



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

TRABAJO EXPERIMENTAL PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO  
MECÁNICO

**TEMA:**

---

**“CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE UN MATERIAL COMPUESTO DE  
MATRIZ POLIÉSTER REFORZADO CON PARTÍCULAS DE LAUREL Y SU  
INCIDENCIA EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS”**

---

**AUTOR:**

Andrango Pillajo Wilmer Armando

**TUTOR:**

Ing. Mg. Lascano Moreta Alejandra Marlene

**AMBATO – ECUADOR**

**2020**

## CERTIFICACIÓN

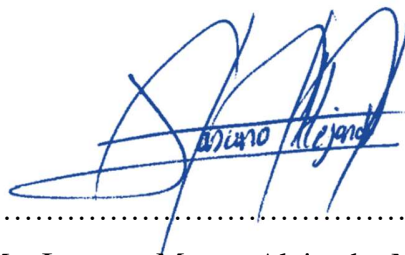
En mi calidad de Tutor del Trabajo Experimental, previo a la obtención del Título de Ingeniero Mecánico, con el tema **“CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE UN MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ POLIÉSTER REFORZADO CON PARTÍCULAS DE LAUREL Y SU INCIDENCIA EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS”**, elaborado por el Sr. Andrango Pillajo Wilmer Armando, portador de la cédula de ciudadanía: 172360420-1, egresado de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Carrera de Ingeniería Mecánica.

Certifico que:

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

Por lo tanto, autorizo la presentación de este documento ante el organismo pertinente, para que sea sometido a evaluación por los profesores calificadores designados por el Honorable Consejo Directivo de la Facultad

Ambato, Agosto de 2020



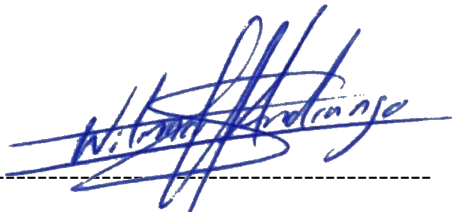
.....  
Ing. Mg. Lascano Moreta Alejandra Marlene

TUTOR

## AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Yo, Andrango Pillajo Wilmer Armando, con CI. 172360420-1 muestro que las ideas plasmadas en el siguiente trabajo experimental: “CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE UN MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ POLIÉSTER REFORZADO CON PARTÍCULAS DE LAUREL Y SU INCIDENCIA EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS”, así también como los ensayos, análisis, conclusiones y recomendaciones son responsabilidad del autor a excepción de las referencias bibliográficas utilizadas en el trabajo experimental

Ambato, Agosto de 2020



Andrango Pillajo Wilmer Armando

C.I. 172360420-1

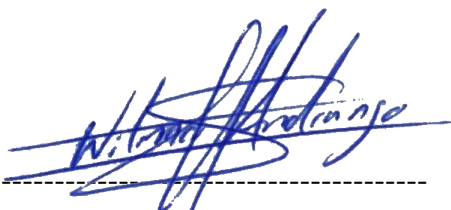
**Autor**

## 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, Agosto de 2020



Andrago Pillajo Wilmer Armando

C.I. 172360420-1

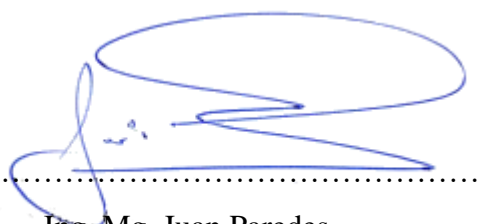
**Autor**

## APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

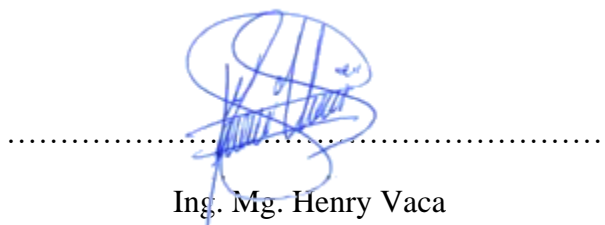
Los miembros del tribunal de grado aprueban el Trabajo Experimental sobre el tema: **“CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE UN MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ POLIÉSTER REFORZADO CON PARTÍCULAS DE LAUREL Y SU INCIDENCIA EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS”**, elaborado por Wilmer Armando Andrango Pillajo, el mismo que guarda conformidad con las disposiciones reglamentarias emitidas por la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.

Ambato, Agosto de 2020

Para constancia firman:



Ing. Mg. Juan Paredes



Ing. Mg. Henry Vaca

## DEDICATORIA

*A mi padre German y a mi madre María, por su amor, trabajo y sacrificio en todos estos años, gracias a su esfuerzo he logrado llegar hasta aquí y cumplir un sueño tan anhelado. Ha sido un orgullo y un privilegio de ser su hijo, son los mejores padres.*

*A mis hermanas, Ximena y Vanessa por estar siempre presentes y por el apoyo incondicionalmente que me brindaron en todo momento.*

*Finalmente quiero dedicar este trabajo a mis seres queridos que están en el cielo y que siempre los llevo en mi corazón.*

## AGRADECIMIENTO

*El presente trabajo agradezco a Dios por ser mi guía y acompañarme en el transcurso de mi vida, brindándome paciencia y sabiduría para culminar con éxito mis metas propuestas.*

*A mis padres por ser mi pilar fundamental y haberme apoyado incondicionalmente, pese a las adversidades e inconvenientes que se presentaron durante toda mi vida estudiantil.*

*Agradezco a mi tutor de tesis Ing. Mg. Alejandra Lascano quien, con su experiencia, conocimiento y motivación me oriento en el presente trabajo de investigación. A mis amigos que gracias a su apoyo moral me permitieron permanecer con empeño, dedicación y cariño, y a todos quienes contribuyeron con un granito de arena para culminar con éxito la meta propuesta.*

## ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN .....	ii
AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN .....	iii
DERECHOS DE AUTOR.....	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO .....	v
DEDICATORIA .....	vi
AGRADECIMIENTO.....	vii
RESUMEN EJECUTIVO .....	xv
ABSTRACT .....	xvi
CAPITULO I.....	1
MARCO TEÓRICO.....	1
1.1    Antecedentes investigativos .....	1
1.2    Objetivos.....	5
1.2.1    Objetivo General .....	5
1.2.2    Objetivos Específicos.....	5
1.3    Fundamentación teórica.....	6
1.3.1    Material compuesto.....	6
1.3.2    Clasificación de los materiales compuestos .....	6
1.3.3    Matriz .....	7
1.3.3.1    Matriz metálica .....	7
1.3.3.2    Matriz cerámica .....	8
1.3.3.3    Matriz polimérica.....	8
1.3.4    Material de refuerzo .....	10
1.3.4.1    Fibra naturales.....	10
1.3.4.2    Proceso de extracción de fibras naturales .....	11



CAPITULO II .....	13
METODOLOGÍA .....	13
2.1    Materiales .....	13
2.1.1    Matriz polimérica .....	13
2.1.2    Material de refuerzo .....	13
2.2    Métodos .....	13
2.2.1    Bibliográfico .....	13
2.2.2    Experimental .....	14
2.2.3    Descriptivo .....	14
2.2.4    Aplicada .....	14
2.2.5    Diseño experimental.....	14
2.3    Hipótesis .....	15
2.3.1    Señalamiento de las variables de la hipótesis .....	15
2.3.1.1    Variable independiente .....	15
2.3.1.2    Variable dependiente .....	15
2.3.1.3    Termino de relación.....	15
2.3.2    Operacionalización de variables .....	15
2.4    Procedimiento.....	16
2.4.1    Obtención del material de refuerzo .....	16
2.4.2    Proceso de tamizado.....	17
2.4.3    Cálculos de la masa del material de refuerzo.....	17
2.4.3.1    Probetas a tracción.....	18
2.4.3.2    Probetas a flexión.....	19
2.4.3.3    Probetas a impacto.....	20
2.4.3.4    Porcentaje volumétrico .....	21

2.4.3.5	Tamaño del refuerzo .....	21
2.5	Cálculos .....	22
2.5.1	Masa del refuerzo de las probetas a tracción .....	22
2.5.2	Masa del refuerzo de las probetas a flexión .....	24
2.5.3	Masa del refuerzo de las probetas a impacto .....	26
2.5.4	Factor de mayoración.....	28
2.6	Diseño y construcción del molde .....	30
2.6.1	Diseño .....	30
2.6.2	Construcción .....	31
2.6.3	Elaboración de las probetas.....	32
2.6.3.1	Materiales y equipos .....	32
2.6.3.2	Procedimiento de elaboración.....	35
CAPITULO III .....		43
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....		43
3.1	Análisis y discusión de resultados .....	43
3.1.1	Ficha de reporte ensayo a tracción .....	43
3.1.2	Ficha de reporte ensayos de flexión .....	55
3.1.3	Ficha de reporte ensayo de impacto .....	67
3.1.4	Evaluación de resultados.....	85
3.1.5	Interpretación de resultados .....	88
3.2	Verificación de hipótesis .....	89
3.2.1	Prueba de hipótesis para el ensayo a tracción .....	90
3.2.1.1	Esfuerzo máximo .....	90
3.2.1.2	Módulo de elasticidad.....	93
3.2.2	Prueba de hipótesis para el ensayo a flexión.....	95

3.2.2.1	Esfuerzo máximo .....	95
3.2.2.2	Módulo de flexión.....	98
3.2.3	Prueba de hipótesis para ensayo de impacto .....	100
3.2.3.1	Resistencia al impacto .....	100
3.3	Aplicación industrial .....	103
CAPITULO IV	.....	104
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	.....	104
4.1	Conclusiones.....	104
4.2	Recomendaciones .....	105
BIBLIOGRAFÍA	.....	106
ANEXOS	.....	110

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Formación de un material compuesto .....	6
<b>Figura 2:</b> Clasificación del material compuesto según su tipo de refuerzo .....	7
<b>Figura 3:</b> Clasificación de fibras vegetales .....	10
<b>Figura 4:</b> Nomenclatura de probetas.....	14
<b>Figura 5:</b> Juego de tamices.....	17
<b>Figura 6:</b> Dimensiones de la probeta a tracción.....	18
<b>Figura 7:</b> Dimensiones de la probeta a flexión .....	19
<b>Figura 8:</b> Dimensiones de la probeta a impacto.....	20
<b>Figura 9:</b> Distribución de las probetas .....	30
<b>Figura 10:</b> Diseño del molde.....	30
<b>Figura 11:</b> Medición, corte y soldadura del marco .....	31
<b>Figura 12:</b> Corte de la base y tapa del molde.....	31
<b>Figura 13:</b> Aplicación de la cera desmoldante en el molde .....	36
<b>Figura 14:</b> Cantidad necesaria para la elaboración de probetas a tracción .....	36
<b>Figura 15:</b> Orden de preparación de la matriz .....	37
<b>Figura 16:</b> Colocación y distribución de la matriz y del refuerzo .....	37
<b>Figura 17:</b> Compresión de la mezcla .....	38
<b>Figura 18:</b> Lamina de material compuesto.....	38
<b>Figura 19:</b> A) Probetas a tracción, B) Probetas a flexión y C) Probetas a impacto.....	39
<b>Figura 20:</b> Gráficos de las distribución de los datos muestrales del esfuerzo máximo a tracción.....	91
<b>Figura 21:</b> Gráficos de las distribución de los datos muestrales del módulo de elasticidad a tracción.....	94
<b>Figura 22:</b> Gráficos de las distribución de los datos muestrales del esfuerzo máximo a flexión .....	96
<b>Figura 23:</b> Gráficos de las distribución de los datos muestrales del módulo de flexión.....	99
<b>Figura 24:</b> Gráficos de las distribución de los datos muestrales de la resistencia al impacto.....	101

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1:</b> Matrices poliméricas.....	8
<b>Tabla 2:</b> Propiedades físicas diferentes resinas.....	9
<b>Tabla 3:</b> Propiedades físicas y mecánicas de las fibras naturales .....	11
<b>Tabla 4:</b> Propiedades mecánicas .....	13
<b>Tabla 5:</b> Variable independiente .....	15
<b>Tabla 6:</b> Variable dependiente .....	16
<b>Tabla 7:</b> Grupos de probetas para los ensayos .....	22
<b>Tabla 8:</b> Probetas para ensayo de tracción.....	22
<b>Tabla 9:</b> Probetas para ensayo de flexión.....	24
<b>Tabla 10:</b> Probetas para ensayo de impacto .....	26
<b>Tabla 11:</b> Cálculo de masa y volumen.....	28
<b>Tabla 12:</b> Calculo de la masa para la elaboración de las probetas.....	29
<b>Tabla 13:</b> Listado de materiales .....	32
<b>Tabla 14:</b> Grupo de probetas a tracción.....	39
<b>Tabla 15:</b> Grupo de probetas a flexión.....	40
<b>Tabla 16:</b> Grupo de probetas a impacto .....	41
<b>Tabla 17:</b> Ficha técnica de recopilación de datos (Tracción + Tipo A + 25%) .....	43
<b>Tabla 18:</b> Ficha técnica de recopilación de datos (Tracción + Tipo A+30%) .....	45
<b>Tabla 19:</b> Ficha técnica de recopilación de datos (Tracción + Tipo A+35%) .....	47
<b>Tabla 20:</b> Ficha técnica de recopilación de datos (Tracción + Tipo B + 25%).....	49
<b>Tabla 21:</b> Ficha técnica de recopilación de datos (Tracción + Tipo B + 30%).....	51
<b>Tabla 22:</b> Ficha técnica de recopilación de datos (Tracción + Tipo B + 35%).....	53
<b>Tabla 23:</b> Ficha técnica de recopilación de datos (Flexión + Tipo A + 25%) .....	55
<b>Tabla 24:</b> Ficha técnica de recopilación de datos (Flexión + Tipo A + 30%) .....	57
<b>Tabla 25:</b> Ficha técnica de recopilación de datos (Flexión + Tipo A + 35%) .....	59
<b>Tabla 26:</b> Ficha técnica de recopilación de datos (Flexión + Tipo B + 25%) .....	61
<b>Tabla 27:</b> Ficha técnica de recopilación de datos (Flexión + Tipo B + 30%).....	63
<b>Tabla 28:</b> Ficha técnica de recopilación de datos (Flexión + Tipo B + 35%).....	65
<b>Tabla 29:</b> Ficha técnica de recopilación de datos (Impacto + Tipo A + 25%) .....	67

<b>Tabla 30:</b> Ficha técnica de recopilación de datos (Impacto + Tipo A + 30%) .....	70
<b>Tabla 31:</b> Ficha técnica de recopilación de datos (Impacto + Tipo A + 35%) .....	73
<b>Tabla 32:</b> Ficha técnica de recopilación de datos (Impacto + Tipo B + 25%).....	76
<b>Tabla 33:</b> Ficha técnica de recopilación de datos (Impacto + Tipo B + 30%).....	79
<b>Tabla 34:</b> Ficha técnica de recopilación de datos (Impacto + Tipo B + 35%).....	82
<b>Tabla 35:</b> Valoración de la configuración y fracción volumétrica ensayo a tracción .....	85
<b>Tabla 36:</b> Valoración de la configuración y fracción volumétrica ensayo a flexión .....	86
<b>Tabla 37:</b> Valoración de la configuración y fracción volumétrica ensayo a impacto.....	87
<b>Tabla 38:</b> Interpretación de resultados de las distintas propiedades del material compuesto .....	88
<b>Tabla 39:</b> Propiedades mecánicas del material compuesto Tipo A 30% refuerzo + 70% matriz.....	89
<b>Tabla 40:</b> Datos muestrales del esfuerzo máximo a tracción.....	91
<b>Tabla 41:</b> Prueba de homocedasticidad del esfuerzo máximo a tracción .....	92
<b>Tabla 42:</b> Prueba de hipótesis para el esfuerzo máximo a tracción .....	92
<b>Tabla 43:</b> Datos muestrales a tracción del módulo de elasticidad .....	93
<b>Tabla 44:</b> Prueba de homocedasticidad del módulo de elasticidad a tracción .....	94
<b>Tabla 45:</b> Prueba de hipótesis para el módulo de elasticidad a tracción .....	95
<b>Tabla 46:</b> Datos muestrales del esfuerzo máximo a flexión .....	96
<b>Tabla 47:</b> Prueba de homocedasticidad del esfuerzo máximo a flexión .....	97
<b>Tabla 48:</b> Prueba de hipótesis para el esfuerzo máximo a flexión.....	97
<b>Tabla 49:</b> Datos muestrales del módulo de flexión.....	98
<b>Tabla 50:</b> Prueba de homocedasticidad del módulo de flexión .....	99
<b>Tabla 51:</b> Prueba de hipótesis para el módulo de flexión .....	100
<b>Tabla 52:</b> Datos muestrales de la resistencia al impacto.....	101
<b>Tabla 53:</b> Prueba de homocedasticidad de la resistencia al impacto .....	102
<b>Tabla 54:</b> Prueba de hipótesis de la resistencia al impacto .....	102

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

**TEMA:** “CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE UN MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ POLIÉSTER REFORZADO CON PARTÍCULAS DE LAUREL Y SU INCIDENCIA EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS”

**AUTOR:** Wilmer Armando Andrango Pillajo

**TUTOR:** Ing. Alejandra Lascano Moreta Mg.

**RESUMEN EJECUTIVO**

El presente trabajo experimental fue realizado con el propósito de definir las propiedades mecánicas de un material compuesto conformado por resina poliéster y reforzado con partículas de laurel. Para lo cual se utilizó dos tipos de configuraciones y tres tipos variaciones volumétricas, con el objetivo de establecer la combinación ideal que posea las mejores propiedades mecánicas del material compuesto.

En esta investigación fueron realizados los ensayos a tracción, flexión e impacto bajo las normas ASTM-D3039, ASTM-D7264 y ASTM-5628, las cuales establecieron las dimensiones idóneas para la elaboración de las probetas. Donde más adelante fueron ensayadas y tabuladas estadísticamente los resultados obtenidos de cada una de las configuraciones y variaciones volumétricas obtenidas del material compuesto. El tipo de estratificación fue por compresión mediante una matriz de acero soldado ASTM-A36, lo que nos garantizó una superficie lisa y un excelente acabado superficial del material.

Por medio del estudio realizado se logró determinar que las mejores propiedades mecánicas del material compuesto recaen sobre la configuración tipo A, con un tamaño de partícula de 500 micras y con una fracción volumétrica del 30 porciento de refuerzo de partículas de laurel más el 70 porciento de matriz polimérica de resina poliéster. Dando como resultados en esfuerzo máximo a la tracción de 27.39 Mpa, módulo de elasticidad a la tracción de 2214.71 Mpa, deformación máxima 1.32 porciento, esfuerzo máximo a la flexión de 117.09 Mpa, módulo de elasticidad a la flexión de 6924.7 Mpa, deflexión máxima 3.46 milímetros y resistencia al impacto de 0.19 J.

**TECHNICAL UNIVERSITY OF AMBATO**  
**CIVIL AND MECHANICAL ENGINEERING FACULTY**  
**MECHANICAL ENGINEERING CAREER**

**TOPIC:** “MECHANICAL CHARACTERIZATION OF A POLYESTER MATRIX COMPOSITE MATERIAL REINFORCED WITH LAUREL PARTICLES AND ITS INCIDENCE IN MECHANICAL PROPERTIES”

**AUTHOR:** Wilmer Armando Andrango Pillajo

**TUTOR:** Ing. Alejandra Lascano Moreta Mg.

**ABSTRACT**

The present experimental work was carried out with the purpose of defining the mechanical properties of a composite material formed by polyester resin and reinforced with laurel particles. For which two types of configurations and three types of volumetric variations were used, in order to establish the ideal combination that has the best mechanical properties of the composite material.

In this investigation, tensile, flexural and impact tests were carried out under the norms ASTM-D3039, ASTM-D7264 and ASTM-5628, which established the ideal dimensions for the preparation of the specimens. Where later the results obtained from each of the configurations and volumetric variations obtained from the composite material were rehearsed and tabulated statistically. The type of stratification was by compression using a welded steel matrix ASTM-A36, which guaranteed us a smooth surface and an excellent surface finish of the material.

Through the study carried out it was possible to determine that the best mechanical properties of the composite material fall on the type A configuration, with a particle size of 500 microns and with a volumetric fraction of 30 percent of laurel particle reinforcement plus 70 percent of polymer matrix of polyester resin. Showing results in maximum tensile stress of 27.39 Mpa, tensile elastic modulus of 2214.71 Mpa, maximum deformation 1.32 percent, maximum flexural stress of 117.09 Mpa, flexural elasticity modulus of 6924.7 Mpa, maximum deflection 3.46 mm and impact resistance of 0.19 J.



## **TEMA DEL TRABAJO EXPERIMENTAL**

“CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE UN MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ POLIÉSTER REFORZADO CON PARTÍCULAS DE LAUREL Y SU INCIDENCIA EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS”

### **CAPITULO I**

#### **MARCO TEÓRICO**

##### **1.1 Antecedentes investigativos**

Para el desarrollo del presente trabajo experimental se tomaron en cuenta investigaciones previas las cuales fueron desarrolladas en el Ecuador y países extranjeros, los mismos que proporcionan información sobre materiales compuestos de matriz poliéster.

Correa, determinó que las mejores propiedades mecánicas a tracción y flexión en el compuesto de madera plástica obtenido mediante extrusión reforzado con polvo de bambú y nanoarcillas, se logra con un mayor tamaño de la partícula, observándose que a un mayor tamaño de partícula se limita la deformación debido a que el refuerzo se comporta como fibras. Por otro lado, menciona que existirá una disminución en las propiedades de impacto ya que, al ser más frágil, absorbe menos energía estableciendo que con la utilización de menores tamaños de la partícula la energía absorbida por área es parcialmente mayor debido a que se producirían menores concentraciones de esfuerzos [1].

García, Amado, Campbell, Brito y Toscano, determinaron que la concentración de la resina o matriz en su estudio para la obtención de madera plástica con paja de trigo y matriz polimérica, el tamaño de la partícula de paja y el proceso de mezclado son los factores que mayor incidencia tienen sobre las características del material compuesto. Sin embargo, los resultados obtenidos les permiten concluir que este tipo de material compuesto puede ser utilizado en la industria de la construcción de modo que se podrá sustituir la madera común. Simultáneamente se recomienda la realización de pruebas de

resistencia a los rayos ultravioletas, retardación a la flama y flexión en frío para obtener una mejor caracterización mecánica del material compuesto [2].

Acosta, estableció mediante ponderación de los datos promedios analizados en la obtención de un material compuesto de matriz polimérica reforzado con partículas de caucho que la mejor composición volumétrica para la obtención del material compuesto es el 30% de refuerzo y el 70% de matriz, logrando conseguir las mejores propiedades mecánicas, de igual forma recomienda la utilización de anhídrido maleico para obtener una mejor adherencia entre el refuerzo y la matriz polimérica debido a que sirve como agente compatibilizante entre fases [3].

Mazón, señala que la estratificación manual en un material compuesto de matriz poliéster con fibra de coco brinda una mayor facilidad en el momento de fabricar las probetas para que la distribución de la fibra sea homogénea a pesar de no dejar un acabado superficial perfecto, a su vez establece que la variar, incrementando o reduciendo la fracción volumétrica esta incidirá sobre las propiedades mecánicas del material compuesto. Además, recomienda que al preparar por primera vez el molde es necesario engrasarlo de 3 a 4 veces, dejándolo secar perfectamente sin la ayuda del sol [4].

Villamar, menciona que el proceso fundamental en la elaboración de madera plástica es el secado del polvo de madera, ya que si el mismo posee un porcentaje mayor al 1% de humedad las probetas obtenidas del material compuesto estarán incompletas y con una gran presencia de porosidad de tal manera el porcentaje de humedad aceptable debe ser cercano al 0% para evitar presencia de defectos en las probetas. Mediante los resultados obtenidos se indica que con el uso de compatibilizante aumento la resistencia a la flexión, así como también el módulo elástico a la flexión en un incremento de 25% y 30% respectivamente. Conjuntamente recomienda que el contenido de polvo de madera no deberá sobrepasar el 40% en peso del material compuesto ya que implicaría una complejidad mayor en el desarrollo del proceso [5].

Izurieta, determinó que las mejores propiedades mecánicas alcanzadas en su estudio realizado con partículas residuales de cuero y a base de matriz polimérica, fue del 30% de refuerzo particulado y 70% de matriz poliéster, determinando por medio de un análisis

estadístico de los resultados obtenidos se estableció que el refuerzo particulado de cuero grueso mostro optimas propiedades mecánicas, por otro lado menciona, que el refuerzo particulado de cuero fino posee una mayor resistencia debido a que su microestructura procede como pequeñas fibras. Además, se recomienda para una mayor facilidad de desmolde la necesidad de untar cera desmoldante como mínimo unas 5 y dejándola secar por un lapso aproximado de 15 minutos, en un sitio con baja luminosidad evitando la exposición al sol [6].

Vicuña, expresa que, para mejorar significativamente el índice de fluidez del material compuesto a partir de residuos de madera y resina termoplástica, el anhídrido maleico MAPP es un excelente aditivo, debido a que actúa como agente adherente entre la fibra y la matriz polimérica brindando a la fibra un efecto lubricante para que su procesamiento se facilite [7].

Cunalata y Jiménez, reiteran que el tiempo de curado ideal de un material compuesto de matriz poliéster reforzada con fibra de yute, es de 24 min antes de colocar la tapa de su respectivo molde, por lo cual dicho tiempo debe ser contabilizado después de añadir el agente catalizador MEKT posteriormente se debe realizar el sellado del molde. Adicionalmente señala que los porcentajes ideales para el curado de la resina en dicha investigación fueron del 11% de estireno monómero, 0,5% de octoato de cobalto y 0.75% de catalizador MEKT [8].

Martínez, afirma que a lo largo de los años existe una gran incidencia en la problemática de los residuos de la madera, el cual se considera un subproducto engorroso debido a que en abundantes cantidades se lo consideraría como un agente de contaminación. Por lo tanto, en el estudio realizado busca la optimización de residuos los cuales se pueden utilizar en la fabricación de materiales compuestos de madera y plástico. Es decir que el uso de residuos reciclados contribuye a la mitigación de la contaminación ambiental, además, las empresas forestales pueden dar un destino sostenible de sus residuos brindando beneficios a la sociedad promoviendo la fabricación de productos forestales de alta calidad y diversidad de usos que pueden satisfacer sus necesidades. Simultáneamente menciona que las proporciones más adecuadas para mejorar las propiedades físicas y

mecánicas del material compuesto varían entre 40 y 45% de madera, 50 y 60% de termoplásticos y hasta un 5% de carbono de calcio como un aditivo químico [9].

Vedrtnam, asevera que los materiales compuestos de madera-plástico (WPCs) son utilizados con frecuencia en construcción, infraestructuras y aplicaciones de automoción debida a su alta rigidez, bajo costo, baja densidad y buenas propiedades mecánicas. Recalcando de forma muy específica que las propiedades del material compuestos, es decir la madera plástica dependen del contenido de polvo de madera, especie de madera, agente de acoplamiento y material de la matriz. Por otro lado, señala que la degradación de las propiedades física y mecánicas del material compuesto se producirá debido a la erosión natural y a la luz solar. La razón de la degradación comprende las acciones en la cristalinidad de la fase de matriz, la oxidación de las superficies del material compuesto y a la degradación de la resistencia interfacial. En la finalización del presente experimento se verificó que la resistencia a la tracción, rigidez, dureza, desgaste y resistencia al impacto poseen una relación directa con el tipo de polvo de madera [10].

Delgado, determino que los tableros obtenidos a partir de un material compuesto hibrido de matriz poliéster reforzado con fibra de coco y fibra de vidrio, presentan resistencia a la tracción superiores en un 38,9% y 10,9% con respecto a la madera de 12mm y 18mm de espesor respectivamente. De igual forma en la resistencia a la flexión se registró un incremento en 287,00% y 113.91% con respecto a la madera con fibras paralelas de 12mm y 18mm. Adicionalmente afirma que el incremento obtenido fue de 91% y 229% en relación con tableros de madera con fibras perpendiculares y de igual espesor [11].

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo General**

- Caracterizar un material compuesto de matriz poliéster y reforzado con partículas de laurel.

### **1.2.2 Objetivos Específicos**

- Obtener el material compuesto utilizando variaciones en los porcentajes volumétricos del refuerzo.

El presente objetivo será cumplido por medio de los porcentajes volumétricos de 25% refuerzo, 30% refuerzo y 35% refuerzo, de forma que cada una de las variaciones volumétricas formen un nuevo material compuesto

- Fabricar probetas de material compuesto para la realización de ensayos bajo las normas ASTM.

Mediante la ayuda de un molde y herramientas de corte serán elaboradas las probetas del nuevo material compuesto, de acuerdo con las dimensiones establecidas por las normas del ensayo a tracción (ASTM D3039), ensayo a flexión (ASTM D7264) y ensayo a impacto (ASTM D5628).

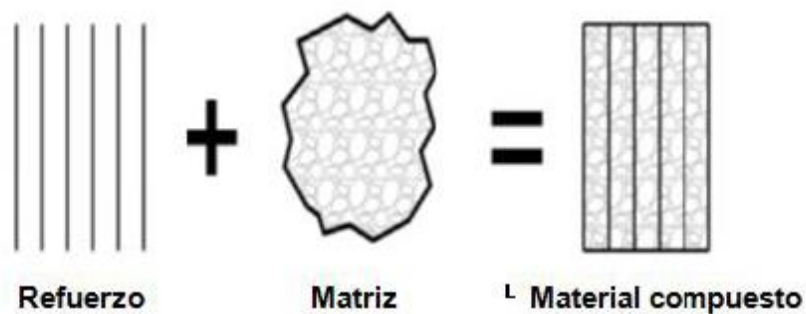
- Definir las propiedades mecánicas del material compuesto con la ayuda de los ensayos de tracción, flexión e impacto.

A través de una tabulación de datos de los resultados logrados en los ensayos de tracción, flexión e impacto se establecerá el mejor resultado, de la comparación entre todos los grupos de probetas del material compuesto determinando las propiedades mecánicas óptimas del material compuesto y a cuál variación volumétrica pertenece.

### 1.3 Fundamentación teórica

#### 1.3.1 Material compuesto

Se denomina material compuesto, a los materiales formados por una mezcla o mezcolanza adecuadamente dispuesta de dos o más micro o macroconstituyentes con una intracara que los aparta, los cuales difieren en forma, composición química y son esencialmente insolubles entre sí. Los materiales compuestos se obtienen al unir dos materiales diferentes con la finalidad de lograr una mezcla de propiedades, las cuales no son posibles de lograr en un solo material. Estos agregados son seleccionados para poder lograr combinaciones no habituales de resistencia, peso, deformación, dureza, rigidez o rendimiento a altas temperaturas [12] [13].



**Figura 1:** Conformación de un material compuesto

Fuente: [14]

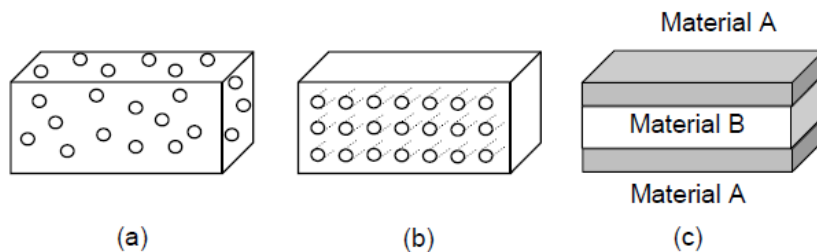
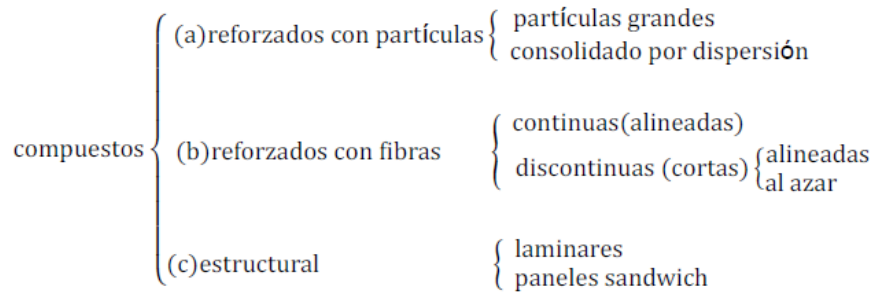
#### 1.3.2 Clasificación de los materiales compuestos

La clasificación de los materiales compuestos se los puede ejecutar de acuerdo con el tipo de matriz o el tipo de refuerzo.

De acuerdo con el tipo de matriz:

- Matriz metálica
- Matriz cerámica
- Matriz polimérica

De acuerdo con el tipo de refuerzo la clasificación se muestra en la Figura 2.



**Figura 2:** Clasificación del material compuesto según su tipo de refuerzo

**Fuente:** [5]

### 1.3.3 Matriz

La matriz de un material compuesto posee la misión sobrellevar las fibras manteniéndolas en una posición adecuada, las protege de sufrir daños, transfiere la carga hacia las fibras, permite evitar la difusión de grasas en las fibras del compuesto. Por tal razón la matriz es responsable del control primordial de la conducta química y las propiedades mecánicas del material compuesto [12].

#### 1.3.3.1 Matriz metálica

El aluminio, magnesio, cobre, níquel, titanio y aleaciones son los materiales metálicos más utilizados como matriz en la fabricación de materiales compuestos.

Es necesario que los refuerzos utilizados con matrices metálicas cumplan las siguientes requisitos:

- Baja densidad
- Compatibilidad mecánica
- Compatibilidad química

- Estabilidad térmica
- Alto módulo de elasticidad
- Alta resistencia a la tracción y a la compresión

### 1.3.3.2 Matriz cerámica

Las matrices cerámicas poseen la ventaja de tener una mayor estabilidad termodinámica y una mayor resistencia al calor. Las principales fibras de refuerzo que se combinan con las matrices cerámicas son aquellas formadas por carburo de silicio y las de óxido de aluminio [15].

### 1.3.3.3 Matriz polimérica

Los materiales compuestos a base de matriz polimérica están constituidos por algún tipo de resina. A continuación, se muestra en la Tabla 1 los diferentes tipos de matrices poliméricas que son utilizadas en la industria para la fabricación de materiales compuestos. Para la presente investigación se optó por la utilización de resina poliéster la cual pertenece al grupo de los polímeros termoestables.

**Tabla 1:** Matrices poliméricas

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

**Fuente:** [3]



Las resinas son sustancias líquidas que tienen la característica de cambiar de un estado líquido hacia un estado sólido, todo esto debido a una reacción química inducida por un agente externo ya que por sí solas prácticamente no tienen la resistencia adecuada por lo cual es necesario que sean reforzadas con materiales que contribuyan flexibilidad y dureza [16].

**Tabla 2:** Propiedades físicas diferentes resinas

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

**Fuente:** [4]

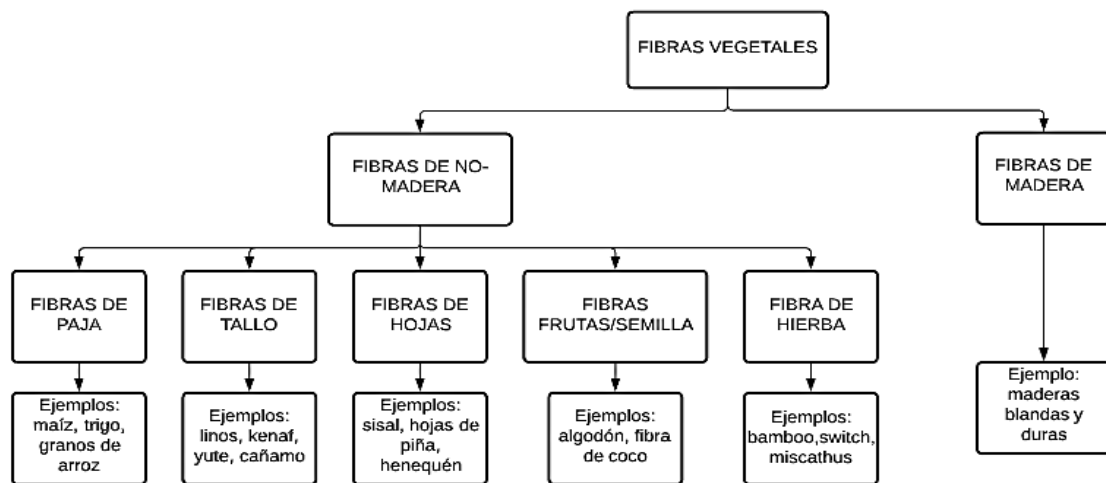
### **Resina poliéster**

La resina poliéster es un material plástico clasificado como termoestable de baja densidad constituido a partir de poliéster lineales que mantiene dobles enlaces en su cadena tras la polimerización. Acompañado de un monómero vinílico (estireno) el cual disuelve los poliésteres, se suelen mantener de forma estable hasta el momento de su aplicación, que suele llevarse a cabo provocando la polimerización de los dobles enlaces del estireno y el poliéster mediante un agente iniciador, dando lugar al entrecruzamiento que endurece el producto final. Este tipo de resina es muy versátil, de fácil manipulación y posee una amplia disponibilidad en el mercado [17].

### 1.3.4 Material de refuerzo

#### 1.3.4.1 Fibra naturales

Las fibras naturales son poseedoras de una serie de propiedades que las establece como una alternativa adecuada para la utilización de material de refuerzo para los materiales compuestos de matriz polimérica y por el incremento de contaminación en el transcurso de los últimos años, ha crecido el interés en los investigadores del estudio de materiales de origen biológico [18].



