



**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 DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL MATERIAL HÍBRIDO UTILIZANDO MATRIZ EPÓXICA REFORZADA CON TEJIDO DE FIBRA VEGETAL DE ALGODÓN Y FIBRA NATURAL DE ABACÁ”

---

**AUTOR:** Geovanny Santiago Benavides Salinas

**TUTOR:** Ing. Mg. Juan Gilberto Paredes Salinas

Ambato –Ecuador

2017

## **APROBACIÓN POR EL TUTOR**

### **CERTIFICACIÓN**

En mi calidad de tutor del Trabajo Experimental, previo a la obtención del título de Ingeniero Mecánico, con el tema “CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL MATERIAL HÍBRIDO UTILIZANDO MATRIZ EPÓXICA REFORZADA CON TEJIDO DE FIBRA VEGETAL DE ALGODÓN Y FIBRA NATURAL DE ABACÁ”, elaborado por el Sr. Geovanny Santiago Benavides Salinas, portador de la cédula de ciudadanía 1722755764, egresado de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Carrera de Ingeniería Mecánica.

Certifico:

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

Ambato, Junio del 2017

.....  
Ing. Mg. Juan Gilberto Paredes Salinas

TUTOR

## **AUTORÍA DEL TRABAJO**

Declaro que el presente Trabajo Experimental bajo el tema: “CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL MATERIAL HÍBRIDO UTILIZANDO MATRIZ EPÓXICA REFORZADA CON TEJIDO DE FIBRA VEGETAL DE ALGODÓN Y FIBRA NATURAL DE ABACÁ”, en su totalidad, incluyendo ideas, criterios, análisis y conclusiones son de mi completa autoría con la excepción de las referencias bibliográficas que contiene la presente investigación.

Ambato, Junio del 2017

.....  
Geovanny Santiago Benavides Salinas

C. I.: 1722755764

AUTOR.

## **DERECHOS DE AUTOR**

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este Trabajo Experimental o parte él, un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación según las normas de la institución

Cedo los Derechos en línea patrimoniales de mi Trabajo Experimental con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este trabajo experimental dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando ésta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.

Ambato, Junio del 2017

.....  
Geovanny Santiago Benavides Salinas

C. I.: 1722755764

AUTOR.

## **APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO**

Los miembros del tribunal de grado aprueban el informe del trabajo experimental realizado por el estudiante Geovanny Santiago Benavides Salinas de la carrera de Ingeniería Mecánica bajo el tema: “CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL MATERIAL HÍBRIDO UTILIZANDO MATRIZ EPÓXICA REFORZADA CON TEJIDO DE FIBRA VEGETAL DE ALGODÓN Y FIBRA NATURAL DE ABACÁ”

Ambato, Septiembre del 2017

Para constancia firman:

---

Ing. Mg. Cristian Pérez

---

Ing. Mg. Henry Vaca

## **DEDICATORIA**

*A mi madre Sara Salinas Villacis por todo el cariño incondicional, por ser mi ejemplo de superación y constancia ante los momentos que presenta la vida y por enseñarme que con el amor y la fe los sueños se pueden cumplir.*

## **AGRADECIMIENTO**

*Agradezco a Dios por otórgame la vida, la familia y la salud, por guiar cada uno de mis pasos y ser mi fortaleza para continuar.*

*A mi madre por todo el sacrificio que ha realizado para darme la oportunidad de educarme, por todos sus consejos y ser lo más importante de mi vida.*

*A mis hermanos Carlos e Iván por compartir el día a día.*

*A todos mis amigos y personas que me rodean por sus consejos y estar junto a mí en los tiempos de tristeza y alegría.*

*A la prestigiosa Universidad Técnica de Ambato por permitirme ser parte de la institución otorgándome la oportunidad de instruirme para ser profesional.*

*A todos los docentes de la Facultad de la Ingeniería Civil y Mecánica, Carrera de Ingeniería Mecánica porque son quienes compartieron sus conocimientos, enseñanzas y experiencias de vida durante el proceso de formación profesional.*

*Al Ing. Mg. Juan Paredes, por su tiempo, conocimientos, paciencia y disposición para ayudarme durante la elaboración del presente trabajo.*

## ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDO

### PÁGINAS PRELIMINARES

APROBACIÓN POR EL TUTOR.....	II
AUTORÍA DEL TRABAJO .....	III
DERECHOS DE AUTOR .....	IV
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO .....	V
DEDICATORIA .....	VI
AGRADECIMIENTO .....	VII
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDO .....	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XI
ÍNDICE DE TABLAS .....	XIII
RESUMEN EJECUTIVO .....	XVI
EXECUTIVE SUMMARY.....	XVII
CAPÍTULO I.....	2
1.1. TEMA .....	2
1.2. ANTECEDENTES.....	2
1.3. JUSTIFICACIÓN .....	5
1.4. OBJETIVOS .....	5
1.4.1. OBJETIVO GENERAL.....	5
1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	6
CAPÍTULO II .....	7
2.1. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	7
2.1.1. INGENIERÍA DE MATERIALES .....	7
2.1.2. CLASIFICACIÓN DE LOS MATERIALES .....	7
2.1.3. MATERIALES HÍBRIDOS .....	9



2.1.4. RESINA EPÓXICA .....	10
2.1.5. REFUERZO .....	11
2.1.6. FIBRA DE ALGODÓN .....	15
2.1.7. FIBRA DE ABACÁ.....	15
2.1.8. TEJIDOS .....	18
2.1.9. TIPO DE ESTRATIFICACIÓN .....	19
2.1.10. MOLDE .....	19
2.1.11. CORTE DE MATERIALES .....	20
2.1.12. ENSAYO DE MATERIALES POLIMÉRICOS .....	21
2.2. HIPÓTESIS .....	26
2.3. SEÑALAMIENTO DE LAS VARIABLES .....	26
2.3.1. VARIABLE INDEPENDIENTE .....	26
2.3.2. VARIABLE DEPENDIENTE .....	26
2.3.3. TÉRMINO DE RELACIÓN .....	26
CAPÍTULO III.....	27
3.1. NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN .....	27
3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA.....	27
3.2.1. POBLACIÓN .....	27
3.2.2. MUESTRA.....	28
3.3. OPERACIÓN DE VARIABLES .....	29
3.3.1. VARIABLE INDEPENDIENTE .....	29
3.3.2. VARIABLE DEPENDIENTE .....	30
3.4. PLAN DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN .....	31
3.5. PLAN DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS .....	31
CAPÍTULO IV .....	33
4.1. RECOLECCIÓN DE DATOS .....	33

4.1.1. ADQUISICIÓN DE MATERIA PRIMA .....	34
4.1.2. DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE LAS FIBRAS	35
4.1.3. CÁLCULO DE LAS FRACCIONES VOLUMÉTRICAS.....	36
4.1.4. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL MOLDE.....	54
4.1.5. TEJIDO PLANO ENTRE LAS FIBRAS DE ALGODÓN Y ABACÁ .....	58
4.1.6. ELABORACIÓN DE PROBETAS DE MATERIAL HÍBRIDO MEDIANTE ESTRATIFICACIÓN POR COMPRESIÓN.....	65
4.1.7. PARÁMETROS GENERALES DEL MATERIAL HÍBRIDO .....	68
4.1.8. ENSAYOS DE LAS PROBETAS DEL MATERIAL HÍBRIDO.....	69
4.1.9. RECOLECCIÓN DE DATOS .....	71
4.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	107
4.2.1 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS. ....	110
4.2.2 APLICACIONES INDUSTRIALES .....	111
4.3. VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS.....	111
CAPÍTULO V .....	113
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	113
5.1. CONCLUSIONES .....	113
5.2. RECOMENDACIONES .....	114
BIBLIOGRAFÍA .....	116
ANEXOS .....	119

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura. 1 Tipos de materiales básicos más los compuestos. ....	8
Figura. 2 Clasificación de Materiales Compuestos.....	8
Figura. 3 Refuerzo en los materiales compuestos:.....	11
Figura. 4 Refuerzos de alambres, fibras y whiskers.....	11
Figura. 5 Orientación de la fibra .....	13
Figura. 6 Orientación de la fibra .....	13
Figura. 7 Orientación de pacas de refuerzo.....	14
Figura. 8 Fibra de Abacá.....	16
Figura. 9 Diseño esquemático de un tejido. ....	18
Figura. 10 Máquina de Universal serie Metrotec MTE50 .....	21
Figura. 11 Configuración de carga a flexión en tres puntos utilizada (ASTM D7264/D7264M – 07). ....	23
Figura. 12 Puentes de Flexión MTE50 .....	24
Figura. 13 Máquina de Impacto por caída de dardo.....	25
Figura. 14 Diagrama de procesos.....	34
Figura. 15 Determinación de las densidades de las fibras .....	36
Figura. 16 Molde preliminar .....	37
Figura. 17 Molde preliminar. ....	37
Figura. 18 Probeta preliminar (Resina epóxica + Fibra de abacá.).....	39
Figura. 19 Tejido preliminar (Fibra de abacá + Fibra de algodón.).....	43
Figura. 20 Material híbrido preliminar (Resina epóxica + Fibra de abacá + Fibra de algodón.).....	43
Figura. 21 Distribución de las probetas en el perímetro del molde. ....	54
Figura. 22 Componentes del molde. ....	55
Figura. 23 Tapa .....	56
Figura. 24 Base .....	56
Figura. 25 Taladrado del marco .....	57
Figura. 26 Molde ensamblado.....	57
Figura. 27 Evaluación del molde .....	57
Figura. 28 Telar textil.....	58

Figura. 29 Elaboración de tejidos.....	61
Figura. 30 Tejido sobre dimensionado para orientación de fibras en ángulos de 135° y 45°.....	63
Figura. 31 Preparación del molde .....	66
Figura. 32 Preparación del refuerzo.....	66
Figura. 33 Aplicación de cera desmoldante .....	66
Figura. 34 Resina y endurecedor.....	66
Figura. 35 Vaso de precipitación .....	67
Figura. 36 Ajuste del molde .....	67
Figura. 37 Desmolde .....	67
Figura. 38 Probetas .....	67
Figura. 39 Probetas de tracción con sobremontas.....	68
Figura. 40 Codificación de probetas .....	70

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Propiedades Resina Epóxica. ....	10
Tabla 2. Propiedades Físicas y Químicas Algodón.....	15
Tabla 3. Descripción y Estructura Tejido Plano. ....	19
Tabla 4. Máquina de corte y grabado láser NC_C1390.....	20
Tabla 5. Estudio de casos.....	28
Tabla 6. Variable Independiente. ....	29
Tabla 7. Variable Dependiente.....	30
Tabla 8. Plan de recolección de información. ....	31
Tabla 9. Densidad de la fibra de abacá. ....	35
Tabla 10. Densidad de la fibra de algodón.....	35
Tabla 11. Datos iniciales .....	45
Tabla 12. Fracciones Volumétricas para los casos de estudio. ....	45
Tabla 13. Tipos de ensayos. ....	55
Tabla 14. Construcción del molde. ....	56
Tabla 15. Composición caso (a).....	60
Tabla 16. Composición caso (b).....	63
Tabla 17. Composición caso (c).....	65
Tabla 18. Proceso de elaboración de probetas. ....	66
Tabla 19. Parámetros generales del material híbrido. ....	68

## ÍNDICE DE FICHAS TÉCNICAS

Ficha Técnica 1. Ensayo a tracción material híbrido I (1-5) (Resina Epóxica+ Fibra de abacá + Fibra de Algodón).....	72
Ficha Técnica 2. Ensayo a tracción material híbrido I (6-10) (Resina Epóxica+ Fibra de abacá + Fibra de Algodón).....	74
Ficha Técnica 3. Ensayo a tracción material híbrido I (11-15) (Resina Epóxica+ Fibra de abacá + Fibra de Algodón).....	76
Ficha Técnica 4. Ensayo a tracción material híbrido II (1-5) (Resina Epóxica+ Fibra de abacá + Fibra de Algodón).....	78
Ficha Técnica 5. Ensayo a tracción material híbrido II (6-10) (Resina Epóxica+ Fibra de abacá + Fibra de Algodón).....	80
Ficha Técnica 6. Ensayo a tracción material híbrido III (1-5) (Resina Epóxica+ Fibra de abacá + Fibra de Algodón).....	82
Ficha Técnica 7. Ensayo a tracción material híbrido III (6-10) (Resina Epóxica+ Fibra de abacá + Fibra de Algodón).....	84
Ficha Técnica 8. Ensayo a flexión material híbrido I (1-5) (Resina Epóxica+ Fibra de abacá + Fibra de Algodón) .....	86
Ficha Técnica 9. Ensayo a flexión material híbrido I (6-10) (Resina Epóxica+ Fibra de abacá + Fibra de Algodón).....	88
Ficha Técnica 10. Ensayo a flexión material híbrido I (11-15) (Resina Epóxica+ Fibra de abacá + Fibra de Algodón).....	90
Ficha Técnica 11. Ensayo a flexión material híbrido II (1-5) (Resina Epóxica+ Fibra de abacá + Fibra de Algodón).....	92
Ficha Técnica 12. Ensayo a flexión material híbrido II (6-10) (Resina Epóxica+ Fibra de abacá + Fibra de Algodón).....	94
Ficha Técnica 13. Ensayo a flexión material híbrido III (1-5) (Resina Epóxica+ Fibra de abacá + Fibra de Algodón).....	96
Ficha Técnica 14. Ensayo a flexión material híbrido III (6-10) (Resina Epóxica+ Fibra de abacá + Fibra de Algodón).....	98
Ficha Técnica 15. Ensayo a impacto material híbrido I (1-5) (Resina Epóxica+ Fibra de abacá + Fibra de Algodón).....	100

Ficha Técnica 16. Ensayo a impacto material híbrido I (6-10) (Resina Epóxica+ Fibra de abacá + Fibra de Algodón).....	101
Ficha Técnica 17. Ensayo a impacto material híbrido I (11-15) (Resina Epóxica+ Fibra de abacá + Fibra de Algodón).....	102
Ficha Técnica 18. Ensayo a impacto material híbrido II (1-5) (Resina Epóxica+ Fibra de abacá + Fibra de Algodón).....	103
Ficha Técnica 19. Ensayo a impacto material híbrido II (6-10) (Resina Epóxica+ Fibra de abacá + Fibra de Algodón).....	104
Ficha Técnica 20. Ensayo a impacto material híbrido III (1-5) (Resina Epóxica+ Fibra de abacá + Fibra de Algodón).....	105
Ficha Técnica 21. Ensayo a impacto material híbrido III (6-10) (Resina Epóxica+ Fibra de abacá + Fibra de Algodón).....	106
Ficha Técnica 22. Evaluación de las propiedades del grupo de probetas realizadas. .....	107
Ficha Técnica 23. Interpretación de resultados de las propiedades mecánicas del material híbrido (Resina Epóxica+ Fibra de abacá + Fibra de Algodón) .....	110

## RESUMEN EJECUTIVO

“CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL MATERIAL HÍBRIDO UTILIZANDO MATRIZ EPÓXICA REFORZADA CON TEJIDO DE FIBRA VEGETAL DE ALGODÓN Y FIBRA NATURAL DE ABACÁ”

**Autor:** Benavides Salinas Geovanny Santiago

**Tutor:** Ing. Mg. Juan Paredes.

La presente investigación experimental se basa en la caracterización del material híbrido de matriz epóxica reforzado con capas de tejido plano estructurado de fibras de abacá y algodón en diferentes orientaciones y con variadas fracciones volumétricas, el fin del estudio es obtener la mejor caracterización del material que contenga las mejores propiedades mecánicas.

En este trabajo se utilizó el proceso de estratificación por compresión para obtener el material híbrido, se llegó a establecer las fracciones volumétricas porcentuales definitivas de los refuerzos, espesor del material y número de capas de refuerzo de tejido plano. De todas las caracterizaciones realizadas se determinó el grupo de probetas que exhibe las mejores propiedades mecánicas mediante ensayos normalizados bajo la normativa ASTM. (Tracción ASTM D3039-00, Flexión ASTM D7264-07 e Impacto ASTM D5628-10).

Del análisis realizado de los tres tipos de ensayos se determinó que el material híbrido que presentó mejores propiedades mecánicas corresponde al caso 3 el cual tiene una fracción volumétrica de 75% resina epóxica (matriz), 18,25% fibra de abacá y 6,75% fibra de algodón (refuerzos).

**Palabras clave:** Material Híbrido, ASTM, Tracción, Flexión, Impacto, Estratificación por Compresión, Fracción Volumétrica.



## EXECUTIVE SUMMARY

"CHARACTERIZATION OF THE MECHANICAL PROPERTIES OF THE HYBRID MATERIAL USING EPOXY MATRIX REINFORCED WITH FIBERGLASS PLANT OF COTTON AND NATURAL ABACA FIBER FABRIC"

**Author:** Benavides Salinas Geovanny Santiago

**Tutor:** Ing. Juan Paredes Mg.

This experimental research is based on the characterization of the hybrid material of epoxy matrix reinforced with layers of structured woven of abaca fibers and cotton in different orientations and with varied volumetric fractions, the purpose of the study is to obtain the best characterization of the material containing the best mechanical properties.

In this work the stratification process was used for compression to obtain the hybrid material, it was to establish the definitive percentage volumetric fractions of reinforcements, material thickness and number of layers of reinforcement of woven. Of all the characterizations made determined group of specimens that exhibits the best mechanical properties tests standardized under the ASTM standards. (ASTM D3039-00 traction, flexion ASTM D7264-07 and impact ASTM D5628-10).

The analysis of three types of trials determined that the hybrid material presented better mechanical properties corresponds to the case 3 which has a volumetric fraction of 75% resin Epoxy (matrix), 18.25% abaca fiber and 6.75 percent cotton (reinforcements).

**Key words:** hybrid Material, ASTM, tensile, bending, impact, stratification by compression, volumetric fraction.

# **CAPÍTULO I**

## **ANTECEDENTES**

### **1.1. TEMA**

“CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL MATERIAL HÍBRIDO UTILIZANDO MATRIZ EPÓXICA REFORZADA CON TEJIDO DE FIBRA VEGETAL DE ALGODÓN Y FIBRA NATURAL DE ABACÁ”

### **1.2. ANTECEDENTES**

En el proceso del estudio previo a la búsqueda de información, se cita los siguientes trabajos de los cuales su contenido servirá de referencia en nuestra investigación.

“OBTENCIÓN DE COMPUESTOS DE POLIPROPILENO REFORZADO CON FIBRAS DE ABACÁ MEDIANTE MOLDEO POR COMPRESIÓN” esta investigación fue realizada por Juan Carlos Páez Moscoso, (Tesis Ing.), en la Escuela Politécnica Nacional, Quito 2007, carrera de Ingeniería Mecánica, donde se determinó la procesabilidad del polipropileno mediante moldeo por compresión analizando los tiempos de procesamiento en base a la variación de fluidez (MFI) del PP, posteriormente se elaboraron muestras del material compuesto, modificando su composición y los parámetros de operación del moldeo. En lo que se refiere a la composición, se utilizaron fracciones máscas de fibra en un rango del 15% al 35% con longitudes de 10, 20 y 30 mm para fibra discontinua con orientación al azar, y 115 mm para fibra continua con orientación unidireccional.

#### **Parámetros de operación de moldeo**

- Presión de precalentamiento: 0 y 1.47 MPa
- Tiempo de precalentamiento: 10 minutos
- Presión fase de moldeo: 0.88 y 2.06 MPa
- Tiempo de moldeo: 2, 4 y 6 minutos
- Presión de enfriamiento: 0 y 1.47 MPa

Con estos parámetros se concluyó a la evaluación mediante ensayos estandarizados de tracción, flexión y dureza.

“OBTENCIÓN DE COMPUESTOS DE POLIETILENO REFORZADOS CON FIBRAS DE ABACÁ MEDIANTE MOLDEO POR COMPRESIÓN”, trabajo realizado por Andrés Pablo Salas Balseca, (Tesis Ing.), en la Escuela Politécnica Nacional, Quito 2009, carrera de Ingeniería Mecánica, proyecto donde se determinó el proceso de moldeo del polietileno escogido como matriz y se caracterizó el material de refuerzo fibra de abacá. La fibra utilizada para la preparación de estos compuestos se presentó como fibras cortas de 10, 20 y 30 mm, fibras continuas y tejidos bidimensionales. Se finaliza con el ensayo de especímenes obtenidos a flexión y tracción, alcanzando las composiciones más efectivas para alcanzar el mejor desempeño mecánico.

“ESTUDIO DE POLÍMEROS HÍBRIDOS ESTRATIFICADOS DE MATRIZ POLIÉSTER REFORZADA CON FIBRA DE VIDRIO Y CABUYA COMO MATERIAL ALTERNATIVO Y SU INCIDENCIA EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS EN GUARDACHOQUES PARA BUSES”, proyecto realizado por Ing. Juan Gilberto Paredes Salinas. (Tesis Mg.), en la Universidad Técnica de Ambato, Ambato 2012, carrera de Ingeniería Mecánica, la investigación se basa en la caracterización mecánica del material compuesto determinando las propiedades mecánicas a tracción, flexión e impacto. Los parámetros utilizados fueron materiales de fibra corta (1 – 30%) y fibra larga (30%) teniendo mejor comportamiento mecánico a flexión e impacto, sin embargo el material híbrido de configuración fibra larga al 30% y en un orden de capas de (F. Vidrio + F. Cabuya + F. Vidrio) fue el potencial refuerzo del material híbrido alternativo por presentar mejores propiedades a tracción.

“OBTENCIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS DE MATRIZ POLIMÉRICA FORMULADOS INCORPORANDO TEJIDOS Y NO TEJIDOS DE FIBRAS NATURALES”, proyecto realizado por Mónica Paulina Herrera Álvarez, (Tesis Ing.), en la Escuela Politécnica Nacional, Quito 2015, carrera de Ingeniería Mecánica, la investigación tuvo por objeto caracterizar y evaluar un material compuesto de matriz poliéster reforzado con fibras naturales de abacá en forma de tejido tipo satín, al 20 vol. %, además en este trabajo se desarrolló un método manual

para la obtención de no tejidos con fibras de coco que de igual forma fueron caracterizados y evaluados. El material compuesto de matriz poliéster se elaboró mediante estratificación manual para luego ensayarlo según las normas ASTM bajo los parámetros de tracción, flexión e impacto.

“ESTUDIO DE LA CONFIGURACIÓN DE FIBRAS DE MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ EPOXI REFORZADA CON FIBRA DE PIÑA Y SU INCIDENCIA EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS EN LA FABRICACIÓN DE BUTACAS DEPORTIVAS”, investigación realizada por Alex David Jácome León, (Tesis Ing.), en la Universidad Técnica de Ambato, Ambato 2015, carrera de Ingeniería Mecánica, proyecto donde se realizó distintas configuraciones del material de refuerzo y fracción volumétrica para determinar cuál es la configuración más adecuada, para cada caracterización mecánica se realizaron ensayos de tracción, flexión e impacto. Los ensayos realizados permitieron determinar la mejor combinación de material, en tracción y flexión fue el material compuesto por el 70% de matriz epoxi reforzado con el 30% de fibra de piña.

“ESTUDIO DE POLÍMEROS HÍBRIDOS ESTRATIFICADOS DE MATRIZ EPÓXICA REFORZADA CON TEJIDO MIXTO ELABORADO CON FIBRAS DE CARBONO Y KEVLAR Y SU INCIDENCIA EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE PARTES EXTERNAS DE AUTOS”, trabajo realizado por Ludwin Daniel Núñez Barriga, (Tesis Ing.), en la Universidad Técnica de Ambato, Ambato 2014, carrera de Ingeniería Mecánica, en el desarrollo del estudio el material fue sometido a tres diferentes ensayos, específicamente a tracción, flexión e impacto, que fueron necesarios para determinar las propiedades del material requeridas en partes externas de autos.

La información sobre las fibras de refuerzo se las consiguió de varios artículos técnicos como: “MATERIALES COMPUESTOS DE MATRIZ POLIÉSTER REFORZADOS CON FIBRAS NATURALES Y SINTÉTICAS”, estudio realizado por el Departamento de Materiales de la escuela Politécnica Nacional, Quito-Ecuador, donde se exponen resultados de la caracterización mecánica de materiales compuestos de matriz termoestable reforzados con fibras naturales y sintéticas

En el artículo elaborado por Sr. Miguel Palacios y el Ing. D. Salvador en la “REVISTA DE AGRICULTURA”, describen características importantes de la fibra de abacá como la forma de cosecha, variedades e información de las propiedades físicas y químicas de la fibra en el volumen 1, páginas 119 – 130.

### **1.3. JUSTIFICACIÓN**

Los materiales híbridos están siendo utilizados en la industria en aplicaciones como la fabricación de carcasas de artefactos electrónicos, elementos estructurales entre otros. Sin embargo, estos materiales normalmente no han incursionado en el diseño de elementos más complejos. En la actualidad este tipo de materiales tienen por objetivo lograr un optimizado equilibrio de las propiedades estructurales que den como resultado un material superior a cualquiera de sus materiales constituyentes. [2].

Emplear fibras naturales en este tipo de materiales tendría como beneficio la reducción del consumo de plásticos, consecuentemente disminuiría el uso de derivados del petróleo, a la vez que las fibras naturales constituyen una materia prima de bajo costo y de fácil obtención. El estudio de la caracterización mecánica del material híbrido con fibra vegetal y fibra natural se origina debido a que Ecuador cuenta con una gran variedad de fibras con diferentes características mecánicas, físicas y químicas que pueden ser usadas en el diseño de nuevos materiales para ser utilizados industrialmente. Es por esta razón que el presente proyecto se considera factible para la elaboración y caracterización mecánica del material híbrido usando matriz epóxica reforzada con fibra vegetal de algodón y fibra natural de abacá.

### **1.4. OBJETIVOS**

#### **1.4.1. OBJETIVO GENERAL**

- Determinar las propiedades mecánicas del material híbrido usando matriz epóxica reforzada con tejido de fibra vegetal de algodón y fibra natural de abacá.

#### **1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Proponer la metodología para el procesamiento del material híbrido de matriz epóxica reforzada con fibras.
- Determinar la fracción volumétrica, orientación y forma del tejido.
- Establecer el proceso de moldeo correspondiente.
- Elaborar probetas para ensayos de tracción, flexión e impacto basado en la normativa ASTM.

## **CAPÍTULO II**

### **FUNDAMENTACIÓN**

#### **2.1. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA**

##### **2.1.1. INGENIERÍA DE MATERIALES**

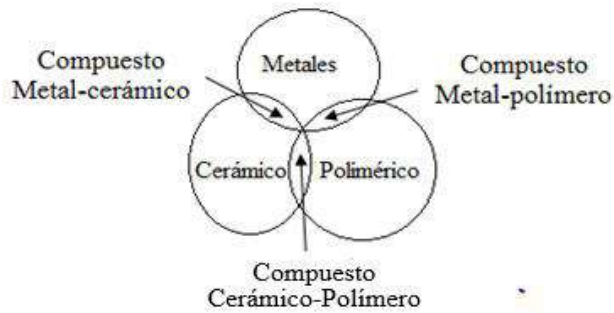
Los materiales son elementos de las que cualquier cosa está compuesta o hecha. Desde el comienzo de la civilización, los materiales junto con la ingeniería han sido utilizados por el hombre para mejorar su nivel de vida tomando en cuenta que los materiales usualmente utilizados son la madera, hormigón, ladrillo, acero, plástico, vidrio, caucho, aluminio, cobre y papel. Los constantes trabajos de investigación y desarrollo en esta área han dado origen al diseño y elaboración de nuevos materiales.

“La ingeniería de los materiales se fundamenta en las relaciones propiedades - estructura y diseña o proyecta la estructura de un material para conseguir un conjunto predeterminado de propiedades”.

La estructura de un material se relaciona con la disposición de sus componentes internos. Las propiedades de un material se expresan en términos del tipo y magnitud de la respuesta a un estímulo específico impuesto. [5]

##### **2.1.2. CLASIFICACIÓN DE LOS MATERIALES**

Los materiales para ingeniería se clasifican en tres categorías básicas: 1) metales, 2) cerámicos y 3) polímeros. Sus características químicas son variadas, así como las propiedades mecánicas y físicas. El proceso de manufactura influye susceptiblemente en la forma de obtención de estos materiales, además de estas tres categorías existe una categoría adicional denominada 4) materiales compuestos que se definen como mezclas homogéneas de materiales.



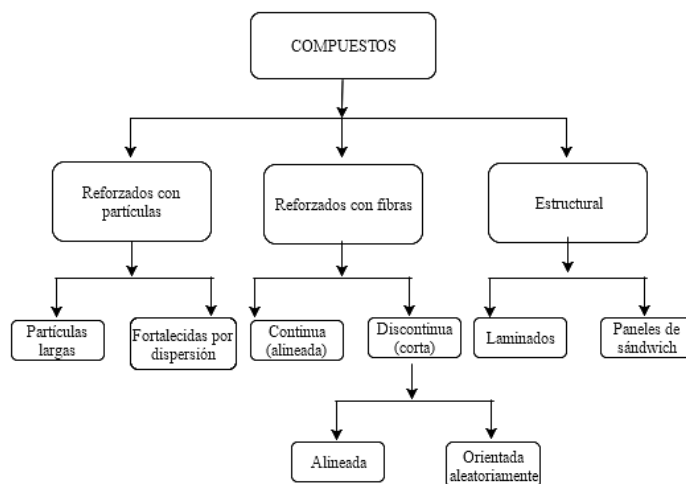
**Figura. 1** Tipos de materiales básicos más los compuestos.

**Fuente:** Mikell P. Groover. [6]

“Los materiales compuestos se obtienen al unir dos materiales para conseguir una combinación de propiedades que no es posible obtener en los materiales originales, estos materiales pueden seleccionarse para lograr combinaciones poco usuales de rigidez, resistencia, peso, rendimiento a altas temperaturas, resistencia a la corrosión, dureza o conductividad”. [7]

### 2.1.2.1. CLASIFICACIÓN Y DIVISIÓN DE LOS MATERIALES COMPUESTOS

Los materiales compuestos se pueden clasificar según el tipo de refuerzo y matriz. La matriz es principalmente constituida de materiales metálicos, cerámicos y poliméricos. La fase de refuerzo está en forma de fibras, partículas o algunas otras, generalmente las fases son insolubles una de otra, pero puede haber gran adhesividad en la interfaz.



**Figura. 2** Clasificación de Materiales Compuestos.

**Fuente:** William D. Callister. [5]



### **2.1.3. MATERIALES HÍBRIDOS**

La combinación de materiales de distinta naturaleza (orgánica e inorgánica) en un porcentaje volumétrico predeterminado de sus elementos constituyentes, dan lugar a los materiales híbridos. [17]

Los componentes de un material híbrido consiste de dos fases: una primaria matriz y otro secundario refuerzo.

#### **a. Matriz**

“La matriz de un material híbrido soporta las fibras manteniéndolas en su posición correcta; transfiere la carga a las fibras fuertes, las protege de sufrir daños durante su manufactura, uso y evitan la propagación de grietas en las fibras a todo lo largo del material”. [7]

#### **b. Funciones principales de la matriz**

- Sostiene a las fibras y transmite la carga aplicada sobre ella hacia las fibras.
- Responsable del control principal de las propiedades eléctricas, el comportamiento químico y el uso a temperaturas elevadas del compuesto.
- Proporciona la forma general del elemento o producto hecho del material compuesto
- Mantiene al refuerzo en su lugar, por lo general la encierra y con frecuencia la oculta.

#### **c. Matriz Polimérica**

Las matrices poliméricas son usadas en una diversidad de aplicaciones y en grandes cantidades debido a su baja densidad, excelentes propiedades a temperatura ambiente y facilidad de conformado. [11]. Los materiales de matriz polimérica se clasifican en tres grupos por sus características especiales así:

- Matriz Termoplástica
- Matriz Termoestable
- Matriz Elastómera

## 2.1.4. RESINA EPÓXICA

Es una resina polimérica termoestable, es decir que adquiere su forma final mediante reacción química y después no existe forma de trasladarlo a su estado inicial por lo que es considerado no reciclable, su costo es muy elevado a comparación de otras resinas. La composición de este tipo de producto se basa en el bisfenol A, al cual se le han agregado dos unidades de epóxido. Estas moléculas se polimerizan para producir cadenas y a continuación se les hace reaccionar con agentes que aceleren el curado, que proporcionan los enlaces cruzados.

Las resinas epóxicas se utilizan como adhesivos, partes moldeadas rígidas para aplicaciones eléctricas, componentes automotores, tableros de circuitos, artículos deportivos y como matriz para materiales compuestos de alto rendimiento reforzados con fibra.

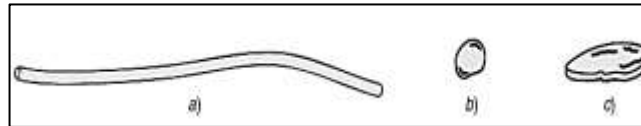
**Tabla 1.** Propiedades Resina Epóxica

Propiedad	Matriz
	Resina Epóxica
Resistencia a la tensión (psi)	15,000
Elongación (%)	6
Módulo de elasticidad (psi)	500
Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	1,17 – 1,25
Alargamiento (%)	6-8
Fluencia	Muy Baja
Temperatura de Moldeo (°C)	T <sub>amb</sub> hasta 170
Temperatura de Reblandamiento	80 - 130
Propiedades relógicas	Muy Buena
Calor de reacción	Reacción exotérmica dependiente de la geometría del elemento
Contracción de fraguado (%)	1-3
Contracción posterior (%)	Ninguna
Resistente a:	Alcohol, gasolina, bencol, aceites y grasas
No resiste a:	Agua hirviendo, ésteres, ácidos y bases, cetonas
Inflamabilidad	Difícilmente inflamable

Fuente: Autor

### 2.1.5. REFUERZO

Generalmente sirve para desarrollar una fase incrustada en el compuesto. El agente reforzador puede ser de diferentes formas como se muestra en la figura fibras (a), partículas (b) u hojuelas (c).



**Figura. 3** Refuerzo en los materiales compuestos:

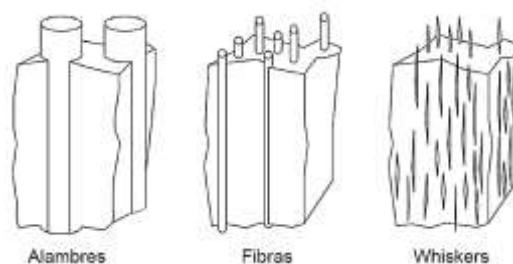
**Fuente:** Mikell P. Groover. [6]

#### a. Refuerzo con Fibra

La mayoría de los compuestos reforzados permiten conseguir una mejor resistencia a la fatiga, mejor rigidez y una mejor relación resistencia – peso. Para esto la selección apropiada del tipo, la cantidad y la orientación de la fibra es muy importante a la hora de fabricar un material ya que esto tiene directa relación con el material de la matriz que transmite la fuerza hacia las fibras, las cuales soportan mayor parte de la fuerza. [7]

La presentación o configuración de las fibras (cortas, largas, tejidos y otros) son las responsables de conferir propiedades mecánicas importantes al material (elevada resistencia a la tracción específica y elevado módulo específico). A demás características como: ligereza, resistencia térmica, compatibilidad con las resinas, dureza, rigidez y adaptabilidad al proceso de fabricación. [9]

Las fibras según sus propiedades y diámetro pueden ser: Alambres, fibras y whiskers.



**Figura. 4** Refuerzos de alambres, fibras y whiskers.

**Fuente:** Varios. Nuevos Materiales Aplicaciones Estructurales e Industriales. [11]

La regla de las mezclas en los materiales reforzados con fibra proporciona la densidad del compuesto reforzado.

$$\rho_c = f_m \rho_m + f_f \rho_f \quad \text{Ec. [1]}$$

Dónde:

$f_m \rho_m$  = Fracción volumétrica y densidad de la matriz.

$f_f \rho_f$  = Fracción volumétrica y densidad de la fibra.

### **b. Longitud y Diámetro de la Fibra**

Al diseñar un material reforzado con fibras, deben tomarse en consideración factores como longitud, diámetro, orientación, cantidad y propiedad de la matriz.

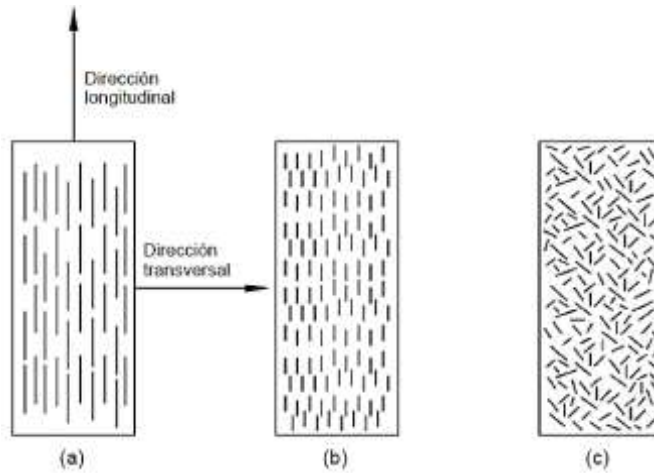
Las fibras pueden ser cortas, largas o incluso continuas, sin embargo a menudo se caracterizan en función de la relación de forma  $l/d$ , donde  $l$  es la longitud de la fibra y  $d$  su diámetro. Las fibras comunes tienen diámetros que varían desde  $100\mu\text{m}$  ( $10 \times 10^{-4}$  cm) hasta  $150\mu\text{m}$  ( $150 \times 10^{-4}$  cm). La resistencia del material compuesto se mejora cuando la relación de forma es grande, con frecuencia, las fibras se fracturan debido a defectos superficiales. [7]

### **c. Cantidad de Fibras**

Una fracción volumétrica de fibras mayor aumentará la resistencia y rigidez del material, como especifica la regla de las mezclas. Cabe destacar, la fracción máxima de volumen de fibras es aproximadamente 80%, más allá de la cual las fibras ya no pueden estar totalmente recubiertas o rodeadas por la matriz.

### **d. Orientación y Propiedades de las Fibras**

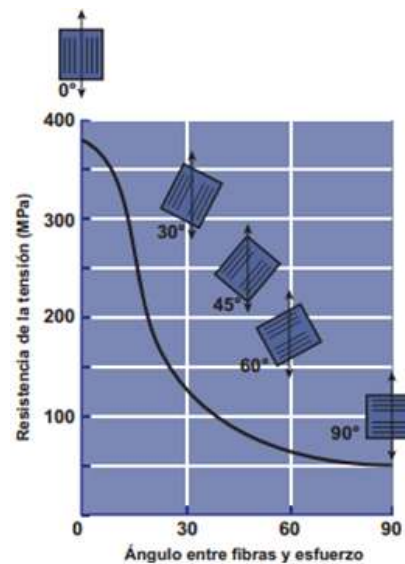
La orientación de las fibras, su cantidad y distribución tienen una influencia significativa en la resistencia mecánica y en otras propiedades de los materiales. Con respecto a la alineación de la fibra, básicamente existen tres posibilidades: (a) alineación en la dirección paralela al eje longitudinal de las fibras (fibras continuas y alineadas), (b) discontinua y alineada y (c) discontinua y al azar. En la Figura 5 se muestran las alineaciones posibles en un material compuesto reforzado con fibra.



**Figura. 5** Orientación de la fibra

**Fuente:** William D. Callister. [5]

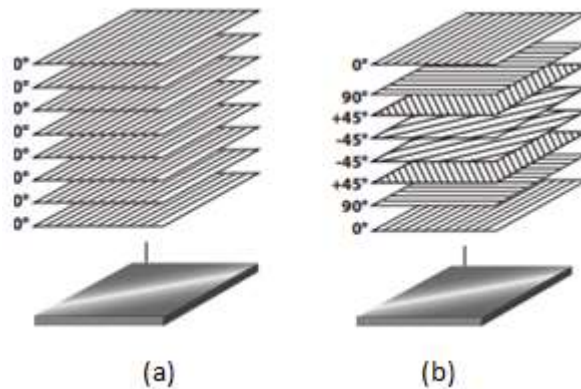
Los arreglos de fibras largas o incluso continuas y unidireccionales, producen propiedades anisotrópicas, con una resistencia y rigidez particularmente buenas en dirección paralela a las fibras. Estas fibras se conocen como capas  $0^\circ$ , lo cual muestra que todas las fibras están alineadas en la dirección del esfuerzo aplicado, a continuación se presenta el efecto de la orientación de la fibra sobre la resistencia a la tensión de materiales compuestos reforzados con fibras de vidrio E



**Figura. 6** Orientación de la fibra

**Fuente:** Donald R. Askeland. [7]

Las características únicas de los materiales compuestos reforzados con fibra es que se puede diseñar sus propiedades para que cubran diferentes tipos de condiciones de carga. Se puede introducir, en varias direcciones dentro de la matriz, fibras largas y continuas; en arreglos ortogonales (capas  $0^\circ/90^\circ$ ), se puede obtener buenas resistencias en dos direcciones perpendiculares. Disposiciones más complejas (capas  $0^\circ/\pm 45^\circ/90^\circ$ ) dan refuerzo en múltiples direcciones. La figura 7 muestra en (a) la unión de cintas con fibras alineadas para producir una estructura compuesta unidireccional de varias capas y (b) dónde puede unir cintas con fibras alineadas en varias orientaciones para producir un material compuesto casi isotrópico



**Figura. 7** Orientación de pacas de refuerzo

**Fuente:** Donald R. Askeland. [7]

#### e. Propiedades de las Fibras

En la mayoría de los compuestos reforzados con fibras, las propiedades relevantes de las mismas son la alta resistencia, rigidez y de poco peso. [9]

$$\text{Resistencia Específica} = \frac{\sigma_y}{\rho} \quad \text{Ec. [2]}$$

$$\text{Módulo Específico} = \frac{E}{\rho} \quad \text{Ec. [3]}$$

Dónde:

$\sigma_y$ = Esfuerzo de cadencia

$\rho$ = Densidad

$E$ = Módulo de elasticidad

### 2.1.6. FIBRA DE ALGODÓN

“El algodón es una fibra única en varios aspectos sus fibras son blancas, aislantes, resistentes a la rotura y al desgaste por tracción”. [10]

- **Propiedades de fibra de algodón**

**Tabla 2.** Propiedades Físicas y Químicas Algodón.

	<b>Propiedad</b>	<b>Detalle</b>
<b>Propiedades Físicas.</b>	Color	Blanco y mantecoso
	Resistencia a la tracción	3.5 a 4 gr/Denier. aumenta con la humedad en 20%.
	Finura	Varía entre 16 a 20 micras, es indirectamente proporcional a su diámetro
	Higroscopicidad	Se refiere a la absorbencia del agua a 21° C y 65% de humedad relativa absorbe de 7 a 8.5% de humedad.
	Elongación	3 a 7%.
	Elasticidad	20 a 50% del alargamiento de rotura.
	Alargamiento de rotura	8 a 12%.
	<b>Composición Química</b>	Celulosa
Agua		6 - 8%
Compuestos Minerales		1 - 18%
Compuestos Nitrogenados		1 - 2.8%
Materias Pépticas		0.4 - 1%
Grasas y Ceras		0.5 – 1%

**Fuente:** Autor.

### 2.1.7. FIBRA DE ABACÁ

El abacá es una planta de estructura herbácea perteneciente a la familia de las musáceas. Es nativa de las Filipinas y su producción se acopla muy bien a los trópicos húmedos. Sus fibras provienen de la vaina de las hojas que componen al pseudotallo de la planta y están compuestas por células largas y delgadas que brindan a las hojas soporte estructural.



**Figura. 8** Fibra de Abacá

**Fuente:** Autor.

### **2.1.7.1 CLASIFICACIÓN**

La fibra de abacá se clasifica según su calidad en 5 categorías que van en aumento según su grado de calidad. Las de grado 1 corresponden a la mejor calidad y propiedades, se presentan como fibras finas, brillantes de color habano claro. Su obtención constituye un proceso laborioso, que consiste en el corte de los tallos del abacá en tiras, que a su vez pasan por un desfibrador mecánico en donde se remueve su corteza y pulpa dejando solo las fibras, las cuales son finalmente lavadas y secadas. [19]

En la planta de abacá se puede encontrar cada una de las calidades de acuerdo a la siguiente distribución: 2% de primera, 20% de segunda, 23 % de tercera, 28 % de cuarta y 27 % de quinta calidad. Aunque el Ecuador exporta fibra de grado 2 a grado 5, la mayor demanda global es de grado 3 y 4. [14]

### **2.1.7.2 PROPIEDADES**

La planta del abacá crece lanzando tallos de la raíz o vástago principal, el cual tiene una altura de 2.7 a 3.5 m y 7.5 cm de espesor. La planta una vez madura consta de 12 a 30 tallos que crecen del sistema central de raíz. Cada uno de estos tallos mide cerca de 3.5 a 6 m de largo y de 10 a 20 cm en la base, siendo esta la fuente de las fibras. El tallo tiene varias hojas que se extienden de 1 a 2.5 m de largo, de 10 a 20 cm de ancho, y 10 mm de espesor en el centro. En su totalidad la planta tiene una altura de 3 a 4.5 m. Se requiere inicialmente de 2 a 4 años para que la planta del abacá madure. Sin embargo, después de la primera cosecha, el abacá está listo para ser cosechado nuevamente luego de que hayan transcurrido entre 4 y 8 meses. [14]



La fibra de abacá tiene una longitud que oscila entre 1 a 2m o más, con un diámetro de 0,01 – 0,28mm. La fibra tiene forma de filamento y está compuesta por muchas fibrillas unidas entre sí por gomas naturales. [20]

Para la elaboración de este trabajo se utilizara fibra de abacá de grado 1, con un diámetro de fibras que oscila en 0.252mm.

Según la caracterización del material compuesto de polipropileno reforzado con fibra de abacá de Páez Moscoso [2007], las propiedades de la fibra se las detalla a continuación.

**a. Propiedades Mecánicas y Físicas**

- Esfuerzo último a la tracción (MPa): 774.7 – 1261.3
- Módulo (GPa): 18.5 – 37.2
- Deformación unitaria (%): 3.10 – 4.27
- Absorción de agua (%): 8 – 10
- Densidad (g/cm<sup>3</sup>): 1.3

**b. Propiedades Químicas**

Químicamente las fibras de abacá están conformadas por:

- Celulosa (%): 63 – 70.1
- Hemicelulosa: (%): 20 – 21.8
- Pectina (%): 0.6
- LIGNINA (%): 5.7 – 6

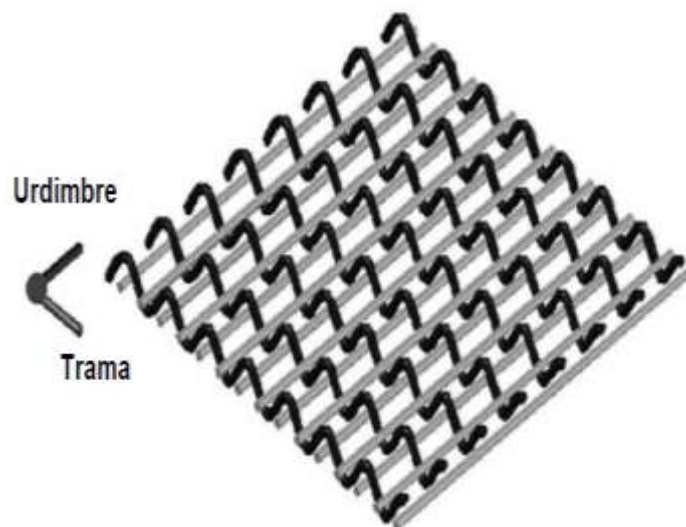
**2.1.7.3 APLICACIONES**

El abacá se emplea para hacer sogas, bramantes, cordeles, líneas de pesca y redes, así como tela basta para sacos. Su pulpa es ampliamente utilizada para hacer papel para estérciles, filtros de cigarrillos, bolsas de té, pieles de salchichas, y papel moneda (los billetes de los yen japoneses contienen hasta un 30% de abacá). También se encuentra creciendo en el mercado especializado en ropa, cortinas, pantallas y tapicería de abacá [11].

### 2.1.8. TEJIDOS

Los materiales fibrosos constituyen la mejor alternativa como refuerzo de matrices poliméricas, pues se ha demostrado que mientras más finos son los materiales, éstos tienden a presentar un menor número de defectos que puedan inducir a fallas. Sin embargo, la utilidad estructural de las fibras no es lo suficientemente aprovechada si éstas no se encuentran aglutinadas por una matriz. La configuración en la que éstas se dispongan dentro de la matriz también es un factor determinante para las características y propiedades finales que el material presentará. Dichas configuraciones pueden incluir fibra corta, larga, tejida y no tejida. [11]

Básicamente existen tres tipos de tejidos; el tipo plano, el tipo cruzado y el tipo satén. Cada uno de ellos tiene variaciones que modifican las propiedades mecánicas de estas láminas utilizadas como refuerzos. En la Figura 9 se muestra un diseño esquemático de un tejido.

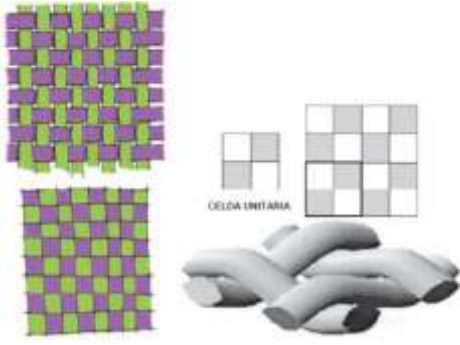


**Figura. 9** Diseño esquemático de un tejido.

**Fuente:** Varios. Nuevos Materiales Aplicaciones Estructurales e Industriales. [11]

La siguiente tabla muestra la forma del tejido que se utilizara en la elaboración de la presente investigación.

**Tabla 3.** Descripción y Estructura Tejido Plano.

Descripción	Estructura
<p>El tejido plano es aquel en el que cada hilado longitudinal y transversal pasa por encima de un hilo y por debajo del próximo. Esta construcción proporciona una tela reforzada que es ampliamente usada en aplicaciones generales y garantiza laminados de buen espesor. Este tipo de tela es muy estable, por lo que difícilmente se distorsiona.</p>	

Fuente: Autor.

### 2.1.8.1 PROCESOS DE FABRICACIÓN

La selección del proceso de fabricación de materiales híbridos es de gran importancia porque permite satisfacer los requerimientos de un producto para una aplicación determinada. Además, dado que el costo de fabricación de un material representa entre un 50 y 60% del costo total del producto. [11]

Debido a las características de la matriz termoestable a utilizar se elegirá el tipo de estratificación que proporcione mejores ventajas y menor costo de fabricación.

### 2.1.9. TIPO DE ESTRATIFICACIÓN

#### 2.1.9.1 MODELO POR COMPRESIÓN

Este método de estratificación se deriva del estampado de placas metálicas, Los moldes empleados en esta técnica son del tipo macho - hembra, que tienen un diseño simple de tal forma que la presión requerida en el proceso de moldeo se puede aplicar fácilmente. Esta técnica de moldeo es utilizada tanto para materiales termoplásticos como para termoestables y consiste en intercalar láminas de matriz y refuerzo en forma de preimpregnados en un molde que es posteriormente prensado.

#### 2.1.10. MOLDE

El molde es diseñado y elaborado en acero. El diseño es simple lo que facilita el prensado para una correcta consolidación y distribución de la matriz además el refuerzo en el volumen de trabajo. Este método se utiliza para la producción a gran escala de componentes con superficies lisas.

### 2.1.11. CORTE DE MATERIALES

El proceso de corte en materiales puede ser de diversas formas, pero para el caso del material híbrido se utilizará la máquina de corte y grabado láser NC-C1390, la misma que proporciona el corte de las probetas al dimensionamiento que detalla la norma técnica. Esta máquina láser utiliza un diseño de bloqueo, los materiales se pueden poner en el frente y detrás de su bandeja de trabajo, su sistema de control, interfaz USB, soporte CAD y Corel Draw. Las especificaciones técnicas de la máquina se las detalla en la siguiente tabla.

**Tabla 4.** Máquina de corte y grabado láser NC\_C1390

Parámetro	Especificación	Pintura	
Tipo	NC-C1290		
Área de grabado	1200 x 900 mm		
Potencia del láser	80W		
Tipo de láser	Láser CO2 del tubo		
Velocidad de grabado	0-1000mm / S		
Velocidad de corte	0-600mm / S		
Restablecimiento de la precisión de posicionamiento	≤ 0,01 mm		
Profundidad de corte	Acryl 0-25mm (otras profundidades dependen de otros materiales)		
Carácter mínimo Shaping	1,5 x 1,5 mm		
Fuente de alimentación	220 V ± 10% 50Hz o 110V ± 10% 60Hz		
La potencia bruta	1200W		
Software de apoyo	Artcut, CorelDraw, PhotoShop, AutoCAD		
Apoya el formado gráfico	PLT, DXF, BMP, JPG, GIF, PGN, TIF		
Grabador para superficies curvas (Sí / No)	No (se puede agregar un archivo adjunto de Rotary en el grabado láser / máquina de corte, la máquina puede grabar en el cilindro)		
Refrigeración por agua: (Sí / No)	Sí		
Altura máxima de materiales	No (se puede agregar un archivo adjunto de Rotary en el grabado láser / máquina de corte, la máquina puede grabar en el cilindro)		
Tubo láser (horas de vida)	1.500 Horas		
Dimensiones del equipo	1830 * 1500 * 1240 mm		
Ayudante de equipo	Bomba de Agua	Ventilador de Escape	De aluminio de aleación mesa de trabajo
Opcionales de piezas de repuesto	RF Tube	Sistema de Ruteador	El agua de refrigeración sistema El Punto Rojo Puntero
Piezas de repuesto Recomendadas & Consumibles	Tubo láser y las lentes		

**Fuente:** Equipo Mecánico CO., LTD de Jinan Nice-Cut. [22]

## 2.1.12. ENSAYO DE MATERIALES POLIMÉRICOS

La valoración de las propiedades mecánicas para la caracterización de materiales que se describen como materiales compuestos, se la realiza mediante la práctica de ensayos destructivos. El proceso de ensayo de materiales consiste en determinar una cantidad de muestras del material en estudio y realizar cierto número de pruebas para caracterizar el comportamiento del mismo. Los ensayos mecánicos se efectúan mediante equipo adecuado obteniendo resultados que garanticen un alto grado de validez, estos procedimientos mecánicos se los ejecuta bajo normativa que proponen institutos normalizadores como ASTM, ASME, ISO, UNE, ICONTEC, INEN, entre otros entes reguladores que han generado varias normas para propósitos distintos entre ellos la caracterización mecánica.

