plátano.

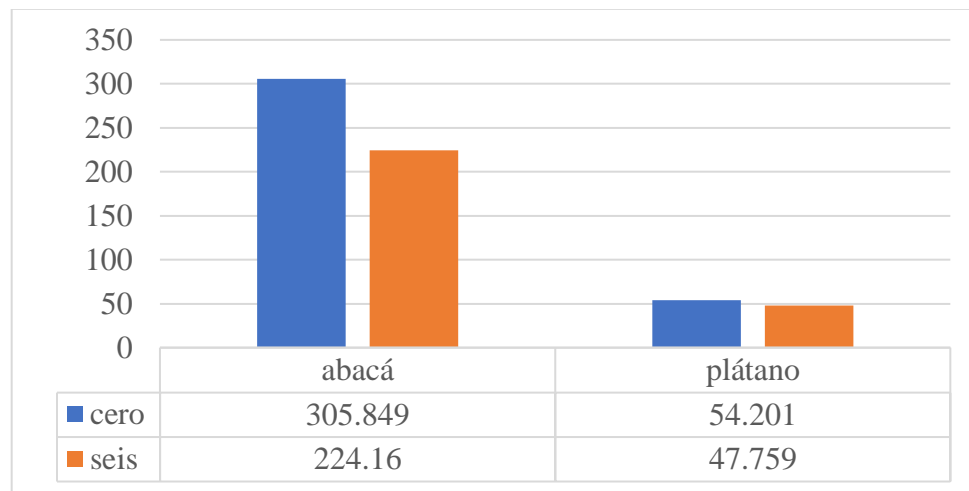


Figura 3. 11 Gráfica de resistencia al impacto (J/m) efectuado en el ensayo de impacto charpy a cero y seis meses

Fuente: Autor

En la figura 3.12 se muestra la resistencia al impacto (KJ/m²), en el cual las probetas de abacá a cero meses se obtuvieron 67.833 (KJ/m²) y en seis meses 53.534 (KJ/m²), mientras que en las probetas de plátano a cero meses se obtuvo 10.127 (KJ/m²) y en seis meses 9.245 (KJ/m²). De tal forma se muestra una disminución del 21.08% en las probetas de abacá y una disminución del 8.71% en las probetas de plátano.

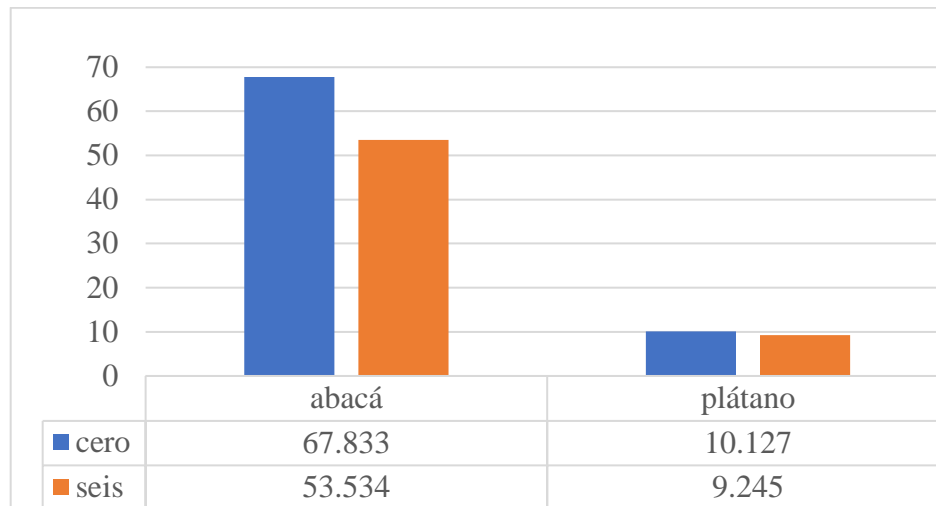


Figura 3. 12 Gráfica de resistencia al impacto (KJ/m^2) efectuado en el ensayo de impacto charpy a cero y seis meses

Fuente: Autor

3.1.7 Análisis de ensayo para exposición a la intemperie

Se realizó el ensayo de intemperie basado en la norma ASTM (D 1435-99), en los cuales se realizaron 5 probetas con las siguientes dimensiones (largo, ancho y espesor), para el ensayo de tracción $250 \times 25 \times 4$ mm, 5 probetas para el ensayo de flexión $160 \times 13 \times 4$ mm y 5 probetas para ensayo de impacto $80 \times 10 \times 4$ mm, en donde se registró a diario durante 6 meses: las variaciones de temperatura ($^{\circ}C$) [27], el valor de lluvia promedio (mm) [28], la humedad relativa (%) [27] [28] y las radiaciones UV promedio alta [29] como se muestra en la tabla 3.22. Mientras que en la tabla 3.23 se indica los pesos promedios mensuales (g) de las probetas de abacá y plátano tomados cada semana durante seis meses.

Tabla 3. 22 Parámetros de exposición a intemperie

FECHA	°T máx. (°C)	°T min (°C)	Lluvia prom. (mm)	HR prom. (%)	Radiación UV prom. alta
SEPTIEMBRE	16	9	1.28	57	10
OCTUBRE	16	8	1.18	60	10
NOVIEMBRE	19	9	2.17	63	10
DICIEMBRE	17	9	2.16	56	10
ENERO	18	10	1.07	57	9
FEBRERO	17	10	1.12	54	9

Fuente: Autor

Tabla 3. 23 Pesos promedios registrados en seis meses

FECHA	Probeta A4 peso (g)	Probeta A5 peso (g)	Probeta P4 peso (g)	Probeta P5 peso (g)
SEPTIEMBRE	31.10	31.30	35.25	36.10
OCTUBRE	30.94	31.20	35.70	36.06
NOVIEMBRE	30.85	31.13	35.93	36.00
DICIEMBRE	30.90	31.10	35.90	35.98
ENERO	31.08	31.12	36.12	36.14
FEBRERO	31.15	31.15	36.10	36.10

Fuente: Autor

En la figura 3.13 Se muestra el análisis de exposición a la intemperie en el cual se detalla los parámetros que se tomaron en cuenta a diario durante seis meses, dando como resultado que la temperatura promedio máx. alcanzó los 19°C, la temperatura promedio mínimo alcanzó los 8°C, la lluvia promedio 2.2 mm, la humedad relativa promedio (HR) alcanzó a 63% y la radiación UV promedio alta es 10.

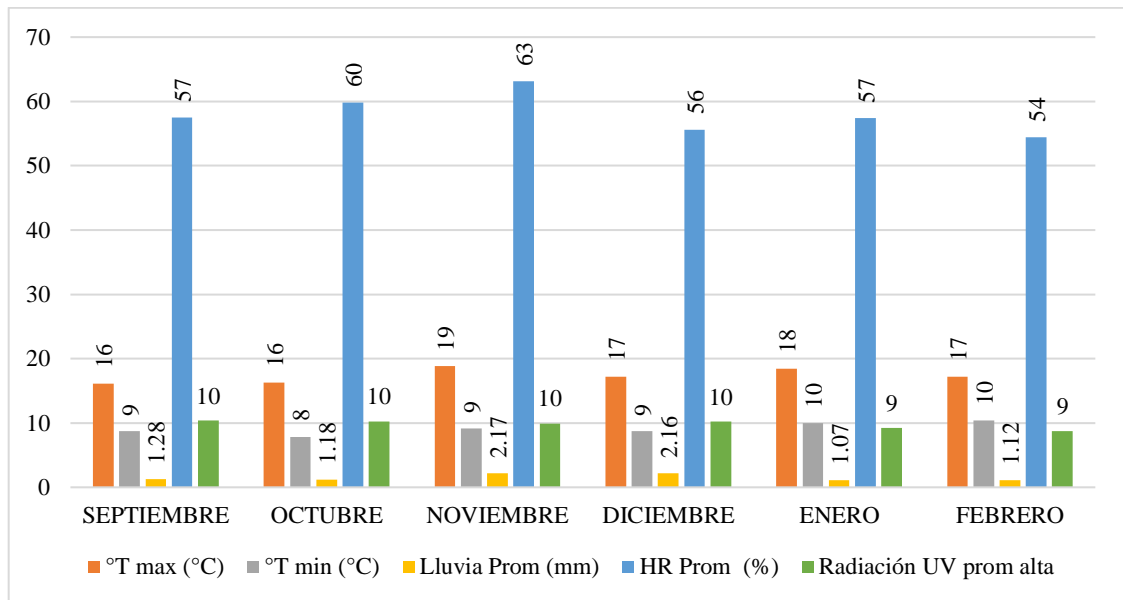


Figura 3. 13 Parámetros para el análisis de exposición a la intemperie

Fuente: Autor

En la figura 3.14 se muestra la diferenciación del peso promedio durante seis meses, en los cuales indica como ha ido afectando las variaciones climatológicas como lo muestra la figura 3.13

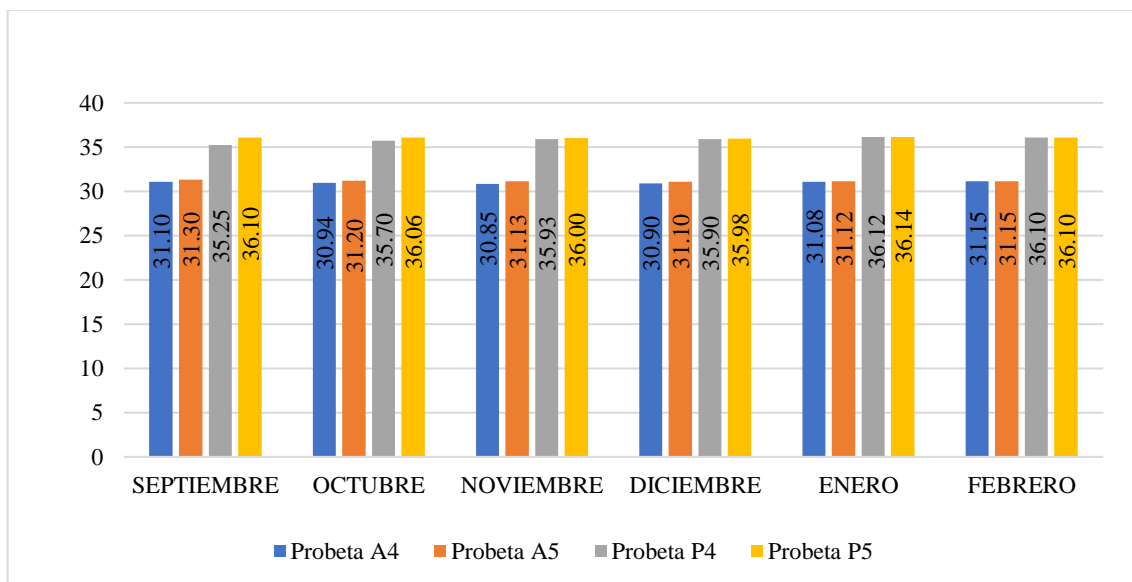


Figura 3. 14 Variaciones de peso (g) de las probetas de abacá y plátano de cero a seis meses

Fuente: Autor

3.2 Cuantificación de pérdidas de las propiedades mecánicas

3.2.1 Cuantificaciones: resina poliéster-fibra abacá

Mediante el análisis efectuado en el compuesto de resina poliéster y fibra natural de abacá se determina que las propiedades mecánicas ante la exposición a la intemperie durante el tiempo de cero a seis meses variaron de la siguiente manera:

Tabla 3. 24 Variaciones ante la exposición a intemperie en ensayos de tracción con resina poliéster y fibra de abacá

TRACCIÓN	
Fuerza máxima (N)	
Cero meses	4715.12 (N)
Seis meses	4039.9 (N)
% de pérdida	14.32%
Esfuerzo máximo de tracción (MPa)	
Cero meses	39.47 (MPa)
Seis meses	33.2 (MPa)
% de pérdida	15.32%
Módulo de elasticidad (MPa)	
Cero meses	719.93 (MPa)
Seis meses	2010.5 (MPa)
% de incremento	64.19%
% de elongación	
Cero meses	5.37%
Seis meses	1.7%
% de pérdida	68.34%

Fuente: Autor

Tabla 3. 25 Variaciones ante la exposición a intemperie en ensayos de flexión con resina poliéster y fibra de abacá

FLEXIÓN	
Fuerza máxima (N)	
Cero meses	137.898 (N)
Seis meses	83.32 (N)
% de pérdida	39.58%
Deflexión (mm)	
Cero meses	17.70 (mm)
Seis meses	14.93 (mm)
% de pérdida	15.65%
Esfuerzo máximo de flexión (MPa)	
Cero meses	89.62 (MPa)
Seis meses	51.65 (MPa)
% de pérdida	42.37%
Módulo de elasticidad (MPa)	
Cero meses	2918.64 (MPa)
Seis meses	1934.39 (MPa)
% de pérdida	33.72%
Deformación máxima %	
Cero meses	3.09%
Seis meses	1.96%
% de pérdida	36.57%

Fuente: Autor

Tabla 3. 26 Variaciones ante la exposición a intemperie en ensayos de impacto charpy con resina poliéster y fibra de abacá

IMPACTO CHARPY	
Energía de ruptura (J)	
Cero meses	3.086 (J)
Seis meses	2.256 (J)

% de pérdida	26.90%
Resistencia al impacto (J/m)	
Cero meses	305.849 (J/m)
Seis meses	224.160 (J/m)
% de pérdida	26.71%
Resistencia al impacto (KJ/m²)	
Cero meses	67.833 (KJ/m ²)
Seis meses	53.534 (KJ/m ²)
% de pérdida	21.08%

Fuente: Autor

3.2.2 Cuantificaciones: resina poliéster-fibra de plátano

Mediante el análisis efectuado en el compuesto de resina poliéster y fibra natural de plátano se determina que las propiedades mecánicas ante la exposición a la intemperie durante el tiempo de cero a seis meses variaron de la siguiente manera:

Tabla 3. 27 Variaciones ante la exposición a intemperie en ensayos de tracción con resina poliéster y fibra de plátano

TRACCIÓN	
Fuerza máxima (N)	
Cero meses	3419.42 (N)
Seis meses	2500.9 (N)
% de pérdida	26.86%
Esfuerzo máximo de tracción (MPa)	
Cero meses	25.67 (MPa)
Seis meses	18.6 (MPa)
% de pérdida	27.54%
Módulo de elasticidad (MPa)	
Cero meses	259.854 (MPa)
Seis meses	3335.1 (MPa)

% de incremento	92.21%
% de elongación	
Cero meses	3.809%
Seis meses	0.6%
% de pérdida	84.25%

Fuente: Autor

Tabla 3. 28 Variaciones ante la exposición a intemperie en ensayos de flexión con resina poliéster y fibra de plátano

FLEXIÓN	
Fuerza máxima (N)	
Cero meses	101.926 (N)
Seis meses	80.73 (N)
% de pérdida	20.80%
Deflexión (mm)	
Cero meses	8.290 (mm)
Seis meses	5.92 (mm)
% de pérdida	28.59%
Esfuerzo máximo de flexión (MPa)	
Cero meses	49.12 (MPa)
Seis meses	40.69 (MPa)
% de pérdida	17.16%
Módulo de elasticidad (MPa)	
Cero meses	2943.98 (MPa)
Seis meses	3463.68 (MPa)
% de incremento	35.21%
Deformación máxima %	
Cero meses	1.68%
Seis meses	1.84%
% de incremento	8.7%

Fuente: Autor

Tabla 3. 29 variaciones ante la exposición a intemperie ensayos de impacto charpy con resina poliéster y fibra de plátano

IMPACTO CHARPY	
Energía de ruptura (J)	
Cero meses	0.542 (J)
Seis meses	0.481 (J)
% de pérdida	11.25%
Resistencia al impacto (J/m)	
Cero meses	54.201 (J/m)
Seis meses	47.759 (J/m)
% de pérdida	11.89%
Resistencia al impacto (KJ/m²)	
Cero meses:	10.127 (KJ/m ²)
Seis meses	9.245 (KJ/m ²)
% de pérdida	8.71%

Fuente: Autor

3.2 Verificación de la hipótesis

H₀: Los materiales compuestos con matriz polimérica y fibra natural de abacá y plátano no presentarán una variación significativa en los resultados de sus propiedades mecánicas, al transcurrir el tiempo de cero a seis meses mediante los ensayos efectuados a tracción, flexión e impacto charpy.

H₁: Los materiales compuestos con matriz polimérica y fibra natural de abacá y plátano presentarán una variación significativa en los resultados de sus propiedades mecánicas, al transcurrir el tiempo de cero a seis meses mediante los ensayos efectuados a tracción, flexión e impacto charpy.

Tabla 3. 30 Análisis de datos por medio de T de Student

Propiedades		Prueba T		Exposición		N/D
		Estadística de prueba	Valor p	CERO	SEIS	
ANÁLISIS DE DATOS FIBRA DE ABACA						
TRACCIÓN	Fuerza máxima (N)	1,13	0,293			✓
	Esfuerzo máximo (MPa)	1,04	0,328			✓
	Módulo de elasticidad (MPa)	-7,90	0,000		✓	
	Porcentaje de elongación	6,79	0,000		✓	
FLEXIÓN	Fuerza máxima (N)	3,80	0,005	✓		
	Deflexión (mm)	2,27	0,053			✓
	Esfuerzo máximo (MPa)	4,31	0,003	✓		
	Módulo de elasticidad (MPa)	3,01	0,017	✓		
	Deformación máxima (%)	4,38	0,002		✓	
IMPACTO CHARPY	Energía ruptura (J)	1,55	0,159			✓
	Resistencia al impacto (J/m)	1,54	0,163			✓
	Resistencia al impacto (KJ/m ²)	1,25	0,248			✓
ANÁLISIS DE DATOS FIBRA DE PLÁTANO						
TRACCIÓN	Fuerza máxima (N)	5,77	0,000	✓		
	Esfuerzo máximo (MPa)	4,22	0,003	✓		
	Módulo de elasticidad (MPa)	-34,37	0,000		✓	
	Porcentaje de elongación	34,19	0,000		✓	
FLEXIÓN	Fuerza máxima (N)	2,41	0,042	✓		
	Deflexión (mm)	6,03	0,000		✓	
	Esfuerzo máximo (MPa)	2,34	0,048	✓		

	Módulo de elasticidad (MPa)	-1,84	0,103			✓
	Deformación máxima (%)	-1,07	0,317			✓
IMPACTO CHARPY	Energía ruptura (J)	0,69	0,512			✓
	Resistencia al impacto (J/m)	0,72	0,493			✓
	Resistencia al impacto (KJ/m ²)	0,52	0,617			✓

Fuente: Autor

De acuerdo con la tabla 3.30 se determina el análisis por medio del método T de Student en el cual no se puede determinar con certeza la influencia del tiempo en las propiedades del material de manera global, de tal forma se corrobora la información realizando un análisis más profundo de los datos obtenidos por medio de un análisis factorial como se indica en la tabla 3.31.

Tabla 3. 31 Análisis de datos por medio de ANOVA factorial

Propiedades		ANOVA Factorial			HIPÓTESIS	
		R ²	Valor F	Valor p	H ₀	H ₁
ANÁLISIS DE DATOS						
TRACCIÓN	Fuerza máxima (N)	63,34%	9,21	0,001		✓
	Esfuerzo máximo (MPa)	61,50%	8,52	0,001		✓
	Módulo de elasticidad (MPa)	97,64%	220,89	0,000		✓
	Porcentaje de elongación	92,00%	61,31	0,000		✓
FLEXIÓN	Fuerza máxima (N)	64,80%	9,82	0,001		✓
	Deflexión (mm)	93,31%	74,40	0,000		✓
	Esfuerzo máximo (MPa)	79,66%	20,89	0,000		✓

	Módulo de elasticidad (MPa)	62,10%	8,74	0,001		✓
	Deformación máxima (%)	77,73%	18,61	0,000		✓
IMPACTO CHARPY	Energía ruptura (J)	81,01%	22,75	0,000		✓
	Resistencia al impacto (J/m)	80,86%	22,53	0,000		✓
	Resistencia al impacto (KJ/m ²)	83,42%	26,83	0,000		✓

Fuente: Autor

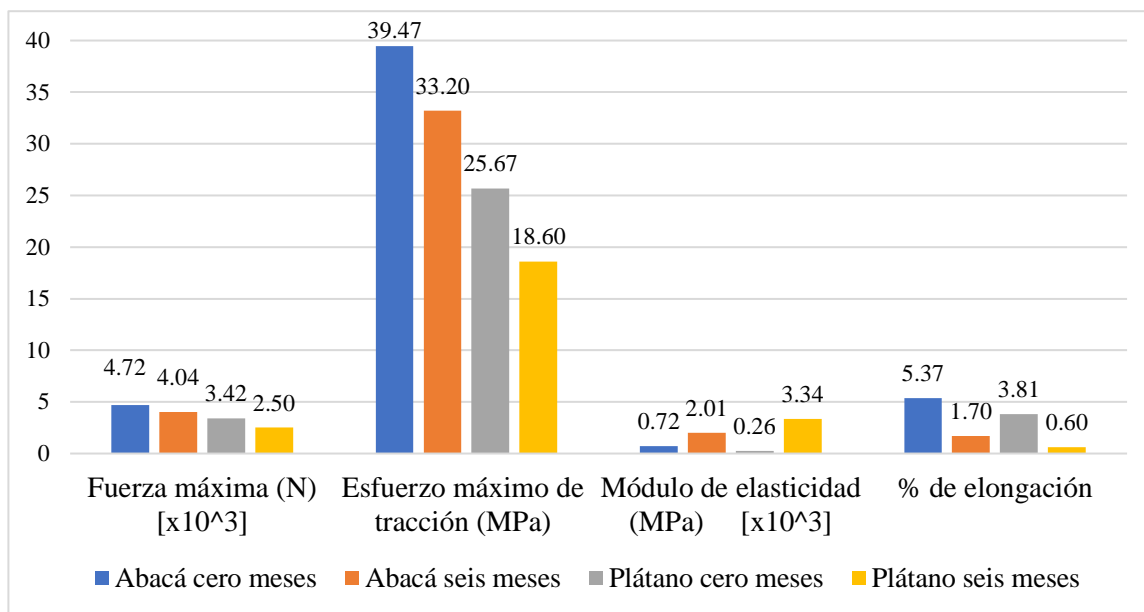
De tal forma con el análisis efectuado se determina que:

Se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa, ya que los materiales compuesto con matriz polimérica, fibra de abacá y fibra de plátano si presentan diferencias significativas en los resultados de sus propiedades mecánicas al transcurrir el tiempo de cero a seis meses mediante los ensayos efectuados a tracción, flexión e impacto charpy.

