

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:

“CARATERIZACIÓN MECÁNICA DEL MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ
POLIÉSTER REFORZADA CON FIBRA DE HOJA DE YUCCA ELEPHANTIPES
PARA LA DETERMINACIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS EN
APLICACIONES INDUSTRIALES”

AUTOR: Christian Andrés Pazmiño Guerrero

TUTOR: Ing. Mg. Segundo Espín

AMBATO-ECUADOR

2018

CERTIFICACIÓN

En mi calidad de tutor del trabajo experimental, previo a la obtención del título de Ingeniero Mecánico, con el tema “CARATERIZACIÓN MECÁNICA DEL MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ POLIÉSTER REFORZADA CON FIBRA DE HOJA DE YUCCA ELEPHANTIPES PARA LA DETERMINACIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS EN APLICACIONES INDUSTRIALES”, elaborado por el señor Christian Andrés Pazmiño Guerrero, portador de la cédula de ciudadanía C.I: 1804395307, egresado de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Carrera de Ingeniería Mecánica.

Certifico:

- El presente trabajo experimental es original del autor
- Ha sido revisado cada uno de sus capítulos
- Esta concluido en su totalidad

.....

Ing. Mg. Segundo Manuel Espín Lagos.

TUTOR

AUTORÍA DEL TRABAJO

Yo Christian Andrés Pazmiño Guerrero, con C.I: 1804395307, egresado de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, declaro que las actividades y tareas realizadas para la obtención de resultados en el presente trabajo experimental con el tema “CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DEL MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ POLIÉSTER REFORZADA CON FIBRA DE HOJA DE YUCCA ELEPHANTIPES PARA LA DETERMINACIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS EN APLICACIONES INDUSTRIALES”, es de mi completa autoría a excepción de las fuentes bibliográficas que se encuentran citadas en este trabajo.

Ambato, abril de 2018

.....

Christian Andrés Pazmiño Guerrero

C.I: 1804395307

AUTOR

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este trabajo experimental o parte de él, un documento disponible para su lectura, consulta 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 no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.

.....

Christian Andrés Pazmiño Guerrero

C.I: 1804395307

AUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del tribunal examinador aprueban el informe del trabajo experimental, bajo el tema: “CARATERIZACIÓN MECÁNICA DEL MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ POLIÉSTER REFORZADA CON FIBRA DE HOJA DE YUCCA ELEPHANTIPES PARA LA DETERMINACIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS EN APLICACIONES INDUSTRIALES”, del egresado Christian Andrés Pazmiño Guerrero de la facultad de ingeniería Civil y Mecánica.

Ambato, abril de 2018

Para constancia firman:

.....

Ing. Mg. Henry Vaca

.....

Ing. Mg. Cristian Pérez

DEDICATORIA

Porque yo sé los planes que tengo para vosotros “declara el SEÑOR” planes de bienestar y no de calamidad, para daros un futuro y una esperanza.

(Jeremías 29:11)

Este proyecto de investigación dedico especialmente a mi madre Sonia y a mi padre Eduardo por brindarme amor y poder contar con el apoyo incondicional en el trayecto de mi vida, por inculcarme los mejores valores, aconsejarme y guiarme por el camino del bien.

A toda mi familia por el apoyo moral y por contar con ellos en los buenos y malos momentos.

A mis amigos por los momentos que compartí con ellos a lo largo de mi formación académica.

AGRADECIMIENTO

A Dios principalmente por darme la vida, alumbrar mi camino, por darme los mejores y por permitirme llegar a cumplir mis metas anheladas.

A mis padres por ser el pilar fundamental en mi vida, por brindarme su apoyo y alentarme a seguir adelante a pesar de los obstáculos que se me presentaron en mi vida.

A la facultad de ingeniería Civil y Mecánica y a sus docentes y un agradecimiento especial al Ing. Segundo Espín por bríndame sus conocimientos y ayuda para poder culminar con mi tesis de grado.

A toda mi familia por estar presente siempre en mi vida y alentarme a seguir adelante.

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDO

CERTIFICACIÓN.....	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	xiii
ÍNDICE DE TABLAS.....	xv
RESUMEN	xvii
ABSTRACT	xviii
CAPÍTULO I.....	1
1. ANTECEDENTES	1
1.1. TEMA DEL TRABAJO EXPERIMENTAL.....	1
1.2. ANTECEDENTES	1
1.3. JUSTIFICACIÓN	3
1.4. OBJETIVOS	4
1.4.1. Objetivo General.....	4
1.4.2. Objetivos Específicos.....	4
CAPÍTULO II.....	5
2. FUNDAMENTACIÓN	5
2.1. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	5
2.1.1. Yucca Elephantipes.....	5
2.1.2. Usos de la Yucca Elephantipes	5
2.1.3. Materiales Compuestos	6
2.1.4. Componentes de los Materiales Compuestos.....	6

2.1.5.	La Matriz.....	6
2.1.6.	Funciones Principales de la Matriz	6
2.1.7.	Propiedades de las matrices	7
2.1.8.	Material de Refuerzo.....	8
2.1.9.	Fibras Naturales	9
2.1.10.	La interfaz	9
2.1.11.	Clasificación de los materiales compuestos.....	10
2.1.12.	Propiedades mecánicas de los materiales compuestos.....	12
2.1.13.	Fibras.....	12
2.1.14.	Propiedades mecánicas de los materiales compuestos reforzados con fibras	13
2.1.15.	Influencia de la orientación y cantidad de fibra.....	14
2.1.16.	Influencia de la longitud de la fibra en compuestos reforzados con fibras discontinuas alineadas.....	15
2.1.17.	Modos de formación de microfallas bajo Tracción	15
2.1.18.	Ensayo de Tracción.....	16
2.1.19.	Ensayo de Flexión.....	17
2.1.20.	Ensayo de Impacto mediante caída de dardo	18
2.1.21.	Clasificación de las fibras Vegetales	19
2.1.22.	Composición química de las fibras vegetales	19
2.1.23.	Celulosa.....	19
2.1.24.	Hemicelulosa.....	20
2.1.25.	Lignina	20
2.1.26.	Propiedades mecánicas de las fibras vegetales	20
2.1.27.	Procesos de Fabricación.....	21
2.1.28.	Estratificación Manual	22
2.1.29.	Moldeo por compresión	23
2.1.30.	Resina Poliéster.....	23

2.2.	HIPÓTESIS.....	25
2.3.	SEÑALAMIENTO DE VARIABLES DE LA HIPÓTESIS.....	25
2.3.1.	Variable Independiente	25
2.3.2.	Variable Dependiente.....	25
CAPÍTULO III		26
3.	METODOLOGÍA	26
3.1.	NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN	26
3.1.1.	Exploratoria.....	26
3.1.2.	Descriptiva	26
3.1.3.	Experimental	26
3.1.4.	Bibliográfica	26
3.2.	POBLACIÓN Y MUESTRA.....	26
3.2.1.	Población.....	26
3.2.2.	Muestra	26
3.3.	OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	28
3.3.1.	Variable Independiente	28
3.3.2.	Variable Dependiente.....	29
3.4.	PLAN DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN	30
3.5.	PLAN PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS	30
CAPÍTULO IV		31
4.	ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE DATOS	31
4.1.	RECOLECCIÓN DE DATOS	31
4.1.1.	Procedimiento	34
4.1.2.	Cálculos de masa de la fibra	36
4.1.3.	Probetas a Tracción.....	36
4.1.4.	Probetas a Flexión.....	37
4.1.5.	Probetas a Impacto.....	38