**Figura 3:** Clasificación de fibras vegetales

**Fuente:** [4]

El uso de los recursos naturales, la producción de fibras de origen natural tales como el cañamo, madera, algodón, sisal, plátano, lino, kenaf, abacá, coco, bambú y otras; es la principal iniciativa para la producción de nuevos materiales compuestos inexistentes en la naturaleza por sí mismos. El material de refuerzo se debe caracterizar por su dureza y la relación de forma entre sí, la compatibilidad con la matriz que supone una transmisión de esfuerzos adecuada, buscando reemplazar a las fibras sintéticas en los materiales compuestos comunes utilizados en la industria [19].

La madera es un material compuesto natural, cuya resistencia es correspondida a la celulosa, una cadena polimérica rígida lineal la cual posee tres oxhidrilos alcohólicos. Los

mismos que forman enlaces de hidrógeno dentro de la macromolécula, así como los oxhidrilos del aire, determinando la naturales hidrofílica de la madera [20].

En el transcurso de los años se ha aumentado el interés por la utilización de materiales orgánicos naturales (partículas y/o fibras) como refuerzos de polímeros. La densidad, bajo costo, y la naturaleza no abrasiva de estas fibras permiten altos niveles de cargas con lo que se reduce el costo del proceso de producción del material final. También los rellenos de origen vegetal tienen muy buenas propiedades mecánicas, las fibras de maderas blandas poseen una resistencia en tracción de 0.5 a 1.5 GPa y módulos de Young entre 10 y 80 GPa [20].

**Tabla 3:** Propiedades físicas y mecánicas de las fibras naturales

Fibra	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	Resistencia a tracción (MPa)	Módulo de Young (GPa)	Elongación a la ruptura (%)
Sisal	1,27 – 1,50	126 - 800	3,80 – 62,0	2,8 – 10
Coco	1,15 – 1,50	95 – 149	2,80 – 13,7	3,3 – 5,1
Yute	1,50	320 – 500	12,0 - 100	1,3 – 2,8
Malva	1,41	160	17,4	5,2
Ramio	1,51	393 – 900	7,30 – 25,0	1,8 – 5,3
Abacá	1,30	307	19,79	–

**Fuente:** [21]

Las propiedades mecánicas de las fibras naturales tienen su inicio alrededor del año 6000 a.c. como refuerzo de materiales cerámicos y en momificaciones. Mas tarde, los lienzos para pinturas y los textiles utilizaban las fibras naturales de modo que con la ayuda de resinas y miel con sal era una forma de prolongar la vida útil de esos materiales [22].

#### **1.3.4.2 Proceso de extracción de fibras naturales**

El proceso de separar la fibra natural de los otros componentes de la planta debe ser sumamente cuidadoso debido a que se busca realizar el menor daño posible en la planta. A lo largo de los años se han ido desarrollando procesos mecánicos, biológicos y químico

de separación de fibras, por lo que es necesario realizar una amplia investigación del tipo de fibra que se utilizara para determinar el proceso más adecuado [22].

### **Proceso mecánico**

Consiste en la extracción de las fibras de forma manual o mediante la ayuda de molinos. Normalmente se aplican en materiales de consistencia blanda como el banano o en fibras separadas como las cortezas de coco. La extracción de fibras por molinos es utilizada habitualmente en fibras como la caña de azúcar, el yute o el cáñamo. Sin embargo, dicho método es poco eficiente ya que no libera en su totalidad a la fibra de sus componentes desechables y a su vez se genera daños a la fibra [22].

### **Proceso biológico**

Este proceso se realiza por medio de la utilización de enzimas de diferentes organismos (bacterias) para descomponer la lignina adherida en las fibras. El proceso posee una duración de 2 a 3 semanas, aunque si se lo desea en un menor tiempo es necesario tener a la materia prima en un ambiente cálido y húmedo, ya que se requiere grandes cantidades de agua [22].

### **Proceso químico**

Tiene por misión separar los tres componentes principales de la materia prima vegetal, es decir, la celulosa, la hemicelulosa y la lignina. Dicho procedimiento es complejo en términos químicos, debido a que la lignina es insoluble en todos los solventes, por lo tanto, no es posible disolverla directamente, sino que es necesario romper los enlaces covalentes que la unen con la hemicelulosa [22].

## CAPITULO II

### METODOLOGÍA

#### 2.1 Materiales

##### 2.1.1 Matriz polimérica

En el presente proyecto experimental se utilizará como matriz polimérica a la resina poliéster transparente RD1T-230K, fabricada por la empresa PINTULAC. En la siguiente tabla resumen se exponen las propiedades mecánicas necesarias para el proceso de elaboración del material compuesto y en el anexo A se muestra la ficha técnica de la resina poliéster.

**Tabla 4:** Propiedades mecánicas

Propiedad	Valor	Unidad
Densidad	1.1	g/cm <sup>3</sup>
Punto de inflamación	33°	°C
Estabilidad, sin peróxidos, en la oscuridad a 25 °C	6	Meses

##### 2.1.2 Material de refuerzo

Como material de refuerzo se utilizará el polvo de laurel perteneciente a la familia “Cordia alliodora” adquirido en la carpintería “El Laurel” ubicada en la provincia de Pichincha, cantón Quito. Para el tamaño de partícula se analizarán dos tamaños distintos, el primero de 500 µm establecido como agregado fino y el segundo de 2000 µm establecido como agregado grueso.

#### 2.2 Métodos

##### 2.2.1 Bibliográfico

Para el desarrollo de la investigación este método es indispensable ya que, la investigación deberá ser correctamente fundamentada mediante la ayuda de libros, tesis, artículos científicos, sitios web y revistas.

### 2.2.2 Experimental

El presente proyecto se basa en un tipo de investigación experimental debido a que se realizarán ensayos, mediante los cuales se logrará obtener un modelo experimental, por medio de la observación, registro y análisis de datos será posible determinar la mejor composición volumétrica del material compuesto.

### 2.2.3 Descriptivo

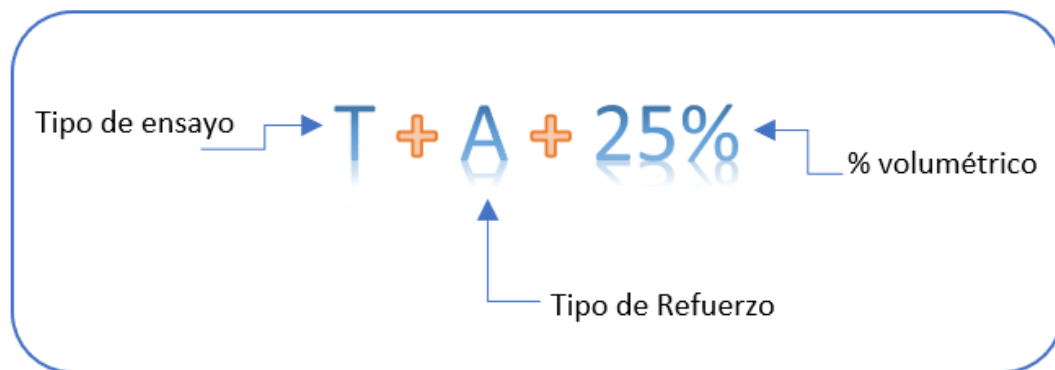
La descripción detallada de las propiedades, características y el origen de cada uno de los elementos que serán conformados por el nuevo material compuesto.

### 2.2.4 Aplicada

Mediante los resultados obtenidos del material compuesto logrados por la investigación realizada, será posible la utilización de la madera plástica como un material alternativo para el uso doméstico e industrial.

### 2.2.5 Diseño experimental

En la formación del material compuesto se analizarán la influencia de dos variables principales, las cuales se rigen al porcentaje volumétrico y tamaño del refuerzo. En la figura 4 se detalla la nomenclatura utilizada para la descripción de cada grupo de probetas a ensayarse.



**Figura 4:** Nomenclatura de probetas

## 2.3 Hipótesis

Ho: La variación en los porcentajes volumétricos de las partículas del refuerzo no tendrá incidencia en las propiedades mecánicas del material compuesto de matriz polimérica.

Hi: La variación en los porcentajes volumétricos de las partículas del refuerzo tendrá incidencia en las propiedades mecánicas del material compuesto de matriz polimérica.

### 2.3.1 Señalamiento de las variables de la hipótesis

#### 2.3.1.1 Variable independiente

Variación en los porcentajes volumétricos de las partículas del refuerzo

#### 2.3.1.2 Variable dependiente

Propiedades mecánicas

#### 2.3.1.3 Término de relación

Incidencia

### 2.3.2 Operacionalización de variables

**Tabla 5:** Variable independiente

Conceptualización	Categoría	Indicadores	Ítems	Técnicas e instrumentación
Un material compuesto es la combinación o mezcla de dos o más materiales de propiedades diferentes, que forma otro con mejores características que los que lo conformaron inicialmente.	Material compuesto	Composición porcentual volumétrica del refuerzo y la matriz	75% de matriz - 25% refuerzo	Normativa ASTM
			70% de matriz - 30% refuerzo	
			65% de matriz - 35% refuerzo	
		Tamaño del refuerzo	Agregado Fino (500 $\mu\text{m}$ )	
			Agregado Grueso (2000 $\mu\text{m}$ )	

**Tabla 6:** Variable dependiente

Conceptualización	Categoría	Indicadores	Ítems	Técnicas e instrumentación
Las características mecánicas son las propiedades que poseen y se muestran al estar sometidos a una fuerza externa, es decir la capacidad a soportar estas, son medibles mediante ensayos normalizados	Tracción	Carga Máxima	¿Cuál es la carga Máxima?	Normativa ASTM Bibliografía Observación Fichas de recolección de información
		Resistencia a la tracción	¿Qué resistencia última a la tracción tendrá el material?	
		Módulo de elasticidad	¿Qué módulo de elasticidad se obtendrá?	
		Deformación a la ruptura	¿Qué porcentaje de deformación se obtendrá?	
	Flexión	Carga Máxima	¿Cuál es la carga Máxima?	
		Esfuerzo máximo de flexión	¿Qué resistencia última a la flexión tendrá el material?	
		Módulo de elasticidad	¿Qué módulo de elasticidad se obtendrá?	
		Deflexión	¿Cuánta deflexión obtendrá el material?	
	Impacto	Resistencia al impacto	¿Qué energía se obtendrá?	

## 2.4 Procedimiento

### 2.4.1 Obtención del material de refuerzo

Se realizó la adquisición de las partículas de laurel (aserrín), apoyado en el estudio realizado por Estrada [23], en donde establece un mínimo de 24 horas de secado del



material vegetal, el aserrín fue expuesto al sol aproximadamente de 4 horas al día durante una semana con el fin de eliminar la humedad del refuerzo vegetal.

#### **2.4.2 Proceso de tamizado**

Con el objetivo de separar las partículas de laurel (aserrín) en los tamaños necesarios para el proyecto experimental se utilizó un juego de tamices normalizados bajo la norma ASTM E-11 los cuales fueron:

- N° 7 de 2.8 mm
- N° 10 de 2 mm
- N° 20 de 0.841 mm
- N° 35 de 0.5 mm
- N° 45 de 0.354 mm



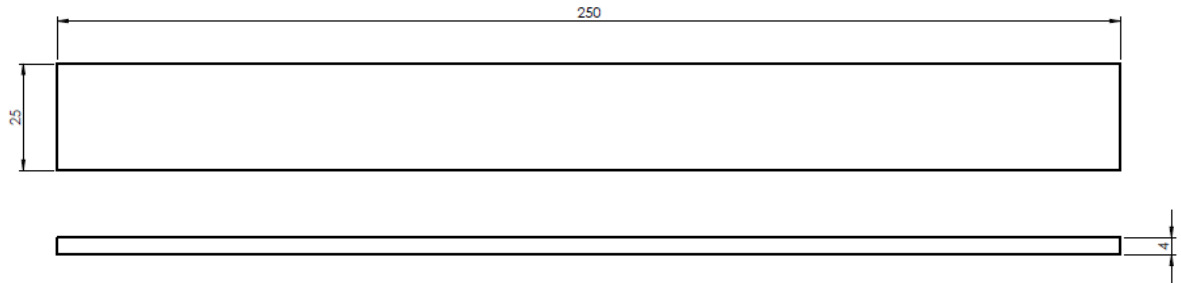
**Figura 5:** Juego de tamices

#### **2.4.3 Cálculos de la masa del material de refuerzo**

Para realizar los cálculos y determinar la cantidad de masa en gramos de las partículas de laurel, es necesario establecer las dimensiones de las probetas y precisar los porcentajes volumétricos del material compuesto.

### 2.4.3.1 Probetas a tracción

Las probetas a tracción serán elaboradas conforme a la norma ASTM D3039



**Figura 6:** Medidas de la probeta

Mediante las siguientes dimensiones establecidas se obtendrá el volumen total de las probetas a tracción.

Largo ( $l$ ) = 250mm

Ancho ( $a$ ) = 25mm

Espesor ( $e$ ) = 4mm

Cálculo del área

$$A = l * a$$

$$A = 250mm * 25mm$$

$$A = 6250mm^2$$

Cálculo del volumen

$$V = A * e$$

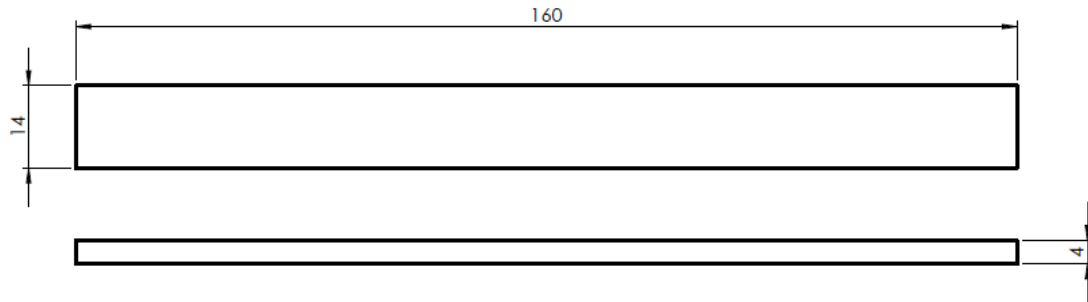
$$V = 6250mm^2 * 4mm$$

$$V = 25000mm^3$$

$$V = 25cm^3$$

### 2.4.3.2 Probetas a flexión

Las probetas a flexión serán elaboradas conforme a la norma ASTM D7264



**Figura 7:** Medidas de la probeta

Mediante las siguientes dimensiones establecidas se obtendrá el volumen total de las probetas a flexión.

Largo ( $l$ ) = 160mm

Ancho ( $a$ ) = 14mm

Espesor ( $e$ ) = 4mm

Cálculo del área

$$A = l * a$$

$$A = 160mm * 14mm$$

$$A = 2240mm^2$$

Cálculo del volumen

$$V = A * e$$

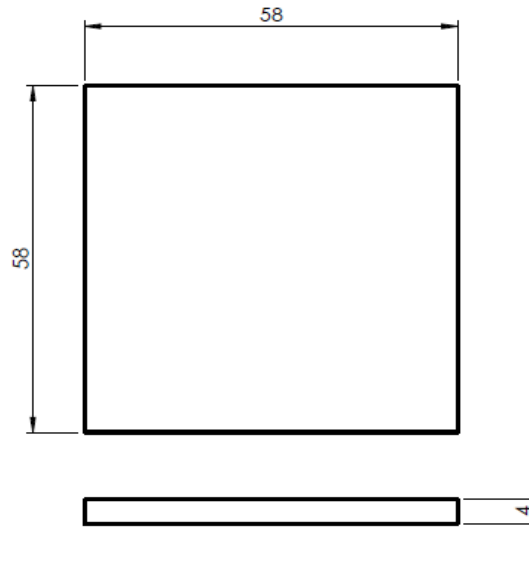
$$V = 2240mm^2 * 4mm$$

$$V = 8960mm^3$$

$$V = 8.96cm^3$$

### 2.4.3.3 Probetas a impacto

Las probetas a impacto serán elaboradas conforme a la norma ASTM D5628



**Figura 8:** Medidas de la probeta

Mediante las siguientes dimensiones establecidas se obtendrá el volumen total de las probetas a impacto.

Largo ( $l$ ) = 58mm

Ancho ( $a$ ) = 58mm

Espesor ( $e$ ) = 4mm

Cálculo del área

$$A = l * a$$

$$A = 58mm * 58mm$$

$$A = 3364mm^2$$

Cálculo del volumen

$$V = A * e$$

$$V = 3364mm^2 * 4mm$$

$$V = 13456mm^3$$

$$V = 13.46cm^3$$

#### **2.4.3.4 Porcentaje volumétrico**

Se utilizarán variaciones volumétricas establecidas previamente en la propuesta de titulación.

Las fracciones volumétricas que se van a utilizar serán:

- 75% de matriz – 25% de refuerzo
- 70% de matriz – 30% de refuerzo
- 65% de matriz – 35% de refuerzo

#### **2.4.3.5 Tamaño del refuerzo**

El tamaño de la partícula del material compuesto es un factor importante que se debe tener presente, ya que analizara la diferencia de los resultados obtenidos entre cada tipo de configuración y variación volumétrica, buscando identificar si existe diferenciación de resultados entre el agregado fino y el agregado grueso, los cuales estarán descritos de la siguiente manera:

- Tipo A (agregado fino)
- Tipo B (agregado grueso)

Se elaborarán un total de 5 probetas por cada variación volumétrica y de igual manera por cada tamaño del refuerzo. A continuación, en la tabla 5 se presentan todas las combinaciones a realizarse en el presente estudio experimental.

**Tabla 7:** Grupos de probetas para los ensayos

Ensayo	Tipo de refuerzo	Fracción Volumétrica	Denominación de la probeta	Número de probetas
Tracción	Tipo A	25%	T+A+25%	5
	Tipo A	30%	T+A+30%	5
	Tipo A	35%	T+A+35%	5
	Tipo B	25%	T+B+25%	5
	Tipo B	30%	T+B+30%	5
	Tipo B	35%	T+B+35%	5
Flexión	Tipo A	25%	F+A+25%	5
	Tipo A	30%	F+A+30%	5
	Tipo A	35%	F+A+35%	5
	Tipo B	25%	F+B+25%	5
	Tipo B	30%	F+B+30%	5
	Tipo B	35%	F+B+35%	5
Impacto	Tipo A	25%	I+A+25%	5
	Tipo A	30%	I+A+30%	5
	Tipo A	35%	I+A+35%	5
	Tipo B	25%	I+B+25%	5
	Tipo B	30%	I+B+30%	5
	Tipo B	35%	I+B+35%	5
<b>Número total de probetas</b>				<b>90</b>

## 2.5 Cálculos

Mediante la obtención exacta de los datos a utilizar, se procede a calcular la masa de las partículas para las probetas a tracción.

### 2.5.1 Masa del refuerzo de las probetas a tracción

**Tabla 8:** Probetas para ensayo de tracción

Volumen total (cm <sup>3</sup> )	Porcentaje volumétrico	Volumen unitario (cm <sup>3</sup> )	Número de probetas
25	25%	6.25	10
	30%	7.5	10
	35%	8.75	10

Según la ficha técnica de especies forestales del Ecuador [24], establece que la densidad del laurel posee valores de 0.29 – 0.46 gr/cm<sup>3</sup>. De tal manera que se utilizara para el presente proyecto experimental una densidad promedio para el laurel de 0.38 gr/cm<sup>3</sup>.

Densidad del laurel = 0.38 gr/cm<sup>3</sup>

La masa de las partículas Tracción + Tipo A + 25% y Tracción + Tipo B + 25% es:

$$\rho = \frac{m}{v}$$

$$m = \rho * v$$

$$m = 0.38 \frac{gr}{cm^3} * 6.25cm^3$$

$$m = 2.39gr$$

$$mt (A y B)_{1r} = 2.39gr * 10$$

$$mt (A y B)_{1r} = 23.9gr$$

La masa de las partículas Tracción + Tipo A + 30% y Tracción + Tipo B + 30% es:

$$\rho = \frac{m}{v}$$

$$m = \rho * v$$

$$m = 0.38 \frac{gr}{cm^3} * 7.5cm^3$$

$$m = 2.85 gr$$

$$mt (A y B)_{2r} = 2.85gr * 10$$

$$mt (A y B)_{2r} = 28.5 gr$$

La masa de las partículas Tracción + Tipo A + 35% y Tracción + Tipo B + 35% es:

$$\rho = \frac{m}{v}$$

$$m = \rho * v$$

$$m = 0.38 \frac{gr}{cm^3} * 8.75cm^3$$

$$m = 3.32 gr$$

$$mt(A y B)_{3r} = 3.32 gr * 10$$

$$mt (A y B)_{3r} = 33.2 gr$$

La masa total de las 30 probetas a tracción tanto para el refuerzo tipo A y tipo B es de:

$$m(Tr) = mt (A y B)_{1r} + mt (A y B)_{2r} + mt (A y B)_{3r}$$

$$m(Tr) = 23.9gr + 28.5 gr + 33.2 gr$$

$$m(Tr) = 85.6 gr$$

### 2.5.2 Masa del refuerzo de las probetas a flexión

Mediante la obtención exacta de los datos a utilizar, se procede a calcular la masa de las partículas para las probetas a flexión.

**Tabla 9:** Probetas para ensayo de flexión

Volumen total (cm <sup>3</sup> )	Porcentaje volumétrico	Volumen unitario (cm <sup>3</sup> )	Número de probetas
8.96	25%	2.24	10
	30%	2.69	10
	35%	3.14	10

Densidad del laurel = 0.38 gr/cm<sup>3</sup>

La masa de las partículas Flexión + Tipo A + 25% y Flexión + Tipo B + 25% es:

$$\rho = \frac{m}{v}$$

$$m = \rho * v$$



$$m = 0.38 \frac{gr}{cm^3} * 2.24 cm^3$$

$$m = 0.85 gr$$

$$mf (A y B)_{1r} = 0.85 gr * 10$$

$$mf (A y B)_{1r} = 8.5 gr$$

La masa de las partículas Flexión + Tipo A + 30% y Flexión + Tipo B + 30% es:

$$\rho = \frac{m}{v}$$

$$m = \rho * v$$

$$m = 0.38 \frac{gr}{cm^3} * 2.69 cm^3$$

$$m = 1.02 gr$$

$$mf (A y B)_{2r} = 1.02 gr * 10$$

$$mf (A y B)_{2r} = 10.2 gr$$

La masa de las partículas Flexión + Tipo A + 35% y Flexión + Tipo B + 35% es:

$$\rho = \frac{m}{v}$$

$$m = \rho * v$$

$$m = 0.38 \frac{gr}{cm^3} * 3.14 cm^3$$

$$m = 1.19 gr$$

$$mf(A y B)_{3r} = 1.19 gr * 10$$

$$mf (A y B)_{3r} = 11.9 gr$$

La masa total de las 30 probetas a flexión tanto para el refuerzo tipo A y tipo B es de:

$$m(Fr) = mf (A y B)_{1r} + mf (A y B)_{2r} + mf (A y B)_{3r}$$

$$m(Fr) = 8.5 \text{ gr} + 10.2 \text{ gr} + 11.9 \text{ gr}$$

$$m(Fr) = 30.6 \text{ gr}$$

### 2.5.3 Masa del refuerzo de las probetas a impacto

Mediante la obtención exacta de los datos a utilizar, se procede a calcular la masa de las partículas para las probetas a impacto.

**Tabla 10:** Probetas para ensayo de impacto

Volumen total (cm <sup>3</sup> )	Porcentaje volumétrico	Volumen unitario (cm <sup>3</sup> )	Número de probetas
13.46	25%	3.37	10
	30%	4.04	10
	35%	4.7	10

Densidad del laurel = 0.38 gr/cm<sup>3</sup>

La masa de las partículas Impacto + Tipo A + 25% e Impacto + Tipo B + 25% es:

$$\rho = \frac{m}{v}$$

$$m = \rho * v$$

$$m = 0.38 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} * 3.37 \text{cm}^3$$

$$m = 1.28 \text{ gr}$$

$$mi (A y B)_{1r} = 1.28 \text{ gr} * 10$$

$$mi (A y B)_{1r} = 12.8 \text{ gr}$$

La masa de las partículas Impacto + Tipo A + 30% e Impacto + Tipo B + 30% es:

$$\rho = \frac{m}{v}$$

$$m = \rho * v$$

$$m = 0.38 \frac{gr}{cm^3} * 4.04 cm^3$$

$$m = 1.54 gr$$

$$mi (A y B)_{2r} = 1.54 gr * 10$$

$$mi (A y B)_{2r} = 15.4 gr$$

La masa de las partículas Impacto + Tipo A + 35% e Impacto + Tipo B + 35% es:

$$\rho = \frac{m}{v}$$

$$m = \rho * v$$

$$m = 0.38 \frac{gr}{cm^3} * 4.7 cm^3$$

$$m = 1.79 gr$$

$$mi (A y B)_{3r} = 1.79 gr * 10$$

$$mi (A y B)_{3r} = 17.9 gr$$

La masa total de las 30 probetas a impacto tanto para el refuerzo tipo A y tipo B es de:

$$m(Ir) = mi (A y B)_{1r} + mi (A y B)_{2r} + mi (A y B)_{3r}$$

$$m(Ir) = 12.8 gr + 15.4 gr + 17.9 gr$$

$$m(Ir) = 46.1 gr$$

En la tabla 12 se detalla de la composición de masa y volumen tanto para el refuerzo como para la matriz de cada una de las variaciones volumétricas del material compuesto.

**Tabla 11:** Cálculo de masa y volumen

Ensayo	Volumen total (cm <sup>3</sup> )	Refuerzo			Matriz	
		%	Volumen (cm <sup>3</sup> )	Masa (gr)	Volumen (cm <sup>3</sup> )	Masa (gr)
Tracción	25.00	25	6.25	23.90	18.75	206.20
	25.00	30	7.50	28.50	17.50	192.50
	25.00	35	8.75	32.20	16.25	178.80
Flexión	8.96	25	2.24	8.50	6.72	73.90
	8.96	30	2.69	10.20	6.27	69.00
	8.96	35	3.14	11.90	5.80	63.80
Impacto	13.46	25	3.37	12.80	10.09	111.00
	13.46	30	4.04	15.40	9.42	103.60
	13.46	35	4.70	17.90	8.75	96.30

#### 2.5.4 Factor de mayoración

Se establece un factor de mayoración de 2 para permitir que todo el refuerzo se cubra en su totalidad y según la consideración de Pérez [25], se establece un 10% adicional de la matriz debido a que en la preparación y manipulación existen pérdidas.

En la tabla 12 se recalcula el valor de masa del refuerzo, así como también el incremento de la matriz y se detalla la cantidad de catalizador y acelerante para la elaboración de cada grupo de material compuesto.

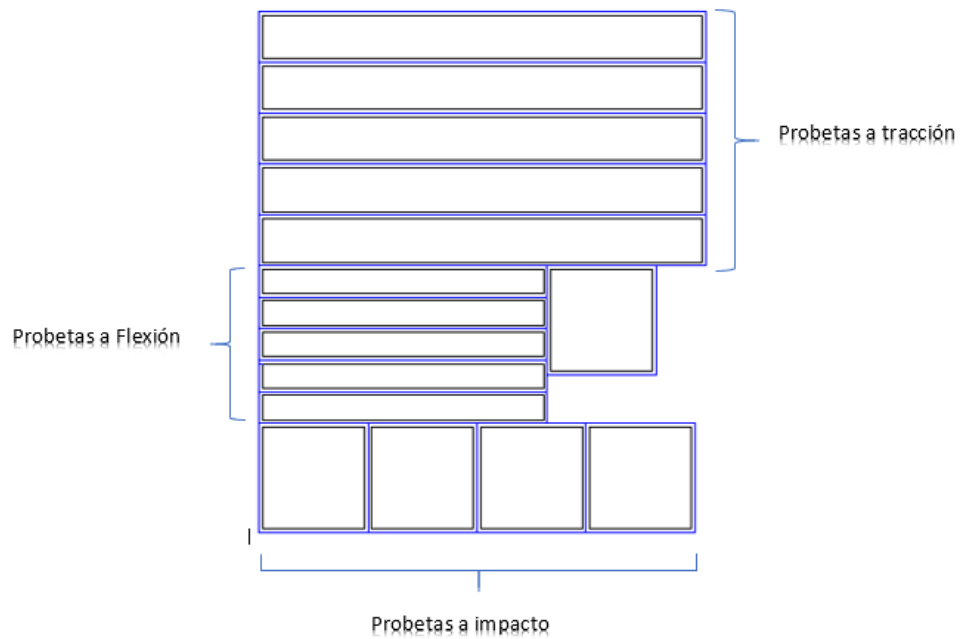
**Tabla 12:** Calculo de la masa para la elaboración de las probetas

Ensayo	Volumen total	Refuerzo			Matriz			Catalizador (MECK cm <sup>3</sup> )	Acelerante (Cobalto cm <sup>3</sup> )
		%	Volumen (cm <sup>3</sup> )	Masa (gr)	Volumen (cm <sup>3</sup> )	Masa (gr)	Perdida 10%		
Tracción	25.00	25	6.25	11.95	18.75	206.20	226.82	0.68	3.97
	25.00	30	7.50	14.25	17.50	192.50	211.75	0.64	3.71
	25.00	35	8.75	16.10	16.25	178.80	196.68	0.59	3.44
Flexión	8.96	25	2.24	4.25	6.72	73.90	81.29	0.24	1.42
	8.96	30	2.69	5.10	6.27	69.00	75.90	0.23	1.33
	8.96	35	3.14	5.95	5.80	63.80	70.18	0.21	1.23
Impacto	13.46	25	3.37	6.40	10.09	111.00	122.10	0.37	2.14
	13.46	30	4.04	7.70	9.42	103.60	113.96	0.34	1.99
	13.46	35	4.70	8.95	8.75	96.30	105.93	0.32	1.85

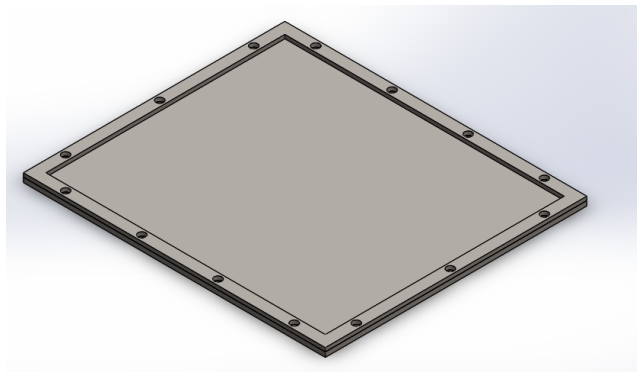
## 2.6 Diseño y construcción del molde

### 2.6.1 Diseño

Para el diseño del molde se estableció realizar un conformación total de cada variación volumétricas, es decir la elaboración de una plancha de 321 mm x 278 mm x 4 mm, en donde se podrá obtener 5 probetas para el ensayo de tracción, 5 probetas para el ensayo de flexión y 5 probetas para el ensayo de impacto. En la figura 9 se muestra la distribución de las probetas.



**Figura 9:** Distribución de las probetas

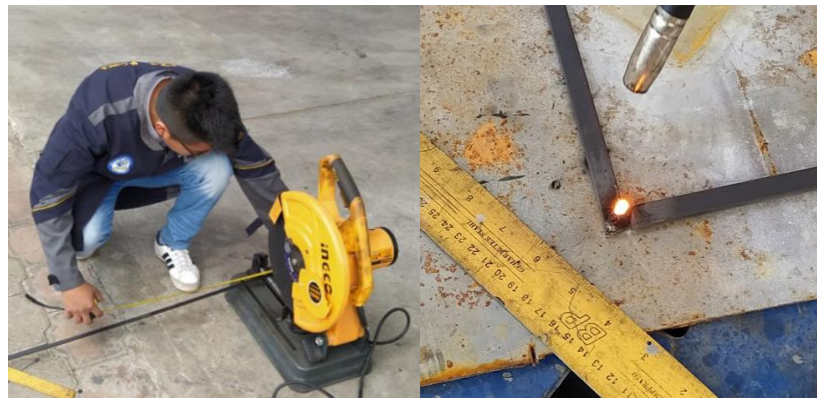


**Figura 10:** Diseño del molde

## 2.6.2 Construcción

Para el proceso de construcción se utilizó los siguiente materiales:

- Mandil
- Flexómetro
- Planita de acero ASTM A36 12x4
- Plancha de acero ASTM A36 de espesor 5mm
- Soladora Mig
- Taladro
- Moladora



**Figura 11:** Medición, corte y soldadura del marco



**Figura 12:** Corte de la base y tapa del molde

## 2.6.3 Elaboración de las probetas





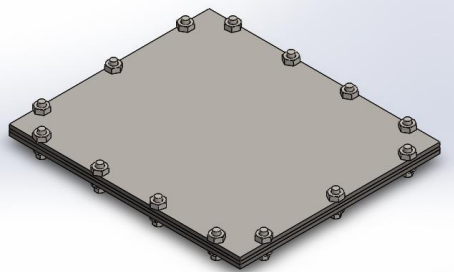
### 2.6.3.1 Materiales y equipos


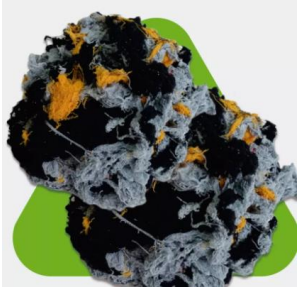



En la tabla 13 se detallan los materiales y equipos necesarios para la elaboración de las probetas.

**Tabla 13:** Listado de materiales

Nombre	Figura
Resina Poliéster	
Partículas de laurel (aserrín)	
Catalizador (MECK)	
Acelerante (Cobalto)	



<p>Cera desmoldante</p>	
<p>Guantes</p>	
<p>Balanza digital</p>	
<p>Jeringas</p>	
<p>Molde de acero</p>	

<p>Recipiente plástico</p>	
<p>Guaípe</p>	
<p>Llaves</p>	
<p>Tamiz</p>	
<p>Cierra de cinta</p>	

Lija	
Cemento de contacto	
Mandil	
Mascarilla	

### 2.6.3.2 Procedimiento de elaboración

A continuación, se procede a la descripción del proceso realizado para la elaboración de las probetas según las dimensiones necesarias y variaciones volumétricas establecidas anteriormente.

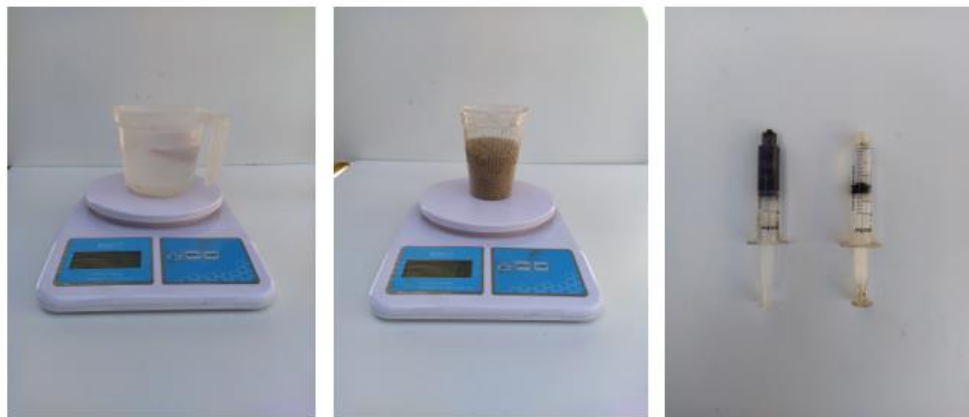
### A. Elaboración de las probetas de agregado fino 25%

1. Como se puede observar en la figura 13, se procedió la aplicación de la cera desmoldante en el molde y el borde del marco mediante la utilización de un guaipe, realizándose un total de 3 pasadas en intervalos de 5 a 8 minutos para el tiempo de secado.



**Figura 13:** Aplicación de la cera desmoldante en el molde

2. Mediante los valores calculados se procedió a pesar en la balanza digital, la resina poliéster, las partículas de laurel y mediante la ayuda de las jeringas se determinó la cantidad del catalizador (MECK) y el acelerante (Cobalto).



**Figura 14:** Cantidad necesaria para la elaboración de probetas a tracción

3. La preparación de la matriz fue realizada tal como se muestra en la figura 15, la cual detalla de izquierda a derecha el orden necesario.



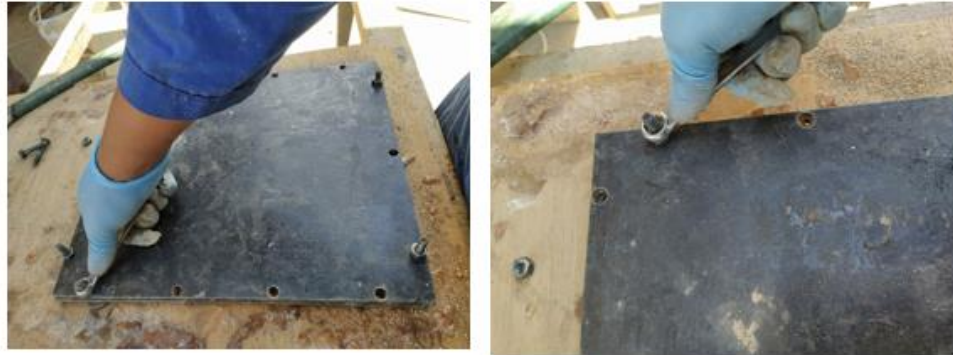
**Figura 15:** Orden de preparación de la matriz

4. Se procede a la aplicación de una cierta cantidad de resina en el molde y dispersarla por toda el área, con la ayuda de un tamiz se distribuye de forma uniforme las partículas de laurel posteriormente se aplica la cantidad restante de matriz de forma que cubra todo el material de refuerzo.