### 2.1.12.1 ENSAYOS DE TRACCIÓN

El ensayo de tracción es uno de los ensayos mecánicos comúnmente realizado. El material ensayado se deforma hasta la rotura de la probeta con la aplicación de una fuerza uniaxial a lo largo del eje principal que es aumentado de forma gradual. En el desarrollo de los ensayos por tracción y flexión se utiliza una Máquina Universal de 50kN de capacidad de la serie Metrotec MTE, donde es posible ensayar materiales plásticos rígidos, composites, alambres, cables, textiles, cerámicos y otros.



**Figura. 10** Máquina de Universal serie Metrotec MTE50

**Fuente:** Metrotec. [21]

La ejecución del ensayo se realiza de forma secuencial, se fija las mordazas donde estará sujeta la probeta a ensayar con sus respectivas especificaciones, el fin es que el extensómetro someta una cierta fuerza al elemento en análisis obteniendo así los valores requeridos para la caracterización mecánica.

En lo que se procede a materiales reforzados con fibras la normativa específica que para el ensayo a tracción rige es la norma ASTM D3039/D3039M-00 la cual brinda parámetros para la elaboración y análisis del ensayo. Un parámetro importante a utilizar en el ensayo es un elemento mecánico (sobremonta) que garantice que el deslizamiento entre la probeta y las mordazas de la máquina sean mínimas.

#### **a. Resistencia máxima a la tracción**

La resistencia máxima se calcula con la fuerza aplicada de mayor valor en referencia al elemento a ensayar. En el material la deformación no se mantiene uniforme lo cual genera una reducción en la sección recta, los pasos para calcular el valor se detalla así.

$$\sigma = \frac{P_{max}}{A} \quad \text{Ec. [4]}$$

Dónde:

$\sigma$  = Esfuerzo último a la tracción (MPa)

$P_{max}$  = Fuerza máxima antes de la ruptura (N)

$A$  = Área promedio de la sección transversal de la probeta (mm<sup>2</sup>)

#### **b. Módulo de elasticidad**

Es la deformación elástica de un cuerpo conocido en términos de resistencia de materiales como módulo de Young y se lo obtiene de la siguiente manera.

$$E = \frac{\sigma_{max}}{\varepsilon} \quad \text{Ec. [5]}$$

Dónde:

$E$  = Módulo de elasticidad/Young (MPa)

$\sigma_{max}$  = Esfuerzo máximo (MPa)

$\varepsilon$  = Elongación del material.

### c. Deformación unitaria

La deformación se relaciona con la longitud del elemento donde se analiza la deformación unitaria. El cálculo se realiza mediante la diferencia de longitud objeto con respecto a la longitud inicial del mismo.

$$\varepsilon = \frac{l_f - l_i}{l_i} \quad \text{Ec. [6]}$$

$$\% \text{ de deformación} = \frac{l_f - l_i}{l_i} * 100 \quad \text{Ec. [7]}$$

Dónde:

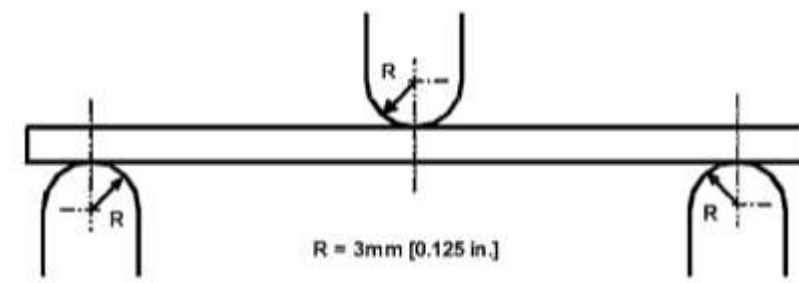
$\varepsilon$  = Elongación

$l_f; l_i$  = Desplazamiento final e inicial (mm)

#### 2.1.12.2 ENSAYOS DE FLEXIÓN

El ensayo es realizado mediante la norma D7264/D7264M-07; este método de ensayo determina la rigidez a la flexión y propiedades de resistencia de un material estructurado de matriz polimérica. El procedimiento aplicado corresponde a un sistema de carga aplicado en tres puntos específicos, una carga se aplica en el centro de la viga misma que se encuentra estabilizada con apoyos simples.

Las propiedades a flexión pueden variar de acuerdo al espesor de la probeta, ambientes condicionantes o de ensayo en el que se ejecutan las pruebas, velocidad de aplicación de esfuerzo. Cuando se evalúan distintos materiales, los parámetros deben ser equivalentes para la comparación de todos los datos obtenidos.



**Figura. 11** Configuración de carga a flexión en tres puntos utilizada (ASTM D7264/D7264M – 07).

**Fuente:** Varios. Nuevos Materiales Aplicaciones Estructurales e Industriales. [11]

Para la realización del ensayo a flexión es importante la utilización de los puentes de flexión. Las dimensiones y número de las probetas requeridas para los ensayos se encuentran indicadas en la norma ASTM con sus respectivas ecuaciones que permiten calcular los valores para caracterizar el material.



**Figura. 12** Puentes de Flexión MTE50

**Fuente:** Metrotec. [21]

#### **a. Resistencia máxima a flexión**

En materiales que poseen poca ductilidad, la falla se ocasiona a la carga máxima, en la cual la resistencia a la tensión y la resistencia a la ruptura son iguales.

$$\sigma = \frac{3PL}{2bh^2} \quad \text{Ec. [8]}$$

Dónde:

$\sigma$  = Resistencia máxima a la flexión (MPa)

$P$  = Fuerza máxima aplicada (N)

$L$  = Longitud entre apoyos (mm)

$b$  = Ancho de la probeta (mm)

$h$  = Espesor de la probeta (mm).

#### **b. Módulo de elasticidad a flexión**

Consiente en la determinación de la rigidez del material, este parámetro se lo obtiene en la región de la curva esfuerzo vs deflexión y se calcula con la siguiente ecuación.

$$Ef = \frac{L^3 P}{4bh^3 \delta} \quad \text{Ec. [9]}$$

Dónde:

$Ef$  = Módulo de elasticidad a flexión (MPa)



$L$  = Longitud entre apoyos (mm)

$P$  = Fuerza aplicada (N).

$b$  = Ancho del elemento (mm)

$h$  = Espesor del elemento (mm)

$\delta$  = Deflexión del elemento al aplicar una fuerza (mm)

### 2.1.12.3 ENSAYOS DE IMPACTO

El ensayo de impacto proporciona parámetros para el cálculo de la energía de falla del material en base a la normativa ASTM D5628-10. El procedimiento se lo ejecuta al dejar caer un dardo por una sola ocasión sobre la probeta estandarizada. La energía de impacto para producir fallas debe ser de al menos el 50% para crear fallas en las probetas, criterio que proporciona información para definir la altura y el peso del dardo.



**Figura. 13** Máquina de Impacto por caída de dardo.

**Fuente:** Autor.

Las propiedades que se obtienen del ensayo de impacto es la resistencia máxima al impacto o denominado también energía máxima a ruptura que se calcula con la ecuación. [10]

$$MEF = hwf \quad \text{Ec. [10]}$$

Dónde:

MEF = Resistencia máxima al Impacto

$h$  = Altura máxima de ruptura (mm)

$w$  = Masa máxima de ruptura (kg)

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

## **2.2. HIPÓTESIS**

La caracterización mecánica del material híbrido de matriz epóxica reforzada con tejido de fibra de algodón y abacá permitirá determinar las propiedades mecánicas con aplicación industrial.

## **2.3. SEÑALAMIENTO DE LAS VARIABLES**

### **2.3.1. VARIABLE INDEPENDIENTE**

Caracterización mecánica del material híbrido de matriz epóxica reforzada con tejido de fibra de algodón y abacá.

### **2.3.2. VARIABLE DEPENDIENTE**

Propiedades mecánicas.

### **2.3.3. TÉRMINO DE RELACIÓN**

Permitirá

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA**

#### **3.1. NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN**

##### **a. Experimental**

El presente proyecto recurre al nivel de investigación experimental, debido a que mediante la observación, registro y análisis se determinara la composición volumétrica del material híbrido con sus respectivas propiedades mecánicas.

##### **b. Cuantitativa**

La utilización de la investigación cuantitativa se aplica por que se obtendrán datos numéricos que aportaran a identificar las propiedades del material hibrido y su resistencia general.

##### **c. Descriptiva**

El uso de la investigación descriptiva posee como fin señalar los parámetros obtenidos de las diversas composiciones que desarrollan para los diferentes compuestos establecidos en el análisis mecánico.

##### **d. Explicativo**

El estudio tiene un nivel explicativo ya que es necesario demostrar que las propiedades mecánicas del material pueden servir como parámetro para diseño de elementos mecánicos en diferentes aplicaciones en la industria.

#### **3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA**

##### **3.2.1. POBLACIÓN**

El presente proyecto de titulación tendrá como población una gama de probetas elaboradas de material hibrido (resina epóxica + fibra de abacá + fibra de algodón), destacando que la resina epóxica es la matriz y el refuerzo es un tejido plano constituido de fibra de abacá y algodón.

Las probetas tienen dos y tres capas de fibras según la propuesta de estudio de cada caso, el modo de estratificación es moldeo a compresión, la caracterización mecánica será bajo normativa específica para los ensayos de tracción ASTM D3039-00, flexión ASTM D7264-07 e impacto D5628-10.

### 3.2.2. MUESTRA

El presente trabajo considera como muestra para los ensayos de tracción y flexión 7 probetas de cada configuración desarrollada con sus respectivas características angulares y volumétricas en los tejidos planos, se considera 2 probetas adicionales por cuestiones de setup o cualquier percance que se produzca en el material, para el ensayo de impacto se toma 9 probetas de las combinaciones realizadas.

**Tabla 5.** Estudio de casos

Fracción volumétrica y número de caso	Fracción Volumétrica de Resina Epóxica	Fracción Volumétrica de Refuerzos		Número de Capas	Orientación de Fibras		Tipo de Ensayo	Cantidad de Probetas a Ensayar
		Fibra de Abacá	Fibra de Algodón		Fibra de Abacá	Fibra de Algodón		
1a	75%	25%	2-8 %	2-3	0°	90°	Tracción(5)	19
					90°	0°	Flexión(5)	
					0°	90°	Impacto (9)	
2a	75%	25%	2-8 %	2-3	45°	135°	Tracción(5)	19
					0°	90°	Flexión(5)	
					135°	45°	Impacto (9)	
3a	75%	25%	2-8 %	2-3	0°	90°	Tracción(5)	19
					45°	135°	Flexión(5)	
					0°	90°	Impacto (9)	
4b	70%	30%	2-8 %	2-3	0°	90°	Tracción(5)	19
					90°	0°	Impacto (9)	
5b	70%	30%	2-8 %	2-3	0°	90°	Tracción(5)	19
					135°	45°	Impacto (9)	
6c	65%	35%	2-8 %	2-3	0°	90°	Tracción(5)	19
					90°	0°	Impacto (9)	
7c	65%	35%	2-8 %	2-3	45°	135°	Tracción(5)	19
					0°	90°	Impacto (9)	
<b>TOTAL DE PROBETAS A ENSAYAR</b>								<b>133</b>

Fuente: Autor

### 3.3. OPERACIÓN DE VARIABLES

#### 3.3.1. VARIABLE INDEPENDIENTE

Caracterización mecánica del material híbrido de matriz epóxica reforzada con tejido de fibra de algodón y abacá.

**Tabla 6.** Variable Independiente

Conceptualización	Categoría	Indicadores	Índice			Técnicas e Instrumentación
			Resina Epóxica	Fibra Abacá	Fibra Algodón	
Un material híbrido es aquel que está formado por dos o más materiales de distinta clase (orgánico e inorgánico) en una matriz determinada.	Material Híbrido	Fracción Volumétrica	75 %	25 %	2-8%	Observación directa Fichas de datos Observación Bibliografía Normas ASTM
			70 %	30 %	2-8%	
			65 %	35 %	2-8%	
		Orientación del refuerzo	0° – 90° 45° – 135°			
Número de Capas	2 – 3					

Fuente: Autor

### 3.3.2. VARIABLE DEPENDIENTE

Propiedades Mecánicas

**Tabla 7.** Variable Dependiente

<b>Conceptualización</b>	<b>Categoría</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Índice</b>	<b>Técnica e Instrumentación</b>
Propiedades mecánicas del material híbrido consecuencia de la aplicación de fuerzas y evaluación mediante ensayos específicos basado en normas, especificaciones técnicas de equipos y procedimientos.	Tracción	Resistencia a la tracción	Esfuerzo (140-160)MPa	Observación directa Ficha de datos Bibliografía Normas ASTM (Tracción, Flexión e Impacto) ASTM 3039 M-00 ASTM 7264 M-07 ASTM 5628 -10
			Módulo (4-6)GPa	
	Flexión	Resistencia a la flexión	Esfuerzo (100-120)MPa	
			Módulo(4-5)GPa	
	Impacto	Resistencia al impacto	Energía de Impacto (2-10)KJ/m <sup>2</sup>	

Fuente: Autor

### 3.4. PLAN DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

Tabla 8. Plan de recolección de información

<b>Plan de recolección de información</b>	
<b>¿Qué?</b>	Obtención de los valores numéricos de las propiedades de material híbrido de matriz epóxica reforzado con fibras de algodón y abacá.
<b>¿Para qué?</b>	Investigación de las propiedades mecánicas del material según las configuraciones establecidas para definir la mejor composición.
<b>¿Quién?</b>	El presente trabajo será realizado por el investigador.
<b>¿A quiénes?</b>	Los datos se obtendrán de las probetas realizadas para el análisis mediante ensayos destructivos.
<b>¿Cómo?</b>	Los ensayos se los realizara mediante normativa ASTM, fichas técnicas y material bibliográfico.
<b>¿Con qué?</b>	La adquisición de datos de los realiza mediante el uso de fichas, tablas numéricas y graficas de los diferentes esfuerzos.
<b>¿Cuándo?</b>	En el período de abril 2016 a marzo de 2017.
<b>¿Cuántas veces?</b>	El análisis y los ensayos de las probetas se los realizara las veces que se requieran con el fin de garantizar las propiedades del material híbrido.
<b>¿Dónde?</b>	En las instalaciones de la Universidad Técnica de Ambato específicamente en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica campus Huachi Chico y en El Centro de Fomento Productivo Metalmeccánico Carrocero.

Fuente: Autor

### 3.5. PLAN DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS

El procesamiento y análisis de los datos obtenidos serán procesados y estudiados así:

**a. Revisión**

Los datos primarios serán analizados para medir su validación y especificación de forma, propiedad y composición.

**b. Tabulación**

Según las características de los grupos de probetas analizadas se tabularan en forma computacional para poseer una perspectiva global del trabajo.

**c. Análisis**

El análisis de los datos proporcionara la información adecuada de la mejor composición del material con sus respectivas propiedades.

**d. Presentación de información**

Los procesos anteriores servirán como parámetro para definir la información en forma clara mediante gráficos y tablas comparativas.

**e. Interpretación**

La representación general de los datos permitirá medir y comparar los mejores resultados de las probetas para así definir que configuración tiene las mejores características y propiedades.

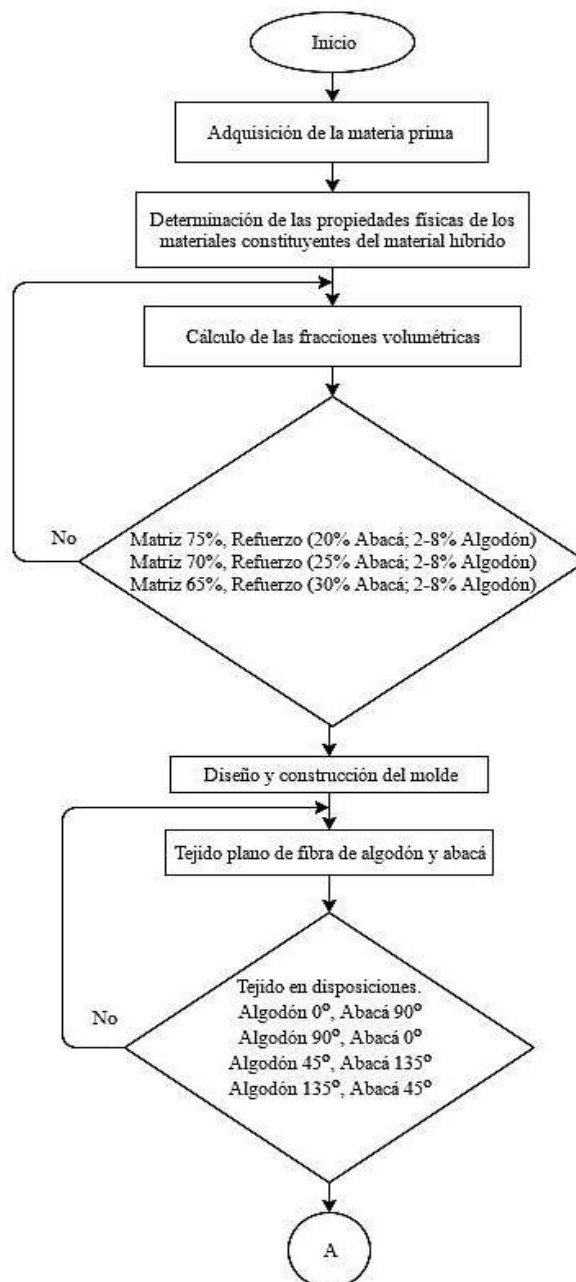


## CAPÍTULO IV

### ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

#### 4.1. RECOLECCIÓN DE DATOS

La recolección de datos se la elabora siguiendo pasos secuenciales que se describen en el siguiente diagrama de proceso.



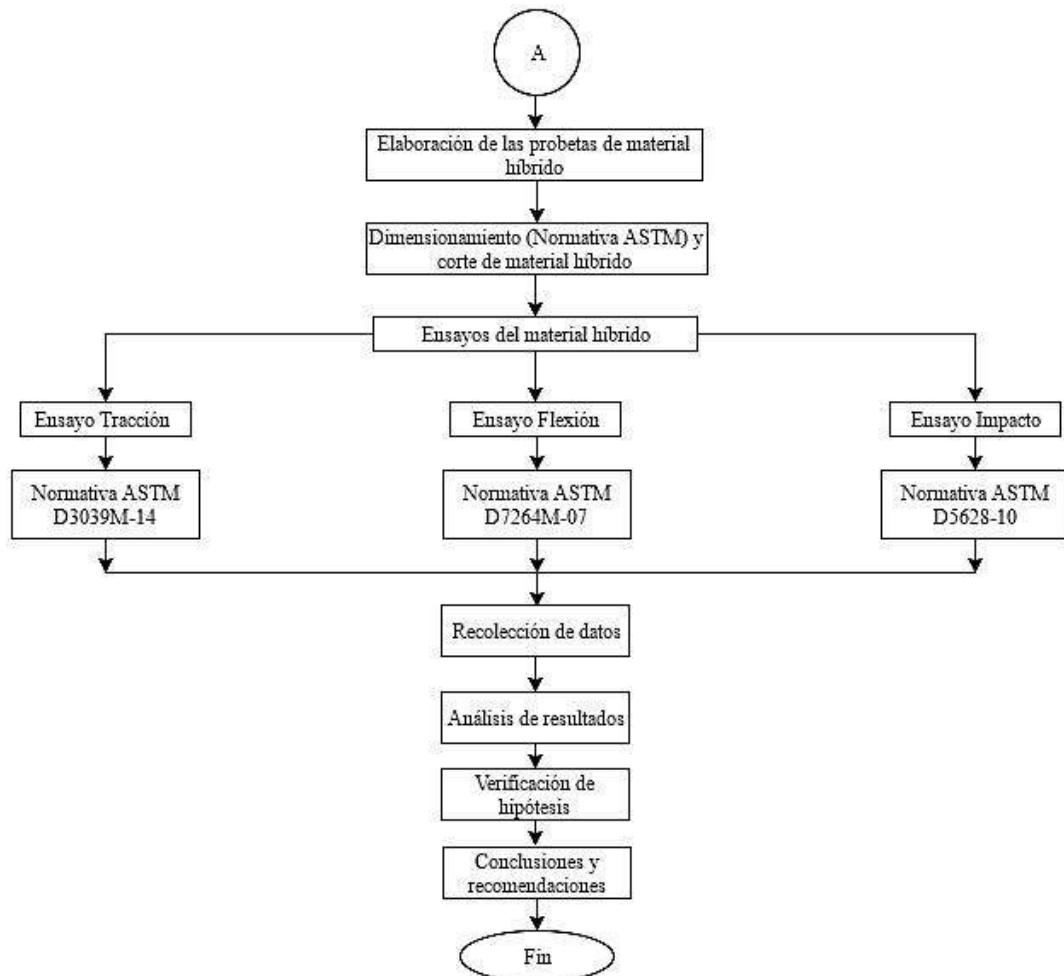


Figura. 14 Diagrama de procesos

Fuente: Autor

#### 4.1.1. ADQUISICIÓN DE MATERIA PRIMA

Los materiales que conforman la matriz son adquiridos en una casa comercial ubicada en las calles Cerro Hermoso s/n y Villonaco cantón Ambato, provincia de Tungurahua, en este lugar se obtuvo la resina epóxica con su endurecedor respectivo. El refuerzo como es conocido consta de dos fibras de diferente tipo, la primera es la fibra de algodón que es adquirida en los talleres de confección artesanal textil en la parroquia Salasaca, cantón Pelileo, provincia de Tungurahua localidad en la cual las personas se dedican a realizar prendas tejidas en telares con material de algodón y lana. La segunda fibra de abacá es adquirida en la provincia de Manabí de donde son enviadas las fibras en configuración comercial de atados.

#### 4.1.2. DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE LAS FIBRAS

La determinación de las propiedades físicas de las fibras se las realiza mediante experimentos gravimétricos. El análisis gravimétrico se basa en las medidas de masa requiriendo fundamentalmente de dos medidas experimentales que son el peso de la muestra (fibras de algodón y abacá) y el volumen de la sustancia de composición química conocida (resina epóxica). Con los datos conocidos se procesa a determinar la densidad de las fibras con la siguiente ecuación.

$$\rho = \frac{m}{V} \quad \text{Ec. [11]}$$

Dónde.

$\rho$  = Densidad del material.

m = Masa del material.

V = Volumen de la sustancia que contiene al material.

La determinación de las propiedades de las fibras se realizó tomando tres muestras de cada material en estudio. La siguiente tabla muestra los valores que se estableció para elaborar la experimentación.

**Tabla 9.** Densidad de la fibra de abacá

<b>DENSIDAD DE LA FIBRA DE ABACÁ</b>					
<b>Muestra</b>	<b>Masa (g)</b>	<b>Volumen cm<sup>3</sup></b>			<b>Densidad <math>\frac{g}{cm^3}</math></b>
		<b>Inicial</b>	<b>Final</b>	<b><math>\Delta V</math></b>	
1	3	50	53	3	1
2	4	83	86	3	1,33
3	5	45	48	3	1,6
<b>Densidad Promedio</b>					<b>1,3</b>

Fuente: Autor

**Tabla 10.** Densidad de la fibra de algodón

<b>DENSIDAD DE LA FIBRA DE ALGODÓN</b>					
<b>Muestra</b>	<b>Masa (g)</b>	<b>Volumen</b>			<b>Densidad <math>\frac{g}{cm^3}</math></b>
		<b>Inicial</b>	<b>Final</b>	<b><math>\Delta V</math></b>	
1	2,2	50	52	2	1,1
2	2,2	100	102	2	1,1
3	2,2	50	52,1	2,1	1,05
<b>Densidad Promedio</b>					<b>1,08</b>

Fuente: Autor



**Figura. 15** Determinación de las densidades de las fibras

**Fuente:** Autor

Las condiciones en las que se desarrolló la experimentación fueron a temperatura ambiente obteniendo resultados próximos a los que se detallan en la teoría del trabajo, así  $1,3 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$  de densidad de la fibra de abacá y de algodón el  $1,08 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$ .

#### **4.1.3. CÁLCULO DE LAS FRACCIONES VOLUMÉTRICAS**

Las fracciones volumétricas que se propuso para el desarrollo de esta investigación son:

- a)** 75% resina epóxica (matriz), 20% fibras de abacá y 2-8% algodón (refuerzos).
- b)** 70% resina epóxica (matriz), 25% fibras de abacá y 2-8% algodón (refuerzos).
- c)** 65% resina epóxica (matriz), 30% fibras de abacá y 2-8% algodón (refuerzos).

En el desarrollo del trabajo de investigación se presentó la necesidad fundamental de calcular las fracciones volumétricas exactas para la conformación del material híbrido, por tal razón se realiza cálculos y muestras preliminares para la conformación definitiva del mismo. Datos que proporcionara información para la elaboración de las probetas para los diferentes ensayos de tracción, flexión e impacto. El análisis previo se desarrolla con la fracción volumétrica (b) como punto de inicio para los cálculos y las conformaciones del material en un molde de las siguientes dimensiones: Largo 100mm, ancho 46mm y espesor 10mm, en la figura se aprecia el molde que está elaborado de madera.



**Figura. 16** Molde preliminar

**Fuente:** Autor

#### **4.1.3.1 PROBETAS PRELIMINARES**

Las probetas preliminares están compuestas de matriz de resina epóxica con refuerzo de fibras de abacá y algodón individualmente además un caso con tejido plano preliminar para determinar el espesor del material híbrido.

Datos:

Densidades.

$$\rho_{\text{abacá}}=1,3 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

$$\rho_{\text{algodón}}=1,08 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

$$\rho_{\text{resina}}=0,9586 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

#### **Volumen del molde**

Las dimensiones del molde son largo 100mm, ancho 46mm y espesor 10mm como se muestra en la figura.



**Figura. 17** Molde preliminar.

**Fuente:** Autor

Los datos conocidos permiten calcular el volumen del molde para así elaborar las diferentes probetas preliminares.

$$V_{\text{molde}} = l * a * e \quad \text{Ec. [12]}$$

$$V_{\text{molde}} = 10\text{cm} * 4,6\text{cm} * 1\text{cm}$$

$$V_{\text{molde}} = 46\text{cm}^3$$

**a) Fibra de Abacá.**

El caso volumétrico de partida es el caso (b) donde 70% es matriz y el 30% refuerzo además el molde es de un volumen de  $46\text{cm}^3$ , datos que sirven para determinar la masa real de fibra de abacá que se utilizara en cada caso.

**Volumen total del molde.**

$$V_{\text{molde}} = 46\text{cm}^3$$

**Volumen de la matriz (70%)**

$$V_m = 32,2\text{cm}^3$$

**Volumen del refuerzo (30%)**

$$V_{\text{ref}} = 13,8\text{cm}^3$$

La masa del refuerzo se la calcula despejando la ecuación de la densidad obteniendo el siguiente resultado.

$$m = \rho * V$$

$$m = 1,3 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} * 13,8 \text{cm}^3$$

$$m = 17,94\text{g}$$

La proporción de masa real de fibra de abacá que se utiliza en el molde es del 50% o lo que representa  $\frac{1}{2}$  de la masa, el valor de fibra que se usa es 8,97g para la elaboración de la probeta preliminar donde cada fibra mide 10cm y está orientada longitudinalmente es decir a  $0^\circ$ . La recomendación para conformar la resina epóxica con su endurecedor está en una relación de 1:5 del volumen de la matriz en este caso  $6,44 \text{cm}^3$ . Posteriormente se calcula la densidad del material.

**Densidad del material (Resina + F. Abacá).**

$$\rho_c = f_m \rho_m + f_f \rho_f \quad \text{Ec. [13]}$$

### Dónde

$f_m$  = Fracción volumétrica de la matriz

$\rho_m$  = Densidad de la matriz

$f_f$  = Fracción volumétrica de la fibra.

$\rho_f$  = Densidad de la fibra.

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

$$\rho_c = 0,7 * 0,9586 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} + 0,3 * 1,3 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

$$\rho_c = 1,06 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$



**Figura. 18** Probeta preliminar (Resina epóxica + Fibra de abacá.)

**Fuente:** Autor

### b) Fibra de algodón

El cálculo de la masa real de algodón se procede a determinarlos con los parámetros establecidos para la fibra de abacá.

#### Volumen total del molde

$$V_{\text{molde}} = 46\text{cm}^3$$

#### Volumen de la matriz (70%)

$$V_m = 32,2\text{cm}^3$$

#### Volumen del refuerzo (30%)

$$V_{\text{ref}} = 13,8\text{cm}^3$$

La masa del refuerzo se la calcula despejando la ecuación de la densidad con un valor de densidad de la fibra de algodón correspondiente a  $1,08 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$ .

$$m = \rho * V$$

$$m = 1,08 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} * 13,8 \text{ cm}^3$$

$$m = 14,90\text{g}$$

La proporción de masa real de fibra de algodón que se utiliza en el molde es del 33.33% o 1/3 de la masa calculada, el valor de fibra que se usa es 4,97g para la elaboración de la probeta preliminar donde cada fibra mide 1cm y está orientada al azar. La recomendación para conformar la resina epóxica con su endurecedor está dispuesta en una relación de 1:5 del volumen de la matriz en este caso  $6,44 \text{ cm}^3$ , seguido de este proceso se calcula la densidad del material.

#### **Densidad del material (Resina +F. Algodón)**

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

$$\rho_c = 0,7 * 0,9586 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} + 0.3 * 1.08 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

$$\rho_c = 0,995 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

#### **c) Tejido Plano preliminar**

La elaboración del tejido preliminar se lleva a cabo con la fracción de 70% de matriz y 30% de refuerzo donde el 25% será fibra de abacá y el 5% fibra de algodón de la siguiente forma.

El experimento se realiza con el volumen del molde de  $46\text{cm}^3$  el cual se dividirá para las fracciones establecidas para determinar sus masas reales definitivas.



### **VOLUMEN DE LA MATRIZ (70%)**

$$\begin{aligned} 46 \text{ cm}^3 &\longrightarrow 100\% \\ \text{Volumen de resina epóxica} &\longrightarrow 70\% \\ \text{Volumen de resina epóxica} &= \frac{46 \text{ cm}^3 * 70\%}{100\%} \\ \text{Volumen de resina epóxica} &= 32,2 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

### **VOLUMEN DE LOS REFUERZOS (30%)**

$$\begin{aligned} 46 \text{ cm}^3 &\longrightarrow 100\% \\ \text{Volumen de refuerzos} &\longrightarrow 30\% \\ \text{Volumen de refuerzos} &= \frac{46 \text{ cm}^3 * 30\%}{100\%} \\ \text{Volumen de refuerzos} &= 13,8 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

### **Fibra de abacá (25%)**

$$\begin{aligned} 13,8 \text{ cm}^3 &\longrightarrow 30\% \\ \text{Volumen de fibra de abacá} &\longrightarrow 25\% \\ \text{Volumen de fibra de abacá} &= \frac{13,8 \text{ cm}^3 * 25\%}{30\%} \\ \text{Volumen de fibra de abacá} &= 11,5 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

El dato conocido permite calcular la masa de la fibra de abacá

$$m = \rho * V$$

$$m = 1,3 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} * 11,5 \text{ cm}^3$$

$$m = 14,95 \text{ g} / 2$$

$$m = 7,48 \text{ g}$$

Se obtiene una masa de 7,48g que contiene 446 unidades de fibra de 10cm de longitud misma que es distribuida en el área de trabajo del molde. El número de fibras por fila se obtiene dividiendo el ancho del molde para el espacio por fila.

$$\text{Número de filas} = 46 / 3 \text{ mm}$$

$$\text{Número de filas} = 15,33 = 15$$

Una vez desarrollado, se toma este dato y se lo divide para el número de unidades totales de fibra y se consigue la cantidad de fibras por fila que se distribuirá en el área de trabajo del molde.

$$\text{Fibras por fila} = 446/15$$

$$\text{Fibras por fila} = 29.73 = 30 \text{ unidades.}$$

Se determina que se distribuirá 30 unidades de fibra por fila pero como el experimento consta de dos capas cada fila estará estructurada de 15 fibras de abacá por fila.

### **Fibra de algodón (5%)**

$$13,8 \text{ cm}^3 \longrightarrow 30\%$$

$$\text{Volumen de fibra de algodón} \longrightarrow 5\%$$

$$\text{Volumen de fibra de algodón} = \frac{13,8\text{cm}^3 * 5\%}{30\%}$$

$$\text{Volumen de fibra de algodón} = 2,3\text{cm}^3$$

Conocido el volumen de la fibra de algodón se calcula su masa.

$$m = \rho * V$$

$$m = 1,08 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} * 2,3\text{cm}^3$$

$$m = 2,48\text{g}/3$$

$$m = 0,83\text{g}$$

La masa de la fibra de algodón que debe contener el tejido entre las fibras es de 0,83g. La distribución de la fibra de algodón es a 2mm con referencia a la longitud total del molde este parámetro es establecido debido a la conformación del tejido en el telar. Con los datos conocidos se elabora el tejido plano para comprobar la fracción volumétrica del algodón para cada capa de tejido.

Los resultados encontrados experimentalmente fueron que la fibra de abacá está en un volumen correcto mientras que la fibra de algodón requiere un ajuste ya que por medio de la experimentación se conoció que 1 capa del tejido solo contiene una masa real de 0,19g correspondiente al 0,092% de la fracción volumétrica por capa.



**Figura. 19** Tejido preliminar (Fibra de abacá + Fibra de algodón.)

**Fuente:** Autor

Especificando los apartados anteriores la recomendación para conformar la resina epóxica con su endurecedor está en una relación de 1:5 del volumen de la matriz en este caso  $6,44 \text{ cm}^3$ . Describiendo que estos parámetros servirán de base para definir las fracciones volumétricas exactas se procede a realizar el material obteniendo un espesor definido de 5mm para cada caso expuesto.



**Figura. 20** Material híbrido preliminar (Resina epóxica + Fibra de abacá + Fibra de algodón.)

**Fuente:** Autor

### **Densidad del material híbrido (Resina epóxica + F. Abacá + F. Algodón)**

$$\rho_c = f_m \rho_m + f_{f1} \rho_{f1} + f_{f2} \rho_{f2} \quad \text{Ec. [14]}$$

Dónde

$f_m$  = Fracción volumétrica de la matriz

$\rho_m$  = Densidad de la matriz

$f_{f1}$  = Fracción volumétrica de la fibra de abacá.

$\rho_{f1}$  = Densidad de la fibra de abacá.

$f_{f2}$  = Fracción volumétrica de la fibra de algodón.

$\rho_{f2}$  = Densidad de la fibra de algodón.

$$\rho_c = f_m \rho_m + f_{f1} \rho_{f1} + f_{f2} \rho_{f2}$$

$$\rho_c = 0,7 * 0,9586 \frac{g}{cm^3} + 0,25 * 1,3 \frac{g}{cm^3} + 0,05 * 1,08 \frac{g}{cm^3}$$

$$\rho_c = 1,05 \frac{g}{cm^3}$$

#### 4.1.3.2 FRACCIONES VOLUMÉTRICAS

Definido el espesor del material híbrido se tiene los datos iniciales para elaborar las diferentes fracciones volumétricas a utilizar. El primer parámetro para empezar a definir los valores fraccionarios es las dimensiones del área de trabajo en el molde. Las medidas son asumidas bajo una investigación previa ya que la normativa ASTM específica que para los ensayos de tracción y flexión se requiere un mínimo de 5 probetas para el análisis a diferencia que para las probetas de impacto se admite las probetas que presenten mejores propiedades.

En consecuencia las medidas del área de trabajo constaran de 435mm de largo, 258mm de ancho y el espesor 5mm.

Los datos iniciales que arrojaron los diversos experimentos previos proporcionan información para definir la fracción volumétrica que poseerá el algodón de la siguiente manera.

**Tabla 11.** Datos iniciales

<b>Características</b>	<b>Largo (cm)</b>	<b>Ancho (cm)</b>	<b>Área (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Peso real fibra de algodón (g)</b>	<b>Fracción volumétrica real fibra de algodón (%)</b>
Tejido preliminar	10	4,6	46	0,19	0,092
Tejido definitivo	43,5	25,8	1122	4,64	2,25

Fuente: Autor

La tabla 11 muestra los datos iniciales que se tomó de referencia para determinar la fracción volumétrica real en el tejido definitivo a realizar para cada caso propuesto obteniendo una fracción de 2,25% de fibra de algodón por cada capa en un área de 1122,3 cm<sup>2</sup>, dicho valor porcentual representa en masa un total de 4,64g.

Determinado los parámetros fundamentales del material se procede a expresar las fracciones volumétricas definitivas

**Tabla 12.** Fracciones Volumétricas para los casos de estudio.

<b>Caso</b>	<b>Número de capas</b>	<b>Fracción volumétrica matriz</b>	<b>Fracción volumétrica de los refuerzos</b>	
		<b>Resina epóxica</b>	<b>Fibra abacá</b>	<b>Fibra algodón</b>
a	3	75%	18,25%	6,75%
b	2	70%	25,50%	4,50%
c	2	65%	30,50%	4,50%

Fuente: Autor

#### **4.1.3.3 CÁLCULO DE FRACCIONES VOLUMÉTRICAS PARA LOS CASOS DE ESTUDIO**

El cálculo de las fracciones volumétricas se determina tomando como referencia principal el volumen del molde ya que en este espacio se diseñara el material. Las dimensiones del área de trabajo del molde son 43,5cm largo, 25,8cm ancho y 0,5cm espesor.

$$VT = l * a * e$$

$$VT = 43,5\text{cm} * 25,8\text{cm} * 0,5\text{cm}$$

$$V_T = 561,15\text{cm}^3$$

**a) Cálculo de la fracción volumétrica de 75 % de matriz (resina epóxica), refuerzos 18,25 % (fibra de abacá) y 6,75 (fibra de algodón)**

Del volumen establecido de  $561,15\text{cm}^3$  se desglosa las fracciones respectivas para determinar los parámetros necesarios para la estratificación.

Datos.

Densidades.

$$\rho_{\text{abacá}} = 1,3 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

$$\rho_{\text{algodón}} = 1,08 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

$$\rho_{\text{resina}} = 0,9586 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

**Fracciones Volumétricas**

$$f_m = 75\%$$

$$f_{f1} = 18,25\%$$

$$f_{f2} = 6,25\%$$

**• Cálculo del volumen de la matriz**

El volumen total del molde se lo divide para los porcentajes de la matriz y refuerzo obteniendo los valores volumétricos y máxicos de cada fracción.

**VOLUMEN DE LA MATRIZ (75%)**

$$V_T = 561,15\text{cm}^3$$

$$f_m = 75\%$$

$$561,15 \text{ cm}^3 \longrightarrow 100\%$$

$$\text{Volumen de resina epóxica} \longrightarrow 75\%$$

$$\text{Volumen de resina epóxica} = \frac{561,15 \text{ cm}^3 * 75\%}{100\%}$$

$$\text{Volumen de resina epóxica} = 420,86\text{cm}^3$$

El volumen de resina epóxica para este caso es de  $420,86\text{cm}^3$  para elaborar las probetas, se sabe que la fracción del endurecedor es la relación de 1:5 del volumen total para lo cual el valor queda dispuesto en  $84,17\text{ cm}^3$  para este caso.

- **Cálculo de la masa de refuerzos**

El porcentaje volumétrico para este caso ya está especificado, la fracción volumétrica de la fibra de abacá es 18,25% y de la fibra de algodón 6,75% dando un total de 25% de la fracción total para los refuerzos.

**VOLUMEN DE REFUERZOS (25%)**

$$V_T = 561,15\text{cm}^3$$

$$f_r = 25\%$$

$$\begin{array}{l} 561,15\text{ cm}^3 \longrightarrow 100\% \\ \text{Volumen de refuerzos} \longrightarrow 25\% \end{array}$$

$$\text{Volumen de refuerzos} = \frac{561,15\text{ cm}^3 * 25\%}{100\%}$$

$$\text{Volumen de refuerzos} = 140,29\text{cm}^3$$

El volumen total para los refuerzos es de  $140,29\text{cm}^3$  del cual se procede a distribuir dicho valor para las fracciones propuestas.

- **Fibra de abacá**

$$V_T = 140,29\text{cm}^3$$

$$f_{f1} = 18,25\%$$

$$\begin{array}{l} 140,29\text{ cm}^3 \longrightarrow 25\% \\ \text{Volumen de fibra de abacá} \longrightarrow 18,25\% \end{array}$$

$$\text{Volumen de fibra de abacá} = \frac{140,29\text{ cm}^3 * 18,25\%}{25\%}$$

$$\text{Volumen de fibra de abacá} = 102,41\text{cm}^3$$

El volumen de fibra de abacá para este caso es de  $102,41\text{cm}^3$ , con el cual se puede determinar la masa que interviene en este proceso. La siguiente ecuación ayuda encontrar el valor de la masa. Destacando que la masa real es  $\frac{1}{2}$  de masa calculada.

$$m = \rho * V$$

$$m = 1,3 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} * 102,41 \text{cm}^3$$

$$m = 133,13 \text{g}/2$$

$$m = 66,57 \text{g}$$

- **Fibra de algodón**

El volumen de  $140,29 \text{cm}^3$  aplica como parámetro para calcular la fracción de fibra de algodón.

$$V_T = 140,29 \text{cm}^3$$

$$f_{f2} = 6,75\%$$

$$140,29 \text{ cm}^3 \longrightarrow 25\%$$

$$\text{Volumen de fibra de algodón.} \longrightarrow 6,75\%$$

$$\text{Volumen de fibra de algodón.} = \frac{140,29 \text{ cm}^3 * 6,75\%}{25\%}$$

$$\text{Volumen de fibra de algodón.} = 37,88 \text{cm}^3$$

El volumen de fibra de algodón para este caso es de  $37,88 \text{cm}^3$ , con el cual se puede determinar la masa que interviene en el desarrollo del material. La masa real es 1/3 de masa calculada.

$$m = \rho * V$$

$$m = 1,08 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} * 37,88 \text{cm}^3$$

$$m = 40,91 \text{g}/3$$

$$m = 13,64 \text{g}$$

Concluyendo con este caso se obtiene que el volumen total de trabajo para la elaboración de material es de  $561,15 \text{cm}^3$ , del cual el 75% forma parte de la matriz de resina epóxica con un valor equivalente a  $420,86 \text{cm}^3$ , cabe destacar que este dato sirve para determinar la cantidad de endurecedor con la relación de 1:5 obteniendo un valor de  $84,17 \text{cm}^3$ , el 25% restante se divide en 18,25% para la fracción volumétrica de fibra de abacá, obteniendo un valor de masa real correspondiente a  $66,57 \text{g}$  y el 6,25% para la fibra de algodón dando como resultado una masa real de  $13,64 \text{g}$ .



**b) Cálculo de la fracción volumétrica de 70 % de matriz (resina epóxica), refuerzos 25,5 % (fibra de abacá) y 4,5 (fibra de algodón)**

Como es establecido en la sección anterior el volumen establecido de trabajo es  $561,15\text{cm}^3$  del cual se toma las fracciones respectivas para determinar los parámetros necesarios para el presente caso.

Datos.

Fracciones Volumétricas.

$$f_m = 70\%$$

$$f_{f1} = 25,5\%$$

$$f_{f2} = 4,5\%$$

El volumen total del molde se lo divide para los porcentajes de la matriz 70% y refuerzos 30% obteniendo los valores volumétricos y máxicos de cada fracción.

**VOLUMEN DE LA MATRIZ (70%)**

$$V_T = 561,15\text{cm}^3$$

$$f_m = 70\%$$

$$561,15 \text{ cm}^3 \longrightarrow 100\%$$

$$\text{Volumen de resina epóxica} \longrightarrow 70\%$$

$$\text{Volumen de resina epóxica} = \frac{561,15 \text{ cm}^3 * 70\%}{100\%}$$

$$\text{Volumen de resina epóxica} = 392,81\text{cm}^3$$

El volumen de resina epóxica es de  $392,81\text{cm}^3$  para fabricar las probetas, se sabe que la fracción del endurecedor es la relación de 1:5 del volumen total para lo cual el valor queda dispuesto en  $78,56 \text{ cm}^3$

**VOLUMEN DE REFUERZOS (30%)**

El refuerzo es de 30% del volumen total del cual se especifica que la fracción volumétrica de la fibra de abacá es 25,5% y de la fibra de algodón 4,5% cumpliendo el porcentaje del refuerzo para el material, a continuación se calcula el volumen que corresponde a los refuerzos.

$$V_T = 561,15\text{cm}^3$$

$$f_r = 30\%$$

$$\begin{array}{l} 561,15 \text{ cm}^3 \longrightarrow 100\% \\ \text{Volumen de refuerzos} \longrightarrow 30\% \end{array}$$

$$\text{Volumen de refuerzos} = \frac{561,15 \text{ cm}^3 * 30\%}{100\%}$$

$$\text{Volumen de refuerzos} = 168,35 \text{ cm}^3$$

- **Fibra de abacá**

El volumen total para los refuerzos es de  $168,35 \text{ cm}^3$  del cual se procede a distribuir para las fracciones de cada fibra de la siguiente forma.

$$V_T = 168,35 \text{ cm}^3$$

$$f_{f1} = 25,5\%$$

$$\begin{array}{l} 168,35 \text{ cm}^3 \longrightarrow 30\% \\ \text{Volumen de fibra de abacá} \longrightarrow 25,5\% \end{array}$$

$$\text{Volumen de fibra de abacá} = \frac{168,35 \text{ cm}^3 * 25,5\%}{30\%}$$

$$\text{Volumen de fibra de abacá} = 143,10 \text{ cm}^3$$

El volumen de fibra de abacá es de  $143,10 \text{ cm}^3$ , con el cual se puede determinar la masa que interviene en este caso. La siguiente fórmula ayuda encontrar el valor de la masa. Se detalla que la masa real es  $\frac{1}{2}$  de la masa calculada.

$$m = \rho * V$$

$$m = 1,3 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} * 143,10 \text{ cm}^3$$

$$m = 186,03 \text{ g}/2$$

$$m = 93,02 \text{ g}$$

- **Fibra de algodón**

El volumen para los refuerzos es de  $140,29 \text{ cm}^3$  del cual se procede a distribuir para cada tipo de fibra.

$$V_T = 168,35 \text{ cm}^3$$

$$f_{f2} = 4,5\%$$

$$168,35 \text{ cm}^3 \longrightarrow 30\%$$

$$\text{Volumen de fibra de algodón} \longrightarrow 4,5\%$$

$$\text{Volumen de fibra de algodón} = \frac{168,35 \text{ cm}^3 * 4,5\%}{30\%}$$

$$\text{Volumen de fibra de algodón} = 25,25 \text{ cm}^3$$

El volumen de fibra de algodón es de  $25,25 \text{ cm}^3$ , con el cual se puede determinar la masa que interviene en elaboración del material. La siguiente ecuación ayuda encontrar el valor de la masa real que se obtiene de la relación de 1/3 de la masa calculada.

$$m = \rho * V$$

$$m = 1,08 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} * 25,25 \text{ cm}^3$$

$$m = 27,27 \text{ g}/3$$

$$m = 9,10 \text{ g}$$

Se concluye que en esta sección se posee un volumen total de trabajo de  $561,15 \text{ cm}^3$ , del cual el 70% forma parte de la matriz de resina epóxica con un valor equivalente a  $392,81 \text{ cm}^3$  cantidad que se ocupa para calcular el volumen del endurecedor, destacando que el valor del endurecedor es porcentaje de la relación de 1:5 de la resina dando un valor de  $78,56 \text{ cm}^3$ , el 30% se divide en 25,5% para la fracción de fibra de abacá de la cual se obteniendo la masa real correspondiente a 93,02g y el 4,5% para la fibra de algodón con una masa equivalente a 9,10g.

**c) Cálculo de la fracción volumétrica de 65 % de matriz (resina epóxica), refuerzos 30,5 % (fibra de abacá) y 4,5 (fibra de algodón)**

El volumen de trabajo total de  $561,15 \text{ cm}^3$  proporciona información para calcular las fracciones respectivas determinando los parámetros necesarios para el caso.

Datos.

Fracciones Volumétricas.

$$f_m = 65\%$$

$$f_{f1} = 30,5\%$$

$$f_{f2} = 4,5\%$$

### **VOLUMEN DE LA MATRIZ (65%)**

El volumen total del molde se lo divide para los porcentajes de la matriz 65% y refuerzos 35% obteniendo los valores volumétricos y másicos de cada fracción.

$$V_T = 561,15\text{cm}^3$$

$$f_m = 65\%$$

$$561,15 \text{ cm}^3 \longrightarrow 100\%$$

$$\text{Volumen de resina epóxica} \longrightarrow 65\%$$

$$\text{Volumen de resina epóxica} = \frac{561,15 \text{ cm}^3 * 65\%}{100\%}$$

$$\text{Volumen de resina epóxica} = 364,75\text{cm}^3$$

La matriz de resina epóxica es de  $364,75\text{cm}^3$  para elaborar las probetas, se conoce que la fracción del endurecedor es la relación de 1:5 del volumen total para lo cual el valor queda dispuesto en  $72,95 \text{ cm}^3$

### **VOLUMEN DE LOS REFUERZOS (35%)**

El refuerzo para este caso es 35% del volumen total del cual se especifica que la fracción volumétrica de la fibra de abacá es 30,5% y de la fibra de algodón 4,5% cumpliendo el porcentaje del refuerzo para el material, a continuación se calcula el volumen que corresponde a los refuerzos.

$$V_T = 561,15\text{cm}^3$$

$$f_r = 35\%$$

$$561,15 \text{ cm}^3 \longrightarrow 100\%$$

$$\text{Volumen de refuerzos} \longrightarrow 35\%$$

$$\text{Volumen de refuerzos} = \frac{561,15 \text{ cm}^3 * 35\%}{100\%}$$

$$\text{Volumen de refuerzos} = 196,40\text{cm}^3$$

- **Fibra de abacá**

El volumen total es de  $196,40\text{cm}^3$  del cual se procede a distribuir para las fracciones de cada fibra de la siguiente forma.

$$V_T = 196,40\text{cm}^3$$

$$f_{f1} = 30,5\%$$

$$196,40\text{ cm}^3 \longrightarrow 30\%$$

$$\text{Volumen de fibra de abacá} \longrightarrow 30,5\%$$

$$\text{Volumen de fibra de abacá} = \frac{196,40\text{ cm}^3 * 30,5\%}{35\%}$$

$$\text{Volumen de fibra de abacá} = 171,15\text{cm}^3$$

El volumen de fibra de abacá es  $171,15\text{cm}^3$ , con el cual se puede determinar la masa que interviene en este caso. La siguiente fórmula ayuda encontrar el valor de la masa. La masa real se deduce del 1/2 de la masa calculada.

$$m = \rho * V$$

$$m = 1,3 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} * 171,15\text{cm}^3$$

$$m = 222,50\text{g}/2$$

$$m = 111,25\text{g}$$

- **Fibra de algodón**

El volumen para los refuerzos es de  $196,40\text{cm}^3$  del cual se procede a calcular el valor para la fibra de algodón.

$$V_T = 196,40\text{cm}^3$$

$$f_{f2} = 4,5\%$$

$$196,40\text{ cm}^3 \longrightarrow 30\%$$

$$\text{Volumen de fibra de algodón} \longrightarrow 4,5\%$$

$$\text{Volumen de fibra de algodón} = \frac{196,40\text{ cm}^3 * 4,5\%}{35\%}$$

$$\text{Volumen de fibra de algodón} = 25,25\text{cm}^3$$

El volumen de fibra de algodón es de  $25,25\text{cm}^3$ , con el cual se puede determinar la masa que interviene en caso. La siguiente ecuación ayuda encontrar el valor de la masa. La masa real proviene del 1/3 de la masa calculada.

$$m = \rho * V$$

$$m = 1,08 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} * 25,25\text{cm}^3$$

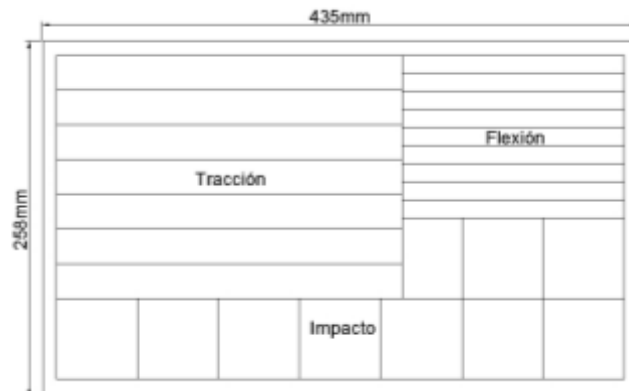
$$m = 27,27\text{g}/3$$

$$m = 9,10\text{g}$$

Para este caso se concluye que el volumen total de trabajo es  $561,15\text{cm}^3$ , del cual el 65% forma parte de la matriz de resina epóxica con un volumen equivalente a  $364,75\text{cm}^3$  recalando que este dato sirve para determinar la cantidad de endurecedor que se ocupe tomando como referencia la relación de 1:5 adquiriendo un valor de  $72,95\text{cm}^3$ , el 35% del refuerzo se divide en 30,5% para la fracción de fibra de abacá de la cual se calcula una masa real correspondiente a 111,25g y el 4,5% para la fibra de algodón con un valor de 9,10g equivalente a la masa real.