4.1.6.	Construcción del molde	39
4.1.7.	Determinación de la densidad de la resina poliéster	40
4.1.8.	Determinación de la densidad de fibra de Yucca Elephantipes	41
4.1.9.	Densidad del compuesto	44
4.1.10.	Procedimiento para la elaboración de las probetas	45
4.1.11.	Distribución Propuesta en la plancha del molde	48
4.1.12.	Ensayo a Tracción.....	49
4.1.13.	Ensayo a Flexión.....	52
4.1.14.	Ensayo a Impacto	53
4.1.15.	Grupos de Probetas	54
4.1.16.	Tabulación de Datos del ensayo a tracción ASTM D3039-15.....	55
4.1.17.	Nomenclatura de tipo de falla evaluado a Tracción.....	73
4.1.18.	Tabulación de Datos del ensayo a flexión ASTM D7264-15	73
4.1.19.	Nomenclatura de tipo de falla evaluado Flexión	91
4.1.20.	Tabulación de Datos del ensayo a impacto ASTM D5628-10.....	92
4.1.21.	Nomenclatura de tipo de fallas del ensayo a impacto	105
4.1.22.	Ensayo de Fractografía.....	105
4.2.	ANÁLISIS DE RESULTADOS	107
4.2.1.	Resultados promedio del esfuerzo máximo (MPa) de las probetas ensayadas a tracción ASTM D3039-15 y flexión ASTM D7264-15....	107
4.2.2.	Resultados promedio del módulo de elasticidad (MPa) de las probetas ensayadas a tracción y flexión.	108
4.2.3.	Resultados promedio de la energía de impacto MEF (J) ASTM D5628- 10	110
4.2.4.	Determinación de la mejor fracción volumétrica.....	111
4.2.5.	Comparación de las propiedades mecánicas del material compuesto (resina poliéster reforzado con fibra de hoja de yucca elephantipes) con otros materiales compuestos.	120

4.2.6.	Aplicación Industrial.....	122
4.3.	VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS	124
CAPÍTULO V.....		125
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	125
5.1.	CONCLUSIONES	125
5.2.	RECOMENDACIONES.....	126
6.	BIBLIOGRAFÍA	127

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Yucca Elephantipes.....	5
Figura 2.2. Material compuesto bajo cargas compresivas y tracción [9].	7
Figura 2.3. Componentes de los Materiales Compuestos [9].	9
Figura 2.4. Microfotografía obtenida por microscopía electrónica de barrido [9].	10
Figura 2.5. Refuerzos de alambres, fibras y whiskers [10].	13
Figura 2.6. Orientación de la fibra (a) continua y alineada (b) discontinua y alineada (c) discontinua al azar [10].	14
Figura 2.7. Deformación generada en la matriz alrededor de una fibra sometido a una carga de tensión [10].	15
Figura 2.8. Máquina universal de ensayos electromecánicos Metrotec MTE 50 KN... 16	
Figura 2.9. Configuración de carga a flexión en tres puntos norma (ASTM D7264/D7264M-07) [10].	17
Figura 2.10. Máquina de impacto por caída del dardo.	18
Figura 2.11. Fabricación de un domo de matriz poliéster reforzado con fibra de vidrio mediante estratificación manual.	22
Figura 2.12. Moldeo por compresión de preimpregnado de fibra de carbono [10].	23
Figura 4.1. Ablandamiento de la hoja de Yucca Elephantipes.....	34
Figura 4.2. Colocación de las hojas en un recipiente con agua.	35
Figura 4.3. Lavado de fibras.....	35
Figura 4.4. Secado de Fibra.....	36
Figura 4.5. Dimensionamiento de la probeta según la norma ASTM D3039-15.....	36
Figura 4.6. Dimensionamiento de la probeta según la norma ASTM D7264-15.....	37
Figura 4.7. Dimensionamiento de la probeta según la norma ASTM D5628-10.....	38
Figura 4.8. Base del Molde.....	39
Figura 4.9. Marco del molde.	40
Figura 4.10. Tapa del Molde.	40
Figura 4.11. Determinación de la densidad de la resina poliéster.	41
Figura 4.12. Determinación de la densidad de la fibra de hoja de Yucca Elephantipes.42	
Figura 4.13. Limpieza del molde.....	45
Figura 4.14. Aplicación de cera desmoldante.	45
Figura 4.15. Aplicación del alcohol polivinílico.	46
Figura 4.16. Peso de la fibra requerida.....	46

Figura 4.17. Colocación de la fibra vegetal.....	46
Figura 4.18. Preparación de la resina poliéster.....	47
Figura 4.19. Colocación de la resina en el molde.....	47
Figura 4.20. Distribución propuesta de corte en la plancha del material compuesto....	48
Figura 4.21. Ensayo a Tracción según la norma ASTM D3039-15.	50
Figura 4.22. Ensayo a Flexión según la norma ASTM D7264-15.	52
Figura 4.23. Máquina y equipo de ensayo de impacto.	53
Figura 4.24. Comparación de datos esfuerzo máximo MPa ensayo a tracción y flexión.	108
Figura 4.25. Comparación de datos módulo de elasticidad MPa ensayo a tracción y flexión.....	109
Figura 4.26. Comparación de datos de energía de impacto MEF (J).	110
Figura 4.27. Tabla de distribución t de student con dos colas [19].	115
Figura 4.28. Tabla de distribución t de student con dos colas [19].	119
Figura 4.29. Aplicaciones de materiales compuestos reforzados con fibra natural en la industria automotriz [20].	121
Figura 4.30. Aplicaciones de materiales compuestos reforzados con fibra natural en la industria mobiliaria [21].	121
Figura 4.31. mesa y silla de compuesto poliéster/ fibra de abacá [10].	123
Figura 4.32. Muebles para dispositivos audiovisuales de compuesto poliéster/ fibra natural [23].	123

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Características de los polímeros Termoestables [3].	11
Tabla 2.2. Propiedades que la celulosa aporta a una fibra natural [10].	19
Tabla 2.3. Ventajas y desventajas de la utilización de fibras naturales como refuerzo en la creación de materiales compuestos [10].	20
Tabla 2.4. Comparación entre Fibras Naturales y fibra de vidrio [10].	21
Tabla 2.5. Comparación entre las propiedades de las fibras vegetales y la fibra de vidrio [10].	21
Tabla 2.6. Propiedades mecánicas de la resina Poliéster [11].	24
Tabla 3.1. Muestra de Probetas.	27
Tabla 3.2. Variable Independiente.	28
Tabla 3.3. Variable Dependiente.	29
Tabla 4.1. Determinación de la densidad de la resina poliéster.	41
Tabla 4.2. Determinación de la densidad de la fibra de hoja de yucca elephantipes.	42
Tabla 4.3. Cantidad de masa de fibra requerida según el volumen de moldeo.	43
Tabla 4.4. Cantidad de resina poliéster requerida según el volumen de moldeo.	43
Tabla 4.5. Densidades de los compuestos de acuerdo su fracción volumétrica.	44
Tabla 4.6. Planchas de material compuesto a) Fibra corta b) Fibra Longitudinal.	48
Tabla 4.7 Corte Láser de la plancha del material compuesto.	49
Tabla 4.8. Probetas ya cortadas y pegada las sobremonta.	49
Tabla 4.9. Grupos de probetas ensayadas.	54
Tabla 4.10. Tabulación de datos grupo 1 probetas a tracción.	55
Tabla 4.11. Tabulación de datos grupo 2 probetas a tracción.	58
Tabla 4.12. Tabulación de datos grupo 3 probetas a tracción.	61
Tabla 4.13. Tabulación de datos grupo 4 probetas a tracción.	64
Tabla 4.14. Tabulación de datos grupo 5 probetas a tracción.	67
Tabla 4.15. Tabulación de datos grupo 6 probetas a tracción.	70
Tabla 4.16. Nomenclatura tipo de falla a tracción.	73
Tabla 4.17. Tabulación de datos grupo 1 probetas a flexión.	73
Tabla 4.18. Tabulación de datos grupo 2 probetas a flexión.	76
Tabla 4.19. Tabulación de datos grupo 3 probetas a flexión.	79
Tabla 4.20. Tabulación de datos grupo 4 probetas a flexión.	82
Tabla 4.21. Tabulación de datos grupo 5 probetas a flexión.	85

Tabla 4.22. Tabulación de datos grupo 6 probetas a flexión.	88
Tabla 4.23. Nomenclatura tipo de falla a flexión.	91
Tabla 4.24. Tabulación de datos grupo 1 probetas a impacto.	92
Tabla 4.25. Tabulación de datos grupo 2 probetas a impacto.	94
Tabla 4.26. Tabulación de datos grupo 3 probetas a impacto.	96
Tabla 4.27. Tabulación de datos grupo 4 probetas a impacto.	98
Tabla 4.28. Tabulación de datos grupo 5 probetas a impacto.	100
Tabla 4.29. Tabulación de datos grupo 6 probetas a impacto.	102
Tabla 4.30. Nomenclatura tipo de falla a impacto.	105
Tabla 4.31. Análisis fractográfico de la sección transversal de la muestra.	105
Tabla 4.32. Análisis fractográfico de la fibra.	106
Tabla 4.33. Comparación de datos esfuerzo máximo MPa.	108
Tabla 4.34. Comparación de datos módulo de elasticidad MPa.	109
Tabla 4.35. Comparación de datos de energía de impacto MEF (J).	110
Tabla 4.36. Datos para analizar la hipótesis ensayo a tracción.	112
Tabla 4.37. Prueba de Normalidad Shapiro - Wilk	112
Tabla 4.38. Prueba de Levene.....	113
Tabla 4.39. Datos para analizar la hipótesis ensayo a flexión.	116
Tabla 4.40. Prueba de Normalidad Shapiro - Wilk	117
Tabla 4.41. Prueba de Levene.....	117
Tabla 4.42. Propiedades mecánicas de compuestos de matriz poliéster reforzados con diferentes tipos de fibra natural [2].....	120
Tabla 4.43. Propiedades mecánicas del MDF [22].....	122
Tabla 4.44. Mejores propiedades mecánicas del material compuesto de poliéster y fibra de yucca elephantipes.	122