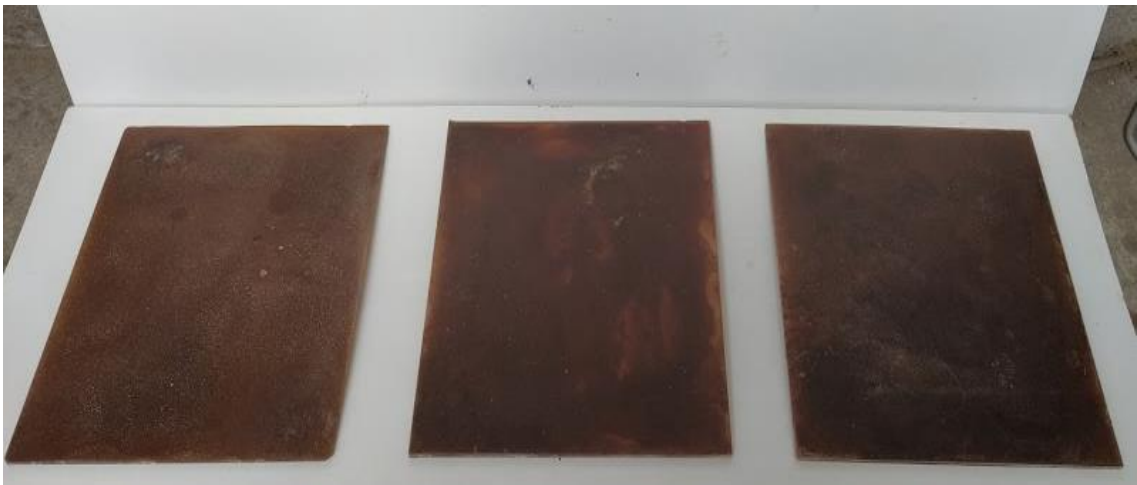
**Figura 16:** Colocación y distribución de la matriz y del refuerzo

5. Inmediatamente se coloca la tapa del molde y se ajustan las tuercas de forma que se comprima la mezcla.



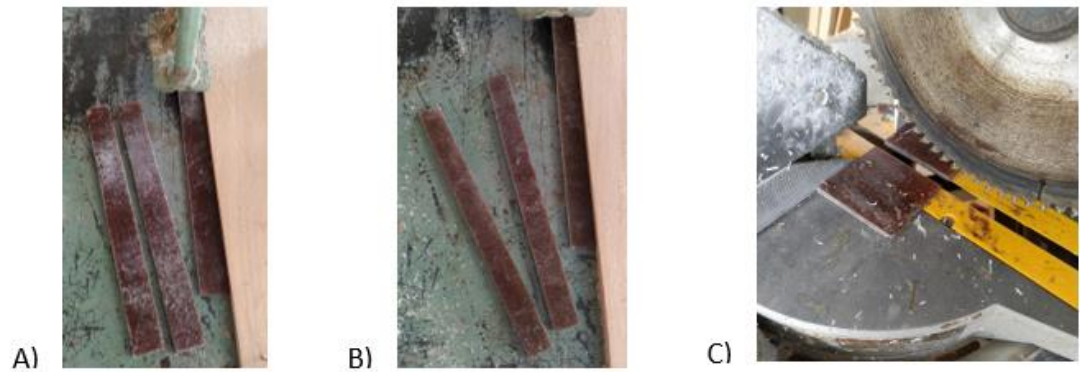
**Figura 17:** Compresión de la mezcla

6. Después de un aproximado de 12 horas se procedió a desmoldar la lámina de material compuesto.



**Figura 18:** Lamina de material compuesto





7. Se repitió los pasos anteriormente detallados para los diferentes tipos de agregados y variaciones volumétricas de forma que se obtuvieron 6 láminas de material compuesto.
8. En la figura 19 se muestra el proceso de corte para las probetas a tracción, probetas a flexión, probetas a impacto las cuales fueron cortadas mediante la ayuda de una cierra de cinta y cierra circular.



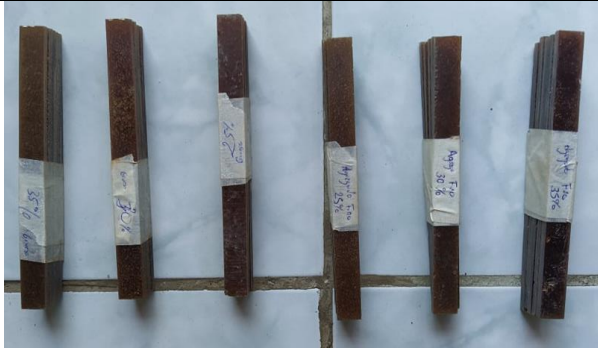


**Figura 19:** A) Probetas a tracción, B) Probetas a flexión y C) Probetas a impacto  
 En la tabla 14, 15 y 16 se muestran los grupos de probetas obtenidos para ensayarse.

**Tabla 14:** Grupo de probetas a tracción





<b>PROBETAS PARA ENSAYO A TRACCIÓN</b>	
<b>Tracción + Tipo A + 25%</b>	<b>Tracción + Tipo B + 25%</b>
<b>Tracción + Tipo A + 30%</b>	<b>Tracción + Tipo B + 30%</b>

	
<b>Tracción + Tipo A + 35%</b>	<b>Tracción + Tipo B + 35%</b>
	


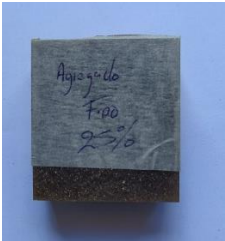

**Tabla 15:** Grupo de probetas a flexión

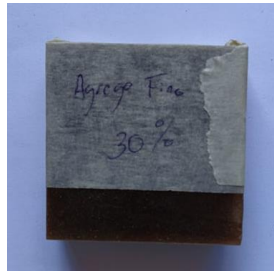
<b>PROBETAS PARA ENSAYO A FLEXIÓN</b>	
	
<b>Flexión + Tipo A + 25%</b>	<b>Flexión + Tipo B + 25%</b>
	



<b>Flexión + Tipo A + 30%</b>	<b>Flexión + Tipo B + 30%</b>
	
<b>Flexión + Tipo A + 35%</b>	<b>Flexión + Tipo B + 35%</b>
	

**Tabla 16:** Grupo de probetas a impacto

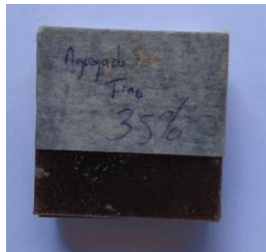
<b>PROBETAS PARA ENSAYO A IMPACTO</b>	
	
<b>Impacto + Tipo A + 25%</b>	<b>Impacto + Tipo B + 25%</b>
	
<b>Impacto + Tipo A + 30%</b>	<b>Impacto + Tipo B + 30%</b>



**Impacto + Tipo A + 35%**



**Impacto + Tipo B + 35%**






## CAPITULO III

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

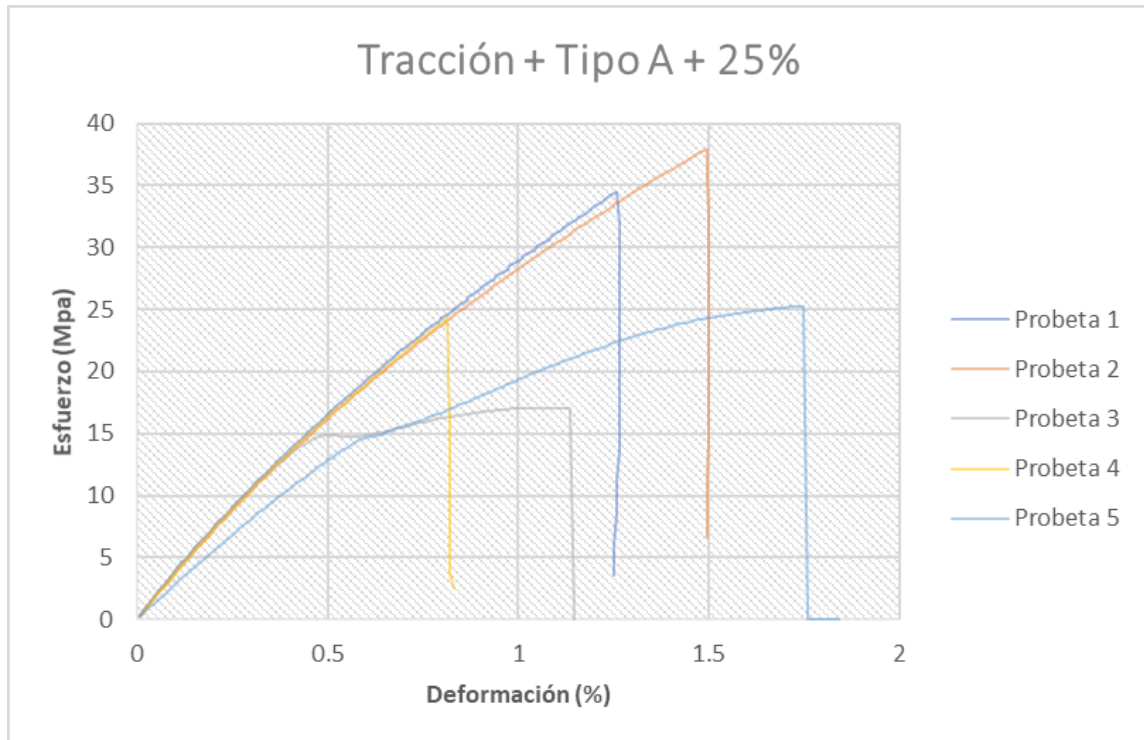
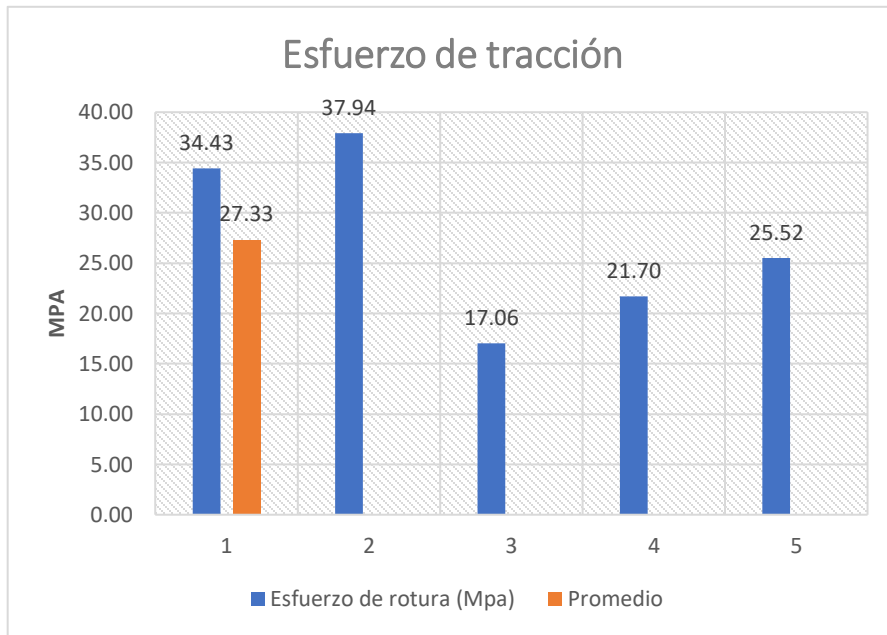
#### 3.1 Análisis y discusión de resultados

##### 3.1.1 Ficha de reporte ensayo a tracción


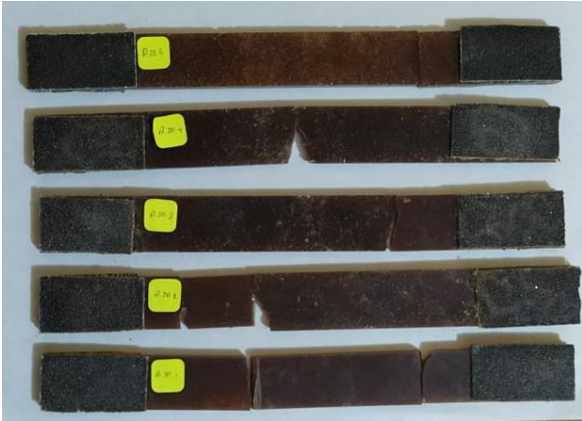
**Tabla 17:** Ficha técnica de recopilación de datos (Tracción + Tipo A + 25%)

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA					
					
FICHA DE RECOPIACIÓN DE DATOS					
Ciudad:	Quito	Fecha:	15/01/2020		
Lugar:	Laboratorio del Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica (ESPE)				
Máquina:	Máquina Universal de Ensayos Instron 880				
Revisado por:	Ing. Alejandra Lascano Mg.	Realizado por:	Wilmer Andrango		
PARÁMETROS DE ENSAYO					
Norma:	ASTM-D3039	Tipo de Ensayo:	Tracción		
Estratificación:	Compresión	Configuración:	Tipo A		
Matriz:	Resina Poliéster	Fracción Volumétrica:	75%		
Refuerzo:	Partícula de laurel	Fracción Volumétrica:	25%		
Número de probetas:	5	Dimensiones:	250mm*25mm*e		
Velocidad de ensayo:	10mm/min	Espesor Promedio:	4.3 mm		
RESULTADOS					
Probeta	Carga Máxima (N)	Esfuerzo de tracción (Mpa)	Módulo de elasticidad (Mpa)	Deformación a la ruptura (%)	Tipo de Falla
1	3443.4	34.43	2739.747	1.26	AGM
2	3793.9	37.94	2537.819	1.49	AGM
3	1705.5	17.06	1602.877	1.06	LIT
4	2169.9	21.70	2657.451	0.82	LAT
5	2551.6	25.52	1348.539	1.89	LAT
Promedio	2732.9	27.33	2177.29	1.30	-
Desv Est	871.2	8.71	650.71	0.41	-
FOTOGRAFÍAS DEL ENSAYO					
					

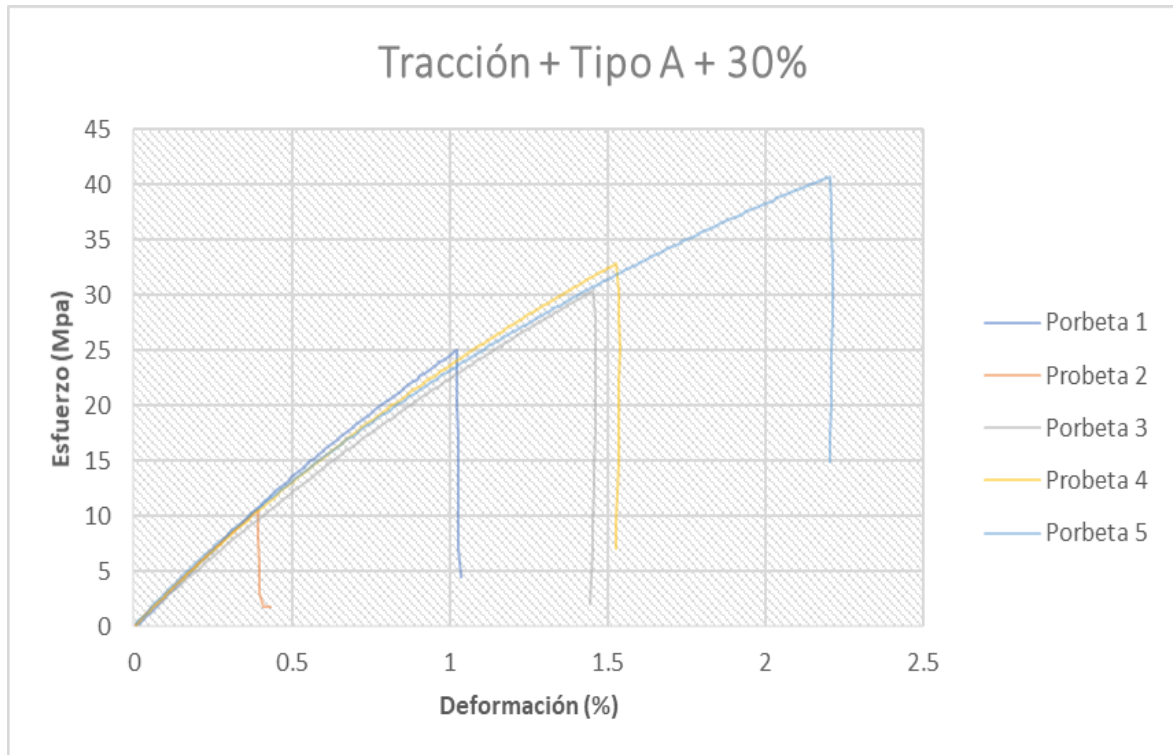
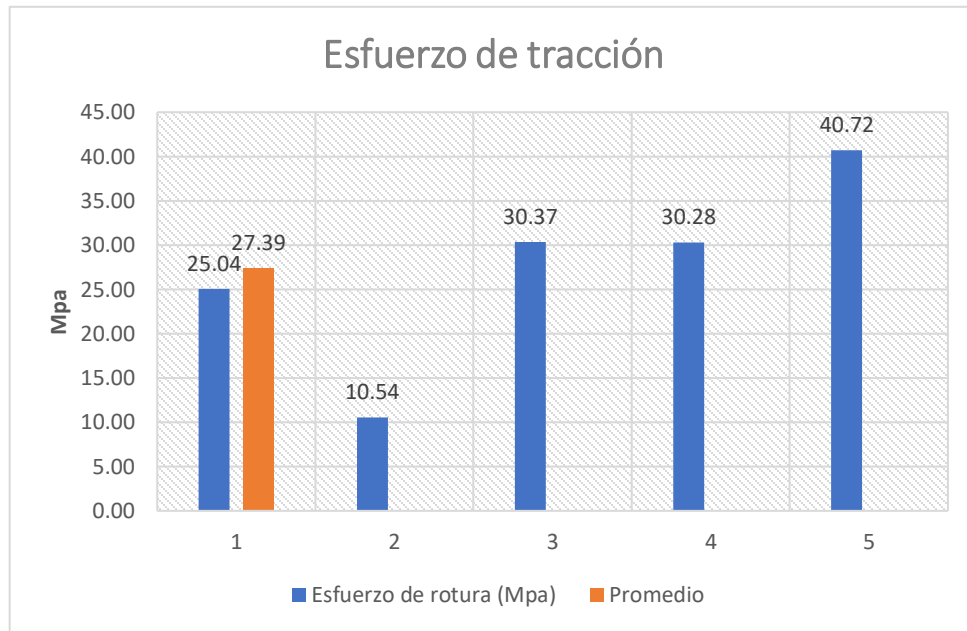
## GRAFICAS





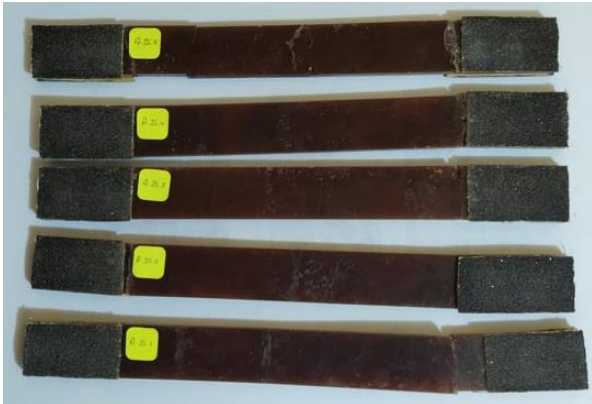
**Tabla 18:** Ficha técnica de recopilación de datos (Tracción + Tipo A+30%)

<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;">  <div style="text-align: center;"> <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b>  <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b>  <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b> </div>  </div>					
FICHA DE RECOPIACIÓN DE DATOS					
Ciudad:	Quito	Fecha:	15/01/2020		
Lugar:	Laboratorio del Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica (ESPE)				
Máquina:	Máquina Universal de Ensayos Instron 880				
Revisado por:	Ing. Alejandra Lascano Mg.	Realizado por:	Wilmer Andrango		
PARÁMETROS DE ENSAYO					
Norma:	ASTM-D3039	Tipo de Ensayo:	Tracción		
Estratificación:	Compresión	Configuración:	Tipo A		
Matriz:	Resina Poliéster	Fracción Volumétrica:	70%		
Refuerzo:	Partícula de laurel	Fracción Volumétrica:	30%		
Número de probetas:	5	Dimensiones:	250mm*25mm*e		
Velocidad de ensayo:	10mm/min	Espesor Promedio:	4.4 mm		
RESULTADOS					
Probeta	Carga Máxima (N)	Esfuerzo de tracción (Mpa)	Módulo de elasticidad (Mpa)	Deformación a la ruptura (%)	Tipo de Falla
1	2504.1	25.04	2466.803	1.02	AGM
2	1054.4	10.54	2694.093	0.39	AGM
3	3037.0	30.37	2091.854	1.45	LGM
4	3027.9	30.28	1972.234	1.54	AGM
5	4072.2	40.72	1848.577	2.20	LGM
Promedio	2739.1	27.39	2214.71	1.32	-
Desv Est	1100.3	11.00	354.01	0.67	-
FOTOGRAFÍAS DEL ENSAYO					
					

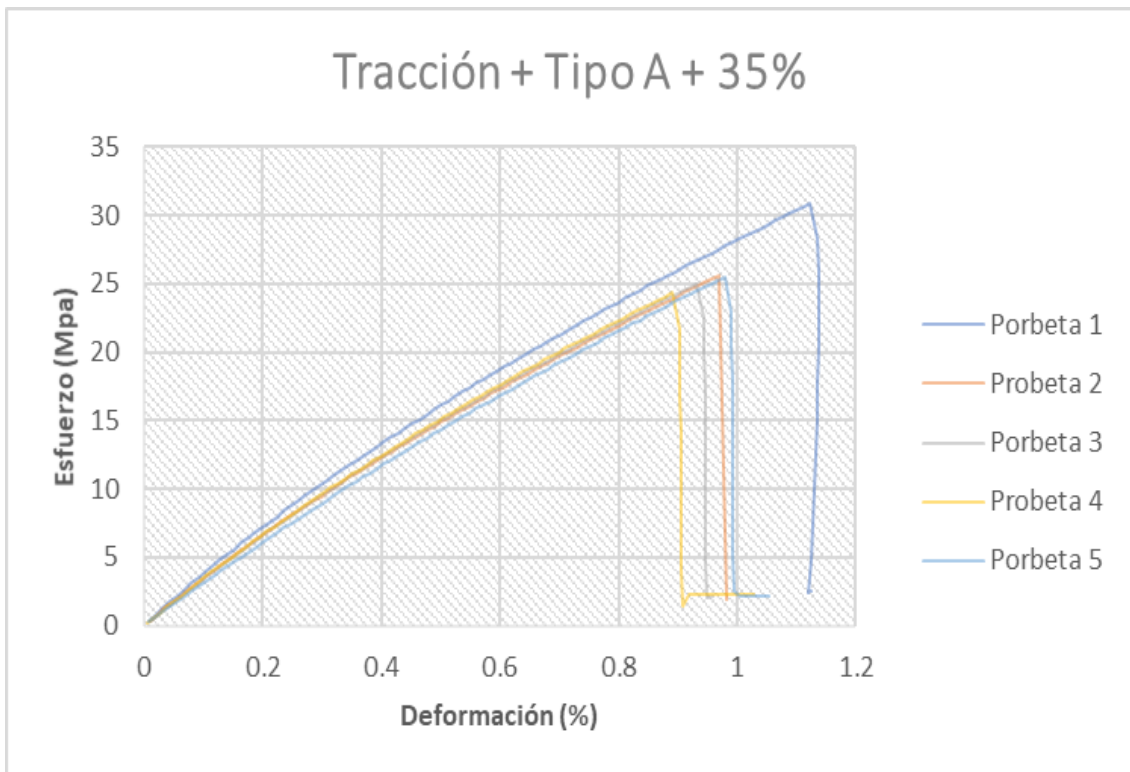
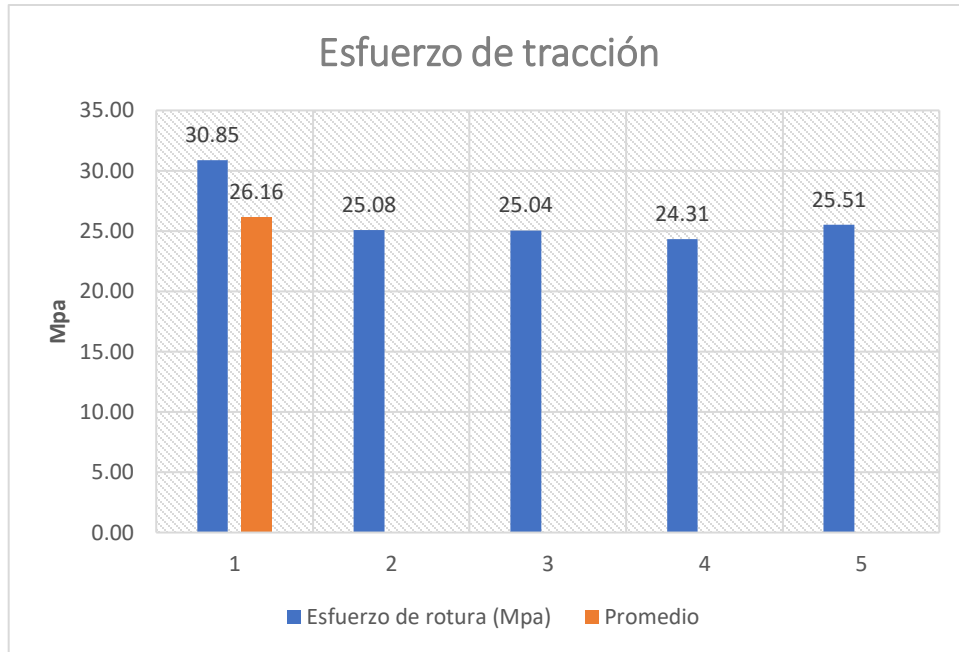
## GRAFICAS



**Tabla 19:** Ficha técnica de recopilación de datos (Tracción + Tipo A+35%)



<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;">  <div style="text-align: center;"> <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b>  <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b>  <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b> </div>  </div>					
FICHA DE RECOPIACIÓN DE DATOS					
Ciudad:	Quito		Fecha:	15/01/2020	
Lugar:	Laboratorio del Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica (ESPE)				
Máquina:	Máquina Universal de Ensayos Instron 880				
Revisado por:	Ing. Alejandra Lascano Mg.	Realizado por:	Wilmer Andrango		
PARÁMETROS DE ENSAYO					
Norma:	ASTM-D3039	Tipo de Ensayo:	Tracción		
Estratificación:	Compresión	Configuración:	Tipo A		
Matriz:	Resina Poliéster	Fracción Volumétrica:	65%		
Refuerzo:	Partícula de laurel	Fracción Volumétrica:	35%		
Número de probetas:	5	Dimensiones:	250mm*25mm*e		
Velocidad de ensayo:	10mm/min	Espesor Promedio:	4.2 mm		
RESULTADOS					
Probeta	Carga Máxima (N)	Esfuerzo de tracción (Mpa)	Módulo de elasticidad (Mpa)	Deformación a la ruptura (%)	Tipo de Falla
1	3085.5	30.85	2747.490	1.12	LGM
2	2508.4	25.08	1776.175	1.41	LAT
3	2503.9	25.04	2687.599	0.93	LAT
4	2430.9	24.31	2733.788	0.89	LAT
5	2551.4	25.51	2603.876	0.98	LAT
Promedio	2616.0	26.16	2509.79	1.07	-
Desv Est	266.0	2.66	413.93	0.21	-
FOTOGRAFÍAS DEL ENSAYO					
					

## GRAFICAS

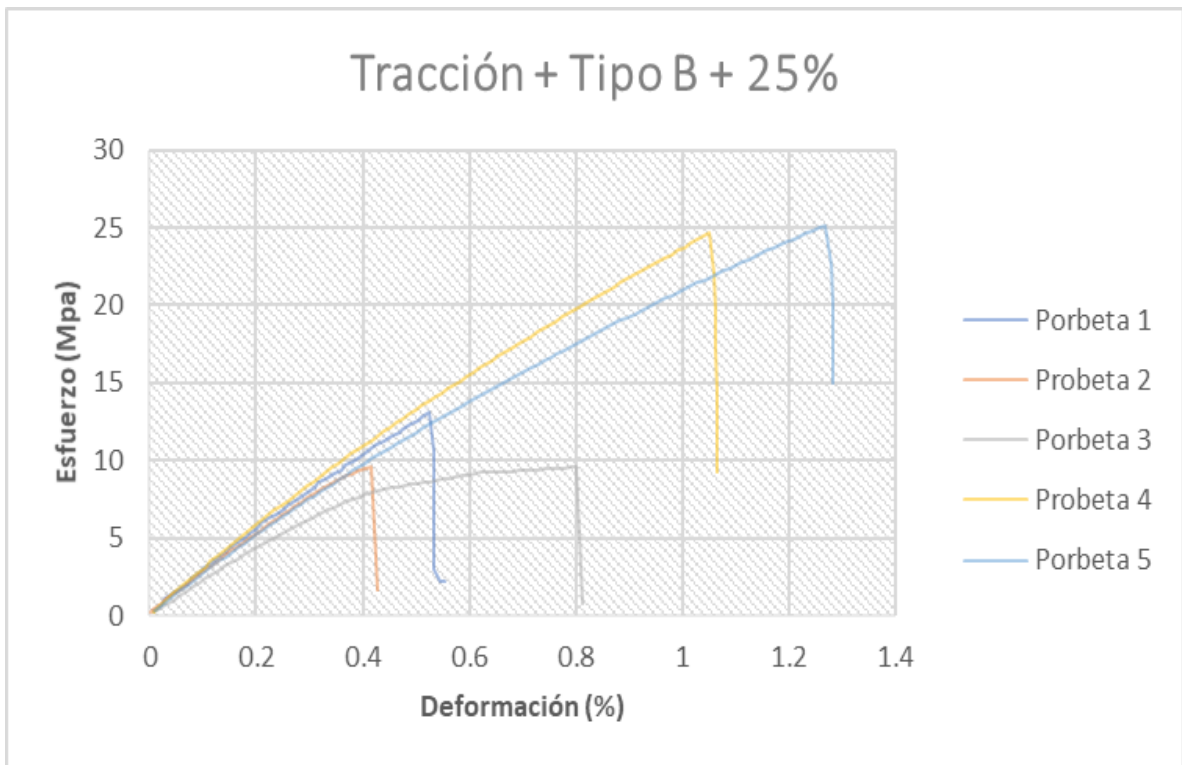
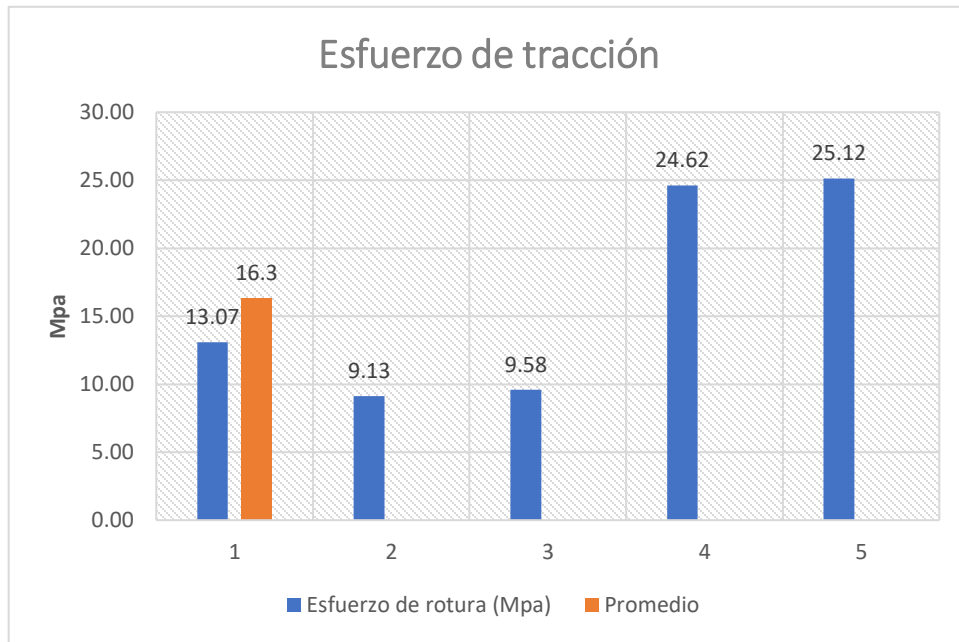




**Tabla 20:** Ficha técnica de recopilación de datos (Tracción + Tipo B + 25%)

<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;">  <div style="text-align: center;"> <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b>  <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b>  <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b> </div>  </div>					
FICHA DE RECOPIACIÓN DE DATOS					
Ciudad:	Quito		Fecha:	15/01/2020	
Lugar:	Laboratorio del Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica (ESPE)				
Máquina:	Máquina Universal de Ensayos Instron 880				
Revisado por:	Ing. Alejandra Lascano Mg.		Realizado por:	Wilmer Andrango	
PARÁMETROS DE ENSAYO					
Norma:	ASTM-D3039		Tipo de Ensayo:	Tracción	
Estratificación:	Compresión		Configuración:	Tipo B	
Matriz:	Resina Poliéster		Fracción Volumétrica:	75%	
Refuerzo:	Partícula de laurel		Fracción Volumétrica:	25%	
Número de probetas:	5		Dimensiones:	250mm*25mm*e	
Velocidad de ensayo:	10mm/min		Espesor Promedio:	4.2 mm	
RESULTADOS					
Probeta	Carga Máxima (N)	Esfuerzo de tracción (Mpa)	Módulo de elasticidad (Mpa)	Deformación a la ruptura (%)	Tipo de Falla
1	1306.9	13.07	2495.370	0.52	LAT
2	913.1	9.13	1108.509	0.82	LIT
3	957.8	9.58	1144.794	0.84	LIT
4	2462.4	24.62	2344.385	1.05	LIT
5	2512.3	25.12	1981.895	1.27	LGM
Promedio	1630.5	16.3	1815.0	0.9	-
Desv Est	797.1	8.0	655.6	0.3	-
FOTOGRAFÍAS DEL ENSAYO					
					

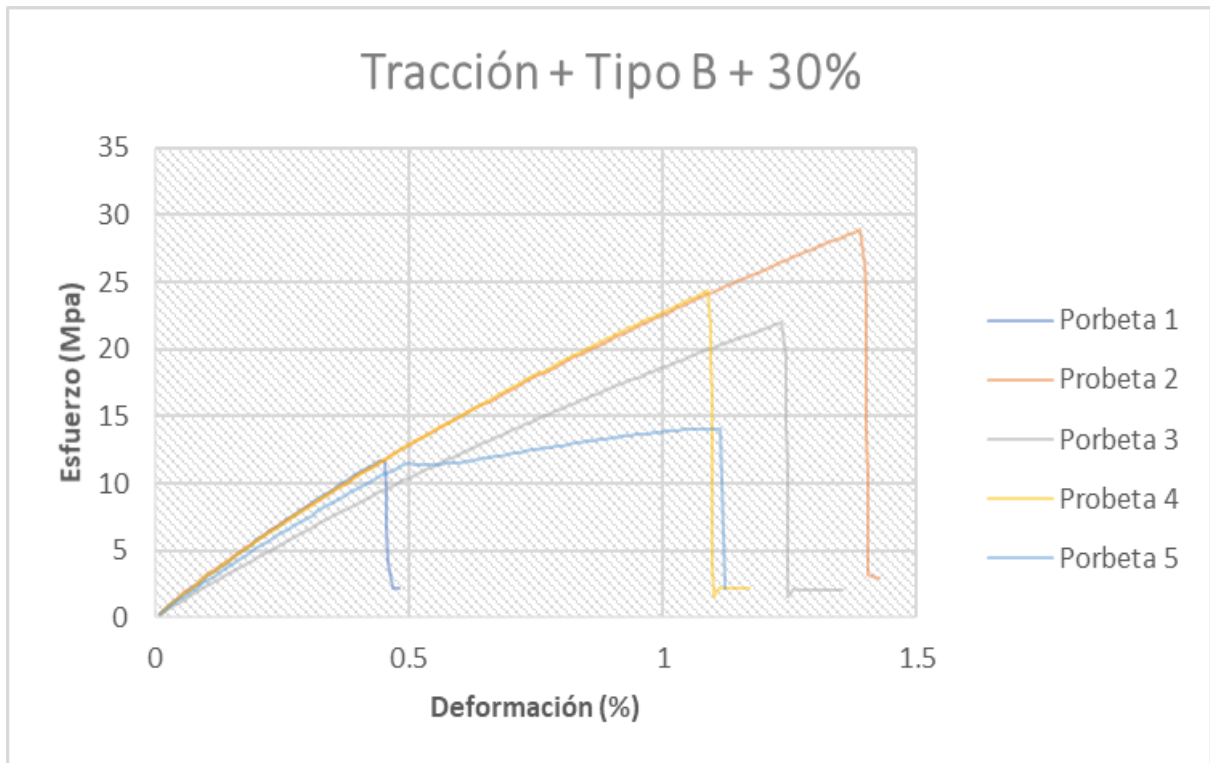
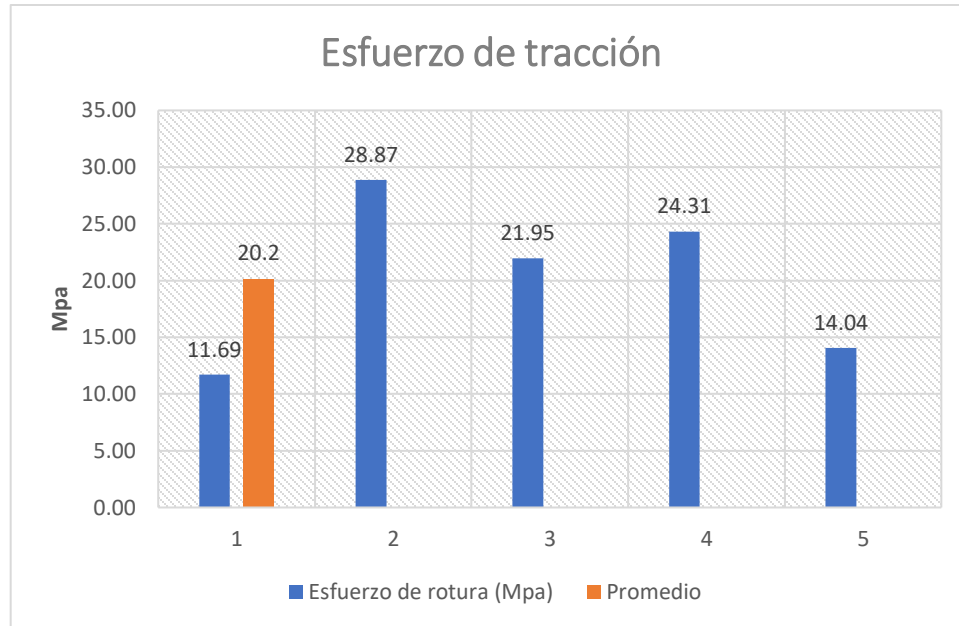
## GRAFICAS