#### 4.1.4. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL MOLDE

El proceso de elaboración del molde se lo realiza tomando en cuenta que ya se especificó las dimensiones y el número de probetas a realizar en el área de trabajo que tiene una capacidad de 435x258x5mm. Establecido el área de trabajo se procede a realizar la distribución para las probetas de la siguiente forma.



**Figura. 21** Distribución de las probetas en el perímetro del molde.

**Fuente:** Autor

El diseño determinado se encuentra estructurado como muestra la figura en la cual se define que el molde constara de 7 probetas de tracción, 9 probetas de flexión y 9 probetas de impacto el número adicional de probetas es por cualquier percance que se presente como fallas de moldeo, setup o cualquier otro.

El diseño garantiza que todas las probetas por caso tengan la misma distribución e igual orientación de fibras. El dimensionamiento de cada probeta esta normalizado bajo las normas ASTM para cada tipo de ensayo destacando que se realiza un sobre dimensionamiento de 13mm por el perímetro del molde para la realización del corte de las probetas en sus dimensiones específicas.

La dimensión de las probetas para los ensayos a realizar está especificada en siguiente tabla. El espesor acogido del material híbrido es de 5mm.

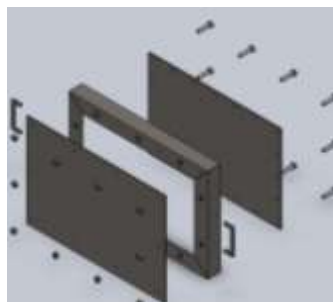
**Tabla 13.** Tipos de ensayos.

<b>Tipo de ensayo</b>	<b>Normativa</b>	<b>Dimensiones (mm)</b>
Tracción	ASTM D3039M-00	250*25
Flexión	ASTM 7264M-07	160*13
Impacto	ASTM 5628-10	58*58

**Fuente:** Autor

#### **4.1.4.1 ELABORACIÓN DE LOS PLANOS DE CONSTRUCCIÓN DEL MOLDE**

Los planos se los realiza mediante el uso de un software CAD donde se diseña las partes principales del cual está construido el molde. La siguiente figura muestra las partes principales del molde.



**Figura. 22** Componentes del molde.



**Fuente:** Autor

- Base
- Marco
- Tapa
- Agarraderas



#### 4.1.4.2 CONSTRUCCIÓN DEL MOLDE

Los materiales utilizados para la construcción del molde están conformados de acero estructural A 36, las características de cada elemento se presenta en la siguiente tabla.

**Tabla 14.** Construcción del molde

Descripción	Característica	Representación
<b>Tapa</b>	Las dimensiones de la tapa son 356*530mm con un espesor de 12mm, en este elemento se realizan 10 perforaciones siguiendo las especificaciones de los planos de construcción La función de la tapa es transferir una presión adecuada sobre el área de moldeo asegurando la correcta distribución de la resina por todo el molde.	 <p><b>Figura. 23</b> Tapa <b>Fuente:</b> Autor</p>
<b>Base</b>	La base consta de varias perforaciones ya que este elemento debe sujetarse con el marco y la tapa al momento de realizar el material. Sus dimensiones son 506*332mm con un espesor de 12 mm, el espesor es por cuestión de seguridad con el fin de que la base no presente deformaciones y el material pueda tener un buen acabado y homogeneidad.	 <p><b>Figura. 24</b> Base <b>Fuente:</b> Autor</p>



<p><b>Marco</b></p>	<p>El marco está construido con perfil nacional de 50*50*5mm las dimensiones y perforaciones que lo conforman son detalladas en los planos.</p>	 <p><b>Figura. 25</b> Taladrado del marco <b>Fuente:</b> Autor</p>
<p><b>Ensamble del molde</b></p>	<p>Una vez realizado los compones fundamentales se ensamblan las partes del mismo, se procede a ajustar la base con el marco inspeccionando que la sujeción sea segura para que no se presenten filtraciones de la resina al momento de montar los materiales que conforman el material híbrido. En la tapa se suelda las agarraderas con el fin de facilitar la manipulación en el ínstate de moldear y desmoldar el material.</p>	 <p><b>Figura. 26</b> Molde ensamblado <b>Fuente:</b> Autor</p>

**Fuente:** Autor

#### 4.1.4.3 CONTROL DE CALIDAD DEL MOLDE

El control de calidad del molde se lo realiza en dos etapas la primera inspeccionando de forma visual el ensamble del molde, soldadura y el estado del material, mientras que la segunda etapa consiste en elaborar una probeta de material híbrido del 70% de matriz de resina epóxica y 30% de refuerzo de fibra de abacá que se la estratifica en 1 cm de longitud en orientación al azar. La evaluación de las características del molde son aceptables y la probeta estratificada no presenta defectos de porosidad o ausencia de adhesión.



**Figura. 27** Evaluación del molde

**Fuente:** Autor

#### 4.1.5. TEJIDO PLANO ENTRE LAS FIBRAS DE ALGODÓN Y ABACÁ

La especificación de la configuración del tejido plano se presenta en la sección 2.1.8. El tejido se lo realiza en la parroquia de Salasaca, cantón Pelileo, provincia de Tungurahua en un telar manual. Las acciones principales que se desarrolla en la elaboración del tejido son: pisar un pedal para abrir la calada eso significa que las fibras de algodón permite pasar la trama (fibra de abacá) para posteriormente ajustar la pasada con el batán para ir formando el elemento textil.



**Figura. 28** Telar textil.

**Fuente:** Autor

##### 4.1.5.1 CONFIGURACIÓN DE LOS TEJIDOS PLANOS

La configuración de los tejidos planos se los realiza con la masa real calculada en la sección 4.1.3.3, la distribución de la fibra se la ejecuta en el ancho del molde en forma equitativa teniendo en cuenta el número de capas ya establecidas de la siguiente forma.

- a) Configuración de tejido plano fracción volumétrica de 75 % de matriz (resina epóxica), refuerzos 18,25 % (fibra de abacá) y 6,75 (fibra de algodón)**

Los datos de las fracciones volumétricas propuestas son:

- **Volumen resina epóxica y endurecedor**

$$\text{Volumen de resina epóxica} = 420,86\text{cm}^3$$

$$\text{Volumen del endurecedor} = 84,17\text{cm}^3$$

- **Masa real fibra de abacá**

$$m=66,57g$$

- **Distribución de fibra de abacá**

La distribución de la fibra de abacá se realiza tomando en cuenta que en los experimentos elaborados 1 capa del tejido de fibra de abacá de 28,09g contiene 1677 unidades de fibra de 435mm este dato sirve como referencia para repartir la fibra por en ancho del molde para todos los casos. Para el presente caso se determina el número de fibra que contiene la masa determinada.

$$28,09g \longrightarrow 1677 \text{ unidades de fibra}$$

$$66,57g \longrightarrow X$$

$$\text{Unidades de fibra} = \frac{66,57g \cdot 1677u}{28,09g}$$

$$\text{Unidades de fibra} = 3992,3 = 3992$$

El número de fibras obtenidas es 3992 unidades las mismas se distribuyen a un espacio determinado de 2,5mm en el ancho del molde de 258mm calculando así el número de filas en función del espacio requerido.

$$\text{Número de filas} = 258 / 2,5mm$$

$$\text{Número de filas} = 103,2 = 103mm$$

Tomando la consideración que el material para este caso está compuesto de 3 capas se divide el número de fibras totales para el número de capas.

$$\text{Fibras por capa} = \frac{3992u}{3}$$

$$\text{Fibras por capa} = 1330,67 = 1331 \text{ unidades}$$

Una vez desarrollado, se toma este dato y se lo divide para número el número de filas y se obtiene la cantidad de fibras por fila que se distribuirá en el área de trabajo.

$$\text{Fibras por fila} = 1331 / 103$$

$$\text{Fibras por fila} = 12,92 = 13 \text{ unidades.}$$

- **Masa real fibra de algodón**

$$m=13,64g$$

Mediante la experimentación se concluyó que cada capa del tejido plano está diseñada con 2,25% de masa de fibra de algodón correspondiente a una masa de 4,64g. El caso presente consta de 3 capas por ende se comprueba que la masa real de la fibra de algodón este en proporción adecuada.

$$m = \frac{13,64g}{3}$$

$$m = 4,55g$$

La masa real se la divide para el número de capas y se encuentra que cada capa tendrá 4,55g de fibra de algodón valor que se asemeja al valor adquirido por la experimentación de 4,64g

- **Parámetros de tejido**

El caso establecido se utiliza para desarrollar tres caracterizaciones las cuales se presentan a continuación.

**Tabla 15.** Composición caso (a)

Nº	Tipo de Tejido Nº de Fibras por fila de Abacá	Fracción Volumétrica de Resina Epóxica	Fracción Volumétrica de Refuerzos		Número de Capas de tejido plano	Orientación de Fibras		Porcentaje volumétrico por capa	
			Fibra de Abacá	Fibra de Algodón		Fibra de Abacá	Fibra de Algodón		
1	Tejido Plano (13)	75%	18,25%	6,75%	3	0°	90°	22,19g	4,55g
						90°	0°		
						0°	90°		
2	Tejido Plano (13)	75%	18,25%	6,75%	3	45°	135°	22,19g	4,55g
						0°	90°		
						135°	45°		
3	Tejido Plano (13)	75%	18,25%	6,75%	3	0°	90°	22,19g	4,55g
						45°	135°		
						0°	90°		

Fuente: Autor

Los datos obtenidos permiten desarrollar los tejidos para la conformación del material híbrido como se muestra en la figura 29.



**Figura. 29** Elaboración de tejidos.

**Fuente:** Autor

**b) Configuración de tejido plano fracción volumétrica de 70 % de matriz (resina epóxica), refuerzos 25,5 % (fibra de abacá) y 4,5 (fibra de algodón)**

Las fracciones volumétricas propuestas son:

- **Volumen resina epóxica y endurecedor**

$$\text{Volumen de resina epóxica} = 392,81\text{cm}^3$$

$$\text{Volumen del endurecedor} = 78,56\text{cm}^3$$

- **Masa real fibra de abacá**

$$m=93,02\text{g}$$

- **Distribución de fibra de abacá**

La distribución de la fibra de abacá se efectúa tomando en cuenta los experimentos donde 1 capa del tejido de fibra de abacá de 28,09g contiene 1677 unidades de fibra de longitud de 435mm, dato que sirve como referencia para distribuir la fibra por el ancho del molde para todos los casos. Para el presente caso se determina el número de fibra que contiene en la masa determinada.

$$28,09\text{g} \longrightarrow 1677 \text{ unidades de fibra}$$

$$93,02\text{g} \longrightarrow X$$

$$\text{Unidades de fibra} = \frac{93,02\text{g} \cdot 1677\text{u}}{28,09\text{g}}$$

$$\text{Unidades de fibra} = 5553,4 = 5553 \text{ unidades}$$

El número de fibras obtenidas es 5553 unidades las mismas se distribuyen a un espacio determinado de 1,5mm en el ancho del molde de 258mm, calculando así el número de filas en función del espacio requerido.

$$\text{Número de filas} = 258 / 1,5\text{mm}$$

$$\text{Número de filas} = 172\text{mm}$$

Tomando la consideración que el material para este caso está compuesto de 2 capas de tejido plano se divide el número de fibras total para el número de capas.

$$\text{Fibras por capa} = \frac{5553\text{u}}{2}$$

$$\text{Fibras por capa} = 2776,5 = 2777 \text{ unidades}$$

Una vez desarrollado, se toma este dato y se lo divide para número el número de filas y se obtiene la cantidad de fibras por fila que se distribuirá en el área de trabajo.

$$\text{Fibras por fila} = 2777 / 172$$

$$\text{Fibras por fila} = 16,15 = 16 \text{ unidades.}$$

- **Masa real fibra de algodón**

$$m = 9,10\text{g}$$

Mediante la experimentación se concluyó que cada capa del tejido plano está diseñada con 2,25% de masa de fibra de algodón correspondiente a una masa de 4,64g. El caso consta de 2 capas por ende se comprueba que la masa real de la fibra de algodón este en proporción adecuada.

$$m = \frac{9,10\text{g}}{2}$$

$$m = 4,55\text{g}$$

La masa real se la divide para el número de capas y se encuentra que cada capa tendrá 4,55g de fibra de algodón valor que se asimila al valor adquirido por la experimentación de 4,64g

- **Parámetros de tejido**

El caso establecido se utiliza para desarrollar dos caracterizaciones las cuales se presentan a continuación.

**Tabla 16.** Composición caso (b)

Nº	Tipo de Tejido Nº de Fibras por fila de Abacá	Fracción Volumétrica de Resina Epóxica	Fracción Volumétrica de Refuerzos		Número de Capas de tejido plano	Orientación de Fibras		Porcentaje volumétrico por capa	
			Fibra de Abacá	Fibra de Algodón		Fibra de Abacá	Fibra de Algodón	Fibra de Abacá	Fibra de Algodón
1	Tejido Plano (16)	70%	25,50%	4,50%	2	0°	90°	46,51g	4,55g
						90°	0°		
2	Tejido Plano (16)	70%	25,50%	4,50%	2	0°	90°	46,51g	4,55g
						135°	45°		

Fuente: Autor

El tejido plano donde la orientación de fibras son en ángulos de 135° y 45° se necesita un sobre dimensionamiento para poder formar el tejido con el ángulo requerido.



**Figura. 30** Tejido sobre dimensionado para orientación de fibras en ángulos de 135° y 45°.

Fuente: Autor

**c) Configuración de tejido plano fracción volumétrica de 65 % de matriz (resina epóxica), refuerzos 30,5 % (fibra de abacá) y 4,5 (fibra de algodón)**

Las fracciones volumétricas planteadas son:

- **Volumen resina epóxica y endurecedor**

$$\text{Volumen de resina epóxica} = 364,75\text{cm}^3$$

$$\text{Volumen del endurecedor} = 72,95\text{cm}^3$$

- **Masa real fibra de abacá**

$$m=111,25g$$

- **Distribución de fibra de abacá**

La distribución de la fibra de abacá se realiza con la información de los experimentos 1 capa del tejido de fibra de abacá de masa de 28,09g contiene 1677 unidades de fibra de 435mm este dato sirve de referencia para repartir la fibra por en ancho del molde para todos los casos. Para el presente caso se calcula el número de fibra que contiene la masa determinada.

$$28,09g \longrightarrow 1677 \text{ unidades de fibra}$$

$$111,25g \longrightarrow X$$

$$\text{Unidades de fibra} = \frac{111,25g \cdot 1677u}{28,09g}$$

$$\text{Unidades de fibra} = 6641,73 = 6642 \text{ unidades}$$

El número de fibras obtenidas es 6642 unidades las mismas se distribuyen a un espacio determinado de 1,5mm en el ancho del molde de 258mm calculando así el número de filas en función del espacio requerido.

$$\text{Número de filas} = 258/1,5mm$$

$$\text{Número de filas} = 172mm$$

Tomando la consideración que el material para este caso está compuesto de 2 capas se divide el número de fibras total para el número de capas.

$$\text{Fibras por capa} = \frac{6642u}{2}$$

$$\text{Fibras por capa} = 3321 \text{ unidades}$$

Desarrollado, se toma este dato y se lo divide para número el número de filas y se obtiene la cantidad de fibras por fila que se distribuirá en el área de trabajo por capa.

$$\text{Fibras por fila} = 3321/172$$

$$\text{Fibras por fila} = 19,31 = 19 \text{ unidades.}$$



- **Masa real fibra de algodón**

$$m=9,10g$$

Mediante la experimentación se concluyó que cada capa del tejido plano está diseñada con una fracción volumétrica de 2,25%, la masa de fibra de algodón corresponde a una masa de 4,64g. El caso consta de 2 capas por ende se comprueba que la masa real de la fibra de algodón este en proporción adecuada.

$$m = \frac{9,10g}{2}$$

$$m = 4,55g$$

- **Parámetros de tejido**

El caso establecido utiliza dos caracterizaciones las cuales se presentan a continuación.

**Tabla 17.** Composición caso (c)





N°	Tipo de Tejido	Fracción Volumétrica de Resina Epóxica	Fracción Volumétrica de Refuerzos		Número de Capas de tejido plano	Orientación de Fibras		Porcentaje volumétrico por capa	
			Fibra de Abacá	Fibra de Algodón		Fibra de Abacá	Fibra de Algodón	Fibra de Abacá	Fibra de Algodón
1	Tejido Plano (19)	65%	30,50%	4,50%	2	0°	90°	55,63g	4,55g
						90°	0°		
2	Tejido Plano (19)	65%	30,50%	4,50%	2	45°	135°	55,63g	4,55g
						0°	90°		

Fuente: Autor

#### 4.1.6. ELABORACIÓN DE PROBETAS DE MATERIAL HÍBRIDO MEDIANTE ESTRATIFICACIÓN POR COMPRESIÓN

Las fracciones volumétricas establecidas permiten realizar el moldeo de las probetas mediante estratificación a compresión para todos los casos.

**Tabla 18.** Proceso de elaboración de probetas

<b>Proceso de moldeo de probetas</b>	
<p><b>1. Preparación del área de moldeo</b></p> <p>Se procede a limpiar el área de trabajo y la tapa del molde con el líquido polivinílico para eliminar cualquier residuo o partícula que cause imperfecciones en el material híbrido dejándolo reposar por un tiempo de 15 minutos, posteriormente se aplica cera desmoldante con el fin de evitar la adherencia de la resina con las partes del molde inmersas en el proceso.</p>	 <p><b>Figura. 31</b> Preparación del molde</p> <p><b>Fuente:</b> Autor</p>
<p><b>2. Preparación de tejidos plano.</b></p> <p>Los tejidos son inspeccionados con la intención de evaluar que contengan las dimensiones y orientaciones de fibras adecuadas.</p>	 <p><b>Figura. 32</b> Preparación del refuerzo.</p> <p><b>Fuente:</b> Autor</p>
<p><b>3. Preparación de la Matriz</b></p> <p>La matriz que está constituida de resina epóxica se la prepara con el endurecedor en una relación de 1:5, en cada caso propuesto se identifica las respectivas fracciones de la siguiente forma.</p> <p>a) La fracción volumétrica del 75% de matriz contiene un volumen de 420,86 cm<sup>3</sup> de resina epóxica y el endurecedor 84,17 cm<sup>3</sup>, las condiciones mostradas se replica para tres casos establecidos con dichas fracciones volumétricas.</p> <p>b) La fracción volumétrica del 70% de matriz representa un volumen de 392,81 cm<sup>3</sup> de resina epóxica y el endurecedor 78,56 cm<sup>3</sup>, esta fracción se replica para dos casos establecidos.</p>	 <p><b>Figura. 33</b> Aplicación de cera desmoldante</p> <p><b>Fuente:</b> Autor</p>  <p><b>Figura. 34</b> Resina y endurecedor</p> <p><b>Fuente:</b> Autor</p>

c) La fracción volumétrica del 65% de matriz abarca un volumen de resina epóxica de 364,75 cm<sup>3</sup> y el endurecedor 72,95 cm<sup>3</sup>, esta fracción se replica para los dos casos finales.

Los valores detallados son previamente calculados con el fin de que la adherencia entre el refuerzo y matriz sea óptima.



**Figura. 35** Vaso de precipitación  
**Fuente:** Autor

**4. Conformación del material híbrido**

Una vez realizada la conformación de la matriz se la vierte en porciones adecuadas cubriendo toda el área de trabajo para luego colocar el tejido de refuerzo verificando que se sumerja en la matriz, luego se repite el proceso con el resto de capas, cuando el molde este completamente lleno se lo sella con la tapa y se ajusta los pernos en forma aleatoria para poseer una aceptable distribución de la resina con un buen acabado superficial.



**Figura. 36** Ajuste del molde  
**Fuente:** Autor

**5. Desmolde del material híbrido**

El desmolde se lo realiza en tiempo de 24 horas para que la resina se seque, se procede a retirar las tuercas y la tapa para desmoldar el material.



**Figura. 37** Desmolde  
**Fuente:** Autor

**6. Corte de probetas**

Cuando el material se encuentra desmoldado se inspecciona la calidad del elemento para ser enviado al corte por láser y efectuar las diferentes probetas para los ensayos de tracción, flexión e impacto de acuerdo a la norma.



**Figura. 38** Probetas  
**Fuente:** Autor

**7. Colocación de las sobre montas en las probetas de tracción.**

La norma específica que las probetas a ser sometidas al ensayo tracción deben poseer una sobre monta de 56\*25mm con un espesor de 1,5mm la cual tiene como propósito evitar que las probetas se deslicen de las agarraderas al momento de ser sometidas al ensayo de tracción. El pegamento utilizado para unir cada sobre montas con la probeta es el cianoacrilato.



**Figura. 39** Probetas de tracción con sobremontas

**Fuente:** Autor

**Fuente:** Autor

**4.1.7. PARÁMETROS GENERALES DEL MATERIAL HÍBRIDO**

**Tabla 19.** Parámetros generales del material híbrido.

N°	Tipo de Tejido N° de Fibras por fila de Abacá	Fracción Volumétrica de Resina Epóxica matriz	Fracción Volumétrica de Refuerzos		Número de Capas	Orientación de Fibras		Número de probetas para el Ensayo	Dimensiones de probetas normativa ASTM (mm)
			Fibra de Abacá	Fibra de Algodón		Fibra de Abacá	Fibra de Algodón		
1	Tejido Plano (13)	75%	18,25%	6,75%	3	0°	90°	Tracción(5)	250*25*5
						90°	0°	Flexión(5)	160*13*5
						0°	90°	Impacto (8)	58*58*5
2	Tejido Plano (13)	75%	18,25%	6,75%	3	45°	135°	Tracción(5)	250*25*5
						0°	90°	Flexión(5)	160*13*5
						135°	45°	Impacto (8)	58*58*5
3	Tejido Plano (13)	75%	18,25%	6,75%	3	0°	90°	Tracción(5)	250*25*5
						45°	135°	Flexión(5)	160*13*5
						0°	90°	Impacto (8)	58*58*5
4	Tejido Plano (16)	70%	25,50%	4,50%	2	0°	90°	Tracción(5)	250*25*5
						90°	0°	Flexión(5)	160*13*5
5	Tejido Plano (16)	70%	25,50%	4,50%	2	0°	90°	Tracción(5)	250*25*5
						135°	45°	Flexión(5)	160*13*5
6	Tejido Plano (19)	65%	30,50%	4,50%	2	0°	90°	Tracción(5)	250*25*5
						90°	0°	Flexión(5)	160*13*5
7	Tejido Plano (19)	65%	30,50%	4,50%	2	45°	135°	Tracción(5)	250*25*5
						0°	90°	Flexión(5)	160*13*5
								Impacto (9)	58*58*5

**Fuente:** Autor

La tabla 19 describe los parámetros generales de la estratificación del material híbrido, la normativa, el número de probetas a ensayar y sus dimensiones

#### 4.1.7.1 DENSIDAD DE MATERIAL HÍBRIDO

La densidad del material híbrido se la determina con la ecuación establecida en la sección 4.1.3.1 para determinarla de la siguiente forma.

$$\rho_h = f_m \rho_m + f_{f1} \rho_{f1} + f_{f2} \rho_{f2} \quad [15]$$

$$\rho_h = 0,75 * 0,9586 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} + 0,1825 * 1,3 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} + 0,0675 * 1,08 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

$$\rho_h = 0,72 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} + 0,24 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} + 0,1 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

$$\rho_h = 1,06 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

La densidad general del material híbrido se estipula en un valor de 1,06 g/cm<sup>3</sup> para todas las caracterizaciones del material.

#### 4.1.8. ENSAYOS DE LAS PROBETAS DEL MATERIAL HÍBRIDO

El proceso para los ensayos se los realiza en base a la normativa ASTM para obtener las propiedades mecánicas del material. Los ensayos de tracción y flexión se los realiza en El Centro de Fomento Productivo Metalmeccánico Carrocero ubicado en el sector Catiglata – La Península, calles Toronto y Río de Janeiro, Ambato-Ecuador. La información de la Máquina Universal que se utiliza para la ejecución de los ensayos de tracción y flexión se presenta en la sección 2.1.9.1 en la cual indica parámetros adicionales de máquina y los ensayos de impacto se desarrollan en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, campus Huachi Chico mediante la máquina de Impacto por caída de dardo.

##### 4.1.8.1 CODIFICACIÓN PROBETAS

Las probetas son codificadas con números romanos y arábigos agrupados de la siguiente forma. “I (#)”

I-II-III: Representa la estratificación

I: 75% matriz y 25% refuerzo, número de capas 3

II: 70% matriz y 30% refuerzo, número de capas 2

III: 65% matriz y 35% refuerzo, número de capas 2

(Número): Los números corresponden a las probetas que son agrupadas en conjuntos de 5 elementos pero con una numeración continua de cada caso donde cada grupo específico representa a las probetas con sus características individuales.

(1-5), (6-10), (10-15): Las probetas para el caso I poseerán 3 conjuntos con su numeración continua y orientaciones determinadas, los casos II y III tendrán 2 conjuntos de elementos con su numeración respectiva y características.



**Figura. 40** Codificación de probetas

**Fuente:** Autor

#### **4.1.8.2 ENSAYO A TRACCIÓN**

El ensayo a tracción se realiza mediante la normativa ASTM D3039M-00 descrita en la sección 2.1.12.1 y anexo 1, este ensayo se realiza con 5 probetas ya que la norma abaliza este número de muestras para los ensayos, este ensayo pretende encontrar la resistencia máxima a la tracción, módulo de elasticidad y deformación unitaria parámetros que están establecidos. Finalizada toda la etapa de elaboración bajo medidas específicas se desarrolla el ensayo para los 7 casos a investigar con la misma metodología.

#### **4.1.8.3 ENSAYO A FLEXIÓN**

El ensayo a flexión se realiza bajo la norma ASTM D7264M-07 descrita en el apartado 2.1.12.2 y anexo 2, el número de probetas son 5 por cada caso, cantidad señalada mediante la norma como válida a utilizar en el proceso de ensayos.

Las propiedades que se requiere son resistencia máxima a la flexión y módulo de elasticidad.

#### **4.1.8.4 ENSAYO DE IMPACTO**

El ensayo de impacto se realiza con 9 probetas cumplido las especificaciones de la norma ASTM 5628-10 en la sección 2.1.12.3 se define los parámetros relevantes de la ejecución del ensayo, la norma es especificada en el anexo 3.

#### **4.1.9. RECOLECCIÓN DE DATOS**

La recolección de datos de los ensayos de tracción, flexión e impacto se los realiza mediante fichas técnicas que son realizadas para cuantificar la información pertinente de las propiedades mecánicas a determinar.

##### **4.1.9.1 TABULACIÓN DE DATOS OBTENIDOS EN EL ENSAYO A TRACCIÓN.**

Las siguientes fichas técnicas detalla los resultados obtenidos de los ensayos a tracción ejecutados mediante la norma técnica ASTM D3039M-00 para tabularlos y evaluarlos de forma general según cada caracterización del material.

##### **4.1.9.2 TABULACIÓN DE DATOS OBTENIDOS EN EL ENSAYO A FLEXIÓN**

Las siguientes fichas técnicas detalla los resultados obtenidos de los ensayos a flexión realizados mediante la norma técnica ASTM D7264M-07 para tabularlos y evaluarlos de forma general según cada caracterización del material híbrido.

##### **4.1.9.3 TABULACIÓN DE DATOS OBTENIDOS EN EL ENSAYO A IMPACTO**

El análisis de las probetas de impacto de material híbrido se muestran a continuación en las siguientes fichas técnicas se evalúa el comportamiento de cada caracterización realizada, el presente ensayo se realiza por el método de caída de dardo en base a la norma técnica ASTM 5628-10.



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



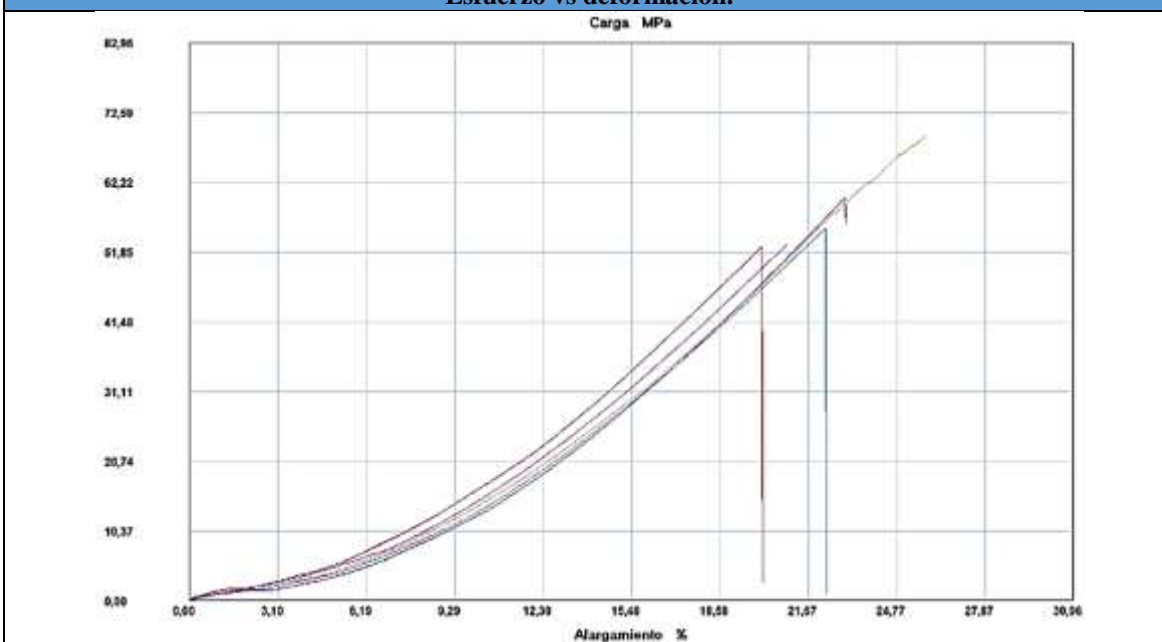
**FICHA TÉCNICA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DEL MATERIAL HÍBRIDO  
(Resina Epóxica+ Fibra de abacá + Fibra de Algodón)**

<b>Fecha:</b>	08-03-2017	<b>Tipo de ensayo:</b>	TRACCIÓN	<b>Registro:</b>	TR-01
<b>Laboratorio:</b>	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero				
<b>Norma aplicable:</b>	ASTM D3039M-00				
<b>Dimensiones:</b>	(250*25*4,82 espesor promedio)mm				
<b>Equipo:</b>	Máquina Universal de Ensayos	<b>Modelo:</b>	MTE-10/50		
<b>Composición del Material Híbrido.</b>					
<b>Matriz:</b>	Resina Epóxica	<b>Fracción Volumétrica:</b>	75%		
<b>Refuerzos:</b>	Fibra de Abacá	<b>Fracción Volumétrica:</b>	18,25%		
	Fibra de Algodón	<b>Fracción Volumétrica:</b>	6,75%		
<b>Número de capas:</b>	3	<b>Arreglo de fibras:</b>	Tejido Plano		
<b>Orientación de fibras</b>					
<b>Fibra de Abacá:</b>	0°	<b>Fibra de Algodón:</b>	90°		
<b>Fibra de Abacá:</b>	90°	<b>Fibra de Algodón:</b>	0°		
<b>Fibra de Abacá:</b>	0°	<b>Fibra de Algodón:</b>	90°		
<b>Número de probetas:</b>	5	<b>Estratificación:</b>	Compresión Manual		

**RESULTADO DEL ENSAYO**

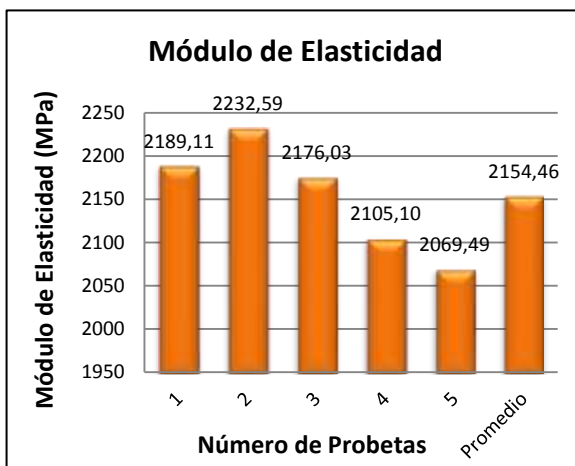
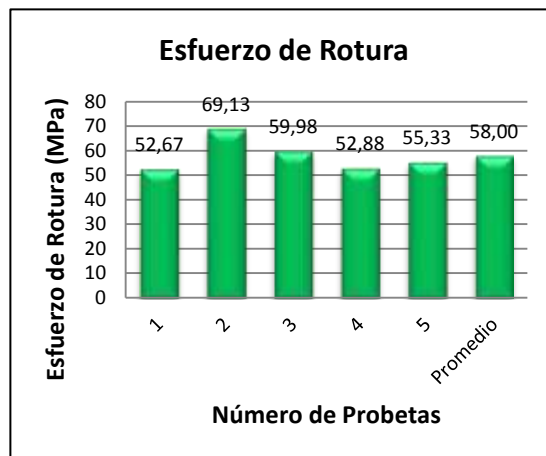
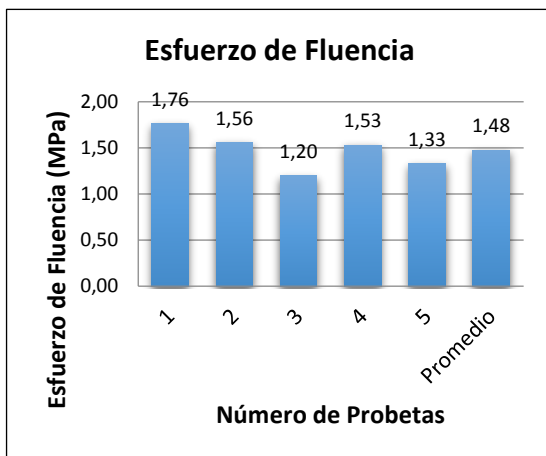
Muestra.	Carga máxima (N)	Esfuerzo de fluencia (MPa)	Esfuerzo de rotura (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	% Elongación	Tipo de falla
1	6410,63	1,76	52,67	2189,11	2,41	LGM
2	8376,58	1,56	69,13	2232,59	3,10	LAT
3	7005,46	1,20	59,98	2176,03	2,76	LAT
4	6448,50	1,53	52,88	2105,10	2,51	LGM
5	6547,90	1,33	55,33	2069,49	2,67	LGM
<b>Promedio</b>	6957,81	1,48	58,00	2154,46	2,69	
<b>Desviación estándar</b>	827,95	0,22	6,88	66,00	0,27	

**Esfuerzo vs deformación.**





## Gráficas de Resultados



## Probetas Ensayadas



Observación	Evaluación
<ul style="list-style-type: none"> <li>La matriz y el refuerzo presentan aceptable adherencia.</li> <li>Las sobremontas resisten la ejecución del ensayo.</li> <li>Se realiza el setup de una probeta extra.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Espesor nominal: 4,82mm.</li> <li>Esfuerzo máximo o de rotura promedio: 58,00 MPa.</li> <li>Módulo de elasticidad promedio: 2154,464MPa.</li> <li>Las probetas 1, 4, 5 presentan falla lateral en zona calibrada en la parte media y las 2, 3 fallas laterales en el agarre parte superior.</li> </ul>
<b>Elaborado por:</b> Sr. Geovanny Benavides	<b>Aprobado por:</b> Ing. Mg. Juan Paredes
<b>Revisado por:</b> Ing. Esteban López	<b>Validado por:</b> Ing. Mg. Juan Paredes

Fuente: Autor



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



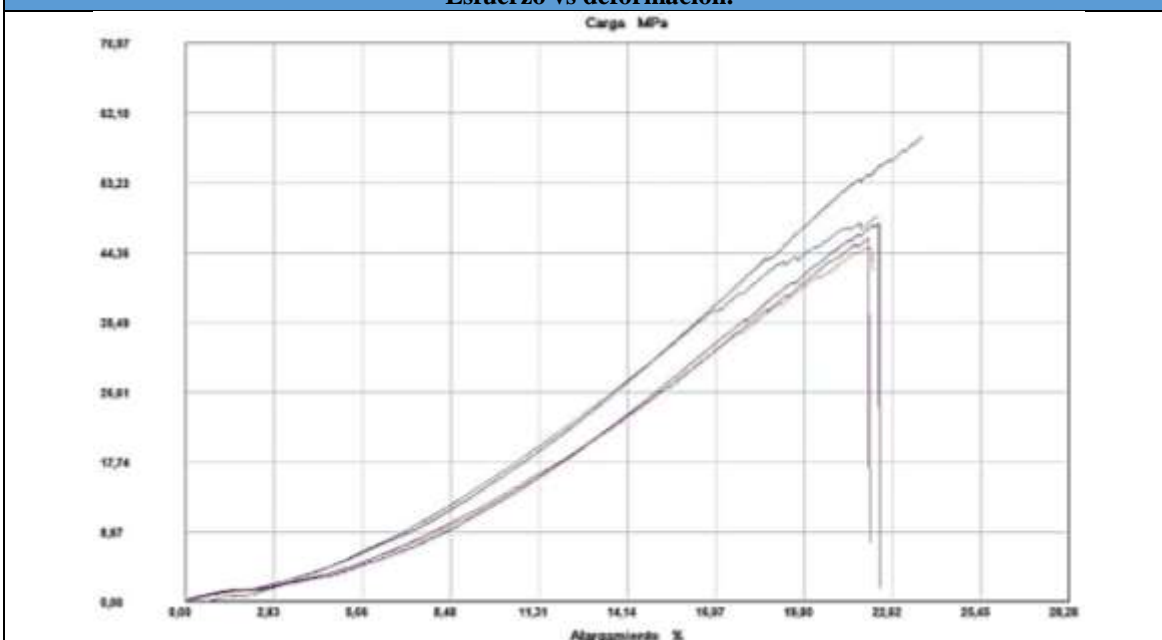
**FICHA TÉCNICA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DEL MATERIAL HÍBRIDO  
(Resina Epóxica+ Fibra de abacá + Fibra de Algodón)**

<b>Fecha:</b>	08-03-2017	<b>Tipo de ensayo:</b>	TRACCIÓN	<b>Registro:</b>	TR-02
<b>Laboratorio:</b>	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero				
<b>Norma aplicable:</b>	ASTM D3039M-00				
<b>Dimensiones:</b>	(250*25* 4,93espesor promedio)mm				
<b>Equipo:</b>	Máquina Universal de Ensayos	<b>Modelo:</b>	MTE-10/50		
<b>Composición del Material Híbrido.</b>					
<b>Matriz:</b>	Resina Epóxica	<b>Fracción Volumétrica:</b>	75%		
<b>Refuerzos:</b>	Fibra de Abacá	<b>Fracción Volumétrica:</b>	18,25%		
	Fibra de Algodón	<b>Fracción Volumétrica:</b>	6,75%		
<b>Número de capas:</b>	3	<b>Arreglo de fibras:</b>	Tejido Plano		
<b>Orientación de fibras</b>					
<b>Fibra de Abacá:</b>	45°	<b>Fibra de Algodón:</b>	135°		
<b>Fibra de Abacá:</b>	0°	<b>Fibra de Algodón:</b>	90°		
<b>Fibra de Abacá:</b>	135°	<b>Fibra de Algodón:</b>	45°		
<b>Número de probetas:</b>	5	<b>Estratificación:</b>	Compresión Manual		

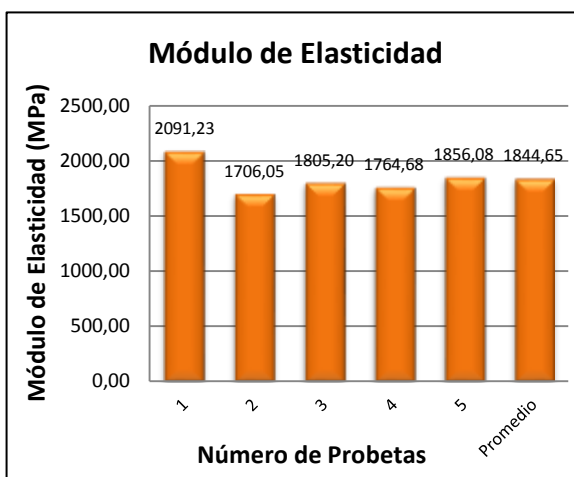
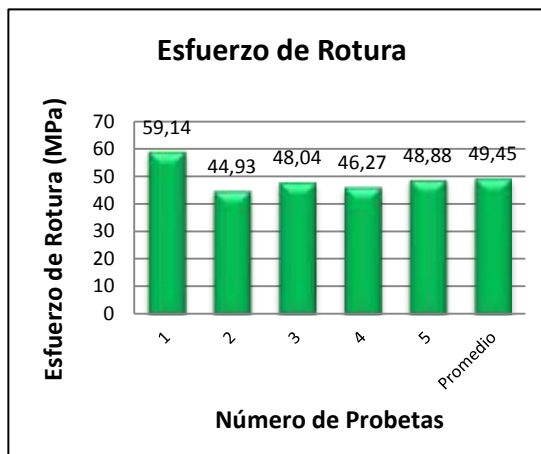
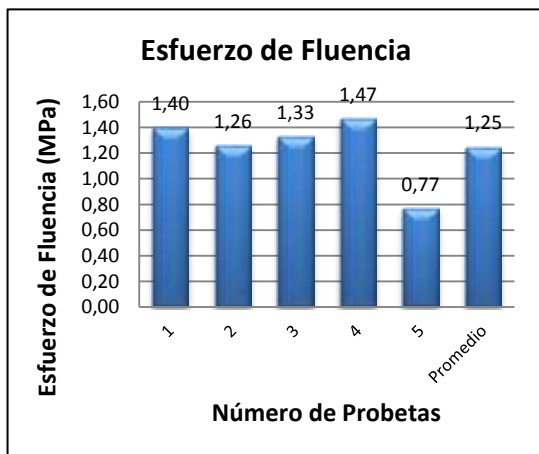
**RESULTADO DEL ENSAYO**

Muestra.	Carga máxima (N)	Esfuerzo de fluencia (MPa)	Esfuerzo de rotura (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	% Elongación	Tipo de falla
1	7316,29	1,40	59,14	2091,23	2,83	LGM
2	5569,66	1,26	44,93	1706,05	2,63	LGM
3	5927,82	1,33	48,04	1805,20	2,66	LGM
4	5702,19	1,47	46,27	1764,68	2,62	LGM
5	6121,89	0,77	48,88	1856,08	2,59	LGM
<b>Promedio</b>	6127,57	1,25	49,45	1844,65	2,67	
<b>Desviación estándar</b>	697,35	0,28	5,63	148,40	0,09	

**Esfuerzo vs deformación.**



## Gráficas de Resultados



## Probetas Ensayadas



Observación	Evaluación
<ul style="list-style-type: none"> <li>La matriz y el refuerzo presentan aceptable adherencia.</li> <li>Las sobremontas resisten la ejecución del ensayo.</li> <li>Se realiza el setup de una probeta extra.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Espesor nominal: 4,93mm.</li> <li>Esfuerzo máximo o de rotura promedio: 49,45 MPa.</li> <li>Módulo de elasticidad promedio: 1844,65MPa.</li> <li>Todas las probetas del presente caso presentan falla lateral en zona calibrada en el medio.</li> </ul>
<b>Elaborado por:</b> Sr. Geovanny Benavides	<b>Aprobado por:</b> Ing. Mg. Juan Paredes
<b>Revisado por:</b> Ing. Esteban López	<b>Validado por:</b> Ing. Mg. Juan Paredes

Fuente: Autor



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



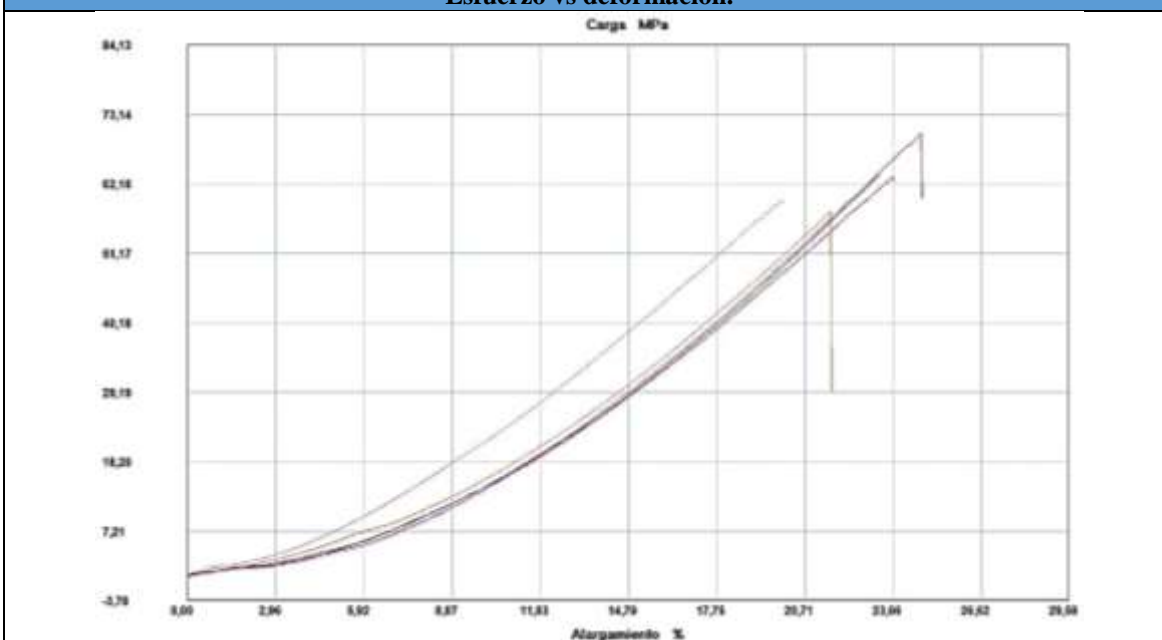
**FICHA TÉCNICA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DEL MATERIAL HÍBRIDO  
(Resina Epóxica+ Fibra de abacá + Fibra de Algodón)**

<b>Fecha:</b>	08-03-2017	<b>Tipo de ensayo:</b>	TRACCIÓN	<b>Registro:</b>	TR-03
<b>Laboratorio:</b>	Centro de Fomento Productivo Metalmeccánico Carrocero				
<b>Norma aplicable:</b>	ASTM D3039M-00				
<b>Dimensiones:</b>	(250*25* 4,88espesor promedio)mm				
<b>Equipo:</b>	Máquina Universal de Ensayos	<b>Modelo:</b>	MTE-10/50		
<b>Composición del Material Híbrido.</b>					
<b>Matriz:</b>	Resina Epóxica	<b>Fracción Volumétrica:</b>	75%		
<b>Refuerzos:</b>	Fibra de Abacá	<b>Fracción Volumétrica:</b>	18,25%		
	Fibra de Algodón	<b>Fracción Volumétrica:</b>	6,75%		
<b>Número de capas:</b>	3	<b>Arreglo de fibras:</b>	Tejido Plano		
<b>Orientación de fibras</b>					
<b>Fibra de Abacá:</b>	0°	<b>Fibra de Algodón:</b>	90°		
<b>Fibra de Abacá:</b>	45°	<b>Fibra de Algodón:</b>	135°		
<b>Fibra de Abacá:</b>	0°	<b>Fibra de Algodón:</b>	90°		
<b>Número de probetas:</b>	5	<b>Estratificación:</b>	Compresión Manual		

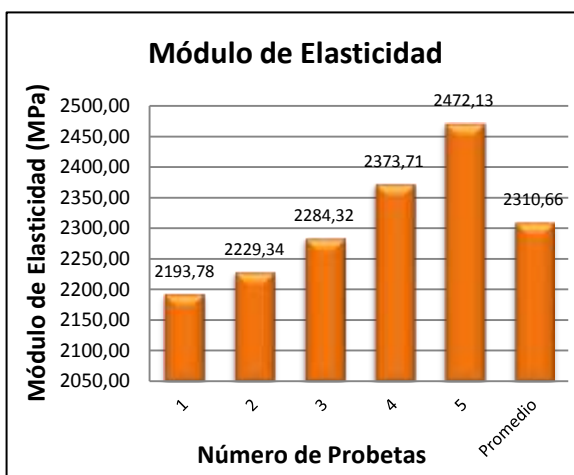
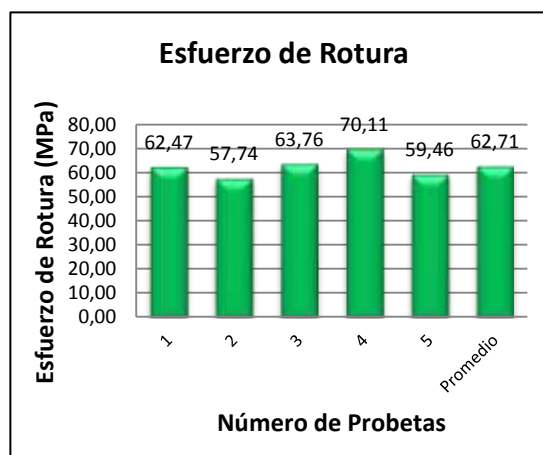
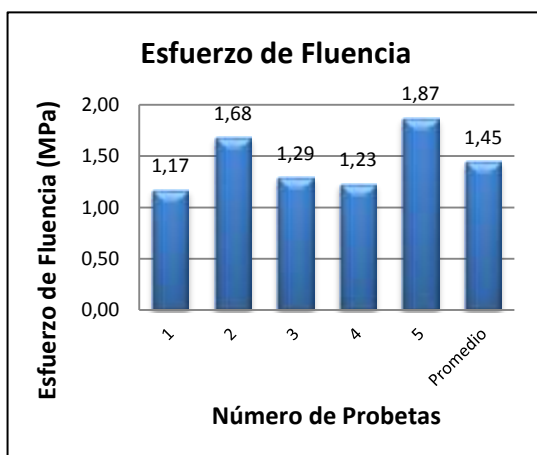
**RESULTADO DEL ENSAYO**

Muestra.	Carga máxima (N)	Esfuerzo de fluencia (MPa)	Esfuerzo de rotura (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	% Elongación	Tipo de falla
1	7838,54	1,17	62,47	2193,78	2,85	LGM
2	7049,64	1,68	57,74	2229,34	2,59	LGM
3	7619,23	1,29	63,76	2284,32	2,79	LGM
4	7903,23	1,23	70,11	2373,71	2,95	LAT
5	7207,42	1,87	59,46	2472,13	2,40	LGM
<b>Promedio</b>	7523,61	1,45	62,71	2310,66	2,72	
<b>Desviación estándar</b>	379,82	0,31	4,77	112,93	0,22	

**Esfuerzo vs deformación.**



## Gráficas de Resultados



## Probetas Ensayadas



Observación	Evaluación
<ul style="list-style-type: none"> <li>La matriz y el refuerzo presentan aceptable adherencia.</li> <li>Las sobremontas resisten la ejecución del ensayo.</li> <li>Se realiza el setup de una probeta extra.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Espesor nominal: 4,88mm.</li> <li>Esfuerzo máximo o de rotura promedio: 62,71MPa.</li> <li>Módulo de elasticidad promedio: 2310,66MPa.</li> <li>Las probetas 1, 2, 3, 5 presentan falla lateral en zona calibrada en el medio y la probeta 4 falla lateral en el agarre parte superior.</li> </ul>
<b>Elaborado por:</b> Sr. Geovanny Benavides	<b>Aprobado por:</b> Ing. Mg. Juan Paredes
<b>Revisado por:</b> Ing. Esteban López	<b>Validado por:</b> Ing. Mg. Juan Paredes

Fuente: Autor

Ficha Técnica 4. Ensayo a tracción material híbrido II (1-5) (Resina Epóxica+ Fibra de abacá + Fibra de Algodón)