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

**CARATERIZACIÓN MECÁNICA DEL MATERIAL COMPUESTO DE
MATRIZ POLIÉSTER REFORZADA CON FIBRA DE HOJA DE YUCCA
ELEPHANTIPES PARA LA DETERMINACIÓN DE PROPIEDADES
MECÁNICAS EN APLICACIONES INDUSTRIALES.**

Autor: Christian Andrés Pazmiño Guerrero

Tutor: Ing. Mg. Segundo Espín

RESUMEN

El presente trabajo experimental se trata de la elaboración de un nuevo material compuesto de matriz resina poliéster y refuerzo fibra de hoja de Yucca Elephantipes, para determinar las mejores propiedades mecánicas que esta nos brinda con las configuraciones de fibra longitudinal y fibra corta en las diferentes fracciones volumétricas propuestas.

Se consideró utilizar la hoja de esta planta ya que es ornamental, es rica en fibra y muchas de las veces se la desecha sin darle ningún uso, entonces con el nuevo material compuesto se permite utilizar los desechos que se produce y colaborar con el medio ambiente.

Los ensayos se los realizaron bajo los requerimientos de las normas ASTM D3039-15 para tracción, ASTM D7264-15 para flexión y ASTM D5628-10 para impacto.

El grupo de probetas ensayadas que mejores propiedades mecánicas presentaron fue la de fracción volumétrica de 35% refuerzo y 65% de matriz con configuración de fibra longitudinal.

Las principales aplicaciones de este material se dan en la industria automotriz para la elaboración de partes decorativas de vehículos, para industria mobiliaria etc. Su fácil fabricación y moldeo permiten que estas reemplacen a los materiales tradicionales.

UNIVERSITY TECHNICAL OF AMBATO
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING AND MECHANICS
MECHANICAL ENGINEERING CARRERS

MECHANICAL CHARACTERIZATION OF MATERIAL COMPOSED OF MATRIX POLYESTER REINFORCED WITH YUCCA ELEPHANTIPES FIBER FOR DETERMINATION OF MECHANICAL PROPERTIES IN INDUSTRIAL APPLICATIONS.

Author: Christian Andrés Pazmiño Guerrero

Tutor: Ing. Mg. Segundo Espín

ABSTRACT

The present experimental work deals with the elaboration of a new composite material of polyester resin matrix and fiber reinforcement of Yucca Elephantipes leaf, to determine the best mechanical properties that this gives us with the configurations of longitudinal fiber and short fiber in the different fractions volumetric proposals.

It was considered to use the leaf of this plant because it is ornamental, it is rich in fiber and many times it is discarded without any use, then with the new composite material it is allowed to use the waste produced and collaborate with the environment.

The tests were performed under the requirements of ASTM D3039-15 standards for traction, ASTM D7264-15 for flexure and ASTM D5628-10 for impact.

The group of test pieces tested that showed the best mechanical properties was the volumetric fraction of 35% reinforcement and 65% of matrix with longitudinal fiber configuration.

The main applications of this material are in the automotive industry for the manufacture of decorative parts for vehicles, for the furniture industry, etc. Their easy manufacture and molding allow them to replace traditional materials.

CAPÍTULO I

1. ANTECEDENTES

1.1. TEMA DEL TRABAJO EXPERIMENTAL

CARATERIZACIÓN MECÁNICA DEL MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ POLIÉSTER REFORZADA CON FIBRA DE HOJA DE YUCCA ELEPHANTIPES PARA LA DETERMINACIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS EN APLICACIONES INDUSTRIALES.

1.2. ANTECEDENTES

Segundo Santiago Pacha Guashco, en su investigación para la obtención del Título de Ingeniero Mecánico, en la Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica bajo el tema “CARACTERIZACIÓN MECÁNICA Y NUMÉRICA DEL MATERIAL HÍBRIDO DE MATRIZ EPOXI REFORZADA CON TEJIDO PLANO DE FIBRA VEGETAL (ALGODÓN) Y FIBRA NATURAL (FIBRA DE CABUYA)” concluyó que:

Con la variación de las fracciones volumétricas de la matriz como también las fracciones volumétricas de los refuerzos y las orientaciones, existen variaciones en los resultados de las propiedades mecánicas [1].

Napoleón Andrés Tamayo Duque en su investigación para la obtención del Título de Ingeniero Mecánico, en la Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Mecánica bajo el Tema “OBTENCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS DE MATRIZ POLIÉSTER REFORZADOS CON FIBRA DE CABUYA MEDIANTE ESTRATIFICACIÓN” concluyó que:

Para la realización del material compuesto se utilizó una presión de moldeo de 1000 psi con el que se evitó la presencia de burbujas dentro del material. El tiempo de solidificación se encuentra entre 1 y 2 horas dependiendo del espesor del compuesto, cantidad de iniciador con un 0.5% de octoato de cobalto y acelerante con un 1% de MEKP dentro de la mezcla [2].

Gabriel Eduardo Mazón Ortiz en su investigación para la obtención del Título de Ingeniero Mecánico, en la universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica bajo el tema “CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DEL MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ POLIÉSTER CON FIBRA DE COCO PARA LA DETERMINACIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS EN APLICACIONES INDUSTRIALES” concluyó que:

La combinación de fibra corta al 30% en fracción volumétrica, orientación al azar y estratificación manual, se obtienen las mejores propiedades mecánicas en flexión, tracción e impacto, además de presentar las mejores fracturas, acabados y uniformidad en el material [3].

Alex David Jácome León en su investigación para la obtención del Título de Ingeniero Mecánico, en la universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica bajo el tema “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” concluyó que:

Mediante la observación en el microscopio de barrido se determinó la adherencia generada entre la matriz y el refuerzo, obteniendo como resultado que existen en varias partes acumulación de resina y fibra pese a esto si existe una buena adherencia en el compuesto (resina epoxi + Fibra de piña) [4].

1.3. JUSTIFICACIÓN

La creación de nuevos materiales compuestos reforzados con fibras vegetales se ha incrementado de manera exponencial debido a las propiedades mecánicas que estas presentan, reemplazan a otros elementos por el motivo de que éstas mejoran sus características tales como durabilidad peso y resistencia

Además, existen ciertas fibras vegetales que son el resultado de residuos de otros procesos e incrementan ciertos niveles de contaminación, este tipo de fibras pueden ser utilizadas como refuerzo en la fabricación de nuevos compuestos evitando el desperdicio de estas fibras y colaborando con el medio ambiente [5].

El crecimiento del sector automovilístico y carroceros es cada vez más grande por lo que requiere la aplicación de nuevos materiales de menor costo, mayor resistencia y teniendo en cuenta la disminución de contaminación ya que este factor hoy en día es de carácter obligatorio para toda industria.

Con el desarrollo del proyecto se pretende crear un material compuesto nuevo que cubra con las necesidades industriales aportando algo de innovación al utilizar la fibra de yucca elephantipes como elemento de refuerzo [6].

Para el estudio del nuevo material compuesto se va utilizar la fibra de hoja de yucca elephantipes que es una planta ornamental que no requiere de mucho cuidado para su crecimiento y se la puede encontrar silvestremente en la ciudad de Ambato.

Las hojas de esta planta son ricas en fibra y tradicionalmente se las usa para la elaboración de cuerdas y canastas [7].