Además, por medio del método gráfico se determina que los factores de exposición a intemperie (tiempo, ángulo de exposición, tipo de fibra) y las condiciones climatológicas (temperaturas máximas y mínimas, lluvia promedio, humedad relativa y radiación UV) si afectan significativamente el comportamiento de los materiales, de tal forma se puede aseverar que:

En el ensayo de tracción efectuado en las probetas de abacá y plátano en el periodo de cero y seis meses como lo indica la figura 3.17 se puede observar cómo ha afectado la influencia de la exposición a la intemperie en las propiedades mecánicas de las probetas ensayadas. De tal forma que con el transcurrir de los seis meses la fuerza y el esfuerzo máximo de tracción ha decrecido con dicha variación.

Figura 3. 15 Comparación de probetas ensayadas a tracción



Fuente: Autor

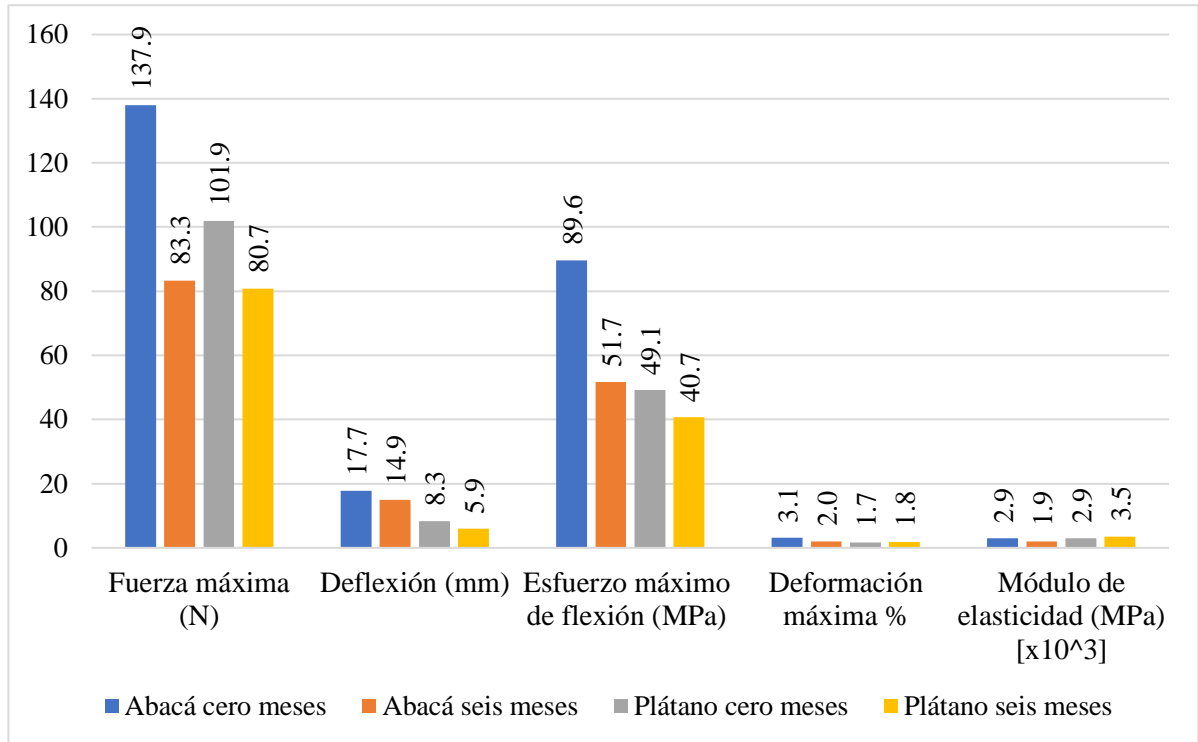
Tabla 3. 32 Resultados de ensayo a tracción

Probetas	Fuerza máxima (N)	Esfuerzo máximo de tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	% de elongación
Abacá cero meses	4715.12	39.47	719.93	5.37
Abacá seis meses	4039.90	33.20	2010.50	1.70
Plátano cero meses	3419.40	25.67	259.854	3.809
Plátano seis meses	2500.90	18.6	3335.10	0.60

Fuente: Autor

De la misma forma en el ensayo de flexión efectuado en las probetas de abacá y plátano se puede observar en la figura 3.18 que por medio de la intervención de los factores climatológicos, ángulo de exposición, tipo de fibra y tiempo establecidos en las condiciones de ensayos, se verifica que si existe afectación en los compuestos dando como resultado un decrecimiento de las propiedades mecánicas como la fuerza máxima, la deflexión, el esfuerzo máximo de flexión, la deformación máxima y módulo de elasticidad.

Figura 3. 16 Comparación de probetas ensayadas a flexión



Fuente: Autor

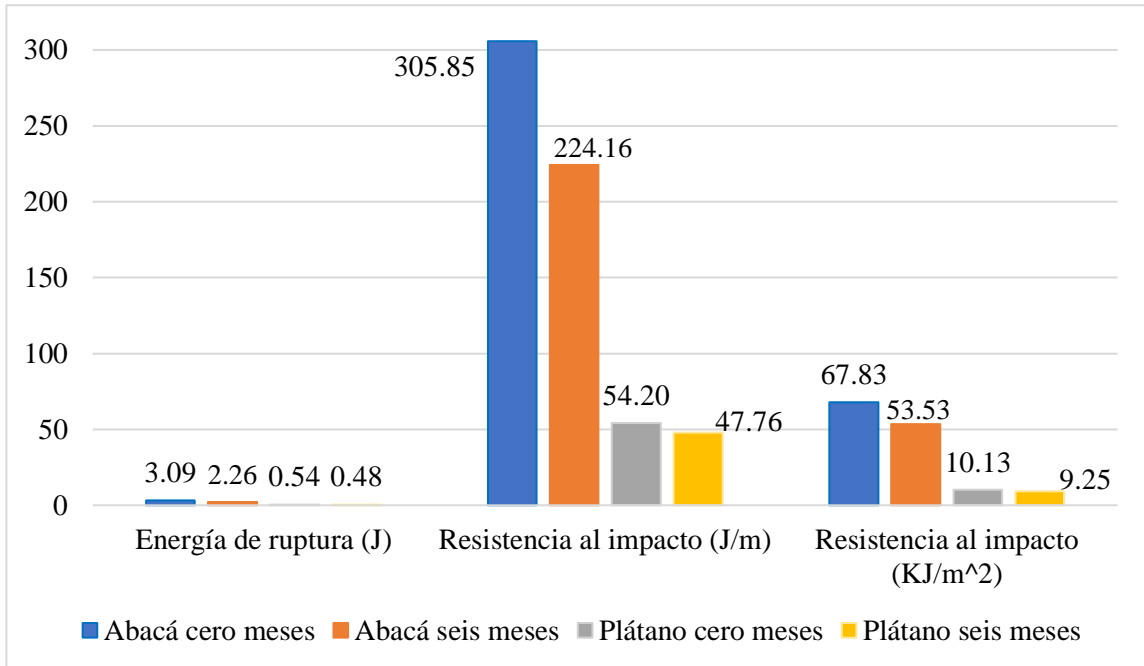
Tabla 3. 33 Resultados de ensayo a flexión

Probetas	Fuerza máxima (N)	Deflexión (mm)	Esfuerzo máximo de flexión (MPa)	Deformación máxima %	Módulo de elasticidad (MPa)
Abacá cero meses	137.89	17.70	89.62	3.09	2918.64
Abacá seis meses	83.32	14.93	51.65	1.96	1934.39
Plátano cero meses	101.926	8.29	49.12	1.68	2943.98
Plátano seis meses	80.73	5.92	40.69	1.84	3463.68

Fuente: Autor

Al igual que el ensayo de impacto charpy ejecutado en las probetas de abacá y plátano con las mismas condiciones establecidas, se puede verificar por medio de la figura 3.19 que existe una variación en el comportamiento de los materiales, dando como resultado el decrecimiento de la energía de ruptura y resistencia al impacto.

Figura 3. 17 Comparación de probetas ensayadas a impacto charpy



Fuente: Autor

Tabla 3. 34 Resultados de ensayo impacto charpy

Probetas	Energía de ruptura (J)	Resistencia al impacto (J/m)	Resistencia al impacto (KJ/m²)
Abacá cero meses	3.08	305.85	67.83
Abacá seis meses	2.26	224.16	53.53
Plátano cero meses	0.54	54.20	10.12
Plátano seis meses	0.48	47.76	9.25

Fuente: Autor

CAPITULO IV.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- Se analizó la influencia de la exposición a la intemperie en la resistencia a la tracción, flexión e impacto de los materiales compuestos por matriz poliéster y refuerzo de fibra de abacá y el material compuesto de matriz poliéster y refuerzo de fibra de plátano, dando como resultado una afectación en cada una de las probetas ensayadas.
- Se elaboró dos materiales compuestos, uno de matriz poliéster y fibra de abacá y otro de matriz poliéster y fibra de plátano, con una estratificación de 70% matriz y 30% refuerzo cada uno de ellos.
- Por medio de la norma **ASTM D3039-2017** para ensayo de tracción se elaboró 5 probetas con las siguientes dimensiones 250*25*4 mm, por medio de la norma **ASTM D7264** para ensayo de flexión se efectuó 5 probetas con las siguientes dimensiones 160*13*4 mm, por medio de la norma **NTE INEN-ISO 179-2** para ensayo impacto charpy se elaboró 5 probetas con las siguientes dimensiones 80*10*4 mm y por medio de la norma ASTM International D1435-99 para exposición a la intemperie se pudo determinar los parámetros para la exposición de las probetas.
- Mediante en ensayo de tracción se determinó las propiedades mecánicas de las probetas realizadas con fibra de abacá y fibra de plátano (fuerza máxima, esfuerzo máximo de tracción, módulo de elasticidad y el % de elongación).
- Por medio de la prueba T de Student, análisis factorial y método gráfico se pudo verificar la hipótesis, en la cual se determina que las propiedades mecánicas de cada material expuestas a intemperie si varían durante el lapso de seis meses.
- La fuerza máxima de tracción en las probetas de abacá a cero y seis meses fue de 4715.12 (N) y 4039.9 (N) respectivamente, mientras que en las probetas de plátano es de 3419.4 (N) y 2500.9 (N) a cero y seis meses respectivamente.
- El esfuerzo máximo de tracción se vio reflejado de la siguiente manera, para la probetas de abacá a cero meses es de 39.47 (N) y a seis meses de 33.2 (N), mientras

que en las probetas de plátano se alcanzó 25.67 (N) a cero meses y 18.6 (N) a seis meses.

- El módulo de elasticidad alcanzó los 719.93 (MPa) en las probetas de abacá a cero meses y en las probetas de abacá a seis meses se incrementó a 2010.5 (MPa), mientras que en las probetas de plátano a cero meses alcanzo un valor de 275.618 (MPa) y a los meses se incrementó el módulo a 3335.1 (MPa).
- El % de elongación en las probetas de abacá a cero meses se obtuvo un valor de 5.37 % y a seis meses 1.7%, mientras que en las de plátano se alcanzó un valor de 3.809% a cero meses y 0.6% en seis meses.
- Mediante el ensayo de flexión se obtuvieron las propiedades mecánicas de las probetas de fibra de abacá y plátano (fuerza máxima, deflexión, esfuerzo máximo de flexión, módulo de elasticidad y deformación unitaria)
- La fuerza máxima de flexión en las probetas de abacá alcanzada fue de 137.898(N) y 83.32 (N) a cero y seis meses respectivamente, mientras que en las probetas de flexión se obtuvo un valor de 101.926 (N) y 80.73(N) a cero y seis meses respectivamente.
- La deflexión en las probetas de abacá obtuvo un valor de 17.70 mm en el ensayo a cero meses y 14.93 mm en el ensayo de seis meses, mientras que en las probetas de plátano se alcanzó un valor de 8.29mm y 5.92 mm a cero y seis meses respectivamente.
- El esfuerzo máximo de flexión en las probetas de abacá alcanzo un valor de 89.62 (MPa) en el mes cero y de 51.65 (MPa) a los seis meses, mientras que en las probetas de plátano se alcanzó un valor de 49.12 (MPa) a cero meses y 40.69 (MPa) a seis meses.
- El módulo de elasticidad en las probetas de abacá a cero meses obtuvo 2918.64 (MPa) y en seis meses decreció a 1934.39 (MPa), mientras que en las probetas de plátano se obtuvo 2943.98 (MPa) a cero meses y en seis meses incremento a 3463.68 (MPa).

- La deformación máxima en las probetas de abacá a cero meses alcanzó 3.09% y en seis meses bajó a 1.96%, mientras que las probetas de plátano a cero meses se obtuvieron 1.68% y en seis meses se elevó a 1.84%.
- En el ensayo de impacto charpy se obtuvo las propiedades mecánicas de las probetas, dando como resultado en las probetas de abacá a cero meses una energía de ruptura de 3.086 (J) y seis meses después 2.256 (J), mientras que en las probetas de plátano a cero meses se obtuvo 0.542 (J) y a seis meses 0.481 (J).
- En las probetas de abacá a cero meses una resistencia al impacto de 305.849 (J/m) y en seis meses 224.16 (J/m), mientras que en las probetas de plátano a cero meses se obtuvo 54.201 (J/m) y en seis meses 47.759 (J/m).
- Por medio del ensayo a tracción, flexión e impacto se puede comparar ambos materiales, de tal forma que se verifica que la exposición a la intemperie si afecta a las propiedades mecánicas de cada material. Es decir que es seis meses de exposición hubo un decrecimiento en cada uno de ellos. Dando como resultado que el compuesto de matriz poliéster y fibra de abacá es más resistente que el compuesto de matriz poliéster y fibra de plátano.
- Los dos materiales compuestos se efectuaron bajo las mismas condiciones de tiempo, ángulo de exposición de 45° y exposición a intemperie. De tal forma que se puede hacer una comparativa similar, en donde el compuesto de abacá tuvo mayor resistencia al impacto, mayor esfuerzo tanto como a tracción y flexión.
- El ensayo de tracción, flexión e impacto charpy fueron realizados con la finalidad de obtener valores exactos en los materiales compuestos realizados y por medio de los mismos efectuar trabajos de investigación futuros, mejorar la calidad y el diseño estructural.
- Los materiales compuestos por resina poliéster y fibra de abacá y plátano, se los puede emplear en partes estructurales y no estructurales, por ejemplo: guardachoques, techos de buses, tableros y recubrimientos interiores. Los cuales dan paso a diseñar nuevas partes, ya que cuenta con propiedades mecánicas altas que permiten remplazar a los materiales sintéticos.

4.2 Recomendaciones

- Verificar que las probetas se realicen bajo la norma con la finalidad de que no emitan datos erróneos y tengo semejanza en el grupo a analizar.
- Exponer las probetas a intemperie sobre el porta probetas en un lugar en donde llegue tanto la lluvia como el sol.
- En los ensayos efectuados mientras más probetas ensayadas se realice se tendrá más análisis de datos y menos tendencia de error.
- El porta probetas debe ser adecuado y cumplir con las especificaciones de la norma.
- Para estudios posteriores sería aconsejable utilizar nuevas fibras naturales y mayor tiempo de exposición a intemperie, con la finalidad de comparar con las probetas ensayadas y verificar cual es más resistente.
- Además en estudios futuros se recomienda que se realice el compuesto con orientación de las fibras a 45° con la finalidad de verificar si las propiedades aumentan o decrecen, a su vez se puede considerar que se sujete en el porta probetas con dirección a 0° y 90° y se compare los resultados con este trabajo experimental.

Referencias Bibliográficas

- [1] E. F. Lalaleo Galarza, «Caracterización Mecánica del Material Compuesto de Matriz Poliéster reforzada con cascarilla de arroz para determinar las Propiedades Mecánicas en Aplicaciones Industriales,» 2016.
- [2] P. D. Mazón Ortiz, «Caracterización Mecánica del Material Híbrido de Matriz Epóxica reforzada con fibra de vidrio y tejidos de fibras naturales de caña guadúa y algodón para la determinación de Propiedades Mecánicas en aplicaciones Industriales,» 2018.

- [3] G. A. Iza Tutillo, «Caracterización Mecánica del Material Compuesto de Matriz Epoxi Reforzada con Fibra Vegetal (Algodón) y Fibra Natural de Stipa Ichu (Pasto de Páramo) con secado natral y precocido para determinar Propiedades Mecánicas en la Fabricación de Elementos,» 2017.
- [4] G. E. Mazón Ortiz, «Caracterización Mecánica del Material Compuesto de Matriz Poliéster con Fibras de Coco para la Determinación de Propiedades Mecánicas en Aplicaciones Industriales,» Ambato, 2017.
- [5] C. X. Espín Medina, «Obtención de un Material Compuesto de Matriz Poliéster y lana de oveja para Evaluar el Comportamiento Mecánico,» Ambato, Ecuador, 2017.
- [6] C. E. Izurieta Guerrero, «Aplicabilidad de un Material Compuesto de Matriz Polimérica Reforzado con Partículas Residuales de Cuero en usos Industriales,» Ambato, Ecuador, 2017.
- [7] C. F. Pérez Salinas, J. G. Paredes Salinas y C. B. Castro Miniguano, «Análisis de las Propiedades Mecánicas del Compuesto de Matriz Poliéster Reforzado con fibra de vidrio 375 y cabuya Aplicado a la Industria Automotriz,» Ambato, Ecuador, 2017.
- [8] A. K. Sinha, H. K. Narang y S. Bhattacharya, «Evaluation of Bending Strength of Abaca Reinforced Polymer Composites, » 2018.
- [9] R. K. Adhikari y K. Gowda, «Exploration of Mechanical Properties of banana/jute Hybrid Polyester Composite, » 2017.
- [10] S. Dhakal y K. Gowda, «An Experimental Study on Mechanical properties of Banana Polyester Composite, » 2017.
- [11] W. D. Callister, «Introducción a la Ingeniería de los Materiales,» Barcelona, Bogotá, Buenos Aires, Caracas, Reverté, 2007.

- [12] J. Rodríguez Monte, L. Castro Martínez y J. C. del Real Romero, «Procesos Industriales para Materiales no Metálicos,» Segunda ed., Madrid, Visión Net, 2006.
- [13] V. Guerrero, J. Dávila , R. Galeas, N. Rosas , V. Sotomayor y C. Valdivieso , «Nuevos Materiales, Aplicaciones Estructurales e Industriales,» Artes e impresiones, Quito.
- [14] E. Muccio, «Plastics Processing Technology,» ASM International, Ohio.
- [15] J. Philip, J. Babu y S. K. Bhullar, «A Digital Image Analysis to Evaluate Delamination Factor after Drilling GFRP Composites using a Klevar Drill Bit,» 2019.
- [16] ASTM INTERNATIONAL, «ASTM D3039, Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials,» 2018.
- [17] ASTM INTERNATIONAL, «ASTM D7264, Standard Test Method for Flexure Properties of Polymer Matrix Composite Materials,» 2018.
- [18] NTE INEN-ISO, «INEN-ISO 179-2, Plásticos: Determinación de las Propiedades frente al Impacto Charpy. Parte 2: Ensayo de Impacto Instrumentado (ISO 179-2:1997, IDT),» Quito, Ecuador, 2014.
- [19] ASTM INTERNATIONAL, «ASTM D 1435-99, Standard Practice for Outdoor Weathering of Plastics».
- [20] A. Besednjak, «Proceso de Fabricación de Embarcaciones con Materiales Compuestos,» UPC, 2005.
- [21] J. C. Paéz Moscoso, «Obtención de Compuestos de Polipropileno Reforzado con Fibras de Abacá mediante Moldeo,» Quito, 2007.
- [22] K. P. Torrez Guzmán, «Experimentación Tecnológica de la Fibra de Banano Aplicada en el Diseño de Objetos,» CUenca, Ecuador, 2018.

- [23] J. Paredes, «Estudio de Polímeros Híbridos Estratificados de Matriz Poliéster Reforzada con Fibra de Vidrio y Cabuya como Material Alternativo y su Incidencia en las Propiedades Mecánicas en Guardachoques para Buses,» Ambato, 2012.
- [24] S. G. Benavides, «Caracterización de las propiedades Mecánicas del Material Híbrido utilizando Matriz Epoxi eforzada con tejido de Fibra Vegetal de Algodón y Fibra Natural de Abacá,» Ambato, 2017.
- [25] J. Chisaguano, «Estudio del Comportamiento a Fatiga Mecánica por Flexión en materiales Poliméricos compuestos de Matriz Poliéster con Fibra de Abacá para determinar la Realcion Esfuerzo-Número de ciclos,» Ambato, Ecuador, 2015.
- [26] R. De la Vara Salazar y H. Gutierrez, Análisis y Diseño de Experimentos, México: McGrawHill, 2015.
- [27] AccuWeather, «Ambato, Tungurahua,» [En línea]. Available: <https://www.accuweather.com/es/ec/ambato/126320/october-weather/126320>. [Último acceso: Septiembre-Febrero 2019-2020].
- [28] Worlmeteo, «Tiempo en Ambato, Ecuador,» [En línea]. Available: <https://www.worldmeteo.info/es/america-del-sur/ecuador/ambato/tiempo-104052/?fbclid=IwAR3c2m-sVWKgldpdLedt9jpntsENKwLoVUevfu6BG3lwkwnZE1zd5m2EHu4>. [Último acceso: Septiembre-Febrero 2019-2020].
- [29] INAMHI, «Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología,» [En línea]. Available: http://186.42.174.236/IndiceUV2/?fbclid=IwAR27BxjtCCBLO1uQjVur-pahQXBWrOwVabu2BJRzw3fTM4cOyewW_mXZaqY. [Último acceso: Septiembre-Febrero 2019-2020].