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



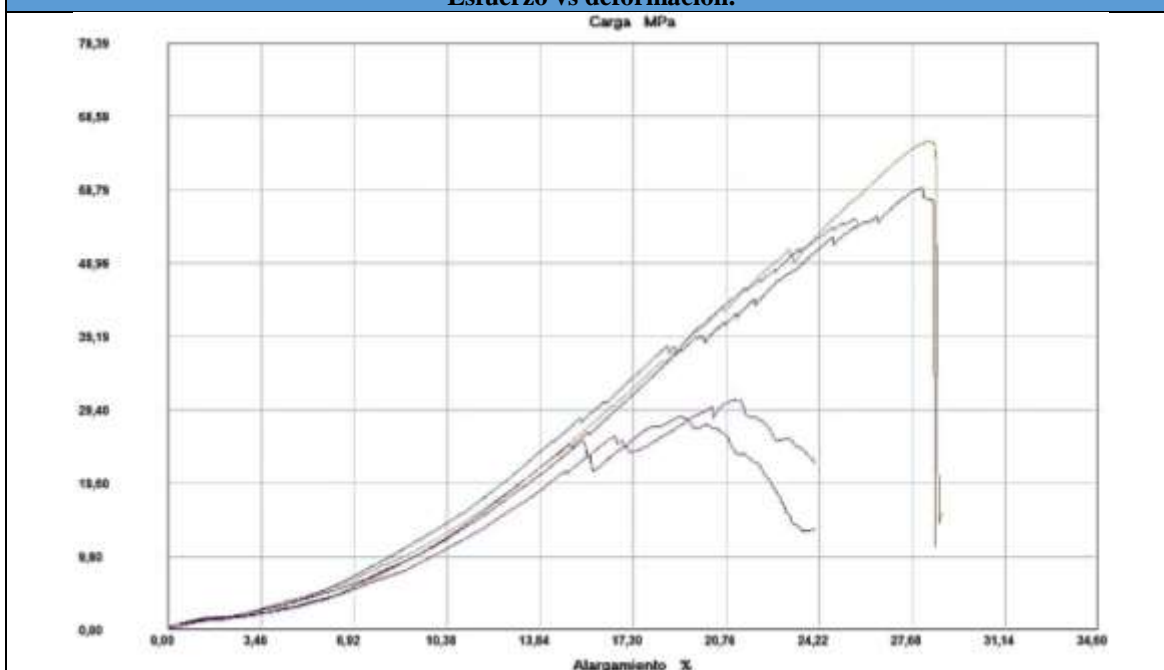
**FICHA TÉCNICA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DEL MATERIAL HÍBRIDO**  
**(Resina Epóxica+ Fibra de abacá + Fibra de Algodón)**

Fecha:	08-03-2017	Tipo de ensayo:	TRACCIÓN	Registro:	TR-04
Laboratorio:	Centro de Fomento Productivo Metalmeccánico Carrocero				
Norma aplicable:	ASTM D3039M-00				
Dimensiones:	(250*25* 4,89espesor promedio)mm				
Equipo:	Máquina Universal de Ensayos	Modelo:	MTE-10/50		
<b>Composición del Material Híbrido.</b>					
Matriz:	Resina Epóxica	Fracción Volumétrica:	70%		
Refuerzos:	Fibra de Abacá	Fracción Volumétrica:	25,50%		
	Fibra de Algodón	Fracción Volumétrica:	4,50%		
Número de capas:	2	Arreglo de fibras:	Tejido Plano		
<b>Orientación de fibras</b>					
Fibra de Abacá:	0°	Fibra de Algodón:	90°		
Fibra de Abacá:	90°	Fibra de Algodón:	0°		
Número de probetas:	5	Estratificación:	Compresión Manual		

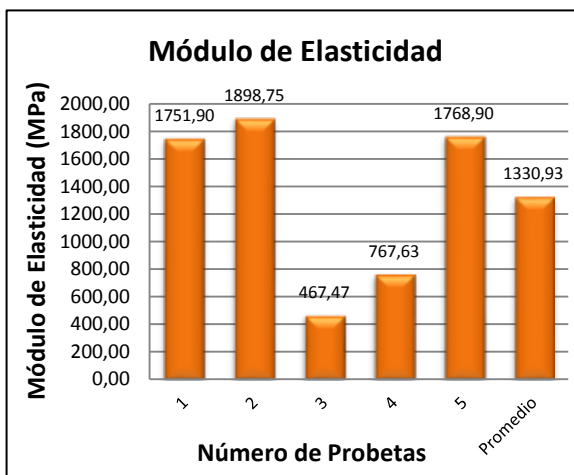
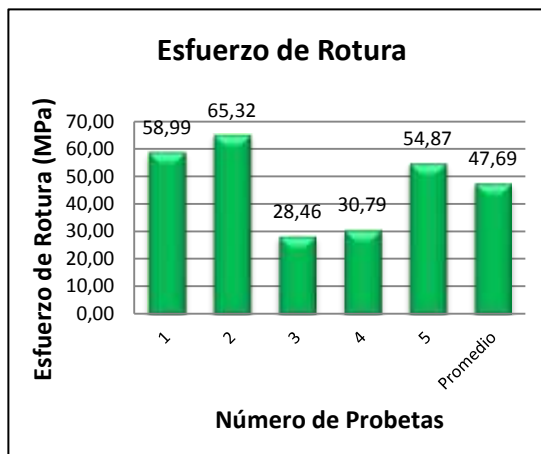
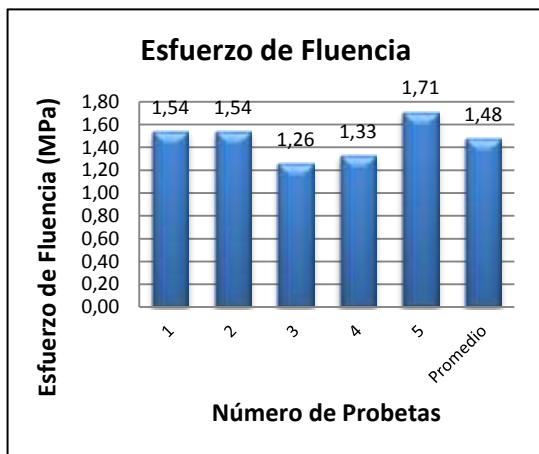
**RESULTADO DEL ENSAYO**

Muestra.	Carga máxima (N)	Esfuerzo de fluencia (MPa)	Esfuerzo de rotura (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	% Elongación	Tipo de falla
1	7232,67	1,54	58,99	1751,90	3,37	LGM
2	8054,70	1,54	65,32	1898,75	3,42	LIT
3	3428,57	1,26	28,46	467,47	2,89	-
4	3829,34	1,33	30,79	767,63	2,89	-
5	6642,57	1,71	54,87	1768,90	3,08	LGM
<b>Promedio</b>	5837,57	1,48	47,69	1330,93	3,13	
<b>Desviación estándar</b>	2082,44	0,18	16,92	662,25	0,26	

**Esfuerzo vs deformación.**



## Gráficas de Resultados



## Probetas Ensayadas



Observación	Evaluación
<ul style="list-style-type: none"> <li>La matriz y el refuerzo presentan aceptable adherencia.</li> <li>Las sobremontas de las probetas 3, 4 no resisten la ejecución del ensayo en su totalidad.</li> <li>Se realiza el setup de una probeta extra.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Espesor nominal: 4,89mm.</li> <li>Esfuerzo máximo o de rotura promedio: 47,69MPa.</li> <li>Módulo de elasticidad promedio: 1330,93MPa.</li> <li>Las probetas 1, 5 presentan falla lateral en zona calibrada en el medio, la probeta 2 falla lateral dentro del agarre parte superior y las probetas 3,4 no se evalúan por deficiente de agarre.</li> </ul>
<b>Elaborado por:</b> Sr. Geovanny Benavides	<b>Aprobado por:</b> Ing. Mg. Juan Paredes
<b>Revisado por:</b> Ing. Esteban López	<b>Validado por:</b> Ing. Mg. Juan Paredes

Fuente: Autor





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



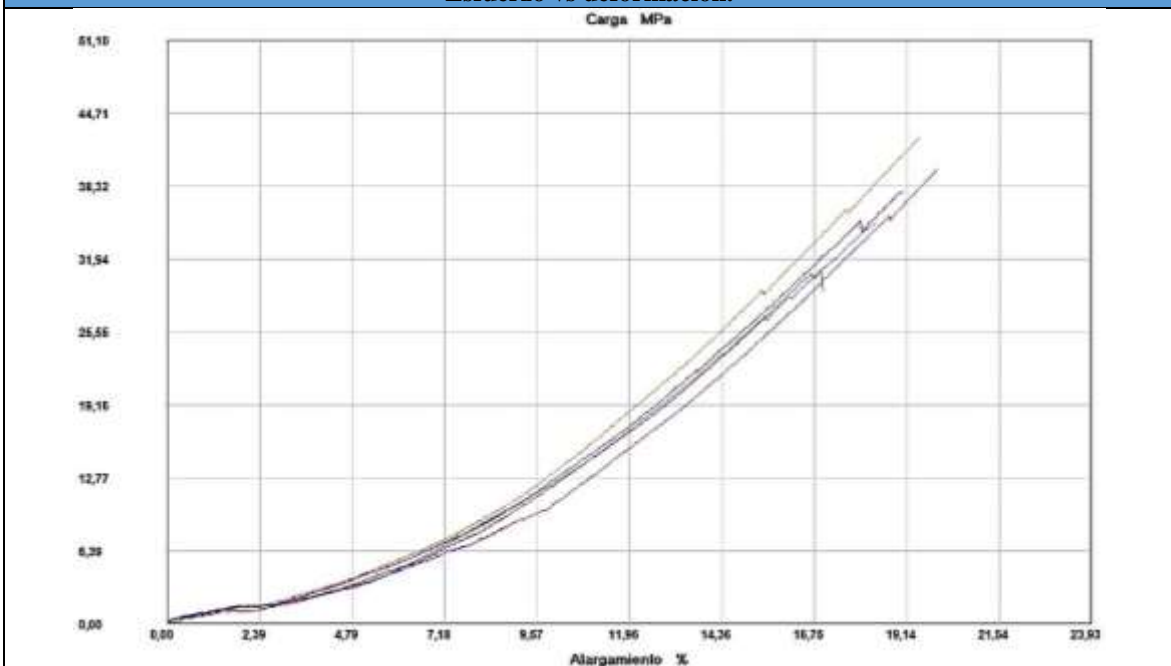
**FICHA TÉCNICA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DEL MATERIAL HÍBRIDO  
(Resina Epóxica+ Fibra de abacá + Fibra de Algodón)**

<b>Fecha:</b>	08-03-2017	<b>Tipo de ensayo:</b>	TRACCIÓN	<b>Registro:</b>	TR-05
<b>Laboratorio:</b>	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero				
<b>Norma aplicable:</b>	ASTM D3039M-00				
<b>Dimensiones:</b>	(250*25* 4,82espesor promedio)mm				
<b>Equipo:</b>	Máquina Universal de Ensayos	<b>Modelo:</b>	MTE-10/50		
<b>Composición del Material Híbrido.</b>					
<b>Matriz:</b>	Resina Epóxica	<b>Fracción Volumétrica:</b>	70%		
<b>Refuerzos:</b>	Fibra de Abacá	<b>Fracción Volumétrica:</b>	25,50%		
	Fibra de Algodón	<b>Fracción Volumétrica:</b>	4,50%		
<b>Número de capas:</b>	2	<b>Arreglo de fibras:</b>	Tejido Plano		
<b>Orientación de fibras</b>					
<b>Fibra de Abacá:</b>	0°	<b>Fibra de Algodón:</b>	90°		
<b>Fibra de Abacá:</b>	135°	<b>Fibra de Algodón:</b>	45°		
<b>Número de probetas:</b>	5	<b>Estratificación:</b>	Compresión Manual		

**RESULTADO DEL ENSAYO**

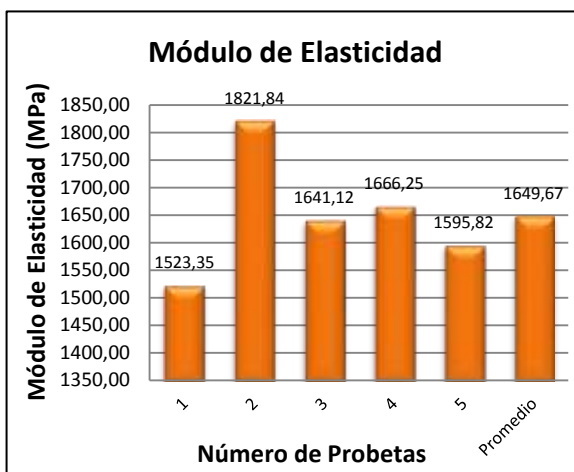
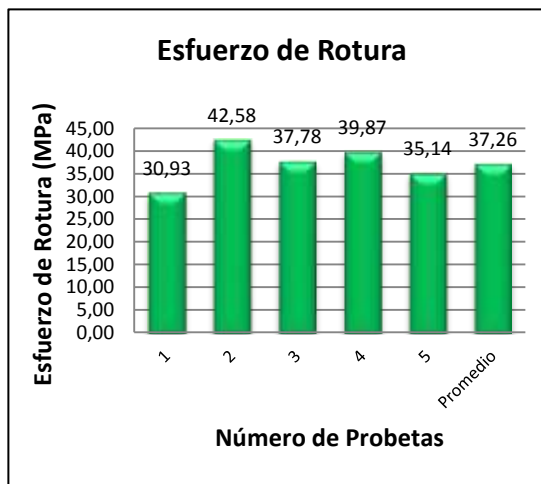
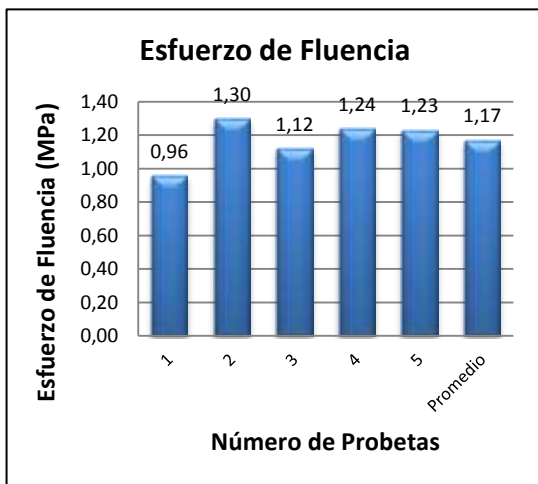
Muestra.	Carga máxima (N)	Esfuerzo de fluencia (MPa)	Esfuerzo de rotura (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	% Elongación	Tipo de falla
1	3865,63	0,96	30,93	1523,35	2,03	LAT
2	5200,45	1,30	42,58	1821,84	2,34	LAT
3	4490,44	1,12	37,78	1641,12	2,15	LGM
4	4755,51	1,24	39,87	1666,25	2,39	LAT
5	4223,79	1,23	35,14	1595,82	2,20	LIT
<b>Promedio</b>	4507,16	1,17	37,26	1649,67	2,20	
<b>Desviación estándar</b>	508,54	0,13	4,47	110,51	0,15	

**Esfuerzo vs deformación.**





## Gráficas de Resultados



## Probetas Ensayadas



Observación	Evaluación
<ul style="list-style-type: none"> <li>La matriz y el refuerzo presentan aceptable adherencia.</li> <li>Las sobremontas de las probetas resisten la ejecución del ensayo.</li> <li>Se realiza el setup de una probeta extra.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Espesor nominal: 4,82mm.</li> <li>Esfuerzo máximo o de rotura promedio: 37,26MPa.</li> <li>Módulo de elasticidad promedio: 1649,67MPa.</li> <li>Las probetas 1, 2, 4 presentan falla lateral en el agarre parte superior, probeta 3 falla lateral en la zona calibrada en el medio y probeta 5 falla lateral dentro del agarre parte superior.</li> </ul>
<b>Elaborado por:</b> Sr. Geovanny Benavides	<b>Aprobado por:</b> Ing. Mg. Juan Paredes
<b>Revisado por:</b> Ing. Esteban López	<b>Validado por:</b> Ing. Mg. Juan Paredes

Fuente: Autor



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



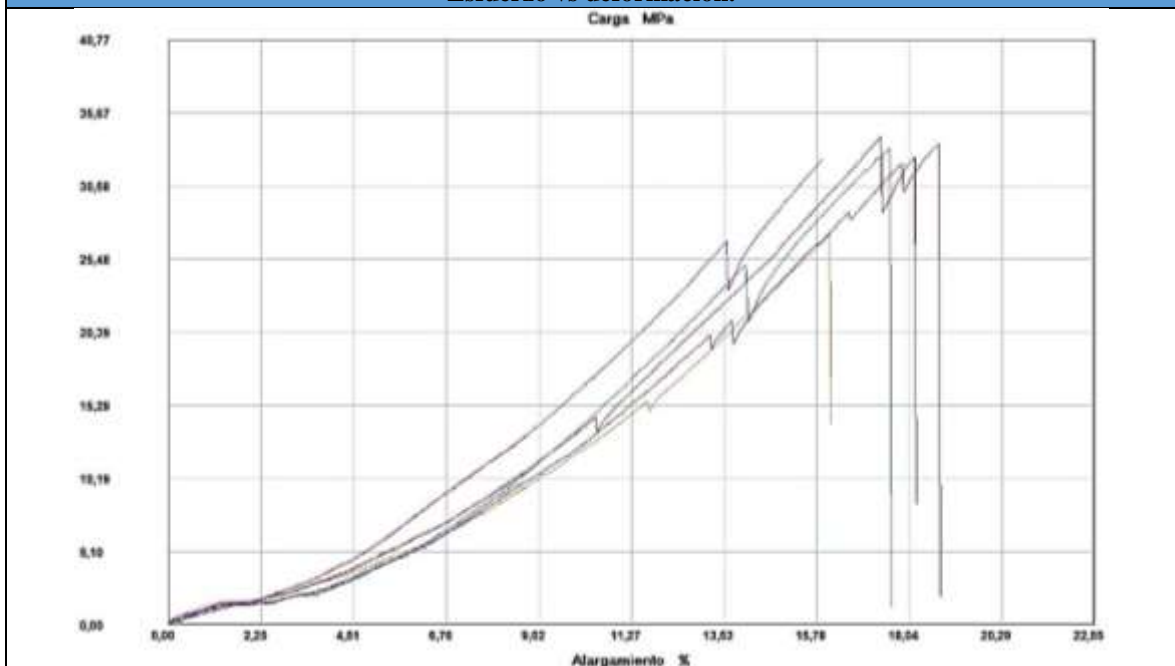
**FICHA TÉCNICA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DEL MATERIAL HÍBRIDO  
(Resina Epóxica+ Fibra de abacá + Fibra de Algodón)**

<b>Fecha:</b>	08-03-2017	<b>Tipo de ensayo:</b>	TRACCIÓN	<b>Registro:</b>	TR-06
<b>Laboratorio:</b>	Centro de Fomento Productivo Metalmeccánico Carrocero				
<b>Norma aplicable:</b>	ASTM D3039M-00				
<b>Dimensiones:</b>	(250*25* 4,81espesor promedio)mm				
<b>Equipo:</b>	Máquina Universal de Ensayos	<b>Modelo:</b>	MTE-10/50		
<b>Composición del Material Híbrido.</b>					
<b>Matriz:</b>	Resina Epóxica	<b>Fracción Volumétrica:</b>	65%		
<b>Refuerzos:</b>	Fibra de Abacá	<b>Fracción Volumétrica:</b>	30,50%		
	Fibra de Algodón	<b>Fracción Volumétrica:</b>	4,50%		
<b>Número de capas:</b>	2	<b>Arreglo de fibras:</b>	Tejido Plano		
<b>Orientación de fibras</b>					
<b>Fibra de Abacá:</b>	0°	<b>Fibra de Algodón:</b>	90°		
<b>Fibra de Abacá:</b>	90°	<b>Fibra de Algodón:</b>	0°		
<b>Número de probetas:</b>	5	<b>Estratificación:</b>	Compresión Manual		

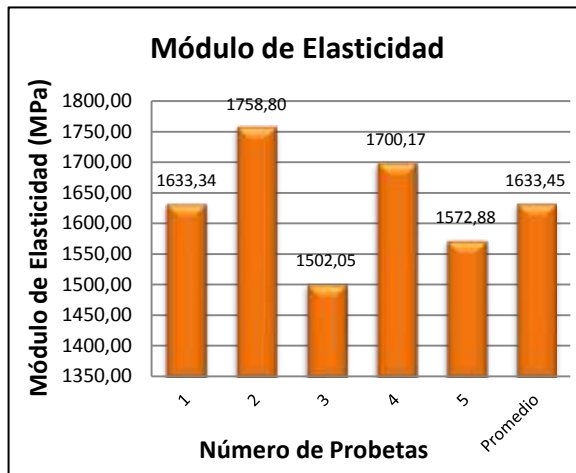
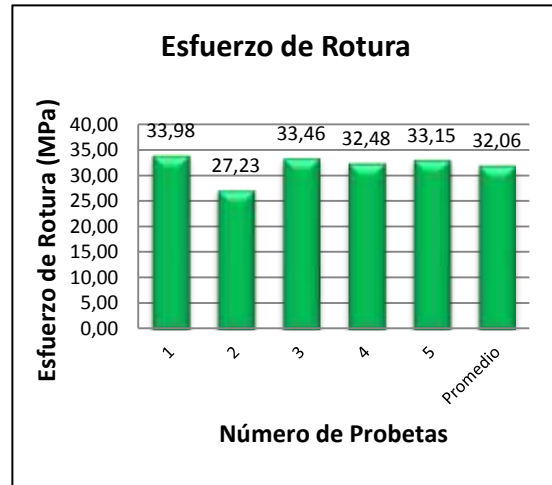
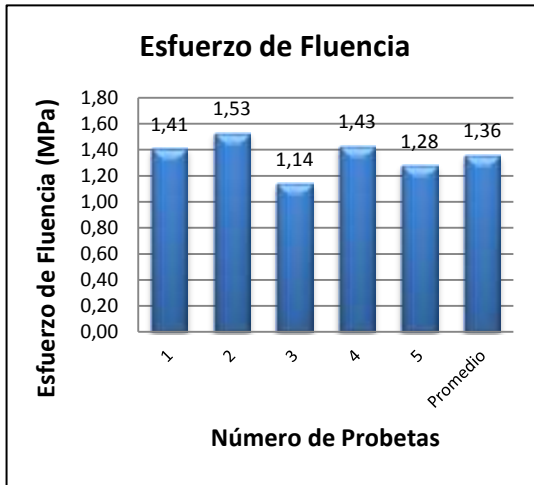
**RESULTADO DEL ENSAYO**

Muestra.	Carga máxima (N)	Esfuerzo de fluencia (MPa)	Esfuerzo de rotura (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	% Elongación	Tipo de falla
1	4141,74	1,41	33,98	1633,34	2,08	LGM
2	3346,53	1,53	27,23	1758,80	1,93	LGM
3	4130,70	1,14	33,46	1502,05	2,14	LAT
4	3832,49	1,43	32,48	1700,17	1,91	LGM
5	3953,98	1,28	33,15	1572,88	2,11	LGM
<b>Promedio</b>	3881,09	1,36	32,06	1633,45	2,03	
<b>Desviación estándar</b>	325,45	0,15	2,75	101,36	0,11	

**Esfuerzo vs deformación.**



## Gráficas de Resultados



## Probetas Ensayadas



Observación	Evaluación
<ul style="list-style-type: none"> <li>La matriz y el refuerzo presentan aceptable adherencia.</li> <li>Las sobremontas de las probetas resisten la ejecución del ensayo.</li> <li>Se realiza el setup de una probeta extra.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Espesor nominal: 4,81mm.</li> <li>Esfuerzo máximo o de rotura promedio: 32,06MPa.</li> <li>Módulo de elasticidad promedio: 1633,45MPa.</li> <li>Las probetas 1, 2, 4, 5 presentan falla lateral en la zona calibrada en el medio y la probeta 3 falla lateral en el agarre parte superior.</li> </ul>

<b>Elaborado por:</b>	Sr. Geovanny Benavides	<b>Aprobado por:</b>	Ing. Mg. Juan Paredes
<b>Revisado por:</b>	Ing. Esteban López	<b>Validado por:</b>	Ing. Mg. Juan Paredes

Fuente: Autor



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



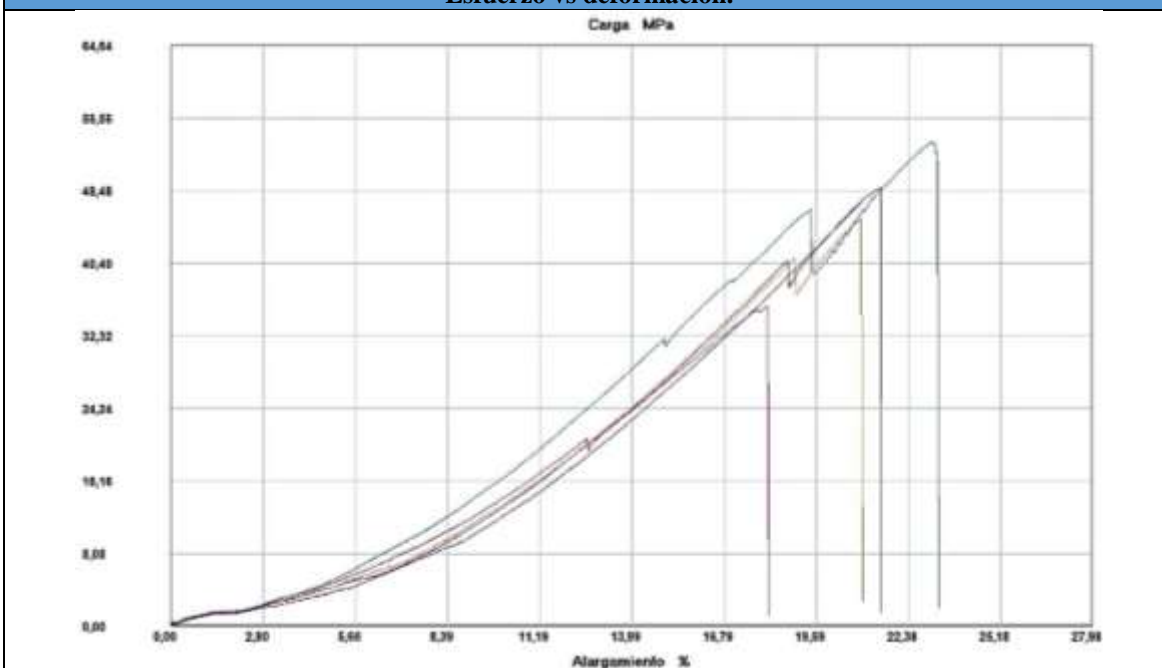
**FICHA TÉCNICA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DEL MATERIAL HÍBRIDO  
(Resina Epóxica+ Fibra de abacá + Fibra de Algodón)**

<b>Fecha:</b>	08-03-2017	<b>Tipo de ensayo:</b>	TRACCIÓN	<b>Registro:</b>	TR-07
<b>Laboratorio:</b>	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero				
<b>Norma aplicable:</b>	ASTM D3039M-00				
<b>Dimensiones:</b>	(250*25* 4,88espesor promedio)mm				
<b>Equipo:</b>	Máquina Universal de Ensayos	<b>Modelo:</b>	MTE-10/50		
<b>Composición del Material Híbrido.</b>					
<b>Matriz:</b>	Resina Epóxica	<b>Fracción Volumétrica:</b>	65%		
<b>Refuerzos:</b>	Fibra de Abacá	<b>Fracción Volumétrica:</b>	30,50%		
	Fibra de Algodón	<b>Fracción Volumétrica:</b>	4,50%		
<b>Número de capas:</b>	2	<b>Arreglo de fibras:</b>	Tejido Plano		
<b>Orientación de fibras</b>					
<b>Fibra de Abacá:</b>	45°	<b>Fibra de Algodón:</b>	135°		
<b>Fibra de Abacá:</b>	0°	<b>Fibra de Algodón:</b>	90°		
<b>Número de probetas:</b>	5	<b>Estratificación:</b>	Compresión Manual		

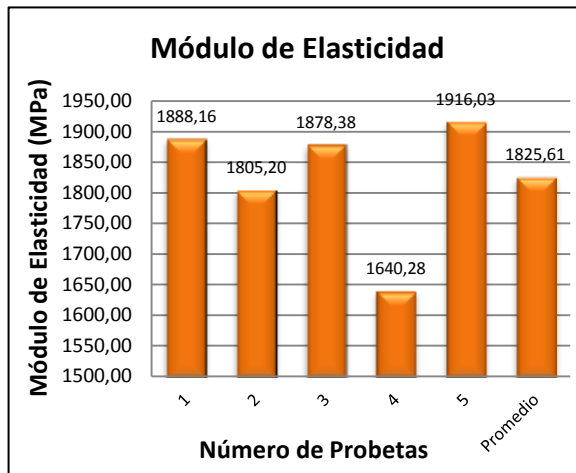
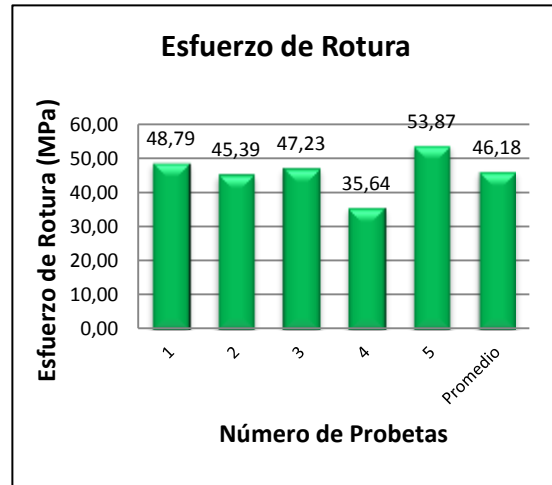
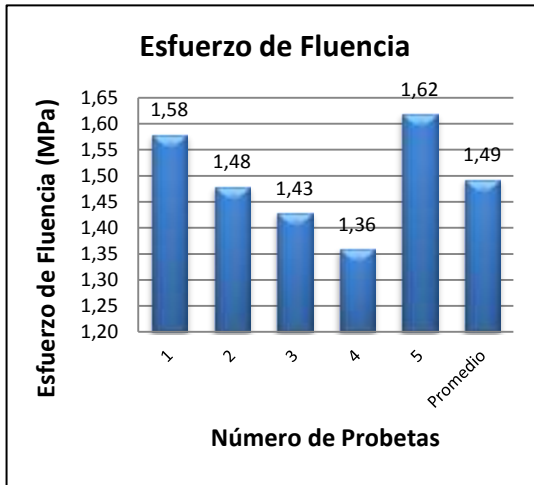
**RESULTADO DEL ENSAYO**

Muestra.	Carga máxima (N)	Esfuerzo de fluencia (MPa)	Esfuerzo de rotura (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	% Elongación	Tipo de falla
1	6041,42	1,58	48,79	1888,16	2,58	LAT
2	5650,13	1,48	45,39	1805,20	2,51	LAT
3	5629,69	1,43	47,23	1878,38	2,51	LGM
4	4391,04	1,36	35,64	1640,28	2,17	LGM
5	6543,16	1,62	53,87	1916,03	2,78	LIT
<b>Promedio</b>	5651,09	1,49	46,18	1825,61	2,51	
<b>Desviación estándar</b>	796,29	0,11	6,69	111,40	0,22	

**Esfuerzo vs deformación.**



## Gráficas de Resultados



## Probetas Ensayadas



Observación	Evaluación
<ul style="list-style-type: none"> <li>La matriz y el refuerzo presentan aceptable adherencia.</li> <li>Las sobremontas de las probetas resisten la ejecución del ensayo.</li> <li>Se realiza el setup de una probeta extra.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Espesor nominal: 4,88mm.</li> <li>Esfuerzo máximo o de rotura promedio: 46,18MPa.</li> <li>Módulo de elasticidad promedio: 1825,61MPa.</li> <li>Las probetas 1, 2 presentan falla en el agarre parte superior, las probetas 3, 4 falla lateral en la zona calibrada en el medio y la probeta 5 falla lateral dentro del agarre parte superior.</li> </ul>

<b>Elaborado por:</b>	Sr. Geovanny Benavides	<b>Aprobado por:</b>	Ing. Mg. Juan Paredes
<b>Revisado por:</b>	Ing. Esteban López	<b>Validado por:</b>	Ing. Mg. Juan Paredes

Fuente: Autor



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



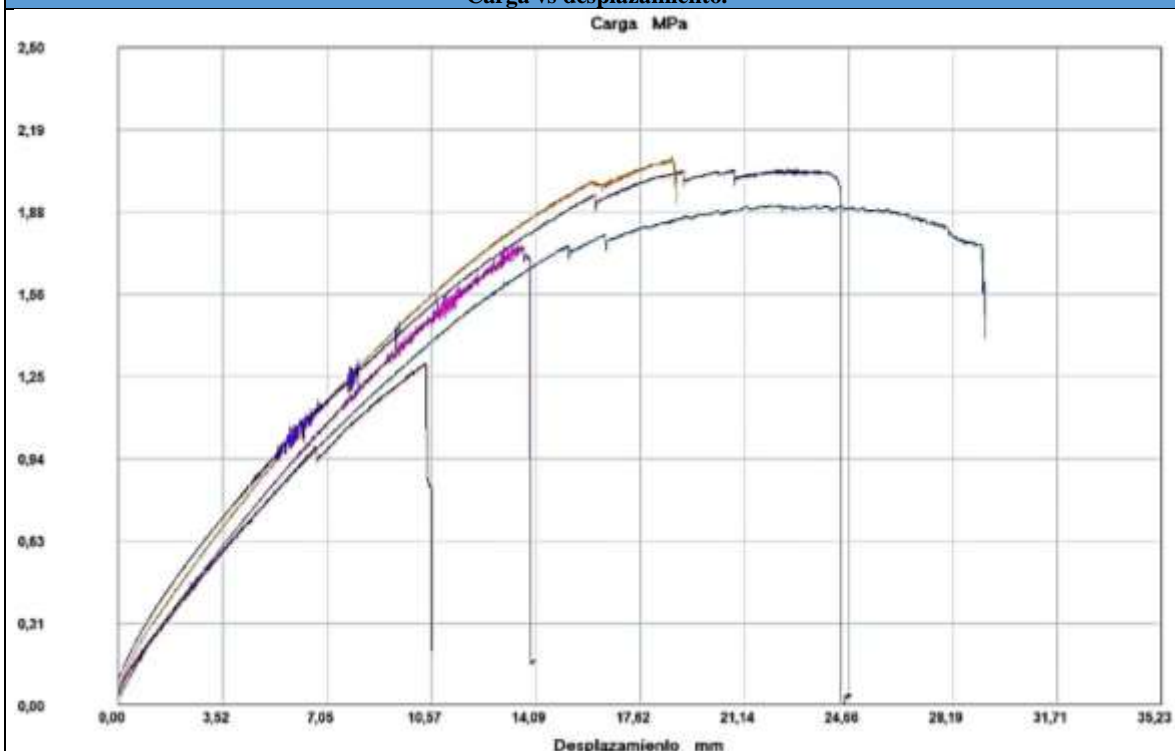
**FICHA TÉCNICA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DEL MATERIAL HÍBRIDO  
(Resina Epóxica+ Fibra de abacá + Fibra de Algodón)**

<b>Fecha:</b>	08-03-2017	<b>Tipo de ensayo:</b>	<b>FLEXIÓN</b>	<b>Registro:</b>	FL-01
<b>Laboratorio:</b>	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero				
<b>Norma aplicable:</b>	ASTM D7264M-07				
<b>Dimensiones:</b>	(160*13*4,83 espesor promedio)mm				
<b>Equipo:</b>	Máquina Universal de Ensayos	<b>Modelo:</b>	MTE-10/50		
<b>Composición del Material Híbrido.</b>					
<b>Matriz:</b>	Resina Epóxica	<b>Fracción Volumétrica:</b>	75%		
<b>Refuerzos:</b>	Fibra de Abacá	<b>Fracción Volumétrica:</b>	18,25%		
	Fibra de Algodón	<b>Fracción Volumétrica:</b>	6,75%		
<b>Número de capas:</b>	3	<b>Arreglo de fibras:</b>	Tejido Plano		
<b>Orientación de fibras</b>					
<b>Fibra de Abacá:</b>	0°	<b>Fibra de Algodón:</b>	90°		
<b>Fibra de Abacá:</b>	90°	<b>Fibra de Algodón:</b>	0°		
<b>Fibra de Abacá:</b>	0°	<b>Fibra de Algodón:</b>	90°		
<b>Número de probetas:</b>	5	<b>Estratificación:</b>	Compresión Manual		

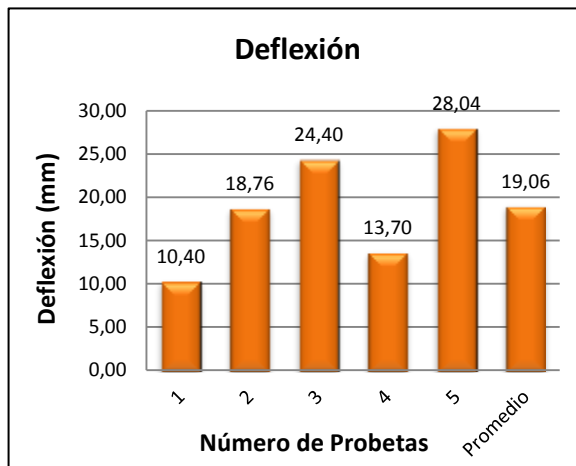
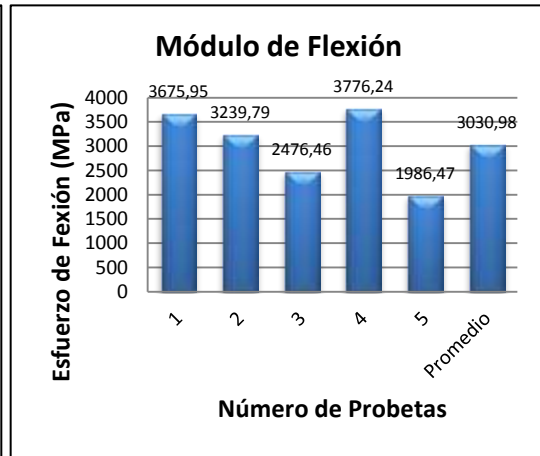
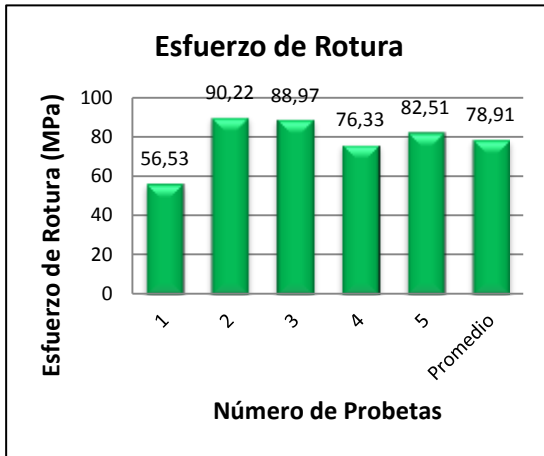
**RESULTADO DEL ENSAYO**

Muestra.	Carga máxima (N)	Esfuerzo de rotura (MPa)	Módulo de flexión (MPa)	Deflexión (mm)	Tipo de falla
1	82,08	56,53	3675,95	10,40	OAB
2	130,26	90,22	3239,79	18,76	OAB
3	127,23	88,97	2476,46	24,39	OAB
4	108,94	76,33	3776,24	13,70	OAB
5	118,00	82,51	1986,47	28,04	OAB
<b>Promedio</b>	113,30	78,91	3030,98	19,06	
<b>Desviación estándar</b>	19,35	13,69	776,77	7,29	

**Carga vs desplazamiento.**



## Gráficas de Resultados



## Probetas Ensayadas



Observación	Evaluación
<ul style="list-style-type: none"> <li>La matriz y el refuerzo presentan aceptable adherencia.</li> <li>Se realiza el setup de una probeta extra.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Espesor nominal: 4,83mm.</li> <li>Esfuerzo máximo o de rotura promedio: 78,91 MPa.</li> <li>El módulo de flexión promedio: 3030,98 MPa.</li> <li>Deflexión promedio: 19,06mm</li> <li>Todas las probetas según la norma técnica presentan otro tipo de falla en la parte interna de la punta de la carga.</li> </ul>
<b>Elaborado por:</b> Sr. Geovanny Benavides	<b>Aprobado por:</b> Ing. Mg. Juan Paredes
<b>Revisado por:</b> Ing. Esteban López	<b>Validado por:</b> Ing. Mg. Juan Paredes

Fuente: Autor





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



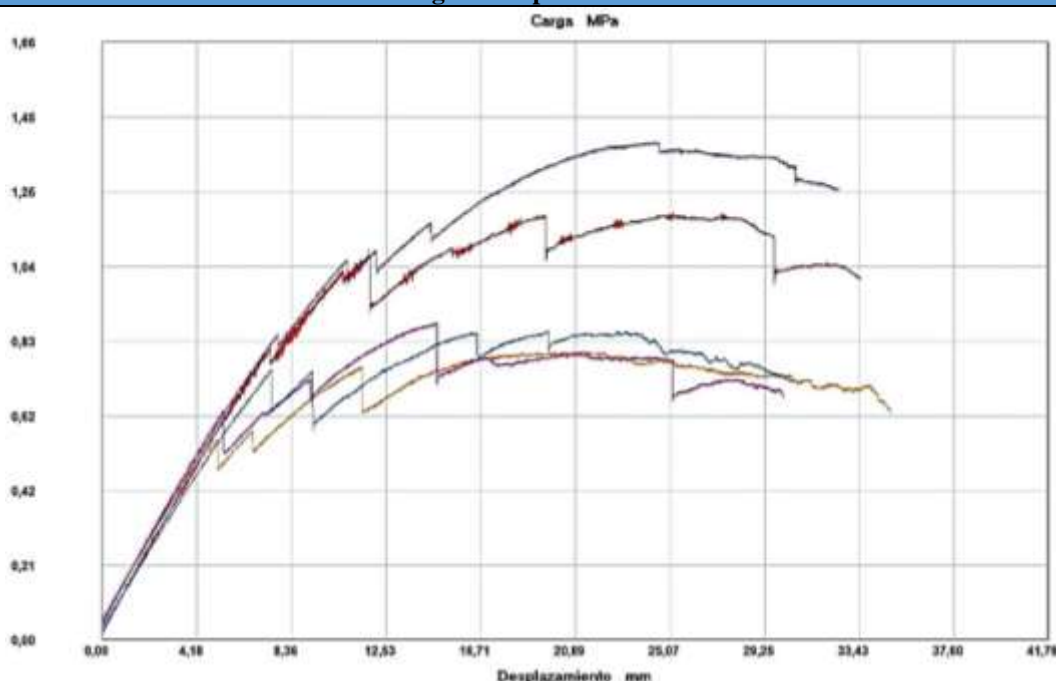
**FICHA TÉCNICA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DEL MATERIAL HÍBRIDO**  
**(Resina Epóxica+ Fibra de abacá + Fibra de Algodón)**

<b>Fecha:</b>	08-03-2017	<b>Tipo de ensayo:</b>	<b>FLEXIÓN</b>	<b>Registro:</b>	FL-02
<b>Laboratorio:</b>	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero				
<b>Norma aplicable:</b>	ASTM D7264M-07				
<b>Dimensiones:</b>	(160*13*4,87 espesor promedio)mm				
<b>Equipo:</b>	Máquina Universal de Ensayos	<b>Modelo:</b>	MTE-10/50		
<b>Composición del Material Híbrido.</b>					
<b>Matriz:</b>	Resina Epóxica	<b>Fracción Volumétrica:</b>	75%		
<b>Refuerzos:</b>	Fibra de Abacá	<b>Fracción Volumétrica:</b>	18,25%		
	Fibra de Algodón	<b>Fracción Volumétrica:</b>	6,75%		
<b>Número de capas:</b>	3	<b>Arreglo de fibras:</b>	Tejido Plano		
<b>Orientación de fibras</b>					
<b>Fibra de Abacá:</b>	45°	<b>Fibra de Algodón:</b>	135°		
<b>Fibra de Abacá:</b>	0°	<b>Fibra de Algodón:</b>	90°		
<b>Fibra de Abacá:</b>	135°	<b>Fibra de Algodón:</b>	45°		
<b>Número de probetas:</b>	5	<b>Estratificación:</b>	Compresión Manual		

**RESULTADO DEL ENSAYO**

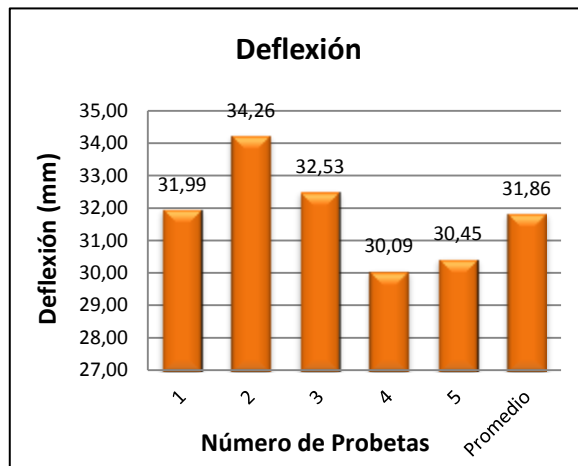
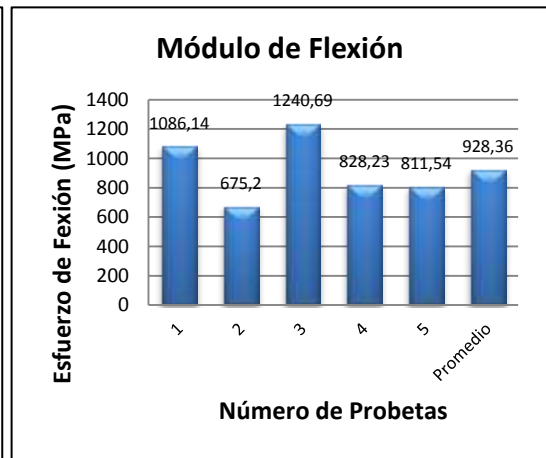
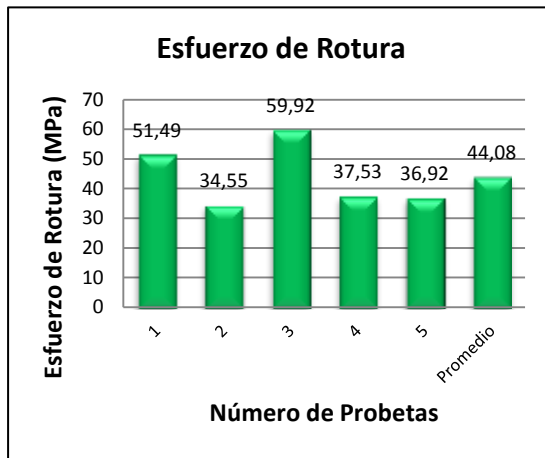
Muestra.	Carga máxima (N)	Esfuerzo de rotura (MPa)	Módulo de flexión (MPa)	Deflexión (mm)	Tipo de falla
1	75,87	51,49	1086,14	31,99	OAB
2	50,86	34,55	675,20	34,26	OAB
3	88,12	59,92	1240,69	32,53	OAB
4	55,89	37,53	828,23	30,09	OAB
5	54,89	36,92	811,54	30,45	OAB
<b>Promedio</b>	65,13	44,08	928,36	31,86	
<b>Desviación estándar</b>	16,11	11,08	229,24	1,68	

**Carga vs desplazamiento.**





## Gráficas de Resultados



## Probetas Ensayadas



Observación	Evaluación
<ul style="list-style-type: none"> <li>La matriz y el refuerzo presentan aceptable adherencia.</li> <li>Se realiza el setup de una probeta extra.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Espesor nominal: 4,87mm.</li> <li>Esfuerzo máximo o de rotura promedio: 44,08 MPa.</li> <li>El módulo de flexión promedio: 928,36 MPa.</li> <li>Deflexión promedio: 31,86mm</li> <li>Todas las probetas según la norma técnica presentan otro tipo de falla en la parte interna de la punta de la carga.</li> </ul>
<b>Elaborado por:</b> Sr. Geovanny Benavides	<b>Aprobado por:</b> Ing. Mg. Juan Paredes
<b>Revisado por:</b> Ing. Esteban López	<b>Validado por:</b> Ing. Mg. Juan Paredes

Fuente: Autor



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



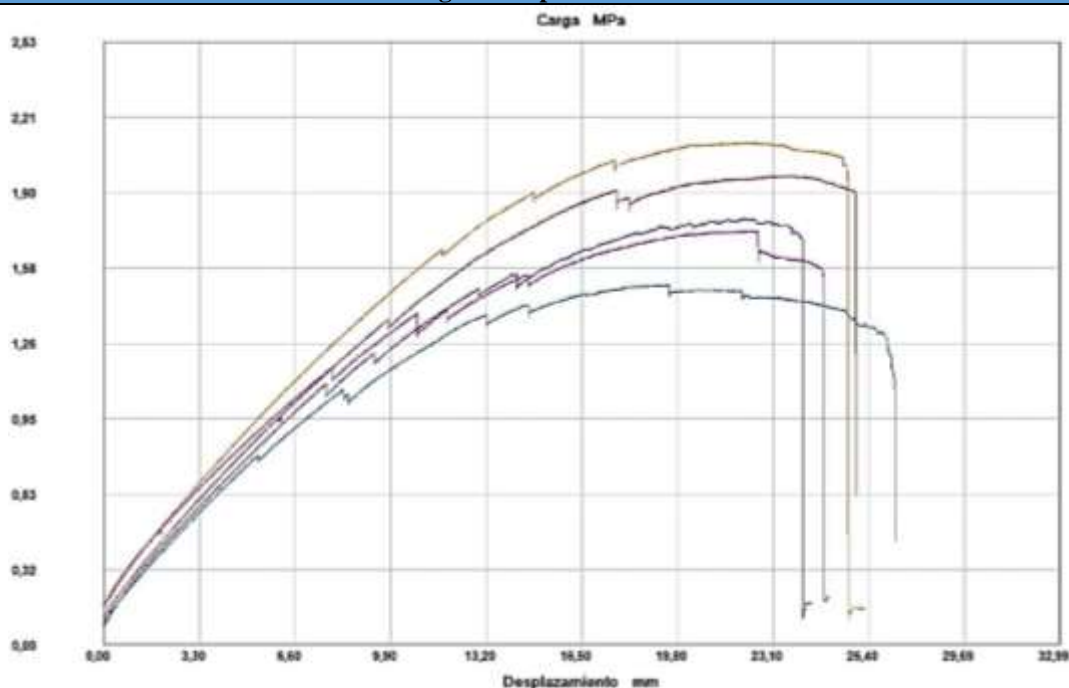
**FICHA TÉCNICA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DEL MATERIAL HÍBRIDO  
(Resina Epóxica+ Fibra de abacá + Fibra de Algodón)**

<b>Fecha:</b>	08-03-2017	<b>Tipo de ensayo:</b>	<b>FLEXIÓN</b>	<b>Registro:</b>	FL-03
<b>Laboratorio:</b>	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero				
<b>Norma aplicable:</b>	ASTM D7264M-07				
<b>Dimensiones:</b>	(160*13*4,88 espesor promedio)mm				
<b>Equipo:</b>	Máquina Universal de Ensayos	<b>Modelo:</b>	MTE-10/50		
<b>Composición del Material Híbrido.</b>					
<b>Matriz:</b>	Resina Epóxica	<b>Fracción Volumétrica:</b>	75%		
<b>Refuerzos:</b>	Fibra de Abacá	<b>Fracción Volumétrica:</b>	18,25%		
	Fibra de Algodón	<b>Fracción Volumétrica:</b>	6,75%		
<b>Número de capas:</b>	3	<b>Arreglo de fibras:</b>	Tejido Plano		
<b>Orientación de fibras</b>					
<b>Fibra de Abacá:</b>	0°	<b>Fibra de Algodón:</b>	90°		
<b>Fibra de Abacá:</b>	45°	<b>Fibra de Algodón:</b>	135°		
<b>Fibra de Abacá:</b>	0°	<b>Fibra de Algodón:</b>	90°		
<b>Número de probetas:</b>	5	<b>Estratificación:</b>	Compresión Manual		

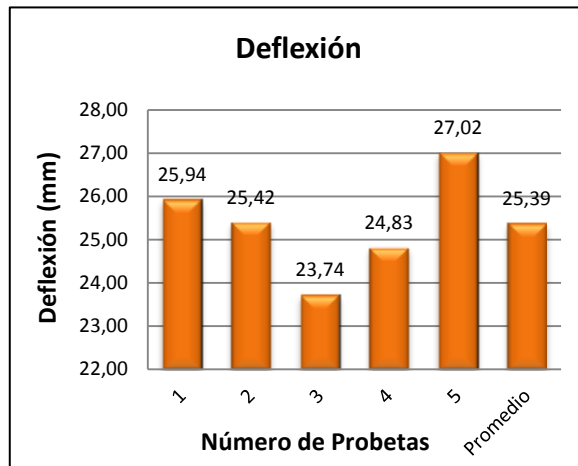
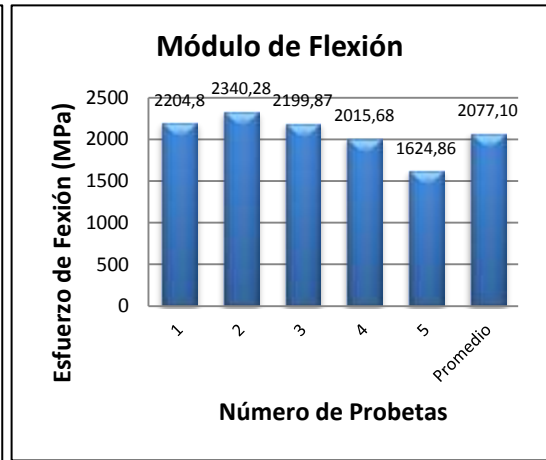
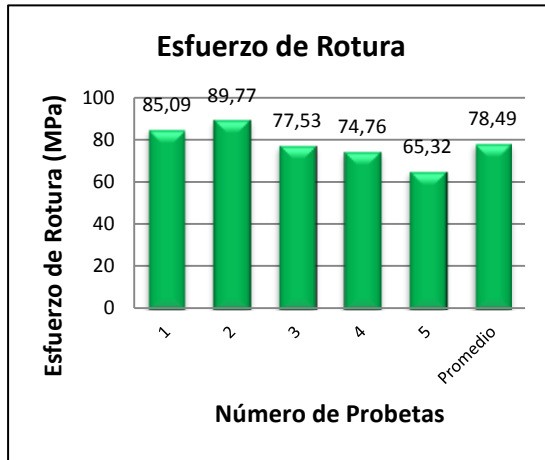
**RESULTADO DEL ENSAYO**