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo General

Determinar las propiedades mecánicas del material compuesto de matriz poliéster reforzado con fibra de hoja de yucca elephantipes.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Determinar la fracción volumétrica del material compuesto de matriz poliéster reforzado con fibra de hoja de yucca elephantipes.
- Determinar las propiedades mecánicas mediante ensayos a impacto, flexión y tracción del material compuesto de matriz poliéster reforzado con fibra de hoja de yucca elephantipes.
- Determinar el material compuesto que presente la mejor combinación de propiedades mecánicas y su posible aplicación industrial.

CAPÍTULO II

2. FUNDAMENTACIÓN

2.1. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1.1. Yucca Elephantipes

La yuca pie de elefante o yuca de interior es una planta arborescente de la familia de las agaváceas, nativa de México y Guatemala.

Es importante distinguir esta “Yuca” de la “mandioca” (también conocida como yuca en América Central y Latina)

2.1.2. Usos de la Yucca Elephantipes

Generalmente la Yucca es utilizada como planta ornamental tanto para interiores como para exteriores también se la utiliza para otros Fines.

Alimentación: las flores de las yucas se las puede comer ya sea crudas o cocinadas. En el caso específico de Centroamérica, la yuca es consumida con huevo sobre una tortilla.

Detergente: todas las especies de Yucca contienen Tubérculos muy ricos en saponina algunas plantas con saponinas han sido utilizadas generalmente para realizar jabón.

Usos de la Yucca en América Latina: se puede mencionar la elaboración de cuerdas y canastas, esto se lo realiza apoyándose de las hojas pues estas son muy ricas en fibras a partir de estas, se obtiene el material para la elaboración de cuerdas, en la figura 2.1 se observa la planta de yuca elephantipes [7].



Figura 2.1. Yucca Elephantipes.

Fuente: El Autor

2.1.3. Materiales Compuestos

La competencia de tecnología entre naciones es crear un mejor estándar de vida para el beneficio de la humanidad. Por lo tanto, la humanidad está buscando productos de nuevo diseño, material y tecnología. Los materiales juegan un papel importante en el avance de la vida humana.

Los materiales compuestos han sustituido muchos materiales convencionales, tales como metales, cerámicas, maderas y polímeros debido a las ventajas que ofrecen como fuerza y rigidez. Hoy en día el uso de materiales compuestos se ha vuelto muy común y estos se encuentran en nuestros muebles, transporte, la educación, el deporte, el ocio el sistema de construcción e infraestructura.

Los materiales compuestos son en realidad materiales sólidos que están compuestos de una matriz que rodea y une los refuerzos fibrosos, estos son materiales del hoy porque se están aplicando ahora en varias industrias que van desde los juguetes de niños al cuerpo de un avión. Sin embargo, pueden ser considerados como materiales del mañana debido a sus potenciales que pueden ofrecer en el futuro.

La matriz más comúnmente utilizada es el polímero o los plásticos, y en menor medida la cerámica y metálica [8].

2.1.4. Componentes de los Materiales Compuestos

Para entender qué son los materiales compuestos y porqué los necesitamos, debemos estudiar qué características presentan y cómo se relacionan la matriz y el refuerzo.

2.1.5. La Matriz

Es la fase continua en la que el refuerzo queda “embebido”. Tantos materiales metálicos, cerámicos o resinas orgánicas pueden cumplir con este papel a excepción de los cerámicos, el material que se elige como matriz no es en general tan rígido, ni tan resistente como el material de refuerzo.

2.1.6. Funciones Principales de la Matriz

- Definir propiedades físicas y químicas
- Transmitir las cargas al refuerzo
- Protegerlo y brindar cohesión

También permitirá determinar algunas características del material compuesto como el acabado superficial y la conformidad.

Al someter el material compuesto a diferentes tipos de cargas mecánicas la matriz juega diferentes roles:

1. Bajo cargas compresivas: es la matriz que soporta el esfuerzo, ya que se trata de la fase continua.
2. En tracción: la matriz transfiere la carga aplicada sobre la pieza a cada una de las fibras o partículas, de manera que éstas sean las que soporten el esfuerzo. Para esto es necesaria una excelente adhesión en la matriz y el refuerzo.

Muchas veces es la matriz la encargada de detener la propagación de fisuras y la que determina la resistencia al impacto. En la figura 2.2 se observa las cargas de compresión y tracción del material compuesto.



Figura 2.2. Material compuesto bajo cargas compresivas y tracción [9].

2.1.7. Propiedades de las matrices

- Soporta las fibras manteniéndolas en su posición correcta.
- Transfiere la carga a las fibras fuertes.
- Protege de sufrir daños durante su manufactura y uso.
- Evita la propagación de grietas en las fibras a todo lo largo del compuesto.
- La matriz generalmente es responsable del control principal de las propiedades eléctricas, el comportamiento químico y el uso a altas temperaturas del compuesto.

Las matrices poliméricas son las más utilizadas. Los compuestos de matriz metálica incluyen aluminio, magnesio, cobre, níquel y aleaciones de compuestos intermetálicos reforzados con fibras cerámicas y metálicas.

La matriz metálica permite que el compuesto funcione a altas temperaturas, pero la producción de una pieza de este tipo de materiales compuestos es más costosa que el de una pieza de matriz polimérica.

Los compuestos de matriz cerámica tienen buenas propiedades a temperaturas elevadas algunas hasta miles de grados centígrados y son más livianos que los de matriz metálica a igual temperatura.

2.1.8. Material de Refuerzo

Fase discontinua o dispersa que se agrega a la matriz para conferir al compuesto alguna propiedad que la matriz no posee. Generalmente el refuerzo se utiliza para incrementar la resistencia y rigidez mecánica además se emplean refuerzos para mejorar el comportamiento a elevadas temperaturas o la resistencia a la abrasión.

El refuerzo puede ser en forma de partículas o de fibras, como regla general es más efectivo cuanto menor tamaño tiene las partículas y más homogéneamente están distribuidas en la matriz o cuando se incrementa la relación diámetro/longitud de la fibra.

En la mayoría los compuestos reforzados con fibras son resistentes rígidas y de menor peso. Si el compuesto va a ser utilizado a altas temperaturas, también la fibra deberá tener una temperatura de fusión alta. Por lo que la resistencia específica y el módulo específico de la fibra son características importantes.

Las fibras más utilizadas son las de vidrio, aramida y carbono, estos tres materiales poseen una resistencia a la elevada tracción. Sin embargo, esto no parece muy evidente cuando los pensamos como sólidos macizos. En la figura 2.3 se observa los componentes de los materiales compuestos.

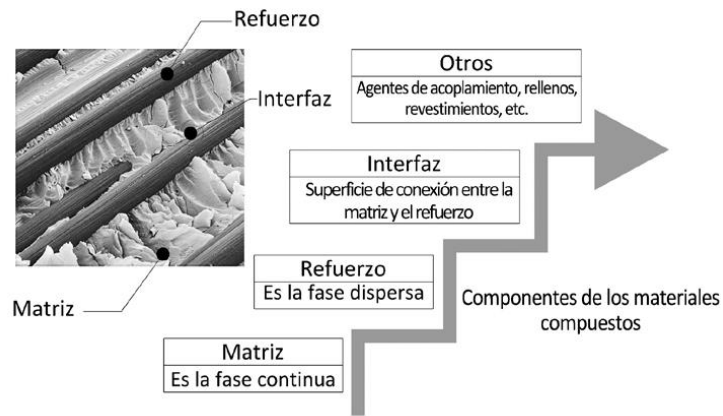


Figura 2.3. Componentes de los Materiales Compuestos [9].

2.1.9. Fibras Naturales

En la actualidad se utilizan cada vez más materiales reforzados con fibras que sean más económicas y de menor impacto medioambiental. Para ello se están reforzando muchos polímeros con fibras de origen natural tales como el lino o la fibra de coco; utilizándose más en la industria automovilística según una directriz de la UE para el 2015 el 95% de la masa de un vehículo debe ser reutilizable.

Se está dedicando mucho esfuerzo de investigación en la fabricación de materiales compuestos completamente verdes o ecológicos.

2.1.10. La interfaz

Las propiedades de los materiales compuestos dependerán de cómo sea la interfase (región de contacto) entre estas dos componentes.

Si la interfase es débil, la transferencia de carga de la matriz a la fibra no será eficiente o bien será la matriz la que termine soportando las cargas y llegando a fallar, debido a que no es muy resistente, o se producirán huecos entre la matriz y las fibras, lo cual llevará a la rotura de la pieza.