Anexos

Anexo 1. Norma ASTM D3039-2017 (ensayo de tracción)



Designation: D 3039/D 3039M – 00¹

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.

¹ Note—Eq 5 was revised editorially in December 2002.

1. Scope

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

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

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

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:

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

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

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

² Annual Book of ASTM Standards, Vol 08.01.

³ Annual Book of ASTM Standards, Vol 08.02.

⁴ Annual Book of ASTM Standards, Vol 15.03.

Properties and Equilibrium Conditioning of Polymer Matrix Composite Materials⁴

E 4 Practices for Force Verification of Testing Machines⁵

E 6 Terminology Relating to Methods of Mechanical Testing⁵

E 83 Practice for Verification and Classification of Extensometers⁵

E 111 Test Method for Young's Modulus, Tangent Modulus, and Chord Modulus⁵

E 122 Practice for Choice of Sample Size to Estimate a Measure of Quality for a Lot or Process⁶

E 132 Test Method for Poisson's Ratio at Room Temperature⁵

E 177 Practice for Use of the Terms Precision and Bias in ASTM Test Methods⁶

E 251 Test Methods for Performance Characteristics of Metallic Bonded Resistance Strain Gages⁵

E 456 Terminology Relating to Quality and Statistics⁶

E 691 Practice for Conducting an Interlaboratory Study to Determine the Precision of a Test Method⁶

E 1012 Practice for Verification of Specimen Alignment Under Tensile Loading⁵

E 1237 Guide for Installing Bonded Resistance Strain Gages⁵

3. Terminology

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

3.2 *Definitions of Terms Specific to This Standard:*

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

⁵ Annual Book of ASTM Standards, Vol 03.01.

⁶ Annual Book of ASTM Standards, Vol 14.02.

dimensions, shown within square brackets: [M] for mass, [L] for length, [T] for time, [θ] for thermodynamic temperature, and [α] for nondimensional quantities. Use of these symbols is restricted to analytical dimensions. Use of these symbols as 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*, $\epsilon_{transition}$ [m], 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 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 —percent bending for a uniaxial coupon of rectangular cross section about y axis of the specimen (about the narrow direction).

3.3.3 B_y —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_u —ultimate tensile strength in the test direction.

3.3.7 F_u^* —ultimate shear strength in the test direction.

3.3.8 h —coupon thickness.

3.3.9 L —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_x —standard deviation statistic of a sample population for a given property.

3.3.16 w —coupon width.

3.3.17 x_r —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_n —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 *Micrometer*—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 head 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 formed, approximately 1 mm [0.04 in.] deep, are preferred. The use of sharp corners for the wedge-action grips when kept clean and sharp, coarse grinding 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) and with plane (B_y) of the coupon. The strain gage location should normally be located in the middle of the coupon gage section (if modulus determination is a concern), near a grip (if premature grip failures are a problem), or any combination of these areas.

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

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

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

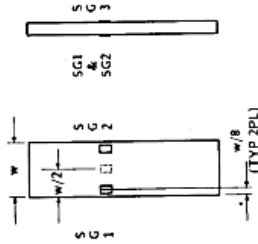


FIG. 1 Gauge Locations for System Alignment Check Coupon

dimensions, shown within square brackets: [M] for mass, [L] for length, [T] for time, [θ] for thermodynamic temperature, and [α] for nondimensional quantities. Use of these symbols is restricted to analytical dimensions. Use of these symbols as 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*, $\epsilon_{transition}$ [m], 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 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 —percent bending for a uniaxial coupon of rectangular cross section about y axis of the specimen (about the narrow direction).

3.3.3 B_y —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_u —ultimate tensile strength in the test direction.

3.3.7 F_u^* —ultimate shear strength in the test direction.

3.3.8 h —coupon thickness.

3.3.9 L —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_x —standard deviation statistic of a sample population for a given property.

3.3.16 w —coupon width.

3.3.17 x_r —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_n —indicated normal strain from strain transducer or extensometer.

3.3.22 σ —normal stress.

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 inertial 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/controlled environmental conditioning chamber is required that shall be capable of maintaining the required temperature to within ±3°C [±5°F] and the required relative vapor level to within ±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.

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 με). A system showing excessive bending for the given application should be readjusted or modified.

$$B_1 = \frac{\epsilon_x - \epsilon_y}{\epsilon_{avg}} \times 100 \quad (1)$$

$$B_2 = \frac{4.3(\epsilon_z - \epsilon_1)}{\epsilon_{avg}} \times 100 \quad (2)$$

where:
 B_1 = percent bending about system y axis (about the narrow plane), as calculated by Eq 1, %;
 B_2 = percent bending about system z axis (about the wide plane), as calculated by Eq 2, %;
 $\epsilon_x, \epsilon_y, \text{ and } \epsilon_z$ = indicated longitudinal strains displayed by Gages 1, 2, and 3, respectively, of Fig. 1, με; and
 ϵ_{avg} = indicated longitudinal strains displayed by Gages 1, 2, and 3, respectively, of Fig. 1, με; and
 The total bending component is:

$$B_{total} = |B_1| + |B_2| \quad (3)$$

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 Resistor 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 Tullie 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.

⁷A 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.
⁸Tullie, M. E. and Brinson, H. F., "Resistance-Foil Strain-Gage Technology as Applied to Composites," *Composites*, Vol. 26, No. 2, June 1986, pp. 143-154.

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 112 should be consulted. Report the method of conditioning.

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 (that 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 General Requirements	Mandatory Shape and Tolerances
8.2.2 Specific Recommendations	Nonmandatory Suggested Dimensions
8.2.3 Detail Examples	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
specimen thickness	as needed
specimen thickness tolerance	±4% of thickness
specimen flatness	flat with light finger pressure
Tab Requirements (if used):	
fiber orientation (composite tabs)	as needed
tab thickness	as needed
tab thickness variation between tabs	±1% tab thickness
tab bevel angle	6 to 90° peak
tab step at bore to specimen	flared without damaging specimen

^a See 8.2.2 or Table 2 for recommendations.

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

8.2.2 Specific Recommendations:

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

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

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

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

TABLE 2 Tensile Specimen Geometry Recommendations^a

Fiber Orientation	Width		Overall Length		Tab Length		Tab Thickness		Tab Bevel	
	mm [in.]	mm [in.]	mm [in.]	mm [in.]	mm [in.]	mm [in.]	mm [in.]	mm [in.]	mm [in.]	Angle, °
0°/unidirectional	13 [0.5]	250 [10.0]	1.0 [0.040]	30 [1.25]	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]	2.0 [0.100]	—	—	—				
random/discontinuous	25 [1.0]	250 [10.0]	2.0 [0.100]	—	—	—				

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

must be able to withstand significant compressive loads. Some types of energy 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]± 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:

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

where:
 L_{min} = minimum required bonded tab length, mm [in.];
 F^w = ultimate tensile strength of coupon material, MPa [psi];
 h = coupon thickness, mm [in.]; and
 F^w = 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 tolerated coupon drawing. Dimensionally tolerated 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 Method—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, 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.

FIG. 2 Tension Test Specimen Drawing (SI)

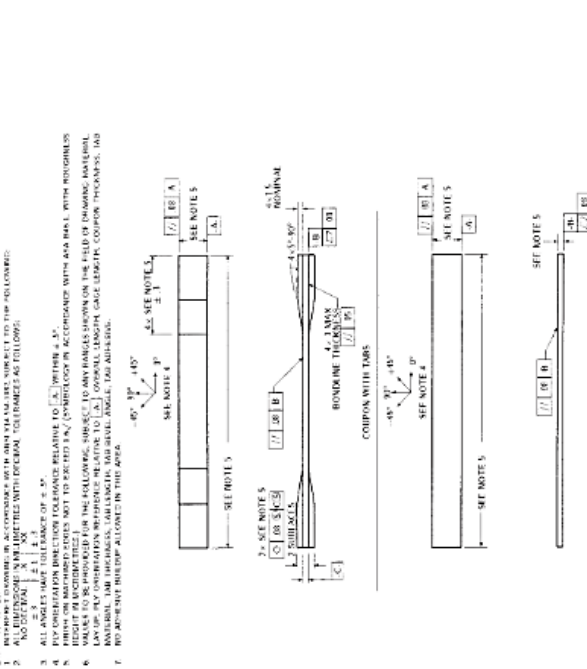


FIG. 2 Tension Test Specimen Drawing (SI)

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 measured 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 30 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

¹ T. Z. Patai, *Metallurg* 8:224 (1964), p. 129-5, available from National Composites Technology Center, 1000 N. 17th St., Phoenix, AZ 85016. Other equivalent types of energy cloth should also be suitable.

DRAWING NOTES:
 1. INTERPRET DRAWING IN ACCORDANCE WITH ANSI Y14.1M-1982, SUBJECT TO THE FOLLOWING:
 2. ALL DIMENSIONS UNLESS OTHERWISE SPECIFIED ARE IN INCHES.
 3. DIMENSIONS IN PARENTHESES ARE FOR INFORMATION ONLY.
 4. FINISH OR MACHINING TOLERANCES ARE TO BE DETERMINED BY THE FIELD OF DRAWING.
 5. MATERIAL AND FINISH SHALL BE AS SPECIFIED IN THE FOLLOWING: SUBJECT TO ANY CHANGES SHOWN ON THE FIELD OF DRAWING.
 6. MATERIAL: 1/4" (6.35 mm) THICKNESS, 1/4" (6.35 mm) LENGTH, 1/4" (6.35 mm) WIDTH, 1/4" (6.35 mm) THICKNESS, TAB MATERIAL, TAB THICKNESS, TAB LENGTH, TAB BEVEL ANGLE, TAB ADHESIVE THICKNESS, NO ADHESIVE BULGEUP ALLOWED IN THIS AREA.

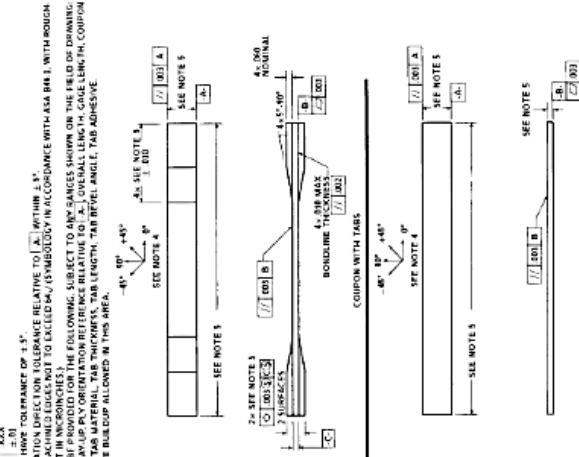


FIG. 3 Tension Test Specimen Drawing (inch-pound)

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

TABLE 3 Specimen Alignment and Chord Modulus Calculation Strain Ranges

Tensile Chord Modulus Calculation		Longitudinal Strain Checkpoint for Bending	
Start Point	End Point	Start Point	End Point
1000 ^μ	3000	1000 ^μ	2000

$\mu = 1000 \mu = 0.001$ absolute strain.
 For materials that fail below 6000 μ , a strain range of 20 to 30% of ultimate is recommended.

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

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

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 Failure*—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.

$$F^m = P^m/A \quad (6)$$

$$\sigma_t = P/A \quad (7)$$

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

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

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

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_e = 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.

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

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,

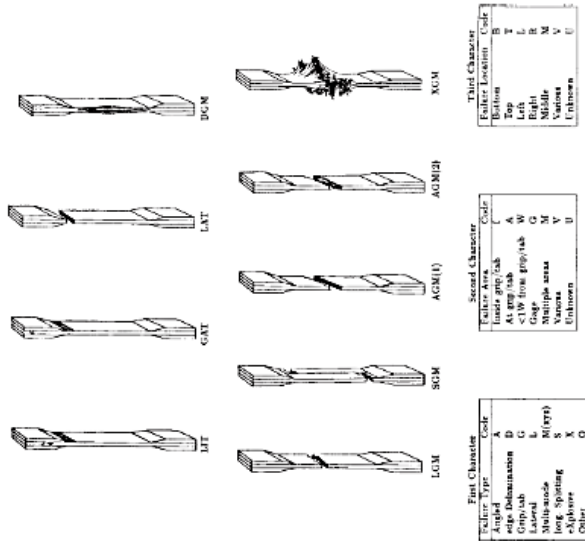


FIG. 4 Tensile Test Failure Codes/Typical Modes

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 gauges are being used, the error produced by the transverse sensitivity effect on the transverse gauge will generally be much larger for composites than for metals. An accurate measurement of Poisson's ratio requires correction for this effect. The correction factor 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

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

$$\nu = -\Delta\epsilon_T/\Delta\epsilon_L \quad (10)$$

where:
 ν = Poisson's ratio;
 $\Delta\epsilon_L$ = difference in lateral strain between the two longitudinal strain points of Table 3, in%; and
 $\Delta\epsilon_T$ = 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:

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

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

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

where:
 \bar{x} = sample mean (average);
 s_{x-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 purchaser).

- 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, low 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 traveler 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 gauges were used, the type, resistance, size, gauge 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.

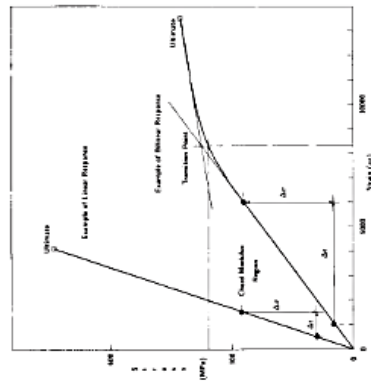


FIG. 5 Typical Tensile Stress-Strain Curves

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 suggests 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 gauges, 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 BM-6-2501-4 and tape 0108
- B BM-6-2501-4 and tape 0108
- C BM-6-2501-4 and tape 0108
- F Glass/epoxy fabric 17781
- G Glass/epoxy fabric 17781
- wrap aligned
- G Carbon/epoxy fabric 06108
- Carbon/epoxy fabric 06108

TABLE 4 Precision Statistics

Material	\bar{x}	s	S_p	S_p/\bar{x} , %	$S_p/2$, %
Strength, ksi					
A	342.69	8.49	10.68	12.78	3.12
B	8.32	0.32	0.85	9.94	10.84
C	156.27	3.84	10.82	11.69	3.34
F	121.26	1.29	3.32	3.32	3.23
G	121.26	1.29	3.32	3.32	3.23
Modulus, Msi					
A	21.37	0.63	0.86	2.69	3.60
B	0.06	0.04	0.08	12.47	13.02
C	12.38	0.29	0.37	0.44	2.58
F	3.95	0.08	0.04	0.09	1.01
G	9.47	0.16	0.12	0.20	1.29
Failure Strain, %					
A	1.36	0.05	0.07	0.68	4.95
B	0.06	0.04	0.08	12.47	13.02
C	1.22	0.03	0.06	0.06	5.23
F	2.04	0.15	0.07	0.16	3.19
G	1.27	0.03	0.05	0.05	3.83

14.1.8 The averages of the coefficients of variation are in Table 5. The values of S_p/\bar{x} and $S_p/2$ 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/\bar{x} , %	Average of $S_p/2$, %
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, material, composite materials, modulus of elasticity, Poisson's ratio, tensile properties, tensile strength

ASTM International takes no position regarding 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 it must be reviewed every five years and if necessary, revised. Your comments and suggestions for revision should be addressed to the responsible technical committee 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 19380-2928. Authorization to photocopy items for internal or personal use, or the internal or personal use of specific clients, is granted by ASTM International, provided that the base fee of \$10.00 plus \$.50 per page is paid directly to ASTM International, 1100 19th Street, Philadelphia, PA 19104, or through the ASTM website (www.astm.org).

Anexo 2. Norma ASTM D7264-2015 (ensayo de flexión)



Designation: D 7264/D 7264M – 07

Standard Test Method for Flexural Properties of Polymer Matrix Composite Materials¹

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

1. Scope

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

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

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

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

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

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

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

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:²

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

Polymer Matrix Composite Materials and Their Laminates

D 3878 Terminology for Composite Materials

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

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

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

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

E 4 Practices for Force Verification of Testing Machines

E 6 Terminology Relating to Methods of Mechanical Testing

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

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

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

E 456 Terminology Relating to Quality and Statistics

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

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

2.2 *Other Documents:*
ANSI Y14.5-1999 Dimensioning and Tolerancing—Includes Inch and Metric³
ANSI B46.1-1995 Surface Texture (Surface Roughness, Waviness and Lay)³

3. Terminology

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

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

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

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

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

3.2 Definitions of Terms Specific to This Standard:
 3.2.1 *flexural strength*, n —the maximum stress at the outer surface of a flexure test specimen corresponding to the peak applied force prior to flexural failure.
 3.2.2 *flexural modulus*, n —the ratio of stress range to corresponding strain range for a test specimen loaded in flexure.

3.3 Symbols:

- h = specimen width
- CV = sample coefficient of variation, in percent
- E_f^{bend} = flexural chord modulus of elasticity
- E_f^{tens} = 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
- P_{s-1} = sample standard deviation
- \bar{y}_i = measured or derived property
- \bar{y} = sample mean
- δ = mid-span deflection of the specimen
- ϵ = strain at the outer surface at mid-span of the specimen
- σ = stress at the outer surface at mid-span of the specimen

4. Summary of Test Method

- 4.1 A bar of rectangular cross section, supported as a beam, is deflected at a constant rate as follows:
 4.1.1 *Procedure A*—The bar rests on two supports and is loaded by means of a loading nose midway between the supports (see Fig. 1).
 4.1.2 *Procedure B*—The bar rests on two supports and is loaded at two points (by means of two loading noses), each an equal distance from the adjacent support point. The distance between the loading noses (that is, the load span) is one-half of the support span (see Fig. 2).
 4.2 Force applied to the specimen and resulting specimen deflection at the center of span are measured and recorded until the failure occurs on either one of the outer surfaces, or the deformation reaches some pre-determined value.
 4.3 The major difference between four-point and three-point loading configurations is the location of maximum bending moment and maximum flexural stress. With the four-point configuration the bending moment is constant between the central force application members. Consequently, the maximum flexural stress is uniform between the central force application members. In the three-point configuration, the maximum flexural stress is located directly under the center

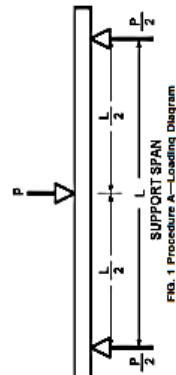


FIG. 1 Procedure A—Loading Diagram

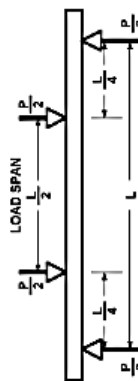


FIG. 2 Procedure B—Loading Diagram

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

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

5. Significance and Use

- 5.1 This test method determines the flexural properties (including strength, stiffness, and load/deflection behavior) of polymer matrix composite materials under the conditions defined. Procedure A is used for three-point loading and Procedure B is used for four-point loading. This test method was developed for optimum use with continuous-fiber-reinforced polymer matrix composites and differs in several respects from other flexure methods, including the use of a standard span-to-thickness ratio of 32:1 versus the 16:1 ratio used by Test Methods D 790 (a plastics-focused method covering three-point flexure) and D 6272 (a plastics-focused method covering four-point flexure).
 5.2 This test method is intended to interrogate long-beam strength in contrast to the short-beam strength evaluated by Test Method D 2344/D 2344M.
 5.3 Flexural properties determined by these procedures can be used for quality control and specification purposes, and may find design applications.
 5.4 These procedures can be useful in the evaluation of multiple environmental conditions to determine which are design drivers and may require further testing.
 5.5 These procedures may also be used to determine flexural properties of structures.

6. Interferences

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

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

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

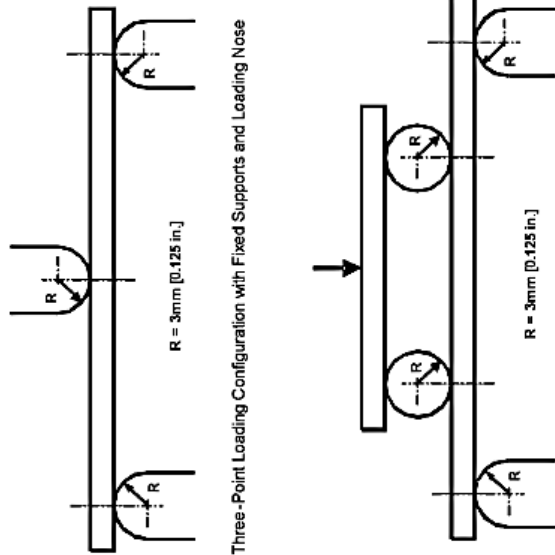
6.4 Loading noses may be fixed, rotatable or rolling. Typically, for testing composites, fixed or rotatable loading noses are used. The type of loading nose can affect results, since non-rolling paired supports on either the tension or compression side of the specimen introduce slight longitudinal forces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

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

7. Apparatus

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

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



Three-Point Loading Configuration with Fixed Supports and Loading Nose

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

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

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 tool 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 6850. 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 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.