Muestra.	Carga máxima (N)	Esfuerzo de rotura (MPa)	Módulo de flexión (MPa)	Deflexión (mm)	Tipo de falla
1	124,04	85,09	2204,80	25,94	OAB
2	134,45	89,77	2340,28	25,42	OAB
3	112,29	77,53	2199,87	23,74	OAB
4	108,60	74,76	2015,68	24,83	OAB
5	94,33	65,32	1624,86	27,02	OAB
<b>Promedio</b>	114,74	78,49	2077,10	25,39	
<b>Desviación estándar</b>	15,29	9,47	277,91	1,23	

**Carga vs desplazamiento.**



## Gráficas de Resultados



## Probetas Ensayadas



Observación	Evaluación
<ul style="list-style-type: none"> <li>La matriz y el refuerzo presentan aceptable adherencia.</li> <li>Se realiza el setup de una probeta extra.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Espesor nominal: 4,88mm.</li> <li>Esfuerzo máximo o de rotura promedio: 78,49 MPa.</li> <li>El módulo de flexión promedio: 2077,10 MPa.</li> <li>Deflexión promedio: 25,39mm</li> <li>Todas las probetas según la norma técnica presentan otro tipo de falla en la parte interna de la punta de la carga.</li> </ul>
<b>Elaborado por:</b> Sr. Geovanny Benavides	<b>Aprobado por:</b> Ing. Mg. Juan Paredes
<b>Revisado por:</b> Ing. Esteban López	<b>Validado por:</b> Ing. Mg. Juan Paredes

Fuente: Autor



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



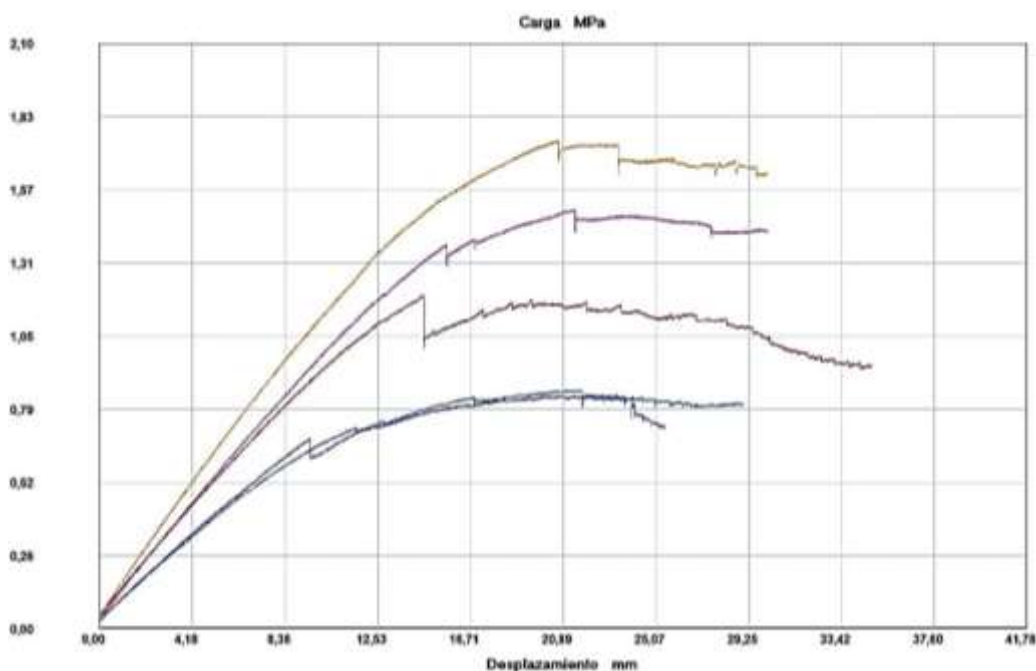
**FICHA TÉCNICA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DEL MATERIAL HÍBRIDO  
(Resina Epóxica+ Fibra de abacá + Fibra de Algodón)**

<b>Fecha:</b>	08-03-2017	<b>Tipo de ensayo:</b>	<b>FLEXIÓN</b>	<b>Registro:</b>	FL-04
<b>Laboratorio:</b>	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero				
<b>Norma aplicable:</b>	ASTM D7264M-07				
<b>Dimensiones:</b>	(160*13*4,94 espesor promedio)mm				
<b>Equipo:</b>	Máquina Universal de Ensayos	<b>Modelo:</b>	MTE-10/50		
<b>Composición del Material Híbrido.</b>					
<b>Matriz:</b>	Resina Epóxica	<b>Fracción Volumétrica:</b>	70%		
<b>Refuerzos:</b>	Fibra de Abacá	<b>Fracción Volumétrica:</b>	25,50%		
	Fibra de Algodón	<b>Fracción Volumétrica:</b>	4,50%		
<b>Número de capas:</b>	2	<b>Arreglo de fibras:</b>	Tejido Plano		
<b>Orientación de fibras</b>					
<b>Fibra de Abacá:</b>	0°	<b>Fibra de Algodón:</b>	90°		
<b>Fibra de Abacá:</b>	90°	<b>Fibra de Algodón:</b>	0°		
<b>Número de probetas:</b>	5	<b>Estratificación:</b>	Compresión Manual		

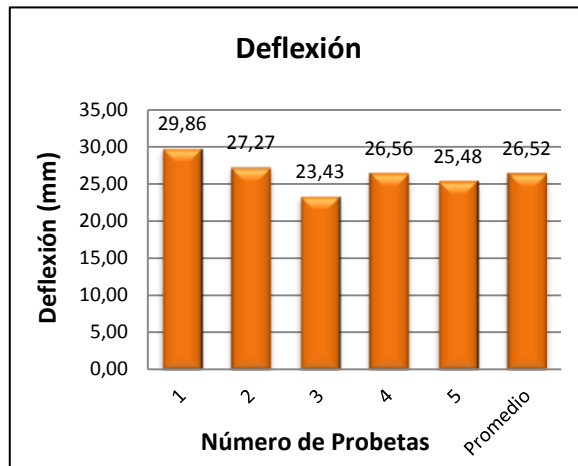
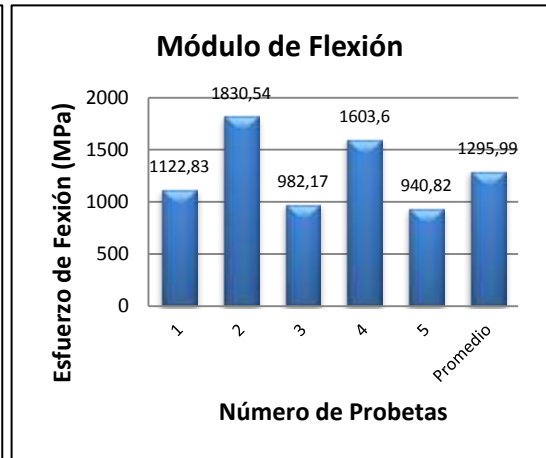
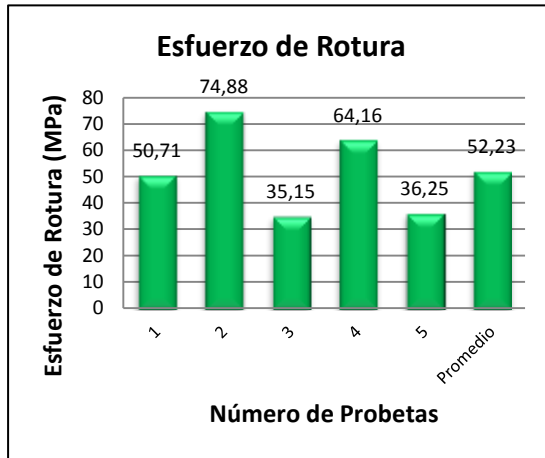
**RESULTADO DEL ENSAYO**

Muestra.	Carga máxima (N)	Esfuerzo de rotura (MPa)	Módulo de flexión (MPa)	Deflexión (mm)	Tipo de falla
1	76,37	50,71	1122,83	29,86	OAB
2	111,29	74,88	1830,54	27,27	OAB
3	54,72	35,15	982,17	23,43	OAB
4	96,51	64,16	1603,6	26,56	OAB
5	53,71	36,25	940,82	25,48	OAB
<b>Promedio</b>	78,52	52,23	1295,99	26,52	
<b>Desviación estándar</b>	25,42	17,35	398,43	2,37	

**Carga vs desplazamiento.**



## Gráficas de Resultados



## Probetas Ensayadas



Observación	Evaluación
<ul style="list-style-type: none"> <li>La matriz y el refuerzo presentan aceptable adherencia.</li> <li>Se realiza el setup de una probeta extra.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Espesor nominal: 4,94mm.</li> <li>Esfuerzo máximo o de rotura promedio: 52,23 MPa.</li> <li>El módulo de flexión promedio: 1295,99 MPa.</li> <li>Deflexión promedio: 26,52mm</li> <li>Todas las probetas según la norma técnica presentan otro tipo de falla en la parte interna de la punta de la carga.</li> </ul>
<b>Elaborado por:</b> Sr. Geovanny Benavides	<b>Aprobado por:</b> Ing. Mg. Juan Paredes
<b>Revisado por:</b> Ing. Esteban López	<b>Validado por:</b> Ing. Mg. Juan Paredes

Fuente: Autor



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



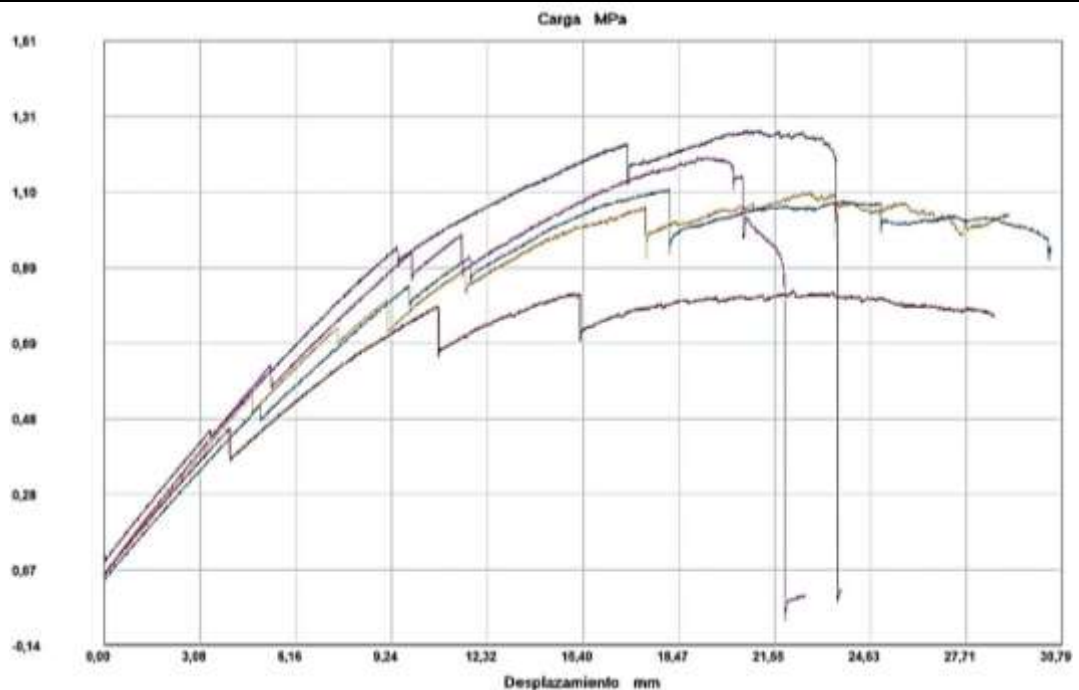
**FICHA TÉCNICA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DEL MATERIAL HÍBRIDO  
(Resina Epóxica+ Fibra de abacá + Fibra de Algodón)**

<b>Fecha:</b>	08-03-2017	<b>Tipo de ensayo:</b>	<b>FLEXIÓN</b>	<b>Registro:</b>	FL-05
<b>Laboratorio:</b>	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero				
<b>Norma aplicable:</b>	ASTM D7264M-07				
<b>Dimensiones:</b>	(160*13*4,78 espesor promedio)mm				
<b>Equipo:</b>	Máquina Universal de Ensayos	<b>Modelo:</b>	MTE-10/50		
<b>Composición del Material Híbrido.</b>					
<b>Matriz:</b>	Resina Epóxica	<b>Fracción Volumétrica:</b>	70%		
<b>Refuerzos:</b>	Fibra de Abacá	<b>Fracción Volumétrica:</b>	25,50%		
	Fibra de Algodón	<b>Fracción Volumétrica:</b>	4,50%		
<b>Número de capas:</b>	2	<b>Arreglo de fibras:</b>	Tejido Plano		
<b>Orientación de fibras</b>					
<b>Fibra de Abacá:</b>	0°	<b>Fibra de Algodón:</b>	90°		
<b>Fibra de Abacá:</b>	135°	<b>Fibra de Algodón:</b>	45°		
<b>Número de probetas:</b>	5	<b>Estratificación:</b>	Compresión Manual		

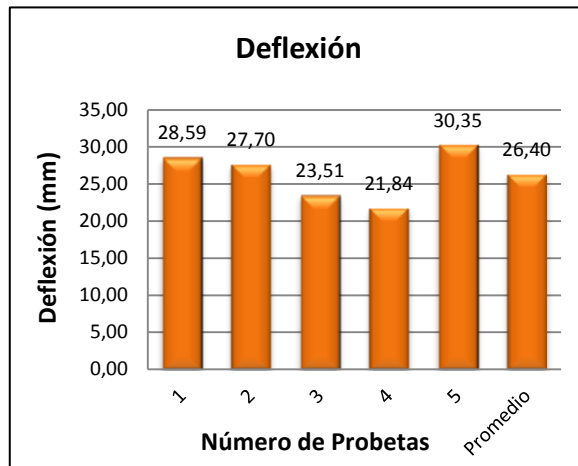
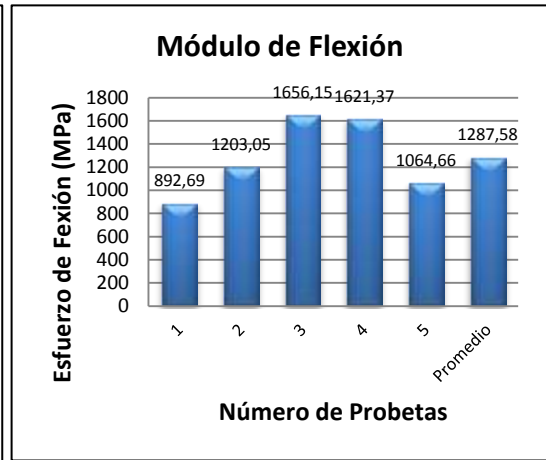
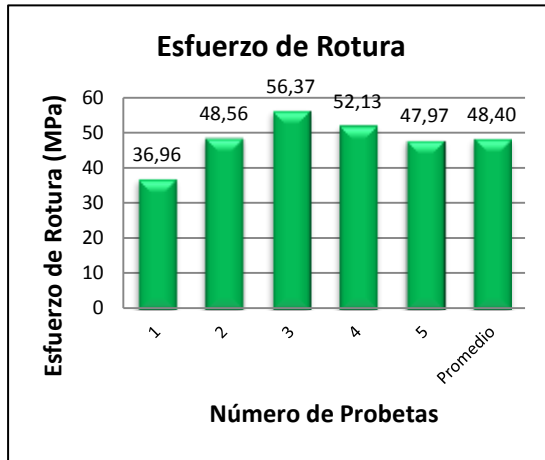
**RESULTADO DEL ENSAYO**

Muestra.	Carga máxima (N)	Esfuerzo de rotura (MPa)	Módulo de flexión (MPa)	Deflexión (mm)	Tipo de falla
1	50,52	36,96	892,69	28,59	OAB
2	67,64	48,56	1203,05	27,70	OAB
3	78,55	56,37	1656,15	23,51	OAB
4	75,87	52,13	1621,37	21,84	OAB
5	70,33	47,97	1064,66	30,35	OAB
<b>Promedio</b>	68,58	48,40	1287,58	26,40	
<b>Desviación estándar</b>	10,98	7,22	339,13	3,58	

**Carga vs desplazamiento.**



## Gráficas de Resultados



## Probetas Ensayadas



Observación	Evaluación
<ul style="list-style-type: none"> <li>La matriz y el refuerzo presentan aceptable adherencia.</li> <li>Se realiza el setup de una probeta extra.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Espesor nominal: 4,78mm.</li> <li>Esfuerzo máximo o de rotura promedio: 48,40 MPa.</li> <li>El módulo de flexión promedio: 1287,58 MPa.</li> <li>Deflexión promedio: 26,40mm</li> <li>Todas las probetas según la norma técnica presentan otro tipo de falla en la parte interna de la punta de la carga.</li> </ul>
<b>Elaborado por:</b> Sr. Geovanny Benavides	<b>Aprobado por:</b> Ing. Mg. Juan Paredes
<b>Revisado por:</b> Ing. Esteban López	<b>Validado por:</b> Ing. Mg. Juan Paredes

Fuente: Autor





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



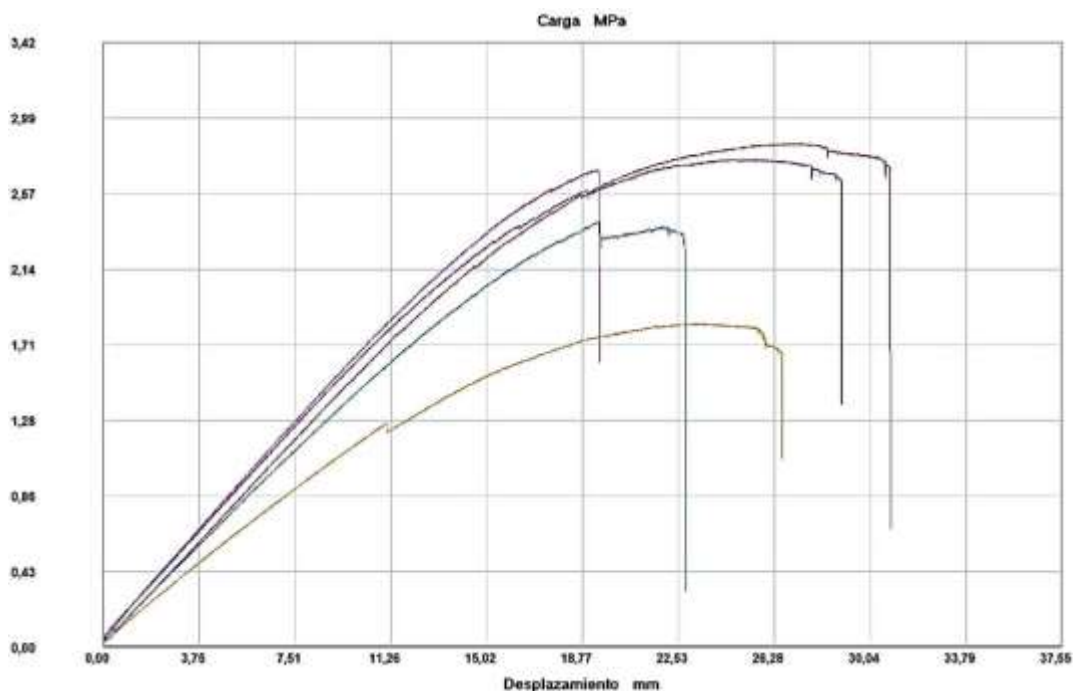
**FICHA TÉCNICA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DEL MATERIAL HÍBRIDO  
(Resina Epóxica+ Fibra de abacá + Fibra de Algodón)**

<b>Fecha:</b>	08-03-2017	<b>Tipo de ensayo:</b>	<b>FLEXIÓN</b>	<b>Registro:</b>	FL-06
<b>Laboratorio:</b>	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero				
<b>Norma aplicable:</b>	ASTM D7264M-07				
<b>Dimensiones:</b>	(160*13*4,74 espesor promedio)mm				
<b>Equipo:</b>	Máquina Universal de Ensayos	<b>Modelo:</b>	MTE-10/50		
<b>Composición del Material Híbrido.</b>					
<b>Matriz:</b>	Resina Epóxica	<b>Fracción Volumétrica:</b>	65%		
<b>Refuerzos:</b>	Fibra de Abacá	<b>Fracción Volumétrica:</b>	30,50%		
	Fibra de Algodón	<b>Fracción Volumétrica:</b>	4,50%		
<b>Número de capas:</b>	2	<b>Arreglo de fibras:</b>	Tejido Plano		
<b>Orientación de fibras</b>					
<b>Fibra de Abacá:</b>	0°	<b>Fibra de Algodón:</b>	90°		
<b>Fibra de Abacá:</b>	90°	<b>Fibra de Algodón:</b>	0°		
<b>Número de probetas:</b>	5	<b>Estratificación:</b>	Compresión Manual		

**RESULTADO DEL ENSAYO**

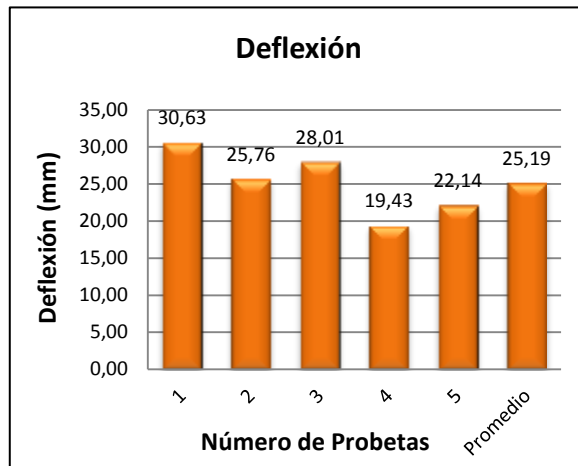
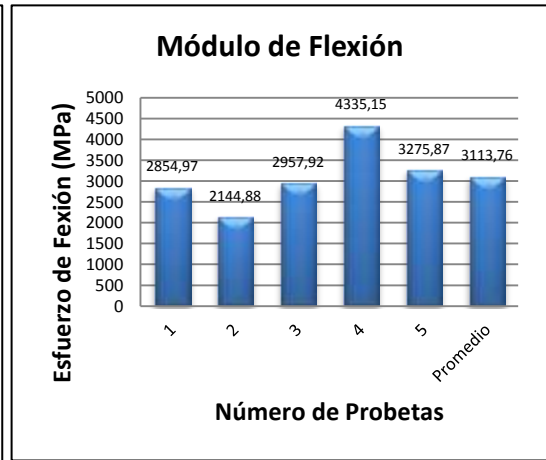
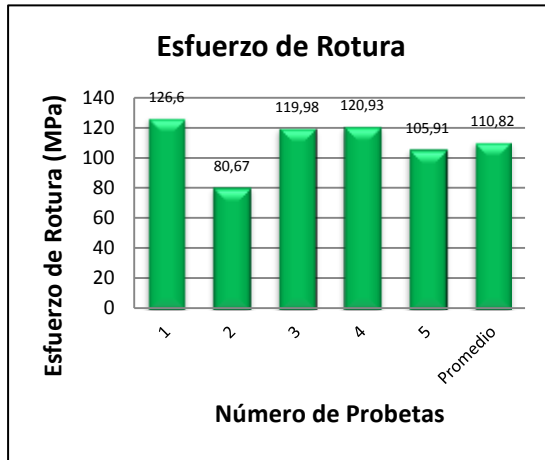
Muestra.	Carga máxima (N)	Esfuerzo de rotura (MPa)	Módulo de flexión (MPa)	Deflexión (mm)	Tipo de falla
1	175,07	126,6	2854,97	30,63	OAV
2	113,97	80,67	2144,88	25,76	OAV
3	166,68	119,98	2957,92	28,01	OAV
4	163,15	120,93	4335,15	19,43	OAV
5	146,53	105,91	3275,87	22,14	OAV
<b>Promedio</b>	153,08	110,82	3113,76	25,19	
<b>Desviación estándar</b>	24,20	18,49	798,13	4,48	

**Carga vs desplazamiento.**





## Gráficas de Resultados



## Probetas Ensayadas



Observación	Evaluación
<ul style="list-style-type: none"> <li>La matriz y el refuerzo presentan aceptable adherencia.</li> <li>Se realiza el setup de una probeta extra.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Espesor nominal: 4,74mm.</li> <li>Esfuerzo máximo o de rotura promedio: 110,82 MPa.</li> <li>El módulo de flexión promedio: 3113,76 MPa.</li> <li>Deflexión promedio: 25,19mm</li> <li>Todas las probetas según la norma técnica presentan otro tipo de falla en el punto de carga de carácter variado.</li> </ul>
<b>Elaborado por:</b> Sr. Geovanny Benavides	<b>Aprobado por:</b> Ing. Mg. Juan Paredes
<b>Revisado por:</b> Ing. Esteban López	<b>Validado por:</b> Ing. Mg. Juan Paredes

Fuente: Autor



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



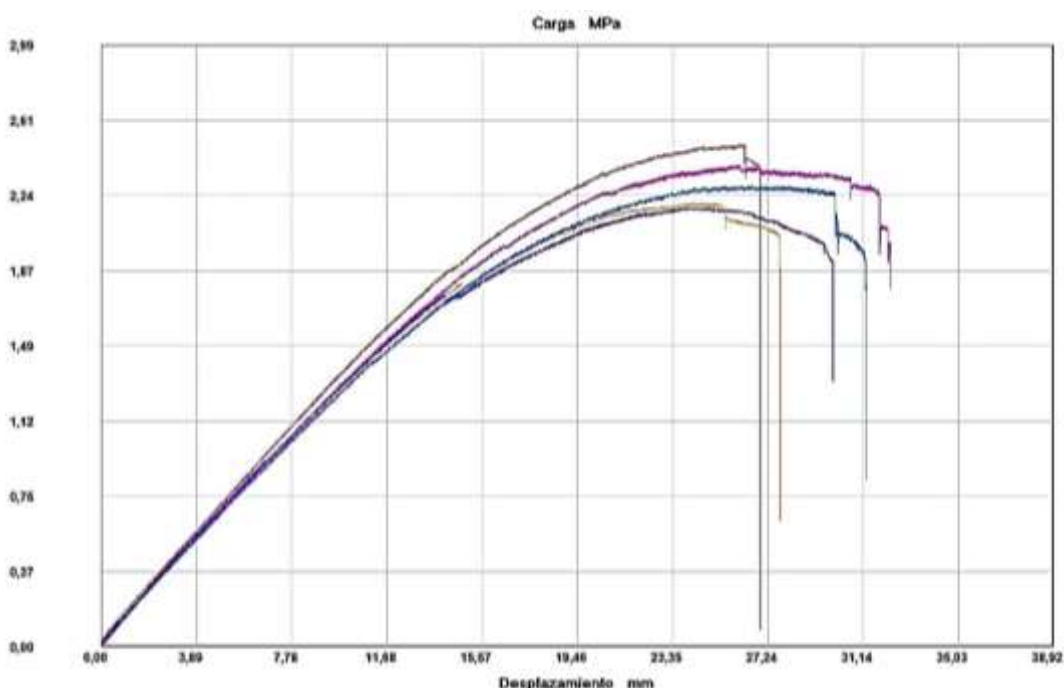
**FICHA TÉCNICA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DEL MATERIAL HÍBRIDO  
(Resina Epóxica+ Fibra de abacá + Fibra de Algodón)**

<b>Fecha:</b>	08-03-2017	<b>Tipo de ensayo:</b>	<b>FLEXIÓN</b>	<b>Registro:</b>	FL-07
<b>Laboratorio:</b>	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero				
<b>Norma aplicable:</b>	ASTM D7264M-07				
<b>Dimensiones:</b>	(160*13*4,78 espesor promedio)mm				
<b>Equipo:</b>	Máquina Universal de Ensayos	<b>Modelo:</b>	MTE-10/50		
<b>Composición del Material Híbrido.</b>					
<b>Matriz:</b>	Resina Epóxica	<b>Fracción Volumétrica:</b>	65%		
<b>Refuerzos:</b>	Fibra de Abacá	<b>Fracción Volumétrica:</b>	30,50%		
	Fibra de Algodón	<b>Fracción Volumétrica:</b>	4,50%		
<b>Número de capas:</b>	2	<b>Arreglo de fibras:</b>	Tejido Plano		
<b>Orientación de fibras</b>					
<b>Fibra de Abacá:</b>	45°	<b>Fibra de Algodón:</b>	135°		
<b>Fibra de Abacá:</b>	0°	<b>Fibra de Algodón:</b>	90°		
<b>Número de probetas:</b>	5	<b>Estratificación:</b>	Compresión Manual		

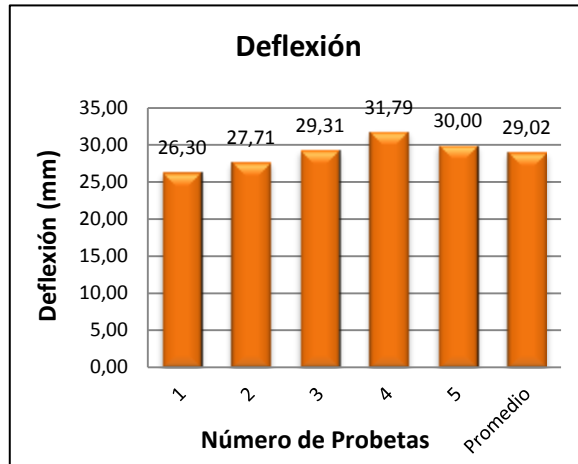
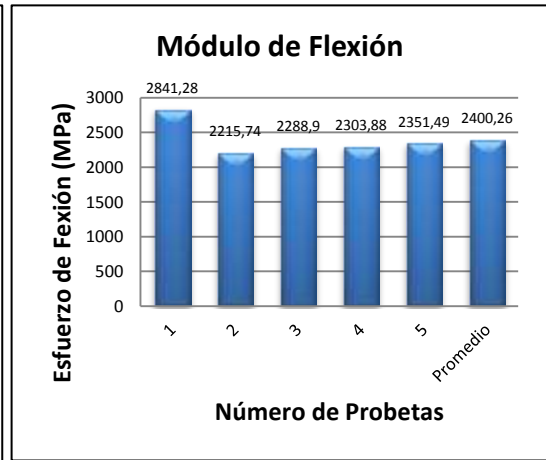
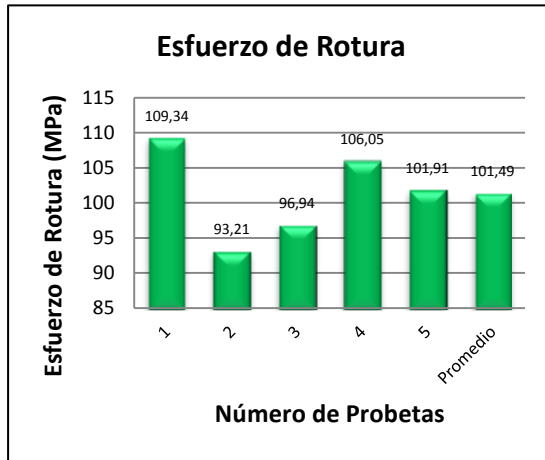
**RESULTADO DEL ENSAYO**

Muestra.	Carga máxima (N)	Esfuerzo de rotura (MPa)	Módulo de flexión (MPa)	Deflexión (mm)	Tipo de falla
1	154,42	109,34	2841,28	26,30	OAV
2	142,17	93,21	2215,74	27,71	OAV
3	132,77	96,94	2288,90	29,31	OAV
4	145,86	106,05	2303,88	31,79	OAV
5	140,66	101,91	2351,49	29,99	OAV
<b>Promedio</b>	143,18	101,49	2400,26	29,02	
<b>Desviación estándar</b>	7,89	6,55	251,30	2,11	

**Carga vs desplazamiento.**



## Gráficas de Resultados






## Probetas Ensayadas



Observación	Evaluación
<ul style="list-style-type: none"> <li>La matriz y el refuerzo presentan aceptable adherencia.</li> <li>Se realiza el setup de una probeta extra.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Espesor nominal: 4,78mm.</li> <li>Esfuerzo máximo o de rotura promedio: 101,49 MPa.</li> <li>El módulo de flexión promedio: 2400,26 MPa.</li> <li>Deflexión promedio: 29,02mm</li> <li>Todas las probetas según la norma técnica presentan otro tipo de falla en el punto de carga de carácter variado.</li> </ul>
<b>Elaborado por:</b> Sr. Geovanny Benavides	<b>Aprobado por:</b> Ing. Mg. Juan Paredes
<b>Revisado por:</b> Ing. Esteban López	<b>Validado por:</b> Ing. Mg. Juan Paredes

Fuente: Autor

		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>			
<b>FICHA TÉCNICA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DEL MATERIAL HÍBRIDO</b> <b>(Resina Epóxica+ Fibra de abacá + Fibra de Algodón)</b>					
<b>Fecha:</b>	08-03-2017	<b>Tipo de ensayo:</b>	<b>IMPACTO</b>	<b>Registro:</b>	IM-01
<b>Laboratorio:</b>	Laboratorio de Materiales de la Facultad de Ingeniería Mecánica. FICM-UTA				
<b>Norma aplicable:</b>	ASTM 5628-10.				
<b>Dimensiones:</b>	(58*58*4,77 espesor promedio)mm				
<b>Equipo:</b>	Máquina de Impacto por Dardo.	<b>Modelo:</b>			
<b>Composición del Material Híbrido.</b>					
<b>Matriz:</b>	Resina Epóxica	<b>Fracción Volumétrica:</b>	75%		
<b>Refuerzos:</b>	Fibra de Abacá	<b>Fracción Volumétrica:</b>	18,25%		
	Fibra de Algodón	<b>Fracción Volumétrica:</b>	6,75%		
<b>Número de capas:</b>	3	<b>Arreglo de fibras:</b>	Tejido Plano		
<b>Orientación de fibras</b>					
<b>Fibra de Abacá:</b>	0°	<b>Fibra de Algodón:</b>	90°		
<b>Fibra de Abacá:</b>	90°	<b>Fibra de Algodón:</b>	0°		
<b>Fibra de Abacá:</b>	0°	<b>Fibra de Algodón:</b>	90°		
<b>Número de probetas:</b>	8	<b>Estratificación:</b>	Compresión Manual		
<b>RESULTADO DEL ENSAYO</b>					
<b>Muestra.</b>	<b>Altura del lanzamiento de falla (mm)</b>	<b>Resistencia Máxima al Impacto MEF=hwf [J]</b>			
1	1000	5,79			
<b>Probetas Ensayadas</b>					
					
<b>Observación</b>			<b>Evaluación</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>La matriz y el refuerzo presentan aceptable adherencia.</li> <li>Durante el ensayo la matriz se fractura, pero los refuerzos no presentan rotura.</li> <li>La altura de falla se presenta al ensayar todas las probetas del grupo.</li> </ul>			<ul style="list-style-type: none"> <li>Espesor nominal: 4,77mm.</li> <li>El peso total del dardo y arandelas en el ensayo es de 0,59 Kg.</li> <li>La altura en la que el material híbrido falla es a 1000mm</li> <li>Falla de grieta o fisura en la superficie.</li> </ul>		
<b>Elaborado por:</b>	Sr. Geovanny Benavides	<b>Aprobado por:</b>	Ing. Mg. Juan Paredes		
<b>Revisado por:</b>	Ing. Jorge Mera	<b>Validado por:</b>	Ing. Mg. Juan Paredes		

Fuente: Autor



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



**FICHA TÉCNICA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DEL MATERIAL HÍBRIDO  
(Resina Epóxica+ Fibra de abacá + Fibra de Algodón)**

<b>Fecha:</b>	08-03-2017	<b>Tipo de ensayo:</b>	<b>IMPACTO</b>	<b>Registro:</b>	IM-02
<b>Laboratorio:</b>	Laboratorio de Materiales de la Facultad de Ingeniería Mecánica. FICM-UTA				
<b>Norma aplicable:</b>	ASTM 5628-10.				
<b>Dimensiones:</b>	(58*58*4,80 espesor promedio)mm				
<b>Equipo:</b>	Máquina de Impacto por Dardo.	<b>Modelo:</b>			

**Composición del Material Híbrido.**

<b>Matriz:</b>	Resina Epóxica	<b>Fracción Volumétrica:</b>	75%
<b>Refuerzos:</b>	Fibra de Abacá	<b>Fracción Volumétrica:</b>	18,25%
	Fibra de Algodón	<b>Fracción Volumétrica:</b>	6,75%
<b>Número de capas:</b>	3	<b>Arreglo de fibras:</b>	Tejido Plano
<b>Orientación de fibras</b>			
<b>Fibra de Abacá:</b>	45°	<b>Fibra de Algodón:</b>	135°
<b>Fibra de Abacá:</b>	0°	<b>Fibra de Algodón:</b>	90°
<b>Fibra de Abacá:</b>	135°	<b>Fibra de Algodón:</b>	45°
<b>Número de probetas:</b>	8	<b>Estratificación:</b>	Compresión Manual

**RESULTADO DEL ENSAYO**




<b>Muestra.</b>	<b>Altura del lanzamiento de falla (mm)</b>	<b>Resistencia Máxima al Impacto MEF=hwf [J]</b>
<b>1</b>	1100	7,34

**Probetas Ensayadas**






<b>Observación</b>		<b>Evaluación</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>La matriz y el refuerzo presentan aceptable adherencia.</li> <li>Durante el ensayo la matriz se fractura, pero los refuerzos no presentan rotura.</li> <li>La altura de falla se presenta al ensayar todas las probetas del grupo.</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>Espesor nominal: 4,80mm.</li> <li>El peso total del dardo y arandelas en el ensayo es de 0,68 Kg.</li> <li>La altura en la que el material híbrido falla es a 1100mm</li> <li>Falla de grieta o fisura en la superficie.</li> </ul>	
<b>Elaborado por:</b>	Sr. Geovanny Benavides	<b>Aprobado por:</b>	Ing. Mg. Juan Paredes
<b>Revisado por:</b>	Ing. Jorge Mera	<b>Validado por:</b>	Ing. Mg. Juan Paredes

Fuente: Autor

		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>			
<b>FICHA TÉCNICA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DEL MATERIAL HÍBRIDO</b> <b>(Resina Epóxica+ Fibra de abacá + Fibra de Algodón)</b>					
<b>Fecha:</b>	08-03-2017	<b>Tipo de ensayo:</b>	<b>IMPACTO</b>	<b>Registro:</b>	IM-03
<b>Laboratorio:</b>	Laboratorio de Materiales de la Facultad de Ingeniería Mecánica. FICM-UTA				
<b>Norma aplicable:</b>	ASTM 5628-10.				
<b>Dimensiones:</b>	(58*58* 4,93espesor promedio)mm				
<b>Equipo:</b>	Máquina de Impacto por Dardo.	<b>Modelo:</b>			
<b>Composición del Material Híbrido.</b>					
<b>Matriz:</b>	Resina Epóxica	<b>Fracción Volumétrica:</b>	75%		
<b>Refuerzos:</b>	Fibra de Abacá	<b>Fracción Volumétrica:</b>	18,25%		
	Fibra de Algodón	<b>Fracción Volumétrica:</b>	6,75%		
<b>Número de capas:</b>	3	<b>Arreglo de fibras:</b>	Tejido Plano		
<b>Orientación de fibras</b>					
<b>Fibra de Abacá:</b>	0°	<b>Fibra de Algodón:</b>	90°		
<b>Fibra de Abacá:</b>	45°	<b>Fibra de Algodón:</b>	135°		
<b>Fibra de Abacá:</b>	0°	<b>Fibra de Algodón:</b>	90°		
<b>Número de probetas:</b>	8	<b>Estratificación:</b>	Compresión Manual		
<b>RESULTADO DEL ENSAYO</b>					
<b>Muestra.</b>	<b>Altura del lanzamiento de falla (mm)</b>	<b>Resistencia Máxima al Impacto MEF=hwf [J]</b>			
1	1200	8			
<b>Probetas Ensayadas</b>					
					
<b>Observación</b>			<b>Evaluación</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>La matriz y el refuerzo presentan aceptable adherencia.</li> <li>Durante el ensayo la matriz y el refuerzo se fracturan en conjunto.</li> <li>La altura de falla se presenta al ensayar todas las probetas del grupo.</li> </ul>			<ul style="list-style-type: none"> <li>Espesor nominal: 4,93mm.</li> <li>El peso total del dardo y arandelas en el ensayo es de 0,68 Kg.</li> <li>La altura en la que el material híbrido falla es a 1200mm</li> <li>Falla de grieta o fisura en la superficie.</li> </ul>		
<b>Elaborado por:</b>	Sr. Geovanny Benavides	<b>Aprobado por:</b>	Ing. Mg. Juan Paredes		
<b>Revisado por:</b>	Ing. Jorge Mera	<b>Validado por:</b>	Ing. Mg. Juan Paredes		

Fuente: Autor



		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>			
<b>FICHA TÉCNICA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DEL MATERIAL HÍBRIDO</b>					
<b>(Resina Epóxica+ Fibra de abacá + Fibra de Algodón)</b>					
<b>Fecha:</b>	08-03-2017	<b>Tipo de ensayo:</b>	<b>IMPACTO</b>	<b>Registro:</b>	IM-04
<b>Laboratorio:</b>	Laboratorio de Materiales de la Facultad de Ingeniería Mecánica. FICM-UTA				
<b>Norma aplicable:</b>	ASTM 5628-10.				
<b>Dimensiones:</b>	(58*58* 4,84espesor promedio)mm				
<b>Equipo:</b>	Máquina de Impacto por Dardo.	<b>Modelo:</b>			
<b>Composición del Material Híbrido.</b>					
<b>Matriz:</b>	Resina Epóxica	<b>Fracción Volumétrica:</b>	70%		
<b>Refuerzos:</b>	Fibra de Abacá	<b>Fracción Volumétrica:</b>	25,50%		
	Fibra de Algodón	<b>Fracción Volumétrica:</b>	4,50%		
<b>Número de capas:</b>	2	<b>Arreglo de fibras:</b>	Tejido Plano		
<b>Orientación de fibras</b>					
<b>Fibra de Abacá:</b>	0°	<b>Fibra de Algodón:</b>	90°		
<b>Fibra de Abacá:</b>	90°	<b>Fibra de Algodón:</b>	0°		
<b>Número de probetas:</b>	8	<b>Estratificación:</b>	Compresión Manual		
<b>RESULTADO DEL ENSAYO</b>					
<b>Muestra.</b>	<b>Altura del lanzamiento de falla (mm)</b>	<b>Resistencia Máxima al Impacto MEF=hwf [J]</b>			
1	1100	6,36			
<b>Probetas Ensayadas</b>					
					
<b>Observación</b>			<b>Evaluación</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>La matriz y el refuerzo presentan aceptable adherencia.</li> <li>Durante el ensayo la matriz y el refuerzo se fracturan en conjunto en la última probeta ensayada.</li> <li>La altura de falla se presenta al ensayar todas las probetas del grupo.</li> </ul>			<ul style="list-style-type: none"> <li>Espesor nominal: 4,84mm.</li> <li>El peso total del dardo y arandelas en el ensayo es de 0,59 Kg.</li> <li>La altura en la que el material híbrido falla es a 1100mm</li> <li>Falla de grieta o fisura en la superficie.</li> </ul>		
<b>Elaborado por:</b>	Sr. Geovanny Benavides	<b>Aprobado por:</b>	Ing. Mg. Juan Paredes		
<b>Revisado por:</b>	Ing. Jorge Mera	<b>Validado por:</b>	Ing. Mg. Juan Paredes		

Fuente: Autor



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



**FICHA TÉCNICA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DEL MATERIAL HÍBRIDO**  
**(Resina Epóxica+ Fibra de abacá + Fibra de Algodón)**

<b>Fecha:</b>	08-03-2017	<b>Tipo de ensayo:</b>	<b>IMPACTO</b>	<b>Registro:</b>	IM-05
<b>Laboratorio:</b>	Laboratorio de Materiales de la Facultad de Ingeniería Mecánica. FICM-UTA				
<b>Norma aplicable:</b>	ASTM 5628-10.				
<b>Dimensiones:</b>	(58*58* 4,78espesor promedio)mm				
<b>Equipo:</b>	Máquina de Impacto por Dardo.	<b>Modelo:</b>			

**Composición del Material Híbrido.**

<b>Matriz:</b>	Resina Epóxica	<b>Fracción Volumétrica:</b>	70%
<b>Refuerzos:</b>	Fibra de Abacá	<b>Fracción Volumétrica:</b>	25,50%
	Fibra de Algodón	<b>Fracción Volumétrica:</b>	4,50%
<b>Número de capas:</b>	2	<b>Arreglo de fibras:</b>	Tejido Plano
<b>Orientación de fibras</b>			
<b>Fibra de Abacá:</b>	0°	<b>Fibra de Algodón:</b>	90°
<b>Fibra de Abacá:</b>	135°	<b>Fibra de Algodón:</b>	45°
<b>Número de probetas:</b>	8	<b>Estratificación:</b>	Compresión Manual

**RESULTADO DEL ENSAYO**

Muestra.	Altura del lanzamiento de falla (mm)	Resistencia Máxima al Impacto MEF=hwf [J]
1	900	5,21

**Probetas Ensayadas**



Observación	Evaluación		
<ul style="list-style-type: none"> <li>La matriz y el refuerzo presentan aceptable adherencia.</li> <li>Durante el ensayo la matriz y el refuerzo se fracturan en conjunto.</li> <li>La altura de falla se presenta al ensayar todas las probetas del grupo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Espesor nominal: 4,78mm.</li> <li>El peso total del dardo y arandelas en el ensayo es de 0,59 Kg.</li> <li>La altura en la que el material híbrido falla es a 900mm</li> <li>Falla de grieta o fisura en la superficie.</li> </ul>		
<b>Elaborado por:</b>	Sr. Geovanny Benavides	<b>Aprobado por:</b>	Ing. Mg. Juan Paredes
<b>Revisado por:</b>	Ing. Jorge Mera	<b>Validado por:</b>	Ing. Mg. Juan Paredes

Fuente: Autor





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



**FICHA TÉCNICA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DEL MATERIAL HÍBRIDO  
(Resina Epóxica+ Fibra de abacá + Fibra de Algodón)**

<b>Fecha:</b>	08-03-2017	<b>Tipo de ensayo:</b>	<b>IMPACTO</b>	<b>Registro:</b>	IM-06
<b>Laboratorio:</b>	Laboratorio de Materiales de la Facultad de Ingeniería Mecánica. FICM-UTA				
<b>Norma aplicable:</b>	ASTM 5628-10.				
<b>Dimensiones:</b>	(58*58*4,88 espesor promedio)mm				
<b>Equipo:</b>	Máquina de Impacto por Dardo.	<b>Modelo:</b>			

**Composición del Material Híbrido.**

<b>Matriz:</b>	Resina Epóxica	<b>Fracción Volumétrica:</b>	65%
<b>Refuerzos:</b>	Fibra de Abacá	<b>Fracción Volumétrica:</b>	30,50%
	Fibra de Algodón	<b>Fracción Volumétrica:</b>	4,50%
<b>Número de capas:</b>	2	<b>Arreglo de fibras:</b>	Tejido Plano
<b>Orientación de fibras</b>			
<b>Fibra de Abacá:</b>	0°	<b>Fibra de Algodón:</b>	90°
<b>Fibra de Abacá:</b>	90°	<b>Fibra de Algodón:</b>	0°
<b>Número de probetas:</b>	8	<b>Estratificación:</b>	Compresión Manual

**RESULTADO DEL ENSAYO**




Muestra.	Altura del lanzamiento de falla (mm)	Resistencia Máxima al Impacto MEF=hwf [J]
1	1000	5,79

**Probetas Ensayadas**



<b>Observación</b>		<b>Evaluación</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>La matriz y el refuerzo presentan aceptable adherencia.</li> <li>Durante el ensayo la matriz y el refuerzo se fracturan en conjunto.</li> <li>La altura de falla se presenta al ensayar todas las probetas del grupo.</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>Espesor nominal: 4,88mm.</li> <li>El peso total del dardo y arandelas en el ensayo es de 0,59 Kg.</li> <li>La altura en la que el material híbrido falla es a 1000mm</li> <li>Falla de grieta o fisura en la superficie.</li> </ul>	
<b>Elaborado por:</b>	Sr. Geovanny Benavides	<b>Aprobado por:</b>	Ing. Mg. Juan Paredes
<b>Revisado por:</b>	Ing. Jorge Mera	<b>Validado por:</b>	Ing. Mg. Juan Paredes

Fuente: Autor

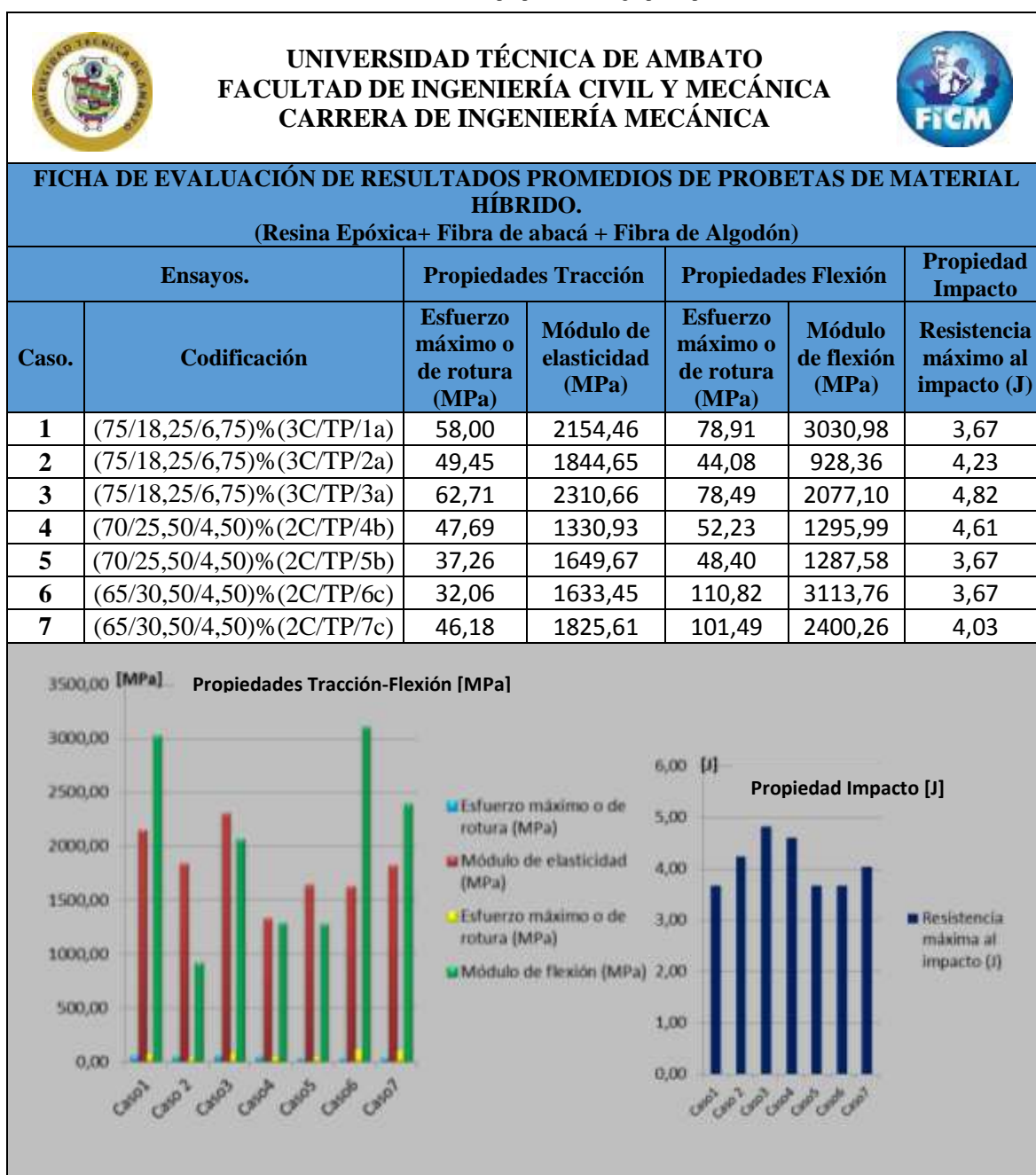
		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>			
<b>FICHA TÉCNICA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DEL MATERIAL HÍBRIDO</b>					
<b>(Resina Epóxica+ Fibra de abacá + Fibra de Algodón)</b>					
<b>Fecha:</b>	08-03-2017	<b>Tipo de ensayo:</b>	<b>IMPACTO</b>	<b>Registro:</b>	IM-07
<b>Laboratorio:</b>	Laboratorio de Materiales de la Facultad de Ingeniería Mecánica. FICM-UTA				
<b>Norma aplicable:</b>	ASTM 5628-10.				
<b>Dimensiones:</b>	(58*58* 4,90espesor promedio)mm				
<b>Equipo:</b>	Máquina de Impacto por Dardo.	<b>Modelo:</b>			
<b>Composición del Material Híbrido.</b>					
<b>Matriz:</b>	Resina Epóxica	<b>Fracción Volumétrica:</b>	65%		
<b>Refuerzos:</b>	Fibra de Abacá	<b>Fracción Volumétrica:</b>	30,50%		
	Fibra de Algodón	<b>Fracción Volumétrica:</b>	4,50%		
<b>Número de capas:</b>	2	<b>Arreglo de fibras:</b>	Tejido Plano		
<b>Orientación de fibras</b>					
<b>Fibra de Abacá:</b>	45°	<b>Fibra de Algodón:</b>	135°		
<b>Fibra de Abacá:</b>	0°	<b>Fibra de Algodón:</b>	90°		
<b>Número de probetas:</b>	8	<b>Estratificación:</b>	Compresión Manual		
<b>RESULTADO DEL ENSAYO</b>					
<b>Muestra.</b>	<b>Altura del lanzamiento de falla (mm)</b>	<b>Resistencia Máxima al Impacto MEF=hwf [J]</b>			
<b>1</b>	900	5,21			
<b>Probetas Ensayadas</b>					
					
<b>Observación</b>			<b>Evaluación</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>La matriz y el refuerzo presentan aceptable adherencia.</li> <li>Durante el ensayo la matriz y el refuerzo se fracturan en conjunto.</li> <li>La altura de falla se presenta al ensayar todas las probetas del grupo.</li> </ul>			<ul style="list-style-type: none"> <li>Espesor nominal: 4,90mm.</li> <li>El peso total del dardo y arandelas en el ensayo es de 0,59 Kg.</li> <li>La altura en la que el material híbrido falla es a 900mm</li> <li>Falla de grieta o fisura en la superficie.</li> </ul>		
<b>Elaborado por:</b>	Sr. Geovanny Benavides	<b>Aprobado por:</b>	Ing. Mg. Juan Paredes		
<b>Revisado por:</b>	Ing. Jorge Mera	<b>Validado por:</b>	Ing. Mg. Juan Paredes		

Fuente: Autor

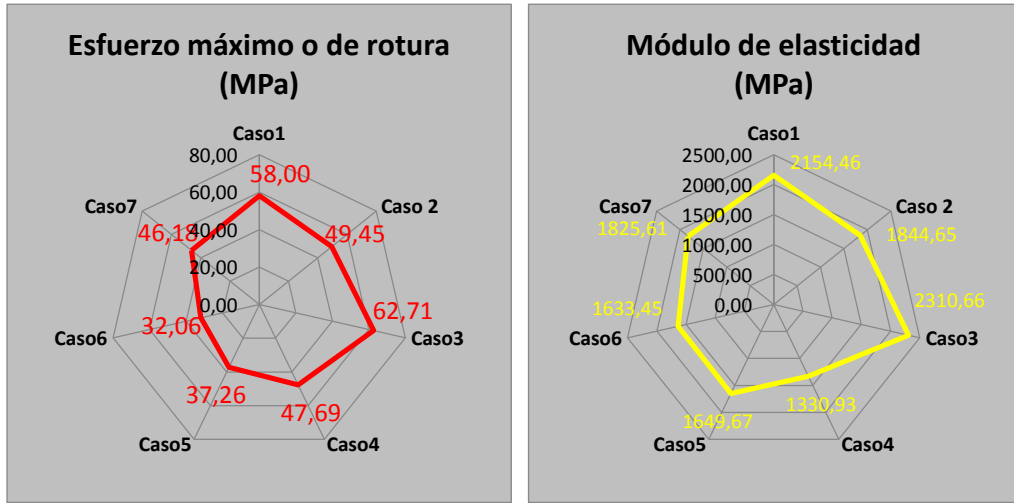
## 4.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS

El análisis de las propiedades mecánicas del material híbrido se la realizó mediante la evaluación de los datos adquiridos en los ensayos planteados (tracción, flexión e impacto), en donde se especifica la conformación de cada grupo de probetas tomando en cuenta la orientación de fibras, fracciones volumétricas, tiempo de curado entre otros factores que intervienen en la elaboración del material. Las propiedades del material que se asumió para el análisis se describen en la siguiente ficha.