**Tabla 21:** Ficha técnica de recopilación de datos (Tracción + Tipo B + 30%)

<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;">  <div style="text-align: center;"> <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b>  <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b>  <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b> </div>  </div>					
FICHA DE RECOPIACIÓN DE DATOS					
Ciudad:	Quito	Fecha:	15/01/2020		
Lugar:	Laboratorio del Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica (ESPE)				
Máquina:	Máquina Universal de Ensayos Instron 880				
Revisado por:	Ing. Alejandra Lascano Mg.	Realizado por:	Wilmer Andrango		
PARÁMETROS DE ENSAYO					
Norma:	ASTM-D3039	Tipo de Ensayo:	Tracción		
Estratificación:	Compresión	Configuración:	Tipo B		
Matriz:	Resina Poliéster	Fracción Volumétrica:	70%		
Refuerzo:	Partícula de laurel	Fracción Volumétrica:	30%		
Número de probetas:	5	Dimensiones:	250mm*25mm*e		
Velocidad de ensayo:	10mm/min	Espesor Promedio:	4.3 mm		
RESULTADOS					
Probeta	Carga Máxima (N)	Esfuerzo de tracción (Mpa)	Módulo de elasticidad (Mpa)	Deformación a la ruptura (%)	Tipo de Falla
1	1169.1	11.69	2583.580	0.45	LIT
2	2887.3	28.87	2079.439	1.39	LIT
3	2194.7	21.95	1781.898	1.23	LGM
4	2431.4	24.31	2233.782	1.09	LAT
5	1404.1	14.04	1319.640	1.06	LAT
Promedio	2017.3	20.2	1999.7	1.0	-
Desv Est	716.8	7.2	477.5	0.4	-
FOTOGRAFÍAS DEL ENSAYO					
					

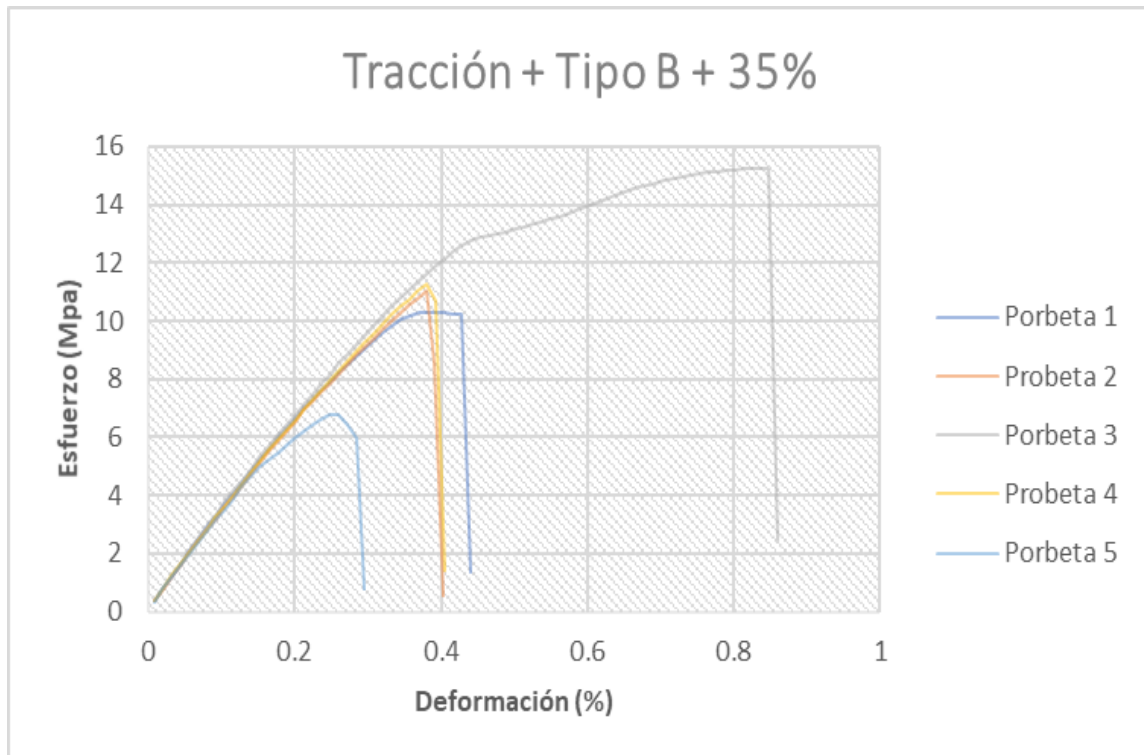
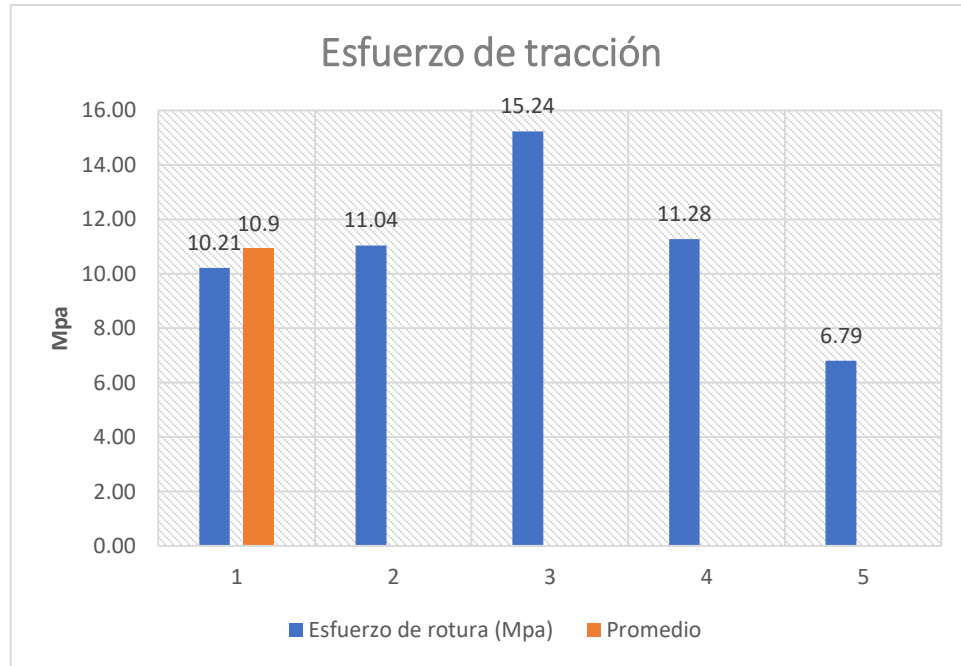
## GRAFICAS



**Tabla 22:** Ficha técnica de recopilación de datos (Tracción + Tipo B + 35%)



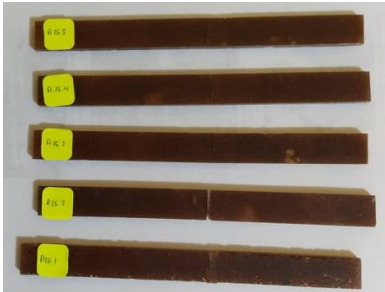
<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;">  <div style="text-align: center;"> <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b>  <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b>  <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b> </div>  </div>					
FICHA DE RECOPIACIÓN DE DATOS					
Ciudad:	Quito	Fecha:	15/01/2020		
Lugar:	Laboratorio del Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica (ESPE)				
Máquina:	Máquina Universal de Ensayos Instron 880				
Revisado por:	Ing. Alejandra Lascano Mg.	Realizado por:	Wilmer Andrango		
PARÁMETROS DE ENSAYO					
Norma:	ASTM-D3039	Tipo de Ensayo:	Tracción		
Estratificación:	Compresión	Configuración:	Tipo B		
Matriz:	Resina Poliéster	Fracción Volumétrica:	65%		
Refuerzo:	Partícula de laurel	Fracción Volumétrica:	35%		
Número de probetas:	5	Dimensiones:	250mm*25mm*e		
Velocidad de ensayo:	10mm/min	Espesor Promedio:	4.2 mm		
RESULTADOS					
Probeta	Carga Máxima (N)	Esfuerzo de tracción (Mpa)	Módulo de elasticidad (Mpa)	Deformación a la ruptura (%)	Tipo de Falla
1	1021.2	10.21	1993.599	0.51	LIT
2	1104.1	11.04	2906.564	0.38	LAT
3	1523.7	15.24	1796.434	0.85	LIT
4	1127.9	11.28	2969.372	0.38	LAT
5	679.4	6.79	2623.282	0.26	LAT
Promedio	1091.3	10.9	2457.9	0.5	-
Desv Est	301.3	3.0	534.6	0.2	-
FOTOGRAFÍAS DEL ENSAYO					
					

## GRAFICAS



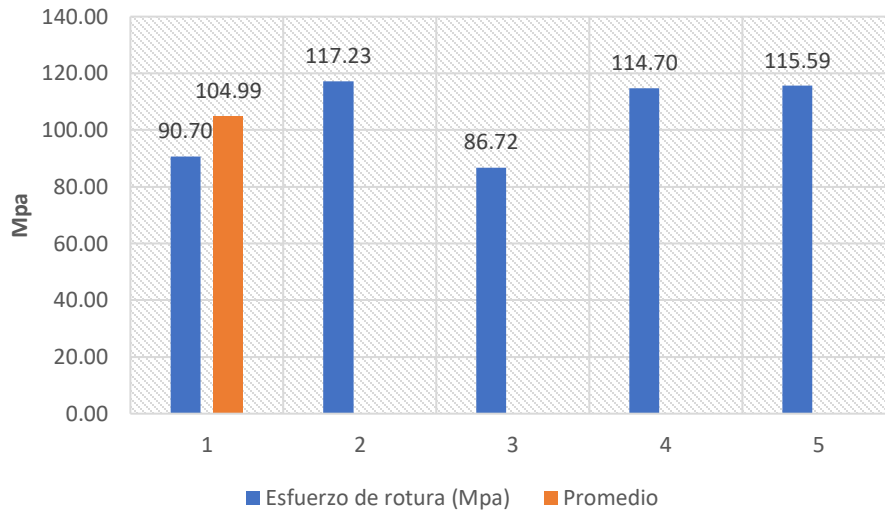
### 3.1.2 Ficha de reporte ensayos de flexión

**Tabla 23:** Ficha técnica de recopilación de datos (Flexión + Tipo A + 25%)

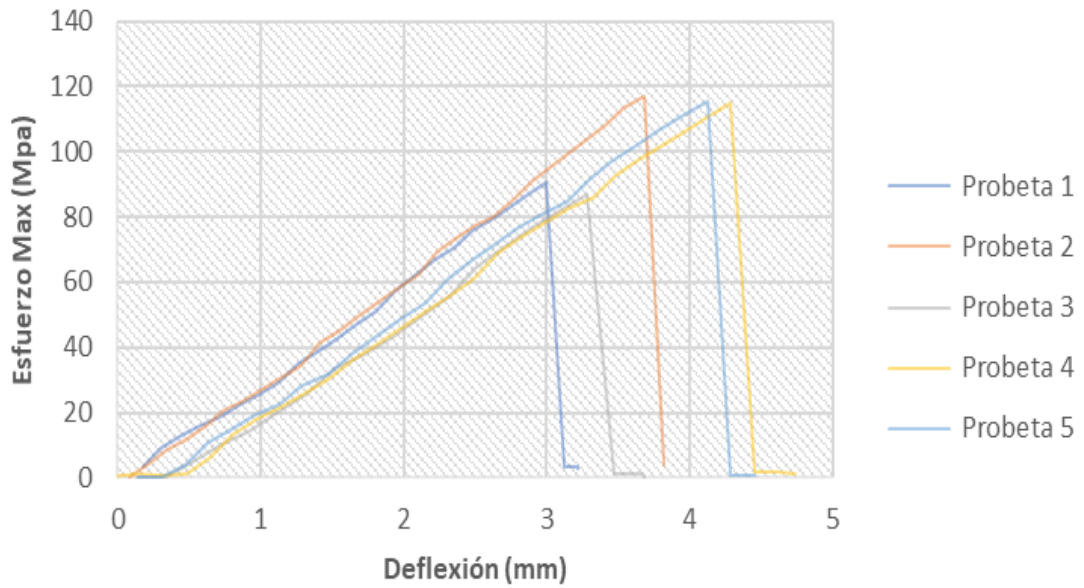
 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b> 					
FICHA DE RECOPIACIÓN DE DATOS					
Ciudad:	Quito	Fecha:	15/01/2020		
Lugar:	Laboratorio del Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica (ESPE)				
Máquina:	Máquina Universal de Ensayos Instron 880				
Revisado por:	Ing. Alejandra Lascano Mg.	Realizado por:	Wilmer Andrango		
PARÁMETROS DE ENSAYO					
Norma:	ASTM-D7264	Tipo de Ensayo:	Flexión		
Estratificación:	Compresión	Configuración:	Tipo A		
Matriz:	Resina Poliéster	Fracción Volumétrica:	75%		
Refuerzo:	Partícula de laurel	Fracción Volumétrica:	25%		
Número de probetas:	5	Dimensiones:	160mm*14mm*e		
Velocidad de ensayo:	10mm/min	Espesor Promedio:	4.2 mm		
RESULTADOS					
Probeta	Carga Máxima (N)	Esfuerzo máximo de flexión (Mpa)	Módulo de elasticidad (Mpa)	Deflexión (mm)	Tipo de Falla
1	193.50	90.70	6193.50	2.99	OAB
2	250.10	117.23	6504.17	3.68	OAB
3	185.00	86.72	5397.89	3.28	OAB
4	244.70	114.70	5466.52	4.284	OAB
5	246.60	115.59	5726.86	4.121	OAB
Promedio	223.98	104.99	5857.79	3.67	-
Desv Est	28.53667	13.3765646	427.1426798	0.488874626	-
FOTOGRAFÍAS DEL ENSAYO					
					

## GRAFICAS

### Esfuerzo máximo de Flexión



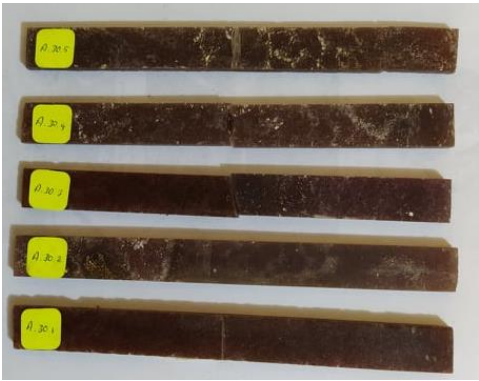


### Flexión + Tipo A + 25%



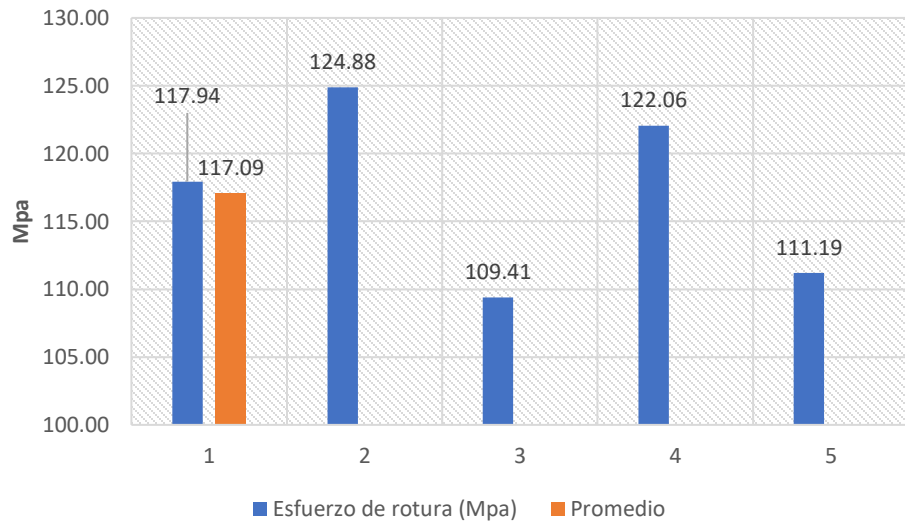


**Tabla 24.** Ficha técnica de recopilación de datos (Flexión + Tipo A + 30%)

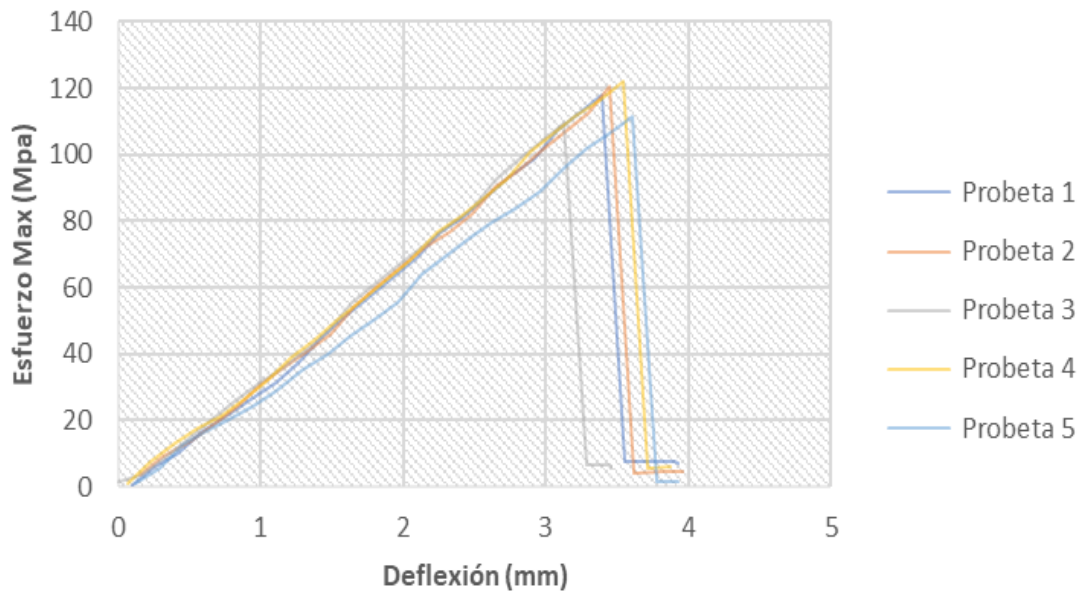
<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;">  <div style="text-align: center;"> <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b>  <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b>  <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b> </div>  </div>					
FICHA DE RECOPIACIÓN DE DATOS					
Ciudad:	Quito	Fecha:	15/01/2020		
Lugar:	Laboratorio del Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica (ESPE)				
Máquina:	Máquina Universal de Ensayos Instron 880				
Revisado por:	Ing. Alejandra Lascano Mg.	Realizado por:	Wilmer Andrango		
PARÁMETROS DE ENSAYO					
Norma:	ASTM-D7264	Tipo de Ensayo:	Flexión		
Estratificación:	Compresión	Configuración:	Tipo A		
Matriz:	Resina Poliéster	Fracción Volumétrica:	70%		
Refuerzo:	Partícula de laurel	Fracción Volumétrica:	30%		
Número de probetas:	5	Dimensiones:	160mm*14mm*e		
Velocidad de ensayo:	10mm/min	Espesor Promedio:	4.1 mm		
RESULTADOS					
Probeta	Carga Máxima (N)	Esfuerzo máximo de flexión (Mpa)	Módulo de elasticidad (Mpa)	Deflexión (mm)	Tipo de Falla
1	251.60	117.94	7100.83	3.391	OAB
2	266.40	124.88	7056.55	3.613	OAB
3	233.40	109.41	7147.88	3.125	OAB
4	260.40	122.06	7029.93	3.545	OAV
5	237.20	111.19	6288.31	3.61	OAV
Promedio	249.80	117.09	6924.70	3.46	-
Desv Est	14.30804	6.70689361	358.5678541	0.206196993	-
FOTOGRAFÍAS DEL ENSAYO					
					

## GRAFICAS

### Esfuerzo máximo de Flexión



### Flexión + Tipo A + 30%

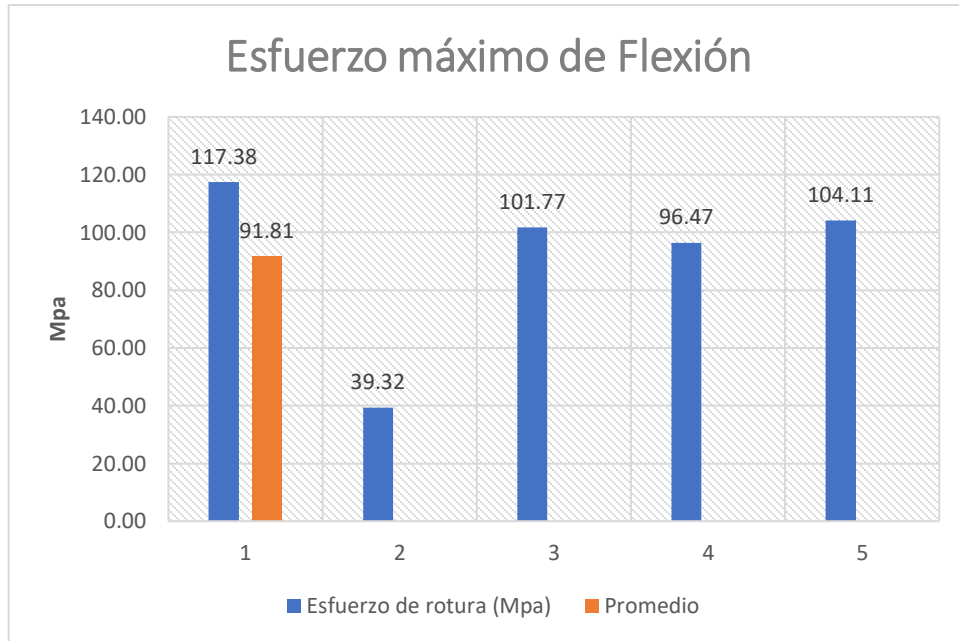


**Tabla 25:** Ficha técnica de recopilación de datos (Flexión + Tipo A + 35%)

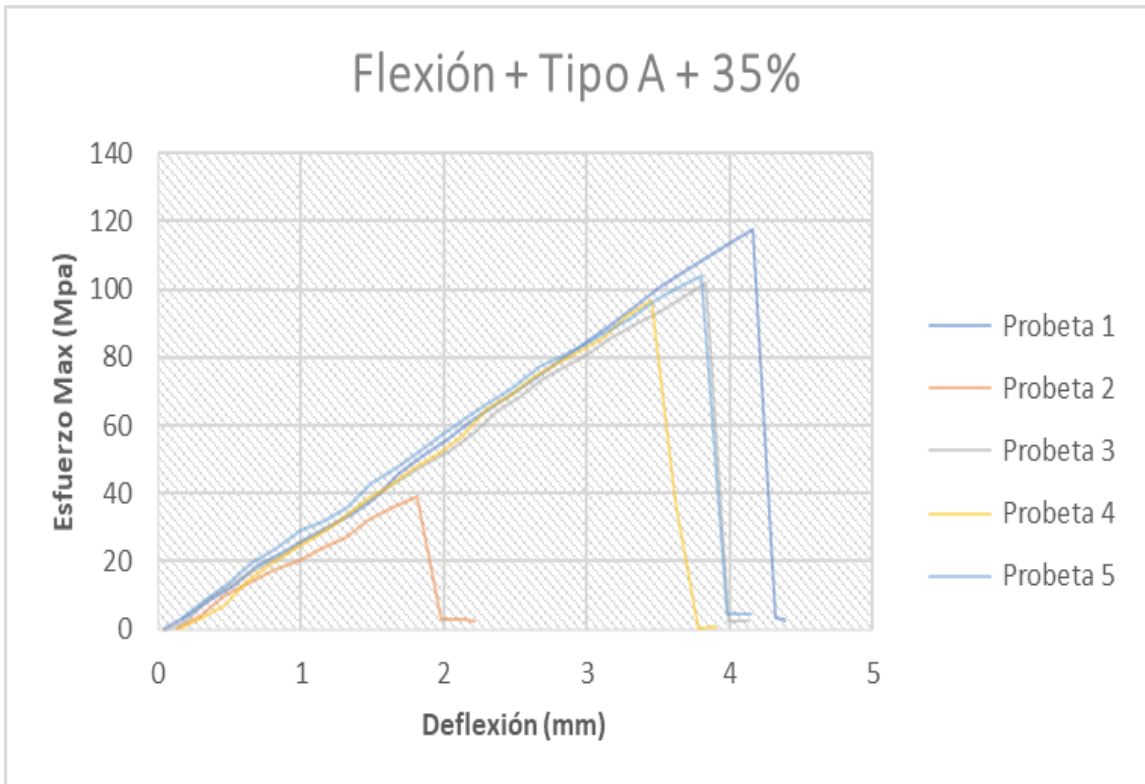
<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;">  <div style="text-align: center;"> <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b>  <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b>  <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b> </div>  </div>					
FICHA DE RECOPIACIÓN DE DATOS					
Ciudad:	Quito	Fecha:	15/01/2020		
Lugar:	Laboratorio del Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica (ESPE)				
Máquina:	Máquina Universal de Ensayos Instron 880				
Revisado por:	Ing. Alejandra Lascano Mg.	Realizado por:	Wilmer Andrango		
PARÁMETROS DE ENSAYO					
Norma:	ASTM-D7264	Tipo de Ensayo:	Flexión		
Estratificación:	Compresión	Configuración:	Tipo A		
Matriz:	Resina Poliéster	Fracción Volumétrica:	65%		
Refuerzo:	Partícula de laurel	Fracción Volumétrica:	35%		
Número de probetas:	5	Dimensiones:	160mm*14mm*e		
Velocidad de ensayo:	10mm/min	Espesor Promedio:	4.3 mm		
RESULTADOS					
Probeta	Carga Máxima (N)	Esfuerzo máximo de flexión (Mpa)	Módulo de elasticidad (Mpa)	Deflexión (mm)	Tipo de Falla
1	250.40	117.38	5766.14	4.156	OAV
2	83.88	39.32	4418.04	1.817	OAB
3	217.10	101.77	5423.43	3.831	OAB
4	205.80	96.47	5698.99	3.456	OAB
5	222.10	104.11	5584.78	3.806	OAB
Promedio	195.86	91.81	5378.27	3.41	-
Desv Est	57.88369	27.132982	493.9690779	0.828285796	-
FOTOGRAFÍAS DEL ENSAYO					
					

## GRAFICAS




### Esfuerzo máximo de Flexión



### Flexión + Tipo A + 35%

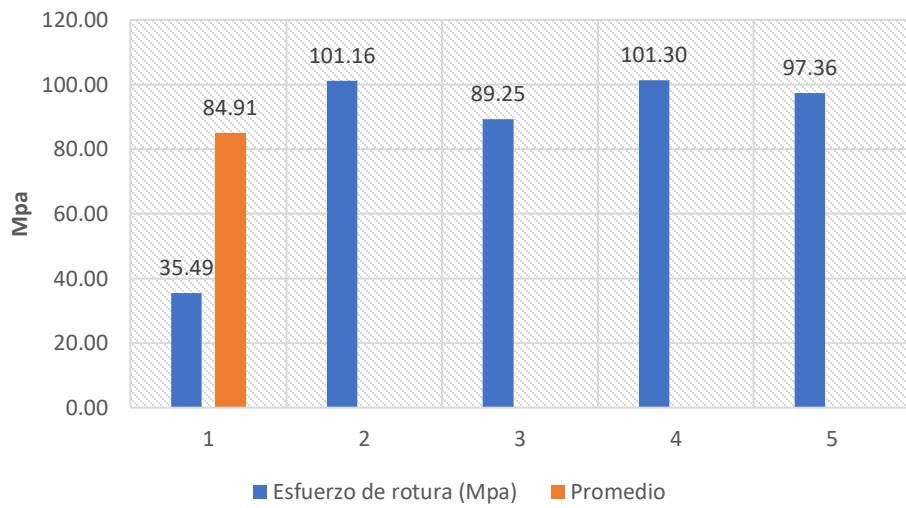


**Tabla 26:** Ficha técnica de recopilación de datos (Flexión + Tipo B + 25%)

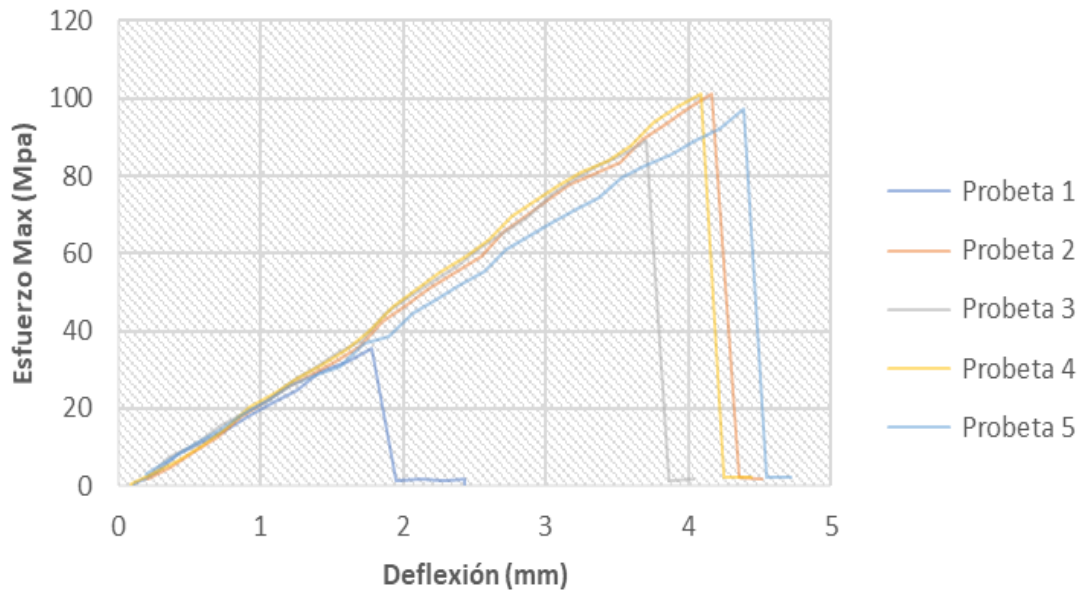
 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>					
FICHA DE RECOPIACIÓN DE DATOS					
Ciudad:	Quito	Fecha:	15/01/2020		
Lugar:	Laboratorio del Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica (ESPE)				
Máquina:	Máquina Universal de Ensayos Instron 880				
Revisado por:	Ing. Alejandra Lascano Mg.	Realizado por:	Wilmer Andrango		
PARÁMETROS DE ENSAYO					
Norma:	ASTM-D7264	Tipo de Ensayo:	Flexión		
Estratificación:	Compresión	Configuración:	Tipo B		
Matriz:	Resina Poliéster	Fracción Volumétrica:	75%		
Refuerzo:	Partícula de laurel	Fracción Volumétrica:	25%		
Número de probetas:	5	Dimensiones:	160mm*14mm*e		
Velocidad de ensayo:	10mm/min	Espesor Promedio:	4.3 mm		
RESULTADOS					
Probeta	Carga Máxima (N)	Esfuerzo máximo de flexión (Mpa)	Módulo de elasticidad (Mpa)	Deflexión (mm)	Tipo de Falla
1	75.71	35.49	4066.04	1.782	OAV
2	215.80	101.16	4963.41	4.161	OAV
3	190.40	89.25	4915.53	3.707	OAB
4	216.10	101.30	5064.02	4.084	OAB
5	207.70	97.36	4535.14	4.383	OAB
Promedio	181.14	84.91	4708.83	3.62	-
Desv Est	53.53538	25.0947083	367.9776635	0.946139651	-
FOTOGRAFÍAS DEL ENSAYO					
					

## GRAFICAS

### Esfuerzo máximo de Flexión



### Flexión + Tipo B + 25%

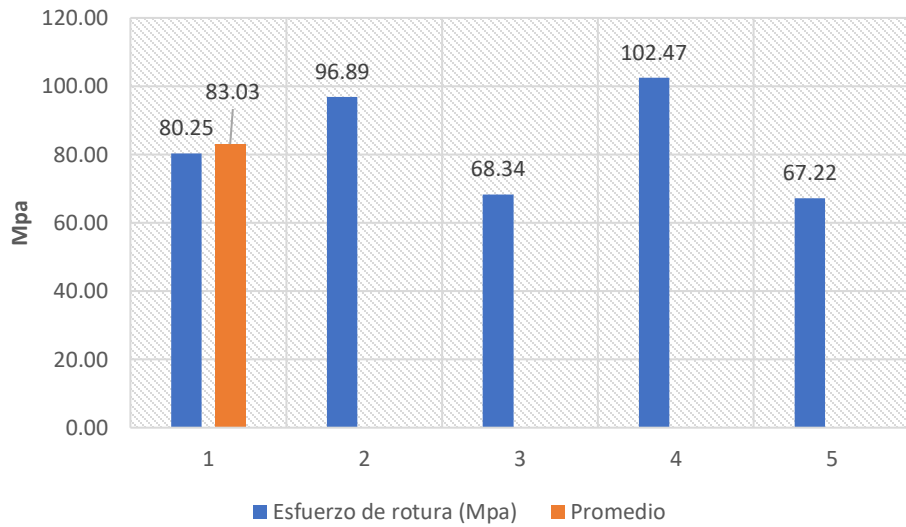


**Tabla 27:** Ficha técnica de recopilación de datos (Flexión + Tipo B + 30%)

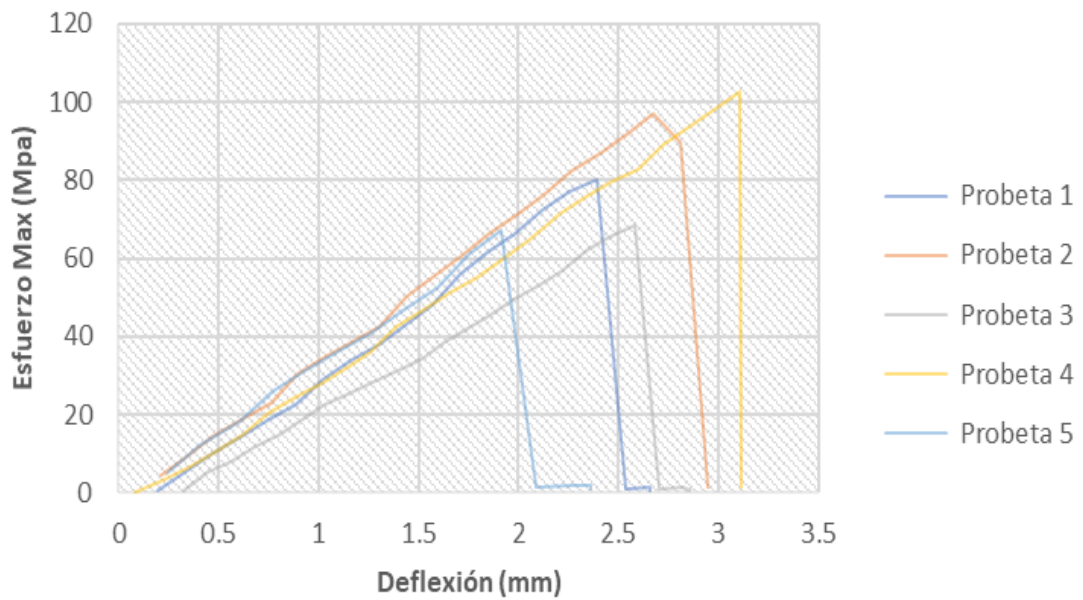
<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;">  <div style="text-align: center;"> <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b>  <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b>  <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b> </div>  </div>					
FICHA DE RECOPIACIÓN DE DATOS					
Ciudad:	Quito	Fecha:	15/01/2020		
Lugar:	Laboratorio del Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica (ESPE)				
Máquina:	Máquina Universal de Ensayos Instron 880				
Revisado por:	Ing. Alejandra Lascano Mg.	Realizado por:	Wilmer Andrango		
PARÁMETROS DE ENSAYO					
Norma:	ASTM-D7264	Tipo de Ensayo:	Flexión		
Estratificación:	Compresión	Configuración:	Tipo B		
Matriz:	Resina Poliéster	Fracción Volumétrica:	70%		
Refuerzo:	Partícula de laurel	Fracción Volumétrica:	30%		
Número de probetas:	5	Dimensiones:	160mm*14mm*e		
Velocidad de ensayo:	10mm/min	Espesor Promedio:	4.2 mm		
RESULTADOS					
Probeta	Carga Máxima (N)	Esfuerzo máximo de flexión (Mpa)	Módulo de elasticidad (Mpa)	Deflexión (mm)	Tipo de Falla
1	171.20	80.25	6849.66	2.392	OAB
2	206.70	96.89	7392.32	2.676	OAB
3	145.80	68.34	6780.13	2.058	OAB
4	218.60	102.47	6731.24	3.108	OAV
5	143.40	67.22	7162.75	1.916	OAB
Promedio	177.14	83.03	6983.22	2.43	-
Desv Est	30.8175	14.4457038	253.8368939	0.429935809	-
FOTOGRAFÍAS DEL ENSAYO					
					