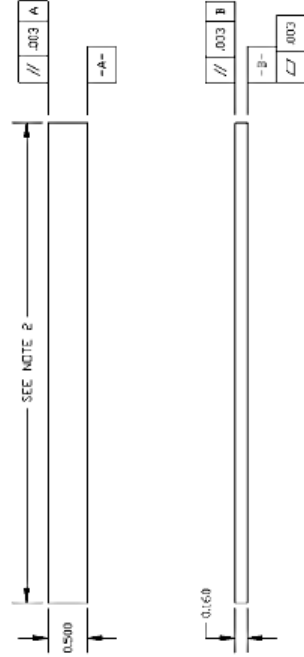


FIG. 5 Standard Flexural Test Specimen Drawing (Inch-Pound)

NOTE: 2—Drawing interpretation per ANSI Y14.5:1999 and ANSI B46.1:1995. Noms. 1—See 8.2 and 11.3 of this test standard for the required values of span and overall length.

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/D 5229M; 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.

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."

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

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

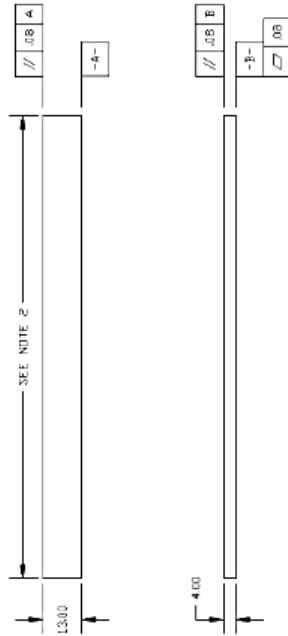


FIG. 4 Standard Flexural Test Specimen Drawing (SI)

NOTE: 1—Drawing interpretation per ANSI Y14.5:1999 and ANSI B46.1:1995. Noms. 2—See 8.2 and 11.3 of this test standard for the required values of span and overall length.

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 does 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 compensation (see Annex A2) adjustment must be made. This test compensation correction shall be made only when it has been shown that the slope of the curve due to the test fixture is significant, or the weight of the specimen and is not an authentic material response.

13.1 *Maximum Flexural Stress, Procedure A*—When a beam of homogeneous, 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):

$$\sigma = \frac{3PL}{2bh^2} \quad (1)$$

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 some test data and specification values up to the maximum fiber strain of 2.0 % if the test data are from a procedure that should be noted that the maximum ply strain does 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 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):

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

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

⁴For 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 337-56, 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	I	between Load and support nose	L	Right	R
Multi-mode	M(xyzi)	Unknown	U	Middle	M
Other	O			Various	V
				Unknown	U

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

13.1.1 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 deformable materials. 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 determinations.

13.1.2 *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):

$$E_{f,secant} = \frac{L \Delta \sigma}{4bh^3 \Delta \epsilon} \quad (6)$$

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.

$$E_{f,secant} = \frac{0.17L \Delta \sigma}{bh^3 \Delta \epsilon} \quad (7)$$

where $E_{f,secant}$, m , L , b , and h are the same as for Eq 6.
 13.1.3 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:

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

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

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

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

⁴For 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," *Composites Materials, Testing and Design (Third Conference)*, ASTM 337-56, 1974, pp. 226-262.

A1. MEASURING AND SETTING SPAN

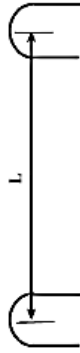


FIG. A1.1 Markings on Fixed Specimen Supports

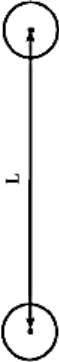


FIG. A1.2 Markings on Rotatable Specimen Supports

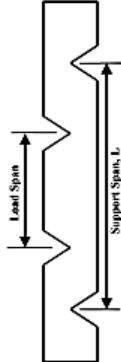


FIG. A1.3 Fixture Used to Align Loading Noses and Supports

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 Noses—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.

14. Report

- 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 load 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

A1. MEASURING AND SETTING SPAN

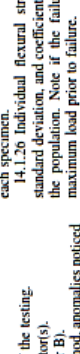


FIG. A1.1 Markings on Fixed Specimen Supports

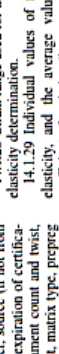


FIG. A1.2 Markings on Rotatable Specimen Supports

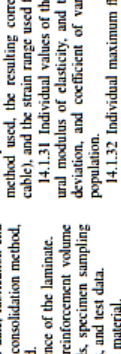


FIG. A1.3 Fixture Used to Align Loading Noses and Supports

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 Noses—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.

14. Report

- 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 load 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

A.1. 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 or 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 deflection at that point (G') on the curve can be divided by the slope of Line B'G'.

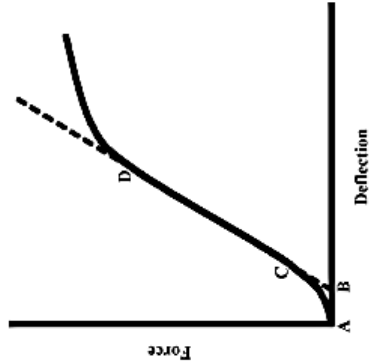


FIG. A2.1 Material with a Hookean Region

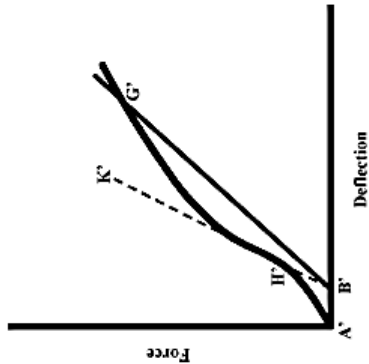


FIG. A2.2 Material without a Hookean Region

ASTM International takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard or the extent to which any patent rights may be claimed by any individual, organization, or company, or the risk of infringement or such rights, are solely 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 approved 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. If you do not attend a meeting of the committee, you may still submit written comments to the committee. 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 19380-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9883 (phone), 610-832-9855 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org).

Anexo 3. Norma NTE INEN ISO 179-2:2014 (ensayo de impacto charpy)

Foreword

ISO (the International Organization for Standardization) is a worldwide federation of national standards bodies (ISO member bodies). The work of preparing International Standards is normally carried out through ISO technical committees. Each member body interested in a subject for which a technical committee has been established has the right to be represented on that committee. International organizations, governmental and non-governmental, in liaison with ISO, also take part in the work. ISO collaborates closely with the International Electrotechnical Commission (IEC) on all matters of electrotechnical standardization.

International Standards are drafted in accordance with the rules given in the ISO/IEC Directives, Part 2.

The main task of technical committees is to prepare International Standards. Draft International Standards adopted by the technical committees are circulated to the member bodies for voting. Publication as an International Standard requires approval by at least 75 % of the member bodies casting a vote.

Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this document may be the subject of patent rights. ISO shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

ISO 179-1 was prepared by Technical Committee ISO/TC 61, *Plastics*, Subcommittee SC 2, *Mechanical properties*.

This second edition cancels and replaces the first edition (ISO 179-1:2000), which has been technically revised. The main changes are as follows:

- a new subclause (6.5) has been added, defining the span between the specimen supports and indicating a convenient position at which it can be measured;
- a new annex, Annex C, has been added, giving a method of measuring the radius of the notch in a notched specimen.

This second edition also incorporates the Amendment ISO 179-1:2000/Amd.1:2005.

ISO 179 consists of the following parts, under the general title *Plastics — Determination of Charpy impact properties*:

- *Part 1: Non-instrumented impact test*
- *Part 2: Instrumented impact test*

Plastics — Determination of Charpy impact properties — Part 1: Non-instrumented impact test

1 Scope

1.1 This part of ISO 179 specifies a method for determining the Charpy impact strength of plastics under defined conditions. A number of different types of specimen and test configurations are defined. Different test parameters are specified according to the type of material, the type of test specimen and the type of notch.

1.2 The method can be used to investigate the behaviour of specified types of specimen under the impact conditions defined and for estimating the brittleness or toughness of specimens within the limitations inherent in the test conditions. It can also be used for the determination of comparative data from similar types of material.

1.3 The method has a greater range of applicability than that given in ISO 180[1] and is more suitable for the testing of materials showing interlaminar shear fracture or of materials exhibiting surface effects due to environmental factors.

1.4 The method is suitable for use with the following range of materials:

- rigid thermoplastic moulding and extrusion materials (including filled and reinforced compounds in addition to unfilled types) and rigid thermoplastics sheets;
- rigid thermosetting moulding materials (including filled and reinforced compounds) and rigid thermosetting sheets (including laminates);
- fibre-reinforced thermosetting and thermoplastic composites incorporating unidirectional or multidirectional reinforcements (such as mats, woven fabrics, woven rovings, chopped strands, combination and hybrid reinforcements, rovings and milled fibres) or incorporating sheets made from pre-impregnated materials (prepregs), including filled and reinforced compounds;
- thermotropic liquid-crystal polymers.

1.5 Notched samples are not normally suitable for use with rigid cellular materials, long-fibre-reinforced composites or thermotropic liquid-crystal polymers. In these cases, unnotched samples may be used.

1.6 The method is suited to the use of specimens moulded to the chosen dimensions, machined from the central portion of a standard multipurpose test specimen (see ISO 3167) or machined from finished or semifinished products such as mouldings, laminates and extruded or cast sheet.

1.7 The method specifies preferred dimensions for the test specimen. Tests which are carried out on specimens of different dimensions or with different notches, or specimens which are prepared under different conditions, might produce results which are not comparable. Other factors, such as the energy capacity of the apparatus, the impact velocity and the conditioning of the specimens can also influence the results. Consequently, when comparative data are required, these factors must be carefully controlled and recorded.

1.8 The method should not be used as a source of data for design calculations. Information on the typical behaviour of a material can be obtained, however, by testing at different temperatures, by varying the notch radius and/or the specimen thickness and by testing specimens prepared under different conditions.

2 Normative references

The following referenced documents are indispensable for the application of this document. For dated references, only the edition cited applies. For undated references, the latest edition of the referenced document (including any amendments) applies.

- ISO 291, *Plastics — Standard atmospheres for conditioning and testing*
- ISO 293, *Plastics — Compression moulding of test specimens of thermoplastic materials*
- ISO 294-1, *Plastics — Injection moulding of test specimens of thermoplastic materials — Part 1: General principles, and moulding of multipurpose and bar test specimens*
- ISO 294-3, *Plastics — Injection moulding of test specimens of thermoplastic materials — Part 3: Small plates*
- ISO 295, *Plastics — Compression moulding of test specimens of thermosetting materials*
- ISO 1268-11, *Fibre-reinforced plastics — Methods of producing test plates — Part 11: Injection moulding of BMC and other long-fibre moulding compounds — Small plates*
- ISO 2602, *Statistical interpretation of test results — Estimation of the mean — Confidence interval*
- ISO 2818, *Plastics — Preparation of test specimens by machining*
- ISO 3167, *Plastics — Multipurpose test specimens*
- ISO 10724-1, *Plastics — Injection moulding of test specimens of thermosetting powder moulding compounds (PMCs) — Part 1: General principles and moulding of multipurpose test specimens*
- ISO 13802, *Plastics — Verification of pendulum impact-testing machines — Charpy, Izod and tensile impact-testing*

3 Terms and definitions

For the purpose of this document, the following terms and definitions apply.

3.1 Charpy unnotched impact strength

A_{CU} impact energy absorbed in breaking an unnotched specimen, referred to the original cross-sectional area of the specimen

NOTE It is expressed in kilojoules per square metre (kJ/m²).

3.2 Charpy notched impact strength

A_{CN} impact energy absorbed in breaking a notched specimen, referred to the original cross-sectional area of the specimen at the notch, where $N = A, B$ or C , depending on the notch type (see 6.3.1.1.2)

NOTE It is expressed in kilojoules per square metre (kJ/m²).

3.3 edgewise impact

e direction of blow parallel to the dimension b_1 , with impact on the narrow longitudinal surface $h \times l$ of the specimen (see Figure 1, left, and Figures 2 and 4)

3.4 flatwise impact

f direction of blow parallel to the dimension h_1 , with impact on the broad longitudinal surface $h \times l$ of the specimen (see Figure 1, right, and Figures 3 and 4)

3.5 normal impact

n (lamina-reinforced plastics) impact with the direction of blow normal to the plane of reinforcement (see Figure 4)

3.6 parallel impact

p (lamina-reinforced plastics) impact with the direction of blow parallel to the plane of reinforcement (see Figure 4)

4 Principle

The test specimen, supported near its ends as a horizontal beam, is impacted by a single blow of a striker, with the line of impact midway between the supports, and bent at a high, nominally constant, velocity.

In the case of edgewise impact with notched specimens, the line of impact is directly opposite the single notch (see Figure 1, left, and Figure 2).

5 Apparatus

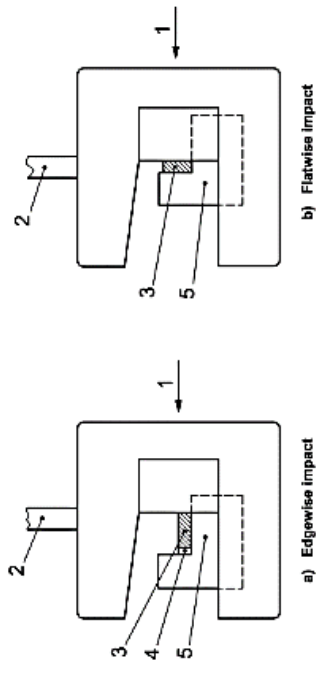
5.1 Test machine

The principles, characteristics and verification of suitable test machines are detailed in ISO 13802.

ISO 13802 describes partial verification and full verification. In the case of full verification, some items are difficult to verify when the apparatus is assembled. Such verifications are assumed to be incumbent on the manufacturer.

5.2 Micrometers and gauges

Micrometers and gauges capable of measuring the essential dimensions of test specimens to an accuracy of 0.02 mm are required. For measuring the dimension b_1 of notched specimens, the micrometer shall have a spindle with a measuring tip having a suitable profile to fit the shape of the notch.



Key
 1 direction of blow
 2 rod of pendulum
 3 test specimen
 4 notch
 5 support

Figure 1 — Striking edge and support blocks for type 1 test specimen at moment of impact

6 Test specimens

6.1 Preparation

6.1.1 Moulding and extrusion compounds

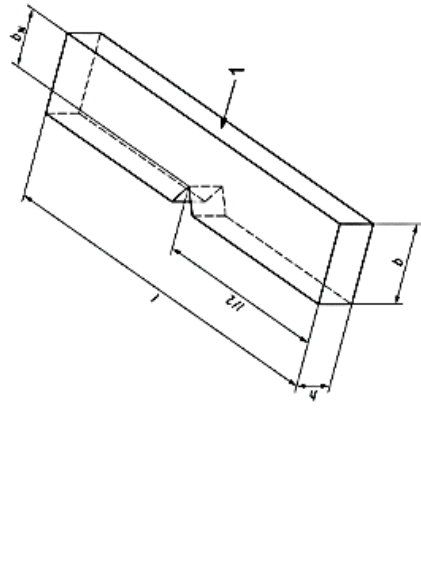
Specimens shall be prepared in accordance with the relevant material specification. The specimens shall be either directly compression moulded in accordance with ISO 293 or ISO 295 or injection moulded from the material in accordance with ISO 294-1, ISO 294-3 or ISO 10724-1, as appropriate, or machined in accordance with ISO 2818 from sheet that has been compression or injection moulded from the compound. Type 1 specimens may be cut from multipurpose test specimens complying with ISO 3167, type A.

6.1.2 Sheets

Specimens shall be machined from sheets in accordance with ISO 2818.

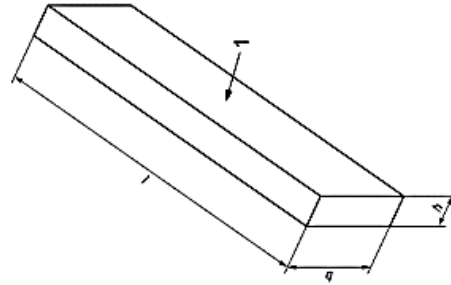
6.1.3 Long-fibre-reinforced materials

A panel shall be prepared in accordance with ISO 1268-11 or another specified or agreed upon preparation procedure. Specimens shall be machined in accordance with ISO 2818.



Key
 1 direction of blow

Figure 2 — Charpy edgewise impact (e) with single-notched specimen



Key
 1 direction of blow

Figure 3 — Charpy flatwise impact (f)

6.3 Shape and dimensions

6.3.1 Materials not exhibiting interlaminar shear fracture

6.3.1.1 Moulding and extrusion compounds

6.3.1.1.1 Type 1 test specimens, unnotched or with one of three different types of notch, shall be used as specified in Tables 1 and 2 and shown in Figures 2 and 5. The notch shall be located at the centre of the specimen. Type 1 specimens (see Table 1) may be taken from the central part of the type A multipurpose test specimen specified in ISO 3167.

Table 1 — Specimen types, specimen dimensions and spans between specimen supports (see Figures 2 and 6)

Specimen type	Length ^a <i>l</i>	Width ^a <i>b</i>	Thickness ^a <i>h</i>	Span	
				<i>L</i>	<i>l</i>
1	80 ± 2	10,0 ± 0,2	4,0 ± 0,2	62 ^b ± 0,3	—
2 ^c	25 ^d	10 or 15 ^e	3 ^d	20 ^h	Bi or Bi1
3 ^b	11 ⁱ or 13 ⁱ	—	—	—	—

a The specimen dimensions, (thickness, *h*, width, *b*, and length, *l*) are defined by $h < b < l < L$.

b Specimen types 2 and 3 shall be used only for materials described in 6.3.2.

c 10 mm for materials reinforced with a fine structure, 15 mm for those with a large stitch structure (see 6.3.2.2).

d Preferred thickness. If the specimen is cut from a sheet or a piece, *h* shall be equal to the thickness of the sheet or piece, up to 10,2 mm (see 6.3.1.2).

Table 2 — Method designations, specimen types, notch types and notch dimensions — Materials not exhibiting interlaminar shear fracture

Method designation ^a	Specimen type	Blow direction	Notch type	Notch tip radius, <i>r_N</i> (see Figure 5)	Dimensions in millimetres	
					Remaining width, <i>w_N</i> , at notch tip (see Figure 2)	Remaining width, <i>w_N</i> , at notch tip (see Figure 2)
ISO 179-1/1eA ^b	1	Edgewise	A	0,25 ± 0,05	8,0 ± 0,2	8,0 ± 0,2
ISO 179-1/1eB			B	1,00 ± 0,05	8,0 ± 0,2	8,0 ± 0,2
ISO 179-1/1eC			C	0,10 ± 0,02	8,0 ± 0,2	8,0 ± 0,2
ISO 179-1/1eJ ^b	1	Flatwise	Unnotched			
ISO 179-1/1eK ^c			Unnotched			

a If specimens are taken from sheet or products, the thickness of the sheet or product shall be added to the designation. Unreinforced specimens shall not be tested with their machined surface under tension.

b Preferred method.

c Especially for the study of surface effects (see 6.3.1.3).

6.3.1.1.2 The preferred type of notch is type A (see Table 2 and Figure 5). For most materials, unnotched specimens or specimens with a single type A notch tested by edgewise impact (see 3.3) are suitable. If specimens with a type A notch do not break during the test, specimens with a type C notch shall be used. If information on the notch sensitivity of the material is desired, specimens with notch types A, B and C shall be tested.

6.3.1.3 Unnotched or double-notched specimens tested by flatwise impact (see 3.4) can be used to study surface effects (see 1.3 and Annex A).

6.3.1.2 Sheet materials

The recommended value of the thickness, *h*, is 4 mm. If the specimen is cut from a sheet or a piece taken from a structure, the thickness of the specimen, up to 10,2 mm, shall be the same as the thickness of the sheet or the structure.

Specimens taken from pieces thicker than 10,2 mm shall be machined to (10 ± 0,2) mm from one surface, provided that the sheet is homogeneous in its thickness and contains only one type of reinforcement uniformly distributed. If unnotched or double-notched specimens are tested by flatwise impact, the original surface shall be tested under tension.

6.3.2 Materials exhibiting interlaminar shear fracture (e.g. long-fibre-reinforced materials)

6.3.2.1 Unnotched specimens of type 2 or 3 are used. Apart from the thickness, the specimen dimensions are not specified. The most important parameter is the ratio of the span between the specimen supports to the specimen dimension in the direction of the blow (see Table 1).

Usually specimens are tested in the normal direction (see Figure 4).

6.3.2.2 "Flatwise normal" testing (see Figure 4): the width of specimen shall be 10 mm for materials reinforced with a fine structure (thin fabrics and parallel yarns) and 15 mm for materials reinforced with a large stitch structure (rowing fabrics) or an irregularly manufactured structure.

6.3.2.3 "Edgewise parallel" testing (see Figure 4): when testing specimens in the parallel direction, the specimen dimension perpendicular to the blow direction shall be the thickness of the sheet from which the specimen was cut.

6.3.2.4 The length, *l*, of the specimen shall be chosen to give a span-to-thickness ratio, *L/h*, of 20 for type 2 specimens and 6 for type 3 specimens although, if the apparatus does not allow a ratio *L/h* = 6, a ratio *L/h* = 5 may be used, especially for thin sheets, as indicated in Table 1.

6.3.2.5 With type 2 specimens, tensile-type failure occurs; with type 3 specimens, interlaminar shear failure of the sheet usually occurs. The different types of failure which can occur are summarized in Table 3.





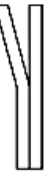

NOTE In some cases (thin-fabric reinforcement), shear failure does not occur. In the case of type 3 specimens, the fracture starts as a single or multiple shear failure and continues as tensile failure.

6.4 Number of test specimens

6.4.1 Unless otherwise specified in the standard for the material being tested, a set consisting of 10 specimens shall be tested. When the coefficient of variation (see ISO 2602) has a value of less than 5 %, a minimum number of five test specimens is sufficient.