Ficha Técnica 22. Evaluación de las propiedades del grupo de probetas realizadas.

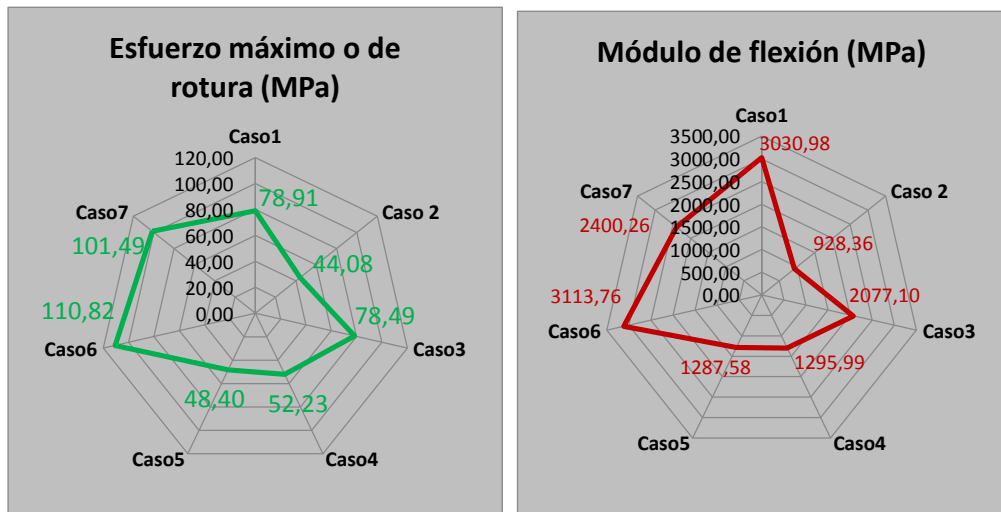


### Propiedades Tracción



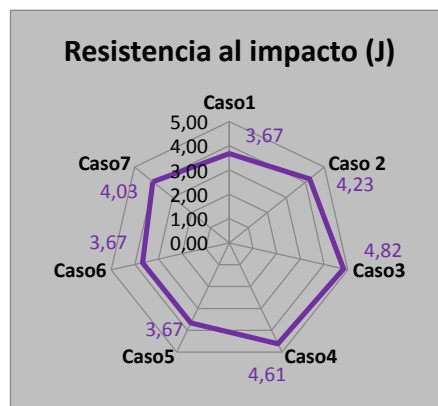
Las gráficas radiales de las propiedades del ensayo a tracción muestran los valores relativos al punto central en las cual se verifica que los mejores datos se presentan en el caso 3.

### Propiedades Flexión



Las gráficas radiales de las propiedades del ensayo a flexión muestran los valores relativos al punto central en las cual se verifica que los mejores datos se presentan en el caso 6.

### Propiedad Impacto



La gráfica radial de la propiedad del ensayo de impacto muestra los valores relativos al punto central en la cual se verifica que los mejores datos se presentan en el caso 3.

## OBSERVACIÓN

Detalle de las diferentes configuraciones tomadas para cada caso realizado.

Configuraciones	Fracción Volumétrica de Resina Epóxica matriz	Fracción Volumétrica de Refuerzos		Especificación del tejido.	Orientación de Fibras	
		Fibra de Abacá	Fibra de Algodón		Fibra de Abacá	Fibra de Algodón
Caso 1	75%	18,25%	6,75%	Tejido Plano	0°	90°
					90°	0°
					0°	90°
Caso 2	75%	18,25%	6,75%	Tejido Plano	45°	135°
					0°	90°
					135°	45°
Caso 3	75%	18,25%	6,75%	Tejido Plano	0°	90°
					45°	135°
					0°	90°
Caso 4	70%	25,50%	4,50%	Tejido Plano	0°	90°
					90°	0°
Caso 5	70%	25,50%	4,50%	Tejido Plano	0°	90°
					135°	45°
Caso 6	65%	30,50%	4,50%	Tejido Plano	0°	90°
					90°	0°
Caso 7	65%	30,50%	4,50%	Tejido Plano	45°	135°
					0°	90°

## EVALUACIÓN

La representación gráfica de las propiedades mecánicas permite considerar las mejores características del material híbrido obteniendo como mejor resultado en el ensayo de tracción la configuración del caso 3 en las propiedades de esfuerzo máximo o de rotura conjuntamente con su módulo de elasticidad dicha caracterización está conformada por 75% matriz de resina epóxica, 18,25% de refuerzo de fibra de abacá y 6,75% refuerzo de fibra de algodón. El número de capas de refuerzo en tejido plano utilizado es de 3 y las orientaciones se disponen (0°, 90°); (45°, 135°); (0°, 90°) respectivamente. El espesor promedio de las probetas normalizadas es de 4,88 mm

Los resultados obtenidos bajo el ensayo de flexión para el material arrojan los mejores valores para la caracterización del caso 6 en las propiedades evaluadas como son esfuerzo máximo o de rotura y módulo de flexión, la caracterización está constituida por 65% matriz de resina epóxica, 30,50% de refuerzo de fibra de abacá y 4,50% de fuerza de fibra de algodón. El número de capas de refuerzo en tejido plano utilizado es de 2 y las orientaciones se disponen (0°, 90°) y (90°, 0°) respectivamente. El espesor promedio de las probetas normalizadas es de 4,74 mm

Las mejores características que presenta el material híbrido respecto al ensayo de impacto evaluando la propiedad de resistencia máxima al impacto presenta el mejor resultado en la caracterización del caso 3.

Fuente: Autor

#### 4.2.1 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.

La interpretación de los resultados obtenidos mediante los diferentes ensayos realizados se presenta en la ficha 23 con su ponderación respectiva.

**Ficha Técnica 23.** Interpretación de resultados de las propiedades mecánicas del material híbrido (Resina Epóxica+ Fibra de abacá + Fibra de Algodón)

Material	Espesor promedio (mm)	$\Delta$	Tracción			Flexión			Impacto		Aceptación y rechazo (Sobre 10)		
			Esfuerzo de rotura (Mpa)	$\Delta$	Módulo de elasticidad (Mpa)	$\Delta$	Esfuerzo de rotura (Mpa)	$\Delta$	Módulo de flexión (Mpa)	$\Delta$		Resistencia máximo al impacto (J)	$\Delta$
Caso 1	4,81	0,01	58,00	10,38	2154,46	333,11	78,912	5,42	3030,98	1011,83	3,67	0,433	7,5
Caso 2	4,87	0,07	49,45	1,83	1844,65	23,303	44,082	29,4	928,36	1090,8	4,23	0,13	4,17
Caso 3	4,90	0,10	62,71	15,09	2310,66	489,31	78,494	5	2077,10	57,951	4,82	0,72	8,33
Caso 4	4,89	0,10	47,69	0,07	1330,93	490,42	52,23	21,3	1295,99	723,16	4,61	0,51	5,83
Caso 5	4,79	0,00	37,26	10,36	1649,67	171,68	48,40	25,1	1287,58	731,57	3,67	0,43	5,83
Caso 6	4,81	0,02	32,06	15,56	1633,45	187,9	110,82	37,3	3113,76	1094,61	3,67	0,433	6,67
Caso 7	4,85	0,06	46,18	1,44	1825,61	4,2629	101,49	28	2400,26	381,11	4,03	0,07	6,67
Parámetros	4,79		47,62		1821,35		73,49		2019,15		4,10		
D. Estándar	0,04		10,73		330,72		26,39		877,36		0,48		

Aceptable	10
Medianamente aceptable	5
No aceptable	0

Fuente: Autor

Dónde.

$\Delta$ : Diferencia de la media aritmética con respecto a los datos obtenidos.

El análisis se realizó con los datos obtenidos de los diferentes ensayos, el procedimiento desarrollado para interpretar los datos son parámetros estadísticos como la media aritmética de los datos y la desviación estándar. La evaluación se efectúa mediante la ponderación descrita para tener el mejor caso de estudio.

La ficha técnica 23 representa la interpretación de resultados de los datos obtenidos de los ensayos de tracción, flexión e impacto, esta interpretación es elaborada con los parámetros estadísticos.

Los resultados obtenidos determinan que la mejor caracterización del material híbrido es el caso 3, la presente estratificación proporciona las mejores propiedades en los ensayos planteados y la configuración del material en su fracción volumétrica es de 75% resina epóxica (matriz), 18,25% fibra de abacá y 6,75% fibra de algodón (refuerzos).

#### **4.2.2 APLICACIONES INDUSTRIALES**

Los materiales híbridos han incursionado el campo industrial a pasos agigantados en los últimos años para ser reemplazo de materiales metálicos debido a las ventajas en sus propiedades como menor peso, resistencia a alta temperaturas entre otras.

El material híbrido de matriz de resina epóxica con refuerzo de tejido plano conformado de fibra de abacá y algodón puede ser aplicado en la fabricación de partes internas y externas de carrocerías para autobuses, carcazas para electrodomésticos y recipientes para comercialización de productos.

#### **4.3. VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS.**

Concluido el proceso de investigación donde se realiza la revisión, tabulación, análisis e interpretación de resultados se procede a sustentar la hipótesis planteada en forma estadística y comparativa, analizando las propiedades del material híbrido mediante la utilización de la ponderación de resultados para así obtener el mejor material constituido.

La mejor caracterización que se presenta es el caso 3 mismo que es conformado de 75% de resina epóxica como matriz, el refuerzo es un tejido diseñado con el 18,25% de fibra de abacá y 6,75% de fibra de algodón además el material está conformado

por 3 capas del refuerzo descrito en las siguientes orientaciones ( $0^\circ$ ,  $90^\circ$ ); ( $45^\circ$ ,  $135^\circ$ ); ( $0^\circ$ ,  $90^\circ$ ) por capas de tejido plano (abacá + algodón), además la estratificación del material es a compresión en todos los casos planteados.

Finalizado el análisis se corrobora que la caracterización del material híbrido que es conformado tejido plano (abacá + algodón) en diferentes orientaciones permitió determinar las propiedades mecánicas, con esto se expresa que las propiedades del material está en función de los porcentajes de la matriz y los refuerzos.



## CAPÍTULO V

### 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en el presente estudio proporcionan información para poder extraer las siguientes conclusiones.

- La metodología experimental utilizada en la investigación permite determinar los parámetros iniciales para la conformación del material híbrido como son las proporciones másicas reales, tiempo de curado del material y la configuración del tejido a realizar.
- Las cuantificaciones definitivas permiten determinar la conformación del material híbrido en la cual se toma en cuenta las fracciones volumétricas, orientación de las fibras de abacá y algodón, número de capas del tejido, el espesor final del material, el tipo de estratificación y la normativa técnica para la ejecución de ensayos.
- La orientación de las capas de tejido en diferentes direcciones ( $0^\circ/\pm 45^\circ/90^\circ$ ) tiene como fin proporcionar refuerzo en múltiples direcciones al material.
- La forma del refuerzo está dispuesto en tejido plano ya que este diseño es muy estable y difícilmente se distorsiona al momento de realizar la estratificación del material híbrido.
- Debido a las características de la matriz termoestable a utilizar se eligió el tipo de estratificación por compresión.
- Las dimensiones de las probetas de tracción, flexión e impacto están conformadas mediante la normativa ASTM.
- La aplicación de las normas técnicas ASTM D3039-00, ASTM D7264-07 y ASTM D5228-10 para ensayos a tracción, flexión e impacto respectivamente permiten determinar las propiedades mecánicas del material híbrido, como son: esfuerzo de rotura (tracción - flexión), módulo de elasticidad, módulo de flexión y la resistencia máxima al impacto.

- Los resultados obtenidos de las probetas sometidas a los diferentes ensayos por tracción, flexión e impacto permiten destacar la caracterización del caso 3 como el mejor grupo que presenta las mejores propiedades mecánicas, la conformación del material para este caso es de 75% matriz de resina epóxica, 18,25% de refuerzo de fibra de abacá y 6,75% refuerzo de fibra de algodón, utilizando 3 capas de refuerzo en tejido plano en orientaciones (0°, 90°); (45°, 135°); (0°, 90°) respectivamente y espesor promedio de 4,88 mm
- Las propiedades mecánicas finales del material híbrido (Resina Epóxica+ Fibra de abacá + Fibra de Algodón) están dispuestas para una carga máxima 7523,61 N, esfuerzo de fluencia 1,45 MPa, esfuerzo de rotura 62,71 MPa y módulo de elasticidad 2310,66 MPa.

## **5.2. RECOMENDACIONES**

- La fibra de abacá debe estar seca y libre de impurezas para no tener ningún inconveniente al momento de realizar el tejido plano en telar textil.
- Un tejido estructurado de manera correcta con fibra seca y sin impurezas permite al momento de la estratificación del material un mejor acabado superficial y mejor adhesividad de la matriz con el refuerzo.
- Los materiales para la elaboración del molde tienen que ser verificados que no presenten deformaciones y daños superficiales.
- La estructura del molde permite obtener las probetas necesarias según la norma técnica para los ensayos de cada caracterización planteada.
- Al momento de realizar el conformado del material verificar que el área de trabajo esté libre de impurezas, aplicar el líquido polivinico para eliminar partículas pequeñas que se encuentren en el molde, usar cera desmoldante con el fin de evitar que el material se adhiera al molde.
- El material es cortado con láser para obtener las dimensiones de las probetas de tracción, flexión e impacto.
- La geometría de las probetas para el corte deben poseer un sobredimensionado de 1mm ya que el material sufre una afectación térmica leve generada por el corte a laser.
- El ajuste de los pernos debe ser de forma aleatoria para tener uniformidad y homogeneidad en el material.

- La rigidez del molde está en función del tipo de material y espesor de sus componentes constitutivos, primordialmente la tapa y base deben poseer un espesor adecuado para no sufrir daños en la superficie de trabajo debido a la acción de fuerzas en el momento del moldeo.
- La utilización de las sobremontas en las probetas de tracción permiten que no produzca deslizamiento del material con las mordazas para así obtener resultados confiables y seguros.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- [1] María Elena Sánchez Vergara, Iván Enrique Campos Silva, *Tecnología de los Materiales*, 3 Edición. México Editorial Trillas.
- [2] Lohengrin David Benazco Ángel, «Preparación y caracterización de fibras naturales», Ing. Tesis, ULL, Tenerife-España, 2015.
- [3] Alex David Jácome León, «Estudio de la configuración de fibras del material compuesto de matriz epoxi reforzada con fibra de piña y su incidencia en las propiedades mecánicas en la fabricación de butacas deportivas.», Ing. Tesis, Universidad Técnica de Ambato, Ambato-Ecuador, 2015.
- [4] William F. Smith, *Fundamentos de la Ciencia e Ingeniería de Materiales*, Tercera Edición. Mc Graw Hill.
- [5] William D. Callister. *Ciencia e Ingeniería de los Materiales*. México: Editorial Reverté S.A, 2007
- [6] Mikell P. Groover. *Fundamentación de Manufactura Moderna*. México: Mc Graw Hill, 2007
- [7] Donald R. Askeland. *Ciencia e Ingeniería de los Materiales*. Missouri: Thomson Editores, 1998
- [8] Mónica Paulina Herrera Álvarez, «Obtención de materiales compuestos de matriz polimérica formulados incorporando tejidos y no tejidos de fibras naturales », Ing. Tesis, Escuela Politécnica Nacional, Quito-Ecuador, 2015
- [9] Ing. Juan Gilberto Paredes Salinas, «Estudio de Polímeros Híbridos Estratificados de Matriz Poliéster Reforzada con Fibra de Vidrio y Cabuya como Material Alternativo y su incidencia en las propiedades mecánicas en Guardachoques para Buses», Mg. Tesis, Universidad Técnica de Ambato, Ambato-Ecuador, 2012.
- [10] Katherine Priscila Torres Guzmán, «Experimentación Tecnológica de la fibra de banano aplicada en el diseño de objetos», Diseñadora de Objetos, Universidad del Azuay, Cuenca-Ecuador 2013.

- [11] .H Guerrero, Dávila, S. Gáelas, P. Pontón, N. Rosas, V. Sotomayor y C. Valdivieso, *Nuevos Materiales: Aplicaciones Estructurales e Industriales*, Primera Edición. Imprefepp, 2011
- [12] Ludwin Daniel Núñez Barriga, «Estudio de polímeros híbridos estratificados de matriz epóxica reforzada con tejido mixto elaborado con fibras de carbono y kevlar y su incidencia en las propiedades mecánicas de partes externas de autos », Ing. Tesis, Universidad Técnica de Ambato, Ambato-Ecuador, 2014.
- [13] Andrés Pablo Salas Balseca, «Obtención de compuestos de polietileno reforzado con fibras de abacá mediante moldeo por compresión », Ing. Tesis, Escuela Politécnica Nacional, Quito-Ecuador, 2009
- [14] Juan Carlos Páez Moscoso, «Obtención de compuestos de polipropileno reforzado con fibras de abacá mediante moldeo por compresión », Ing. Tesis, Escuela Politécnica Nacional, Quito-Ecuador, 2007
- [15] James M. Gere, *Resistencia de Materiales*, 5 Edición. Madrid-España: THOMSON
- [16] Víctor Patricio Pachacama Nasimba, «Diseño, caracterización y aplicación de un material compuesto con base de resina epoxi y refuerzo de fibras orgánicas para la aplicación en un prototipo de capot de la camioneta Mazda BT50 2010 », ESPE, Latacunga-Ecuador, 2015.
- [17] Grupo de Investigación en Materiales Híbridos de la Universidad Politécnica de Madrid. El Grupo fue creado en el año 2005 y está formado por investigadores de las Escuelas de Ingenieros Navales y Minas de la Universidad Politécnica de Madrid (UPM). Disponible en: [http://www.etsin.upm.es/Investigadores/Materiales\\_Hibridos](http://www.etsin.upm.es/Investigadores/Materiales_Hibridos). [Accedido: 18-abr-2017].
- [18] K.K Chawla, “Composite Materials Science and Engineering”. Tercera Ed. New York: Springer, 2013
- [19] Pontón Bravo «Estudio del efecto de encolado de fibra de abacá en el mejoramiento de su capacidad de tisaje», ESPE, Quito-Ecuador, 2009.

[20] Villacis Salazar Héctor Guillermo «Obtención de materiales híbridos de matriz poliéster reforzado con fibra de vidrio y abacá mediante estratificación», ESPE, Quito-Ecuador, 2011.

[21] «Máquina Universal Serie MTE50». [En línea]. Disponible en: [http://www.metrotec.es/wp-content/uploads/sites/30/2014/01/MTE\\_10-50\\_Maquinas\\_Universales\\_Ensayos.pdf](http://www.metrotec.es/wp-content/uploads/sites/30/2014/01/MTE_10-50_Maquinas_Universales_Ensayos.pdf). [Accedido: 20-abr-2017].

[22] « Máquina de corte y grabado láser NC\_C1390». [En línea]. Disponible en: <http://www.nicecutlaser.es/fiber-metal-laser-cutting-machine/laser-engraving-machine/wood-laser-cutting-machine-nc-c1390.html>. [Accedido: 10-may-2017].

## **ANEXOS**

ANEXO 1: Norma para ensayo de tracción ASTM D3039-00

ANEXO 2: Norma para ensayo de flexión ASTM D7264-07

ANEXO 3: Norma para ensayo de impacto ASTM D5628-10

ANEXO 4: Ficha técnica de la resina epóxica

ANEXO 5: Recepción e identificación de muestras.

ANEXO 6: Informe técnico de los ensayos de tracción y flexión

ANEXO 7: Planos

Designation: D 3039/D 3039M – 00<sup>ε1</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 reapproval. A superscript epsilon ( $\epsilon$ ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

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

<sup>ε1</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 Composites 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 Lamina and Laminate Test Methods.

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

<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,  $[Θ]$  for thermodynamic temperature, and  $[nd]$  for nondimensional quantities. Use of these symbols is restricted to analytical dimensions when used with square brackets, as the symbols may have other definitions when used without the brackets.

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

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

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

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

### 3.3 Symbols:

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

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

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

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

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

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

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

3.3.8  $h$ —coupon thickness.

3.3.9  $L_g$ —extensometer gage length.

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

3.3.11  $n$ —number of coupons per sample population.

3.3.12  $P$ —load carried by test coupon.

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

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

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

3.3.16  $w$ —coupon width.

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

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

3.3.19  $\delta$ —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 Machine*—The testing machine shall be in conformance with Practices E 4 and shall satisfy the following requirements:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

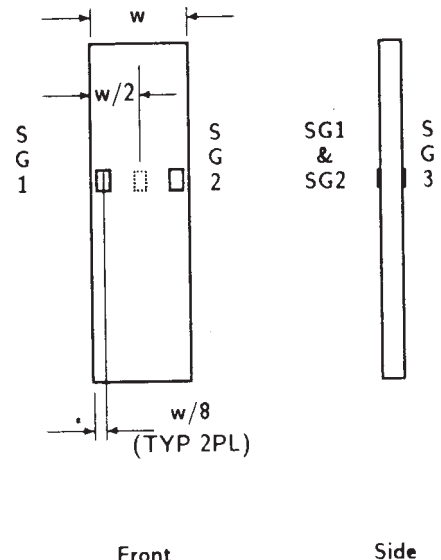


FIG. 1 Gage Locations for System Alignment Check Coupon

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

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

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

where:

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

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

$\epsilon_1$ ,  $\epsilon_2$ , and  $\epsilon_3$  = indicated longitudinal strains displayed by Gages 1, 2, and 3, respectively, of Fig. 1,  $\mu\epsilon$ ; and

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

The total bending component is:

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

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

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

<sup>7</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>8</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.

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 atmosphere. Temperature compensation is required when testing in nonambient temperature environments.

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

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

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

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

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



**8. Sampling and Test Specimens**

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

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

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

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

8.2.1 *General Requirements:*

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

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

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

8.2.2 *Specific Recommendations:*

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

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

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

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

**TABLE 1 Tensile Specimen Geometry Requirements**

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

<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, °
0° unidirectional	15 [0.5]	250 [10.0]	1.0 [0.040]	56 [2.25]	1.5 [0.062]	7 or 90
90° unidirectional	25 [1.0]	175 [ 7.0]	2.0 [0.080]	25 [1.0]	1.5 [0.062]	90
balanced and symmetric	25 [1.0]	250 [10.0]	2.5 [0.100]	emery cloth	—	—
random-discontinuous	25 [1.0]	250 [10.0]	2.5 [0.100]	emery cloth	—	—

<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:

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

where:

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

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

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

### 8.3 Specimen Preparation:

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

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

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

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

## 9. Calibration

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

## 10. Conditioning

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

## 11. Procedure

### 11.1 Parameters To Be Specified Before Test:

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

11.1.2 The tensile properties and data reporting format desired.

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

11.1.3 The environmental conditioning test parameters.

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

### 11.2 General Instructions:

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

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

DRAWING NOTES:

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

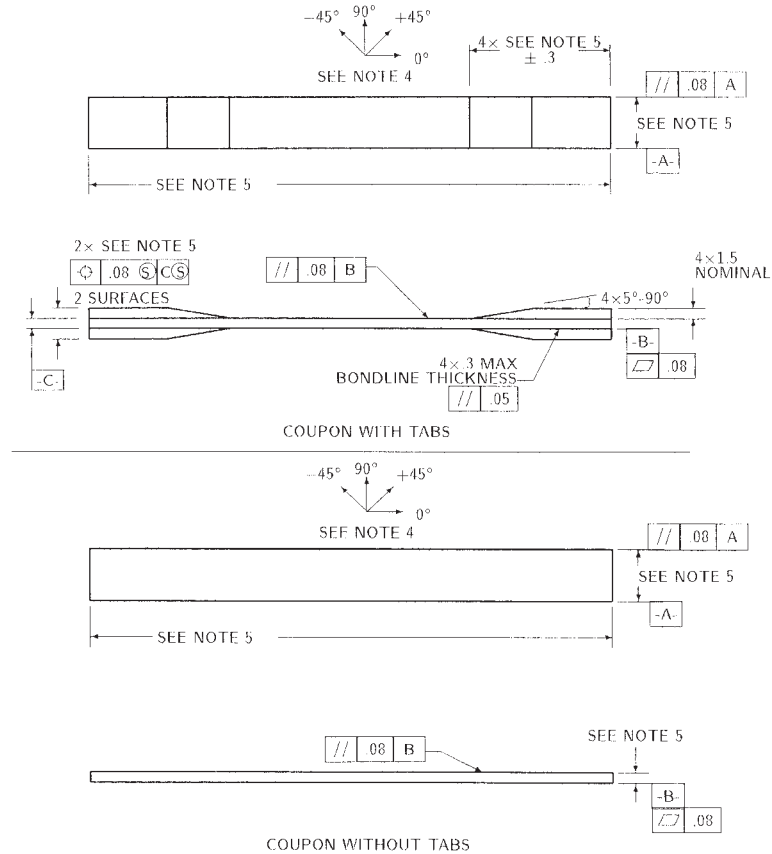


FIG. 2 Tension Test Specimen Drawing (SI)

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

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

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].

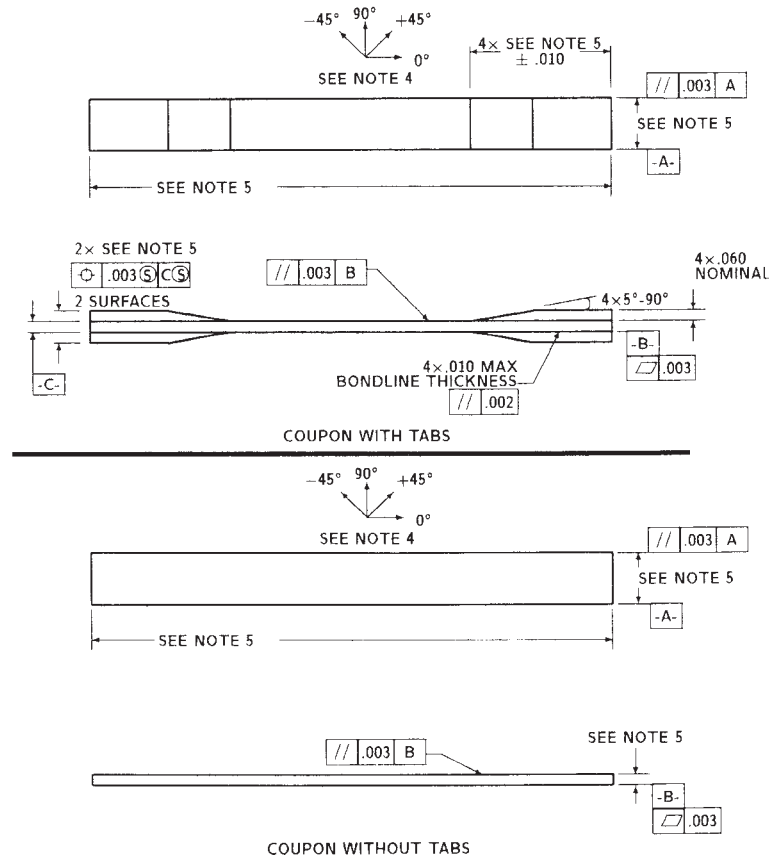
NOTE 6—Use of a fixed head speed in testing machine systems with a high compliance may result in a strain rate that is much lower than required. Use of wedge grips can cause extreme compliance in the system, especially when using compliant tab materials. In some such cases, actual strain rates 10 to 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 Y14.5M-1982, SUBJECT TO THE FOLLOWING:
2. ALL DIMENSIONS IN INCHES WITH DECIMAL TOLERANCES AS FOLLOWS:  

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



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

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

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

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

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

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

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

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



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

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

<sup>A</sup> 1000  $\mu\epsilon$  = 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 fail below 6000  $\mu\epsilon$ , a strain range of 25 to 50 % of ultimate is recommended.

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

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

where:

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

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

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

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

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

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

## 12. Calculation

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

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

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

where:

- $F^{tu}$  = ultimate tensile strength, MPa [psi];
- $P^{max}$  = maximum load before failure, N [lbf];
- $\sigma_i$  = 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.

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

where:

- $\epsilon_i$  = tensile strain at  $i$ th data point,  $\mu\epsilon$ ;
- $\delta_i$  = 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 7.3 and 11.6.

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

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

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

where:

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

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



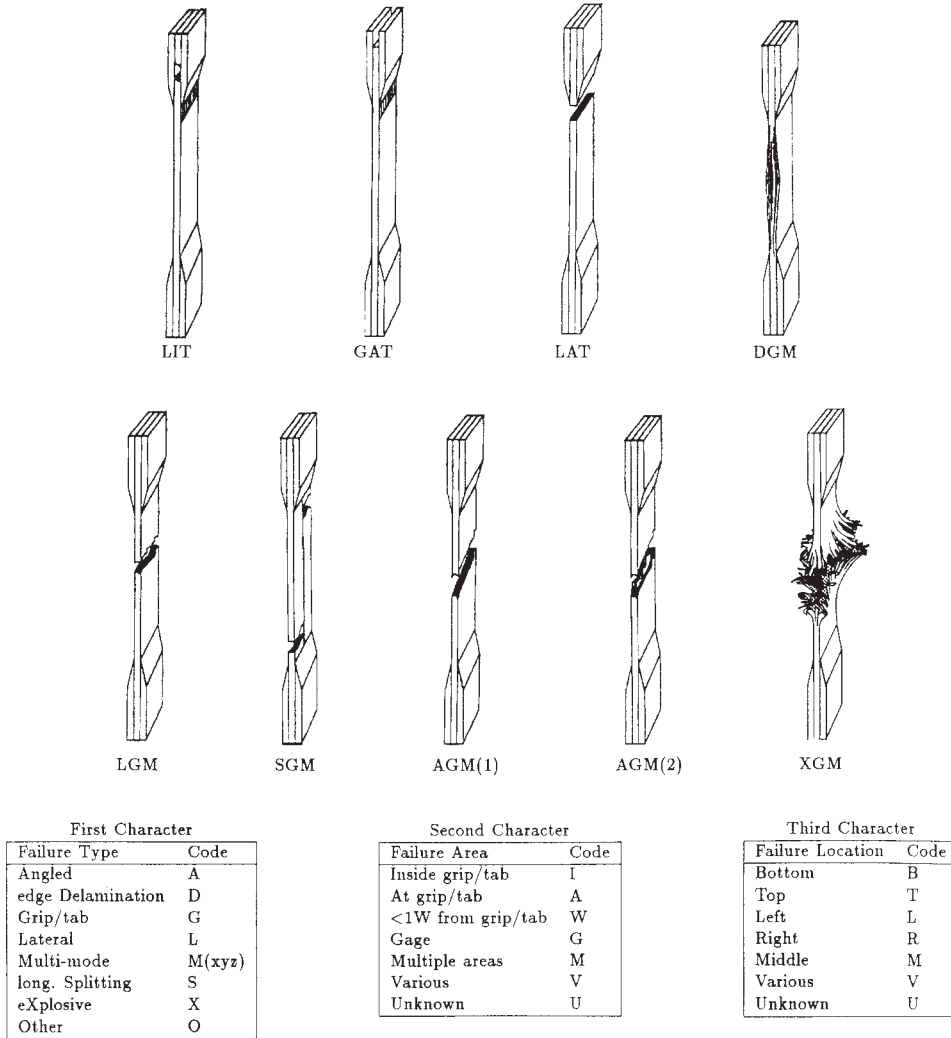


FIG. 4 Tensile Test Failure Codes/Typical Modes

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

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

12.4 Poisson's Ratio:

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

12.4.1 Poisson's Ratio By Chord Method—Select the appropriate chord modulus longitudinal strain range from Table 3. Determine (by plotting or otherwise) the transverse strain (measured perpendicular to the applied load),  $\epsilon_t$ , 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

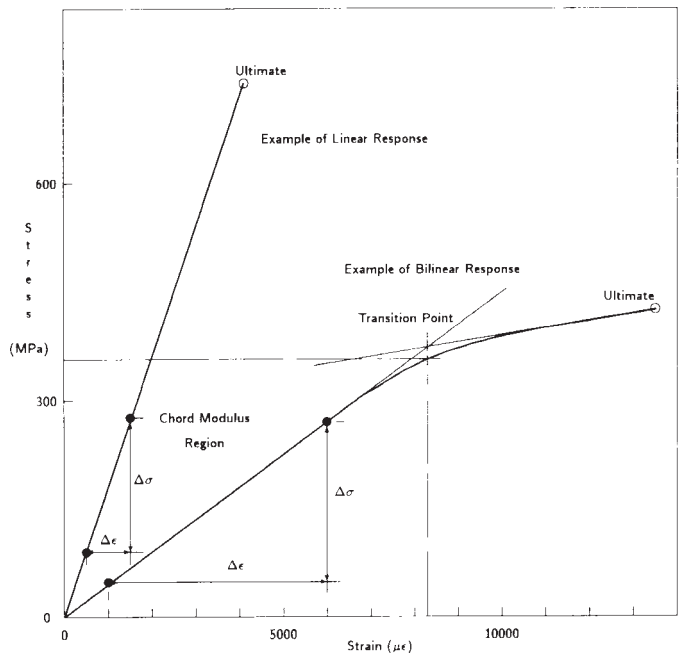


FIG. 5 Typical Tensile Stress-Strain Curves

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

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

where:

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

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

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

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

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

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

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

where:

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

### 13. Report

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

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

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

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

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

13.1.7 Ply orientation stacking sequence of the laminate.

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

13.1.9 Average ply thickness of the material.

13.1.10 Results of any nondestructive evaluation tests.

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

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

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

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

13.1.15 Dimensions of each test specimen.

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

13.1.17 Relative humidity and temperature of the testing laboratory.

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

13.1.19 Number of specimens tested.

13.1.20 Speed of testing.

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

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

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

13.1.24 Percent bending results for each specimen so evaluated.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

13.1.34 Failure mode and location of failure for each specimen.

## 14. Precision and Bias

### 14.1 Precision:

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

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

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

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

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

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

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

14.1.7 An interlaboratory test program was conducted where an average of five specimens each, of six different materials and lay-up configurations, were tested by nine different laboratories.<sup>10</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 15 are defined as:

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

**TABLE 4 Precision Statistics**

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

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

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

**TABLE 5 Averages of the Coefficients of Variation**

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

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

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

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

## 15. Keywords

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

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

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

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



Designation: D 7264/D 7264M – 07

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

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

### 1. Scope

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

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

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

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

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

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

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

### 2. Referenced Documents

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

<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 Lamina and Laminate Test Methods.

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

<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.



3.2 Definitions of Terms Specific to This Standard:

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

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

3.3 Symbols:

$b$  = specimen width

$CV$  = sample coefficient of variation, in percent

$E_f^{chord}$  = flexural chord modulus of elasticity

$E_f^{secant}$  = flexural secant modulus of elasticity

$h$  = specimen thickness

$L$  = support span

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

$n$  = number of specimens

$P$  = applied force

$s_{n-1}$  = sample standard deviation

$x_i$  = measured or derived property

$\bar{x}$  = sample mean

$\delta$  = 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

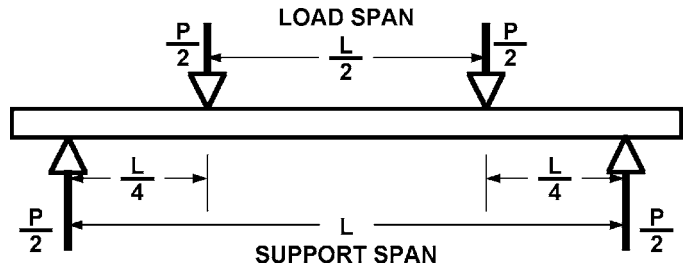


FIG. 2 Procedure B—Loading Diagram

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

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

5. Significance and Use

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

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

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

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

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

6. Interferences

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

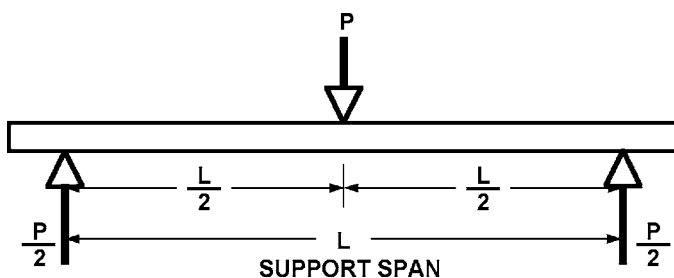


FIG. 1 Procedure A—Loading Diagram

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

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

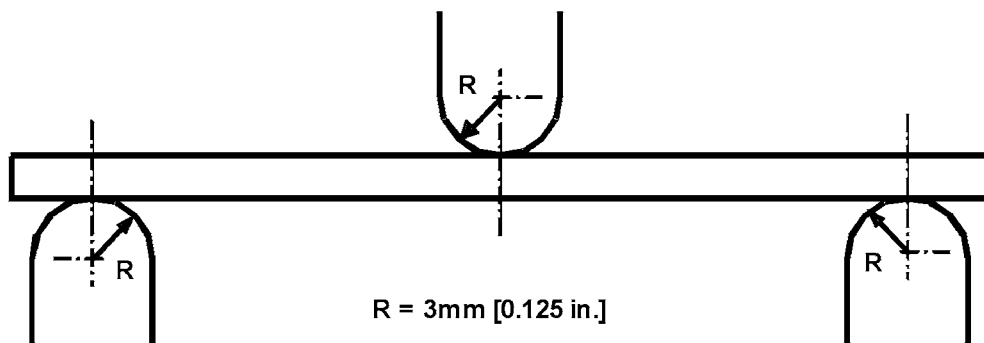
6.4 Loading noses may be fixed, rotatable or rolling. Typically, for testing composites, fixed or rotatable loading noses are used. The type of loading nose can affect results, since non-rolling paired supports on either the tension or compression side of the specimen introduce slight longitudinal forces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

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

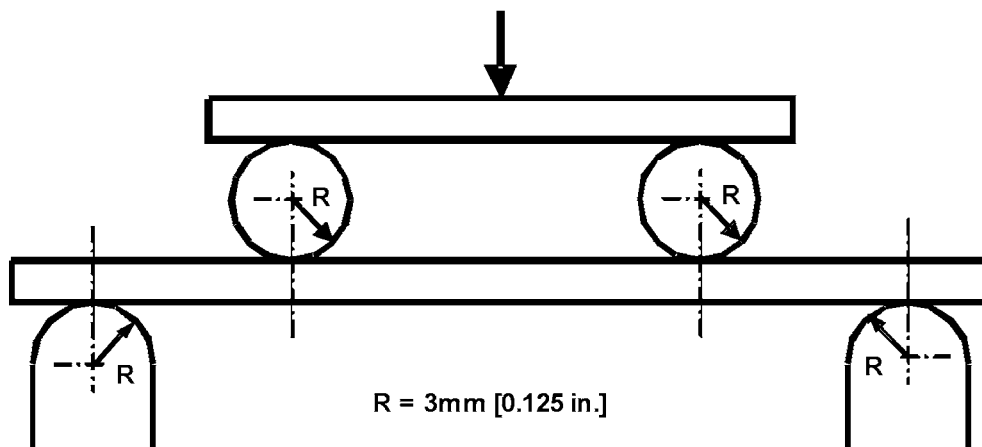
7. Apparatus

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

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



Three-Point Loading Configuration with Fixed Supports and Loading Nose



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

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

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

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

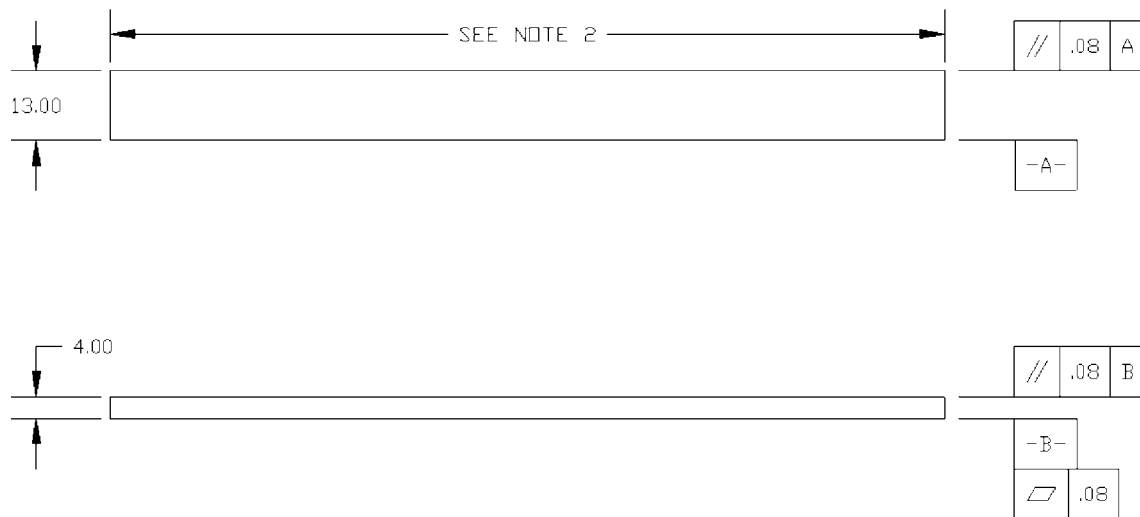
within  $\pm 3^\circ\text{C}$  [ $\pm 5^\circ\text{F}$ ] and the required vapor level to within  $\pm 5$  % relative humidity.

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.

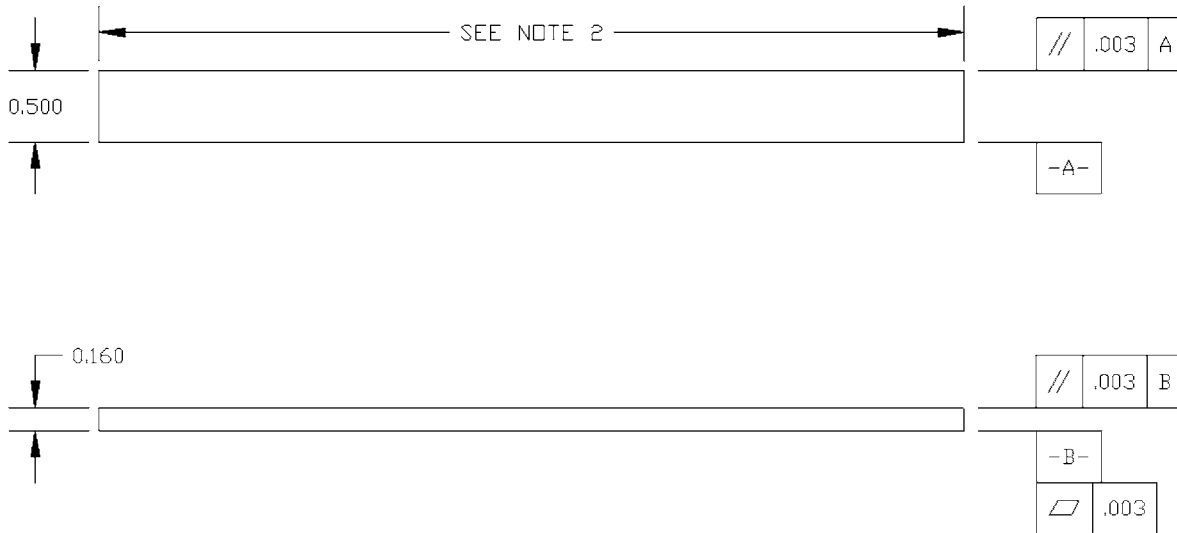


NOTE 1—Drawing interpretation per ANSI Y14.5-1999 and ANSI B46.1-1995.

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)





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

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

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

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

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

## 9. Number of Test Specimens

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

## 10. Conditioning

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

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

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

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

## 11. Procedure

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

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

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

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

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

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

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

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

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

12. Validation

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

13. Calculation

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

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

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

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

where:

- $\sigma$  = 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 ply 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 1/2 the support span and at equal distance from the adjacent support point, the maximum stress at the outer surface occurs between the two central loading points that define the load span (Fig. 2). The stress may be calculated for any point on the load-deflection curve by the following equation (Note 7):

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

where:

- $\sigma$  = 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., Browning, C. E., and Mair, A., "Analysis of the Flexure Test for Laminated Composite Materials," *Composite Materials: Testing and Design (Third Conference)*, ASTM STP 546, 1974, pp. 30-45.

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

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

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

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

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

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

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

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

where:

- $\epsilon$  = 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:

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

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>5</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:

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

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

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

where:

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

<sup>5</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.

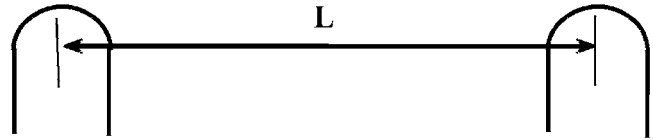


FIG. A1.1 Markings on Fixed Specimen Supports

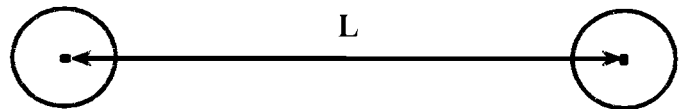


FIG. A1.2 Markings on Rotatable Specimen Supports

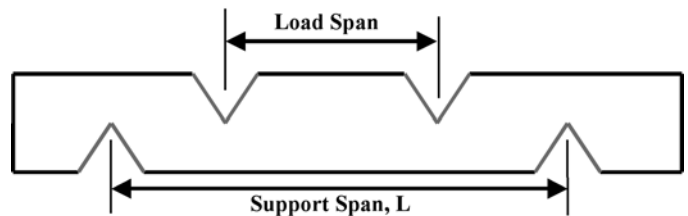


FIG. A1.3 Fixture Used to Align Loading Noses and Supports



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').

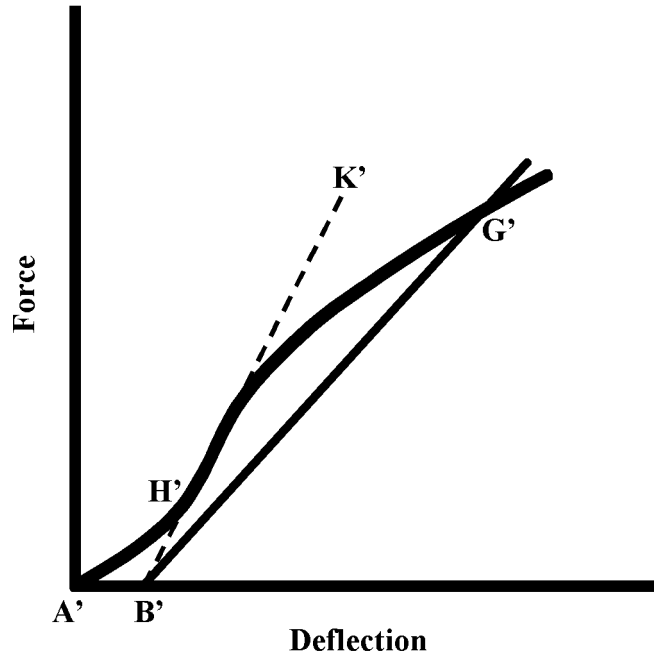


FIG. A2.2 Material without a Hookean Region

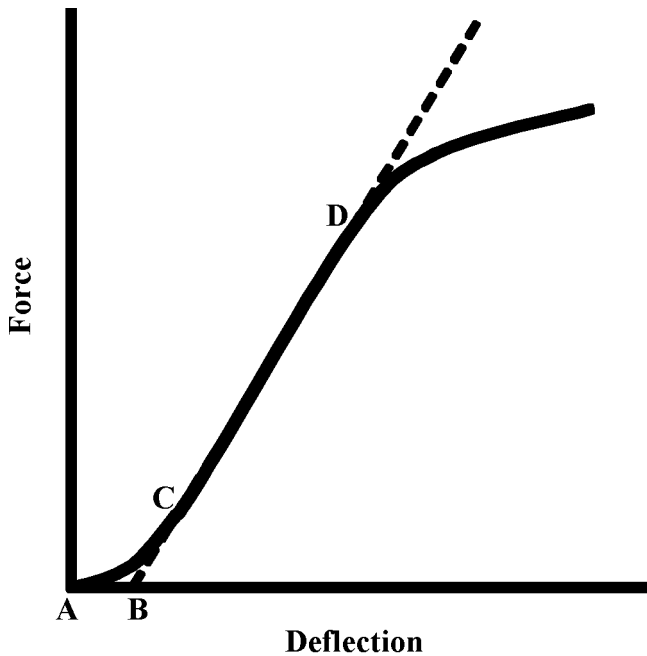


FIG. A2.1 Material with a Hookean Region

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

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



# 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 D5628; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reappraisal. A superscript epsilon (ε) indicates an editorial change since the last revision or reappraisal.