## GRAFICAS

### Esfuerzo máximo de Flexión






### Flexión + Tipo B + 30%



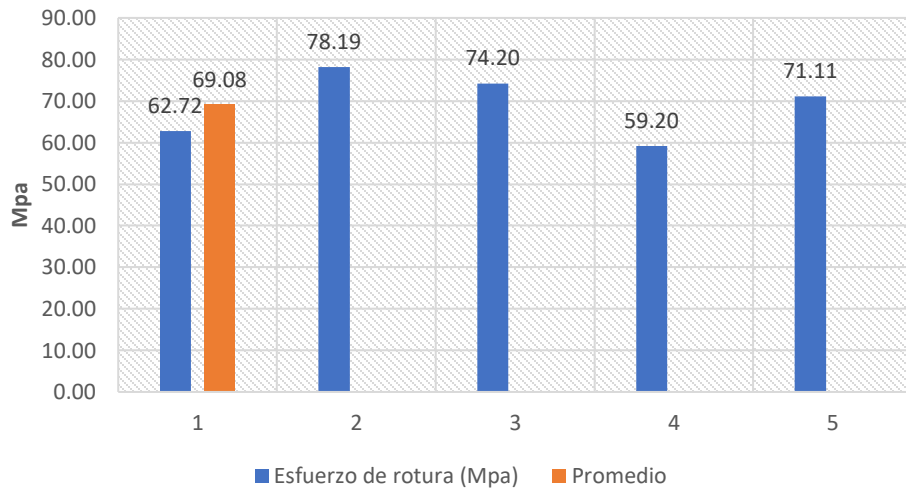


**Tabla 28:** Ficha técnica de recopilación de datos (Flexión + Tipo B + 35%)

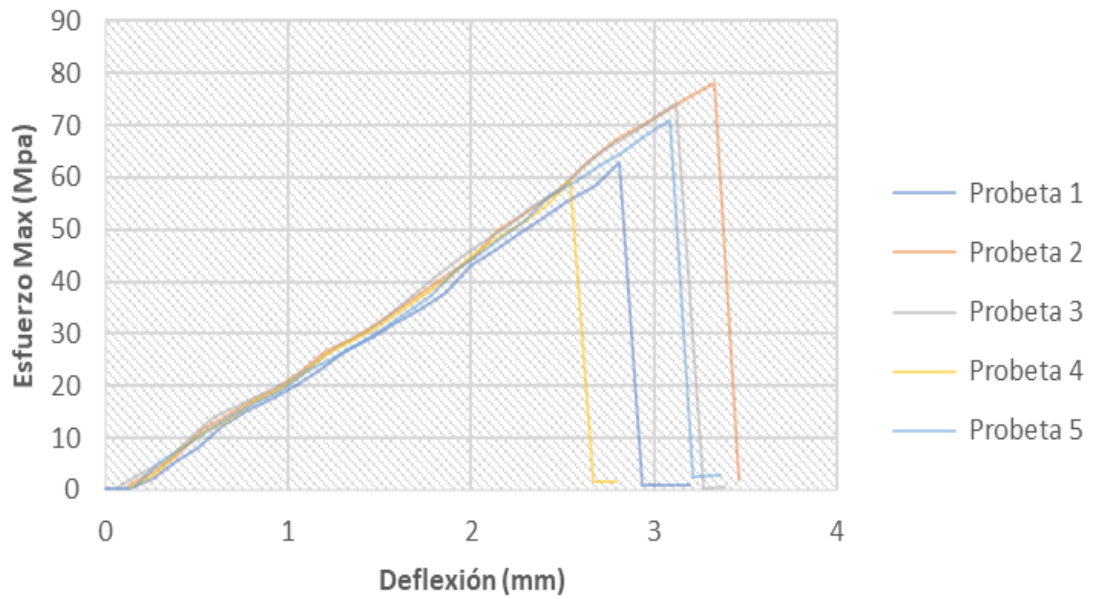
<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;">  <div style="text-align: center;"> <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b>  <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b>  <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b> </div>  </div>					
FICHA DE RECOPIACIÓN DE DATOS					
Ciudad:	Quito	Fecha:	15/01/2020		
Lugar:	Laboratorio del Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica (ESPE)				
Máquina:	Máquina Universal de Ensayos Instron 880				
Revisado por:	Ing. Alejandra Lascano Mg.	Realizado por:	Wilmer Andrango		
PARÁMETROS DE ENSAYO					
Norma:	ASTM-D7264	Tipo de Ensayo:	Flexión		
Estratificación:	Compresión	Configuración:	Tipo B		
Matriz:	Resina Poliéster	Fracción Volumétrica:	65%		
Refuerzo:	Partícula de laurel	Fracción Volumétrica:	35%		
Número de probetas:	5	Dimensiones:	160mm*14mm*e		
Velocidad de ensayo:	10mm/min	Espesor Promedio:	4.2 mm		
RESULTADOS					
Probeta	Carga Máxima (N)	Esfuerzo máximo de flexión (Mpa)	Módulo de elasticidad (Mpa)	Deflexión (mm)	Tipo de Falla
1	133.80	62.72	4563.46	2.806	OAB
2	166.80	78.19	4795.22	3.329	OAB
3	158.30	74.20	4863.50	3.115	OAB
4	126.30	59.20	4762.53	2.538	OBB
5	151.70	71.11	4710.63	3.082	OAB
Promedio	147.38	69.08	4739.07	2.97	-
Desv Est	15.125	7.08984336	100.8291047	0.274186068	-
FOTOGRAFÍAS DEL ENSAYO					
					

## GRAFICAS

### Esfuerzo máximo de Flexión



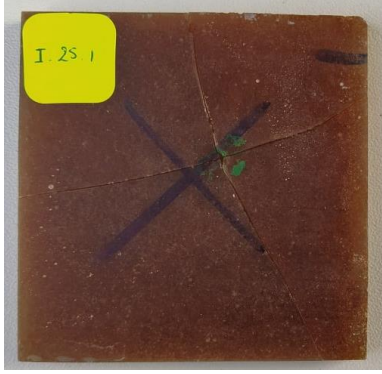





### Flexión + Tipo B + 35%



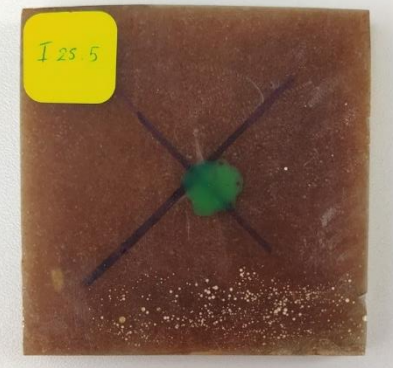



### 3.1.3 Ficha de reporte ensayo de impacto

**Tabla 29:** Ficha técnica de recopilación de datos (Impacto + Tipo A + 25%)

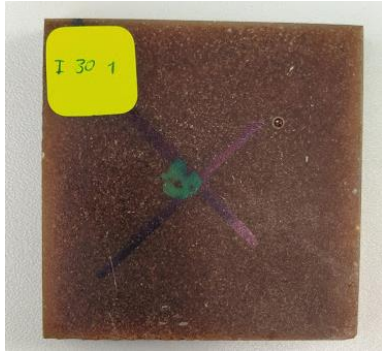

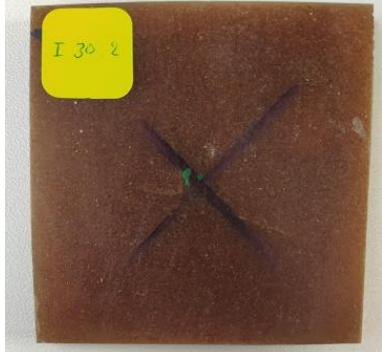



 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b> 					
FICHA DE RECOPIACIÓN DE DATOS					
Ciudad:	Ambato		Fecha:	09/01/2020	
Lugar:	Laboratorio de Materiales Universidad Técnica de Ambato FICM				
Máquina:	Máquina de Impacto por dardos				
Revisado por:	Ing. Alejandra Lascano Mg.		Realizado por:	Wilmer Andrango	
PARÁMETROS DE ENSAYO					
Norma:	ASTM-5628		Tipo de Ensayo:	Impacto	
Estratificación:	Compresión		Configuración:	Tipo A	
Matriz:	Resina Poliéster		Fracción Volumétrica:	75%	
Refuerzo:	Partícula de laurel		Fracción Volumétrica:	25%	
Dimensiones:	58mm*58mm*e		Número de probetas:	5	
Masa del dardo:	0.232 Kg		Espesor Promedio:	4.1 mm	
Geometría del dardo:	FE		Diámetro del dardo:	20 mm	
RESULTADOS					
Probeta	Altura (mm)	Peso del dardo (Kg)	Coefficiente	Resistencia al impacto (J)	Tipo de Falla
1	300	0.232	9.80665E-03	0.68	B
2	150	0.232	9.80665E-03	0.34	B
3	100	0.232	9.80665E-03	0.23	A
4	50	0.232	9.80665E-03	0.11	A
5	40	0.232	9.80665E-03	0.09	A
FOTOGRAFÍAS DEL ENSAYO					
Probeta:	1	Peso del dardo (Kg):	0.232	Peso total (Kg):	232
Peso adicional (Kg):	0	Piezas adicionales:	0	Tipo de falla:	Falla tipo B: Grietas que penetran todo el espesor (el agua penetra a través de la placa)





					
Probeta:	2	Peso del dardo (Kg):	0.232	Peso total (Kg):	0.232
Peso adicional (Kg):	0	Piezas adicionales:	0	Tipo de falla:	Falla tipo B: Grietas que penetran todo el espesor (el agua penetra a través de la placa)
					
Probeta:	3	Peso del dardo (Kg):	0.232	Peso total (Kg):	0.232
Peso adicional (Kg):	0	Piezas adicionales:	0	Tipo de falla:	Falla tipo A: Grieta o grietas en una sola superficie (la placa puede contener agua)
					

Probeta:	4	Peso del dardo (Kg):	0.232	Peso total (Kg):	0.232
Peso adicional (Kg):	0	Piezas adicionales:	0	Tipo de falla:	Falla tipo A: Grieta o grietas en una sola superficie (la placa puede contener agua)
					
Probeta:	5	Peso del dardo (Kg):	0.232	Peso total (Kg):	0.232
Peso adicional (Kg):	0	Piezas adicionales:	0	Tipo de falla:	Falla tipo A: Grieta o grietas en una sola superficie (la placa puede contener agua)
					

**Tabla 30:** Ficha técnica de recopilación de datos (Impacto + Tipo A + 30%)

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b> 					
FICHA DE RECOPIACIÓN DE DATOS					
Ciudad:	Ambato		Fecha:	09/01/2020	
Lugar:	Laboratorio de Materiales Universidad Técnica de Ambato FICM				
Máquina:	Máquina de Impacto por dardos				
Revisado por:	Ing. Alejandra Lascano Mg.		Realizado por:	Wilmer Andrango	
Revisado por:					
Norma:	ASTM-5628		Tipo de Ensayo:	Impacto	
Estratificación:	Compresión		Configuración:	Tipo A	
Matriz:	Resina Poliéster		Fracción Volumétrica:	70%	
Refuerzo:	Partícula de laurel		Fracción Volumétrica:	30%	
Dimensiones:	58mm*58mm*e		Número de probetas:	5	
Masa del dardo:	0.232 Kg		Espesor Promedio:	4.2 mm	
Geometría del dardo:	FE		Diámetro del dardo:	20 mm	
RESULTADOS					
Probeta	Altura (mm)	Peso del dardo (Kg)	Coficiente	Resistencia al impacto (J)	Tipo de Falla
1	100	0.232	9.80665E-03	0.23	A
2	80	0.232	9.80665E-03	0.18	A
3	90	0.232	9.80665E-03	0.20	A
4	85	0.232	9.80665E-03	0.19	A
5	80	0.232	9.80665E-03	0.18	A
FOTOGRAFÍAS DEL ENSAYO					
Probeta:	1	Peso del dardo (Kg):	0.232	Peso total (Kg):	0.232
Peso adicional (Kg):	0	Piezas adicionales:	0	Tipo de falla:	Falla tipo A: Grieta o grietas en una sola superficie (la placa puede contener agua)







					
Probeta:	2	Peso del dardo (Kg):	0.232	Peso total (Kg):	0.232
Peso adicional (Kg):	0	Piezas adicionales:	0	Tipo de falla:	Falla tipo A: Grieta o grietas en una sola superficie (la placa puede contener agua)
					
Probeta:	3	Peso del dardo (Kg):	0.232	Peso total (Kg):	0.232
Peso adicional (Kg):	0	Piezas adicionales:	0	Tipo de falla:	Falla tipo A: Grieta o grietas en una sola superficie (la placa puede contener agua)
					





Probeta:	4	Peso del dardo (Kg):	0.232	Peso total (Kg):	0.232
Peso adicional (Kg):	0	Piezas adicionales:	0	Tipo de falla:	Falla tipo A: Grieta o grietas en una sola superficie (la placa puede contener agua)
					
Probeta:	5	Peso del dardo (Kg):	0.232	Peso total (Kg):	0.232
Peso adicional (Kg):	0	Piezas adicionales:	0	Tipo de falla:	Falla tipo A: Grieta o grietas en una sola superficie (la placa puede contener agua)
					





**Tabla 31:** Ficha técnica de recopilación de datos (Impacto + Tipo A + 35%)







 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b> 					
FICHA DE RECOPIACIÓN DE DATOS					
Ciudad:	Ambato		Fecha:	09/01/2020	
Lugar:	Laboratorio de Materiales Universidad Técnica de Ambato FICM				
Máquina:	Máquina de Impacto por dardos				
Revisado por:	Ing. Alejandra Lascano Mg.		Realizado por:	Wilmer Andrango	
PARÁMETROS DE ENSAYO					
Norma:	ASTM-5628		Tipo de Ensayo:	Impacto	
Estratificación:	Compresión		Configuración:	Tipo A	
Matriz:	Resina Poliéster		Fracción Volumétrica:	65%	
Refuerzo:	Partícula de laurel		Fracción Volumétrica:	35%	
Dimensiones:	58mm*58mm*e		Número de probetas:	5	
Masa del dardo:	0.232 Kg		Espesor Promedio:	4.2 mm	
Geometría del dardo:	FE		Diámetro del dardo:	20 mm	
RESULTADOS					
Probeta	Altura (mm)	Peso del dardo (Kg)	Coficiente	Resistenci a al impacto (J)	Tipo de Falla
1	150	0.232	9.80665E-03	0.34	B
2	100	0.232	9.80665E-03	0.23	B
3	50	0.232	9.80665E-03	0.11	A
4	80	0.232	9.80665E-03	0.18	A
5	60	0.232	9.80665E-03	0.14	A
FOTOGRAFÍAS DEL ENSAYO					
Probeta:	1	Peso del dardo (Kg):	0.232	Peso total (Kg):	0.232
Peso adicional (Kg):	0	Piezas adicionales:	0	Tipo de falla:	Falla tipo B: Grietas que penetran todo el espesor (el agua penetra a través de la placa)





					
Probeta:	2	Peso del dardo (Kg):	0.232	Peso total (Kg):	0.232
Peso adicional (Kg):	0	Piezas adicionales:	0	Tipo de falla:	Falla tipo B: Grietas que penetran todo el espesor (el agua penetra a través de la placa)
					
Probeta:	3	Peso del dardo (Kg):	0.232	Peso total (Kg):	0.232
Peso adicional (Kg):	0	Piezas adicionales:	0	Tipo de falla:	Falla tipo A: Grieta o grietas en una sola superficie (la placa puede contener agua)
					

Probeta:	4	Peso del dardo (Kg):	0.232	Peso total (Kg):	0.232
Peso adicional (Kg):	0	Piezas adicionales:	0	Tipo de falla:	Falla tipo A: Grieta o grietas en una sola superficie (la placa puede contener agua)
					
Probeta:	5	Peso del dardo (Kg):	0.232	Peso total (Kg):	0.232
Peso adicional (Kg):	0	Piezas adicionales:	0	Tipo de falla:	Falla tipo A: Grieta o grietas en una sola superficie (la placa puede contener agua)
					



**Tabla 32:** Ficha técnica de recopilación de datos (Impacto + Tipo B + 25%)







 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b> 					
FICHA DE RECOPIACIÓN DE DATOS					
Ciudad:	Ambato		Fecha:	09/01/2020	
Lugar:	Laboratorio de Materiales Universidad Técnica de Ambato FICM				
Máquina:	Máquina de Impacto por dardos				
Revisado por:	Ing. Alejandra Lascano Mg.	Realizado por:	Wilmer Andrango		
PARÁMETROS DE ENSAYO					
Norma:	ASTM-5628	Tipo de Ensayo:	Impacto		
Estratificación:	Compresión	Configuración:	Tipo B		
Matriz:	Resina Poliéster	Fracción Volumétrica:	75%		
Refuerzo:	Partícula de laurel	Fracción Volumétrica:	25%		
Dimensiones:	58mm*58mm*e	Número de probetas:	5		
Masa del dardo:	0.232 Kg	Espesor Promedio:	4.3 mm		
Geometría del dardo:	FE	Diámetro del dardo:	20 mm		
RESULTADOS					
Probeta	Altura (mm)	Peso del dardo (Kg)	Coficiente	Resistencia al impacto (J)	Tipo de Falla
1	100	0.232	9.80665E-03	0.23	A
2	50	0.232	9.80665E-03	0.11	A
3	70	0.232	9.80665E-03	0.16	A
4	40	0.232	9.80665E-03	0.09	A
5	60	0.232	9.80665E-03	0.14	A
FOTOGRAFÍAS DEL ENSAYO					
Probeta:	1	Peso del dardo (Kg):	0.232	Peso total (Kg):	0.232
Peso adicional (Kg):	0	Piezas adicionales:	0	Tipo de falla:	Falla tipo A: Grieta o grietas en una sola superficie (la placa puede contener agua)

					
Probeta:	2	Peso del dardo (Kg):	0.232	Peso total (Kg):	0.232
Peso adicional (Kg):	0	Piezas adicionales:	0	Tipo de falla:	Falla tipo A: Grieta o grietas en una sola superficie (la placa puede contener agua)
					
Probeta:	3	Peso del dardo (Kg):	0.232	Peso total (Kg):	0.232
Peso adicional (Kg):	0	Piezas adicionales:	0	Tipo de falla:	Falla tipo A: Grieta o grietas en una sola superficie (la placa puede contener agua)
					





Probeta:	4	Peso del dardo (Kg):	0.232	Peso total (Kg):	0.232
Peso adicional (Kg):	0	Piezas adicionales:	0	Tipo de falla:	Falla tipo A: Grieta o grietas en una sola superficie (la placa puede contener agua)
					
Probeta:	5	Peso del dardo (Kg):	0.232	Peso total (Kg):	0.232
Peso adicional (Kg):	0	Piezas adicionales:	0	Tipo de falla:	Falla tipo A: Grieta o grietas en una sola superficie (la placa puede contener agua)
					

**Tabla 33:** Ficha técnica de recopilación de datos (Impacto + Tipo B + 30%)

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b> 					
FICHA DE RECOPIACIÓN DE DATOS					
Ciudad:	Ambato		Fecha:	09/01/2020	
Lugar:	Laboratorio de Materiales Universidad Técnica de Ambato FICM				
Máquina:	Máquina de Impacto por dardos				
Revisado por:	Ing. Alejandra Lascano Mg.		Realizado por:	Wilmer Andrago	
PARÁMETROS DE ENSAYO					
Norma:	ASTM-5628		Tipo de Ensayo:	Impacto	
Estratificación:	Compresión		Configuración:	Tipo B	
Matriz:	Resina Poliéster		Fracción Volumétrica:	70%	
Refuerzo:	Partícula de laurel		Fracción Volumétrica:	30%	
Dimensiones:	58mm*58mm*e		Número de probetas:	5	
Masa del dardo:	0.232 Kg		Espesor Promedio:	4.2 mm	
Geometría del dardo:	FE		Diámetro del dardo:	20 mm	
RESULTADOS					
Probeta	Altura (mm)	Peso del dardo (Kg)	Coefficient e	Resistencia al impacto (J)	Tipo de Falla
1	100	0.232	9.80665E-03	0.23	A
2	70	0.232	9.80665E-03	0.16	A
3	60	0.232	9.80665E-03	0.14	A
4	55	0.232	9.80665E-03	0.13	A
5	80	0.232	9.80665E-03	0.18	A
FOTOGRAFÍAS DEL ENSAYO					
Probeta:	1	Peso del dardo (Kg):	0.232	Peso total (Kg):	0.232
Peso adicional (Kg):	0	Piezas adicionales:	0	Tipo de falla:	Falla tipo A: Grieta o grietas en una sola superficie (la placa puede contener agua)







					
Probeta:	2	Peso del dardo (Kg):	0.232	Peso total (Kg):	0.232
Peso adicional (Kg):	0	Piezas adicionales:	0	Tipo de falla:	Falla tipo A: Grieta o grietas en una sola superficie (la placa puede contener agua)
					
Probeta:	3	Peso del dardo (Kg):	0.232	Peso total (Kg):	0.232
Peso adicional (Kg):	0	Piezas adicionales:	0	Tipo de falla:	Falla tipo A: Grieta o grietas en una sola superficie (la placa puede contener agua)
					







Probeta:	4	Peso del dardo (Kg):	0.232	Peso total (Kg):	0.232
Peso adicional (Kg):	0	Piezas adicionales:	0	Tipo de falla:	Falla tipo A: Grieta o grietas en una sola superficie (la placa puede contener agua)
					
Probeta:	5	Peso del dardo (Kg):	0.232	Peso total (Kg):	0.232
Peso adicional (Kg):	0	Piezas adicionales:	0	Tipo de falla:	Falla tipo A: Grieta o grietas en una sola superficie (la placa puede contener agua)
					

**Tabla 34:** Ficha técnica de recopilación de datos (Impacto + Tipo B + 35%)



 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b> 					
FICHA DE RECOPIACIÓN DE DATOS					
Ciudad:	Ambato		Fecha:	09/01/2020	
Lugar:	Laboratorio de Materiales Universidad Técnica de Ambato FICM				
Máquina:	Máquina de Impacto por dardos				
Revisado por:	Ing. Alejandra Lascano Mg.		Realizado por:	Wilmer Andrango	
PARÁMETROS DE ENSAYO					
Norma:	ASTM-5628		Tipo de Ensayo:	Impacto	
Estratificación:	Compresión		Configuración:	Tipo B	
Matriz:	Resina Poliéster		Fracción Volumétrica:	65%	
Refuerzo:	Partícula de laurel		Fracción Volumétrica:	35%	
Dimensiones:	58mm*58mm*e		Número de probetas:	5	
Masa del dardo:	0.232 Kg		Espesor Promedio:	4.1 mm	
Geometría del dardo:	FE		Diámetro del dardo:	20 mm	
RESULTADOS					
Probeta	Altura (mm)	Peso del dardo (Kg)	Coficiente	Resistencia al impacto (J)	Tipo de Falla
1	55	0.232	9.80665E-03	0.13	A
2	100	0.232	9.80665E-03	0.23	A
3	150	0.232	9.80665E-03	0.34	A
4	125	0.232	9.80665E-03	0.28	A
5	75	0.232	9.80665E-03	0.17	A
FOTOGRAFÍAS DEL ENSAYO					
Probeta:	1	Peso del dardo (Kg):	0.232	Peso total (Kg):	0.232
Peso adicional (Kg):	0	Piezas adicionales:	0	Tipo de falla:	Falla tipo A: Grieta o grietas en una sola superficie (la placa puede contener agua)

					
Probeta:	2	Peso del dardo (Kg):	0.232	Peso total (Kg):	0.232
Peso adicional (Kg):	0	Piezas adicionales:	0	Tipo de falla:	Falla tipo A: Grieta o grietas en una sola superficie (la placa puede contener agua)
					
Probeta:	3	Peso del dardo (Kg):	0.232	Peso total (Kg):	0.232
Peso adicional (Kg):	0	Piezas adicionales:	0	Tipo de falla:	Falla tipo A: Grieta o grietas en una sola superficie (la placa puede contener agua)
					



Probeta:	4	Peso del dardo (Kg):	0.232	Peso total (Kg):	0.232
Peso adicional (Kg):	0	Piezas adicionales:	0	Tipo de falla:	Falla tipo A: Grieta o grietas en una sola superficie (la placa puede contener agua)
					
Probeta:	5	Peso del dardo (Kg):	0.232	Peso total (Kg):	0.232
Peso adicional (Kg):	0	Piezas adicionales:	0	Tipo de falla:	Falla tipo A: Grieta o grietas en una sola superficie (la placa puede contener agua)
					

### 3.1.4 Evaluación de resultados

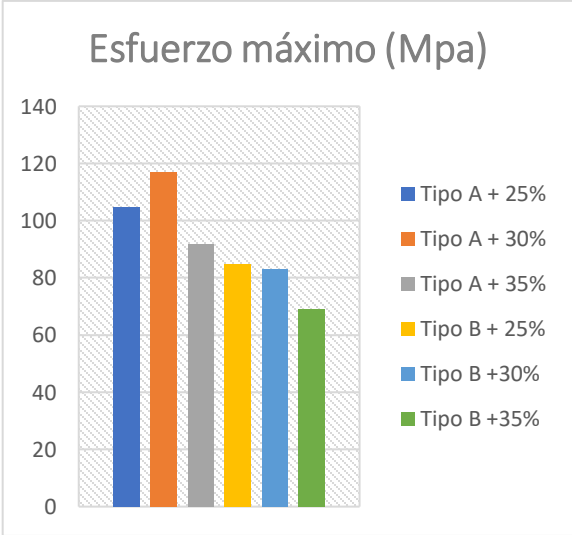
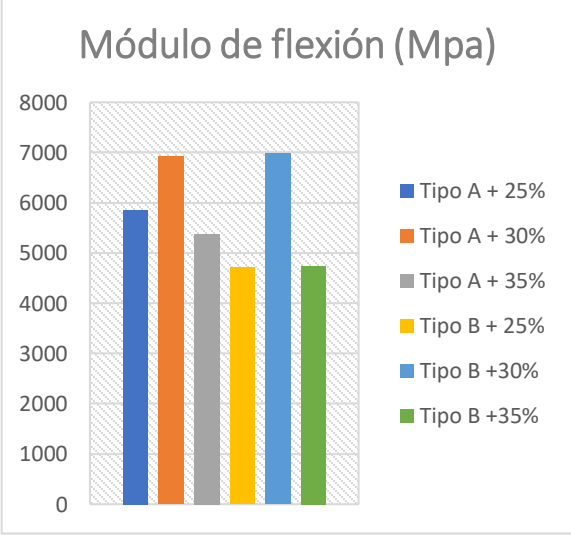
**Tabla 35:** Valoración de la configuración y fracción volumétrica ensayo a tracción

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b> 				
FICHA DE EVALUACIÓN DE RESULTADOS PROMEDIOS DEL MATERIAL COMPUESTO				
Tipo de refuerzo	Fracción volumétrica	Espesor promedio (mm)	Esfuerzo máximo (Mpa)	Módulo de elasticidad (Mpa)
Tipo A (Partículas de 500 µm)	25% Refuerzo + 75% Matriz	4.3	27.33	2177.29
	30% Refuerzo + 70% Matriz	4.4	27.39	2214.71
	35% Refuerzo + 65% Matriz	4.2	26.16	2509.79
Tipo B (Partículas de 2000 µm)	25% Refuerzo + 75% Matriz	4.2	16.3	1815.0
	30% Refuerzo + 70% Matriz	4.3	20.2	1999.7
	35% Refuerzo + 65% Matriz	4.2	10.9	2457.9
GRAFICAS DE RESULTADOS				
<p><b>Esfuerzo Máximo (Mpa)</b></p>		<p><b>Módulo de elasticidad (Mpa)</b></p>		
EVALUACIÓN Y OBSERVACIONES				
Observación:		Evaluación:		
En los datos adquiridos en el ensayo a tracción de los diferentes grupos de fracción volumétrica se puede apreciar las mejores propiedades del material compuesto que sobresalen en el grupo 30% Refuerzo + 70% Matriz.		Se observa que la configuración del material compuesto es un factor importante debido a que los mejores resultados obtenidos es con la configuración Tipo A 30% Refuerzo + 70% Matriz		

**Tabla 36:** Valoración de la configuración y fracción volumétrica ensayo a flexión

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b> 				
FICHA DE EVALUACIÓN DE RESULTADOS PROMEDIOS DEL MATERIAL COMPUESTO				
Tipo de refuerzo	Fracción volumétrica	Espesor promedio (mm)	Esfuerzo Máximo (Mpa)	Módulo de flexión (Mpa)
Tipo A (Partículas de 500 µm)	25% Refuerzo + 75% Matriz	4.2	104.99	5857.79
	30% Refuerzo + 70% Matriz	4.1	117.09	6924.70
	35% Refuerzo + 65% Matriz	4.3	91.81	5378.27
Tipo B (Partículas de 2000 µm)	25% Refuerzo + 75% Matriz	4.3	84.91	4708.83
	30% Refuerzo + 70% Matriz	4.2	83.03	6983.22
	35% Refuerzo + 65% Matriz	4.2	69.08	4739.07



  

GRAFICAS DE RESULTADOS	
 <p><b>Esfuerzo máximo (Mpa)</b></p>	 <p><b>Módulo de flexión (Mpa)</b></p>

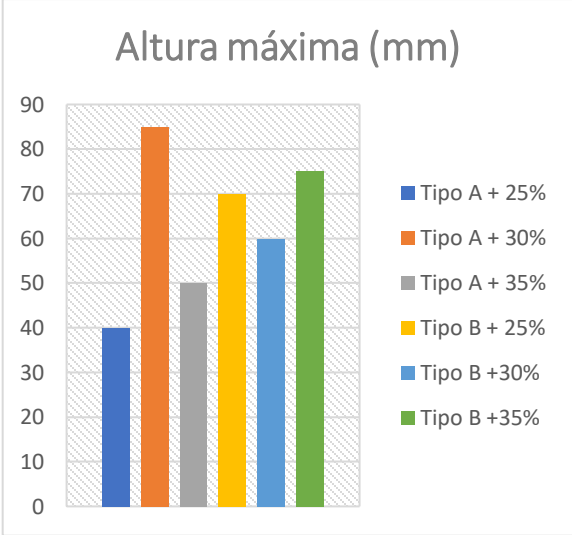
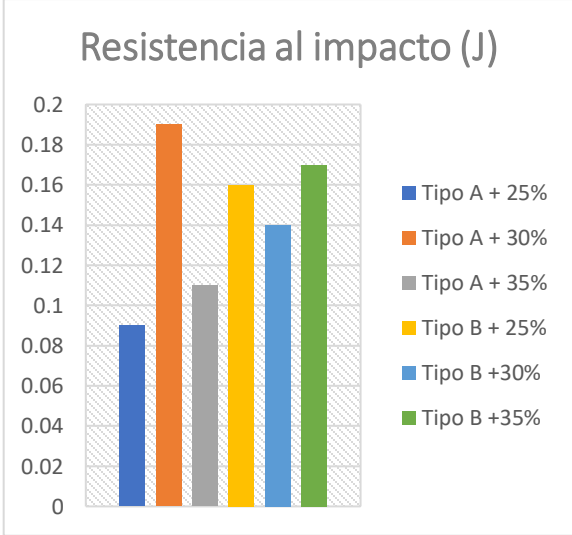
  

EVALUACIÓN Y OBSERVACIONES	
<b>Observación:</b> En los datos adquiridos en el ensayo a flexión de los diferentes grupos de fracción volumétrica se puede apreciar las mejores propiedades del material compuesto que sobresalen el grupo 30% Refuerzo + 70% Matriz y 25% Refuerzo + 75% Matriz	<b>Evaluación:</b> Se observa que la configuración del material compuesto es un factor importante debido a que los mejores resultados obtenidos es con la configuración Tipo A 30% Refuerzo + 70% Matriz

**Tabla 37:** Valoración de la configuración y fracción volumétrica ensayo a impacto

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>				
FICHA DE EVALUACIÓN DE RESULTADOS DEL MATERIAL COMPUESTO				
Tipo de refuerzo	Fracción volumétrica	Espesor promedio (mm)	Altura (mm)	Resistencia al impacto (J)
Tipo A (Partículas de 500 µm)	25% Refuerzo + 75% Matriz	4.1	40	0.09
	30% Refuerzo + 70% Matriz	4.2	85	0.19
	35% Refuerzo + 65% Matriz	4.2	50	0.11
Tipo B (Partículas de 2000 µm)	25% Refuerzo + 75% Matriz	4.3	70	0.16
	30% Refuerzo + 70% Matriz	4.2	60	0.14
	35% Refuerzo + 65% Matriz	4.1	75	0.17

GRAFICAS DE RESULTADOS	
<p><b>Altura máxima (mm)</b></p> 	<p><b>Resistencia al impacto (J)</b></p> 

EVALUACIÓN Y OBSERVACIONES	
<p><b>Observación:</b></p> <p>En los datos adquiridos en el ensayo a impacto de los diferentes grupos de fracción volumétrica se puede apreciar las mejores propiedades del material compuesto que sobresalen en el grupo 30% Refuerzo + 70% Matriz y 35% Refuerzo + 65% Matriz.</p>	<p><b>Evaluación:</b></p> <p>Se observa que la configuración del material compuesto es un factor importante debido a que los mejores resultados obtenidos es con la configuración Tipo A 30% Refuerzo + 70% Matriz</p>

### 3.1.5 Interpretación de resultados

A continuación, en la tabla 38 se muestra la ponderación de datos promedios de las propiedades mecánicas obtenidas del material compuesto por los ensayo a tracción, flexión e impacto, con el objetivo de determinar la configuración y fracción volumétrica con las mejores propiedades mecánicas del material en estudio.

**Tabla 38:** Interpretación de resultados de las distintas propiedades del material compuesto

Configuración	TRACCIÓN						FLEXIÓN						IMPACTO			Aceptación sobre 10		
	Def (%)	Δ	Esfuerzo Max (Mpa)	Δ	Módulo de elasticidad (Mpa)	Δ	Deflexión (mm)	Δ	Esfuerzo Max (Mpa)	Δ	de elasticidad (Mpa)	Δ	Altura de lanzamiento (mm)	Δ	Resistencia max impacto (J)		Δ	
Tipo A	25% Refuerzo-75% Matriz	1.3	0.285	27.33	5.95	2177.29	-18.4417	3.67	0.41	104.99	13.172	5857.79	92.4767	40	-23.33	0.09	-0.053333	5.5
	30% Refuerzo-70% Matriz	1.32	0.305	27.39	6.01	2214.71	18.9783	3.46	0.2	117.09	25.272	6924.7	1159.39	85	21.67	0.19	0.046667	7.875
	35% Refuerzo-65% Matriz	1.07	0.055	26.16	4.78	2509.79	314.058	3.41	0.15	91.81	-0.008	5378.27	-387.04	50	-13.33	0.11	-0.033333	3.875
Tipo B	25% Refuerzo-75% Matriz	0.9	-0.115	16.3	-5.08	1815	-380.732	3.62	0.36	84.91	-6.908	4708.83	-1056.5	70	6.667	0.16	0.016667	3.5
	30% Refuerzo-70% Matriz	1	-0.015	20.2	-1.18	1999.7	-196.032	2.43	-0.83	83.03	-8.788	6983.22	1217.91	60	-3.333	0.14	-0.003333	3.875
	35% Refuerzo-65% Matriz	0.5	-0.515	10.9	-10.5	2457.9	262.168	2.97	-0.29	69.08	-22.74	4739.07	-1026.2	75	11.67	0.17	0.026667	4.5
		1.015		21.38		2195.73		3.26		91.818		5765.31		63.33		0.1433		
		0.3020		6.8029		265.123		0.4761		17.054		1015.398		16.633		0.0378		

PONDERACIÓN		
10	Aceptable	Resultado por encima de la desviación estándar
7	Bueno	Resultado igual o bajo la desviación estándar
3	No aceptable	Resultado bajo la desviación estándar



De acuerdo con la evaluación y la interpretación de los datos promedios de cada configuración y fracción volumétrica, se logró determinar que las mejores propiedades mecánicas del material compuesto la cual recaen sobre la configuración Tipo A (Tamaño de partícula de 500  $\mu\text{m}$ ) con una fracción volumétrica 30% Refuerzo (Partículas de laurel) + 70% Matriz (Resina poliéster).

**Tabla 39:** Propiedades mecánicas del material compuesto Tipo A 30% refuerzo + 70% matriz

<b>Propiedades ensayo tracción</b>	
Esfuerzo máximo (Mpa)	27.39
Módulo de elasticidad (Mpa)	2214.71
Deformación máxima (%)	1.32
<b>Propiedades ensayo flexión</b>	
Esfuerzo máximo (Mpa)	117.09
Módulo de elasticidad (Mpa)	6924.7
Deflexión máxima (mm)	3.46
<b>Propiedades ensayo impacto</b>	
Resistencia máxima al impacto (J)	0.19

### 3.2 Verificación de hipótesis

Para realizar la verificación de la hipótesis del presente estudio experimental se utilizarán métodos estadísticos los cuales permitan verificar la validez de los resultados obtenidos de las propiedades mecánicas de los diferentes configuraciones y fracciones volumétricas. Por medio del método estadístico “T-student” de muestras independientes serán validados los grupos que mostraron mejores resultados los ensayos de tracción, flexión e impacto. Es necesario cumplir con las siguientes suposiciones, A) suposición de independencia cuando su variable independiente sea representada por los dos grupos independientes, B) suposición de normalidad los datos de la variable dependiente deben distribuirse lo más normal posible y C) suposición de varianza o homocedasticidad cuando sean iguales las varianzas de los grupos.