6.4.2 If laminates are tested in the normal and parallel directions, 10 specimens shall be used for each direction.

Table 3 — Method designation and specimen types — Materials exhibiting interlaminar shear fracture

Method designation	Specimen type	L/h	Type of failure	Schematic
ISO 179-1/2 n or p ^a	2	20	Tension	
			Compression	
			Buckling	
ISO 179-1/3 n or p ^a	3	6 or 8	Shear	
			Multiple shear	
			Shear followed by tensile fracture	

^a "n" is the normal direction and "p" is the parallel direction with respect to the shear plane (see Figure 4).

6.5 Definition of span between specimen supports, L

The span between the specimen supports, L, is defined as the distance between the lines of contact of the specimen with the supports. Figure 6 shows the span, L, and a suitable way in which it can be calculated by measuring the radius of the supports and the distance between them.

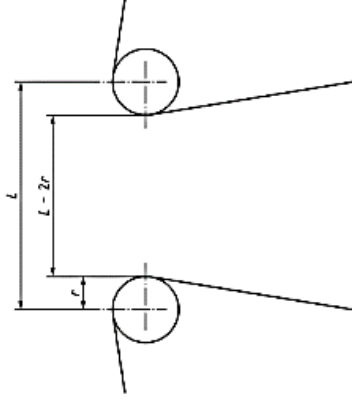


Figure 6 — Span, L, and suitable measurement position

6.6 Conditioning

Unless otherwise specified in the standard for the material under test, the specimens shall be conditioned for at least 16 h at (23 ± 2) °C and (50 ± 5) % relative humidity in accordance with ISO 2911, unless other conditions are agreed upon by the interested parties. In the case of notched specimens, the conditioning time is after notching.

7 Procedure

7.1 Conduct the test in the same atmosphere as that used for conditioning, unless otherwise agreed upon by the interested parties, e.g. for testing at high or low temperatures.

7.2 Measure the thickness, A, and width, h, of each test specimen. In the centre, to the nearest 0,02 mm. In the case of notched specimens, carefully measure the remaining width, h_N, to the nearest 0,02 mm.

In the case of injection-moulded specimens, it is not necessary to measure the dimensions of each specimen. It is sufficient to measure one specimen from a set to make sure that the dimensions correspond to those in Table 1. With multiple-cavity moulds, ensure that the dimensions of the specimens are the same for each cavity.

Check the span between the specimen supports and adjust it, if necessary, in accordance with Table 1 and 6.5.

7.3 Check that the impact machine is able to perform the test with the specified velocity of impact and that it is in the correct range of absorbed energy, J₀, which shall be between 10 % and 80 % of the available energy at impact, L. If more than one of the pendulums conform to these requirements, the pendulum having the highest energy shall be used.

7.4 Determine the frictional losses and correct the absorbed energy in accordance with ISO 13802.

7.5 Lift the pendulum to the prescribed height and support it. Place the specimen on the supports in the machine in such a manner that the striking edge will hit the centre of the specimen. Carefully align notched specimens so that the centre of the notch is located directly in the plane of impact (see Figure 1, left).

7.6 Release the pendulum. Record the impact energy absorbed by the specimen and apply any necessary corrections for frictional losses, etc. (see 7.4).

7.7 For moulding and extrusion compounds, four types of failure, designated by the following code-letters, can occur:

- C** complete break: a break in which the specimen separates into two or more pieces
- H** hinge break: an incomplete break such that both parts of the specimen are held together only by a thin peripheral layer in the form of a hinge having low residual stiffness
- P** partial break: an incomplete break that does not meet the definition for hinge break
- N** non-break: there is no break, and the specimen is only distorted, possibly combined with stress whitening

8 Calculation and expression of results

8.1 Unnotched specimens

Calculate the Charpy impact strength of unnotched specimens, a_{CU} , expressed in kilojoules per square metre, using the following equation:

$$a_{CU} = \frac{E_C}{h \cdot b} \times 10^3 \quad (1)$$

where

E_C is the corrected energy, in joules, absorbed by breaking the test specimen;

h is the thickness, in millimetres, of the test specimen;

b is the width, in millimetres, of the test specimen.

8.2 Notched specimens

Calculate the Charpy impact strength of notched specimens, a_{CN} , expressed in kilojoules per square metre, with notches A, B or C, using the following equation:

$$a_{CN} = \frac{E_C}{h \cdot h_N} \times 10^3 \quad (2)$$

where

E_C is the corrected energy, in joules, absorbed by breaking the test specimen;

h is the thickness, in millimetres, of the test specimen;

h_N is the remaining width, in millimetres, of the test specimen.

8.3 Statistical parameters

Calculate as the test result the arithmetic mean of the individual test results and, if required, the standard deviation of the mean value, using the procedure given in ISO 2602. For each type of failure within one sample, the relevant numbers of specimens shall be given and mean values shall be calculated.

8.4 Significant figures

Report all calculated mean values to two significant figures.

9 Precision

See Annex B.

10 Test report

The test report shall include the following information:

- a) a reference to this part of ISO 179;
- b) the method used, designated in accordance with Table 2, e.g.:

Charpy impact test
 Specimen type (see Table 1) ISO 179-1/ 1 e A
 Direction of blow (see Figure 4)
 Type of notch (see Figure 5)
 or in accordance with Table 3, e.g.:

Charpy impact test
 Specimen type (see Table 1) ISO 179-1/ 2 n
 Direction of blow (see Figure 4)

- c) all information necessary for identification of the material tested, including type, source, manufacturer's code, grade and history, where these are known;
- d) a description of the nature and form of the material, i.e. whether a product, semifinished product, test plate or specimen, and including principal dimensions, shape, method of manufacture, etc., where these are known;
- e) the velocity of impact;
- f) the nominal pendulum energy;
- g) the method of test specimen preparation;
- h) if the material is in the form of a product or a semifinished product, the orientation of the test specimen in relation to the product or semifinished product from which it was cut;
- i) the number of specimens tested;
- j) the standard atmosphere used for conditioning and testing, plus any special conditioning treatment if required by the standard for the material or product;

- k) the type(s) of failure observed;
- l) the individual test results, presented as follows (see also Table 4):
 - 1) group the results according to the three basic types of failure:
 - C complete break, including hinge break H
 - P partial break
 - N non-break.
 - 2) select the most frequent type and record the mean value, \bar{x} , of the impact strength as the test result for this type of failure, followed by the letter C or P for the type of failure;
 - 3) if the most frequent failure type is N, record the letter N only;
 - 4) add (between brackets) the letter C, P or N for the second most frequent failure type, but only if its frequency is higher than 1/3 (if not relevant, insert an asterisk);
- m) the standard deviations of the mean values, if required;
- n) the date(s) of testing.

Table 4 — Presentation of results

C	Type of failure		Designation
	P	N	
x	*	*	xC*
x	(P)	*	xC(P)
x	*	(N)	xC(N)
*	x	*	xP*
(C)	x	*	xP(C)
*	x	(N)	xP(N)
*	*	N	N*
(C)	*	N	N(C)
*	(P)	N	N(P)

x Mean value of impact strength for most frequent failure type, excluding type N.
 C, P or N Most frequent failure type.
 (C), (P) or (N) Second most frequent failure type, to be recorded only if its frequency is higher than 1/3.
 * Not relevant.

Annex A
(informative)

Additional methods for investigating the influence of surface effects

The following additional methods with double V-notches can be used for materials described in 6.3.1.

If the influence of surface effects on moderate- or high-impact materials is to be measured, flatwise impact may be used with double V-notches. Two notches are made perpendicular to the line of impact. The length of each notch is h , as shown in Figure A.1.

Table A.1 — Parameters for tests on double-notched specimens

Method designation ^a	Specimen type	Blow direction	Notch type	Notch tip radius, r_N	Dimensions in millimetres	
					Double notch	Remaining width, h_N at notch tip
ISO 179-1/1A	1	Flatwise	A	0,25 ± 0,05	6,0 ± 0,2	
ISO 179-1/1B	1	Flatwise	B	1,00 ± 0,05	6,0 ± 0,2	
ISO 179-1/1C	1	Flatwise	C	0,10 ± 0,02	6,0 ± 0,2	

^a If specimens are taken from sheets or products, the thickness of the sheet or product shall be added to the designation.

Annex B (informative) Precision data

B.1 General

B.1.1 Tables B.1 and B.2 are based on round robins... performed in accordance with ASTM E691. For each material, all the test bars were prepared by one source, except for notching. Notches were verified by the laboratory responsible for specimen distribution. Tables B.1 and B.2 are presented by analysis, day 1 and day 2. Each analysis is based on participating laboratories testing 10 specimens of each material. One specimen (determination) is a test result for calculating the statistics as per ASTM E691 statistical software.

B.1.2 Table B.1 is based on a round robin involving nine laboratories and three materials and Table B.2 is based on a round robin involving seven laboratories and two materials. The laboratories and materials were grouped by the required velocity (2.9 m/s or 3.8 m/s) due to the difficulty in finding laboratories that had the necessary pendulums to carry out testing at both velocities.

NOTE The following explanations of r and R (see Clause B.2) are only intended to present a meaningful way of considering the approximate precision of this test method. The data in Tables B.1 and B.2 are not intended to be rigorously applied to acceptance or rejection of material, as those data are specific to the round robin and might not be representative of other lots, conditions, materials or laboratories. Users of this test method are recommended to apply the principles of ASTM E691 to generate data specific to their laboratory and materials, or between specific laboratories. The principles of Clause B.2 would then be valid for such data.

B.2 Concept of r and R

If s and sr have been calculated from a large enough body of data, and for test results that were from one test determination, then:

For the repeatability, r (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.

For the reproducibility, R (comparing two results for the same material, obtained by different operators using different equipment on different days), the two test results should be judged not equivalent if they differ by more than the R-value for that material.

Any judgment in accordance with the above would have an approximately 95 % (0.95) probability of being correct.

- 1) Supporting data are available from the Secretariat of TC 61/SC 2 at AENOR.

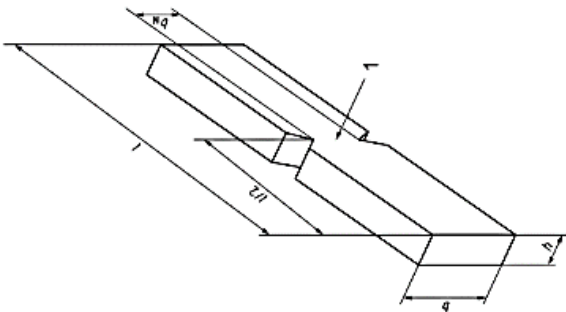


Figure A.1 — Double-notched specimen

Key 1 direction of blow

Table B.1 — Precision data for Charpy impact at 2,9 m/s

All values in kJ/m²

Material	Average	s_y^a	s_x^b	r^c	R^d
Day 1					
ABS	13,48	0,47	1,96	1,32	5,21
GF-PBT	8,52	0,81	1,27	1,71	3,55
Polypropylene	10,48	0,63	1,58	1,77	4,43
Day 2					
ABS	13,44	0,45	1,90	1,25	5,31
GF-PBT	8,54	0,60	1,29	1,68	3,62
Polypropylene	10,60	0,65	1,45	1,82	4,06

^a s_y is the within-laboratory standard deviation.
^b s_x is the between-laboratory standard deviation.
^c $r = 2,83 s_y$
^d $R = 2,83 s_x$

Table B.2 — Precision data for Charpy impact at 3,8 m/s

All values in kJ/m²

Material	Average	s_y^a	s_x^b	r^c	R^d
Day 1					
Polycarbonate	91,69	5,30	6,37	14,85	23,43
Polyurethane	94,33	5,37	6,21	15,03	17,38
Day 2					
Polycarbonate	91,72	3,85	6,49	10,78	18,16
Polyurethane	92,39	6,32	7,86	17,69	22,00

^a s_y is the within-laboratory standard deviation.
^b s_x is the between-laboratory standard deviation.
^c $r = 2,83 s_y$
^d $R = 2,83 s_x$

Annex C (informative)

Determining the notch tip radius using a CCD microscope

C.1 The Charpy test result is sometimes very sensitive to the radius of the notch tip. In such cases, it is necessary for the radius to be measured accurately. This annex illustrates the effect of notch tip radius on the Charpy impact strength and describes the CCD microscope method as a suitable way of measuring the notch radius.

C.2 Figure C.1 shows the effect of the notch radius on the Charpy impact strength of four types of plastics material.

C.3 Table C.1 compares three methods of determining the notch radius.

C.4 Figure C.2 shows a CCD microscope and a view of a typical notch. The notch radius can be determined from measurements at three points, using the following equations:

$$x^2 + y^2 + ax + by + c = 0$$

$$(x + a/2)^2 + (y + b/2)^2 = a^2/4 + b^2/4 - c$$

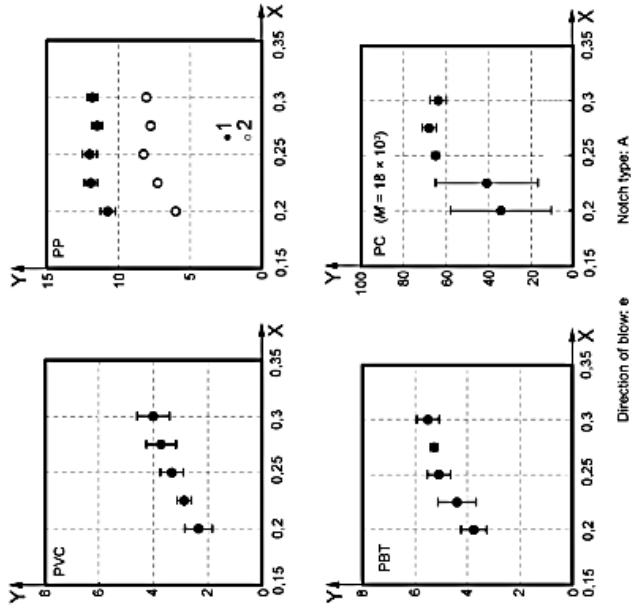
$$r_N = (a^2/4 + b^2/4 - c)^{1/2}$$

where

x and y are the x - and y -coordinates of a point;

a , b and c are constants;

r_N is the notch radius.



Key
 X notch lip radius (mm)
 Y impact strength (kJ/m²)
 1 PP block copolymer
 2 PP homopolymer

Figure C.1 — Effect of notch lip radius on Charpy impact strength

Table C.1 — Methods for determining the notch lip radius

Method	Principle	Determination	Procedure	Detection capability mm	Remarks
Digital-microscope method	Optical CCD microscope Simply, good precision	Digital	Notch profile obtained using CCD microscope (magnification $\times 100$ to $\times 600$). Radius calculated by digital processing (see Clause C.4).	1/1 000	Operation is quick and simple. Superior depth of field is beneficial for 3D image measurement.
Comparator method (ASTM D6110)	Optical comparison with template Indirect method, not simple	Comparison	Magnified image compared with a transparent template (prepared in advance) to determine whether notch lip radius falls within a specified range.	1/100	Method does not determine actual value of radius.
Stylus instrument method	Physical outline traces of notch with needle Simple but affected by vibration	Digital	Stylus used to explore surface of specimen and acquire notch profile. Radius calculated by digital processing.	1/1 000	Stylus is susceptible to vibration. Burr in notch can cause errors.

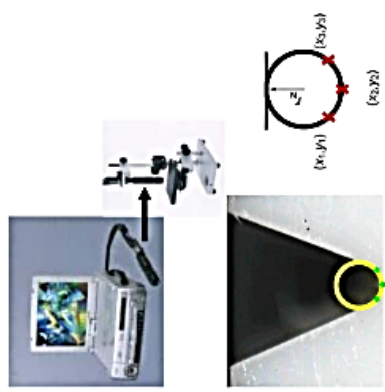


Figure C.2 — Typical CCD microscope and view of a typical notch

Anexo 4. Norma ASTM D1435-99 (exposición a intemperie)



Designation: D 1435 – 99

Standard Practice for Outdoor Weathering of Plastics¹

This standard is issued under the fixed designation D 1435; 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 approval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or approval.

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

1. Scope

1.1 This practice is intended to cover procedures for the exposure of plastic materials to weather.

NOTE 1—See Practice G 24 for aging under glass.

1.2 This practice is limited to the method by which the material is to be exposed and the general procedure to be followed. It is intended for use with finished articles of commerce as well as with all sizes and shapes of test specimens.

1.3 Means of evaluation of the effects of weathering will depend on the intended use for the test material.

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

1.5 *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.*

NOTE 2—This standard and ISO 877.2-1991, Method A, are technically equivalent.

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:

- D 883 Terminology Relating to Plastics²
- D 1600 Terminology for Abbreviated Terms Relating to Plastics²
- D 1898 Practice for Sampling of Plastics³
- E 772 Terminology Relating to Solar Energy Conversion⁴
- E 824 Test Method for Transfer of Calibration from Reference to Field Radiometers⁵

¹ This practice is under the jurisdiction of ASTM Committee D-20 on Plastics and is the direct responsibility of Subcommittee D20.50 on Permanence Properties. Current edition approved Nov. 10, 1999. Published February 2000. Originally published as D 1435 – 56 T. Last previous edition D 1435 – 94.

² Annual Book of ASTM Standards, Vol 08.01.

³ Discontinued 1998. See 1998 Annual Book of ASTM Standards, Vol 08.01.

⁴ Annual Book of ASTM Standards, Vol 12.02.

⁵ Annual Book of ASTM Standards, Vol 14.04.

E 913 Method for Calibration of Reference Pyranometers with Axis Vertical by the Shading Method⁵

E 941 Test Method for Calibration of Reference Pyranometers with Axis Tilted by the Shading Method⁵

G 7 Practice for Atmospheric Environmental Exposure Testing of Nonmetallic Materials⁵

G 24 Practice for Conducting Exposures to Daylight Filtered Through Glass⁵

G 84 Practice for Measurement of Time-of Wetness on Surfaces Exposed to Wetting Conditions as in Atmospheric Corrosion Testing⁶

G 113 Terminology Relating to Natural and Artificial Weathering Tests of Nonmetallic Materials⁵

G 141 Guide for Addressing Variability in Exposure Testing on Nonmetallic Materials⁵

G 147 Practice for Conditioning and Handling of Nonmetallic Materials for Natural and Artificial Weathering Tests⁵

2.2 ISO Standard:

ISO 877.2-1991 Method A, Methods for Exposure to Direct Weathering, to Weathering Using Glass-Filtered Daylight, and to Intensified Weathering Using Fresnel Mirrors⁷

3. Terminology

3.1 *Definitions*—For definitions of technical terms pertaining to plastics used in this practice, see Terminologies D 883, D 1600, G 113, and E 772.

4. Significance and Use

4.1 Tests conducted in accordance with this practice are used to evaluate the stability of plastic materials when they are exposed outdoors. The relative durability of plastics in outdoor use can be very different depending on the location of the exposure because of differences in ultraviolet (UV) radiation, time of wetness, temperature, pollutants, and other factors. It cannot be assumed, therefore, that results from one exposure in a single location will be useful for determining relative durability in a different location. Exposures in several locations

⁶ Annual Book of ASTM Standards, Vol 03.02.

⁷ Available from American National Standards Institute, 11 W. 42nd St., 13th Floor, New York, NY 10036.

with different climates that represent a broad range of anticipated service conditions are recommended.

4.1.1 Because of year-to-year climatological variations, results from a single exposure test cannot be used to predict the absolute rate at which a material degrades. Several years of repeat exposures are needed to get an average test result for a given location.

4.2 The results of short-term exposure tests can provide an indication of relative outdoor performance, but they should not be used to predict the absolute long-term performance of a material. The results of tests conducted for less than 12 months will depend on the particular season of the year in which they begin.

5. Apparatus

5.1 The test site shall conform to the requirements of Practice G 7. Unless otherwise specified, position exposure racks so that they face the equator. The angle of the exposure rack relative to the horizontal can vary depending upon the end-use conditions that are being evaluated.

Note 3—Test sites at latitudes less than 23°27' from the equator in either hemisphere will have a period during the year when the declination of the sun will exceed the latitude of the site.

5.1.1 *At-Latitude Racks*—These racks shall be adjusted such that the exposed surfaces are at an angle from the horizontal corresponding exactly to the site latitude angle (*Note 4*).

Note 4—At-latitude exposure provides maximum annual total solar-radiant exposure at most non-subtropical sites. In most non-desert areas, however, maximum annual ultraviolet-radiant exposure is provided by exposure at an angle of the latitude angle minus 10°.

5.1.2 *45° Racks*—These racks shall be adjusted such that the exposed surfaces of specimens are at an angle of 45° to the horizontal.

5.1.3 *90° Racks*—These racks shall be adjusted such that the exposed surfaces of specimens are at an angle of 90° to the horizontal.

5.1.4 *Horizontal Racks*—These racks shall be positioned such that the exposed surfaces of the specimens are horizontal (*Note 5*).

Note 5—To provide moisture runoff for most horizontal-type testing of plastics, 5° south exposure is usually preferred. However, plastic roofing membranes, artificial turf, and other plastics that may be exposed at horizontal in their end-use condition should be exposed at 0° horizontal.

5.1.5 *Other-Angle Racks*—These racks shall be adjusted such that the exposed surfaces of specimens are at a tilt angle mutually agreed upon between the interested parties.

5.2 *Materials and Manner of Construction*—Test racks and hardware shall conform to the requirements of Practice G 7 and shall provide for attachment of specimens or holders of any convenient width and length. The structural members of the test racks shall not constitute a backing to the specimens under test. Fasteners used to attach specimens to the test rack shall provide for secure attachment but allow specimens to expand or contract with thermal changes, moisture absorption or desorption, or plasticizer loss.

5.3 *Specimen Holders*:

5.3.1 Most specimens under test will not be of an exact size for mounting directly on the frame. Specimen holders should be used to support the many sizes of specimens involved in this testing. In no case shall the specimen holder constitute a backing for that portion of the material to be evaluated.