Lograr una buena adhesión entre la matriz y la fibra no es tarea fácil, ya que en general se trata de materiales de familias diferentes (cerámico-polímero-vidrio-metal) y la buena adhesión depende del contacto íntimo de los átomos en la superficie de uno y otro componente. Es por eso que existe toda un área de desarrollo de aditivos con los cuales recubrir a las fibras para que éstas resulten más compatibles con la matriz y aumenten la adhesión entre los componentes del material compuesto. En la figura 2.4 se observa la superficie de fractura de una aleación plata cobre, reforzada con fibras de carbono. Una

mala unión hace que gran parte de la superficie de la fractura siga la interfase entre la matriz de metal y las fibras de grafito (x3000).



Figura 2.4. Microfotografía obtenida por microscopía electrónica de barrido [9].

2.1.11. Clasificación de los materiales compuestos

Compuestos de matriz polimérica: son los más comunes. Se los conoce como polímeros o plásticos reforzados con fibras. La matriz es un polímero y una variedad de fibras, tales como las de carbono, de vidrio o las aramídicas se utilizan como refuerzo.

Compuestos de matriz metálica: se utilizan cada vez más en la industria automotriz, estos materiales están formados por metales livianos como el aluminio como matriz y fibras de refuerzo como las de carburo de silicio.

Compuestos de matriz cerámica: se utilizan en aplicaciones de alta temperatura. Estos materiales están formados por una matriz cerámica y un refuerzo de fibras cortas o whiskers de carburo de silicio o nitruro de boro [9].

Matriz Termoplástica: tienen la característica que una vez polimerizados pueden derretirse o ablandarse con el calor para cambiar su forma, procesos que son reversibles y pueden realizarse en algunas ocasiones sin ver afectadas sus propiedades de manera crítica, los cuales son prácticos para la reutilización.

Existen algunos ejemplos de matrices termoplásticas como es el polipropileno (PP), polietileno (PE), polietileno-Tereftalato (PET) y el policloruro de vinilo (PVC). Se obtienen polímeros termoplásticos de origen natural, como es el caso del polihidroxibutirato (PHB) o el ácido Poliáctico (PLA), los cuales proporcionan

propiedades similares al PE, PVC, PP y demás polímeros termoplásticos derivados del petróleo.

Matriz elastomérica: son polímeros con capacidad de deformarse a una escala notable de hasta 5 0 6 veces su longitud inicial, por acción de esfuerzos, recuperando su forma inicial tan pronto se deje de aplicar los esfuerzos, sus módulos de elasticidad son bajos.

En ensayos a tracción, la relación entre la longitud final de una probeta y la inicial puede llegar a ser del orden de 300 a 800%, sin que haya rotura y aparición de deformaciones permanentes una vez terminado el ensayo. El caucho natural pertenece a este tipo de matriz.

Matriz Termoestable: tiene una estructura de tipo reticular a base de uniones covalentes, con entrelazamiento transversal de cadenas generadas por el calor o por combinación de calor y presión durante la reacción de polimerización. Se obtienen dos resinas líquidas, la primera contiene plastificantes, endurecedores y agentes de curado; la segunda contiene reforzantes orgánicos o inorgánicos. Al unirse estos componentes, se inicia la reacción de entrecruzado ya sea por presión o calor. Por este motivo las matrices termoestables no pueden ser refundidas ni recalentadas como los termoplásticos. Esto representa una desventaja debido a que los fragmentos producidos durante el proceso no se pueden reciclar no volverlos a usar.

Los ejemplos de este tipo de material son el viniléster, las resinas epóxicas, el poliéster no saturado, el fenol formaldehído y las poliamidas. La resina poliéster es fácil de conseguir a bajos costos. Al agregar catalizador a la resina líquida esta se endurece o cura. El material fraguado es duro, frágil y resistente a temperaturas hasta 75 °C. Esta matriz reforzada con fibra de vidrio es muy común en la fabricación de embarcaciones aplicaciones estructurales y automóviles. En la tabla 2.1 se muestra las características de los polímeros termoestables.

Tabla 2.1. Características de los polímeros Termoestables [3].

Polímeros Termoestables	Características	Aplicaciones
Poliésteres	Excelentes propiedades eléctricas, bajos costos, utilización a temperatura ambiente o temperaturas de hasta 75 °C, se puede reforzar con fibras.	Barcos pequeños, cascos, paneles de automóvil, ventiladores, sillas.

Epoxis	Excelentes combinaciones de propiedades mecánicas y resistencia a la corrosión, buena adherencia, estables y buenas propiedades eléctricas.	Adhesivos, enchufes, recubrimientos, láminas reforzadas con fibra de vidrio.
Siliconas	Excelentes propiedades eléctricas, económico, se las utiliza a temperatura ambiente o altas, se refuerza con fibras.	Láminas y cintas aislantes a elevadas temperaturas.
Fenólicas	Excelente estabilidad térmicas hasta los 150 °C, susceptible de formar materiales compuestos con varias resinas, económica.	Distribuidores de automóvil, carcasas de motores, accesorios eléctricos, teléfonos.

2.1.12. Propiedades mecánicas de los materiales compuestos

Las estructuras ingenieriles están sometidas a cargas mecánicas y térmicas, por lo que sobre las mismas se inducen deformaciones y esfuerzos. La mecánica de materiales es la ciencia que se encarga del estudio de estos fenómenos y en muchos casos se asume que los materiales son isotrópicos y homogéneos, es decir sus propiedades no varían con el cambio de la dirección de la aplicación de las cargas.

Sin embargo, cuando los materiales tienen algún tipo de refuerzo el comportamiento es distinto. Por esta razón, el punto de inicio es entender el comportamiento de los materiales que constituyen al compuesto su distribución sus proporciones entre otros. De esta manera es posible definir las propiedades de un material compuesto para poder asignarle aplicaciones adecuadas.

2.1.13. Fibras

Desde el punto de vista Tecnológico, los materiales compuestos más importantes son en los que la fase dispersa está formada por fibras. La mayoría de estos materiales alcanza una mejor resistencia a la rigidez, fatiga y relación peso-resistencia al insertar fibras rígidas y resistentes en una matriz más dúctil y blanda.

El material de la matriz transmite la carga a las fibras, las cuales soportan la mayor parte de la fuerza aplicada, de acuerdo al diámetro y a sus características, las fibras pueden ser agrupadas en tres grupos: whiskers, fibras y alambres. Los whiskers son monocristales muy delgados que tienen una relación longitud/diámetro muy grande. Como consecuencia de su pequeño tamaño tienen un alto grado de perfección cristalina y son virtualmente libre de defectos, lo cual explica sus resistencias altas, pero su costo es elevado.

Las fibras son materiales amorfos o policristalinos, tienen diámetros pequeños y poseen gran longitud. Los materiales de las fibras son generalmente polímeros o cerámicos. También se tiene la utilización de fibras naturales como abacá, cabuya y coco incorporados como elementos de refuerzos en una matriz poliméricas.

Los alambres tienen diámetros grandes. Típicamente estos materiales incluyen al acero, molibdeno y tungsteno. Este tipo de alambres son utilizados especialmente como refuerzos radiales en llantas de automóviles. Es así que las propiedades de los materiales compuestos reforzados con fibras dependen de la longitud, diámetro, orientación, cantidad y propiedades mecánicas de las fibras. En la figura 2.5 se observa los diferentes tipos de refuerzos.

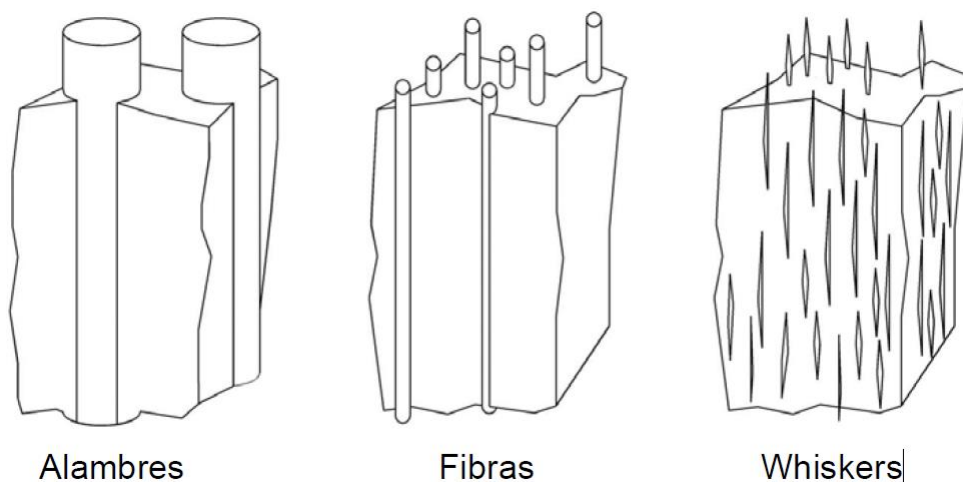


Figura 2.5. Refuerzos de alambres, fibras y whiskers [10].