En se presente estudio se utilizó un nivel de significancia de  $\alpha = 0.05$

Como primera instancia antes de aplicar el mencionado método estadístico se precisó cumplir con los supuestos antes mencionados. Al tener dos muestras de grupos independientes los cuales ninguno posee dependencia del otro el primer supuesto se cumple en su totalidad. Para el cumplimiento del supuesto B es indispensable la utilización de graficas las cuales permitan calcular el valor P de cada grupo ya que si el valor  $P > \alpha$ , se establece que la muestra tiene una distribución normal, pero si el valor de  $P < \alpha$ , se establece que la muestra no tiene una distribución normal. Por otro lado, con la ayuda de una prueba F para varianzas de dos muestras se determinó si las varianzas de las muestras son semejantes, por medio del valor F en comparación del valor critico F se estableció que si  $F > \text{valor critico F}$ , las varianzas son diferentes, pero si  $F < \text{valor critico F}$ , las varianzas son iguales.

Del método estadístico “T-student”, se estimaron los valores del estadístico t y los valores críticos t de dos colas. Si el estadístico  $t > \text{valor critico t}$ , se rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ ) y se acepta la hipótesis alternativa ( $H_i$ ) y si estadístico  $t < \text{valor critico t}$ , se acepta la hipótesis nula ( $H_0$ ) y se rechaza la hipótesis alternativa ( $H_i$ ).

### **3.2.1 Prueba de hipótesis para el ensayo a tracción**

#### **3.2.1.1 Esfuerzo máximo**

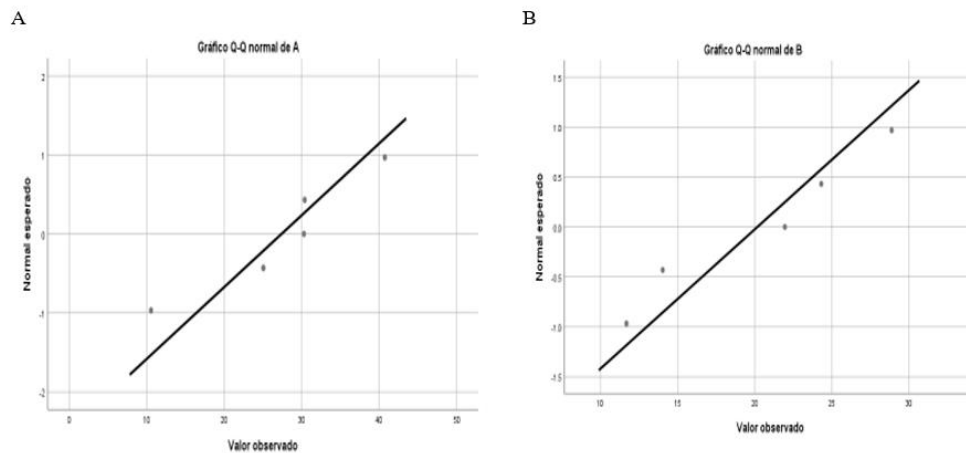
**H<sub>0</sub>:** No existe diferencia entre el esfuerzo máximo a tracción del material compuesto tipo A de 30% refuerzo + 70% matriz y el esfuerzo máximo a tracción del material compuesto tipo B de 30% refuerzo + 70% matriz.

**H<sub>i</sub>:** Existe diferencia entre el esfuerzo máximo a tracción del material compuesto tipo A de 30% refuerzo + 70% matriz y el esfuerzo máximo a tracción del material compuesto tipo B de 30% refuerzo + 70% matriz.

**Tabla 40:** Datos muestrales del esfuerzo máximo a tracción

Esfuerzo Max (Mpa)			
Tipo A		Tipo B	
1	25.04	1	11.69
2	10.54	2	28.87
3	30.37	3	21.95
4	30.28	4	24.31
5	40.72	5	14.04
$\bar{x}$	27.39	$\bar{x}$	20.2
S	11.003	S	7.168

En la figura 20 se muestra la distribución de cada uno de los tipos de configuración del tipo A y tipo B y mediante la ayuda de un software estadístico se determinó los valor P (0.67, 0.66) correspondientes a cada muestra. Al realizar la comparación del valor P con el nivel de significancia  $\alpha = 0.05$ . Se determina que el valor P es mayor al valor de significancia, por lo tanto, se comprueba que los datos de las muestra poseen una distribución normal.



**Figura 20:** Gráficos de las distribución de los datos muestrales del esfuerzo máximo a tracción

**Tabla 41:** Prueba de homocedasticidad del esfuerzo máximo a tracción

<b>PRUEBA F PARA VARIANZAS DE DOS MUESTRAS</b>		
	<b>TIPO A</b>	<b>TIPO B</b>
Media	27.3909	18.3154
Varianza	121.0689	58.4163
Observaciones	5	7
Grados de libertad	4	6
F	2.0725	
P(F<=f) una cola	0.2028	
Valor crítico para F (una cola)	4.5336	

Por medio de la ayuda de herramientas estadísticas de Excel se procedió a realizar la prueba F para varianzas de dos muestras determinando un valor F de 2.0725 y valor crítico F de 4.533, al haber obtenido un valor  $F < \text{valor crítico F}$  se establece que las muestras poseen varianzas iguales.

Determinado la comprobación de los supuestos se realizó la prueba “T-student” para dos muestras suponiendo varianzas iguales.

**Tabla 42:** Prueba de hipótesis para el esfuerzo máximo a tracción

<b>PRUEBA T PARA DOS MUESTRAS SUPONIENDO VARIANZAS IGUALES</b>		
	<b>TIPO A</b>	<b>TIPO B</b>
Media	27.3909	20.1733
Varianza	121.0689	51.3808
Observaciones	5	5
Varianza agrupada	86.2249	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	8	
Estadístico t	1.2289	
P(T<=t) dos colas	0.2539	
Valor crítico de t (dos colas)	2.3060	

En la tabla 42 se muestra el valor estadístico t de 1.2289 y un valor crítico de t (dos colas) 2.3060, ya que el valor estadístico  $t < \text{valor crítico de t (dos colas)}$ , se acepta la hipótesis nula ( $H_0$ ) y se rechaza la hipótesis alternativa ( $H_i$ ). Por lo tanto, no existe diferencia significativa entre el esfuerzo máximo a tracción del material compuesto tipo A de 30%

refuerzo + 70% matriz (27.39 Mpa) y el esfuerzo máximo a tracción del material compuesto tipo B de 30% refuerzo + 70% matriz (20.2 Mpa).

### 3.2.1.2 Módulo de elasticidad

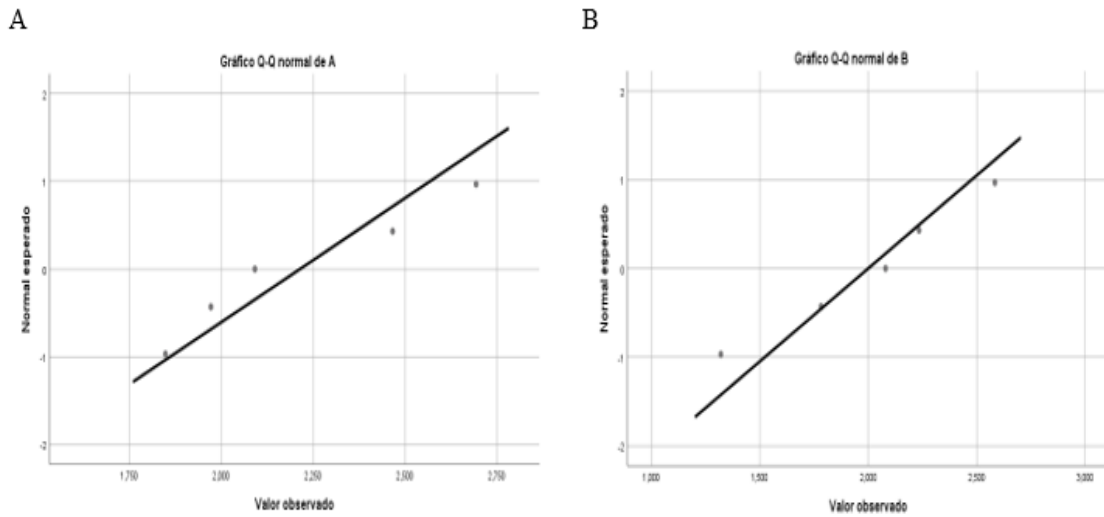
**Ho:** No existe diferencia entre el módulo de elasticidad a tracción del material compuesto tipo A de 30% refuerzo + 70% matriz y el módulo de elasticidad a tracción del material compuesto tipo B de 30% refuerzo + 70% matriz.

**Hi:** Existe diferencia entre el módulo de elasticidad a tracción del material compuesto tipo A de 30% refuerzo + 70% matriz y el módulo de elasticidad a tracción del material compuesto tipo B de 30% refuerzo + 70% matriz.

**Tabla 43:** Datos muestrales a tracción del módulo de elasticidad

Módulo de elasticidad (Mpa)			
Tipo A		Tipo B	
1	2466.80	1	2583.58
2	2694.09	2	2079.44
3	2091.85	3	1781.90
4	1972.23	4	2233.78
5	1848.58	5	1319.64
$\bar{x}$	2214.71	$\bar{x}$	1999.67
S	354.01	S	477.49

En la figura 21 se muestra la distribución de cada uno de los tipos de configuración del tipo A y tipo B y mediante la ayuda de un software estadístico se determinó los valor P (0.56, 0.97) correspondientes a cada muestra. Al realizar la comparación del valor P con el nivel de significancia  $\alpha = 0.05$ . Se determina que el valor P es mayor al valor de significancia, por lo tanto, se comprueba que los datos de las muestra poseen una distribución normal.



**Figura 21:** Gráficos de las distribución de los datos muestrales del módulo de elasticidad a tracción

**Tabla 44:** Prueba de homocedasticidad del módulo de elasticidad a tracción

<b>PRUEBA F PARA VARIANZAS DE DOS MUESTRAS</b>		
	<b>TIPO A</b>	<b>TIPO B</b>
Media	2214.7122	1999.667
Varianza	125325.012	227997.119
Observaciones	5	5
Grados de libertad	4	4
F	0.549678	
P(F<=f) una cola	0.288191	
Valor crítico para F (una cola)	0.156537	

Por medio de la ayuda de herramientas estadísticas de Excel se procedió a realizar la prueba F para varianzas de dos muestras determinando un valor F de 0.5496 y valor crítico F de 0.1565, al haber obtenido una valor  $F >$  valor crítico F se establece que las muestras poseen varianzas diferentes.

Determinado la comprobación de los supuestos se realizó la prueba “T-student” para dos muestras suponiendo varianzas desiguales.

**Tabla 45:** Prueba de hipótesis para el módulo de elasticidad a tracción

<b>PRUEBA T PARA DOS MUESTRAS SUPONIENDO VARIANZAS DESIGUALES</b>		
	<b>TIPO A</b>	<b>TIPO B</b>
Media	2214.7122	1999.6679
Varianza	125325.012	227997.119
Observaciones	5	5
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	7	
Estadístico t	0.80896	
P(T<=t) dos colas	0.44515	
Valor crítico de t (dos colas)	2.36462	

En la tabla 45 se muestra el valor estadístico t de 0.80896 y un valor crítico de t (dos colas) 2.3646, ya que el valor estadístico  $t < \text{valor crítico de } t$  (dos colas), se acepta la hipótesis nula ( $H_0$ ) y se rechaza la hipótesis alternativa ( $H_i$ ). Por lo tanto, no existe diferencia significativa entre el módulo de elasticidad a tracción del material compuesto tipo A de 30% refuerzo + 70% matriz (2214.71 Mpa) y el módulo de elasticidad a tracción del material compuesto tipo B de 30% refuerzo + 70% matriz (1999.67 Mpa).

### **3.2.2 Prueba de hipótesis para el ensayo a flexión**

#### **3.2.2.1 Esfuerzo máximo**

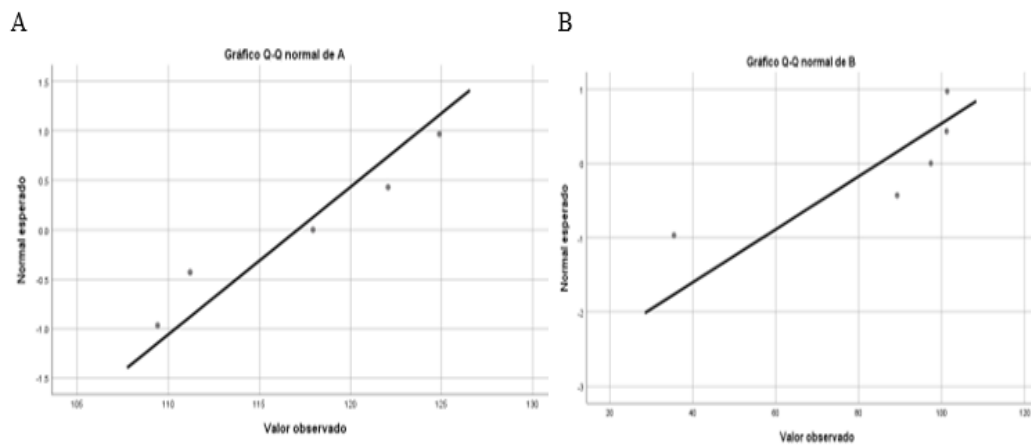
**$H_0$ :** No existe diferencia entre el esfuerzo máximo a flexión del material compuesto tipo A de 30% refuerzo + 70% matriz y el esfuerzo máximo a flexión del material compuesto tipo B de 25% refuerzo + 75% matriz.

**$H_i$ :** Existe diferencia entre el esfuerzo máximo a flexión del material compuesto tipo A de 30% refuerzo + 70% matriz y el esfuerzo máximo a flexión del material compuesto tipo B de 25% refuerzo + 75% matriz.

**Tabla 46:** Datos muestrales del esfuerzo máximo a flexión

Esfuerzo máximo (Mpa)			
Tipo A		Tipo B	
1	117.94	1	35.49
2	124.88	2	101.16
3	109.41	3	89.25
4	122.06	4	101.30
5	111.19	5	97.36
$\bar{x}$	117.09	$\bar{x}$	84.91
S	6.70689361	S	28.0567368

En la figura 22 se muestra la distribución de cada uno de los tipos de configuración del tipo A y tipo B y mediante la ayuda de un software estadístico se determinó los valor P (0.56, 0.08) correspondientes a cada muestra. Al realizar la comparación del valor P con el nivel de significancia  $\alpha = 0.05$ . Se determina que el valor P es mayor al valor de significancia, por lo tanto, se comprueba que los datos de las muestra poseen una distribución normal.



**Figura 22:** Gráficos de las distribución de los datos muestrales del esfuerzo máximo a flexión



**Tabla 47:** Prueba de homocedasticidad del esfuerzo máximo a flexión

<b>PRUEBA F PARA VARIANZAS DE DOS MUESTRAS</b>		
	<b>TIPO A</b>	<b>TIPO B</b>
Media	117.0937	84.91031
Varianza	44.9824	787.1804
Observaciones	5	5
Grados de libertad	4	4
F	0.05714	
P(F<=f) una cola	0.00844	
Valor crítico para F (una cola)	0.15653	

Por medio de la ayuda de herramientas estadísticas de Excel se procedió a realizar la prueba F para varianzas de dos muestras determinando un valor F de 0.05714 y valor crítico F de 0.1565, al haber obtenido un valor F < valor crítico F se establece que las muestras poseen varianzas iguales.

Determinado la comprobación de los supuestos se realizó la prueba “T-student” para dos muestras suponiendo varianzas iguales.

**Tabla 48:** Prueba de hipótesis para el esfuerzo máximo a flexión

<b>PRUEBA T PARA DOS MUESTRAS SUPONIENDO VARIANZAS IGUALES</b>		
	<b>TIPO A</b>	<b>TIPO B</b>
Media	117.09375	84.9103125
Varianza	44.98242	787.180478
Observaciones	5	5
Varianza agrupada	416.08145	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	8	
Estadístico t	2.494670	
P(T<=t) dos colas	0.037250	
Valor crítico de t (dos colas)	2.306004	

En la tabla 48 se muestra el valor estadístico t de 2.4946 y un valor crítico de t (dos colas) 2.3060, ya que el valor estadístico  $t >$  valor crítico de t (dos colas), se rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ ) y se acepta la hipótesis alternativa ( $H_1$ ). Por lo tanto, si existe diferencia significativa entre el esfuerzo máximo a flexión del material compuesto tipo A de 30% refuerzo + 70% matriz (117.09 Mpa) y el esfuerzo máximo a flexión del material compuesto tipo B de 25% refuerzo + 75% matriz (84.91 Mpa).

### 3.2.2.2 Módulo de flexión

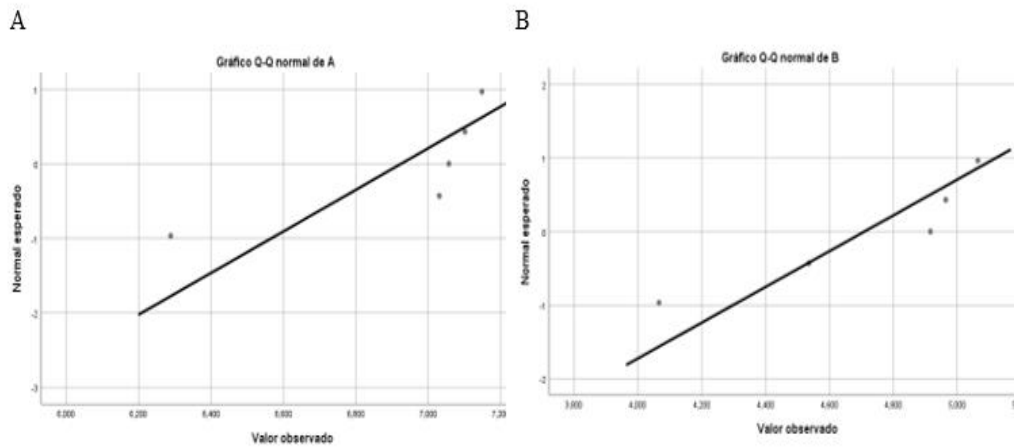
**$H_0$ :** No existe diferencia entre el módulo de flexión del material compuesto tipo A de 30% refuerzo + 70% matriz y el módulo de flexión del material compuesto tipo B de 25% refuerzo + 75% matriz.

**$H_1$ :** Existe diferencia entre el módulo de flexión del material compuesto tipo A de 30% refuerzo + 70% matriz y el módulo de flexión del material compuesto tipo B de 25% refuerzo + 75% matriz.

**Tabla 49:** Datos muestrales del módulo de flexión

Módulo de flexión (Mpa)			
Tipo A		Tipo B	
1	7100.83	1	4066.04
2	7056.55	2	4963.41
3	7147.88	3	4915.53
4	7029.93	4	5064.02
5	6288.31	5	4535.14
$\bar{x}$	6924.70	$\bar{x}$	4708.83
S	358.567854	S	411.411535

En la figura 23 se muestra la distribución de cada uno de los tipos de configuración del tipo A y tipo B y mediante la ayuda de un software estadístico se determinó los valor P (0.06, 0.25) correspondientes a cada muestra. Al realizar la comparación del valor P con el nivel de significancia  $\alpha = 0.05$ . Se determina que el valor P es mayor al valor de significancia, por lo tanto, se comprueba que los datos de las muestra poseen una distribución normal.



**Figura 23:** Gráficos de las distribución de los datos muestrales del módulo de flexión

**Tabla 50:** Prueba de homocedasticidad del módulo de flexión

<b>PRUEBA F PARA VARIANZAS DE DOS MUESTRAS</b>		
	<b>TIPO A</b>	<b>TIPO B</b>
Media	6924.696919	4708.82794
Varianza	128570.906	169259.451
Observaciones	5	5
Grados de libertad	4	4
F	0.759608431	
P(F<=f) una cola	0.39817507	
Valor crítico para F (una cola)	0.156537812	

Por medio de la ayuda de herramientas estadísticas de Excel se procedió a realizar la prueba F para varianzas de dos muestras determinando un valor F de 0.75960 y valor crítico F de 0.1565, al haber obtenido una valor  $F > \text{valor crítico F}$  se establece que las muestras poseen varianzas desiguales.

Determinado la comprobación de los supuestos se realizó la prueba “T-student” para dos muestras suponiendo varianzas desiguales.

**Tabla 51:** Prueba de hipótesis para el módulo de flexión

<b>PRUEBA T PARA DOS MUESTRAS SUPONIENDO VARIANZAS DESIGUALES</b>		
	<b>TIPO A</b>	<b>TIPO B</b>
Media	6924.696919	4708.827944
Varianza	128570.906	169259.451
Observaciones	5	5
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	8	
Estadístico t	9.079137595	
P(T<=t) dos colas	1.73753E-05	
Valor crítico de t (dos colas)	2.306004135	

En la tabla 51 se muestra el valor estadístico t de 9.0791 y un valor crítico de t (dos colas) 2.3060, ya que el valor estadístico  $t >$  valor crítico de t (dos colas), se rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ ) y se acepta la hipótesis alternativa ( $H_i$ ). Por lo tanto, si existe diferencia significativa entre el módulo de flexión del material compuesto tipo A de 30% refuerzo + 70% matriz (6925.70 Mpa) y el módulo de flexión del material compuesto tipo B de 25% refuerzo + 75% matriz (4708.83 Mpa).

### **3.2.3 Prueba de hipótesis para ensayo de impacto**

#### **3.2.3.1 Resistencia al impacto**

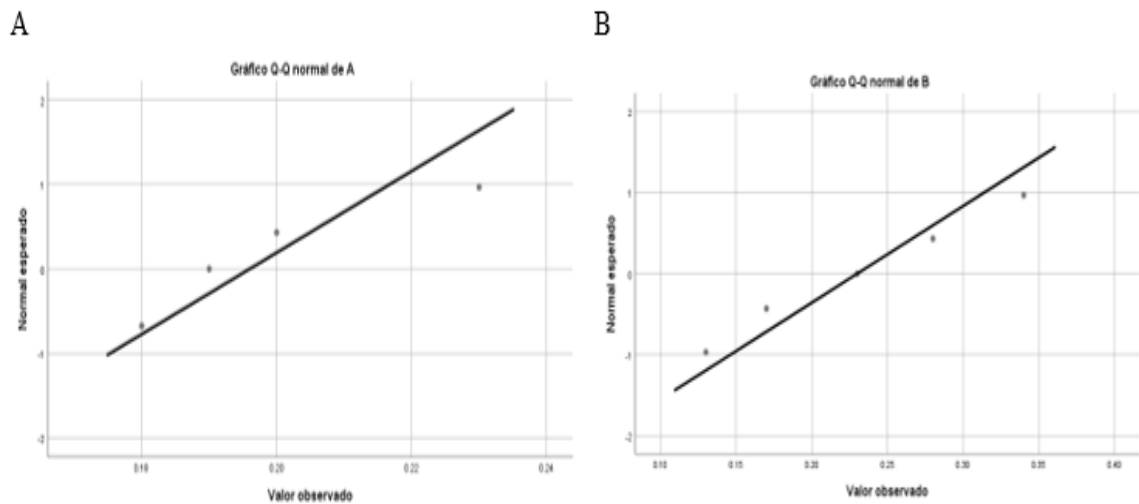
**$H_0$ :** No existe diferencia entre la resistencia al impacto del material compuesto tipo A de 30% refuerzo + 70% matriz y la resistencia al impacto del material compuesto tipo B de 35% refuerzo + 65% matriz.

**$H_i$ :** Existe diferencia entre la resistencia al impacto del material compuesto tipo A de 30% refuerzo + 70% matriz y la resistencia al impacto del material compuesto tipo B de 35% refuerzo + 65% matriz.

**Tabla 52:** Datos muestrales de la resistencia al impacto

Resistencia al impacto (J)			
Tipo A		Tipo B	
1	0.23	1	0.13
2	0.18	2	0.23
3	0.20	3	0.34
4	0.19	4	0.28
5	0.18	5	0.17
$\bar{x}$	0.20	$\bar{x}$	0.23
S	0.01903	S	0.0864

En la figura 23 se muestra la distribución de cada uno de los tipos de configuración del tipo A y tipo B y mediante la ayuda de un software estadístico se determinó los valor P (0.17, 0.92) correspondientes a cada muestra. Al realizar la comparación del valor P con el nivel de significancia  $\alpha = 0.05$ . Se determina que el valor P es mayor al valor de significancia, por lo tanto, se comprueba que los datos de las muestra poseen una distribución normal.



**Figura 24:** Gráficos de las distribución de los datos muestrales de la resistencia al impacto

**Tabla 53:** Prueba de homocedasticidad de la resistencia al impacto

<b>PRUEBA F PARA VARIANZAS DE DOS MUESTRAS</b>		
	<b>TIPO A</b>	<b>TIPO B</b>
Media	0.197937	0.229789
Varianza	0.000362	0.007466
Observaciones	5	5
Grados de libertad	4	4
F	0.04852	
P(F<=f) una cola	0.00622	
Valor crítico para F (una cola)	0.15653	

Por medio de la ayuda de herramientas estadísticas de Excel se procedió a realizar la prueba F para varianzas de dos muestras determinando un valor F de 0.0485 y valor crítico F de 0.15653, al haber obtenido un valor  $F < \text{valor crítico } F$  se establece que las muestras poseen varianzas iguales.

Determinado la comprobación de los supuestos se realizó la prueba “T-student” para dos muestras suponiendo varianzas iguales.

**Tabla 54:** Prueba de hipótesis de la resistencia al impacto

<b>Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales</b>		
	<b>TIPO A</b>	<b>TIPO B</b>
Media	0.197937	0.22978
Varianza	0.000362	0.00746
Observaciones	5	5
Varianza agrupada	0.003914	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	8	
Estadístico t	0.804943	
P(T<=t) una cola	0.222057	
Valor crítico de t (una cola)	1.859548	
P(T<=t) dos colas	0.444114	
Valor crítico de t (dos colas)	2.306004	

En la tabla 54 se muestra el valor estadístico t de 0.804943 y un valor crítico de t (dos colas) 2.306, ya que el valor estadístico  $t < \text{valor crítico de t (dos colas)}$ , se acepta la

hipótesis nula ( $H_0$ ) y se rechaza la hipótesis alternativa ( $H_1$ ). Por lo tanto, no existe diferencia significativa entre la resistencia al impacto del material compuesto tipo A de 30% refuerzo + 70% matriz (0.19 J) y la resistencia al impacto del material compuesto tipo B de 35% refuerzo + 65% matriz (0.17 J).

Por medio de las verificaciones de las hipótesis se determinó lo siguiente:

- Los diferentes tamaños de las partículas del material compuesto obtenido no poseen diferencia significativa en los resultados obtenidos en el ensayo a tracción, por otra parte, en la comparación de las propiedades mecánicas a tracción de la resina poliéster pura, las partículas de laurel inciden de forma negativa en dichas propiedades debido a que el material compuesto posee una reducción de un 40% aproximadamente en las propiedades mecánicas a tracción.
- El material compuesto obtenido a partir de dos diferentes tamaños de partículas posee una diferencia significativa en cuestión de propiedades mecánicas a flexión, es decir, el material tipo A 30% refuerzo + 70% resina, muestra mejores resultados obtenidos y en la comparación a las propiedades mecánicas a flexión de la resina poliéster pura, las partículas tipo A inciden de forma positiva, ya que se muestra un incremento de un 7% aproximadamente en las propiedades mecánicas a flexión.
- El material compuesto de matriz poliéster reforzado con partículas de laurel obtenido a partir de dos diferentes tamaños de refuerzo, no poseen una diferencia significativa en la resistencia al impacto de los dos tipos de configuraciones.

### **3.3 Aplicación industrial**

De acuerdo con los resultados obtenidos se puede determinar las siguientes aplicaciones industriales del material compuesto, como es en la utilización de techos falsos en la construcción de viviendas que normalmente se lo realiza con yeso en donde la norma ASTM-C472 establece una resistencia a la tracción del yeso de 11.76 a 24.5 Mpa y al poseer un valor mayor de 27.31 Mpa el material compuesto obtenido es una excelente alternativa para su utilización. De igual forma la superficie lisa y su excelente acabado lo hacen ideal para la aplicación inmobiliaria para la fabricación de muebles o estantes de modo que se genere una reducción en el consumo masivo de madera.

## CAPITULO IV

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 4.1 Conclusiones

- Se logró la obtención el material compuesto a base de resina poliéster RD1T-230K reforzado con partículas de laurel de tipo A y Tipo B siendo estos de 500 $\mu$ m y 2000 $\mu$ m respectivamente y con tres variaciones volumétricas (25%, 30% y 35%) del material de refuerzo de modo que se obtuvo un total de 6 configuraciones del material compuesto para ser estudiadas.
- En cada una de las variaciones volumétricas del material compuesto fue necesario la utilización del factor de mayoración, debido a que por sí sola la matriz de resina poliéster no lograba cubrir en su totalidad a las partículas de laurel.
- En la fabricación de las probetas del material compuesto se comprobó que el tiempo de curado de la resina poliéster que normalmente es de entre 30 minutos a 40 minutos cambió, produciéndose un gran incremento en el tiempo de curado a 15 horas como mínimo todo esto debido a la inclusión del material de refuerzo, además el ambiente en cual se encuentra reposando el material compuesto si afecta físicamente a sus propiedades mecánicas, por tal razón su curado debió ser sin la incidencia de los rayos UV.
- A través de los ensayos de tracción ASTM-D3039 e impacto ASTM-5628, se demostró que no existe diferencia significativa entre el tipo A y tipo B del material de refuerzo la variación de los valores de sus propiedades mecánicas es dependiente de la fracción volumetría mas no del tamaño de la partícula.
- Se comprobó que la inclusión de las partículas de laurel en una matriz de resina poliéster inciden de forma negativa en las propiedades a tracción, debido a que se produce una reducción de un 40% aproximadamente en las propiedades mecánicas a tracción, del mismo modo inciden de forma positiva en las propiedades a flexión ya que se muestra un incremento de un 7% aproximadamente en la propiedades mecánicas a flexión.
- Por lo tanto, al realizar los correspondientes ensayos mencionados a cada configuración y fracción volumetría, estadísticamente se determinaron las



mejores propiedades del material compuesto, dando como resultado que el 30% de partículas de laurel tipo A y el 70% de resina poliéster brindan las mejores propiedades del material compuesto obteniendo: esfuerzo máximo a la tracción de 27.39 Mpa, módulo de elasticidad a la tracción de 2214.71 Mpa, deformación máxima 1.32%, esfuerzo máximo a la flexión de 117.09 Mpa, módulo de elasticidad a la flexión de 6924.7 Mpa, deflexión máxima 3.46 mm y resistencia al impacto de 0.19 J.

#### **4.2 Recomendaciones**

- Limpiar adecuadamente el molde evitando la existencia de limallas por el proceso de fabricación y el generar capas de cera desmoldante sobre el mismo es indispensable para lograr una superficie lisa y con un excelente acabado del material compuesto para lo cual se recomienda un mínimo 3 aplicaciones de la cera desmoldante con intervalos de 5 a 6 minutos para su tiempo de secado.
- El material de refuerzo es vital para la investigación realizada por tal motivo las partículas de laurel deben estar totalmente secas de forma que se facilite el proceso de tamizado por tal razón se recomienda como mínimo una exposición al sol de 4 horas diarias durante una semana buscando eliminar la mayor cantidad de humedad del refuerzo natural.
- La manipulación de la resina poliéster y sus aditivos un riesgo inherente en el procesos de fabricación por ende se recomienda evitar el contacto directo con los mismos, de tal modo que es indispensable la utilización de equipos de protección personal.
- Realizar nuevas investigaciones especialmente se recomienda realizar nuevos estudios utilizando una combinación del material de refuerzo entre partículas y fibras naturales, de forma que se logre verificar si dicha combinación podrá obtener mejores resultados que los realizados hasta la actualidad.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] G. M. CORREA PILLAJO , "CARACTERIZACIÓN DE UN COMPUESTO DE MADERA PLÁSTICA OBTENIDO MEDIANTE EXTRUSIÓN Y REFORZADO CON POLVO DE BAMBÚ Y NANOARCILLAS", Tesis, Escuela Politécnica Nacional, Quito, 2019.
- [2] Á. García Velázquez, M. G. Amado Moreno, H. E. Campbell Ramírez, R. A. Brito Páez y L. Toscano Palomar, "Madera plástica con paja de trigo y matriz polimérica", *Tecnología en Marcha*, vol. 26, nº 3, 2013.
- [3] C. N. Acosta Benavides, "ANÁLISIS DE LAS CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DE UN MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ POLIMÉRICA REFORZADO CON PARTÍCULAS DE CAUCHO DE NEUMÁTICOS RECICLADOS Y SU INCIDENCIA EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS", Tesis, Universidad Técnica de Ambato, Ambato, 2018.
- [4] G. E. Mazón Ortiz, "CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DEL MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ POLIÉSTER CON FIBRA DE COCO PARA LA DETERMINACIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS EN APLICACIONES INDUSTRIALES", Tesis, Universidad Técnica de Ambato, Ambato , 2017.
- [5] D. E. Villamar Cabezas, "CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS LIGNOCELULÓSICOS OBTENIDOS MEDIANTE EXTRUSIÓN", Tesis, Escuela Politécnica Nacional, Quito, 2013.
- [6] C. E. Izurieta Guerrero, "APLICABILIDAD DE UN MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ POLIMÉRICA REFORZADO CON

PARTÍCULAS RESIDUALES DE CUERO EN USOS INDUSTRIALES", Tesis, Universidad Técnica de Ambato, Ambato, 2017.

- [7] D. D. Vicuña Vicuña, "OBTENCIÓN DE BIOCOPUESTOS A PARTIR DE RESIDUOS DE MADERA (SAWDUST) Y RESINA TERMOPLÁSTICA", Tesis, Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, 2016.
- [8] E. F. CUNALATA SÁNCHEZ y C. A. JIMÉNEZ ABARCA , "CARACTERIZACIÓN DE UN MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ POLIÉSTER REFORZADA CON FIBRA DE YUTE PRECARGADA MEDIANTE MOLDEO POR COMPRESIÓN", Tesis, Escuela Politécnica Nacional, Quito, 2019.
- [9] Y. Martinez Lopez, J. Benigno Paes, D. Gustave, F. Gomes Gonçalves y A. C. Theodoro Nantet, "Production of wood-plastic composites using cedrela odorata sawdust waste and recycled thermoplastics mixture from post-consumer products - A sustainable approach for cleaner production in Cuba," 22 04 2019. [En línea]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652619335930>. [Último acceso: 26 11 2019].
- [10] A. Vedrtnam, S. Kumar y S. Chaturvedi, "Experimental study on mechanical behavior, biodegradability, and resistance to natural weathering and ultraviolet radiation of wood-plastic composites," 2019. [En línea]. Available: <https://www.journals.elsevier.com/composites-part-b-engineering>. [Último acceso: 24 11 2019].
- [11] F. R. DELGADO ARCENTALES, "OBTENCIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS HÍBRIDOS DE MATRIZ POLIESTER REFOZADA CON FIBRA DE COCO Y FIBRA DE VIDRIO PARA LA ELBORACIÓN DE TABLEROS", Tesis, Escuela Politécnica Nacional, Quito, 2012.

- [12] D. Askeland , *CIENCIA E INGENIERÍA DE LOS MATERIALES*, Mexico: International Thomson Editoriales S.A., 1998.
- [13] W. Smith, *Fundamentos de la ciencia e ingeniería de materiales*, Mexico : McGraw-Hill, 2006.
- [14] J. M. TIXE SUBINA y J. D. VISTÍN BASTIDAS, "APLICACIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS PARA LA FORMACIÓN DE GUARDABARROS Y TAPAS LATERALES DE UNA MOTO DE 125CC, 4 TIEMPOS", Tesis, Escuela Superior Politecnica del Chimborazo, Riobamba, 2015.
- [15] A. Besednjak, *Materiales compuestos*, Catalunya, 2009.
- [16] R. Moya, "DISEÑO DE EMPAQUES HECHOS DE RESINA POLIÉSTER REFORZADO CON FIBRA DE ABACÁ PARA LA EXPORTACIÓN DE ARTESANÍAS", Tesis, Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito, 2011.
- [17] J. J. GAGO CAMPUSANO, "FABRICACION Y CARACTERIZACION DE COMPUESTOS MADERA –(METACRILATO DE METILO, RESINA POLIESTER) POR IRRADIACION GAMMA, EMPLEANDO MADERAS NATIVAS DEL PERU", Tesis, Univeridad Nacional de Ingeniería, Lima, 2011.
- [18] F. Tian y Z. Zhong, "Modeling of load responses for natural fiber reinforced composites under water absorption," 2019. [En línea]. Available: <https://www.journals.elsevier.com/composites-part-a-applied-science-and-manufacturing>. [Último acceso: 28 11 29019].
- [19] R. Llorens y F. Martí, "Aprovechamiento de residuos de fibras naturales como elementos de refuerzo de materiales poliméricos", Valencia.

- [20] N. E. MARCOVICH , "MATERIALES COMPUESTOS DE MATRIZ POLIMERICA Y REFUERZOS DE ORIGEN VEGETAL", Mar del Plata, 1996.
- [21] V. H. Guerrero, P. Pontón, A. Tamayo, H. Villacís, F. Delgado y S. Galeas, "Materiales compuestos de matriz poliéster reforzados con fibras naturales y sintéticas", Tesis, Escuela Politécnica Nacional, Quito, 2013.
- [22] M. Estrada Mejia, "Extraccion y caracterizacion mecanica de las fibras de bambu (Guadua angustifolia) para su uso potencial como refuerzo de materiales compuestos", 01 2010. [En línea]. Available: [https://www.researchgate.net/profile/Martin\\_Estrada3/publication/281294722\\_Extraccion\\_y\\_caracterizacion\\_mecanica\\_de\\_las\\_fibras\\_de\\_bambu\\_Guadua\\_angustifolia\\_para\\_su\\_uso\\_potencial\\_como\\_refuerzo\\_de\\_materiales\\_compuestos/links/55e09da208ae6abe6e897507/Extracc](https://www.researchgate.net/profile/Martin_Estrada3/publication/281294722_Extraccion_y_caracterizacion_mecanica_de_las_fibras_de_bambu_Guadua_angustifolia_para_su_uso_potencial_como_refuerzo_de_materiales_compuestos/links/55e09da208ae6abe6e897507/Extracc). [Último acceso: 12 2019].
- [23] R. Estrada, P. Fuentes y O. Domínguez, "Obtención de materiales compuestos a base de desechos vegetales y polietileno de alta densidad", *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, vol. 5, nº 1, p. 30, 2006.
- [24] M. Vinuesa, "Ecuador Forestal", 08 2012. [En línea]. Available: <https://ecuadorforestal.org/fichas-tecnicas-de-especies-forestales/ficha-tecnica-no-4-laurel/>. [Último acceso: 12 2019].
- [25] E. J. Pérez Amores, "ANÁLISIS DEL PROCESO DE TALADRADO DEL MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ POLIMÉRICA REFORZADA CON FIBRA DE ABACÁ", Tesis, Universidad Técnica de Ambato, Ambato, 2019.