5.3.2 The specimen holders shall be constructed of an inert material. (Aluminum extruded shapes have been found to be suitable.)

5.3.3 The design of the specimen holders shall be such that each specimen or sheet in a holder cannot shift its position, yet is not constrained (that is, it is free to expand or contract with thermal changes, swell because of moisture absorption, or shrink because of plasticizer loss).

5.3.4 *Frame Holders*—These holders are in the shape of a frame that may be subdivided as necessary to provide proper spacing of the specimens. The exposure aperture of each frame shall be of sufficient size to expose the entire test area of each specimen when sufficient specimens are contained.

5.3.5 *Plate Holders*—This type of holder is a universal panel consisting of a slotted-aluminum plate on which electrical white glass porcelain insulators⁶ are mounted at proper positions to affix various-sized specimens. The specimens are mounted in the grooves of the insulators at a fixed distance of 11 mm from the slotted back plate. The insulators provide inert mounting while the slotted plate permits free circulation of air behind the specimen. This method of mounting is shown in Fig. 1.

5.4 *Instruments for Measuring Climatological Data*:

5.4.1 *Instruments Used to Measure Ambient Temperature and Relative Humidity*—Instruments and procedures used for measurement of ambient temperature and relative humidity shall be in accordance with Practice G 7.

5.4.2 *Instruments Used to Measure Solar Radiation*—Instruments and calibration procedures used for measurement of total solar radiation, total solar ultraviolet radiation, or narrow band solar ultraviolet radiation shall be in accordance with Practice G 7.

6. Sampling

6.1 Sampling shall be in accordance with the pertinent considerations outlined in Practice D 1898.

7. Test Specimens

7.1 Exposure test specimens may be of any size or shape that can be mounted in a holder or applied directly to the racks. They may be specimens suited to the means of evaluating the effects of weathering on a specific physical property, or they may be larger specimens from which smaller specimens for evaluation may be cut. Exposure test specimens should be large enough that mounting edges may be removed where evaluation test results would otherwise be affected.

7.2 As far as practical, exposure test specimens shall simulate service conditions of an end-use application. All materials of an unknown end use application will normally be run in an

⁶ A satisfactory insulator for this purpose is Catalog No. 613160, Special No. 8 Knob, dry-process, porcelain insulator, available from Porcelain Products, Carey, OH.

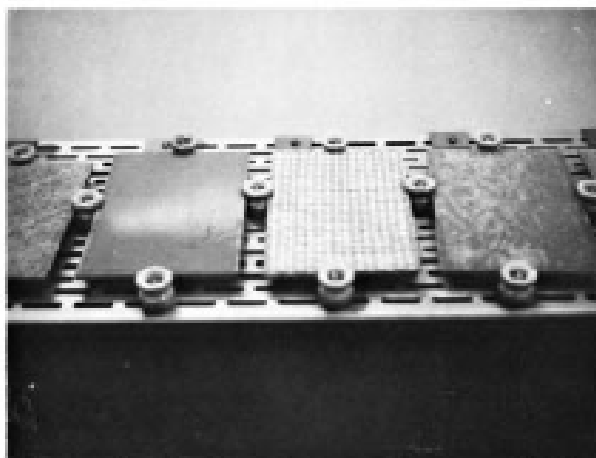


FIG. 1 Suitably Mounted Samples

unbacked condition. When conditions of use are known, the specimen exposed will consist of the plastic material being evaluated plus suitable backing materials to conform to projected practice. The effect of backing is highly significant and contributes to the degradation as a function of reflectance, heat absorption, moisture retention, etc. It shall always be used in relation to an end-use system rather than as a standard mounting method.

7.3 The use of at least two replicates of each experimental material being evaluated is recommended in order to allow for variability.

7.4 The total number of specimens will be determined by the removal schedule and number of replicates plus file specimens. These file specimens shall be retained at conditions of $23.0 \pm 5^\circ\text{C}$ and $50 \pm 20\%$ relative humidity. They shall be covered with inert wrapping to exclude light exposure during the exposure period.

8. Test Sites

8.1 Weathering racks shall be located in cleared areas, preferably at a suitable number of climatologically different sites representing the variable conditions under which the plastic product will be used. Climatological variations within these areas may include those represented by desert, seashore (salt air), industrial locations, tropical, and subtropical regions, plus areas exhibiting a wide range in solar radiant energy. The area beneath and in the vicinity of the weathering racks should be typical of the ground cover in that climatological area. In desert areas in which sand is the prevailing ground cover, coarse gravel is recommended to prevent abrasion and significant dust accretion due to wind-blown sand (Note 6). The ground cover should be low-cut grass in most temperate, tropical, and subtropical areas.

Note 6—Sand as a ground cover may be desirable where the abrasive

effects of exposure to wind-blown sand is a part of the desired exposure.

9. Exposure Stages

9.1 Use one of the following methods to specify the exposure stages at which changes in properties of test specimens are determined:

Note 7—The same exposure stage (by whichever method is used) will not necessarily give the same changes in properties of the test specimen at different exposure sites. The exposure stages must be regarded as providing only a general indication of the degree of exposure, and the results should always be considered in terms of characteristics of the exposure site as well.

9.2 *Exposure Time*—Specify the duration of the exposure in terms of months (1, 3, 6, 12, 15, etc.) or years (1, 1.5, 2, 3, 4, 5, etc.), unless otherwise instructed.

Note 8—The results for exposure stages of less than one year will depend on the season of the year in which the exposure was made. For instance, summer exposures are generally more severe than winter exposures. Seasonal effects are averaged in exposures of several years.

9.2.1 If required, report the total solar radiant exposure and total solar UV radiant exposure that has been measured by radiometers positioned at the same tilt and azimuth angle as the test specimens.

9.3 *Solar-Radiation Measurements*—Since solar radiation is one of the most important factors in the deterioration of plastics during weathering exposure, exposure stages may be defined in terms of the amount of radiation received by the specimens. An inherent limitation in solar-radiation measurements is that they do not reflect the effects of variations in temperature and moisture exposure, which can often be as important as solar radiation.

9.3.1 *Total Solar Irradiance*—Measure the total solar irradiance using solar-radiation measuring instrumentation as described in 5.4.2. Total solar radiant exposure shall be expressed in MJ/m².

9.3.2 *Total Ultraviolet Irradiance*—Measure the total solar-ultraviolet irradiance using ultraviolet-measuring instrumentation as described in 5.4.2. Total solar-ultraviolet radiant exposure shall be expressed in MJ/m². This is the recommended method for determining exposure stages when polymer degradation is being evaluated. Table 1 shows typical UV radiant exposures for 12 months in subtropical and desert climates.

Note 9—The average UV radiant exposures shown for subtropical and desert climates are based on several years of measurement in these test environments. The actual yearly values may vary widely from Table 1.

9.3.2.1 Total solar radiant exposure (in MJ/m²) must also be measured and reported for each exposure stage defined by UV radiant exposure.

9.3.3 *Specified Narrow-Band Ultraviolet Irradiance*—The UV irradiance in specified narrow-wavelength intervals (or bands) that conform closely to the wavelengths to which the material is most sensitive may also be used to follow the exposure stages.

10. Procedure

10.1 Mark the test and control specimens to be exposed with an identifying number, letter, or symbol so that they may be identified readily after exposure. Specimen marking shall be in accordance with Practice G 147 and shall be such that there is no interference with either the exposure or the subsequent testing. (Preferably, mark both specimen and specimen holder on the side not exposed to weather, as advanced weathering can obscure even deeply scribed marks.)

10.2 Record the initial appearance and physical-property data appropriate to the evaluation method used.

10.3 Mount the test specimens in the holder or directly to the exposure rack. It is convenient to group specimens to be removed from exposure at the same time in one holder.

10.4 Record a diagram of the test specimen holder layout, and record the date of installation and length of exposure planned.

10.5 Ensure that the radiometers are mounted at a tilt and azimuth angle that is identical to that of the test specimens.

10.6 Mount the specimens on racks for the prescribed time, solar radiant energy, or total UV radiant energy.

10.7 Establish a fixed procedure of cleaning, visual examination, conditioning, and testing of the specimens. This procedure will vary with materials, but it must be uniform in a series of tests on one material to provide comparative results.

10.8 Unexposed file specimens shall be used for visual comparison to exposed specimens at various exposure levels.

10.9 Exposures and inspections may be planned to permit reporting the following:

- 10.9.1 Change after a specified exposure,
- 10.9.2 Exposure to a specified change in properties, and
- 10.9.3 A record of a series of measurements versus exposure.

11. Report

11.1 Report the following information:

- 11.1.1 Angle of exposure (horizontal, 45° or 90°), and direction of exposure,
- 11.1.2 Duration of exposure of each specimen at each site, and dates of exposure,
- 11.1.3 If required, total UV radiant exposure (295 to 385 nm) for each exposure level, expressed in MJ/m², the manufacturer and model of the UV radiometer used, date of last calibration, and calibrating laboratory,
- 11.1.4 If required, total solar radiant exposure (295 to 3000 nm) for each exposure level, expressed in MJ/m², the manufacturer and model of the pyranometer used, date of last calibration, and calibrating laboratory,
- 11.1.5 If required, solar UV radiant exposure measured in narrow bandpass including the bandpass in which the radiant exposure was measured,
- 11.1.6 Description of the climate at each site and summary of the pertinent climatological data at each site for the exposure period involved, as follows:
 - 11.1.6.1 Rainfall, and
 - 11.1.6.2 If required, time of wetness (see Practice G 84),

Note 10—These data are intended as an indication of the climate at the test site, and the values reported are not to be used as absolute limits for any particular specimen or exposure.

- 11.1.6.3 Temperature average and temperature extremes,
- 11.1.6.4 Humidity average and humidity extremes,
- 11.1.6.5 Geographical location of the National Weather Service relative to the test site if climatological data is not measured at the test site,
- 11.1.7 General appearance properties of the exposed specimens and control materials, if used,
- 11.1.8 Results of property tests and description or reference to tests used to evaluate the property measured. Calculate retention of characteristic property according to Practice D 5780 when it is reported.
- 11.1.9 Suitably complete identification of the specimen,
- 11.1.10 Laboratory name,
- 11.1.11 Site latitude,
- 11.1.12 Test method and sequence of the test events,
- 11.1.13 Specimen mounting, and
- 11.1.14 Observations, deviations, and waivers pertinent to the testing.

12. Precision and Bias

12.1 No statements of precision and bias are applicable to this practice. These are dependant on the ASTM test methods for the specific properties being measured.

13. Keywords:

13.1 exposure; natural weathering; outdoor weathering; plastics

TABLE 1 Typical UV Radiant Exposures for 12 Months in Subtropical and Desert Climates

Exposure Time (Months)	Average UV Radiant Exposure (MJ/m ² , 295 to 385 nm)	
	Subtropical Climate (at 57°)	Desert Climate (at latitude)
12	308	333

Anexo 5. Resultados del ensayo de tracción



Centro de Fomento Productivo
Metalmecánico Carrocero



RECEPCIÓN E IDENTIFICACIÓN DE MUESTRAS

Informe N°: 180458305020191106-ETC	
DATOS DEL CLIENTE	
Empresa / Cliente: Sr. Francisco Javier Oquendo Lazo.	
Dirección: Victor Hugo y Arturo Borja.	
Núm. de cédula / RUC: 1804583050	Teléfono: 0992886458
E-mail: francisoq@gmail.com	
DATOS INFORMATIVOS	
Laboratorio: Resistencia de Materiales	
Designación del material: Materiales compuestos de matriz polimérica.	
Método de ensayo: ASTM D 3039/D 3039M Método de prueba estándar para propiedades de tracción de los materiales compuestos de matriz de polimérica.	

Número de Probetas cuantificadas

N°	Identificación del grupo	Matriz	Materiales de refuerzo	Probetas a Ensayar
1	180458305020191106-ETC 01-1	Resina poliéster	Fibra de abacá	5
2	180458305020191106-ETC 02-1	Resina poliéster	Fibra de plátano	5
			Total	10

Nota: La fabricación de las probetas en tipo y cantidad es declarada por el cliente.



ENSAYO SOLICITADO			
No.	No. DE PROBETA	DESCRIPCIÓN	FECHAS RECEPCIÓN
1	180458305020191106-ETC 01-1	Cumple con los criterios dimensionales	06/11/2019
2	180458305020191106-ETC 01-2	Cumple con los criterios dimensionales	06/11/2019
3	180458305020191106-ETC 01-3	Cumple con los criterios dimensionales	06/11/2019
4	180458305020191106-ETC 01-4	Cumple con los criterios dimensionales	06/11/2019
5	180458305020191106-ETC 01-5	Cumple con los criterios dimensionales	06/11/2019
6	180458305020191106-ETC 02-1	Cumple con los criterios dimensionales	06/11/2019
7	180458305020191106-ETC 02-2	Cumple con los criterios dimensionales	06/11/2019
8	180458305020191106-ETC 02-3	Cumple con los criterios dimensionales	06/11/2019
9	180458305020191106-ETC 02-4	Cumple con los criterios dimensionales	06/11/2019
10	180458305020191106-ETC 02-5	Cumple con los criterios dimensionales	06/11/2019

DATOS INFORMATIVOS: De acuerdo a los criterios de aceptación y rechazo las probetas cumplen con el número mínimo de muestras para el ensayo y en las dimensiones.

NOTA: LA INFORMACIÓN CONSIGNADA EN ESTE FORMULARIO ES DE EXCLUSIVA RESPONSABILIDAD DEL CLIENTE POSTERIORMENTE A LA EJECUCIÓN DEL(LOS) ENSAYOS) NO SE ADMITIRÁ ARREGLOS DE ESTA INFORMACIÓN NI DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS. FAVOR REVISAR ANTES DE SU FIRMA

	
Elaborado por: Ing. Fernando Galarza Mg. Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC	Aprobado por: Ing. Jorge Rodas MEng. Director Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC
 Cliente	



LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES
ENSAYO DE TRACCIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS
INFORME DE RESULTADOS N°: 180458305020191106-ETC

DATOS GENERALES

DATOS INFORMATIVOS:

N° de proforma: RM_2019_065
Empresa / Cliente: Sr. Francisco Javier Oquendo Lazo.
RUC/C.I.: 180458305020191106 **Ciudad:** Ambato.
Dirección: Víctor Hugo y Arturo Borja.
Teléfono: 0992886458. **Correo:** francisoq@gmail.com

DATOS DEL ENSAYO:

Lugar de Ejecución del Ensayo: Laboratorio de Resistencia de Materiales.
Dirección: Ambato/Catiglata, Toronto y Río de Janeiro.
Método de ensayo: ASTM D3039-2017: Método de prueba estándar para propiedades de tracción de materiales compuestos de matriz polimérica.
Tipo de ensayo: Cuantitativo **Tipo de probeta:** Plana
Equipo utilizado: Máquina de ensayos universal Polímeros Metrotest 50KN
Modelo: MTE-50. **Serie:** 8210M002
Velocidad de ensayo: 5 mm/min **Precarga:** 0,01 N
Fecha de Inicio de Ensayo: 2019/11/07 **Fecha de Finalización de Ensayo:** 2019/11/07
 Los resultados obtenidos en el presente informe corresponden a ensayos realizados en *probetas de materiales compuestos con matriz de resina poliéster con fibra de abacá y matriz de resina poliéster con fibra de plátano*. Las probetas fueron recibidas en el Laboratorio de Resistencia de Materiales del CFPMC del H.G.P. Tungurahua.



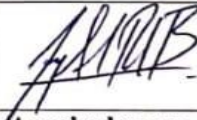
OBJETOS DE ENSAYO

Número de Probetas cuantificadas

N°	Identificación del grupo	Matriz	Material de refuerzo	Probetas a Ensayar
1	180458305020191106-ETC 01	Resina poliéster	Fibra de abacá	5
2	180458305020191106-ETC 02	Resina poliéster	Fibra de plátano	5
Total				10

Nota: La fabricación y configuración de las probetas es declarada por el cliente.

Observaciones: Ninguna.

		
Elaborado por:	Aprobado por:	
Ing. Fernando Galarza Mg. Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC	Ing. Fernando Tibán R. Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC	Ing. Jorge Rodas E. Mg. Director Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC

Lugar y fecha de emisión de informe: Ambato, 12 de noviembre de 2019
N° de Factura: 001-002-000008214



Centro de Fomento Productivo
Metalmeccánico Cairoero



Honorable Gobierno
Provincial de Tungurahua

Resultados:

Prob eta	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones mm		Fuerza máxima (N)	Esfuerzo máximo de tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	% Elongación	Tipo de falla evaluado	
				Ancho	Espesor						
1	180458305020191106-ETC 01-1	24,2	54,9	25,09	4,85	4897,51	40,25	714,57	5,63	LAT	
2	180458305020191106-ETC 01-2	24,2	54,9	25,07	5,60	2745,38	19,56	538,02	3,63	LGB	
3	180458305020191106-ETC 01-3	24,2	54,9	24,79	4,75	6196,05	52,62	773,64	6,80	LGB	
4	180458305020191106-ETC 01-4	24,2	54,9	24,85	4,19	4847,02	46,55	833,11	5,59	LGB	
5	180458305020191106-ETC 01-5	24,2	54,9	25,04	5,09	4889,62	38,36	740,29	5,18	LGM	
				Promedio \bar{X}		4715,116	39,467	719,926	5,368		
				Desviación estándar S_{n-1}		1240,377	12,465	110,936	1,142		
				Coeficiente de variación CV		26,306	31,582	15,409	21,266		

Prob eta	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones mm		Fuerza máxima (N)	Esfuerzo máximo de tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	% Elongación	Tipo de falla evaluado	
				Ancho	Espesor						
6	180458305020191106-ETC 02-1	24,1	53,5	24,69	5,48	3284,99	24,28	259,95	3,59	LAT	
7	180458305020191106-ETC 02-2	24,1	53,5	24,82	5,14	3428,57	26,87	285,54	3,62	LGT	
8	180458305020191106-ETC 02-3	24,1	53,5	24,79	5,41	3742,56	27,91	277,73	3,86	LIB	
9	180458305020191106-ETC 02-4	24,1	53,5	25,03	5,84	3277,10	22,42	215,90	3,99	LGT	
10	180458305020191106-ETC 02-5	24,1	53,5	25,14	4,98	3363,88	26,87	260,15	3,97	LGB	
				Promedio \bar{X}		3419,420	25,670	675,618	3,809		
				Desviación estándar S_{n-1}		190,994	2,258	70,143	0,191		
				Coeficiente de variación CV		5,586	8,796	10,382	5,027		



Centro de Fomento Productivo
Metalmeccánico Carrocero



Honorable Gobierno
Provincial de Tungurahua

Nomenclatura:

Tipo de falla evaluado: El tipo de falla evaluado se lo realiza mediante los criterios de la norma ASTM D3039-2017.

Primer carácter	Tipo de falla	Segundo carácter	Área de la falla	Tercer carácter	Localización de falla
L	Lateral	A	En el agarre	T	Parte superior
G	Agarre	I	Dentro del agarre	U	Desconocido
A	Angular	G	Zona calibrada	M	Medio



Centro de Fomento Productivo
Metalmeccánico Carrizero



Honorable Gobierno
Provincial de Tungurahua

HOJA DE ALMACENAMIENTO DE MUESTRAS

Informe N°: 180458305020191106-ETC
DATOS DEL CLIENTE
Empresa / Cliente: Sr. Francisco Javier Oquendo Lazo.
Dirección: Víctor Hugo y Arturo Borja.
Núm. de cédula / RUC: 1804583050
E-mail: francisoq@gmail.com
Teléfono: 0992886458

DATOS INFORMATIVOS

Laboratorio: Resistencia de Materiales.

Designación del material:

Materiales compuestos de matriz polimérica.

Método de ensayo: ASTM D 3039/D 3039M Método de prueba estándar para propiedades de tracción de los materiales compuestos de matriz de polímero.

N°	IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	FECHA INGRESO	FECHA ELIMINACIÓN	RESPONSABLE	OBSERVACIONES	EVIDENCIAS
1	180458305020191106-ETC 01-1	06/11/2019	12/11/2019	Cliente	Se entrega al cliente.	
2	180458305020191106-ETC 01-2	06/11/2019	12/11/2019	Cliente	Se entrega al cliente.	
3	180458305020191106-ETC 01-3	06/11/2019	12/11/2019	Cliente	Se entrega al cliente.	
4	180458305020191106-ETC 01-4	06/11/2019	12/11/2019	Cliente	Se entrega al cliente.	
5	180458305020191106-ETC 01-5	06/11/2019	12/11/2019	Cliente	Se entrega al cliente.	

Código RG-RM-003

Fecha de Elaboración 06-07-2016

Fecha de última aprobación 17-01-2017

Revisión 3

HOJA DE ALMACENAMIENTO DE MUESTRAS

Página 1 de 2



Centro de Fomento Productivo
Metalmeccánico Carrocer



Honorable Gobierno
Provincial de Tungurahua

N°	IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	FECHA INGRESO	FECHA ELIMINACIÓN	RESPONSABLE	OBSERVACIONES	EVIDENCIAS
1	180458305020191106-ETC 02-1	06/11/2019	12/11/2019	Cliente	Se entrega al cliente.	
2	180458305020191106-ETC 02-2	06/11/2019	12/11/2019	Cliente	Se entrega al cliente.	
3	180458305020191106-ETC 02-3	06/11/2019	12/11/2019	Cliente	Se entrega al cliente.	
4	180458305020191106-ETC 02-4	06/11/2019	12/11/2019	Cliente	Se entrega al cliente.	
5	180458305020191106-ETC 02-5	06/11/2019	12/11/2019	Cliente	Se entrega al cliente.	

Todas las muestras de cada grupo ensayado por acuerdo se entregan al cliente, el CFPMC no se responsabiliza por el mantenimiento y almacenamiento de las mismas, quedando a responsabilidad del cliente su resguardo.