2.1.14. Propiedades mecánicas de los materiales compuestos reforzados con fibras

Los compuestos reforzados con fibras manifiestan anisotropía. Esto es, algunas propiedades cambian dependiendo del eje geométrico o plano a lo largo del cual fueron

determinadas. Para que un compuesto sea isotrópico en cuanto a una propiedad en específico, por ejemplo, el módulo de Young, todos los elementos de refuerzo, sean partículas o fibras debe estar orientados en forma aleatoria. Esto no es fácil de lograr para fibras discontinuas, pues la mayoría de métodos de fabricación tienden impartir una cierta orientación de fibras. Las fibras continuas en forma de hojas o láminas se utilizan para hacer del material compuesto anisotrópico en una dirección en particular que se conoce está a lo largo del eje o plano principal de carga. De esta manera hay la posibilidad de orientar las fibras en la dirección en que se aplicará la mayor carga, lo incrementa la eficiencia del refuerzo.

2.1.15. Influencia de la orientación y cantidad de fibra

La orientación de las fibras su distribución y cantidad tienen una influencia significativa en la resistencia mecánica y en otras propiedades de los materiales. En lo que respecta a la alineación de la fibra existen dos posibilidades 1.- alineación en la dirección paralela al eje longitudinal de las fibras (fibras continuas y discontinuas) y 2.- alineación totalmente al azar. En la figura 2.6 se observa los diferentes tipos de orientación de fibra.

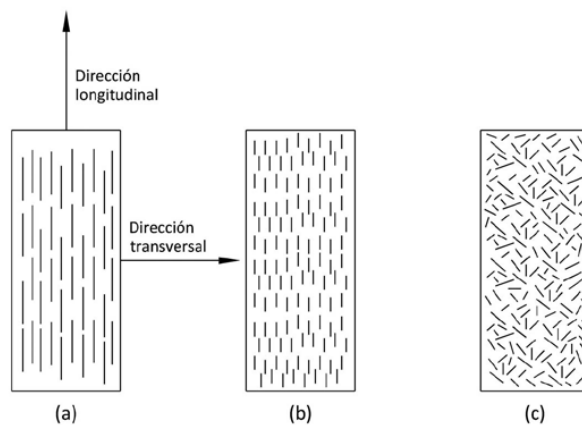


Figura 2.6. Orientación de la fibra (a) continua y alineada (b) discontinua y alineada (c) discontinua al azar [10].

La orientación de la fibra es importante para las propiedades finales del material compuesto. Cuando se trabaja con fibra continua y alineada, las propiedades mecánicas dependerán del ángulo formado entre la dirección de aplicación de la carga y la dirección de la fibra.

2.1.16. Influencia de la longitud de la fibra en compuestos reforzados con fibras discontinuas alineadas

Las características del material compuesto no solo dependen de las propiedades de la fibra, sino del grado en el cual la carga aplicada puede ser transmitida de la matriz a las fibras. Para ello es importante asegurar la unión entre la fibra y la matriz, debido a que la carga es transferida por un mecanismo de corte. La deformación de la matriz es mayor que de las fibras adyacentes. Si existe una perfecta unión entre fibra y matriz, la diferencia en la deformación crea un esfuerzo de corte en la sección transversal. En la figura 2.7 se ilustra la deformación cortante generada debido a la transferencia de la carga.

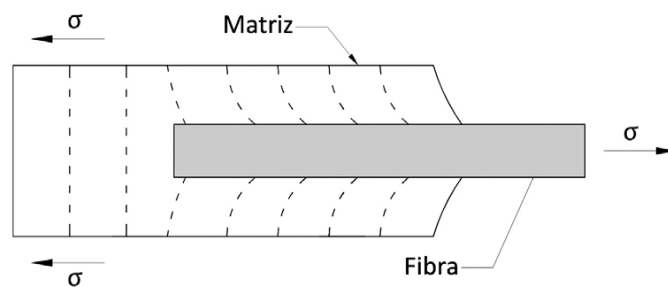


Figura 2.7. Deformación generada en la matriz alrededor de una fibra sometido a una carga de tensión [10].

2.1.17. Modos de formación de microfallas bajo Tracción

Se asumió que las fibras tienen igual resistencia y que el compuesto falla en el momento que una de las fibras falla. Realmente esto no ocurre así. El valor de resistencia no es único, muchas de las fibras fallan por debajo del valor esperado, por lo que las fibras restantes soportan un mayor nivel de esfuerzo. Cuando una fibra se rompe, el valor de esfuerzo se distribuye a los pedazos restantes de la fibra, lo cual puede ocurrir:

- Una concentración de esfuerzos creada por el espacio dejado.
- Alta concentración de esfuerzo cortante en la matriz cercana a la fibra.
- Incremento en el esfuerzo normal de todas las fibras adyacentes.

De esta manera se pueden presentar las siguientes fallas.

- Desunión parcial o total de la fibra rota de la matriz.
- Inicio de una micro grieta en la matriz.
- Deformación plástica de la matriz.
- Falla de las otras fibras.

2.1.18. Ensayo de Tracción

Este es uno de los ensayos mecánicos realizado más comúnmente. El material que se va a ensayar se deforma hasta la rotura de la probeta, mediante la aplicación de una fuerza uniaxial a lo largo del eje principal, es esta va aumentando de manera gradual.

En los que respecta a materiales compuestos reforzados con fibras, este ensayo se lleva a cabo bajo la norma D3039-15 y se lo realiza con la utilización de una máquina universal de ensayos. Como implemento para la realización del ensayo debe utilizarse un elemento mecánico que garantice que la sujeción de la probeta sea adecuada, de tal forma que el deslizamiento sea mínimo para esto se puede usar mordazas cuneiformes. En la figura 2.8 se indica la máquina universal de ensayos electromecánicos Metrotec MTE 50 KN.



Figura 2.8. Máquina universal de ensayos electromecánicos Metrotec MTE 50 KN.

Fuente: El Autor

2.1.19. Ensayo de Flexión

Este ensayo es realizado bajo la norma D7264-15. En este método se determina la rigidez a la flexión y propiedades de resistencia de un compuesto de matriz polimérica. El procedimiento aplicado corresponde a un sistema de carga central en una viga con apoyos simples el equipo utilizado para la realización de este ensayo se muestra en la Figura 2.9. Las propiedades a flexión pueden variar dependiendo de la superficie de la probeta pues ningún laminado es perfectamente simétrico. Estas diferencias desviarán el eje neutral y los resultados se verán afectados incluso por la mínima asimetría que se encuentre presente en el laminado. Las propiedades a flexión también pueden cambiar de acuerdo al espesor de la probeta, ambientes condicionantes o de ensayo en el que se realizan 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.

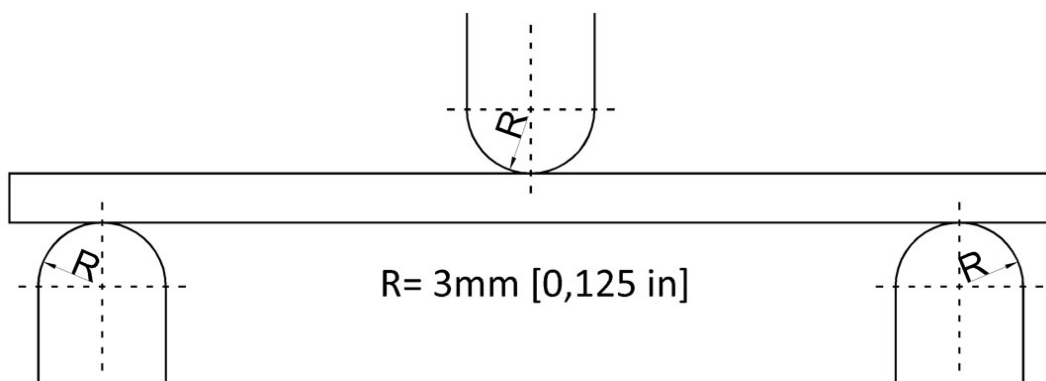


Figura 2.9. Configuración de carga a flexión en tres puntos norma (ASTM D7264/D7264M-07) [10].