## 1. Scope\*

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

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

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

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

## 2. Referenced Documents

### 2.1 ASTM Standards:<sup>2</sup>

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

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

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

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

D4000 Classification System for Specifying Plastic Materials

D5947 Test Methods for Physical Dimensions of Solid Plastics Specimens

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

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

### 2.2 ISO Standards:<sup>3</sup>

ISO 291 Standard Atmospheres for Conditioning and Testing

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

## 3. Terminology

### 3.1 Definitions:

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

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

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

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

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

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

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

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

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



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

#### 4. Summary of Test Method

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

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

4.3 The technique used to determine mean failure energy is commonly called the Brucceton Staircase Method or the Up-and-Down Method (1).<sup>4</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 *tup* and test specimen geometries to obtain different modes of failure, permit easier sampling, or test limited amounts of material. There is no known means for correlating the results of tests made by different impact methods or procedures.

#### 5. Significance and Use

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

#### 6. Interferences

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

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

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

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

#### 7. Apparatus

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

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

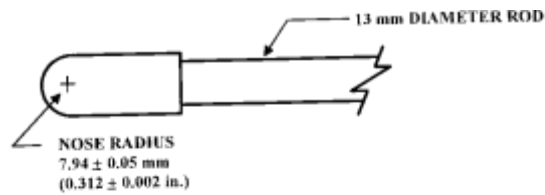


FIG. 1 (a)

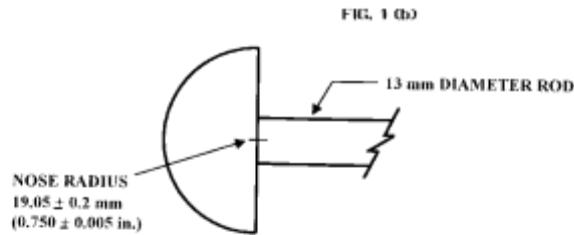
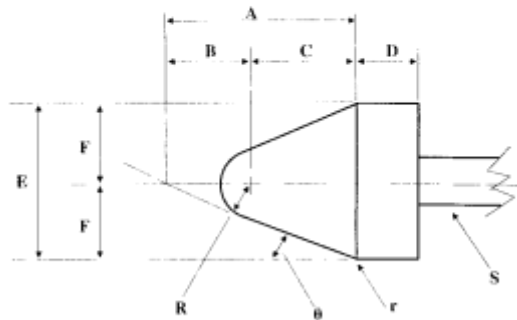


FIG. 1 (c)

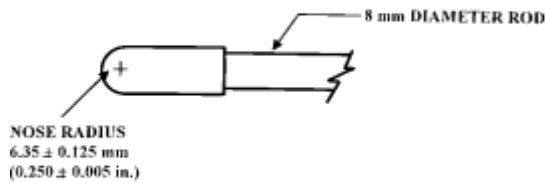


FIG. 1 (d)

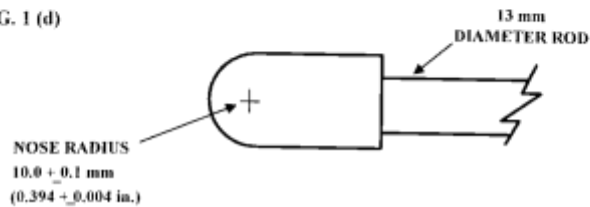


FIG. 1 (e)

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

NOTE 1—Unless specified, the tolerance on all dimensions shall be 62 %.

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

<sup>A</sup>Larger diameter shafts shall be used.

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

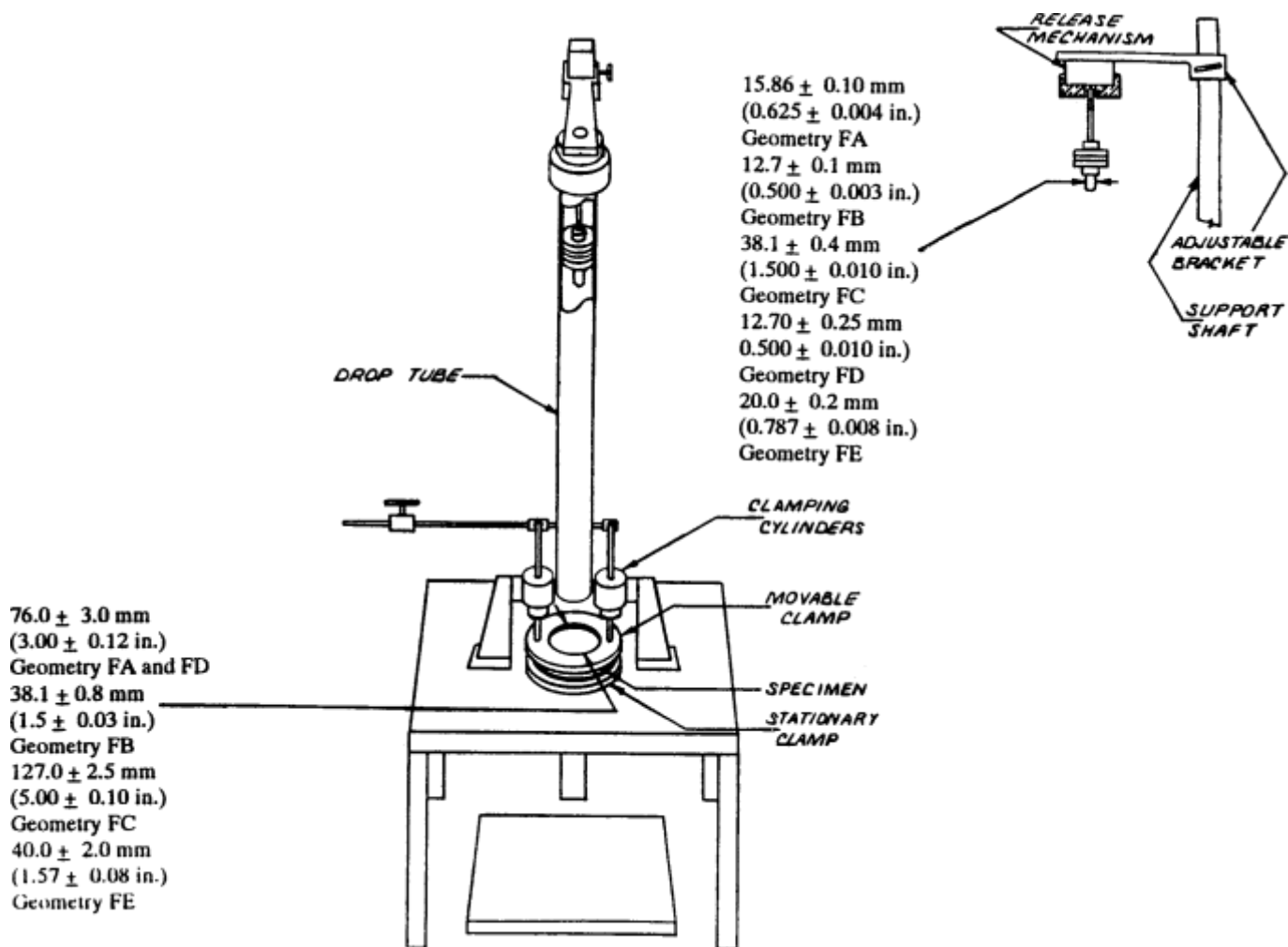


FIG. 2 One Type of Falling Mass Impact Tester

7.1.1 *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  $76.0 \pm 3.0$  mm ( $3.00 \pm 0.12$  in.). For Geometry FB, the inside diameter should be  $38.1 \pm 0.80$  mm ( $1.5 \pm 0.03$  in.). 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 *Tup Support*, capable of supporting a 13.5-kg (30-lb) mass, with a release mechanism and a centering device to ensure uniform, reproducible drops.

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

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

#### 7.2 *Tup*:

7.2.1 The tup used in Geometry FA shall have a  $15.86 \pm 0.10$ -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 tup used in Geometry FB shall be made of tool steel hardened to 54 HRC or harder. The head shall have a diameter of  $12.7 \pm 0.1$  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 tup used for Geometry FC shall be made of tool steel hardened to 54 HRC or harder. The hemispherical head shall have a diameter of  $38.1 \pm 0.4$  mm ( $1.5 \pm 0.015$  in.). A steel shaft about 13 mm (0.5 in.) in diameter shall be attached to the center of the flat surface of the head with its longitudinal

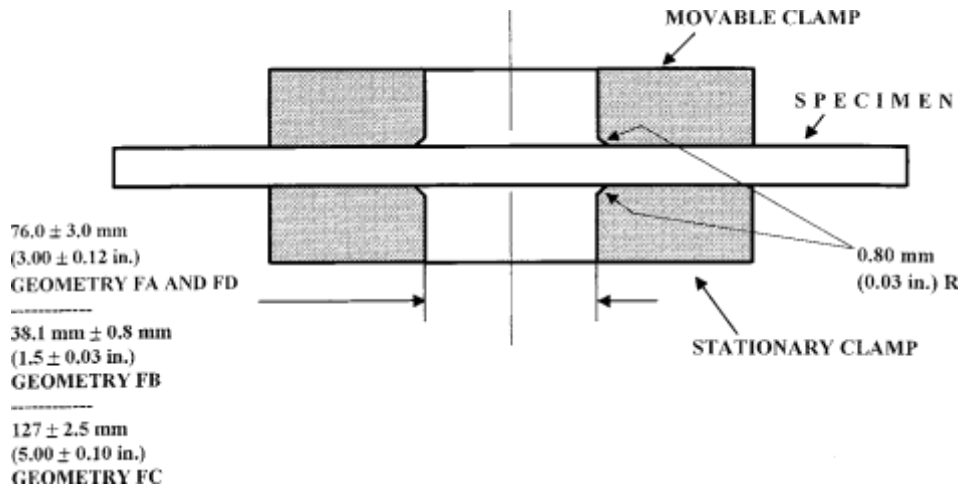


FIG. 3 Support Plate/Specimen/Clamp Configuration for Geometries FA, FB, FC, and FD

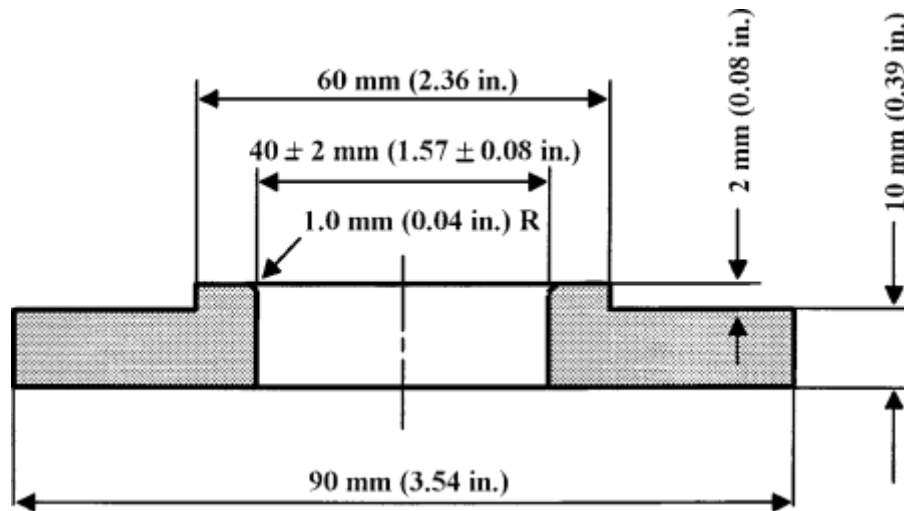


FIG. 4 Test-Specimen Support for Geometry FE

TABLE 1 Tup and Support Ring Dimensions

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

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

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

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

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

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

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

**TABLE 2 Minimum Size of Specimen**

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

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

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

7.5 The mass of the tup head and shaft assembly and the additional mass required must be known to within an accuracy of 61 %.

## 8. Hazards

### 8.1 Safety Precautions:

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

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

## 9. Sampling

9.1 Sample the material to meet the requirements of Section [14](#).

## 10. Test Specimens

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

10.2 The thickness of any specimen in a sample shall not differ by more than 5 % from the average specimen thickness of that sample. However, if variations greater than 5 % are unavoidable in a sample that is obtained from parts, the data shall not be used for referee purposes. For compliance with [ISO 6603-1](#) the test specimen shall be  $60 \pm 2$  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 range from having flat smooth surfaces on both sides, being textured on one side and smooth on the other side, or be textured on both surfaces. When testing, special attention must be paid to how the specimen is positioned on the support.

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

## 11. Conditioning

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

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

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

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

## 12. Procedure

12.1 Determine the number of specimens for each sample to be tested, as specified in [10.3](#).

12.2 Mark the specimens and condition as specified in [11.1](#).

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

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



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

12.5 Choose a specimen at random from the sample.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

### 13. Calculation

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

$$w = w_o + d_w \cdot A/N \leq 0.5! \quad (1)$$

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

$$h = h_o + d_h \cdot A/N \leq 0.5! \quad (2)$$

where:

$w$  = mean-failure mass, kg,

$h$  = mean-failure height, mm,

$d_w$  = increment of tup weight, kg,

$d_h$  = increment of tup height, mm,

$N$  = total number of failures or non-failures, whichever is smaller. For ease of notation, call whichever are used events,

$w_o$  = smallest mass at which an event occurred, kg

$h_o$  = lowest height at which an event occurred, mm (or in.),

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

$i$  = 0, 1, 2...  $k$  (counting index, starts at  $h_o$  or  $w_o$ ),

$n_i$  = number of events that occurred at  $h_i$  or  $w_i$ ,

$w_i = w_o + i d_w$ , and

$h_i = h_o + i d_h$ .

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

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

where:

$MFE$  = mean-failure energy, J,

$h$  = mean-failure height or constant height as applicable, mm

$w$  = mean-failure mass or constant mass as applicable, kg, and

$f$  = factor for conversion to joules.

Use  $f = 9.80665 \times 10^{-3}$  if  $h = \text{mm}$  and  $w = \text{kg}$ .

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

$$s_w = 1.62 d_w \sqrt{B/N \sum (A/N)^2 - 1} \quad (3)$$

$$s_h = 1.62 d_h \sqrt{B/N \sum (A/N)^2 - 1} \quad (4)$$

where:

$s_w$  = estimated standard deviation, mass, kg

$s_h$  = estimated standard deviation, height, mm, and

$$B \leq C_i \leq 0.1 n_i \quad (5)$$

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

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

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

or

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

where:

- $s_{\bar{h}}$  = estimated standard deviation of the mean height, mm,
- $s_{\bar{w}}$  = estimated standard deviation of the mean mass, kg,
- and
- $G$  = factor that is a function of  $s/d$  (see Appendix X2).

A sample computation of  $s_w$  is found in Appendix X1.

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

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

$$S_{MFE} \leq s_h w f \quad (8)$$

or

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

where:

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

## 14. Report

14.1 Report the following information:

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

14.1.2 Method of preparation of specimens,

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

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

14.1.5 Means of clamping, if any,

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

14.1.7 Thickness of specimens tested (average and range).

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

14.1.9 Mean-failure energy,

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

TABLE 3 Precision, Method FB

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

<sup>A</sup>Data generated in three laboratories.

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

$r = 2.83 V_r$ .

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

14.1.12 Date of test and operator's identification,

14.1.13 Test temperature,

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

14.1.15 The test method number and published/revision date.

## 15. Precision and Bias

15.1 Tables 3 and 4 are based on a round robin<sup>5</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 E691. Data in Tables 3 and 4 should be used only for guidance, and not as a referee when there is a dispute between users of this test method.

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

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

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

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

<sup>5</sup>Supporting data are available from ASTM Headquarters. Request RR:D20-1030.

TABLE 4 Precision, Method FC

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

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

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

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

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

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

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

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

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

16. Keywords

16.1 dart impact; falling-mass impact; impact; impact resistance; mean-failure energy; mean-failure height; mean-failure mass; rigid plastic; tup

APPENDIX

(Nonmandatory Information)

X1. SAMPLE CALCULATIONS

X1.1 See below.

Total Dart Mass, kg	Outcome of Test (X = failure; O = non-failure)																				$n_x$	$n_o$	$i$	$n_i$	$in_1$	$i^2n_1$
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20						
9.00						X															1	0	2	1	2	4
8.00					O		X		X				X		X						4	1	1	4	4	4
7.00		X		O				O		X		O		O		X		X		O	4	5	0	4	0	0
6.00	O		O							O								O		O	0	5				
											Totals		9	11		9	6	8								
													( $N_p$ )	( $N_o$ )		( $N$ )	( $A$ )	( $B$ )								

$w_o = 7.00; N = N_x = 9; d = 1.00$   
 $w = w_o + d(A/N - 0.5)$   
 $= 7.00 + 1.00 (6/9 - 0.5)$   
 $= 7.17 \text{ kg}$   
 $s = 1.620 \sigma [((NB - A^2)/9^2) + 0.029]$   
 $= 1.620 (1.00)((9.8 - 6^2)/9^2) + 0.029]$   
 $0.77 \text{ kg}$   
 $s/d = 0.77/1.00 = 0.77; G = 1.035 \text{ (from Table X1.1)}$   
 $s_w = Gs/\sqrt{N} = 1.035 (0.77)/\sqrt{9} = 0.27 \text{ kg}$



**TABLE X1.1 Values of G for Obtaining the Estimated Standard Deviation of the Mean**

<i>s/d</i>	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
0.40						1.18	1.175	1.17	1.16	1.155
0.50	1.15	1.145	1.14	1.135	1.13	1.125	1.12	1.11	1.105	1.10
0.60	1.095	1.09	1.085	1.08	1.075	1.07	1.07	1.065	1.06	1.06
0.70	1.055	1.055	1.05	1.05	1.045	1.04	1.04	1.035	1.035	1.03
0.80	1.03	1.025	1.025	1.02	1.02	1.02	1.015	1.015	1.015	1.01
0.90	1.01	1.01	1.005	1.005	1.005	1.00	1.00	1.00	0.995	0.995
1.00	0.995	0.99	0.99	0.99	0.985	0.985	0.985	0.985	0.98	0.98
1.10	0.98	0.98	0.98	0.975	0.975	0.975	0.975	0.975	0.975	0.97
1.20	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.965	0.965	0.965	0.965
1.30	0.965	0.965	0.965	0.965	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96
1.40	0.96	0.96	0.96	0.955	0.955	0.955	0.955	0.955	0.955	0.955
1.50	0.955	0.955	0.955	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95
1.60	0.95	0.95	0.95	0.95	0.945	0.945	0.945	0.945	0.945	0.945
1.70	0.945	0.945	0.945	0.945	0.945	0.945	0.94	0.94	0.94	0.94
1.80	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.935
1.90	0.935	0.935	0.935	0.935	0.935	0.935	0.935	0.935	0.935	0.935
2.00	0.935	0.935	0.935	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93

## REFERENCES

- (1) Brownlee, K. A., Hodgest, J. L., Jr., and Rosenblatt, Murray, “The Up-and-Down Method with Small Samples,” *American Statistical Association Journal*, Vol 48, 1953, pp. 262–277.
- (2) Hagan, R. S., Schmitz, J. V., and Davis, D. A., “Impact Testing of High Impact Thermoplastic Sheet,” *Technical Papers, 17th Annual Technical Conference of SPE, SPPPB*, Vol VIII, January 1961.
- (3) “Test Method A—Falling Dart Impact, Proposed Method of Test for Impact Resistance of Fabricated Plastics Parts,” *Proposed Test Methods for Plastics Parts Used in Appliances*, the Society of the Plastics Industry, New York, NY, January 1965.
- (4) Weaver, O. R., “Using Attributes to Measure a Continuous Variable in Impact Testing Plastic Bottles,” *Materials Research and Standards, MR & S*, Vol 6, No. 6, June 1966, pp. 285–291.
- (5) Natrella, M. G., *Experimental Statistics*, National Bureau of Standards Handbook 91, October 1966, pp. 10–22 and 10–23.

## SUMMARY OF CHANGES

Committee D20 has identified the location of selected changes to this standard since the last issue (D5628 - 07) that may impact the use of this standard. (July 1, 2010)

- (1) Revised 11.1 and 11.2 for consistency with Practice D618.
- (2) Revised 12.4 to allow measurement of only one specimen for injection molded specimens.

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

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

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



## PR2032 Laminating Resin For Composite Parts

NEW HARDENER

### DESCRIPTION

PR2032 is a medium viscosity, unfilled, light amber laminating resin that is designed for structural production applications. When used with the three hardeners listed here, the combinations provide excellent wet-out of fiberglass, carbon and aramid fibers. Special additives have been incorporated into these products to promote chemical adhesion to fabrics made with these fibers. Typical applications include aircraft and sail plane skins and structural components, auto bodies, radomes and prototype parts.

Hardeners PH3660, PH3663 and PH3665 are the standard production hardeners for fabricating composite parts. PH3660 has a one hour working time, PH3663 has 90 minutes, and PH3665 has been developed to provide a longer working time for larger and/or more complicated laminates when needed. All three of these hardeners will cure completely at room temperature without additional heat.

PH3663 is a newer addition to the AEROPoxy line that offers some unique characteristics for certain uses. The mixed viscosity of the system when using PH3663 is considerably lower than the other laminating hardeners. This allows easy penetration of thicker fabrics during hand lay-up, and provides a good system for the infusion process. Also, even though it has a working time 50% longer than PH3660, it cures in essentially the same time as PH3660. Cured properties with the PH3663 maintain the high standard set by the AEROPoxy line.

PH3630 is a faster setting hardener that can be used for patching and repairs, and smaller laminates. PH3630 has a similar viscosity to PH3660 and PH3665, so handling will be similar, except for the faster cure.

These products can be considered low toxicity materials that have minimum hazard potential when used properly and in a clean and responsible manner. PR2032 does not contain any hazardous diluents or extenders. Hardeners PH3660, PH3663, PH3665 and PH3630 do not contain methylene dianiline (MDA), or other potentially harmful aniline derivatives. Neither the resin nor the hardeners will crystallize in normal shipping and storage conditions, including refrigerated storage. Both components have excellent moisture resistance, for minimal problems in high humidity environments.

### PRODUCT SPECIFICATIONS

	PR2032	PH3630	PH3660	PH3663	PH3665	ASTM Method
Color	Lt. Amber	Amber	Amber	Lt. Amber	Amber	Visual
Viscosity, @77°F, centipoise	1,650 cps	150-175 cps	190-200 cps	35 cps	200-250 cps	D2392
Specific Gravity, gms./cc	1.15	0.96	0.96	0.97	0.95	D1475
Mix Ratio, By Wt.		30 minutes	1 hour	90 minutes	2 hours	PTM&W
Pot Life, 4 fl. Oz. Mass @ 77°F		100 : 27 By Weight, or 3 to 1 By Volume		100 : 25 By Weight	100 : 27 By Wt, or 3 to 1 By Vol.	D2471

### HANDLING and CURING

PH3660, PH3663 and PH3665 are the hardeners typically used to fabricate high performance composite parts. PH3660 has a one hour working time, and can be used for all sizes of parts using the contact layup method of fabrication. If the vacuum bagging technique is being used, PH3660 should only be used for smaller parts. Hardener PH3665 has a longer working time that is useful for vacuum bagging larger parts before the resin has gelled. PH3663 falls between these two hardeners, and can be used for parts somewhat larger than would be produced with PH3660, while maintaining a faster cure than with PH3665. In any case, with either of these three hardeners, plan to allow the laminate to cure at least 24 hours, at a minimum of 72°F, before removing the structure. This can be accelerated by applying heat after the resin has gelled. Be careful using heat guns and lamps, as they tend to concentrate heat, producing localized hot spots which can damage the epoxy. These systems can be cured at ambient temperatures, or given an elevated temperature cure. The higher the curing temperature, the higher the resulting service temperature. With a higher temperature cure, a safe service temperature over 200°F can be obtained.

Hardener PH3630 will cure completely at room temperature, and does not require a heat cure. It is intended for fast repairs or additions to a primary structure, and for parts that will be exposed to lower service temperatures. All primary structures should be fabricated with PH3660, PH3663 or PH3665 to take advantage of their longer work life and better service temperature capabilities.

TYPICAL MECHANICAL PROPERTIES



	PR2032 PH3630	PR2032 with PH3660				PR2032 PH3663	PR2032 PH3665	ASTM Method
		Neat Resin (Unreinforced)	With Fiberglass	With Graphite	With Kevlar			
Mix Ratio	100 : 27 By Weight, or 3 to 1 By Volume					100 : 25 By Weight	100:27 By Wt. 3to1 BvVol.	PTM&W
Pot Life, @ 77°F	30 minutes	1 hour				1.5 Hour	2 hours	D2471
Color	Lt. Amber	Light Amber				Light Amber	Lt. Amber	Visual
Mixed Viscosity, @77°F, cps	800-875 cps	900 - 950 cps				440 cps	925-975 cps	D2393
Cured Hardness, Shore D	88 Shore D	88 Shore D				87 Shore D	87 Shore D	D2240
Specific Gravity, grams, cc	1.16	1.11				1.109	1.12	D1475
Density, lb./cu. Inch	.0420	.0401				.0401	.0410	D792
Specific Volume, cu. in./lb.	23.8	25.0				24.96	24.4	D792
Tensile Strength, psi <sup>(1)</sup>	45,350 psi	9828 psi	45,170 psi	75,640 psi	45,400 psi	40,010 psi	45,870 psi	D638
Elongation at Break, % <sup>(1)</sup>	1.91 %	1.90 %	1.96 %	0.91 %	1.31 %	1.67 %	1.98 %	D638
Tensile modulus, psi <sup>(1)</sup>	2,800,000 psi	418,525 psi	2,620,000 psi	8,170,000 psi	3,770,000 psi	2,647,520 psi	2,520,000 psi	D638
Flexural Strength, psi <sup>(1)</sup>	68,167 psi	16,827 psi	62,285 psi	96,541 psi	34,524 psi	65,461 psi	66,667 psi	D790
Flexural Modulus, psi <sup>(1)</sup>	2,770,000 psi	462,910 psi	2,560,000 psi	6,480,000 psi	2,500,000 psi	2,639,766 psi	3,050,000 psi	D790
Glass Transition Temp., Tg	194°F	196°F				194°F	194°F	TMA
Thermal Coef. of Expansion Range:	3.7 x 10 <sup>-5</sup> in./in./°F	4.3 x 10 <sup>-5</sup> in./in./°F				4.14 x 10 <sup>-5</sup> in./in./°F	4.15 x 10 <sup>-5</sup> in./in./°F	D696
<sup>(1)</sup> Fiberglass Properties Derived with A 10 Ply Laminate, Hand Lay-up, Style 181 Glass Fabric, 55% Glass Content; Graphite Properties with a 10 Ply Laminate of 5.6 oz. 3K Fabric; and Kevlar Properties with A 10 Ply Laminate of 5 oz. Kevlar								

PACKAGING WEIGHTS



	Quart Kit	Gallon Kit	Pail Kit	Drum Kit				
PR2032	2.25 lb.	7.5 lb.	48 lb.	500 lb.				
PH3630, PH3660 or PH3665	.66 lb.	2 lb.	13 lb.	135 lb.				
PH3663	.6 lb.	1.9 lb.	12 lb.	126 lb.				
Kit	2.9 lb.	2.85 lb.	9.5 lb.	9.4 lb.	61 lb.	60 lb.	635 lb.	626 lb.

SAFETY and HANDLING

PTM&WAEROPOXY epoxy products are made from raw materials carefully chosen to minimize or even eliminate toxic chemicals, and therefore offer the user high performance products with minimum hazard potential when properly used. Generally, the PTM&WAEROPOXY epoxy resins and hardeners will present no handling problems if users exercise care to protect the skin and eyes, and if good ventilation is provided in the work areas. However, all epoxy resins and hardeners can be irritating to the skin, and prolonged contact may result in sensitization; and breathing of mist or vapors may cause allergic respiratory reaction, especially in highly sensitive individuals. As such, avoid contact with the eyes and skin, and avoid breathing vapors. Wear protective rubber apron, clothing, gloves, face shield or other items as required to prevent contact with the skin. In case of skin contact, immediately wash with soap and water, followed by a rinse of the area with vinegar, and then a further wash with soap and water. The vinegar will neutralize the hardener and lessen the chances of long term effects. Use goggles, a face shield, safety glasses or other items as required to prevent contact with the eyes. If material gets into the eyes, immediately flush with water for at least 15 minutes and call physician. Generally, keep the work area as uncluttered and clean as possible, and clean up any minor spills immediately to prevent accidental skin contact at a later time. Keep tools clean and properly stored. Dispose of trash and empty containers properly. Do not use any of these types of products until Material Safety Data Sheets have been read and understood.

AEROPOXY PR2032 w-4 Hardeners Bulletin / ZW-38 / 062408-C2



**PTM&W Industries, Inc.**

10640 S. Painter Avenue Santa Fe Springs, CA 90670-4092  
 562-946-4511 800-421-1518 FAX: 562-941-4773  
 Visit Us At: [www.aeropoxy.com](http://www.aeropoxy.com) Send Questions To: [info@eropoxy.com](mailto:info@eropoxy.com)

## MATERIAL SAFETY DATA SHEET

### SECTION I — PRODUCT INFORMATION

#### AEROPOXY PH3660

**PTM & W INDUSTRIES, INC.**                      **PHONE NUMBER: (562)946-4511**  
**10640 S. PAINTER AVE.**                      **CHEMICAL TRANSPORTATION EMERGENCY:**  
**SANTA FE SPRINGS, CA. 90670-4092**            **CHEMTREC (800) 424-9300**

DATE OF PREPARATION: 2/9/2007    SUPERSEDES: 6/7/2006

**PROPER SHIPPING NAME** ..... : Corrosive Liquid, N.O.S.

**CONTAINS** ..... : MODIFIED AMINE MIXTURE

**HAZARD CLASS**..... : 8

**UN NUMBER** ..... : UN1760

**PACKAGING GROUP**..... : III

**HAZARD LABEL(S)** ..... : Corrosive

**HMIS CODES:**

**RATINGS:**

HEALTH..... = 3	0 = MINIMAL	3 = SERIOUS
FLAMMABILITY ..... = 1	1 = SLIGHT	4 = SEVERE
REACTIVITY..... = 0	2 = MODERATE	

⇒ PERSONAL PROTECTION RATING TO BE SUPPLIED BY USER DEPENDING ON USE CONDITIONS.

### SECTION II — PRODUCT/COMPOSITION

THE PRECISE COMPOSITION OF THIS PRODUCT IS PRIVILEGED INFORMATION. A MORE COMPLETE DISCLOSURE CAN BE PROVIDED TO A HEALTH, SAFETY, OR REGULATORY PROFESSIONAL IF REQUIRED.

NO.	COMPONENT	CAS. NO.	PERCENT
1	MODIFIED AMINE MIXTURE	N.A.	< 99%
2	DIPHENYLOLPROPANE	80-05-7	< 1%

### SECTION III — HAZARD STATUS

NO.	CANCER	REPRO-TOX	TARGET ORGANS	ACGIH/TLV	OSHA/PEL
1	NO	NO	SKIN, EYE, LUNG	N.A.mg/M <sup>3</sup>	N.A.mg/M <sup>3</sup>
2	NO	NO	LIVER, KIDNEY	N.A.	N.A. mg/M3

## SECTION IV — REGULATORY STATUS

### A. CAL SAFE DRINKING WATER & TOXIC ENFORCEMENT ACT OF 1986

NO.	CHEMICAL NAME	CAS. NO.	CANCER/REPRO.TOX	QUANTITY
THIS PRODUCT MAY CONTAIN TRACES OF, OR OTHER PROP. 65 LISTED CHEMICALS AS IMPURITIES. HOWEVER, NONE ARE USED AS INGREDIENTS.				

### B. CERCLA — 40 CFR 302

RELEASES EXCEEDING THE REPORTABLE QUANTITY (RQ) MUST BE REPORTED TO THE NATIONAL RESPONSE CENTER. (800)424-8802

RQ = 100lbs. (UNLISTED HAZARDOUS WASTE - CHARACTERISTIC OF CORROSIVITY)

### C. OSHA — 29 CFR 1910

**ACCORDING TO OSHA CRITERIA THE FOLLOWING COMPONENT(S) ARE HAZARDOUS:**

1	MODIFIED AMINE MIXTURE	N.A.	< 99%
2	DIPHENYLOLPROPANE	80-05-7	< 1%

### D. RCRA — 40 CFR 261

PRODUCT IS AN UNLISTED RCRA CORROSIVE WASTE.

### E. SARA TITLE III — 52 CFR 13378, 52 CFR 21152

NO.	RQ(lbs.) (•1)	TPQ(lbs.) (•2)	SEC.313 (•3)	313 CAT. (•4)	311/312 (•5)
1	NONE	NOT LISTED	NO	NONE	H1
2	NONE	NOT LISTED	YES	NONE	H1,H2

#### OTHER SARA SUBSTANCE(S) IF PRESENT ARE ALL BELOW THE DE MINIMUS CONCENTRATION(S).

- 1 = REPORTABLE QUANTITY OF EXTREMELY HAZARDOUS SUBSTANCE, SEC. 302
- 2 = THRESHOLD PLANNING QUANTITY, EXTREMELY HAZARDOUS SUBSTANCE, SEC. 302
- 3 = TOXIC CHEMICAL, SEC. 313 (INDIVIDUAL CHEMICAL LISTED)
- 4 = TOXIC RELEASE INVENTORY FORM CATEGORY SEC. 313 (40 CFR 372.65 C)
- 5 = HAZARD CATEGORY FOR SARA SEC. 311/312 REPORTING
- H1 = IMMEDIATE (ACUTE) HEALTH HAZARD    H2 = DELAYED (CHRONIC) HEALTH HAZARD
- P3 = FIRE HAZARD    P4 = SUDDEN PRESSURE RELEASE HAZARD    P5 = REACTIVE HAZ.

F. TSCA — 44 CFR 59764

ALL COMPONENTS LISTED.

G. VOC — SCAQMD RULES

NO.	CHEMICAL	QUANTITY	VP mm HG	gms./l. @ 20°C
	NIL			

**NOTE:** THIS PRODUCT DOES NOT CONTAIN SOLVENTS, BUT MAY CONTAIN INGREDIENTS WITH VP'S LOW ENOUGH TO BE EMITTED IF HEATED ALONE. WHEN 2 PART RESINS AND HARDENERS ARE PROPERLY MIXED TOGETHER THESE INGREDIENTS REACT TOGETHER AND ARE CONSUMED WITHOUT SIGNIFICANT ATMOSPHERIC EMISSIONS.

**SECTION V — PHYSICAL DATA**

PHYSICAL STATE .....	LIQUID
COLOR.....	AMBER
SP. GR.....	0.96
DENSITY.....	8.0 lbs./gal.

**SECTION VI — FIRE AND EXPLOSION HAZARD DATA**

FLASH POINT :  $\geq 200^{\circ}\text{F}$  (FOR PRODUCT OR LOWEST FLASH POINT INGREDIENT)  
FLAMMABILITY CLASSIFICATION: COMBUSTIBLE CLASS (IIIB)  
EXTINGUISHING MEDIA: WATER FOG, DRY CHEMICAL, CARBON DIOXIDE, OR FOAM.  
**NOTE:** EITHER ATMOSPHERE-SUPPLY OR AIR-PURIFYING RESPIRATORS SHOULD BE AVAILABLE FOR FIRE FIGHTERS (20 CFR 1910.134).

**SECTION VII — HEALTH HAZARD DATA**

EFFECTS OF OVEREXPOSURE:

ACUTE:

- **EYES:** CAUSES SEVERE CONJUNCTIVAL IRRITATION, CORNEAL INJURY AND IRITIS.
- **SKIN:** MAY CAUSE IRRITATION, BURNS, ULCERATION, OR SKIN SENSITIZATION.
- **INHALATION:** VAPORS ARE IRRITATING AND MAY CAUSE TEARS, BURNING OF NOSE AND THROAT, COUGHING, WHEEZING, NAUSEA, AND VOMITING.
- **INGESTION:** MODERATELY TOXIC, MAY CAUSE MOUTH AND THROAT BURNS, ABDOMINAL PAIN, NAUSEA, VOMITING, WEAKNESS, THIRST, AND COMA.

CHRONIC:

- AMINE VAPORS MAY CAUSE LIVER & KIDNEY INJURY. EYE, SKIN OR LUNG DISORDERS MAY DEVELOP OR BE AGGRAVATED BY AMINES.

EMERGENCY AND FIRST AID PROCEDURES:

- **EYES:** IMMEDIATELY FLUSH EYES WITH LARGE AMOUNTS OF WATER FOR 15 MINUTES. GET MEDICAL ATTENTION.
- **SKIN:** WASH AFFECTED AREA IMMEDIATELY WITH LARGE AMOUNTS OF SOAP AND WATER. REMOVE AND WASH CONTAMINATED CLOTHING BEFORE REUSE. CONTACT A PHYSICIAN IF IRRITATION OCCURS.
- **INHALATION:** REMOVE VICTIM TO FRESH AIR AND PROVIDE OXYGEN IF BREATHING IS DIFFICULT. GET MEDICAL ATTENTION.
- **INGESTION:** DO NOT INDUCE VOMITING. GIVE LARGE QUANTITIES OF WATER. CALL A PHYSICIAN IMMEDIATELY. NEVER GIVE ANYTHING BY MOUTH TO AN UNCONSCIOUS PERSON.

**SECTION VIII — REACTIVITY DATA**

- **STABILITY:** STABLE UNDER NORMAL STORAGE CONDITIONS. UNSTABLE AT ELEVATED TEMPERATURES.
- **INCOMPATIBILITY:** STRONG OXIDIZING AGENTS, STRONG LEWIS OR MINERAL ACIDS.
- **HAZARDOUS DECOMPOSITION PRODUCTS:** OXIDES OF CARBON AND NITROGEN AND OTHER UNKNOWN ORGANIC COMPOUNDS.

**SECTION IX — SPILL OR LEAK PROCEDURES**

- **IF MATERIAL IS SPILLED:** AVOID CONTACT WITH MATERIAL. PERSONS NOT WEARING PROPER PROTECTIVE EQUIPMENT (SEE BELOW) SHOULD BE EXCLUDED FROM THE AREA UNTIL CLEAN UP IS COMPLETE. DIKE AREA TO PREVENT SPILL SPREADING AND SCOOP UP EXCESS TO RECOVERY CONTAINERS. ABSORB REMNANT ON NONCOMBUSTIBLE MATERIAL SUCH AS CLAY AND SHOVEL INTO CONTAINERS FOR DISPOSAL.
- **WASTE DISPOSAL METHOD:** DISPOSE OF WASTE IN ACCORDANCE WITH FEDERAL, STATE, AND LOCAL REGULATIONS.

**SECTION X — SPECIAL PROTECTION INFORMATION**

- **RESPIRATORY PROTECTION:** NOT NORMALLY NECESSARY UNLESS THE MATERIAL IS BEING USED IN SUCH A WAY AS TO PRODUCE DUST, MIST, VAPOR, FUMES, OR SMOKE, IN WHICH CASE NIOSH APPROVED RESPIRATORY PROTECTION SHOULD BE USED.
- **VENTILATION:** SHOULD BE SUFFICIENT TO CONTROL ANY DUST, MIST, VAPOR OR FUMES PRODUCED BY PROCESSING OR HANDLING METHOD. BREATHING OF VAPOR MUST BE AVOIDED.
- **HAND PROTECTION:** IMPERVIOUS GLOVES, NEOPRENE OR RUBBER GLOVES.
- **EYE PROTECTION:** SPLASH PROOF GOGGLES OR SAFETY GLASSES WITH SIDE SHIELDS.
- **OTHER PROTECTIVE EQUIPMENT:** CLEAN, BODY COVERING CLOTHING AND FOOTWEAR.

**SECTION XI — SPECIAL PRECAUTIONS**

- AVOID SKIN AND EYE CONTACT.
- AVOID BREATHING VAPOR, MIST OR FUMES.
- ENSURE THAT ALL CONTAINERS ARE PROPERLY LABELED TO PREVENT ACCIDENTAL INGESTION OR IMPROPER DISPOSAL.
- RESEAL PARTLY USED CONTAINERS.
- WASH WITH SOAP AND WATER BEFORE EATING, DRINKING OR USING TOILET FACILITIES.
- STORE UNDER COOL, DRY CONDITIONS AND AWAY FROM OPEN FLAMES AND HIGH TEMPERATURES.
- OBSERVE CONDITIONS OF GOOD INDUSTRIAL HYGIENE AND SAFE WORKING PRACTICE.

We believe that the information contained herein is correct as of the date of this Material Safety Data Sheet. Since the use of this information and these opinions and the conditions of use of this product are not within the control of PTM & W, it is the user's obligation to determine the conditions of safe use of the product.

PTM & W makes no warranty, expressed or implied regarding the accuracy of these data. PTM & W assumes no responsibility for injury from the use of the product described herein. Further, there are many federal, state, and local laws and regulations governing chemical products and it is beyond the scope of this MSDS to determine which of these apply and it is the responsibility of the user to determine how these effect their use of the product.



ANEXO 5: Recepción e identificación de muestras.



Centro de Fomento Productivo  
Metalmeccánico Carrocero



Honorable Gobierno  
Provincial de Tungurahua

RECEPCIÓN E IDENTIFICACIÓN DE MUESTRAS

<b>Informe N°:172275576420170316-ETC</b>	
<b>DATOS DEL CLIENTE</b>	
<b>Empresa / Cliente:</b> Sr. Geovanny Santiago Benavides Salinas.	
<b>DIRECCIÓN:</b> Vía Alasca, Barrio el Paraíso, Sector Huachi Grande.	
<b>NÚM. DE CEDULA / RUC:</b> 1722755764	<b>TELÉFONO:</b> 0983554200
<b>E-MAIL:</b> benavidessalinasgeovanny@gmail.com	

<b>DATOS INFORMATIVOS</b>
<b>Laboratorio:</b> Resistencia de Materiales.
<b>Designación del material:</b> Material híbrido de matriz epóxica reforzada con tejido de fibra vegetal de algodón y fibra natural de abacá.
<b>Método de ensayo:</b> ASTM D3039-2015.

Configuración del ensayo:

N°	Tipo de Tejido N° de Fibras por fila de Abacá	Fracción Volumétrica de Resina Epóxica	Fracción Volumétrica de Refuerzos		Número de Capas	Número de fibras de abacá por fila	Orientación de Fibras		Cantidad de Probetas a Ensayar
			Fibra de Abacá	Fibra de Algodón			Fibra de Abacá	Fibra de Algodón	
1	Tejido Plano (13)	75 %	18,25 %	6,75 %	3	13	0°	90°	5
						13	90°	0°	
						13	0°	90°	
2	Tejido Plano (13)	75 %	18,25 %	6,75 %	3	13	45°	135°	5
						13	0°	90°	
						13	135°	45°	
3	Tejido Plano (13)	75 %	18,25 %	6,75 %	3	13	0°	90°	5
						13	45°	135°	
						13	0°	90°	
4	Tejido Plano (16)	70 %	25,5 %	4,5 %	2	16	0°	90°	5
						16	90°	0°	

Código: RG-RM-001  
Fecha de Elaboración: 06-07-2016  
Fecha de última aprobación: 12-01-2017  
Revisión: 2

RECEPCIÓN E IDENTIFICACIÓN  
DE MUESTRAS

Página 1 de 4





5	Tejido Plano (16)	70 %	25,5 %	4,5 %	2	16	0°	90°	5
						16	135°	45°	
6	Tejido Plano (19)	65 %	30,5 %	4,5 %	2	19	0°	90°	5
						19	90°	0°	
7	Tejido Plano (19)	65 %	30,5 %	4,5 %	2	19	45°	135°	5
						19	0°	90°	
<b>Total de probetas</b>									<b>35</b>

**Nota:** En Proceso de fabricación del material híbrido de matriz epóxica reforzada con tejido de fibra vegetal de algodón y fibra natural de abacá se utilizó tres tipos de configuraciones basado en el número de fibras de abacá por fila (13, 16, 19) y la disposición en diferentes orientaciones de cada tejido, la estratificación se realizó mediante compresión manual.



### RECEPCIÓN E IDENTIFICACIÓN DE MUESTRAS

<b>Informe N°: 172275576420170316-EFC</b>	
<b>DATOS DEL CLIENTE</b>	
<b>Empresa / Cliente:</b> Sr. Geovanny Santiago Benavides Salinas.	
<b>DIRECCIÓN:</b> Vía Alasca, Barrio el Paraíso, Sector Huachi Grande.	
<b>NÚM. DE CEDULA / RUC:</b> 1722755764	<b>TELÉFONO:</b> 0983554200
<b>E-MAIL:</b> benavidessalinasgeovanny@gmail.com	

<b>DATOS INFORMATIVOS</b>
<b>Laboratorio:</b> Resistencia de Materiales.
<b>Designación del material:</b> Material híbrido de matriz epóxica reforzada con tejido de fibra vegetal de algodón y fibra natural de abacá.
<b>Método de ensayo:</b> ASTM D7264-2015.

#### Configuración del ensayo:

N°	Tipo de Tejido N° de Fibras por fila de Abacá	Fracción Volumétrica de Resina Epóxica	Fracción Volumétrica de Refuerzos		Número de Capas	Número de fibras de abacá por fila	Orientación de Fibras		Cantidad de Probetas a Ensayar
			Fibra de Abacá	Fibra de Algodón			Fibra de Abacá	Fibra de Algodón	
1	Tejido Plano (13)	75 %	18,25 %	6,75 %	3	13	0°	90°	5
						13	90°	0°	
						13	0°	90°	
2	Tejido Plano (13)	75 %	18,25 %	6,75 %	3	13	45°	135°	5
						13	0°	90°	
						13	135°	45°	
3	Tejido Plano (13)	75 %	18,25 %	6,75 %	3	13	0°	90°	5
						13	45°	135°	
						13	0°	90°	
4	Tejido Plano (16)	70 %	25,5 %	4,5 %	2	16	0°	90°	5
						16	90°	0°	
5	Tejido Plano (16)	70 %	25,5 %	4,5 %	2	16	0°	90°	5
						16	135°	45°	





6	Tejido Plano (19)	65 %	30,5 %	4,5 %	2	19	0°	90°	5
						19	90°	0°	
7	Tejido Plano (19)	65 %	30,5 %	4,5 %	2	19	45°	135°	5
						19	0°	90°	
<b>Total de probetas</b>									<b>35</b>

**Nota:** En Proceso de fabricación del material híbrido de matriz epóxica reforzada con tejido de fibra vegetal de algodón y fibra natural de abacá se utilizó tres tipos de configuraciones basado en el número de fibras de abacá por fila (13, 16, 19) y la disposición en diferentes orientaciones de cada tejido, la estratificación se realizó mediante compresión manual.

ANEXO 6: Informe técnico de los ensayos de tracción y flexión



Honorable Gobierno  
Provincial de Tungurahua



Centro de Fomento Productivo  
Metalmeccánico Canocero

Resultados:

Muestra	Identificación de muestra	Temperatura y humedad	Dimensiones	Carga máxima (N)	Esfuerzo de fluencia (MPa)	Esfuerzo de Rotura (MPa)	Módulo de elasticidad (Calculado) (MPa)	% Elongación (Calculado)	Tipo de falla evaluado
1	172275576420170316 - ETC 01-1	18°C, 77%	a= 25,25 b=4,82	6410,63	1,76	52,67	2189,111	2,406	LGM
2	172275576420170316 - ETC 01-2	18°C, 77%	a=25,19 b=4,81	8376,58	1,56	69,13	2232,593	3,096	LAT
3	172275576420170316 - ETC 01-3	18°C, 77%	a=24,73 b=4,84	7005,46	1,20	59,98	2176,027	2,756	LAT
4	172275576420170316 - ETC 01-4	18°C, 77%	a=24,99 b=4,88	6448,50	1,53	52,88	2105,096	2,512	LGM
5	172275576420170316 - ETC 01-5	18°C, 77%	a= 24,86 b=4,76	6547,90	1,53	55,35	2069,494	2,674	LGM
6	172275576420170316 - ETC 02-1	18°C, 77%	a=24,84 b=4,98	7316,29	1,40	59,14	2091,231	2,828	LGM
7	172275576420170316 - ETC 02-2	18°C, 77%	a=25,30 b=4,90	5569,66	1,26	44,91	1706,048	2,632	LGM
8	172275576420170316 - ETC 02-3	18°C, 77%	a=25,13 b=4,91	5927,82	1,33	48,04	1805,201	2,661	LGM
9	172275576420170316 - ETC 02-4	18°C, 77%	a= 25,15 b=4,90	5702,19	1,47	46,27	1764,683	2,622	LGM
10	172275576420170316 - ETC 02-5	18°C, 77%	a=25,15 b=4,98	6121,89	0,77	48,08	1856,084	2,590	LGM
11	172275576420170316 - ETC 03-1	18°C, 82%	a=25,12 b=4,94	7838,54	1,17	62,47	2193,777	2,848	LGM
12	172275576420170316 - ETC 03-2	18°C, 82%	a=25,07 b=4,87	7049,64	1,68	57,74	2229,344	2,59	LGM
13	172275576420170316 - ETC 03-3	18°C, 82%	a= 25,21 b=4,74	7619,23	1,29	63,76	2284,322	2,791	LGM
14	172275576420170316 - ETC 03-4	18°C, 82%	a=24,72 b=4,96	7903,23	1,23	70,11	2373,713	2,954	LAT
15	172275576420170316 - ETC 03-5	18°C, 82%	a=24,84 b=4,88	7207,42	1,87	59,42	2472,125	2,404	LGM
16	172275576420170316 - ETC 04-1	18°C, 82%	a=24,87 b=4,93	7232,67	1,54	58,99	1751,901	3,367	LGM
17	172275576420170316 - ETC 04-2	18°C, 82%	a= 24,86 b=4,96	8054,70	1,54	64,96	1898,749	3,421	LIT
18	172275576420170316 - ETC 04-3	18°C, 82%	a=24,99 b=4,82	3428,57	1,26	13,51	467,474	2,890	-
19	172275576420170316 - ETC 04-4	18°C, 82%	a=25,18 b=4,94	3829,34	1,33	22,16	767,632	2,887	-
20	172275576420170316 - ETC 04-5	18°C, 82%	a=25,22 b=4,80	6642,57	1,71	54,39	1768,896	3,075	LGM
21	172275576420170316 - ETC 05-1	19°C, 80%	a= 25,20 b=4,96	3865,63	0,96	30,93	1523,345	2,030	LAT

22	172275576420170316 - ETC 05 -2	19°C, 80%	a= 25,13	b=4,86	5200,45	1,30	42,58	1821,858	2,337	LAT
23	172275576420170316 - ETC 05 -3	19°C, 80%	a=25,02	b=4,75	4490,44	1,12	35,33	1641,119	2,153	LGM
24	172275576420170316 - ETC 05 -4	19°C, 80%	a=25,11	b=4,75	4755,51	1,24	39,87	1666,249	2,393	LAT
25	172275576420170316 - ETC 05 -5	19°C, 80%	a=25,04	b=4,80	4223,79	1,23	35,14	1595,822	2,202	LIT
26	172275576420170316 - ETC 06 -1	19°C, 82%	a= 24,98	b=4,88	4141,74	1,41	33,98	1633,340	2,080	LGM
27	172275576420170316 - ETC 06 -2	19°C, 82%	a=25,29	b=4,86	3346,53	1,41	33,98	1758,799	1,932	LGM
28	172275576420170316 - ETC 06 -3	19°C, 82%	a=25,30	b=4,88	4130,70	1,14	32,18	1502,054	2,142	LAT
29	172275576420170316 - ETC 06 -4	19°C, 82%	a=24,95	b=4,73	3832,49	1,43	32,48	1700,168	1,910	LGM
30	172275576420170316 - ETC 06 -5	19°C, 82%	a= 25,27	b=4,72	3953,98	1,28	33,15	1572,879	2,108	LGM
31	172275576420170316 - ETC 07 -1	19°C, 80%	a=25,27	b=4,90	6041,42	1,58	48,79	1888,158	2,584	LAT
32	172275576420170316 - ETC 07 -2	19°C, 80%	a=25,20	b=4,94	5650,13	1,48	45,39	1805,202	2,514	LAT
33	172275576420170316 - ETC 07 -3	19°C, 80%	a=24,99	b=4,77	5629,61	1,43	47,23	1878,381	2,514	LGM
34	172275576420170316 - ETC 07 -4	19°C, 80%	a= 25,04	b=4,92	4391,04	1,36	35,64	1640,280	2,173	LGM
35	172275576420170316 - ETC 07 -5	19°C, 80%	a=24,84	b=4,89	6543,16	1,62	53,35	1916,032	2,784	LIT

**Nomenclatura:**

**Tipo de falla evaluado:** El tipo de falla evaluado se lo realiza mediante los criterios de la norma ASTM D3039-2015.

Primer caracter	Segundo caracter	En el agarre	Tercer caracter
L	A	En el agarre	T
L	I	Dentro del agarre	T
L	-G	Zona calibrada	M
			Parte superior
			Parte superior
			Medio



**LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES**  
**ENSAYO DE TRACCIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS**  
**INFORME N°: 172275576420170316-ETC**

**Designación del material:** Material híbrido de matriz epóxica reforzada con tejido de fibra vegetal de algodón y fibra natural de abacá.