## ANEXOS

### ANEXO A: FICHA TÉCNICA DE LA RESINA POLIÉSTER



#### Ficha Técnica RESINA POLIÉSTER RD1T-23OK

##### DESCRIPCIÓN

**Naturaleza químico-física:** Es una resina de poliéster insaturado basado en ácido ortoftálico y glicoles estándar, disuelto en estireno. Palatal P 4 TV-129 está preacelerada y contiene un agente tixotrópico. Posee una reactividad media y una baja viscosidad.

**Principales aplicaciones:** Es muy adecuada para técnicas de laminado manual y de proyección. Durante la laminación, impregna fácilmente los materiales de refuerzo y no descuelga de los laminados inclinados. Es especialmente apropiada para la producción de laminados delgados (< 5 mm) que requieren un curado con una generación de calor constante. Teniendo en cuenta su reactividad y el comportamiento del curado, es especialmente recomendable para la producción de laminados prácticamente libres de tensiones internas.

##### CARACTERÍSTICAS DEL PRODUCTO

Propiedad	Valor	Unidad	OBSERVACIONES:
Viscosidad, 23°C	300-400	mPa.s	Medición de viscosidad: S2/20s-1/23°C Aspecto: color azulada Reactividad determinada con 1.5 g de Butanox M 50 (AKZO-Nobel) añadido a 100 g de resina.
Contenido en sólidos IR	53-57	%	
Aspecto	Turbio	-	
Tiempo de gel desde 25 hasta 35°C	15-23	Minutos	
Tiempo de curado desde 25°C hasta pico exotérmico	30-40	Minutos	
Temperatura máxima	110-140	°C	

##### PROPIEDADES: Resina líquida (valores usuales)

Propiedad	Valor	Unidad	
Densidad, 20°C	Aprox. 1100	Kg/m <sup>3</sup>	
Punto de inflamación	Aprox. 33	°C	
Estabilidad, sin peróxidos, en la oscuridad, 25°C	6	Meses	-



## Ficha Técnica RESINA POLIÉSTER RD1T-23OK

PROPIEDADES: Resina colada (valores usuales)

Propiedad	Valor	Unidad
Resistencia a la tracción	70	MPa
Módulo de elasticidad (tracción)	4.3	GPa
Alargamiento a la rotura	2	%
Resistencia a la flexión	110	MPa
Módulo de elasticidad (flexión)	4.3	GPa
Alargamiento de las fibras limítrofes	2.6	%
Resistencia al impacto—sin corte	10	KJ/m <sup>2</sup>
Estabilidad dimensional al calor (HDT)	63	°C
Temperatura de transición vítrea (Tg)	93	°C

### PREPARACIÓN PARA EL SOPORTE

<b>Estireno</b>  <b>Diluyente</b> 25% máximo 250cc por cada kilo	<b>Cobalto</b>  <b>Acelerante</b> De 1cc a 3cc por cada kilo 1000cc	<b>Meck Peróxido</b>  <b>Catalizador</b> De 10cc a 25cc por cada kilo 1000cc
---	--	---

### ALMACENAJE Y TIPO DE ENVASE

Debe ser almacenada en su envase original, en lugar cubierto y seco a temperaturas entre 5°C y 20°C, el tiempo de vida se ve reducido a altas temperaturas. No permanecer exposición a la luz. Almacenarse en oscuridad.

### INDICACIONES DE SEGURIDAD

Para cuestiones de seguridad en el uso, almacenamiento, transporte y eliminación de residuos de este producto; consultar el etiquetado y la Hoja de Seguridad del mismo, que contiene los datos básicos, ecológicos, toxicológicos y demás cuestiones referidas a este tema.

# ANEXO B: NORMA DE ENSAYO A TRACCIÓN ASTM-D3039



Designation: D 3039/D 3039M – 00<sup>a1</sup>

## Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials<sup>1</sup>

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 approval. A superscript epsilon ( $\epsilon$ ) indicates an editorial change since the last revision or approval.

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

<sup>a1</sup> 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 Displacement<sup>2</sup>
- D 883 Terminology Relating to Plastics<sup>2</sup>
- D 2584 Test Method for Ignition Loss of Cured Reinforced Resins<sup>3</sup>
- D 2734 Test Method for Void Content of Reinforced Plastics<sup>3</sup>
- D 3171 Test Methods for Constituent Content of Composite Materials<sup>4</sup>
- D 3878 Terminology for Composite Materials<sup>4</sup>
- D 5229/D 5229M Test Method for Moisture Absorption

Properties and Equilibrium Conditioning of Polymer Matrix Composite Materials<sup>4</sup>

- E 4 Practices for Force Verification of Testing Machines<sup>5</sup>
- E 6 Terminology Relating to Methods of Mechanical Testing<sup>5</sup>
- E 83 Practice for Verification and Classification of Extensometers<sup>5</sup>
- E 111 Test Method for Young's Modulus, Tangent Modulus, and Chord Modulus<sup>5</sup>
- E 122 Practice for Choice of Sample Size to Estimate a Measure of Quality for a Lot or Process<sup>6</sup>
- E 132 Test Method for Poisson's Ratio at Room Temperature<sup>5</sup>
- E 177 Practice for Use of the Terms Precision and Bias in ASTM Test Methods<sup>6</sup>
- E 251 Test Methods for Performance Characteristics of Metallic Bonded Resistance Strain Gages<sup>5</sup>
- E 456 Terminology Relating to Quality and Statistics<sup>6</sup>
- E 691 Practice for Conducting an Interlaboratory Study to Determine the Precision of a Test Method<sup>6</sup>
- E 1012 Practice for Verification of Specimen Alignment Under Tensile Loading<sup>5</sup>
- E 1237 Guide for Installing Bonded Resistance Strain Gages<sup>5</sup>

### 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

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

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

<sup>2</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol 08.01.

<sup>3</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol 08.02.

<sup>4</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol 15.03.

<sup>5</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol 03.01.

<sup>6</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol 14.02.



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

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

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

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

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

3.3 *Symbols:*

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

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

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

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

3.3.5  $E$ —modulus of elasticity in the test direction.

3.3.6  $F^u$ —ultimate tensile strength in the test direction.

3.3.7  $F^s$ —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  $s_{n-1}$ —standard deviation statistic of a sample population for a given property.

3.3.16  $w$ —coupon width.

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

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

3.3.19  $\delta$ —extensional displacement.

3.3.20  $\epsilon$ —general symbol for strain, whether normal strain or shear strain.

3.3.21  $\epsilon$ —indicated normal strain from strain transducer or extensometer.

3.3.22  $\sigma$ —normal stress.

3.3.23  $\nu$ —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  $0^\circ$  plies, the effect is not as significant.

#### 7. Apparatus

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

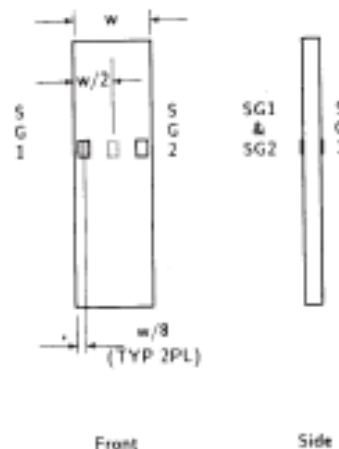


FIG. 1 Gage Locations for System Alignment Check Coupon

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

$$B_y = \frac{e_{\text{max}} - e_3}{e_{\text{max}}} \times 100 \quad (1)$$

$$B_x = \frac{4/3 (e_2 - e_1)}{e_{\text{max}}} \times 100 \quad (2)$$

where:

- $B_y$  = percent bending about system  $y$  axis (about the narrow plane), as calculated by Eq 1, %;
- $B_x$  = percent bending about system  $x$  axis (about the wide plane), as calculated by Eq 2, %;
- $e_1, e_2,$  and  $e_3$  = indicated longitudinal strains displayed by Gages 1, 2, and 3, respectively, of Fig. 1,  $\mu\epsilon$ ; and
- $e_{\text{max}}$  =  $(e_1 + e_2)/2 + e_3/2$ .

The total bending component is:

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

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

**7.3.1 Bonded Resistance Strain Gage Selection**—Strain gage selection is a compromise based on the type of material. An active gage length of 6 mm [0.25 in.] is recommended for most materials. Active gage lengths should not be less than 3 mm [0.125 in.].<sup>2</sup> Gage calibration certification shall comply with Test Methods E 231. When testing woven fabric laminates, gage selection should consider the use of an active gage length that is at least as great as the characteristic repeating unit of the weave. Some guidelines on the use of strain gages on composites follow. A general reference on the subject is Tuttle and Brinson.<sup>3</sup>

**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 sepoed or damaged during the surface preparation process.

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

**7.3.1.2** Consideration should be given to the selection of gages having larger resistances to reduce heating effects on low-conductivity materials. Resistances of 350  $\Omega$  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 atmospheres. Temperature compensation is required when testing in nonambient temperature environments.

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

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

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

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

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

<sup>2</sup> A typical gage would have a 0.25-in. active gage length, 350- $\Omega$  resistance, a strain rating of 3 % or better, and the appropriate environmental resistance and thermal coefficient.

<sup>3</sup> Tuttle, M. E. and Brinson, H. F., "Resistance-Foil Strain-Gage Technology as Applied to Composite Materials," *Experimental Mechanics*, Vol 24, No. 1, March 1984, pp. 54-65; errata noted in Vol 26, No. 2, June 1986, pp. 153-154.

### 8. Sampling and Test Specimens

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

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

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

Purpose	Degree of Geometry Definition
8.2.1 General Requirements	Mandatory Shape and Tolerances
8.2.2 Specific Recommendations	Nonmandatory Suggested Dimensions
8.2.3 Detailed 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

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

#### 8.2.2 Specific Recommendations:

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

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

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

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

TABLE 1 Tensile Specimen Geometry Requirements

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

<sup>a</sup> See 8.2.2 or Table 2 for recommendations.

TABLE 2 Tensile Specimen Geometry Recommendations<sup>a</sup>

Fiber Orientation	Width, mm [in.]	Overall Length, mm [in.]	Thickness, mm [in.]	Tab Length, mm [in.]	Tab Thickness, mm [in.]	Tab Bevel Angle, <sup>b</sup>
0° unidirectional	15 [0.5]	250 [10.0]	1.0 [0.040]	50 [2.0]	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 random-discontinuous	25 [1.0]	250 [10.0]	2.5 [0.100]	emery cloth	—	—
	25 [1.0]	250 [10.0]	2.5 [0.100]	emery cloth	—	—

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

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

**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]<sub>n</sub>s 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:

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

where:

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

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

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

### 8.3 Specimen Preparation:

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

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

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

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

## 9. Calibration

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

## 10. Conditioning

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

## 11. Procedure

### 11.1 Parameters To Be Specified Before Test:

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

11.1.2 The tensile properties and data reporting format desired.

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

### 11.1.3 The environmental conditioning test parameters.

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

### 11.2 General Instructions:

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

<sup>9</sup> E-Z Flex Metals K224 cloth, Orit 120-1, available from Norton Company, Troy, NY 12181, has been found satisfactory in this application. Other equivalent types of emery cloth should also be suitable.

- DRAWING NOTES:
1. DIMENSIONS DRAWN IN ACCORDANCE WITH ASH 114 (SI) UNITS, SUBJECT TO THE FOLLOWING:
  2. ALL DIMENSIONS IN MILLIMETERS WITH DECIMAL TOLERANCES AS FOLLOWS:  

0.05	0.1	0.2
0.05	0.1	0.2
  3. ALL ANGLES HAVE TOLERANCE OF  $\pm 3^\circ$ .
  4. PLY ORIENTATION DIRECTION TOLERANCE RELATIVE TO  $\perp$  WITHIN  $\pm 5^\circ$ .
  5. FINISH ON MACHINED EDGES NOT TO EXCEED 1.6 $\mu$  (SPHERULOIDITY IN ACCORDANCE WITH ASH 846-1, WITH ROUNDNESS HEIGHT IN MICROMETERS.)
  6. VALUES TO BE PROVIDED FOR THE FOLLOWING, SUBJECT TO ANY RANGES SHOWN IN THE FIELD OF DRAWING: MATERIAL, GUP (UP), PLY ORIENTATION REFERENCE RELATIVE TO  $\perp$ , OVERALL LENGTH, GAGE LENGTH, COUPON THICKNESS, TAB MATERIAL, TAB TECHNIQUE, TAB LENGTH, TAB BEVEL, TABS, TAB ADHESION.
  7. NO ADHESIVE BONDING ALLOWED IN THE GAUGE.

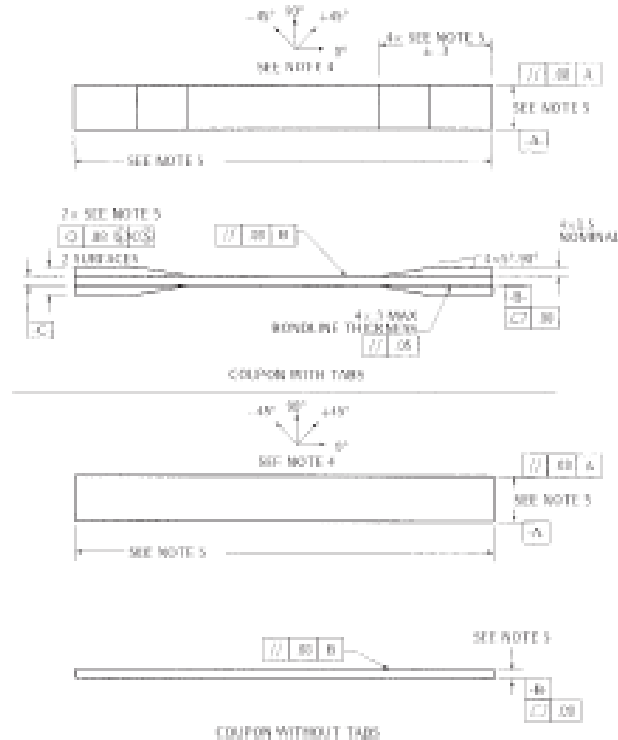


FIG. 2 Tension Test Specimen Drawing (SI)

11.2.2 If specific gravity, density, reinforcement volume, or void volume are to be reported, then obtain these samples from the same panels being tension tested. Specific gravity and density may be evaluated by means of Test Methods D 792. Volume percent of the constituents may be evaluated by one of the matrix digestion procedures of Test Method D 3171, or, for certain reinforcement materials such as glass and ceramics, by the matrix burn-off technique of Test Method D 2384. The void content equations of Test Methods D 2734 are applicable to both Test Method D 2384 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  $\text{mm}^2$  ( $\text{in}^2$ ).

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

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

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

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

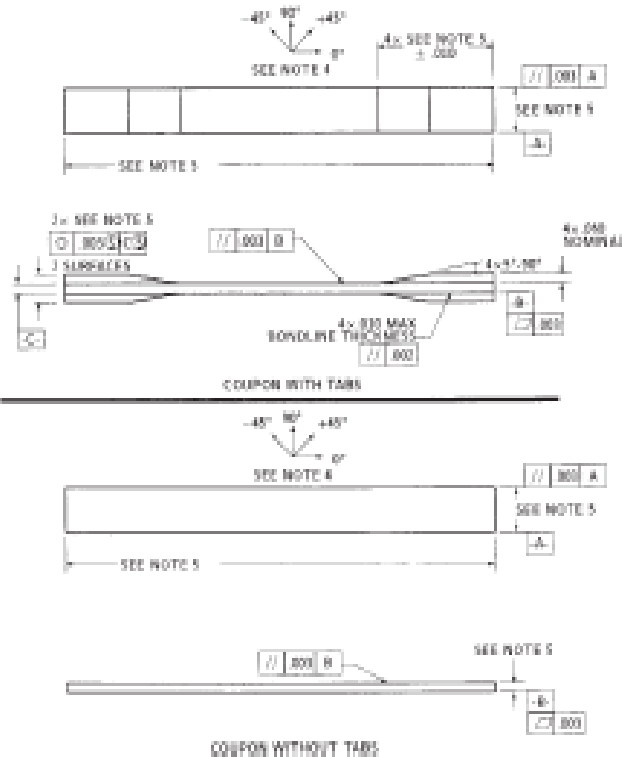
*NOTE 6*—Use of a fixed head speed in testing machine systems with a high compliance may result in a strain rate that is much lower than required. Use of wedge grips can cause extreme compliance in the system, especially when using compliant tab materials. In some such cases, actual strain rates 10 to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

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

**DRAWING NOTES:**

1. INTERPRET DRAWING IN ACCORDANCE WITH ANSI Y39.5M-1992, SUBJECT TO THE FOLLOWING:
2. ALL DIMENSIONS IN INCHES WITH DECIMAL TOLERANCES AS FOLLOWS:  

X	XX	XXX
+0.000	+0.001	+0.002
3. ALL ANGLES HAVE TOLERANCE OF  $\pm 0.5^\circ$ .
4. PLY ORIENTATION ORIENTATION TOLERANCE RELATIVE TO [A] WITHIN  $\pm 0.5^\circ$ .
5. FINISH ON MACHINED EDGES NOT TO EXCEED  $R_{\sqrt{r}}$  (SYMBOLICALLY IN ACCORDANCE WITH ASA B46.1, WITH ROUNNESS HEIGHT IN MICROINCHES.)
6. VALUES TO BE PROVIDED FOR THE FOLLOWING, SUBJECT TO ANY BANDS SHOWN ON THE FIELD OF DRAWING: MATERIAL, LAY-UP, PLY ORIENTATION REFERENCE RELATIVE TO [A], OVERALL LENGTH, GAGE LENGTH, COUPON THICKNESS, TAB MATERIAL, TAB THICKNESS, TAB LENGTH, TAB BEVEL ANGLE, TAB ADHESIVE.
7. NO ADHESIVE BUILDUP ALLOWED IN THIS AREA.



**FIG. 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 1*—The ends of the grip jaws on wedge-type grips should be even with each other following insertion to avoid inducing a bending moment that results in premature failure of the specimen at the grip. When using

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

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

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

**TABLE 3 Specimen Alignment and Chord Modulus Calculation Strain Ranges**

Tensile Chord Modulus Calculation Longitudinal Strain Range		Longitudinal Strain Checkpoint for Bending
Start Point	End Point	μt
1000 <sup>a</sup>	3000	2000

<sup>a</sup> 1000 μt = 0.001 absolute strain.  
<sup>b</sup> This strain range is to be contained in the lower half of the stress-strain curve. For materials that fall below 6000 μt, a strain range of 25 to 50 % of ultimate is recommended.

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

$$B_c = \frac{b_f - b_b}{b_f + b_b} \tag{5}$$

where:

- $b_f$  = indicated strain from front transducer, μt;
- $b_b$  = indicated strain from back transducer, μt; and
- $B_c$  = percent bending in specimen.

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

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

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

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

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

## 12. Calculation

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

$$F^u = P^u/A \tag{6}$$

$$\sigma_i = P_i/A \tag{7}$$

where:

- $F^u$  = ultimate tensile strength, MPa [psi];
- $P^u$  = maximum load before failure, N [lbf];
- $\sigma_i$  = tensile stress at *i*th data point, MPa [psi];
- $P_i$  = load at *i*th data point, N [lbf]; and
- $A$  = average cross-sectional area from 11.2.3, mm<sup>2</sup> [in.<sup>2</sup>].

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

$$\epsilon_i = \delta_i/L_g \tag{8}$$

where:

- $\epsilon_i$  = tensile strain at *i*th data point, μt;
- $\delta_i$  = extensometer displacement at *i*th data point, mm [in.]; and
- $L_g$  = extensometer gage length, mm [in.].

## 12.3 Tensile Modulus of Elasticity

*Note 9*—To minimize potential effects of bending it is recommended that the strain data used for modulus of elasticity determination be the average of the indicated strains from each side of the specimen, as discussed in 7.5 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.

$$E^{\text{chord}} = \Delta\sigma/\Delta\epsilon \tag{9}$$

where:

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

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



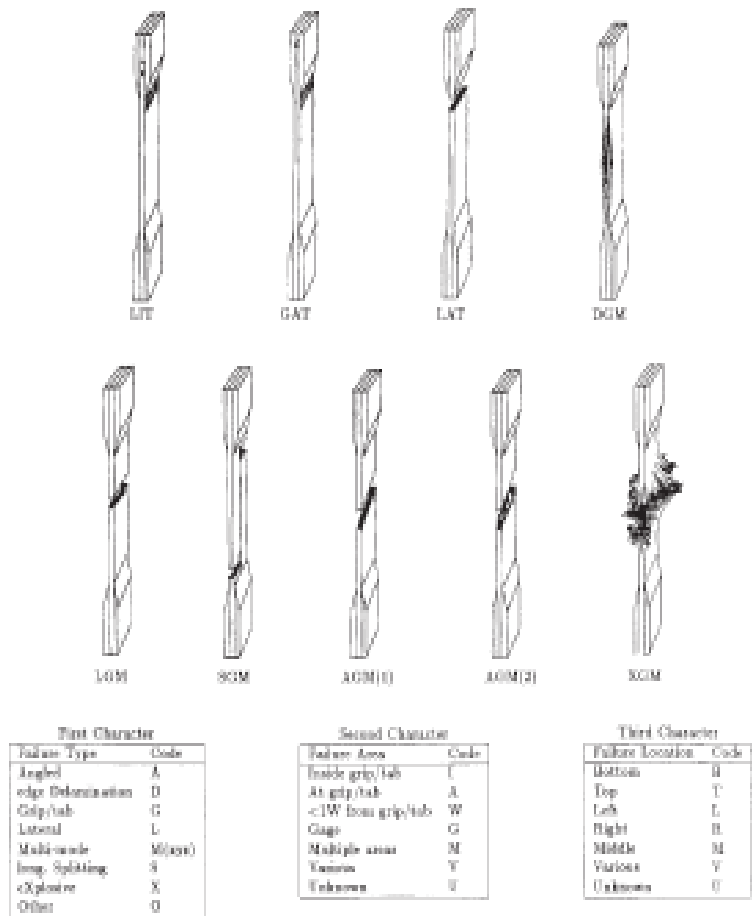


FIG. 4 Tensile Test Failure Codes/Typical Modes

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

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

12.4 Poisson's Ratio:

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

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

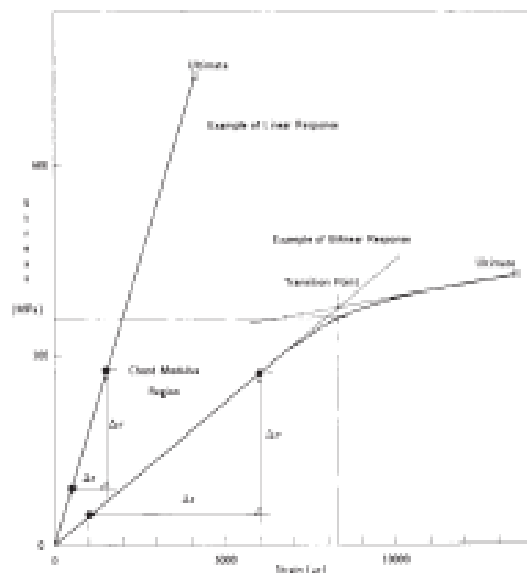


FIG. 5 Typical Tensile Stress-Strain Curves

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

$$\nu = -\Delta\epsilon_x/\Delta\epsilon_y \quad (10)$$

where:

- $\nu$  = Poisson's ratio;
- $\Delta\epsilon_x$  = difference in lateral strain between the two longitudinal strain points of Table 3,  $\mu\epsilon$ ; and
- $\Delta\epsilon_y$  = 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:

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

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

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

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 requester):

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

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

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

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

13.1.7 Ply orientation stacking sequence of the laminate.

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

13.1.9 Average ply thickness of the material.

13.1.10 Results of any nondestructive evaluation tests.

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

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

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

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

13.1.15 Dimensions of each test specimen.

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

13.1.17 Relative humidity and temperature of the testing laboratory.

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

13.1.19 Number of specimens tested.

13.1.20 Speed of testing.

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

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

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

13.1.24 Percent bending results for each specimen so evaluated.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

13.1.34 Failure mode and location of failure for each specimen.

#### 14. Precision and Bias

##### 14.1 Precision:

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

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

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

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

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

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

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

14.1.7 An interlaboratory test program was conducted where an average of five specimens each, of six different materials and lay-up configurations, were tested by nine different laboratories.<sup>11</sup> 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 1.5 are defined as:

A	BM-63501-6 uni-tape (0°)
B	BM-63501-6 uni-tape (90°)
C	BM-63501-6 uni-tape (90°/0°)
F	Glass/epoxy fabric (7781 glass/Ciba R 7376 Epoxy)-warp aligned
G	Carbon/epoxy fabric (66108 carbon/Ciba R 6376

TABLE 4 Precision Statistics

Material	$\bar{x}$	$s/\bar{x}$	$S_p$	$S_R$	$S_p/\bar{x}$ , %	$S_R/\bar{x}$ , %
Strength, ksi						
A	342.09	0.49	10.00	12.70	3.12	3.73
B	0.52	0.52	0.05	0.02	9.94	10.94
C	158.37	3.64	10.05	10.05	6.94	6.94
F	66.18	3.20	1.52	3.48	2.30	5.26
G	121.52	1.59	3.92	3.62	3.23	3.23
Modulus, Msi						
A	23.57	0.05	0.03	0.06	2.09	3.68
B	1.30	0.05	0.04	0.06	3.12	4.57
C	12.38	0.29	0.37	0.44	2.90	3.54
F	3.05	0.08	0.04	0.09	1.01	2.28
G	9.47	0.16	0.12	0.20	1.29	2.06
Failure Strain, %						
A	1.36	0.06	0.07	0.06	4.95	6.15
B	0.06	0.04	0.06	0.09	12.47	13.02
C	1.22	0.03	0.06	0.06	5.25	5.27
F	2.04	0.15	0.07	0.16	3.19	8.00
G	1.27	0.03	0.05	0.05	3.03	4.13

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

<sup>11</sup> 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 $S_u/X$ , %	Average of $S_m/X$ , %
Strength	5.11	6.00
Modulus	3.33	3.33
Failure strain	5.64	7.33

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

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

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

## 15. Keywords

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

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

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

*This standard is copyrighted by ASTM International, 100 Bar Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19380-2999, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-833-9505 (phone), 610-833-9505 (fax), or [service@astm.org](mailto:service@astm.org) (e-mail); or through the ASTM website ([www.astm.org](http://www.astm.org)).*

# ANEXO C: NORMA PARA ENSAYO A FLEXIÓN ASTM-D7264



Designation: D 7264/D 7264M – 07

## Standard Test Method for Flexural Properties of Polymer Matrix Composite Materials<sup>1</sup>

This standard is listed under the final 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 approval. A superscripted epsilon ( $\epsilon$ ) indicates an editorial change since the last revision or approval.

### 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:*<sup>2</sup>

- 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 Metric<sup>3</sup>

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

### 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.

<sup>1</sup> This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee D39 on Composite Materials and is the direct responsibility of Subcommittee D39.04 on Laminas 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.

<sup>2</sup> For referenced ASTM standards, visit the ASTM website, [www.astm.org](http://www.astm.org), or contact ASTM Customer Service at [service@astm.org](mailto:service@astm.org). For Annual Book of ASTM Standards volume information, refer to the standard's Document Summary page on the ASTM website.

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

3.2 Definitions of Terms Specific to This Standard:

3.2.1 flexural strength,  $\sigma$ —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,  $E_f$ —the ratio of stress range to corresponding strain range for a test specimen loaded in flexure.

3.3 Symbols:

- $b$  = specimen width
- $CV$  = sample coefficient of variation, in percent
- $E_f^{chord}$  = flexural chord modulus of elasticity
- $E_f^{secant}$  = flexural secant modulus of elasticity
- $t$  = specimen thickness
- $L$  = support span
- $m$  = slope of the secant of the load-deflection curve
- $n$  = number of specimens
- $P$  = applied force
- $s_{n-1}$  = sample standard deviation
- $X_i$  = measured or derived property
- $\bar{X}$  = sample mean
- $\delta$  = mid-span deflection of the specimen
- $\epsilon$  = strain at the outer surface at mid-span of the specimen
- $\sigma$  = 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

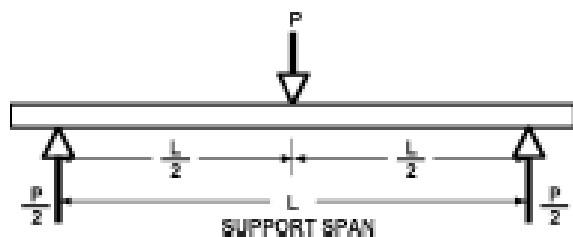


FIG. 1 Procedure A—Loading Diagram

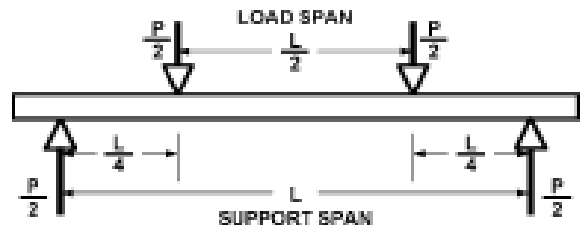


FIG. 2 Procedure B—Loading Diagram

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.

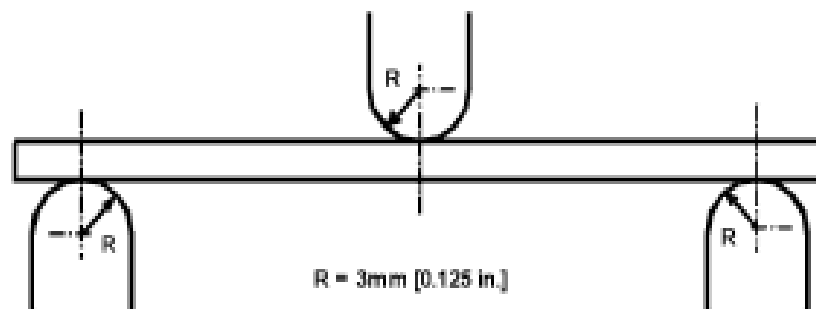
6.4 Loading noses may be fixed, rotatable or rolling. Typically, for testing composites, fixed or rotatable loading noses are used. The type of loading nose can affect results, since non-rolling paired supports on either the tension or compression side of the specimen introduce slight longitudinal forces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

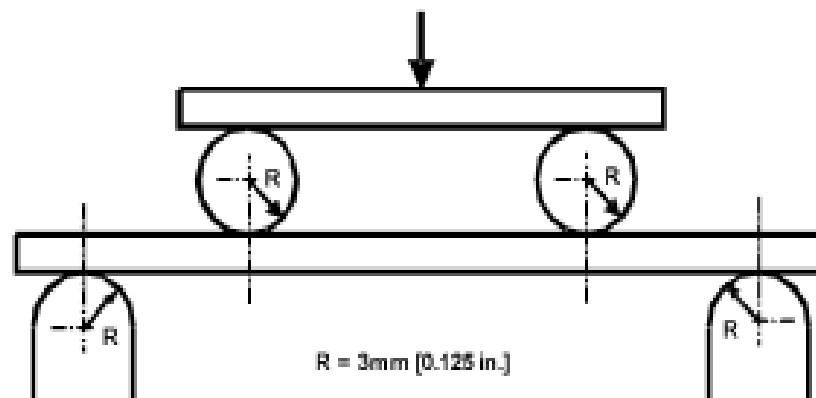
### 7. Apparatus

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 toolled 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  $\pm 0.02$  mm [ $\pm 0.001$  in.] is desirable for thickness and width measurement, while an instrument with an accuracy of  $\pm 0.1$  mm [ $\pm 0.004$  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  $\pm 1$  % 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  $\pm 3$  % 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  $\pm 5$  % relative humidity.

8. Test Specimens

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

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

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



Note 1—Drawing interpretation per ANSI Y14.5-1999 and ANSI B46.1-1995.  
 Note 2—See 8.2 and 11.3 of this test standard for the required values of span and overall length.  
 FIG. 4 Standard Flexural Test Specimen Drawing (SI)





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

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

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

Norm 3—A support span-to-thickness ratio of less than 32:1 may be acceptable for obtaining the desired flexural failure mode when the ratio of the lower of the compressive and tensile strength to out-of-plane shear strength is less than 8, but the support span-to-thickness ratio must be increased for composite laminates having relatively low out-of-plane shear strength and relatively high in-plane tensile or compressive strength parallel to the support span.

Norm 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.

Norm 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.

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

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

### 11. Procedure

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

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

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

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

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

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

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

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

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

**12. Validation**

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

**13. Calculation**

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

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

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

where:

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

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

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

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

where:

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

<sup>4</sup> For the theoretical details, see Whitney, J. M., Herwing, C. R., and Mait, A., "Analysis of the Flexure Test for Laminated Composite Materials," Composite Materials: Testing and Design (Third Conference), ASTM STP 346, 1974, pp. 33-45.

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

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

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

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

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

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

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

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

where:

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

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

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

where:

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

13.7 *Flexural Modulus of Elasticity:*

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

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

where:

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

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

Note 8—Shear deformation can seriously reduce the apparent flexural modulus of highly orthotropic laminates when they are tested at low span-to-thickness ratios.<sup>3</sup> For this reason, a high span-to-thickness ratio is recommended for flexural modulus determinations. In some cases, separate sets of specimens may have to be used for modulus and strength determination.

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

13.7.2.1 *For Procedure A:*

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

where:

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

13.7.2.2 *For Procedure B:*

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

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

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

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

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

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

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

where:

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

<sup>3</sup> For discussion of these effects, see Zweben, C., Smith, W. S., and Wardle, M. W., "Test Methods for Fiber Tensile Strength, Composite Flexural Modulus, and Properties of Fabric-Reinforced Laminates," *Composite Materials: Testing and Design (Fifth Conference)*, ASTM STP 674, 1979, pp. 228-262.



## 14. Report

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

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

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

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

14.1.4 The test Procedure used (A or B).

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

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

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

14.1.8 Ply orientation stacking sequence of the laminate.

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

14.1.10 Average ply thickness of the material.

14.1.11 Results of any nondestructive evaluation tests.

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

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

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

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

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

14.1.17 Relative humidity and temperature of the testing laboratory.

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

14.1.19 Number of specimens tested.

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

14.1.21 Loading and support nose type and dimensions.

14.1.22 Speed of testing.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

14.1.35 Failure mode and location of failure for each specimen.

## 15. Precision and Bias

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

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

## 16. Keywords

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

ANNEXES

(Mandatory Information)

A1. MEASURING AND SETTING SPAN

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

A1.2 *Measurement of Span:*

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

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

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

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

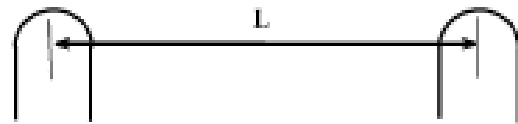


FIG. A1.1 Markings on Fixed Specimen Supports



FIG. A1.2 Markings on Rotatable Specimen Supports

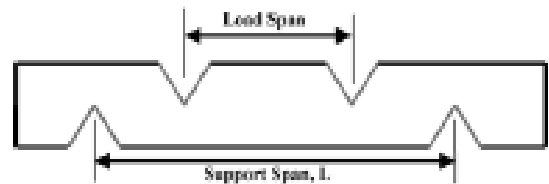


FIG. A1.3 Fixture Used to Align Loading Noses and Supports

A2. TOE COMPENSATION

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

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

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

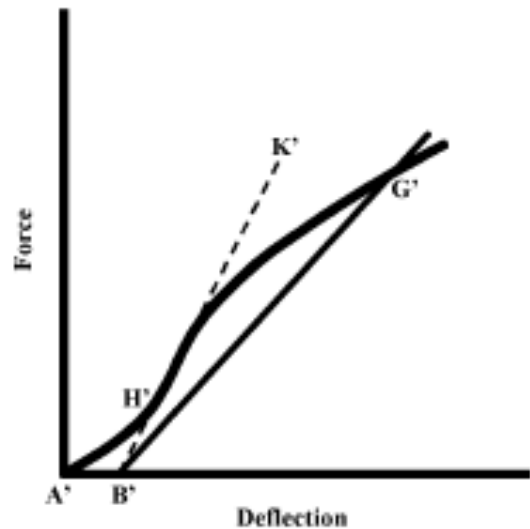


FIG. A2.2 Material without a Hookean Region

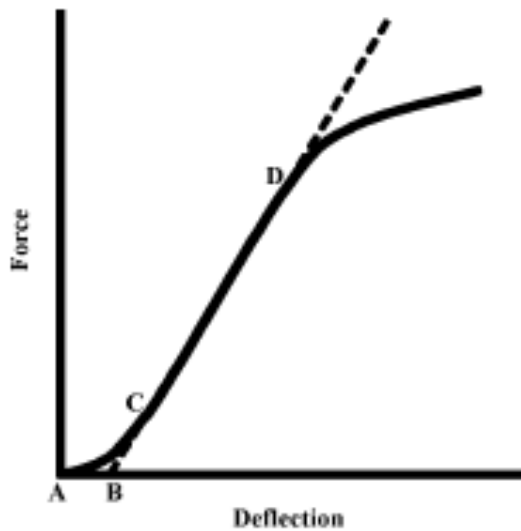


FIG. A2.1 Material with a Hookean Region



## D 7264/D 7264M – 07

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

*This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either 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, 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 Bar Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19380-2900, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9888 (phone), 610-832-9855 (fax), or [service@astm.org](mailto:service@astm.org) (e-mail); or through the ASTM website ([www.astm.org](http://www.astm.org)).*

# ANEXO D: NORMA PARA ENSAYO DE IMPACTO ASTM D5628



Designation: D 5628 – 96 (Reapproved 2001)<sup>1</sup>

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

This standard is issued under the fixed designation D 5628; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last approval. A superscript epsilon ( $\epsilon$ ) indicates an editorial change since the last revision or approval.