Para realizar este ensayo, se requieren por lo menos 5 probetas por cada condición de ensayo, a menos que se puedan obtener resultados válidos mediante el ensayo de menos probetas, como en el caso de un diseño experimental. Las dimensiones de las probetas que se requieren para los ensayos se mencionan en la norma ASTM, y de la misma manera, las respectivas ecuaciones que permiten calcular valores para las propiedades a flexión analizadas.

Al igual que en los ensayos de impacto y tracción, las probetas deben respetar características solicitadas de aspecto superficial, como es la ausencia de defectos o fisuras que influyan erradamente en los resultados del ensayo. De la misma forma que en el ensayo de tracción, las marcas ocasionadas por operaciones de corte deben ser

cuidadosamente retiradas con un abrasivo o una lima fina. Así se alcanza una preselección y preparación de probetas que serán aptas para que se ejecute el ensayo.

2.1.20. Ensayo de Impacto mediante caída de dardo

Este ensayo se lo realiza bajo las especificaciones de la norma ASTM D5628-10. La máquina de ensayos utilizada para esta prueba fue construida según las especificaciones y requerimientos de la norma ASTM. Es necesario recalcar que el área de impacto del dardo esté libre de fallas, de tal forma que los resultados obtenidos no se vean afectados.

Con este método normalizado se determina la energía de falla del material, en el cuál se presentan fisuras al dejar caer un dardo sobre la probeta. Se coloca la probeta en la máquina y se deja caer el dardo. De la misma manera se debe tener en cuenta que el dardo no debe golpear dos veces a la probeta, es decir este no debe rebotar. Se retira la probeta y se examina si este ha sufrido daño.

Se considera como falla al aparecimiento de una fisura en la probeta. Esta debe ser detectada a simple vista, bajo condiciones de luz normal. La energía de impacto será aquella necesaria para producir fallas en al menos 50% de las probetas. Este mismo criterio se tomará para definir a la altura y el peso del impactador. También se debe notar que la falla generalmente ocurre en el lado opuesto al golpe de impacto, por esto es imprescindible que después de cada impacto se revise esta superficie. En la figura 2.10 se indica la máquina de impacto por caída del dardo.



Figura 2.10. Máquina de impacto por caída del dardo.

Fuente: El Autor

2.1.21. Clasificación de las fibras Vegetales

Las fibras vegetales son filamentos lignocelulósicos compuestos de células largas y delgadas de esclerenquima, que se encuentra formando parte de las plantas y que cumplen funciones específicas dentro de ellas, como dar rigidez, dureza y soporte a los tejidos vegetales. Según en la parte en que se localizan estas fibras poseen distintas características y propiedades se clasifica en tres grupos: fibras blandas, duras y de superficie.

2.1.22. Composición química de las fibras vegetales

Están constituidas fundamentalmente por celulosa, hemicelulosa y lignina motivo por el cual son llamadas lignocelulósicas. La composición química de las fibras varía según las diferentes especies. La edad de la planta y condiciones climáticas.

Se ha encontrado que la relación entre la celulosa, hemicelulosa y lignina es aproximadamente 4:3:3. El contenido de estos componentes puede inferir en el comportamiento que éstas van a presentar al someterlas a diferentes aplicaciones industriales.

2.1.23. Celulosa

Es el compuesto orgánico más abundante del planeta, pues constituye la base estructural de las células vegetales. Siendo el componente de su pared celular.

Las cadenas de celulosa son sintetizadas en el exterior celular por la enzima celulosa sintasa, la cual cumple la función de formar microfibrillas, filamentos delgados y largos de celulosa con una orientación determinada y que proveen a los tejidos vegetales de resistencia a tensiones mecánicas. En la tabla 2.2 se muestra las ventajas y desventajas de las fibras con alto contenido de celulosa.

Tabla 2.2. Propiedades que la celulosa aporta a una fibra natural [10].

Fibra con alto contenido de Celulosa	
Ventajas	Desventajas
Buen conductor de electricidad	Resistencia moderada a la luz solar
Bajo volumen	Alta Flamabilidad
Capacidad de soportar altas temperaturas	Susceptible a daños por ácidos minerales y orgánicos
Gran capacidad de absorber humedad	Baja resiliencia

2.1.24. Hemicelulosa

Son polisacáridos fundamentales en la composición de las paredes celulares de las plantas. A pesar de ser similares a la celulosa estas son de menos masa molecular, exhiben mayor solubilidad en agua y presentan mayor facilidad para su extracción y descomposición.

2.1.25. Lignina

La principal función consiste en proporcionar soporte estructural a las plantas, ya que actúa como constituyente intercelular incrustante de las células fibrosas, además confiere al tallo resistencia a impactos, flexiones y compresiones. También aporta rigidez a la pared celular y brinda protección tanto al ataque de sustancias químicas como a la acción de microorganismos impidiendo la penetración de enzimas destructivas.

2.1.26. Propiedades mecánicas de las fibras vegetales

Las fibras presentan características inherentes a su naturaleza, las mismas que determina su utilidad al momento de emplearlas como refuerzo en matrices poliméricas. Dichas características se encuentran relacionadas con las propiedades mecánicas que pueden aportar a la matriz, específicamente resistencia a esfuerzo de flexión, tracción e impacto, como se muestra en la tabla 2.3.

Tabla 2.3. Ventajas y desventajas de la utilización de fibras naturales como refuerzo en la creación de materiales compuestos [10].

Ventajas	Desventajas
Sostenibilidad	Baja resistencia al agua
Generan un bajo consumo de CO ₂	Alta absorción de agua
Son Biodegradables	Baja estabilidad dimensional
Requieren un bajo consumo de energías	Pobre Interfaz
No quedan residuos tóxicos al quemarlas	Dureza
Su densidad es Baja	Dificultad en su procesamiento
Poseen buenas propiedades mecánicas	Calidad heterogénea
No son tóxicas ni abrasivas	Demanda y ciclos de suministro variables
Su costo es bajo	Presentan alta Flamabilidad

A pesar de que hoy en día las fibras artificiales son muy utilizadas en la industria por sus buenas propiedades y la facilidad que presenta su manufactura, éstas han empezado a ser reemplazadas por fibras vegetales ya que éstas últimas presentan múltiples ventajas sobre

las fibras sintéticas tradicionales. En la tabla 2.4 se indica la comparación entre Fibras Naturales y fibra de vidrio.

Tabla 2.4. Comparación entre Fibras Naturales y fibra de vidrio [10].

Cualidades	Fibras Naturales (FN)	Fibra de Vidrio
Densidad	Baja	Doble que las FN
Costo	Bajo	Bajo, mayor a las FN
Renovable	Si	No
Reciclable	Si	No
Consumo de Energía	Bajo	Alto
Abrasión a máquinas	No	Si
Riesgo a la inhalación	No	Si
Eliminación	Biodegradable	No Biodegradable

En la tabla 2.5 se puede observar que las fibras naturales son en todos los aspectos superiores a las sintéticas lo que demuestra en la actual tendencia del mercado a preferirlas e incluirlas en nuevas aplicaciones.

Tabla 2.5. Comparación entre las propiedades de las fibras vegetales y la fibra de vidrio [10].

Fibras	Densidad (g/cm ³)	Resistencia a la tracción (MPa)	Módulo de Elasticidad (GPa)	Elongación Fractura (%)	Absorción de Humedad (%)
Vidrio-S	2,5	2000-3500	70	2,5	-
Vidrio-E	2,5	4570	86	2,8	-
Aramida	1,4	3000-3150	63-67	3,3-3,7	-
Yute	1,3	393-773	26,5	1,5-1,8	12
Coco	1,2	175-220	4-6	15-30	10
Algodón	1,5	393-773	26,5	7-8	8-25

Aunque las propiedades de las fibras artificiales son superiores comparado con las fibras naturales, cabe destacar que estas últimas son aproximadamente un 50% más livianas que las de vidrio, lo que se traduce en el aumento de eficiencia de matrices que requieren ser livianas y resistentes como en el caso de la industria automotriz y aeronáutica.

2.1.27. Procesos de Fabricación

La selección para la manufactura de materiales compuestos es de gran importancia porque permite satisfacer los requerimientos de un producto para una aplicación determinada. Es

necesario elegir el método de procesamiento más adecuado para obtener el mejor resultado al menor costo.