**Método de ensayo:** ASTM D3039-2015.

**Empresa / Cliente:** Sr. Geovanny Santiago Benavides Salinas.

**Fecha de Inicio de Ensayo:** 06 de Marzo de 2017.

**Fecha de Finalización de Ensayo:** 06 de Marzo de 2017.

Los resultados obtenidos en el presente informe corresponden a ensayos realizados en muestras de materiales compuestos. Las muestras fueron entregadas en el Laboratorio de Resistencia de Materiales del CFPMC del H.G.P. Tungurahua.

**Número de Probetas cuantificadas**

N°	Tipo de Tejido N° de Fibras por fila de Abacá	Fracción Volumétrica de Resina Epóxica	Fracción Volumétrica de Refuerzos		Número de Capas	Número de fibras de abacá por fila	Orientación de Fibras		Cantidad de Probetas a Ensayar
			Fibra de Abacá	Fibra de Algodón			Fibra de Abacá	Fibra de Algodón	
1	Tejido Plano (13)	75 %	18,25 %	6,75 %	3	13	0°	90°	5
							90°	0°	
							0°	90°	
2	Tejido Plano (13)	75 %	18,25 %	6,75 %	3	13	45°	135°	5
							0°	90°	
							135°	45°	
3	Tejido Plano (13)	75 %	18,25 %	6,75 %	3	13	0°	90°	5
							45°	135°	
							0°	90°	
4	Tejido Plano (16)	70 %	25,5 %	4,5 %	2	16	0°	90°	5
							90°	0°	
5	Tejido Plano (16)	70 %	25,5 %	4,5 %	2	16	0°	90°	5
							135°	45°	
6	Tejido Plano (19)	65 %	30,5 %	4,5 %	2	19	0°	90°	5
							90°	0°	
7	Tejido Plano (19)	65 %	30,5 %	4,5 %	2	19	45°	135°	5
							0°	90°	
<b>Total de probetas</b>									<b>35</b>



Centro de Fomento Productivo  
Metalmecánico Carrocero



Honorable Gobierno  
Provincial de Tungurahua

**Nota:** En Proceso de fabricación del material híbrido de matriz epóxica reforzada con tejido de fibra vegetal de algodón y fibra natural de abacá se utilizó tres tipos de configuraciones basado en el número de fibras de abacá por fila (13, 16, 19) y la disposición en diferentes orientaciones de cada tejido, la estratificación se realizó mediante compresión manual.

		
<b>Elaborado por:</b>		<b>Aprobado por:</b>
Ing. Fernando Galarza	Ing. Ángel Balseca	Ing. Esteban López Espinel
Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC	Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC	Director Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC

Ambato, 09 de Marzo de 2017.  
Nº. Factura. 001-002-000002374

Código: RG-RM-004  
Fecha de elaboración: 11-05-2016  
Fecha de última aprobación: 17-01-2016  
Revisión: 4



INFORME DE ENSAYO DE  
TRACCIÓN MATERIALES  
COMPUESTOS





Centro de Fomento Productivo  
Metalmeccánico Camocero



Honorable Gobierno  
Provincial de Tungurahua

**HOJA DE ALMACENAMIENTO DE MUESTRAS**

<b>Informe N°: 172275576420170316-ETC</b>	
<b>DATOS DEL CLIENTE</b>	
Empresa / Cliente: Sr. Geovanny Santiago Benavides Salinas.	
DIRECCIÓN: Vía Alasca, Barrio el Paraiso, Sector Huachi Grande.	
NÚM. DE CEDULA / RUC: 1722755764	TELÉFONO: 0983554200
E-MAIL: benavidesalinasgeovanny@gmail.com	

**DATOS INFORMATIVOS**

Laboratorio: Resistencia de Materiales.

Designación del material: Material híbrido de matriz epóxica reforzada con tejido de fibra vegetal de algodón y fibra natural de abacá.

Método de ensayo: ASTM D3039-2015.

Nº	IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	FECHA INGRESO	FECHA ELIMINACIÓN	RESPONSABLE	OBSERVACIONES	Evidencias
1	172275576420170316 - ETC 01-1	24/02/2017		Ing. F. Galarza	Se almacena	
2	172275576420170316 - ETC 01-2	24/02/2017		Ing. F. Galarza	Se almacena	
3	172275576420170316 - ETC 01-3	24/02/2017	10/03/2017	Ing. F. Galarza	Entrega al cliente	
4	172275576420170316 - ETC 01-4	24/02/2017	10/03/2017	Ing. F. Galarza	Entrega al cliente	
5	172275576420170316 - ETC 01-5	24/02/2017	10/03/2017	Ing. F. Galarza	Entrega al cliente	

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




HOJA DE ALMACENAMIENTO  
DE MUESTRAS



Centro de Fomento Productivo  
Metalmeccánico Carroero



Honorable Gobierno  
Provincial de Tungurahua

N°	IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	FECHA INGRESO	FECHA ELIMINACIÓN	RESPONSABLE	OBSERVACIONES	Evidencias
6	172275576420170316 - ETC 02 -1	24/02/2017		Ing. F. Galarza	Se almacena	
7	172275576420170316 - ETC 02 -2	24/02/2017		Ing. F. Galarza	Se almacena	
8	172275576420170316 - ETC 02 -3	24/02/2017	10/03/2017	Ing. F. Galarza	Entrega al cliente	
9	172275576420170316 - ETC 02 -4	24/02/2017	10/03/2017	Ing. F. Galarza	Entrega al cliente	
10	172275576420170316 - ETC 02 -5	24/02/2017	10/03/2017	Ing. F. Galarza	Entrega al cliente	
11	172275576420170316 - ETC 03 -1	24/02/2017		Ing. F. Galarza	Se almacena	
12	172275576420170316 - ETC 03 -2	24/02/2017		Ing. F. Galarza	Se almacena	
13	172275576420170316 - ETC 03 -3	24/02/2017	10/03/2017	Ing. F. Galarza	Entrega al cliente	
14	172275576420170316 - ETC 03 -4	24/02/2017	10/03/2017	Ing. F. Galarza	Entrega al cliente	
15	172275576420170316 - ETC 03 -5	24/02/2017	10/03/2017	Ing. F. Galarza	Entrega al cliente	
16	172275576420170316 - ETC 04 -1	24/02/2017		Ing. F. Galarza	Se almacena	
17	172275576420170316 - ETC 04 -2	24/02/2017		Ing. F. Galarza	Se almacena	
18	172275576420170316 - ETC 04 -3	24/02/2017	10/03/2017	Ing. F. Galarza	Entrega al cliente	
19	172275576420170316 - ETC 04 -4	24/02/2017	10/03/2017	Ing. F. Galarza	Entrega al cliente	
20	172275576420170316 - ETC 04 -5	24/02/2017	10/03/2017	Ing. F. Galarza	Entrega al cliente	

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

HOJA DE ALMACENAMIENTO  
DE MUESTRAS



Centro de Fomento Productivo  
Metalmeccánico Carrero



Honorable Gobierno  
Provincial de Tungurahua

Nº	IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	FECHA INGRESO	FECHA ELIMINACIÓN	RESPONSABLE	OBSERVACIONES	Evidencias
21	172275576420170316 - ETC 05 -1	24/02/2017		Ing. F. Galarza	Se almacena	
22	172275576420170316 - ETC 05 -2	24/02/2017		Ing. F. Galarza	Se almacena	
23	172275576420170316 - ETC 05 -3	24/02/2017	10/03/2017	Ing. F. Galarza	Entrega al cliente	
24	172275576420170316 - ETC 05 -4	24/02/2017	10/03/2017	Ing. F. Galarza	Entrega al cliente	
25	172275576420170316 - ETC 05 -5	24/02/2017	10/03/2017	Ing. F. Galarza	Entrega al cliente	
26	172275576420170316 - ETC 06 -1	24/02/2017		Ing. F. Galarza	Se almacena	
27	172275576420170316 - ETC 06 -2	24/02/2017		Ing. F. Galarza	Se almacena	
28	172275576420170316 - ETC 06 -3	24/02/2017	10/03/2017	Ing. F. Galarza	Entrega al cliente	
29	172275576420170316 - ETC 06 -4	24/02/2017	10/03/2017	Ing. F. Galarza	Entrega al cliente	
30	172275576420170316 - ETC 06 -5	24/02/2017	10/03/2017	Ing. F. Galarza	Entrega al cliente	
31	172275576420170316 - ETC 07 -1	24/02/2017		Ing. F. Galarza	Se almacena	
32	172275576420170316 - ETC 07 -2	24/02/2017		Ing. F. Galarza	Se almacena	
33	172275576420170316 - ETC 07 -3	24/02/2017	10/03/2017	Ing. F. Galarza	Entrega al cliente	
34	172275576420170316 - ETC 07 -4	24/02/2017	10/03/2017	Ing. F. Galarza	Entrega al cliente	
35	172275576420170316 - ETC 07 -5	24/02/2017	10/03/2017	Ing. F. Galarza	Entrega al cliente	

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

HOJA DE ALMACENAMIENTO  
DE MUESTRAS





Centro de Fomento Productivo  
Metalmeccánico Carrocero



Honorable Gobierno  
Provincial de Tungurahua

Las dos primeras muestras de cada grupo por acuerdo con el cliente se almacenan en el CFPMC, el centro no se responsabiliza por el mantenimiento y almacenamiento de las otras, quedando a responsabilidad del cliente su resguardo.

<b>Elaborado por:</b> Ing. Fernando Galarza Chacón Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC	 <b>Aprobado por:</b> Ing. Esteban López Espinel Director Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC
Cliente	

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

HOJA DE ALMACENAMIENTO  
DE MUESTRAS



**LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES**  
**ENSAYO DE FLEXIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS**

INFORME N°: A1- 172275576420170316-EFC

**Designación del material:** Material híbrido de matriz epóxica reforzada con tejido de fibra vegetal de algodón y fibra natural de abacá.

**Método de ensayo:** ASTM D7264-2015.

**Empresa / Cliente:** Sr. Geovanny Santiago Benavides Salinas.

**Fecha de Inicio de Ensayo:** 02 de Marzo de 2017.

**Fecha de Finalización de Ensayo:** 03 de Marzo de 2017.

Los resultados obtenidos en el presente informe corresponden a ensayos realizados en muestras de materiales compuestos. Las muestras fueron entregadas en el Laboratorio de Resistencia de Materiales del CFPMC del H.G.P. Tungurahua.

**Número de Probetas cuantificadas**

N°	Tipo de Tejido N° de Fibras por fila de Abacá	Fracción Volumétrica de Resina Epóxica	Fracción Volumétrica de Refuerzos		Número de Capas	Número de fibras de abacá por fila	Orientación de Fibras		Cantidad de Probetas a Ensayar
			Fibra de Abacá	Fibra de Algodón			Fibra de Abacá	Fibra de Algodón	
1	Tejido Plano (13)	75 %	18,25 %	6,75 %	3	13	0°	90°	5
						13	90°	0°	
						13	0°	90°	
2	Tejido Plano (13)	75 %	18,25 %	6,75 %	3	13	45°	135°	5
						13	0°	90°	
						13	135°	45°	
3	Tejido Plano (13)	75 %	18,25 %	6,75 %	3	13	0°	90°	5
						13	45°	135°	
						13	0°	90°	
4	Tejido Plano (16)	70 %	25,5 %	4,5 %	2	16	0°	90°	5
						16	90°	0°	
5	Tejido Plano (16)	70 %	25,5 %	4,5 %	2	16	0°	90°	5
						16	135°	45°	
6	Tejido Plano (19)	65 %	30,5 %	4,5 %	2	19	0°	90°	5
						19	90°	0°	
7	Tejido Plano (19)	65 %	30,5 %	4,5 %	2	19	45°	135°	5
						19	0°	90°	
<b>Total de probetas</b>									<b>35</b>



Centro de Fomento Productivo  
Metalmecánico Carrocero



Honorable Gobierno  
Provincial de Tungurahua

**Nota:** En Proceso de fabricación del material híbrido de matriz epóxica reforzada con tejido de fibra vegetal de algodón y fibra natural de abacá se utilizó tres tipos de configuraciones basado en el número de fibras de abacá por fila (13, 16, 19) y la disposición en diferentes orientaciones de cada tejido, la estratificación se realizó mediante compresión manual.

Distancia entre apoyos: 140 mm

		
<b>Elaborado por:</b>		<b>Aprobado por:</b>
Ing. Fernando Galarza	Ing. Ángel Balseca	Ing. Esteban López Espinel
Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC	Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC	Director Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC

Ambato, 09 de Marzo de 2017.  
Nº. Factura. 001-002-000002374

Código: RG-RM-004  
Fecha de Elaboración: 11-05-2016  
Fecha de última aprobación: 17-01-2017  
Revisión: 4

INFORME DE ENSAYO DE  
FLEXIÓN MATERIALES  
COMPUESTOS

Página 2 de 4



Resultados

Pro bet a	Identificación de probeta	Temperatura y humedad	Dimensiones (mm)	Fuerza máxima (N)	Deflexión (mm)	Esfuerzo máximo de flexión (MPa)	Módulo de elasticidad secante de flexión (Mpa)	Deformación máxima (%)	Tipo de falla evaluado
1	172275576420170316 - EFC 01-1	22°C, 62%	a=13.07 b=4.83	82.08	10,401	56,33	3675,95	1,54	OAB
2	172275576420170316 - EFC 01-2	22°C, 62%	a=12.89 b=4.85	130.26	18,756	90,22	3239,79	2,78	OAB
3	172275576420170316 - EFC 01-3	22°C, 62%	a=12.98 b=4.81	127.23	24,399	88,97	2476,46	3,59	OAB
4	172275576420170316 - EFC 01-4	22°C, 62%	a=12.90 b=4.82	108.94	13,700	76,33	3776,24	2,02	OAB
5	172275576420170316 - EFC 01-5	22°C, 62%	a=12.82 b=4.84	118.00	28,035	82,51	1986,47	4,15	OAB
Promedio $\bar{x}$				113,30	19,06	78,91	3030,98	2,82	
Desviación estándar $S_{n-1}$				19,35	7,29	13,69	776,77	1,08	
Coeficiente de variación CV				17,08	38,28	17,35	25,63	38,30	

Pro bet a	Identificación de probeta	Temperatura y humedad	Dimensiones (mm)	Fuerza máxima (N)	Deflexión (mm)	Esfuerzo máximo de flexión (MPa)	Módulo de elasticidad secante de flexión (Mpa)	Deformación máxima (%)	Tipo de falla evaluado
6	172275576420170316 - EFC 02-1	22°C, 66%	a=13.21 b=4.84	75,87	31,994	51,49	1086,14	4,74	OAB
7	172275576420170316 - EFC 02-2	22°C, 66%	a=12.98 b=4.88	50,86	34,256	34,55	675,20	5,12	OAB
8	172275576420170316 - EFC 02-3	22°C, 66%	a=13.13 b=4.85	88,12	32,527	59,92	1240,69	4,83	OAB
9	172275576420170316 - EFC 02-4	22°C, 66%	a=12.92 b=4.92	55,89	30,085	37,53	828,23	4,53	OAB
10	172275576420170316 - EFC 02-5	22°C, 66%	a=13.11 b=4.88	54,89	30,454	36,92	811,54	4,55	OAB
Promedio $\bar{x}$				65,13	31,86	44,08	928,36	4,75	
Desviación estándar $S_{n-1}$				16,11	1,68	11,07	229,24	0,24	
Coeficiente de variación CV				24,73	5,28	25,12	24,69	5,04	





Centro de Fomento Productivo  
Metalmeccánico Carrocero



Honorable Gobierno  
Provincial de Tungurahua

Pro beta	Identificación de probeta	Temperatura y humedad	Dimensiones (mm)	Fuerza máxima (N)	Deflexión (mm)	Esfuerzo máximo de flexión (MPa)	Módulo de elasticidad secante de flexión (MPa)	Deformación máxima (%)	Tipo de falla evaluado
11	172275576420170316 - EFC 03 -1	21°C, 60%	a=12.96 b=4.86	124.04	25.942	85.09	2204.80	3.86	OAB
12	172275576420170316 - EFC 03 -2	21°C, 60%	a=12.94 b=4.93	134.45	25.418	89.77	2340.28	3.84	OAB
13	172275576420170316 - EFC 03 -3	21°C, 60%	a=12.93 b=4.85	112.29	23.738	77.53	2199.87	3.52	OAB
14	172275576420170316 - EFC 03 -4	21°C, 60%	a=12.81 b=4.88	108.60	24.827	74.76	2015.68	3.71	OAB
15	172275576420170316 - EFC 03 -5	21°C, 60%	a=12.84 b=4.86	94.33	27.020	65.32	1624.86	4.02	OAB
Promedio $\bar{x}$				114.74	25.39	78.50	2077.10	3.79	
Desviación estándar $S_{n-1}$				15.29	1.23	9.48	277.91	0.19	
Coeficiente de variación CV				13.33	4.83	12.07	13.38	4.88	

Pro beta	Identificación de probeta	Temperatura y humedad	Dimensiones (mm)	Fuerza máxima (N)	Deflexión (mm)	Esfuerzo máximo de flexión (MPa)	Módulo de elasticidad secante de flexión (MPa)	Deformación máxima (%)	Tipo de falla evaluado
16	172275576420170316 - EFC 04 -1	18°C, 82%	a=12.96 b=4.94	76.37	29.864	50.71	1122.83	4.52	OAB
17	172275576420170316 - EFC 04 -2	18°C, 82%	a=13.00 b=4.90	111.29	27.269	74.88	1830.54	4.09	OAB
18	172275576420170316 - EFC 04 -3	18°C, 82%	a=13.13 b=4.99	54.72	23.427	35.15	982.17	3.58	OAB
19	172275576420170316 - EFC 04 -4	18°C, 82%	a=13.05 b=4.92	96.51	26.564	64.16	1603.60	4.00	OAB
20	172275576420170316 - EFC 04 -5	18°C, 82%	a=12.75 b=4.94	53.71	25.479	36.25	940.82	3.85	OAB
Promedio $\bar{x}$				78.52	26.52	52.23	1295.99	4.01	
Desviación estándar $S_{n-1}$				25.42	2.37	17.35	398.43	0.34	
Coeficiente de variación CV				32.37	8.92	33.23	30.74	8.58	

Código: RG-RM-004  
Fecha de Elaboración: 11-05-2016  
Fecha de última aprobación: 17-01-2017  
Revisión: 4

INFORME DE ENSAYO DE  
FLEXIÓN MATERIALES  
COMPUESTOS



Centro de Fomento Productivo  
Metalmeccánico Carrocer



Honorable Gobierno  
Provincial de Tungurahua

Pro beta	Identificación de probeta	Temperatura y humedad	Dimensiones (mm)	Fuerza máxima (N)	Deflexión (mm)	Esfuerzo máximo de flexión (MPa)	Módulo de elasticidad secante de flexión (Mpa)	Deformación máxima (%)	Tipo de falla evaluado
21	172275576420170316 - EFC 05 -1	18°C , 82%	a=12.83 b=4.73	50.52	28.594	36.96	892,69	4,14	OAB
22	172275576420170316 - EFC 05 -2	18°C , 82%	a=12.91 b=4.76	67.64	27.701	48.56	1203,05	4,04	OAB
23	172275576420170316 - EFC 05 -3	18°C , 82%	a=13.08 b=4.73	78.55	23.506	56,37	1656,15	3,40	OAB
24	172275576420170316 - EFC 05 -4	18°C , 82%	a=13.21 b=4.81	75.87	21.836	52,13	1621,37	3,22	OAB
25	172275576420170316 - EFC 05 -5	18°C , 82%	a=13.09 b=4.85	70.33	30,345	47,97	1064,66	4,51	OAB
Promedio $\bar{x}$				68,58	26,40	48,40	1287,59	3,86	
Desviación estándar $S_{p-1}$				10,98	3,58	7,22	339,13	0,54	
Coeficiente de variación CV				16,02	13,56	14,92	26,34	13,89	

Pro beta	Identificación de probeta	Temperatura y humedad	Dimensiones (mm)	Fuerza máxima (N)	Deflexión (mm)	Esfuerzo máximo de flexión (MPa)	Módulo de elasticidad secante de flexión (Mpa)	Deformación máxima (%)	Tipo de falla evaluado
26	172275576420170316 - EFC 06 -1	20°C , 65%	a=12.98 b=4.73	175.07	30.625	126,60	2854,97	4,43	OAV
27	172275576420170316 - EFC 06 -2	20°C , 65%	a=13.04 b=4.77	113.97	25.756	80,67	2144,88	3,76	OAV
28	172275576420170316 - EFC 06 -3	20°C , 65%	a=13.04 b=4.73	166.68	28.013	119,98	2957,92	4,06	OAV
29	172275576420170316 - EFC 06 -4	20°C , 65%	a=12.88 b=4.69	163.15	19.430	120,93	4335,15	2,79	OAV
30	172275576420170316 - EFC 06 -5	20°C , 65%	a=12.77 b=4.77	146.53	22.140	105,91	3275,87	3,23	OAV
Promedio $\bar{x}$				153,08	25,190	110,82	3113,76	3,65	
Desviación estándar $S_{p-1}$				24,20	4,48	18,50	798,13	0,65	
Coeficiente de variación CV				15,81	17,79	16,69	25,63	17,87	

Código: RG-RM-004  
Fecha de Elaboración: 11-05-2016  
Fecha de última aprobación: 17-01-2017  
Revisión: 4

INFORME DE ENSAYO DE  
FLEXIÓN MATERIALES  
COMPUESTOS

Página 5 de 6



Centro de Fomento Productivo  
Metalmecánico Carrasco



Honorable Gobierno  
Provincial de Tungurahua

Pro beta	Identificación de probeta	Temperatura y humedad	Dimensiones (mm)	Fuerza máxima (N)	Deflexión (mm)	Esfuerzo máximo de flexión (MPa)	Módulo de elasticidad secante de flexión (MPa)	Deformación máxima (%)	Tipo de falla evaluado
31	172275576420170316 - EFC 07 -1	20°C , 65%	a=12,98 b=4,78	154,42	26,300	109,34	2841,28	3,85	OAV
32	172275576420170316 - EFC 07 -2	20°C , 65%	a=13,02 b=4,96	142,17	27,705	93,21	2215,74	4,21	OAV
33	172275576420170316 - EFC 07 -3	20°C , 65%	a=12,91 b=4,72	132,77	29,312	96,94	2288,90	4,24	OAV
34	172275576420170316 - EFC 07 -4	20°C , 65%	a=12,91 b=4,73	145,86	31,790	106,05	2303,88	4,60	OAV
35	172275576420170316 - EFC 07 -5	20°C , 65%	a=13,01 b=4,72	140,66	29,995	101,91	2351,49	4,33	OAV
			Promedio $\bar{x}$	143,18	29,02	101,49	2400,26	4,25	
			Desviación estándar $S_{n-1}$	7,89	2,11	6,56	251,30	0,27	
			Coefficiente de variación CV	5,51	7,28	6,46	10,47	6,40	

**Nomenclatura:**

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

Primer carácter	Otros	Segundo carácter	En el punto de carga	Tercer carácter	Fondo
O	Otros	A	En el punto de carga	B	Varios
O	Otros	A	En el punto de carga	V	

**Reemplaza:** Este informe sustituye y deja sin validez a los resultados presentados en el informe de materiales compuestos N° 172275576420170316-EFC de fecha 09 de marzo de 2017, correspondiente a la factura 001-002-000002374.

Código: RG-RM-004  
Fecha de Elaboración: 11-05-2016  
Fecha de última aprobación: 17-01-2017  
Revisión: 4

INFORME DE ENSAYO DE  
FLEXIÓN MATERIALES  
COMPUUESTOS

Página 6 de 6



Centro de Fomento Productivo  
Metalmecánico Carroceero



Honorable Gobierno  
Provincial de Tungurahua

**HOJA DE ALMACENAMIENTO DE MUESTRAS**

<b>Informe N°:</b> 172275576420170316-EFC
<b>DATOS DEL CLIENTE</b>
<b>Empresa / Cliente:</b> Sr. Geovanny Santiago Benavides Salinas.
<b>DIRECCIÓN:</b> Vía Alasca, Barrio el Paraíso, Sector Huachi Grande.
<b>NUM. DE CEDULA / RUC:</b> 1803995016 <b>TELÉFONO:</b> 0983554200
<b>E-MAIL:</b> benavidesalinasgeovanny@gmail.com

**DATOS INFORMATIVOS**

**Laboratorio:** Resistencia de Materiales.  
**Designación del material:** Material híbrido de matriz epóxica reforzada con tejido de fibra vegetal de algodón y fibra natural de abacá.  
**Método de ensayo:** ASTM D7264-2015.

N°	IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	FECHA INGRESO	FECHA ELIMINACIÓN	RESPONSABLE	OBSERVACIONES	Evidencias
1	172275576420170316 - EFC 01-1	24/02/2017		Ing. F. Galarza	Se almacena	
2	172275576420170316 - EFC 01-2	24/02/2017		Ing. F. Galarza	Se almacena	
3	172275576420170316 - EFC 01-3	24/02/2017	10/03/2017	Ing. F. Galarza	Se entrega al cliente	
4	172275576420170316 - EFC 01-4	24/02/2017	10/03/2017	Ing. F. Galarza	Se entrega al cliente	
5	172275576420170316 - EFC 01-5	24/02/2017	10/03/2017		Se entrega al cliente	

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

HOJA DE ALMACENAMIENTO  
DE MUESTRAS





Nº	IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	FECHA INGRESO	24/02/2017		OBSERVACIONES	Evidencias
6	172275576420170316 - EFC 02 -1	24/02/2017		10/03/2017	Se almacena	
7	172275576420170316 - EFC 02 -2	24/02/2017		10/03/2017	Se almacena	
8	172275576420170316 - EFC 02 -3	24/02/2017		10/03/2017	Se entrega al cliente	
9	172275576420170316 - EFC 02 -4	24/02/2017	10/03/2017	Ing. F. Galarza	Se entrega al cliente	
10	172275576420170316 - EFC 02 -5	24/02/2017	10/03/2017	Ing. F. Galarza	Se entrega al cliente	
11	172275576420170316 - EFC 03 -1	24/02/2017		Ing. F. Galarza	Se almacena	
12	172275576420170316 - EFC 03 -2	24/02/2017		Ing. F. Galarza	Se almacena	
13	172275576420170316 - EFC 03 -3	24/02/2017	10/03/2017	Ing. F. Galarza	Se entrega al cliente	
14	172275576420170316 - EFC 03 -4	24/02/2017	10/03/2017	Ing. F. Galarza	Se entrega al cliente	
15	172275576420170316 - EFC 03 -5	24/02/2017	10/03/2017	Ing. F. Galarza	Se entrega al cliente	
16	172275576420170316 - EFC 04 -1	24/02/2017		Ing. F. Galarza	Se almacena	
17	172275576420170316 - EFC 04 -2	24/02/2017		Ing. F. Galarza	Se almacena	
18	172275576420170316 - EFC 04 -3	24/02/2017	10/03/2017	Ing. F. Galarza	Se entrega al cliente	
19	172275576420170316 - EFC 04 -4	24/02/2017	10/03/2017	Ing. F. Galarza	Se entrega al cliente	
20	172275576420170316 - EFC 04 -5	16/01/2017	24/01/2017	Ing. F. Galarza	Se entrega al cliente	
21	172275576420170316 - EFC 05 -1	24/02/2017		Ing. F. Galarza	Se almacena	
22	172275576420170316 - EFC 05 -2	24/02/2017		Ing. F. Galarza	Se almacena	
23	172275576420170316 - EFC 05 -3	24/02/2017	10/03/2017	Ing. F. Galarza	Se entrega al cliente	
24	172275576420170316 - EFC 05 -4	24/02/2017	10/03/2017	Ing. F. Galarza	Se entrega al cliente	
25	172275576420170316 - EFC 05 -5	24/02/2017	10/03/2017	Ing. F. Galarza	Se entrega al cliente	



Centro de Fomento Productivo  
Metalmeccánico Carrocer



Honorable Gobierno  
Provincial de Tungurahua

26	172275576420170316 - EFC 06 -1	24/02/2017		Ing. F. Galarza	Se almacena	
27	172275576420170316 - EFC 06 -2	24/02/2017		Ing. F. Galarza	Se almacena	
28	172275576420170316 - EFC 06 -3	24/02/2017	10/03/2017	Ing. F. Galarza	Se entrega al cliente	
29	172275576420170316 - EFC 06 -4	24/02/2017	10/03/2017	Ing. F. Galarza	Se entrega al cliente	
30	172275576420170316 - EFC 06 -5	24/02/2017	10/03/2017	Ing. F. Galarza	Se entrega al cliente	
31	172275576420170316 - EFC 07 -1	24/02/2017		Ing. F. Galarza	Se almacena	
32	172275576420170316 - EFC 07 -2	24/02/2017		Ing. F. Galarza	Se almacena	
33	172275576420170316 - EFC 07 -3	24/02/2017	10/03/2017	Ing. F. Galarza	Se entrega al cliente	
34	172275576420170316 - EFC 07 -4	24/02/2017	10/03/2017	Ing. F. Galarza	Se entrega al cliente	
35	172275576420170316 - EFC 07 -5	24/02/2017	10/03/2017	Ing. F. Galarza	Se entrega al cliente	

Código: RG-RM-403  
Fecha de Elaboración: 06-07-2016  
Fecha de última aprobación: 17-01-2017  
Revisión: 3

HOJA DE ALMACENAMIENTO  
DE MUESTRAS



Centro de Fomento Productivo  
Metalmeccánico Carrocero



Honorable Gobierno  
Provincial de Tungurahua

Las dos primeras muestras de cada grupo por acuerdo con el cliente se almacenan en el CFPMC. El centro no se responsabiliza por el mantenimiento y almacenamiento de las otras, quedando a responsabilidad del cliente su resguardo.

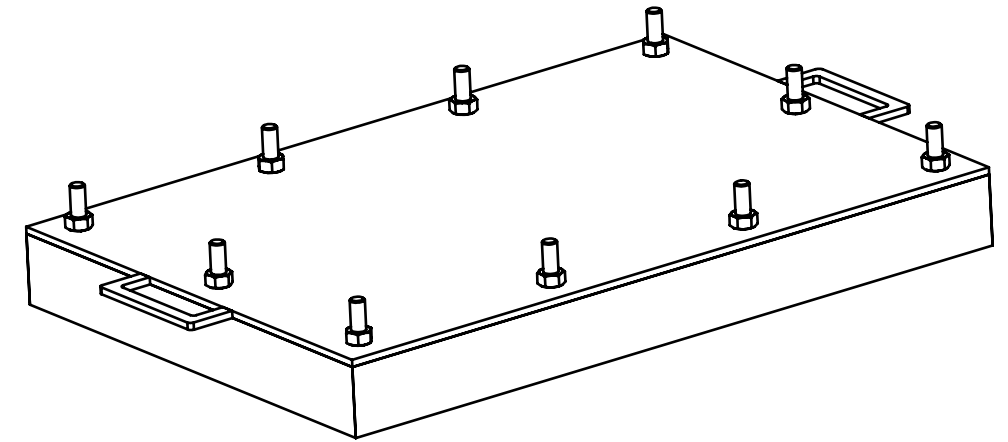
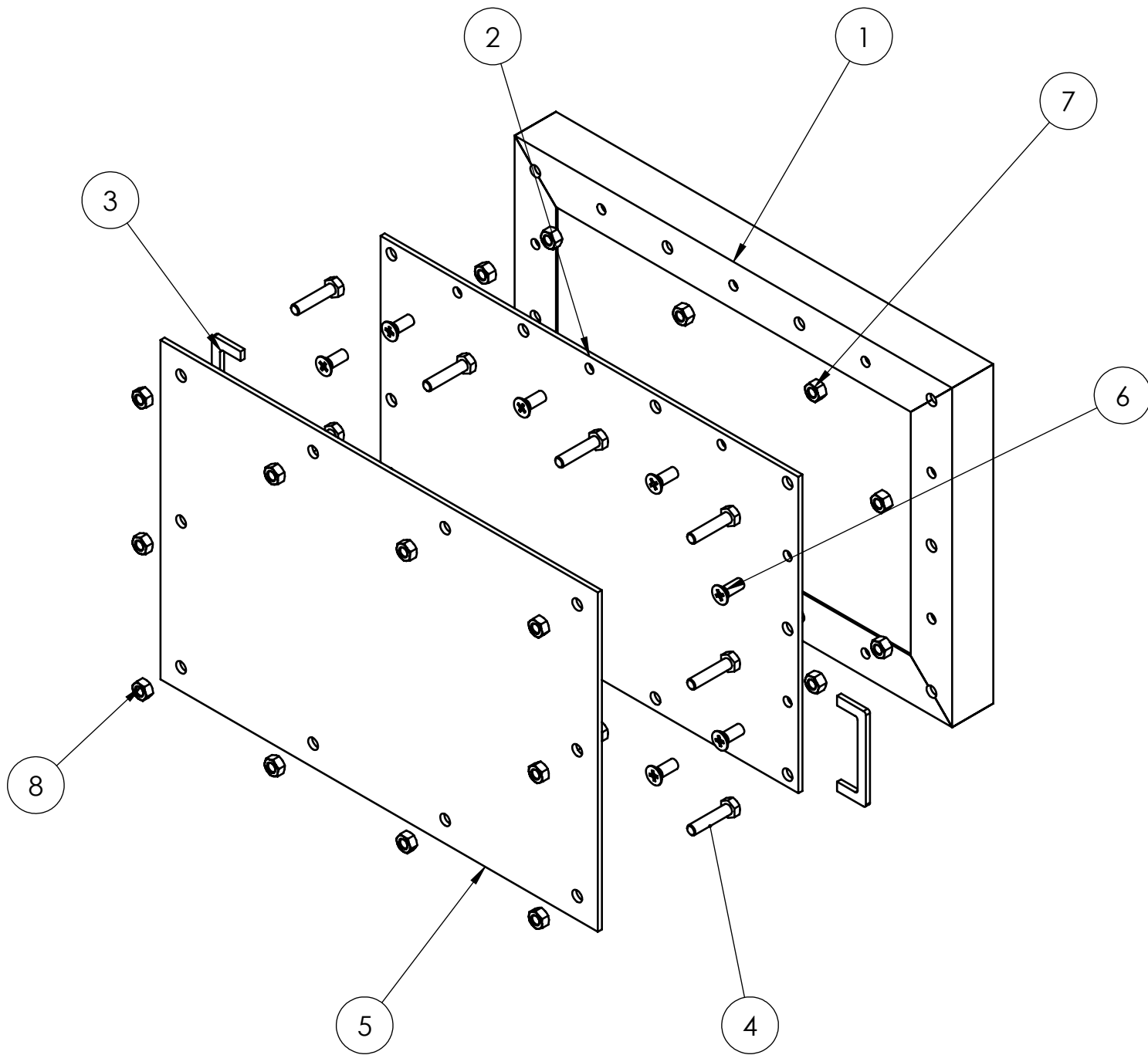
<b>Elaborado por:</b> Ing. Fernando Galarza Chacón Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC	<b>Aprobado por:</b> Ing. Esteban López Espinel Director Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC
Cliente	



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

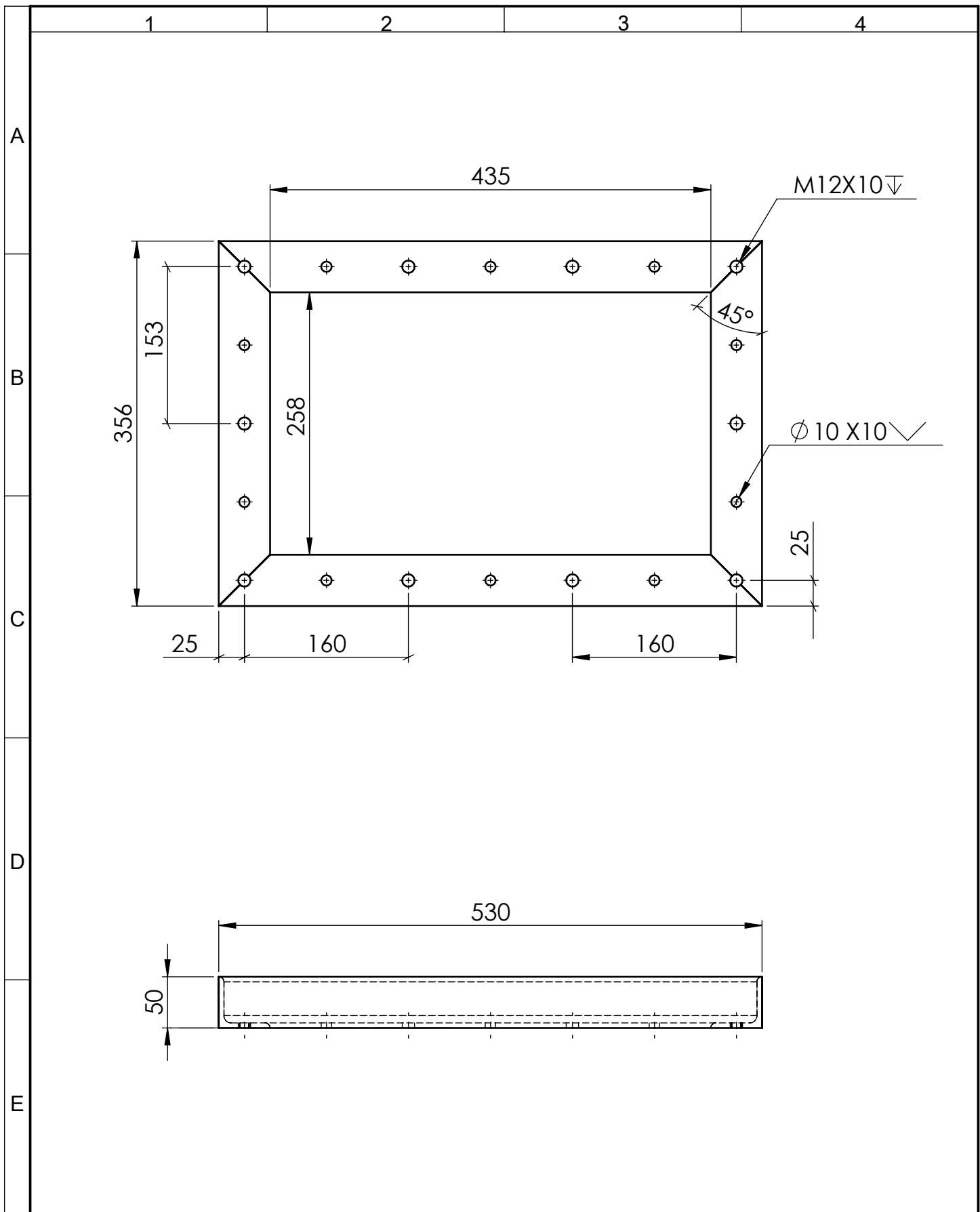
HOJA DE ALMACENAMIENTO  
DE MUESTRAS

ANEXO 7: Planos

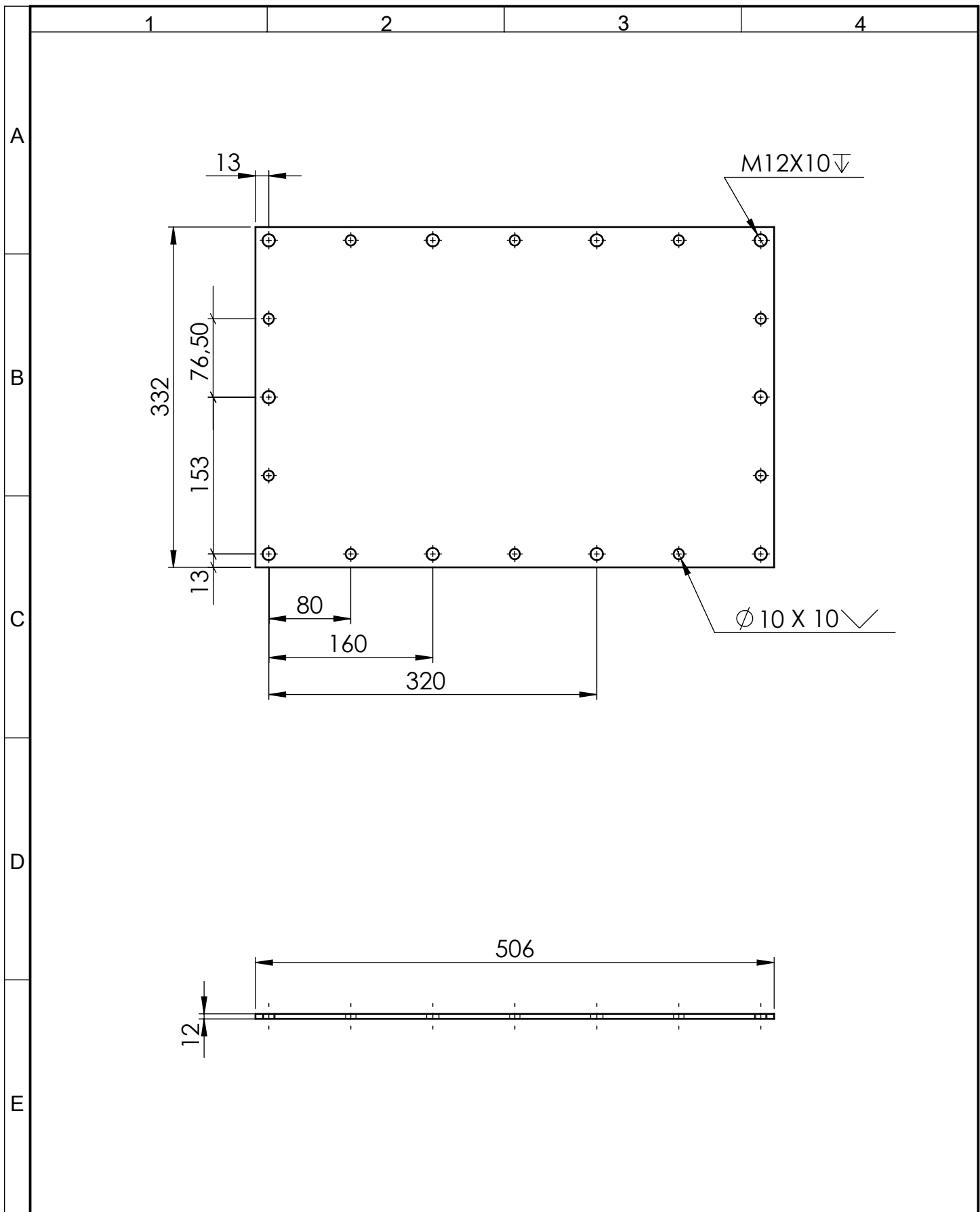


8	TUERCA HEXAGONAL M12	DIN 6330	Acero Negro	10	10		Comprado
7	TUERCA HEXAGONAL RF	DIN 934		10	10		Comprado
6	PERNO RF	DIN 7991		10	10		Comprado
5	TAPA		ASTM A36 Acero	1	1	7.37	Construido
4	PERNO M12	DIN 272	Acero Negro	10	10		Comprado
3	AGARRADERA		ASTM A36 Acero	2	2	0.06	Construido
2	BASE		ASTM A36 Acero	1	1	6.52	Construido
1	MOLDE		ASTM A36 Acero	1	1	6.16	Construido
N.º de pieza	Denominación.	N.º de Norma/ Dibujo	Material	N.º de Orden	N.º del Modelo/ semiproducto	Peso Kg/pieza	Observaciones

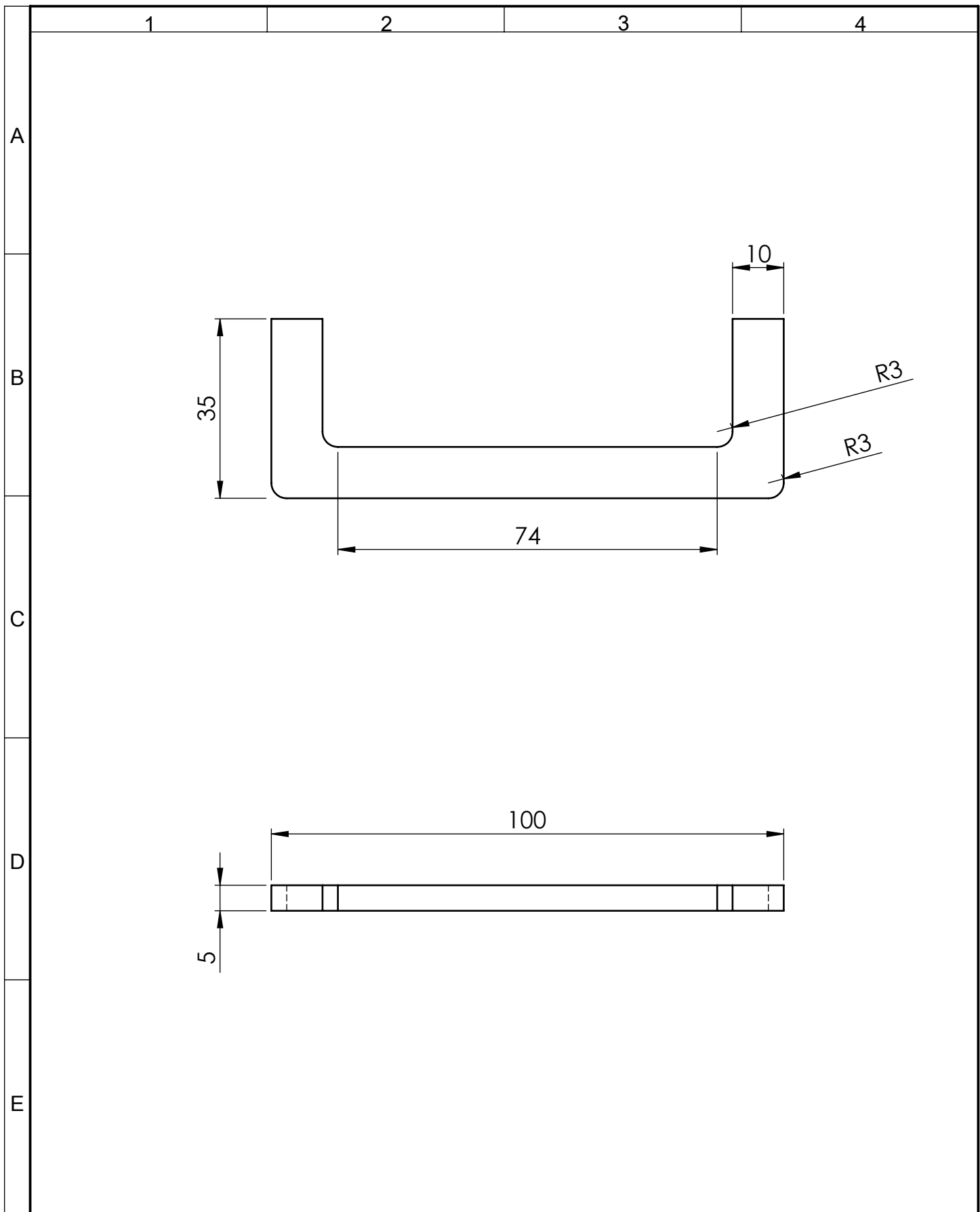
Tolerancia:		Peso:		Material:			
± 1		20110 gr		VARIOS			
Fecha		Nombre		Título:			Escala:
Dibujó: 13/10/2016		Benavides Geovanny		MOLDE PARA ESTRATIFICACIÓN			1:5
Revisó: 09/06/2017		Ing. Juan Paredes		Número de lámina:			Registro:
Aprobó: 09/06/2017		Ing. Juan Paredes		1 de 5			
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	Sustitución:			
				U.T.A. INGENIERÍA MECÁNICA			



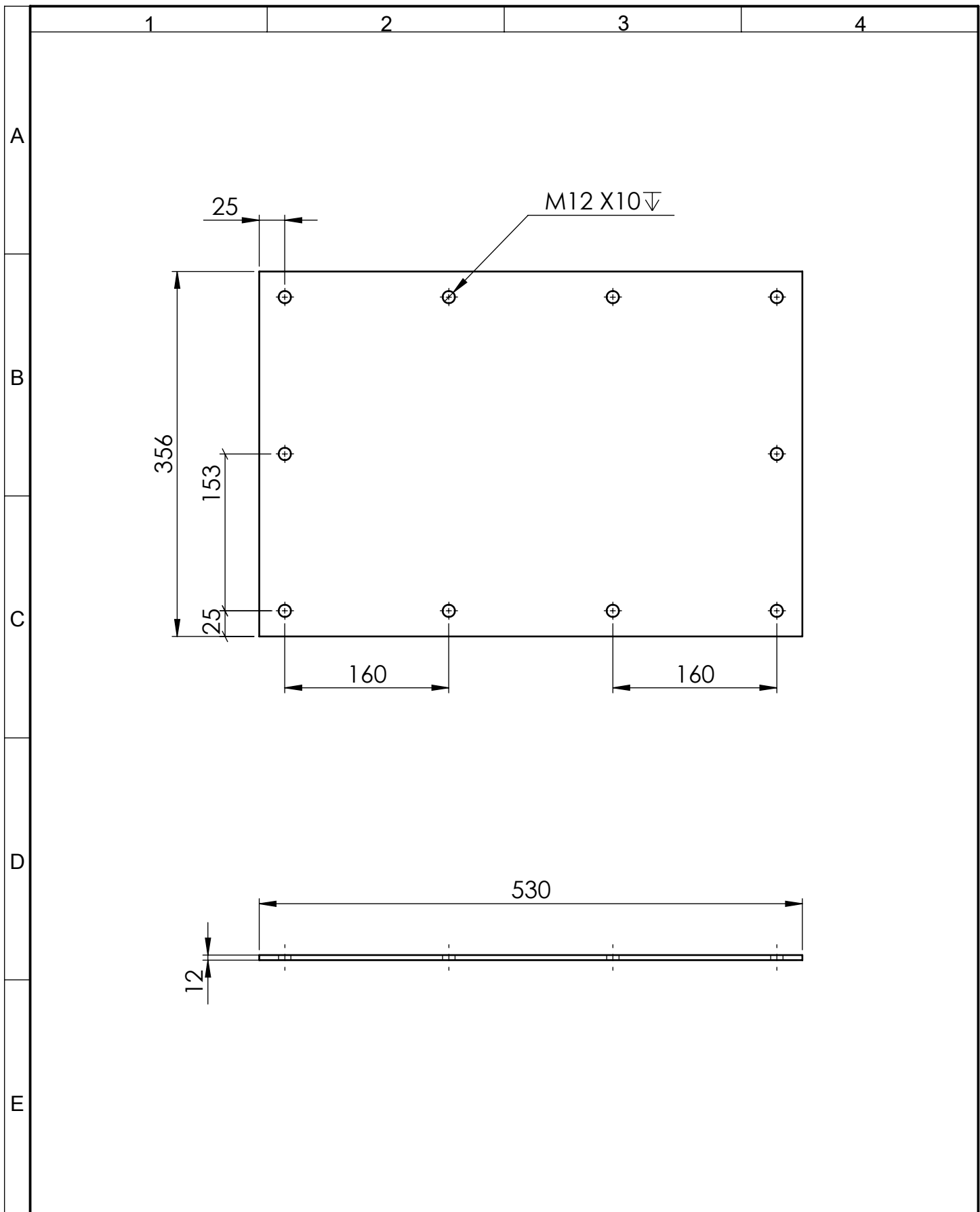
				Tolerancia: ± 1	Peso: 6159.07gr	Material: Acero A36	
				Fecha	Nombre	Título:	Escala:
				Dibujó: 13/10/2016	Benavides Geovanny	MOLDE L 50x5	1:5
				Revisó: 06/06/2017	Ing. Juan Paredes		
				Aprobó: 06/06/2017	Ing. Juan Paredes		
				<b>U.T.A.</b> <b>INGENIERÍA MECÁNICA</b>		Número de lámina: 2 de 5	Registro:
Edición	Modificación	Nombre	Fecha			Sustitución:	



				Tolerancia: $\pm 1$	Peso: 6518.47gr	Material: <b>Acero A36</b>	
				Fecha	Nombre	Título: <b>BASE</b>	
				Dibujó: 13/10/2016	Benavides Geovanny	Escala: 1:5	
				Revisó: 06/06/2017	Ing. Juan Paredes		
				Aprobó: 06/06/2017	Ing. Juan Paredes		
				<b>U.T.A.</b> <b>INGENIERÍA MECÁNICA</b>		Número de lámina: 3 de 5	
						Registro: 	
Edición	Modificación	Nombre	Fecha	Sustitución:			



				Tolerancia:	Peso:	Material:			
				± 1	58.88 gr	Acero A36			
				Fecha	Nombre	Título:	Escala:		
				Dibujó:	13/10/2016 Benavides Geovanny			AGARRADERA	1:1
				Revisó:	09/06/2017 Ing. Juan Paredes				
				Aprobó:	09/06/2017 Ing. Juan Paredes				
				<b>U.T.A.</b> <b>INGENIERÍA MECÁNICA</b>		Número de lámina:	Registro:		
						4 de 5			
Edición	Modificación	Nombre	Fecha	Sustitución:					



				Tolerancia: $\pm 1$	Peso: 7374.86gr	Material: Acero A36	
				Fecha	Nombre	Título:	
				Dibujó: 13/10/2016	Benavides Geovanny	TAPA	
				Revisó: 06/06/2017	Ing. Juan Paredes	Escala: 1:5	
				Aprobó: 06/06/2017	Ing. Juan Paredes	Número de lámina: 5 de 5	
				<b>U.T.A.</b> INGENIERÍA MECÁNICA		Registro:	
Edición	Modificación	Nombre	Fecha			Sustitución:	