Elaborado por: Ing. Fernando Galarza Chacón Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC	Aprobado por: Ing. Jorge Rodas MEng. Director Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC
Cliente	

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

HOJA DE ALMACENAMIENTO DE MUESTRAS

Página 2 de 2

Anexo 6. Resultados del ensayo de flexión



Centro de Fomento Productivo
Metalmecánico Carrocerero



Honorable Gobierno
Provincial de Tungurahua

RECEPCIÓN E IDENTIFICACIÓN DE MUESTRAS

Informe N°: 180458305020191106-EFC	
DATOS DEL CLIENTE	
Empresa / Cliente: Sr. Francisco Javier Oquendo Lazo.	
Dirección: Victor Hugo y Arturo Borja.	
Núm. de cédula / RUC: 1804583050	Teléfono: 0992886458
E-mail: francisoq@gmail.com	
DATOS INFORMATIVOS	
Laboratorio: Resistencia de Materiales	
Designación del material: Materiales compuestos de matriz polimérica.	
Método de ensayo: ASTM D7264-2015: Método de prueba estándar para propiedades de flexión de materiales compuestos de matriz de polímero.	

Número de Probetas cuantificadas

N°	Identificación del grupo	Matriz	Materiales de refuerzo	Probetas a Ensayar
1	180458305020191106-EFC 01-1	Resina poliéster	Fibra de abacá	5
2	180458305020191106-EFC 02-1	Resina poliéster	Fibra de plátano	5
Total				10

Nota: La fabricación de las probetas en tipo y cantidad es declarada por el cliente.



ENSAYO SOLICITADO			
No.	No. DE PROBETA	DESCRIPCIÓN	FECHAS RECEPCIÓN
1	180458305020191106-EFC 01-1	Cumple con los criterios dimensionales	06/11/2019
2	180458305020191106-EFC 01-2	Cumple con los criterios dimensionales	06/11/2019
3	180458305020191106-EFC 01-3	Cumple con los criterios dimensionales	06/11/2019
4	180458305020191106-EFC 01-4	Cumple con los criterios dimensionales	06/11/2019
5	180458305020191106-EFC 01-5	Cumple con los criterios dimensionales	06/11/2019
6	180458305020191106-EFC 02-1	Cumple con los criterios dimensionales	06/11/2019
7	180458305020191106-EFC 02-2	Cumple con los criterios dimensionales	06/11/2019
8	180458305020191106-EFC 02-3	Cumple con los criterios dimensionales	06/11/2019
9	180458305020191106-EFC 02-4	Cumple con los criterios dimensionales	06/11/2019
10	180458305020191106-EFC 02-5	Cumple con los criterios dimensionales	06/11/2019

DATOS INFORMATIVOS: De acuerdo a los criterios de aceptación y rechazo las probetas cumplen con el número mínimo de muestras para el ensayo y en las dimensiones.

NOTA: LA INFORMACIÓN CONSIGNADA EN ESTE FORMULARIO ES DE EXCLUSIVA RESPONSABILIDAD DEL CLIENTE. POSTERIORMENTE A LA EJECUCIÓN DEL(LOS) ENSAYO(S) NO SE ADMITIRÁ ARREGLOS DE ESTA INFORMACIÓN NI DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS. FAVOR REVISAR ANTES DE SU FIRMA.

	
Elaborado por:	Aprobado por:
Ing. Fernando Galarza Mg.	Ing. Jorge Rodas MEng.
Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC	Director Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC
	
Cliente	



LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES
ENSAYO DE FLEXIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS
INFORME DE RESULTADOS N°: 180458305020191106-EFC

DATOS GENERALES

DATOS INFORMATIVOS:

N° de proforma: RM-2019-065

Empresa / Cliente: Sr. Francisco Javier Oquendo Lazo.

RUC/C.I.: 1804583050

Ciudad: Ambato.

Dirección: Victor Hugo y Arturo Borja.

Teléfono: 0992886458

Correo: francisoq@gmail.com

DATOS DEL ENSAYO:

Lugar de Ejecución del Ensayo: Laboratorio de Resistencia de Materiales.

Dirección: Ambato/Catiglata. Toronto y Río de Janeiro.

Método de ensayo: ASTM D7264-2015: Método de prueba estándar para propiedades de flexión de materiales compuestos de matriz de poliéster con fibra de abacá y matriz poliéster y fibra de plátano.

Tipo de ensayo: Cuantitativo. Procedimiento: A Radio de carga: 5 mm

Equipo utilizado: Máquina de ensayos universal Polímeros Metrotest 50 KN

Modelo: MTE 50.

Serie: 8210M002

Velocidad de ensayo: 5 mm/min. Precarga: 0,01 N. Distancia entre apoyos: 128 mm

Fecha de Inicio de Ensayo: 2019/11/07 Fecha de Finalización de Ensayo: 2019/11/08

Los resultados obtenidos en el presente informe corresponden a ensayos realizados en probetas de *materiales compuestos de matriz polimérica*. Las probetas fueron recibidas en el Laboratorio de Resistencia de Materiales del CFPMC del H.G.P. Tungurahua.




OBJETOS DE ENSAYO

Número de Probetas cuantificadas

N°	Identificación del grupo	Matriz	Materiales de refuerzo	Probetas a Ensayar
1	180458305020191106-EFC 01-1	Resina poliéster	Fibra de abacá	5
2	180458305020191106-EFC 02-1	Resina poliéster	Fibra de plátano	5
			Total	10

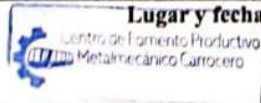
Nota: La fabricación de las probetas en tipo y cantidad es declarada por el cliente.

Observaciones: Ninguna.

		
Elaborado por:		Aprobado por:
Ing. Fernando Galarza Mg. Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC	Ing. Fernando Tibán R. Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC	Ing. Jorge Rodas MEng. Director Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC

Lugar y fecha de emisión de informe: Ambato, 12 de noviembre de 2019

N° de Factura: 001-002-0000074833





Centro de Fomento Productivo
Metalmecánico Camocero



Honorable Gobierno
Provincial de Tungurahua

Resultados:

Probeta	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones mm		Fuerza máxima (N)	Deflexión (mm)	Esfuerzo máximo de flexión (MPa)	Módulo de elasticidad (Calculado) (MPa)	Deformación máxima (%) (Calculado)	Tipo de falla evaluado	
				Ancho	Espesor							
1	180458305020191106-EFC 01-1	22,1	52,2	13,09	4,48	126,22	18,646	92,24	3015,36	3,06	OAB	
2	180458305020191106-EFC 01-2	22,1	52,2	12,94	4,96	135,69	17,945	81,84	2510,70	3,26	OAB	
3	180458305020191106-EFC 01-3	22,1	52,2	12,85	4,8	165,67	16,447	107,44	3716,21	2,89	OAB	
4	180458305020191106-EFC 01-4	22,1	52,2	13,09	4,75	127,8	18,882	83,08	2529,49	3,28	OAB	
5	180458305020191106-EFC 01-5	22,1	52,2	13,00	4,87	134,11	16,597	83,51	2821,44	2,96	OAB	
				Promedio \bar{X}		137,898	17,70	89,62	2918,64	3,09		
				Desviación estándar S_{n-1}		16,038	1,13	10,78	493,15	0,18		
				Coeficiente de variación CV		11,630	6,40	12,03	16,90	5,70		

Probeta	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones mm		Fuerza máxima (N)	Deflexión (mm)	Esfuerzo máximo de flexión (MPa)	Módulo de elasticidad (Calculado) (MPa)	Deformación máxima (%) (Calculado)	Tipo de falla evaluado	
				Ancho	Espesor							
6	180458305020191106-EFC 02-1	22,7	56,6	12,83	5,36	100,98	8,524	52,60	3143,70	1,67	OAB	
7	180458305020191106-EFC 02-2	22,7	56,6	12,86	5,58	97,82	9,24	46,91	2484,17	1,89	OAB	
8	180458305020191106-EFC 02-3	22,7	56,6	13,11	5,69	110,45	8,368	49,96	2865,33	1,74	OAB	
9	180458305020191106-EFC 02-4	22,7	56,6	13,05	5,7	107,29	8,061	48,58	2887,39	1,68	OAB	
10	180458305020191106-EFC 02-5	22,7	56,6	13,04	5,37	93,09	7,238	47,53	3339,29	1,42	OAB	
				Promedio \bar{X}		101,926	8,29	49,12	2943,98	1,68		
				Desviación estándar S_{n-1}		7,022	0,73	2,27	322,86	0,17		
				Coeficiente de variación CV		6,890	8,79	4,61	10,97	10,00		

Código: RG-RM-005

Fecha de Elaboración: 11-05-2016

Fecha de última aprobación: 18- 04 -2018

Revisión: 9

INFORME DE ENSAYO DE FLEXIÓN MATERIALES COMPUESTOS

Página 2 de 3



Centro de Fomento Productivo
Metalmeccánico Camocero



Honorable Gobierno
Provincial de Tungurahua

Nomenclatura de tipo de falla evaluado:

El tipo de falla evaluado se lo realiza mediante los criterios de la norma ASTM D7264-2015.

Primer carácter	Segundo carácter	Área de falla	Tercer carácter	Ubicación de falla
O	Otros			
	A	En el punto de carga	B	Fondo
	L	Entre la carga y el punto de apoyo	V	Varios
	U	No conocido	R	Derecha
			M	Medio
			U	Desconocido
			L	Izquierda
			T	Parte superior



Centro de Fomento Productivo
Metalmeccánico Carrocero



HOJA DE ALMACENAMIENTO DE MUESTRAS

Informe N°: 180458305020191106-EFC
DATOS DEL CLIENTE
Empresa / Cliente: Sr. Francisco Javier Oquendo Lazo.
Dirección: Víctor Hugo y Arturo Borja.
Núm. de cédula / RUC: 1804583050
E-mail: francisoq@gmail.com
Teléfono: 0992886458

DATOS INFORMATIVOS

Laboratorio: Resistencia de Materiales.
Designación del material: Materiales compuestos de matriz polimérica.
Método de ensayo: ASTM D7264-2015: Método de prueba estándar para propiedades de flexión de materiales compuestos de matriz de polímero.

N°	IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	FECHA INGRESO	FECHA ELIMINACIÓN	RESPONSABLE	OBSERVACIONES	EVIDENCIAS
1	180458305020191106-EFC 01-1	06/11/2019	12/11/2019	Cliente	Se entrega al cliente.	
2	180458305020191106-EFC 01-2	06/11/2019	12/11/2019	Cliente	Se entrega al cliente.	
3	180458305020191106-EFC 01-3	06/11/2019	12/11/2019	Cliente	Se entrega al cliente.	
4	180458305020191106-EFC 01-4	06/11/2019	12/11/2019	Cliente	Se entrega al cliente.	
5	180458305020191106-EFC 01-5	06/11/2019	12/11/2019	Cliente	Se entrega al cliente.	

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

HOJA DE ALMACENAMIENTO DE MUESTRAS

Página 1 de 2

Nº	IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	FECHA INGRESO	FECHA ELIMINACIÓN	RESPONSABLE	OBSERVACIONES	EVIDENCIAS
6	180458305020191106-EFC 02-1	06/11/2019	12/11/2019	Cliente	Se entrega al cliente.	
7	180458305020191106-EFC 02-2	06/11/2019	12/11/2019	Cliente	Se entrega al cliente.	
8	180458305020191106-EFC 02-3	06/11/2019	12/11/2019	Cliente	Se entrega al cliente.	
9	180458305020191106-EFC 02-4	06/11/2019	12/11/2019	Cliente	Se entrega al cliente.	
10	180458305020191106-EFC 02-5	06/11/2019	12/11/2019	Cliente	Se entrega al cliente.	

Todas las muestras de cada grupo ensayado por acuerdo se entregan al cliente, el CFPMC no se responsabiliza por el mantenimiento y almacenamiento de las mismas, quedando a responsabilidad del cliente su resguardo.

	
Elaborado por: Ing. Fernando Galarza Mg. Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC	Aprobado por: Ing. Jorge Rodas MEng. Director Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC
	
Cliente	

Anexo 7. Resultados de ensayo de impacto charpy



Centro de Fomento Productivo
Metalmeccánico Carrocero



Honorable Gobierno
Provincial de Tungurahua

RECEPCIÓN E IDENTIFICACIÓN DE MUESTRAS

Informe N°: 180458305020191106-EIC	
DATOS DEL CLIENTE	
Empresa / Cliente: Francisco Javier Oquendo Lazo.	
Dirección: Victor Hugo y Arturo Borja, Ambato.	
Núm. de cédula / RUC: 1804583050.	Teléfono: 0992886458.
E-mail: francisoq@gmail.com.	

DATOS INFORMATIVOS
Laboratorio: Resistencia de Materiales
Designación del material: Material compuesto de matriz de resina poliéster con refuerzo de fibra de abaca y fibra de plátano.
Método de ensayo: NTE INEN ISO 179-2/1 Plásticos. Determinación de las propiedades frente al Impacto Charpy. Parte 2: Ensayo de impacto instrumentado.

Número de Probetas cuantificadas

N°	Identificación del grupo	Matriz	Material de refuerzo	Probetas a Ensayar
1	180458305020191106-EIC 01	Resina Poliéster	Fibra de Abaca	5
2	180458305020191106-EIC 02	Resina Poliéster	Fibra de Plátano	5
Total				10

Nota: La fabricación de las probetas en tipo y cantidad es declarada por el cliente.



ENSAYO SOLICITADO			
No.	No. DE PROBETA	DESCRIPCIÓN	FECHAS RECEPCIÓN
1	180458305020191106-EIC 01-1	Cumple con los criterios dimensionales	2019/11/06
2	180458305020191106-EIC 01-2	Cumple con los criterios dimensionales	2019/11/06
3	180458305020191106-EIC 01-3	Cumple con los criterios dimensionales	2019/11/06
4	180458305020191106-EIC 01-4	Cumple con los criterios dimensionales	2019/11/06
5	180458305020191106-EIC 01-5	Cumple con los criterios dimensionales	2019/11/06
6	180458305020191106-EIC 02-1	Cumple con los criterios dimensionales	2019/11/06
7	180458305020191106-EIC 02-2	Cumple con los criterios dimensionales	2019/11/06
8	180458305020191106-EIC 02-3	Cumple con los criterios dimensionales	2019/11/06
9	180458305020191106-EIC 02-4	Cumple con los criterios dimensionales	2019/11/06
10	180458305020191106-EIC 02-5	Cumple con los criterios dimensionales	2019/11/06

DATOS INFORMATIVOS: De acuerdo a los criterios de aceptación y rechazo las probetas cumplen con el número mínimo de muestras para el ensayo y en las dimensiones.

NOTA: LA INFORMACIÓN CONSIGNADA EN ESTE FORMULARIO ES DE EXCLUSIVA RESPONSABILIDAD DEL CLIENTE. POSTERIORMENTE A LA EJECUCIÓN DEL(LOS) ENSAYO(S) NO SE ADMITIRÁ ARREGLOS DE ESTA INFORMACIÓN NI DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS. FAVOR REVISAR ANTES DE SU FIRMA.

		
Elaborado por: Ing. Fernando Galarza Mg. Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC	Ing. Fernando Tibán R. Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC	Aprobado por: Ing. Jorge Rodas B. MEng. Director Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC
 Cliente		



LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES
ENSAYO DE IMPACTO CHARPY DE MATERIALES PLÁSTICOS.

INFORME DE RESULTADOS N°: 180458305020191106-EIC

DATOS GENERALES

Datos informativos:

N° de proforma: RM_2019_065.

Empresa / Cliente: Francisco Javier Oquendo Lazo.

RUC/C.I.: 1804583050.

Ciudad: Ambato.

Dirección: Víctor Hugo y Arturo Borja.

Teléfono: 0992886458.

Correo: francisoq@gmail.com.

Datos del ensayo:

Lugar de Ejecución del Ensayo: Laboratorio de Resistencia de Materiales.

Dirección: Ambato/Catigлата. Toronto y Río de Janeiro.

Método de ensayo: NTE INEN ISO 179-2:2014 Plásticos. Determinación de las propiedades frente al Impacto Charpy. Parte 2: Ensayo de impacto instrumentado.

Designación del método: ISO 179-2/ 1 f.

Tipo de ensayo: Cuantitativo

Capacidad del péndulo, (J): 7,5

Horas de acondicionamiento (luego del entalle): No aplica acondicionamiento.

Equipo utilizado: Máquina ensayo impacto Charpy Modelo: IC-25/TA Serie: 1986M002

Distancia entre yunques: 62 mm.

Muesca de la probeta: Sin Muesca.

Fecha de Inicio de Ensayo: 2019/11/12. Fecha de Finalización de Ensayo: 2019/11/12.

Los resultados obtenidos en el presente informe corresponden a ensayos realizados en *material compuesto de matriz de resina poliéster con refuerzo de fibra de abaca y fibra de plátano*. Las probetas fueron recibidas en el Laboratorio de Resistencia de Materiales del CFPMC del H. Gobierno Provincial de Tungurahua.

OBJETOS DE ENSAYO

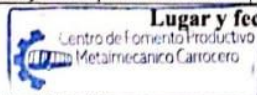
Número de Probetas cuantificadas:

N°	Identificación del grupo	Matriz	Material de refuerzo	Probetas a Ensayar
1	180458305020191106-EIC 01	Resina Poliéster	Fibra de Abaca	5
2	180458305020191106-EIC 02	Resina Poliéster	Fibra de Plátano	5
Total				10

Observaciones: Ninguna.

Nota: Este informe no significa certificación de calidad, no debe ser usado con fines publicitarios y no debe ser reproducido total ni parcialmente sin autorización escrita y certificada del ente emisor.

Elaborado por:	Elaborado por:	Aprobado por:
Ing. Fernando Galarza Mg. Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC	Ing. Fernando Tibán R. Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC	Ing. Jorge Rodas B. MEng. Director Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC



Lugar y fecha de emisión de Informe: Ambato, 13 de noviembre de 2019.
N°. Factura: 001-002-000008214.



Centro de Fomento Productivo
Metalmeccánico Carrasco



Honorable Gobierno
Provincial de Tungurahua

RESULTADOS:

Probeta	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones mm.		Energía de ruptura (J)	Resistencia al impacto, (U/m)	Resistencia al impacto, (KJ/m²)
				Ancho	Espesor			
1	180458305020191106-EIC 01-1	22,9	62,1	10,18	4,31	2,073	203,635	47,247
2	180458305020191106-EIC 01-2	22,9	62,1	9,99	4,64	3,789	379,279	81,741
3	180458305020191106-EIC 01-3	22,9	62,1	10,16	4,67	4,449	437,894	93,767
4	180458305020191106-EIC 01-4	22,9	62,1	10,16	4,66	1,849	181,988	39,053
5	180458305020191106-EIC 01-5	22,9	62,1	10,02	4,22	3,271	326,447	77,357
				Promedio \bar{X}		3,086	305,849	67,833
				Desviación estándar S_{n-1}		1,112	110,726	23,499
				Coeficiente de variación CV		36,018	36,203	34,642

Probeta	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones mm.		Energía de ruptura (J)	Resistencia al impacto, (U/m)	Resistencia al impacto, (KJ/m²)
				Ancho	Espesor			
6	180458305020191106-EIC 02-1	23,4	57,5	9,91	5,35	0,726	73,259	13,693
7	180458305020191106-EIC 02-2	23,4	57,5	9,92	5,48	0,458	46,169	8,425
8	180458305020191106-EIC 02-3	23,4	57,5	9,91	5,22	0,340	34,309	6,573
9	180458305020191106-EIC 02-4	23,4	57,5	10,25	5,54	0,549	53,561	9,668
10	180458305020191106-EIC 02-5	23,4	57,5	10,03	5,19	0,639	63,709	12,275
				Promedio \bar{X}		0,542	54,201	10,127
				Desviación estándar S_{n-1}		0,151	15,118	2,876
				Coeficiente de variación CV		27,835	27,893	28,395

Código: RG-RM-021
Fecha de Elaboración: 08-03-2018
Fecha de última aprobación: 17-05-2018
Revisión: 1

INFORME DE ENSAYO DE IMPACTO CHARPY DE MATERIALES COMPUESTOS.

Página 2 de 2



Centro de Fomento Productivo
Metalmeccánico Carnocero



Honorable Gobierno
Provincial de Tungurahua

HOJA DE ALMACENAMIENTO DE MUESTRAS

Informe N°: 180458305020191106-EIC
DATOS DEL CLIENTE
Empresa / Cliente: Francisco Javier Oquendo Lazo.
Dirección: Victor Hugo y Arturo Borja, Ambato.
Núm. de cédula/RUC: 1804583050.
E-mail: francisoq@gmail.com.
TELÉFONO: 0992886458.

DATOS INFORMATIVOS

Laboratorio: Resistencia de Materiales
Designación del material: Material compuesto de matriz de resina poliéster con refuerzo de fibra de abaca y fibra de plátano.
Método de ensayo: NTE INEN ISO 179-2/1 Plásticos. Determinación de las propiedades frente al Impacto Charpy. Parte 2: Ensayo de impacto instrumentado.