<sup>1</sup> Note—Editorial changes were made throughout in November 2001.

### 1. Scope

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

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

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

Note 1—This test method and ISO 6603-1-1985 are technically equivalent only when the test conditions and specimen geometry required for Geometry FE and the Bruceton Staircase method of calculation are used.

### 2. Referenced Documents

#### 2.1 ASTM Standards:

- D 374 Test Methods for Thickness of Solid Electrical Insulation<sup>2</sup>
- D 618 Practice for Conditioning Plastics for Testing<sup>3</sup>
- D 883 Terminology Relating to Plastics<sup>2</sup>
- D 1600 Terminology for Abbreviated Terms Relating to Plastics<sup>2</sup>
- D 1709 Test Method for Impact Resistance of Plastic Film by the Free-Falling Dart Method<sup>2</sup>
- D 1898 Practice for Sampling of Plastics<sup>4</sup>
- D 2444 Test Method for Determination of the Impact Resistance of Thermoplastic Pipe and Fittings by Means of a

#### Top Falling Weight<sup>5</sup>

- D 3763 Test Method for High-Speed Puncture Properties of Plastics Using Load and Displacement Sensors<sup>6</sup>
  - D 4066 Classification System for Nylon Injection and Extrusion Materials PA<sup>8</sup>
  - E 177 Practice for Use of the Terms Precision and Bias in ASTM Test Methods<sup>7</sup>
  - E 691 Practice for Conducting an Interlaboratory Study to Determine the Precision of a Test Method<sup>7</sup>
- 2.2 ISO Standards:
- ISO 291 Standard Atmospheres for Conditioning and Testing<sup>8</sup>
  - ISO 6603-1 Plastics—Determination of Multiaxial Impact Behavior of Rigid Plastics—Part 1: Falling Dart Method<sup>9</sup>

### 3. Terminology

#### 3.1 Definitions:

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

#### 3.2 Definitions of Terms Specific to This Standard:

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

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

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

Note 2—Cracks usually start at the surface opposite the one that is struck. Occasionally incipient cracking in glass-reinforced products, for

<sup>1</sup> This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee D20 on Plastics and is the direct responsibility of Subcommittee D20.18 on Mechanical Properties. Current edition approved March 18, 1996. Published July 1996. Originally published as D 5628 – 94. Last previous edition D 5628 – 95.

<sup>2</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol 08.05.

<sup>3</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol 08.05.

<sup>4</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol 08.05.

<sup>5</sup> Discouraged; see 1998 Annual Book of ASTM Standards, Vol 08.05.

<sup>6</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol 08.04.

<sup>7</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol 08.02.

<sup>8</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol 16.02.

<sup>9</sup> Available from American National Standards Institute, 25 W. 43rd St., 4th Floor, New York, NY 10036.



example, may be difficult to differentiate from the reinforcing fibers. In such cases, a penetrating dye may be used to confirm the onset of crack formation.

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

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

#### 4. Summary of Test Method

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

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

4.3 The technique used to determine mean failure energy is commonly called the Bruceton Staircase Method or the Up-and-Down Method (1).<sup>2</sup> Testing is concentrated near the mean, reducing the number of specimens required to obtain a reasonably precise estimate of the impact resistance.

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

#### 5. Significance and Use

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

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

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

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

5.4 The test conditions of Geometry FC are the same as those of Test Method A of Test Method D 1709. They have been used in specifications for extruded sheeting. A limitation of this geometry is that considerable material is required.

5.5 The test conditions of Geometry FD are the same as for Test Method D 3763.

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

5.7 Because of the nature of impact testing, the selection of a test method and tip must be somewhat arbitrary. While any one of the tip geometries may be selected, knowledge of the final or intended end-use application should be considered.

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

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

#### 6. Interferences

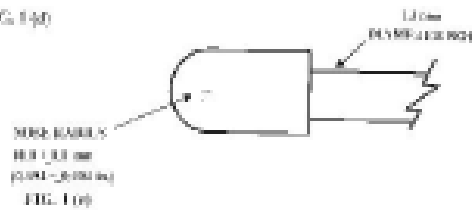
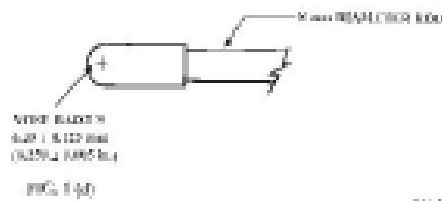
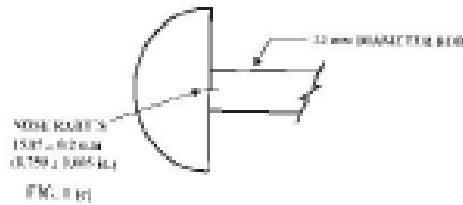
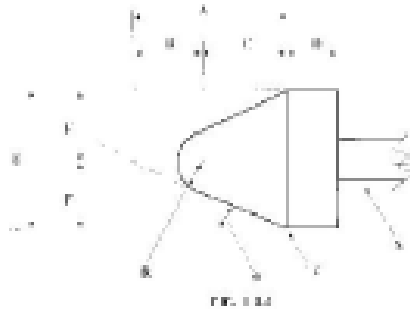
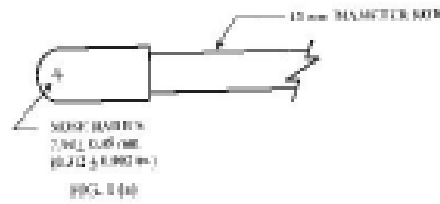
6.1 Falling-mass-impact-test results are dependent on the geometry of both the falling mass and the support. Thus, impact tests should be used only to obtain relative rankings of materials. Impact values cannot be considered absolute unless the geometry of the test equipment and specimen conform to the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

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

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

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

<sup>1</sup> The boldface numbers in parentheses refer to a list of references at the end of the text.



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

Note 1—Unless specified, the tolerance on all dimensions shall be  $\pm 2\%$ .

Position	Dimension, mm	Dimension, in.
A	37.2	1.47
B	15	0.59
C	12.2	0.48
D	6.4	0.25
E	25.4	1
F	12.7	0.5
R	$0.25 \pm 0.05$	$0.010 \pm 0.002$
r (nose radius)	0.8	0.03
S (diameter) <sup>2</sup>	6.4	0.25
s	$25 \pm 1^*$	$1 \pm 0.04$

<sup>2</sup> Larger diameter shafts may be used.

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

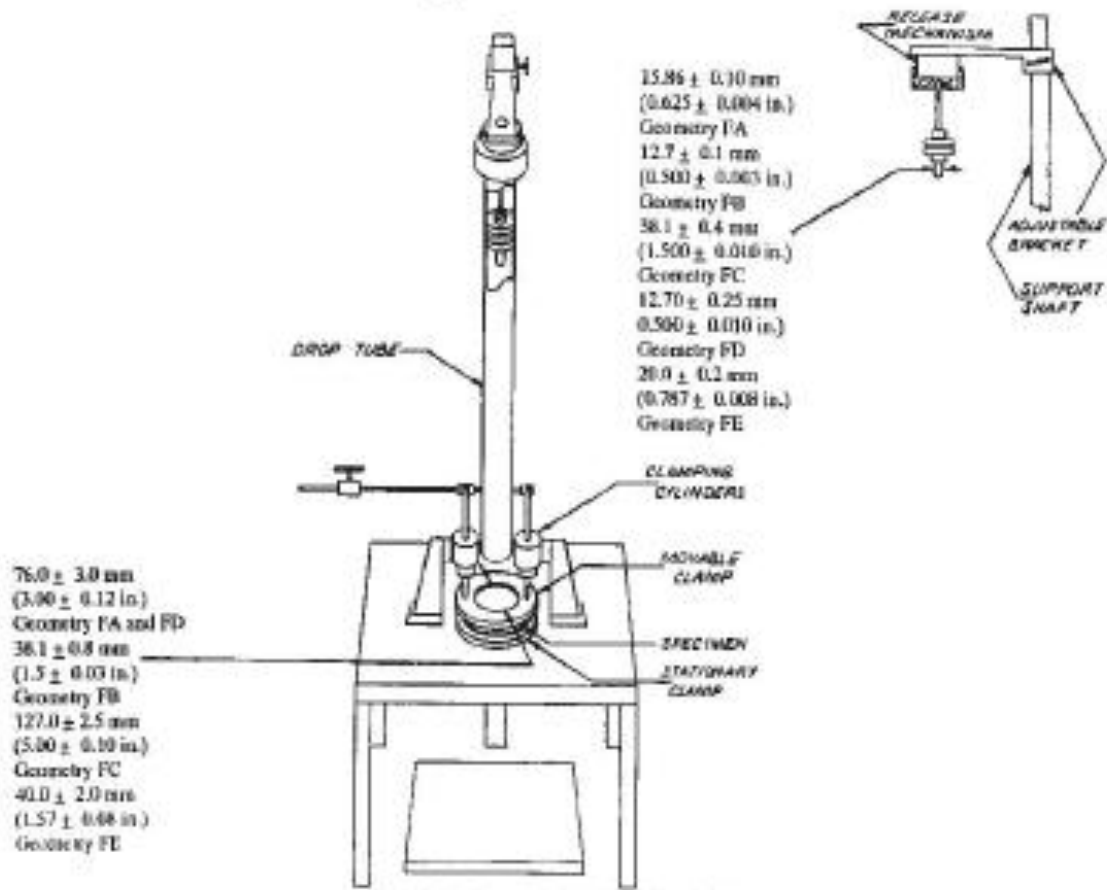


FIG. 2 One Type of Falling Mass Impact Tester

7. Apparatus

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

7.1.1 Specimen Clamp—For flat specimens, a two-piece annular specimen clamp similar to that shown in Fig. 3 is recommended. For Geometries FA and FD, the inside diameter should be 76.0 ± 3.0 mm (3.00 ± 0.12 in.). For Geometry FB, the inside diameter should be 38.1 ± 0.80 mm (1.5 ± 0.03 in.).

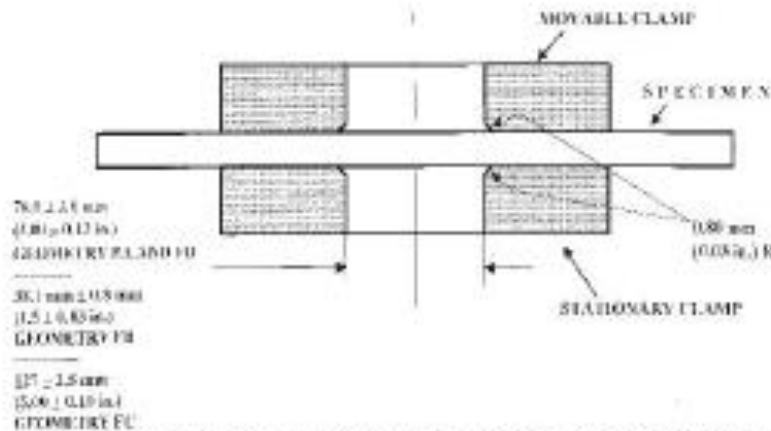


FIG. 3 Support Plate/Specimen/Clamp Configuration for Geometries FA, FB, FC, and FD

For Geometry FC, the inside diameter should be  $127.0 \pm 2.5$  mm ( $5.00 \pm 0.10$  in.). For Geometry FE an annular specimen clamp similar to that shown in Fig. 4 is required. The inside diameter should be  $40 \pm 2$  mm ( $1.57 \pm 0.08$  in.) (see Table 1). For Geometries FA, FB, FC, and FD, the inside edge of the upper or supporting surface of the lower clamp should be rounded slightly; a radius of 0.8 mm (0.03 in.) has been found to be satisfactory. For Geometry FE this radius should be 1 mm (0.04 in.).

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

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

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

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

7.2 *Tap*:

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

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

7.2.3 The tap used for Geometry FC shall be made of tool steel hardened to 54 HRC or harder. The hemispherical head shall have a diameter of  $38.1 \pm 0.4$  mm ( $1.5 \pm 0.015$  in.). A

TABLE 1 Tap and Support Ring Dimensions

Geometry	Dimensions, mm (in.)	
	Tap Diameter	Inside Diameter Support Ring
FA	$15.86 \pm 0.10$ (0.625 ± 0.004)	$76.0 \pm 3.0$ (3.00 ± 0.12)
FB	$12.7 \pm 0.1$ (0.500 ± 0.003)	$36.1 \pm 0.8$ (1.5 ± 0.03)
FC	$38.1 \pm 0.4$ (1.5 ± 0.015)	$127.0 \pm 2.5$ (5.00 ± 0.10)
FD	$12.70 \pm 0.25$ (0.500 ± 0.010)	$76.0 \pm 3.0$ (3.00 ± 0.12)
FE	$20.0 \pm 0.2$ (0.787 ± 0.008)	$40.0 \pm 2.0$ (1.57 ± 0.08)

steel shaft about 13 mm (0.5 in.) in diameter shall be attached to the center of the flat surface of the head with its longitudinal axis at  $90^\circ$  to that surface. The length of the shaft shall be great enough to accommodate the maximum mass (see Fig. 1(c) and Table 1).

7.2.4 The tap used in Geometry FD shall have a  $12.70 \pm 0.25$ -mm ( $0.500 \pm 0.010$ -in.) diameter hemispherical head of tool steel hardened to 54 HRC or harder. A steel shaft about 8 mm (0.31 in.) in diameter shall be attached to the center of the flat surface of the head with its longitudinal axis at  $90^\circ$  to the surface. The length of the shaft shall be great enough to accommodate the maximum mass required (see Fig. 1(d) and Table 1).

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

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

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

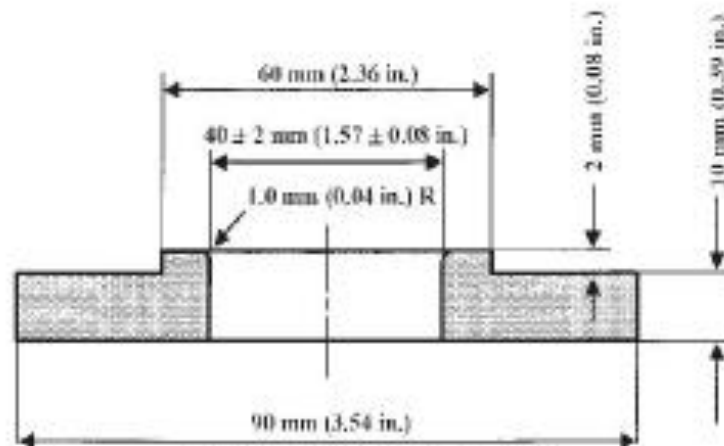


FIG. 4 Test-Specimen Support for Geometry FE

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

7.4 Micrometer, for measurement of specimen thickness. It should be accurate to within 1 % of the average thickness of the specimens being tested. See Test Methods D 374 for descriptions of suitable micrometers.

7.5 The mass of the top head and shaft assembly and the additional mass required must be known to within an accuracy of  $\pm 1\%$ .

**8. Hazards**

**8.1 Safety Precautions:**

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

8.1.2 When heavy weights are used, it is hazardous for an operator to attempt to catch a rebounding top. Figure 2 of Test Method D 2444 shows an effective mechanical "rebound catcher" employed in conjunction with a drop tube.

**9. Sampling**

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

**10. Test Specimens**

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

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

10.3 When the approximate mean failure mass for a given sample is known, 20 specimens will usually yield sufficiently precise results. If the approximate mean failure mass is unknown, six or more additional specimens should be used to

determine the appropriate starting point of the test. For compliance with ISO 6603-1 a minimum of 30 specimens must be tested.

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

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

10.6 Specimens may have flat smooth surfaces on both sides, be textured on one side and smooth on the other side, or be textured on both surfaces. Both surfaces may have the same texture or two different levels and types of texture. When testing, special attention must be paid to how the specimen is positioned on the support.

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

**11. Conditioning**

11.1 Unless otherwise specified, condition the test specimens at  $23 \pm 2^\circ\text{C}$  ( $73.4 \pm 3.6^\circ\text{F}$ ) and  $50 \pm 5\%$  relative humidity for not less than 40 h prior to test, in accordance with Procedure A of Test Methods D 618, for those tests where conditioning is required. In cases of disagreement, the tolerances shall be  $\pm 1^\circ\text{C}$  ( $\pm 1.8^\circ\text{F}$ ) and  $\pm 2\%$  relative humidity. For compliance with ISO requirements, the specimens must be conditioned for a minimum of 16 h prior to testing or post conditioning in accordance with ISO 291, unless the period of conditioning is stated in the relevant ISO specification for the material.

11.1.1 Note that for some hygroscopic materials, such as nylons, the material specifications (for example, Specification D 4066) call for testing "dry as-molded specimens". Such requirements take precedence over the above routine preconditioning to 50 % RH and require sealing the specimens in water vapor-impermeable containers as soon as molded and not removing them until ready for testing.

11.2 Conduct tests in the standard laboratory atmosphere of  $23 \pm 2^\circ\text{C}$  ( $73.4 \pm 3.6^\circ\text{F}$ ) and at  $50 \pm 5\%$  relative humidity, unless otherwise specified.

11.3 When testing is desired at temperatures other than  $23^\circ\text{C}$ , transfer the materials to the desired test temperature within 30 min, preferably immediately, after completion of the preconditioning. Hold the specimens at the test temperature for no more than 5 h prior to test, and, in no case, for less than the time required to ensure thermal equilibrium in accordance with Section 10 of Test Method D 618.

**12. Procedure**

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

12.2 Mark the specimens and condition as specified in 11.1.

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

**TABLE 2 Minimum Size of Specimen**

Geometry	Specimen Diameter, mm (in.)	Square Specimen, mm (in.)
FA	89 (3.5)	89 by 89 (3.5 by 3.5)
FB	51 (2.0)	51 by 51 (2.0 by 2.0)
FC	140 (5.5)	140 by 140 (5.5 by 5.5)
FD	89 (3.5)	89 by 89 (3.5 by 3.5)
FE	88 (3.3)	88 by 88 (2.3 by 2.3)

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

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

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

12.7 Unless otherwise specified, initially position the tap  $0.660 \pm 0.008$  m ( $26.0 \pm 0.3$  in.) from the surface of the specimen.

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

**Note 5**—If failures cannot be produced with the maximum available missile mass, the drop height can be increased. The test temperature could be reduced by (a) use of an ice-water mixture, or (b) by air-conditioned environment to provide one of the temperatures given in 3.3 of Test Methods D 638. Conversely, if the unloaded tap causes failures when dropped 0.660 m, the drop height can be decreased. A moderate change in air velocity will not usually affect the mean-failure energy appreciably. Refer to 5.1.

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

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

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

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

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

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

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

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

13. Calculation

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

$$m = m_0 + d_m (AN \pm 0.5) \tag{1}$$

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

$$h = h_0 + d_h (AN \pm 0.5) \tag{2}$$

where:

- $m$  = mean-failure mass, kg,
- $h$  = mean-failure height, mm,
- $d_m$  = increment of tap weight, kg,
- $d_h$  = increment of tap height, mm,
- $N$  = total number of failures or non-failures, whichever is smaller. For ease of notation, call whichever are used events,
- $m_0$  = smallest mass at which an event occurred, kg,
- $h_0$  = lowest height at which an event occurred, mm (or in.),
- $A = \sum_{i=1}^k i n_i$ ,
- $i = 0, 1, 2, \dots, k$  (counting index, starts at  $h_0$  or  $m_0$ ),
- $n_i$  = number of events that occurred at  $h_i$  or  $m_i$ ,
- $m_i = m_0 + i d_m$ , and
- $h_i = h_0 + i d_h$ .

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

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

where:

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

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

$$s_m = 1.62s_0 [BW - (AN)^2] + 0.047d_m \tag{3}$$

$$s_h = 1.62s_0 [BW - (AN)^2] + 0.047d_h \tag{4}$$

where:

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

$$R = \sum_{i=1}^n \bar{r}_i^2 \quad (5)$$

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

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

$$s_{\bar{h}} = Gs_h/\sqrt{N} \quad (6)$$

or

$$s_{\bar{w}} = Gs_w/\sqrt{N} \quad (7)$$

where:

$s_{\bar{h}}$  = estimated standard deviation of the mean height, mm,  
 $s_{\bar{w}}$  = estimated standard deviation of the mean mass, kg,  
 and

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

A sample computation of  $s_w$  may be found in Appendix X1.

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

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

$$S_{ME} = s_e \times f \quad (8)$$

or

$$S_{ME} = S_e A f, \text{ as applicable} \quad (9)$$

where:

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

#### 14. Report

14.1 Report the following information:

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

14.1.2 Method of preparation of specimens.

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

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

14.1.5 Means of clamping, if any.

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

14.1.7 Thickness of specimens tested (average and range).

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

14.1.9 Mean-failure energy.

14.1.10 Types of failure, for example: (a) crack or cracks on one surface only (the plaque could still hold water), (b) cracks that penetrate the entire thickness (water would probably penetrate through the plaque), (c) brittle shatter (the plaque is in several pieces after impact), or (d) ductile failure (the plaque

is penetrated by a blunt tear). Report other observed deformation due to impact, whether the specimens fail or not.

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

14.1.12 Date of test and operator's identification.

14.1.13 Test temperature.

14.1.14 In no case shall results obtained with arbitrary geometries differing from those contained in these test methods be reported as values obtained by this test method (D 5628), and

14.1.15 The test method number and published/revision date.

#### 15. Precision and Bias

15.1 Tables 3 and 4 are based on a round robin<sup>10</sup> conducted in 1972 involving three materials tested by six laboratories. Data from only four laboratories were used in calculating the values in these tables. Each test result was the mean of multiple individual determinations (Bruceton Staircase Procedure). Each laboratory obtained one test result for a material.

Note 8—The number of laboratories participating in the 1972 round robin and the number of results collected do not meet the minimum requirements of Practice E 691. Data in Tables 3 and 4 should be used only for guidance, and not as a referee when there is a dispute between users of this test method.

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

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

15.1.3 *Acrylonitrile-Butadiene-Styrene (ABS)*—Specimens were cut from samples of 2.64-mm (0.104-in.) thickness extruded sheet.

Note 9—**Caution:** The following explanations of  $r$  and  $R$  (15.2-15.2.3) are only intended to present a meaningful way of considering the approximate precision of this test method. The data in Tables 3 and 4 should not be rigorously applied to acceptance or rejection of material, as those data are specific to the round robin and may not be representative of other lots, conditions, materials, or laboratories. Users of this test method should apply the principles outlined in Practice E 691 to generate data specific to their laboratory and materials, or between specific laboratories. The principles of 15.2-15.2.5 would then be valid for such data.

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

<sup>10</sup> Supporting data are available from ASTM Headquarters, Report RR:D 20-0110.

TABLE 3 Precision, Method FB

Material	Mean, $\bar{J}$	Values Expressed as Percent of the Mean	
		$V_i$	$r$
Polymer Methacrylate (PMMA)	0.55	12.8	26.7
Styrene-Butadiene (SB) <sup>a</sup>	9.25	18.7	52.9
Acrylonitrile-Butadiene-Styrene (ABS) <sup>a</sup>	11.6	14.8	42.2

<sup>a</sup> Data generated in three laboratories.

$V_i$  = within-laboratory coefficient of variation of the mean.

$r$  = 2.83  $V_i$ .

TABLE 4 Precision, Method PC

Material	Mean, $\bar{y}$	Values Expressed as Percent of $\bar{y}$ Mean	
		$K_1$	$r$
Polymethyl Methacrylate (PMMA)	1.35	4.73	11.7
Styrene-Butadiene (SB)	48.3	18.3	51.8

$V_1$  = within-laboratory coefficient of variation of the mean.  
 $r = 2.63 V_1$ .

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

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

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

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

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

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

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

16. Keywords

16.1 dart impact; falling-mass impact; impact; impact resistance; mean-failure energy; mean-failure height; mean-failure mass; rigid plastic; top

APPENDIX

(Nonmandatory Information)

XI. SAMPLE CALCULATIONS

Total Dart Mass, kg	Outcome of Test (X = failure; O = non-failure)																				$n_0$	$n_1$	$i$	$n_i$	$n_{i+1}$	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20						
5.00						X															1	0	2	1	2	4
8.00					O		X		X			X		X							4	1	1	4	4	4
7.00		X		O				O		X	O		O		X		X		O		4	5	O	4	O	O
6.00	O		O								O						O		O		0	5				
	Totals																				9	11		9	6	6
																					( $n_0$ )	( $n_1$ )		( $n_i$ )	( $n_{i+1}$ )	( $n$ )

$W_0 = 7.00; W = A_0 = 0; d = 1.00$   
 $w = W_0 + (W/n) = 0.91$   
 $= 7.00 + 1.00(9/9) = 0.91$   
 $= 7.91 \text{ kg}$   
 $z = 1.520(d)(WB - A^2)(9) + 0.029$   
 $= 1.520(1.00)(9.8 - 0.91^2) + 0.029$   
 $= 0.77 \text{ kg}$   
 $s/d = 0.77/1.00 = 0.77; G = 1.035 \text{ (from Table X1.1)}$   
 $s_w = (G)(w) = 1.035(7.91)\sqrt{9} = 8.27 \text{ kg}$



**TABLE X1.1 Values of G for Obtaining the Estimated Standard Deviation of the Mean**

g <sub>17</sub>	0.90	0.91	0.92	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97	0.98	0.99
0.40						1.10	1.175	1.17	1.18	1.225
0.50	1.15	1.145	1.14	1.135	1.13	1.125	1.12	1.11	1.105	1.10
0.60	1.095	1.09	1.085	1.08	1.075	1.07	1.07	1.065	1.06	1.05
0.70	1.035	1.03	1.025	1.02	1.015	1.01	1.01	1.005	1.00	0.995
0.80	1.03	1.025	1.02	1.015	1.01	1.005	1.00	1.00	0.995	0.99
0.90	1.01	1.01	1.005	1.005	1.005	1.00	1.00	1.00	0.995	0.99
1.00	0.995	0.99	0.99	0.99	0.99	0.985	0.985	0.985	0.98	0.98
1.10	0.99	0.98	0.98	0.975	0.975	0.975	0.975	0.975	0.975	0.97
1.20	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.965	0.965	0.965	0.965
1.30	0.965	0.965	0.965	0.965	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96
1.40	0.96	0.96	0.96	0.955	0.955	0.955	0.955	0.955	0.955	0.955
1.50	0.955	0.955	0.955	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95
1.60	0.95	0.95	0.95	0.95	0.945	0.945	0.945	0.945	0.945	0.945
1.70	0.945	0.945	0.945	0.945	0.945	0.945	0.94	0.94	0.94	0.94
1.80	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.935
1.90	0.935	0.935	0.935	0.935	0.935	0.935	0.935	0.935	0.935	0.935
2.00	0.935	0.935	0.935	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93

**REFERENCES**

- (1) Brownlee, K. A., Hodges, J. L., Jr., and Rosenblatt, Murray. "The Up-and-Down Method with Small Samples," *American Statistical Association Journal*, Vol. 48, 1953, pp. 262-277.
- (2) Hagan, R. S., Schmitt, E. V., and Davis, D. A., "Impact Testing of High Impact Thermoplastic Sheet," *Technical Papers, 17th Annual Technical Conference of SPE, SPAPP*, Vol VIII, January 1961.
- (3) "Test Method A—Falling Dart Impact, Proposed Method of Test for Impact Resistance of Fabricated Plastics Parts," *Proposed Test Methods for Plastics Parts Used in Appliances*, the Society of the Plastics Industry, New York, NY, January 1965.
- (4) Weaver, O. R., "Using Attributes to Measure a Continuous Variable in Impact Testing Plastic Bottles," *Materials Research and Standards, MR & S*, Vol 6, No. 6, June 1966, pp. 285-291.
- (5) Neter, M. G., *Experimental Statistics*, National Bureau of Standards Handbook 91, October 1966, pp. 10-22 and 10-25.

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

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

This standard is copyrighted by ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19380-2900, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 810-822-9585 (phone), 810-822-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail), or through the ASTM website ([www.astm.org](http://www.astm.org)).

ANEXO E: RESULTADOS DEL LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES (ESPE)



INFORME DE ENSAYOS MECÁNICOS

LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES

ENSAYO DE TRACCIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS

TIPO DE MATERIAL:	MATERIAL COMPUESTO
SOLICITADO POR:	WILMER ARMANDO ANDRANGO PILLAJO
FECHA DE INICIO:	08-01-2020
FECHA DE FINALIZACIÓN:	14-01-2020
DETALLE:	CARACTERIZACIÓN MECÁNICA MATERIAL COMPUESTO (ASTM D3039-2015)
MODELO:	MÁQUINA UNIVERSAL INSTRON 880
OBSERVACIONES:	VELOCIDAD DE ENSAYO: 10mm/min

N°	Identificación grupo de muestra	Material de refuerzo	Material base (matriz)	Cantidad
1	T+A+25%	Partículas de laurel	Resina poliéster	5
2	T+A+30%	Partículas de laurel	Resina poliéster	5
3	T+A+35%	Partículas de laurel	Resina poliéster	5
4	T+B+25%	Partículas de laurel	Resina poliéster	5
5	T+B+30%	Partículas de laurel	Resina poliéster	5
6	T+B+35%	Partículas de laurel	Resina poliéster	5
<b>Total</b>				30

Elaborado por:



Encargado del laboratorio de resistencia de materiales

### INFORME DE ENSAYOS MECÁNICOS

#### LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES

#### RESULTADOS

Probeta	Identificación de probeta	Dimensiones (mm)	Espesor (mm)	Carga máxima (N)	Esfuerzo de rotura (Mpa)	Módulo de elasticidad (Mpa)	Deformación (%)
1	TA25.1	250*25*6	4.30	3443.4	34.43	2739.747	1.26
2	TA25.2	250*25*6	4.30	3793.6	37.94	2637.819	1.49
3	TA25.3	250*25*6	4.41	1705.5	17.06	1602.877	1.06
4	TA25.4	250*25*6	4.35	2199.6	21.70	2667.451	0.62
5	TA25.5	250*25*6	4.21	2551.6	25.52	1348.539	1.69
6	TA30.1	250*25*6	4.37	2504.1	25.04	2466.803	1.02
7	TA30.2	250*25*6	4.35	1054.4	10.54	2694.083	0.39
8	TA30.3	250*25*6	4.31	3037.0	30.37	2091.854	1.45
9	TA30.4	250*25*6	4.35	3027.9	30.28	1972.234	1.54
10	TA30.5	250*25*6	4.61	4072.2	40.72	1648.577	2.20
11	TA35.1	250*25*6	4.17	3085.5	30.85	2747.490	1.12
12	TA35.2	250*25*6	4.2	3508.4	35.08	1776.176	1.41
13	TA35.3	250*25*6	4.31	2500.9	25.04	2087.569	0.93
14	TA35.4	250*25*6	4.33	2430.9	24.31	2733.788	0.89
15	TA35.5	250*25*6	4.11	2551.4	25.51	2033.676	0.96

### INFORME DE ENSAYOS MECÁNICOS

#### LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES

#### RESULTADOS

Probeta	Identificación de probeta	Dimensiones (mm)	Espesor (mm)	Carga máxima (N)	Esfuerzo de rotura (Mpa)	Módulo de elasticidad (Mpa)	Deformación (%)
16	TB25.1	250*25*4	4.23	1300.8	13.07	2465.370	0.52
17	TB25.2	250*25*4	4.19	913.1	9.13	1108.509	0.82
18	TB25.3	250*25*4	4.25	857.6	8.58	1144.394	0.84
19	TB25.4	250*25*4	4.23	2402.4	24.02	2344.365	1.05
20	TB25.5	250*25*4	4.11	2512.3	25.12	1881.895	1.27
21	TB30.1	250*25*4	4.28	1169.1	11.69	2583.590	0.45
22	TB30.2	250*25*4	4.39	2887.3	28.87	2076.439	1.39
23	TB30.3	250*25*4	4.33	2194.7	21.95	1781.608	1.23
24	TB30.4	250*25*4	4.39	2431.4	24.31	2333.262	1.09
25	TB30.5	250*25*4	4.32	1404.1	14.04	1319.540	1.06
26	TB35.1	250*25*4	4.21	1021.3	10.21	1893.599	0.51
27	TB35.2	250*25*4	4.19	1104.1	11.04	2606.564	0.38
28	TB35.3	250*25*4	4.2	1523.7	15.24	1796.434	0.85
29	TB35.4	250*25*4	4.22	1127.9	11.28	2889.372	0.38
30	TB35.5	250*25*4	4.19	878.4	8.78	2823.282	0.26

**INFORME DE ENSAYOS MECÁNICOS**

**LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES**

**ENSAYO DE FLEXIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS**

TIPO DE MATERIAL:	MATERIAL COMPUESTO
SOLICITADO POR:	WILMER ARMANDO ANDRANGO PILLAJO
FECHA DE INICIO:	15-01-2020
FECHA DE FINALIZACIÓN:	21-01-2020
DETALLE:	CARACTERIZACIÓN MECÁNICA MATERIAL COMPUESTO (ASTM D7264-2015)
MODELO:	MÁQUINA UNIVERSAL INSTRON 880
OBSERVACIONES:	VELOCIDAD DE ENSAYO: 10mm/min DISTANCIA ENTRE APOYOS: 70mm

N°	Identificación grupo de muestra	Material de refuerzo	Material base (matriz)	Cantidad
1	F+A+25%	Partículas de laurel	Resina poliéster	5
2	F+A+30%	Partículas de laurel	Resina poliéster	5
3	F+A+35%	Partículas de laurel	Resina poliéster	5
4	F+B+25%	Partículas de laurel	Resina poliéster	5
5	F+B+30%	Partículas de laurel	Resina poliéster	5
6	F+B+35%	Partículas de laurel	Resina poliéster	5
<b>Total</b>				<b>30</b>

Elaborado por:



Encargado del laboratorio de resistencia de materiales

## INFORME DE ENSAYOS MECÁNICOS

### LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES

#### RESULTADOS

Probeta	Identificación de probeta	Dimensiones (mm)	Exposar (mm)	Carga máxima (N)	Esfuerzo de rotura (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Deflexión (mm)
1	FA25.1	160*14*5	4.19	193.90	90.70	6193.50	2.99
2	FA25.2	160*14*5	4.23	250.10	117.23	6934.17	3.03
3	FA25.3	160*14*5	4.19	185.00	86.72	5297.80	3.28
4	FA25.4	160*14*5	4.21	244.70	114.70	6490.52	4.264
5	FA25.5	160*14*5	4.18	246.00	115.50	5720.86	4.121
6	FA30.1	160*14*5	4.11	251.00	117.04	7100.83	3.301
7	FA30.2	160*14*5	4.12	266.40	124.86	7090.55	3.813
8	FA30.3	160*14*5	4.09	233.40	109.41	7147.88	3.125
9	FA30.4	160*14*5	4.11	260.40	122.00	7020.93	3.545
10	FA30.5	160*14*5	4.12	237.20	111.10	6260.31	3.01
11	FA35.1	160*14*5	4.31	117.30	5196.14	4.158	117.30
12	FA35.2	160*14*5	4.28	39.32	4418.04	1.817	39.32
13	FA35.3	160*14*5	4.22	101.77	5423.43	3.831	101.77
14	FA35.4	160*14*5	4.38	98.47	5038.90	3.456	98.47
15	FA35.5	160*14*5	4.31	104.11	5594.76	3.806	104.11

### INFORME DE ENSAYOS MECÁNICOS

#### LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES

#### RESULTADOS

Probeta	Identificación de probeta	Dimensiones (mm)	Espesor (mm)	Carga máxima (N)	Esfuerzo de rotura (Mpa)	Módulo de elasticidad (Mpa)	Deflexión (mm)
16	FB25.1	160*14*6	4.34	75.71	35.49	4066.04	1.782
17	FB25.2	160*14*6	4.24	215.85	101.15	4963.41	4.161
18	FB25.3	160*14*6	4.25	190.40	89.25	4615.53	3.707
19	FB25.4	160*14*6	4.22	216.35	101.30	5064.02	4.084
20	FB25.5	160*14*6	4.35	207.70	97.36	4635.14	4.303
21	FB30.1	160*14*6	4.21	171.20	80.25	5649.66	2.392
22	FB30.2	160*14*6	4.23	206.70	96.69	7302.32	2.679
23	FB30.3	160*14*6	4.21	145.80	68.24	6760.13	2.058
24	FB30.4	160*14*6	4.22	218.60	102.47	6731.24	3.108
25	FB30.5	160*14*6	4.18	143.45	67.22	7162.75	1.916
26	FB35.1	160*14*6	4.21	139.60	62.72	4963.46	2.806
27	FB35.2	160*14*6	4.19	166.80	78.19	4795.22	3.329
28	FB35.3	160*14*6	4.19	158.50	74.20	4893.50	3.115
29	FB35.4	160*14*6	4.22	126.30	59.20	4762.53	2.538
30	FB35.5	160*14*6	4.21	151.70	71.11	4710.63	3.082