N°	IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	FECHA INGRESO	FECHA ELIMINACIÓN	RESPONSABLE	OBSERVACIONES	EVIDENCIAS
1	180458305020191106-EIC 01-1	2019/11/06	2019/11/13	Cliente	Se entrega al cliente	
2	180458305020191106-EIC 01-2	2019/11/06	2019/11/13	Cliente	Se entrega al cliente	
3	180458305020191106-EIC 01-3	2019/11/06	2019/11/13	Cliente	Se entrega al cliente	
4	180458305020191106-EIC 01-4	2019/11/06	2019/11/13	Cliente	Se entrega al cliente	
5	180458305020191106-EIC 01-5	2019/11/06	2019/11/13	Cliente	Se entrega al cliente	

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

HOJA DE ALMACENAMIENTO
DE MUESTRAS



Centro de Fomento Productivo
Metalmeccánico Carrocero



Honorable Gobierno
Provincial de Tungurahua

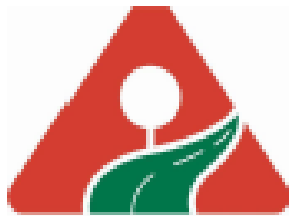
N°	IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	FECHA INGRESO	FECHA ELIMINACIÓN	RESPONSABLE	OBSERVACIONES	EVIDENCIAS
6	180458305020191106-EIC 02-1	2019/11/06	2019/11/13	Cliente	Se entrega al cliente	
7	180458305020191106-EIC 02-2	2019/11/06	2019/11/13	Cliente	Se entrega al cliente	
8	180458305020191106-EIC 02-3	2019/11/06	2019/11/13	Cliente	Se entrega al cliente	
9	180458305020191106-EIC 02-4	2019/11/06	2019/11/13	Cliente	Se entrega al cliente	
10	180458305020191106-EIC 02-5	2019/11/06	2019/11/13	Cliente	Se entrega al cliente	

Todas las probetas ensayadas por acuerdo, son entregadas al cliente, el CFPMC no se responsabiliza por el mantenimiento y almacenamiento de las mismas, quedando a responsabilidad del cliente su resguardo.

Elaborado por: Ing. Fernando Tibán R. Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC	Aprobado por: Ing. Jorge Rodas B. MEng. Director Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC
Cliente	

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

HOJA DE ALMACENAMIENTO
DE MUESTRAS



R.U.C.: 1860000130001

FACTURA

No.: 001-002-000008214

NÚMERO DE AUTORIZACIÓN:

0811201901186000013000120010020000082141804583050

FECHA Y HORA DE AUTORIZACION:

2019-11-08T14:30:13-05:00

AMBIENTE: PRODUCCIÓN

EMISIÓN: NORMAL

Contribuyente Especial No.: 4519

OBLIGADO A LLEVAR CONTABILIDAD: SI

H GOBIERNO PROVINCIAL DE TUNGURAHUA

H GOBIERNO PROVINCIAL DE TUNGURAHUA

Dirección Matriz: BOLIVAR 491 Y CASTILLO

Dirección Sucursal: BOLIVAR 491 Y CASTILLO



Razón Social / Nombres y Apellidos: OQUENDO LAZO FRANCISCO JAVIER

Dirección comprador: AV. VICTOR HUGO Y ARTURO BORJA

Fecha Emisión: 08/11/2019

RUC / CI: 1804583050

Guía Remisión:

Código Principal	Cantidad	Descripción	Precio Unitario	Descuento	Precio Total
0018	10.0000	SERVICIOS DEL CENTRO DE FOMENTO PRODUCTIVO METALMECANICO CARROCERO DETALLE DEL SERVICIO: ENSAYO DE FLEXION EN MATERIALES POLIMERICOS ASTM D7264 ASTM D790 Y NTE INEN 2047 PROFORMA-RM-2019-085	10.0000	0.0000	100.00
0018	10.0000	SERVICIOS DEL CENTRO DE FOMENTO PRODUCTIVO METALMECANICO CARROCERO DETALLE DEL SERVICIO: ENSAYO DE IMPACTO EN MATERIALES NO METALICOS ASTM D8110 Y ASTM D285 Y ASTM D5628 PROFORMA-RM-2019-085	10.0000	0.0000	100.00
0018	10.0000	SERVICIOS DEL CENTRO DE FOMENTO PRODUCTIVO METALMECANICO CARROCERO DETALLE DEL SERVICIO: ENSAYO DE TRACCION ASTM D3039 PROFORMA-RM-2019-085	10.0000	0.0000	100.00

SUBTOTAL SIN IMPUESTOS	300.00
DESCUENTO	0.00
SUBTOTAL 0%	0.00
SUBTOTAL No objeto de IVA	0.00
SUBTOTAL Exento de IVA	0.00
SUBTOTAL 12%	300.00
IVA 12%	36.00
VALOR TOTAL	336.00

Formas de pago

Cód Detalle	Tiempo	Plazo	Valor
01 SIN UTILIZACION DEL SISTEMA FINANCIERO			336.00

Información Adicional

diDireccion	AV. VICTOR HUGO Y ARTURO BORJA
diMail	francisoq@gmail.com
diTelefono	0002886458
diCiudad	AMBATO

Anexo 8. Datos del registro de las condiciones climáticas de la ciudad de Ambato.

Anexo 8.1 Datos del mes de septiembre

FECHA	°T máx. (°C)	°T min (°C)	Lluvia Prom (mm)	HR Prom (%)	Radiación UV Prom alta
Septiembre					
01-sep-19	15	6	0.4	60	9
02-sep-19	19	15	1.2	50	11
03-sep-19	15	9	0.4	65	10
04-sep-19	16	11	0.9	62	10
05-sep-19	16	11	2.1	60	11
06-sep-19	15	8	0.45	62	13
07-sep-19	17	8	1	48	11
08-sep-19	18	10	1.35	55	9
09-sep-19	16	9	0.9	62	10
10-sep-19	18	8	0.9	52	8
11-sep-19	16	9	1.2	59	10
12-sep-19	17	9	2.3	65	11
13-sep-19	15	9	0.9	53	9
14-sep-19	14	8	3.1	55	11
15-sep-19	15	10	0.9	62	10
16-sep-19	13	10	1.2	51	9
17-sep-19	17	9	1	48	11
18-sep-19	15	8	0.45	62	13
19-sep-19	18	8	1.35	59	11
20-sep-19	17	9	0.9	53	9
21-sep-19	15	10	0.45	60	12
22-sep-19	13	6	1.2	55	10
23-sep-19	14	5	3.1	58	11
24-sep-19	16	7	2.1	60	11
25-sep-19	13	8	0.4	54	10
26-sep-19	18	5	1.35	55	9
27-sep-19	13	9	0.9	52	8
28-sep-19	17	8	2.3	65	12
29-sep-19	23	10	1.1	57	11
30-sep-19	20	9	2.5	65	11
PROMEDIO	16	9	1.28	57	10

Anexo 8.2 Datos del mes de octubre

FECHA	°T máx. (°C)	°T min (°C)	Lluvia Prom (mm)	HR Prom (%)	Radiación UV Prom alta
Octubre					
01-oct-19	20	8	2.5	65	8
02-oct-19	17	10	2.3	65	11
03-oct-19	16	8	2.1	60	11
04-oct-19	16	8	0.4	65	10
05-oct-19	18	7	0.9	53	9
06-oct-19	12	6	1.3	53	10
07-oct-19	15	9	0.45	62	13
08-oct-19	19	9	0.9	52	8
09-oct-19	15	8	0.4	65	10
10-oct-19	16	10	1.3	59	11
11-oct-19	18	9	1.35	55	9
12-oct-19	16	8	0.8	61	10
13-oct-19	18	8	0.9	52	8
14-oct-19	16	10	2.1	60	11
15-oct-19	17	8	2.3	65	11
16-oct-19	17	8	2	60	12
17-oct-19	15	9	0.45	62	13
18-oct-19	19	9	2	50	10
19-oct-19	14	9	0.6	61	9
20-oct-19	15	8	0.78	58	4
21-oct-19	14	6	0.8	63	7
22-oct-19	18	10	1.1	55	12
23-oct-19	9	7	0.5	64	8
24-oct-19	16	6	0.51	63	10
25-oct-19	16	7	0.95	58	11
26-oct-19	15	6	0.45	62	13
27-oct-19	16	7	2.2	61	12
28-oct-19	18	6	1.2	58	11
29-oct-19	19	6	0.4	65	10
30-oct-19	19	6	0.3	57	14
31-oct-19	17	6	2.3	65	12
PROMEDIO	16	8	1.18	60	10

Anexo 8.3 Datos del mes de noviembre

FECHA	°T máx. (°C)	°T min (°C)	Lluvia Prom (mm)	HR Prom (%)	Radiación UV Prom alta
Noviembre					
01-nov-19	19	6	0.6	26	11
02-nov-19	19	9	1.5	26	8
03-nov-19	18	7	1.5	66	9
04-nov-19	18	8	2.5	61	8
05-nov-19	18	9	3.7	68	10
06-nov-19	18	7	3.6	26	8
07-nov-19	19	8	2.2	56	9
08-nov-19	16	8	1.3	56	10
09-nov-19	15	8	1.3	71	8
10-nov-19	16	7	1.7	68	8
11-nov-19	19	6	2.1	74	4
12-nov-19	19	10	0.62	75	9
13-nov-19	18	9	1.2	62	8
14-nov-19	17	9	4.3	75	10
15-nov-19	20	9	5.3	74	9
16-nov-19	20	8	3.5	48	5
17-nov-19	21	8	0.6	56	11
18-nov-19	20	8	1.01	75	12
19-nov-19	19	10	7.6	58	10
20-nov-19	18	8	1.15	60	12
21-nov-19	19	8	3.65	73	12
22-nov-19	20	11	2.25	87	14
23-nov-19	21	12	2.1	69	15
24-nov-19	21	12	1.75	64	13
25-nov-19	21	13	0.75	64	11
26-nov-19	19	11	1	75	10
27-nov-19	20	12	3.1	66	12
28-nov-19	20	11	2.2	65	14
29-nov-19	19	11	0.6	74	8
30-nov-19	19	12	0.5	76	10
PROMEDIO	19	9	2.2	63	10

Anexo 8.4 Datos del mes de diciembre

FECHA	°T máx. (°C)	°T min (°C)	Lluvia Prom (mm)	HR Prom (%)	Radiación UV Prom alta
Diciembre					
01-dic-19	20	8	0.9	65	10
02-dic-19	17	10	1	48	11
03-dic-19	16	8	0.7	44	14
04-dic-19	16	8	1.15	44	13
05-dic-19	17	8	3.25	40	12
06-dic-19	17	9	3.4	65	11
07-dic-19	16	8	2.5	50	8
08-dic-19	19	8	3.1	52	12
09-dic-19	19	8	2.8	50	10
10-dic-19	19	7	3.1	50	12
11-dic-19	22	6	1.8	65	11
12-dic-19	21	7	1.7	52	14
13-dic-19	21	7	1.8	65	9
14-dic-19	16	10	2.1	60	11
15-dic-19	17	8	3.2	50	10
16-dic-19	15	9	2.4	50	11
17-dic-19	15	9	2.5	51	11
18-dic-19	15	9	3.1	63	8
19-dic-19	14	9	1.4	55	10
20-dic-19	16	8	2.3	65	9
21-dic-19	14	10	3.1	68	11
22-dic-19	18	10	1.35	55	9
23-dic-19	14	9	1.4	50	10
24-dic-19	17	9	0.7	42	8
25-dic-19	16	11	2.6	45	8
26-dic-19	16	9	3	60	10
27-dic-19	17	10	2.3	68	9
28-dic-19	20	8	2.1	64	10
29-dic-19	20	9	1.9	65	8
30-dic-19	17	9	1.8	60	9
31-dic-19	17	12	2.5	62	8
PROMEDIO	17	9	2.16	56	10

Anexo 8.5 Datos del mes de enero

FECHA	°T máx. (°C)	°T min (°C)	Lluvia Prom (mm)	HR Prom (%)	Radiación UV Prom alta
Enero					
01-ene-20	16	9	2.5	60	8
02-ene-20	15	7	1	58	9
03-ene-20	14	8	1.2	63	8
04-ene-20	18	11	1.1	50	12
05-ene-20	18	12	0.9	59	9
06-ene-20	22	11	0.8	57	8
07-ene-20	19	6	0.7	60	10
08-ene-20	19	7	0.9	62	10
09-ene-20	18	7	0.6	57	9
10-ene-20	18	8	2.6	69	9
11-ene-20	16	7	0.4	60	9
12-ene-20	16	8	0.7	65	8
13-ene-20	16	8	0.9	57	9
14-ene-20	17	9	1.1	50	10
15-ene-20	17	8	1.2	67	10
16-ene-20	18	9	1	60	9
17-ene-20	17	11	0.9	52	8
18-ene-20	16	10	1.4	58	9
19-ene-20	17	10	0.8	61	10
20-ene-20	17	12	0.7	56	8
21-ene-20	19	11	1.2	58	9
22-ene-20	21	10	0.9	50	8
23-ene-20	22	11	1.3	50	11
24-ene-20	22	15	0.6	51	10
25-ene-20	22	12	0.9	53	9
26-ene-20	22	11	1.3	56	9
27-ene-20	23	17	1.1	57	11
28-ene-20	20	7	0.8	54	10
29-ene-20	20	12	0.9	51	9
30-ene-20	19	15	1.4	59	10
31-ene-20	18	11	1.5	60	8
PROMEDIO	18	10	1.1	57	9

Anexo 8.6 Datos del mes de febrero

FECHA	°T máx. (°C)	°T min (°C)	Lluvia Prom (mm)	HR Prom (%)	Radiación UV Prom alta
Febrero					
01-feb-20	20	12	0.8	56	7
02-feb-20	20	12	0.6	58	10
03-feb-20	15	11	1	53	12
04-feb-20	19	8	0.65	50	10
05-feb-20	20	6	0.7	55	13
06-feb-20	19	6	0.4	60	11
07-feb-20	18	6	0.4	52	10
08-feb-20	19	7	0.7	48	9
09-feb-20	18	9	1.7	52	8
10-feb-20	16	8	1.2	50	10
11-feb-20	16	7	1	51	9
12-feb-20	17	8	0.8	49	8
13-feb-20	13	12	1.3	65	6
14-feb-20	14	10	1.2	53	6
15-feb-20	21	14	0.7	50	8
16-feb-20	16	15	0.9	58	7
17-feb-20	23	10	0.7	45	9
18-feb-20	18	11	1	52	8
19-feb-20	14	12	1	55	6
20-feb-20	12	11	1.1	56	6
21-feb-20	15	12	1.2	50	8
22-feb-20	13	12	1	62	8
23-feb-20	21	11	0.9	48	10
24-feb-20	18	13	1.4	59	9
25-feb-20	14	10	1.7	62	11
26-feb-20	20	11	2	60	7
27-feb-20	14	11	2.3	65	8
28-feb-20	16	11	1.6	40	9
29-feb-20	20	15	2.5	65	11
PROMEDIO	17	10	1.1	54	9

Anexo 9. Datos de los pesos registrados durante 6 meses

MATRIZ POLIÉSTER-FIBRA DE PLÁTANO			
Fecha	t (semanas)	Peso (g)	
		Probeta A4	Probeta A5
02-sep-19	1	31.20	31.40
09-sep-19	2	31.10	31.40
16-sep-19	3	31.00	31.20
23-sep-19	4	31.10	31.20
03-oct-19	5	31.00	31.30
10-oct-19	6	31.10	31.20
17-oct-19	7	31.00	31.30
24-oct-19	8	30.90	31.20
31-oct-19	9	30.70	31.00
07-nov-19	10	30.90	31.20
13-nov-19	11	30.80	31.10
20-nov-19	12	30.90	31.20
27-nov-19	13	30.80	31.00
04-dic-19	14	31.00	31.00
11-dic-19	15	30.90	31.20
18-dic-19	16	30.80	31.10
25-dic-19	17	30.90	31.10
01-ene-20	18	31.00	31.20
08-ene-20	19	31.10	31.20
15-ene-20	20	31.20	31.10
22-ene-20	21	31.10	31.10
29-ene-20	22	31.00	31.00
05-feb-20	23	31.10	31.10
12-feb-20	24	31.20	31.20
19-feb-20	25	31.20	31.20
26-feb-20	26	31.10	31.10

Anexo 10. Datos de análisis de varianza para ensayo de tracción

FUERZA MÁXIMA (N)

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	3	13293614,86	4431204,95	9,21	0,001
Lineal	2	13219590,16	6609795,08	13,74	0,000
FIBRA	1	10044710,61	10044710,61	20,89	0,000
TIEMPO	1	3174879,55	3174879,55	6,60	0,021
Interacciones de 2 términos	1	74024,70	74024,70	0,15	0,700
FIBRA*TIEMPO	1	74024,70	74024,70	0,15	0,700
Error	16	7694368,64	480898,04		
Total	19	20987983,50			

ESFUERZO MÁXIMO DE TRACCIÓN (MPa)

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	3	1234,37	411,46	8,52	0,001
Lineal	2	1233,45	616,73	12,77	0,000
FIBRA	1	1011,96	1011,96	20,96	0,000
TIEMPO	1	221,49	221,49	4,59	0,048
Interacciones de 2 términos	1	0,92	0,92	0,02	0,892
FIBRA*TIEMPO	1	0,92	0,92	0,02	0,892
Error	16	772,58	48,29		
Total	19	2006,94			

MÓDULO DE ELASTICIDAD (MPa)

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	3	28741152,81	9580384,27	220,89	0,000
Lineal	2	24759693,22	12379846,61	285,44	0,000
FIBRA	1	934329,57	934329,57	21,54	0,000
TIEMPO	1	23825363,64	23825363,64	549,33	0,000
Interacciones de 2 términos	1	3981459,60	3981459,60	91,80	0,000
FIBRA*TIEMPO	1	3981459,60	3981459,60	91,80	0,000
Error	16	693940,79	43371,30		
Total	19	29435093,61			

PORCENTAJE DE ELONGACIÓN

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	3	69,1067	23,0356	61,31	0,000
Lineal	2	68,8854	34,4427	91,67	0,000
FIBRA	1	9,1070	9,1070	24,24	0,000
TIEMPO	1	59,7784	59,7784	159,10	0,000
Interacciones de 2 términos	1	0,2214	0,2214	0,59	0,454
FIBRA*TIEMPO	1	0,2214	0,2214	0,59	0,454
Error	16	6,0116	0,3757		
Total	19	75,1183			

Anexo 11. Datos de análisis de varianza para ensayo de flexión

FUERZA MÁXIMA (N)

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	3	10428,42	3476,14	9,82	0,001
Lineal	2	9034,85	4517,43	12,76	0,000
FIBRA	1	1858,07	1858,07	5,25	0,036
TIEMPO	1	7176,78	7176,78	20,27	0,000
Interacciones de 2 términos	1	1393,57	1393,57	3,94	0,065
FIBRA*TIEMPO	1	1393,57	1393,57	3,94	0,065
Error	16	5665,56	354,10		
Total	19	16093,98			

DEFLEXIÓN (mm)

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	3	457,490	152,497	74,40	0,000
Lineal	2	457,279	228,640	111,55	0,000
FIBRA	1	424,314	424,314	207,01	0,000
TIEMPO	1	32,965	32,965	16,08	0,001
Interacciones de 2 términos	1	0,210	0,210	0,10	0,753
FIBRA*TIEMPO	1	0,210	0,210	0,10	0,753
Error	16	32,795	2,050		
Total	19	490,285			

ESFUERZO MÁXIMA DE FLEXIÓN (MPA)

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	3	7093,49	2364,50	20,89	0,000
Lineal	2	6002,33	3001,17	26,51	0,000
FIBRA	1	3311,02	3311,02	29,25	0,000
TIEMPO	1	2691,31	2691,31	23,78	0,000
Interacciones de 2 términos	1	1091,16	1091,16	9,64	0,007
FIBRA*TIEMPO	1	1091,16	1091,16	9,64	0,007
Error	16	1811,15	113,20		
Total	19	8904,64			

MÓDULO DE ELASTICIDAD (MPA)

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	3	6118165	2039388	8,74	0,001
Lineal	2	3290821	1645410	7,05	0,006
FIBRA	1	3021075	3021075	12,94	0,002
TIEMPO	1	269746	269746	1,16	0,298
Interacciones de 2 términos	1	2827345	2827345	12,11	0,003
FIBRA*TIEMPO	1	2827345	2827345	12,11	0,003
Error	16	3734562	233410		
Total	19	9852727			

DEFORMACIÓN MÁXIMA (%)

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	3	6,177	2,0590	18,61	0,000
Lineal	2	4,107	2,0533	18,56	0,000
FIBRA	1	2,938	2,9378	26,56	0,000
TIEMPO	1	1,169	1,1688	10,57	0,005
Interacciones de 2 términos	1	2,070	2,0703	18,71	0,001
FIBRA*TIEMPO	1	2,070	2,0703	18,71	0,001
Error	16	1,770	0,1106		
Total	19	7,947			

Anexo 12. Datos de análisis de varianza para ensayo de impacto charpy

ENERGÍA DE RUPTURA (J)

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	3	25,0530	8,3510	22,75	0,000
Lineal	2	24,3153	12,1577	33,11	0,000
FIBRA	1	23,3216	23,3216	63,52	0,000
TIEMPO	1	0,9937	0,9937	2,71	0,119
Interacciones de 2 términos	1	0,7376	0,7376	2,01	0,176
FIBRA*TIEMPO	1	0,7376	0,7376	2,01	0,176
Error	16	5,8744	0,3672		
Total	19	30,9274			

RESISTENCIA AL IMPACTO (J/m)

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	3	245818	81939	22,53	0,000
Lineal	2	238741	119371	32,83	0,000
FIBRA	1	229032	229032	62,98	0,000
TIEMPO	1	9709	9709	2,67	0,122
Interacciones de 2 términos	1	7077	7077	1,95	0,182
FIBRA*TIEMPO	1	7077	7077	1,95	0,182
Error	16	58181	3636		
Total	19	303999			

RESISTENCIA AL IMPACTO (KJ/m²)

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	3	13517,0	4505,7	26,83	0,000
Lineal	2	13292,0	6646,0	39,58	0,000
FIBRA	1	13003,9	13003,9	77,44	0,000
TIEMPO	1	288,1	288,1	1,72	0,209
Interacciones de 2 términos	1	225,0	225,0	1,34	0,264
FIBRA*TIEMPO	1	225,0	225,0	1,34	0,264
Error	16	2686,7	167,9		
Total	19	16203,8			