Esta selección depende de parámetros como el tipo de matriz el tipo y la geometría del refuerzo, aplicaciones del producto terminado entre otros.

También es necesario conocer las condiciones del proceso, así como las ventajas y limitaciones de cada técnica de procedimiento.

2.1.28. Estratificación Manual

También llamada lay-up es la técnica más simple y antigua para la obtención de materiales compuestos de matriz termoestable. Las resinas termoestables permiten un fácil procesamiento y una buena impregnación en forma de fibra, dado que esta se encuentra en estado líquido a temperatura ambiente. Las matrices más comunes son: epóxicas, fenólicas y poliésteres.

Como iniciador se utiliza generalmente octoato de cobalto y como catalizador peróxido de metil cetona MEKP. En la figura 2.11 se muestra la fabricación de un domo de matriz poliéster reforzado con fibra de vidrio.



Figura 2.11. Fabricación de un domo de matriz poliéster reforzado con fibra de vidrio mediante estratificación manual.

Las ventajas de la estratificación manual son la simple operación, que permite elaborar piezas de diversos tamaños, con alto contenido de refuerzo, y la baja inversión, debido a que no requiere aplicación de calor y los reactivos son baratos.

Las limitaciones de este método son la alta intensidad de mano de obra, la dificultad de controlar el espesor de la pieza y el buen acabado solo en una de sus caras. Otro

inconveniente es la toxicidad de las emisiones de solventes emanadas al ambiente, especialmente cuando se trabaja con resina poliéster.

2.1.29. Moldeo por compresión

Este método se deriva del estampado de placas metálicas, del cual se tiene un gran conocimiento ya que ha sido usado ampliamente y perfeccionado a través de los años.

Los molde usados en esta técnica son del tipo macho y hembra que tiene un diseño simple de tal forma que la presión requerida en el proceso de moldeo se puede aplicar fácilmente, como se indica en la figura 2.12, esta técnica es utilizada tanto en materiales termoestables como termoplásticos.

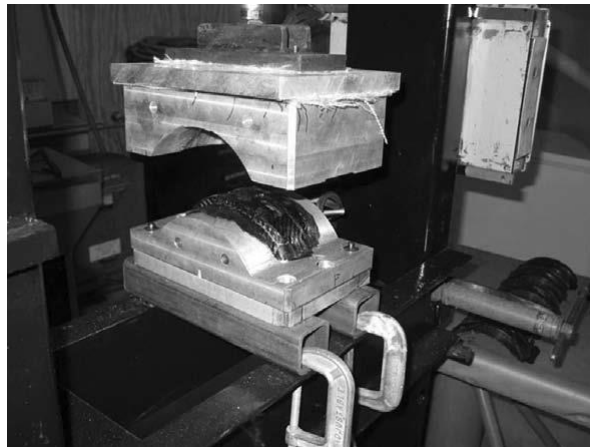


Figura 2.12. Moldeo por compresión de preimpregnado de fibra de carbono [10].

2.1.30. Resina Poliéster

Este tipo de resina es usada con frecuencia por su bajo costo, tiene un contenido de monómero estireno entre 30 y 50% en peso. Como iniciador se utiliza generalmente octoato de cobalto y como catalizador peróxido de metiletil cetona MEKP por sus siglas en inglés.

Esta resina es un plástico termoestable, quiere decir que adquiere su forma final mediante una reacción química y no hay la posibilidad de llevarlo a su estado inicial además no es reciclable.

La resina poliéster insaturada, se lo consigue como un líquido espeso de color rosa, amarillo, azul o café, turbio o transparente, donde sus colores dependen de las características, grado de preparación y uso recomendado.

Se conoce pocos tipos de resina poliéster, pero existe gran variedad de ellas diseñadas para facilitar el trabajo y para lograr que los productos fabricados tengan la máxima calidad y duración.

Poliéster Ortoftálico: resina de uso general conocida y empleada para fabricar artículos sometidos a un bajo ataque químico o ambiental. Tienen buena resistencia mecánica y cuando se requiere mayor resistencia química se usan en combinación con otras resinas poliéster más resistentes. Algunas aplicaciones son la manufactura de cabinas, sillas, tejas botones, partes de auto, figuras artísticas, etc.

Poliéster Tereftálico: con respecto a las resinas ortoftálicas ésta posee superior resistencia química, excelente aceptación de cargas minerales, baja absorción de agua y superior resistencia a altas temperaturas.

Poliéster Isoftálico: resina de mayor resistencia química que las anteriores, usada en la manufactura de artículos que se encuentran en la intemperie, en contacto con agua y con ataque químico.

Poliéster Iso N.P.G: producto hermano de la resina isoftálica, esta modificado con N.P.G (neopentil glicol), elemento que proporciona mayor resistencia química, a los microorganismos (hongos) y al agua ventaja para el uso en piscinas, toboganes, tinas de hidromasaje y tanques de la industria alimenticia.

Poliéster Bisfenólico y Viniléster: son las resinas llamadas antiácidas poseen la más alta resistencia al ataque químico y a la temperatura, tanques tuberías reactores, chimeneas, torres lavadoras de gases y enfriadoras. En la tabla 2.6 se observa las propiedades mecánicas de la resina poliéster.

Tabla 2.6. Propiedades mecánicas de la resina Poliéster [11].

Propiedad	Valor
Peso específico	1,28 g/cm ³
Dureza	110 RockwellM
Resistencia a la tracción	55 MN/m ²
Resistencia a la compresión	140 MN/m ²
Resistencia al impacto	2 KJ/m ²
Módulo de Young	3,5 GN/m ²
Alargamiento a la rotura	2%
Conductividad térmica	0,2 W/°C
Coefficiente de dilatación lineal	100 ^{10-6/°C}
Absorción de agua 24 hr, 20 °C	0,15%

2.2. HIPÓTESIS

El material compuesto de matriz poliéster reforzada con fibra de hoja de Yucca Elephantipes proporcionará buenas propiedades mecánicas para aplicaciones industriales.

2.3. SEÑALAMIENTO DE VARIABLES DE LA HIPÓTESIS

2.3.1. Variable Independiente

Material compuesto de matriz poliéster reforzada con fibra de hoja de Yucca Elephantipes.

2.3.2. Variable Dependiente

Propiedades Mecánicas

CAPÍTULO III

3. METODOLOGÍA

3.1. NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN

3.1.1. Exploratoria

Esta investigación es de tipo exploratoria ya que se buscó la mejor configuración de resina poliéster y fibra como refuerzo para la obtención de buenas propiedades mecánicas y encontrar la mejor aplicación industrial.

3.1.2. Descriptiva

Se describió la fracción volumétrica el tipo de estratificación y la orientación de los refuerzos del nuevo material compuesto de igual manera las propiedades mecánicas que se obtuvieron tras la realización de ensayos.

3.1.3. Experimental

Esta investigación fue de tipo experimental ya que los resultados se los obtuvo a través de ensayos y se buscó aplicaciones industriales, quedó constancia del proyecto para futuras investigaciones.

3.1.4. Bibliográfica

El presente estudio se lo realizó tomando datos de proyectos relacionados con el tema, libros, artículos científicos, internet entre otras para cumplir con los objetivos de esta investigación.

3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.2.1. Población

Elaboración de probetas de resina poliéster como matriz más fibra de hoja de yucca elephantipes como refuerzo, el proceso se realizó con estratificación manual y siguiendo los parámetros de la normativa ASTM de los ensayos a tracción, flexión e impacto.

3.2.2. Muestra

Se realizó como mínimo 5 probetas de cada configuración y fracción establecida para el nuevo material compuesto de resina poliéster + fibra de hoja de Yucca Elephantipes como

se indica en la tabla 3.1, según la norma para tracción ASTM D3039-15, Flexión ASTM D7264-15 e Impacto D5628-10, se determinó el material que mejores propiedades mecánicas presentó.

Tabla 3.1. Muestra de Probetas

Ensayo	Tipo de refuerzo	Fracción Volumétrica	Tipo de Estratificación	Número de probetas
Tracción	Tipo A	65% Matriz 35% Refuerzo	Manual	5
	Tipo A	70% Matriz 30% Refuerzo	Manual	5
	Tipo A	75% Matriz 25% Refuerzo	Manual	5
	Tipo B	65% Matriz 35% Refuerzo	Manual	5
	Tipo B	70% Matriz 30% Refuerzo	Manual	5
	Tipo B	75% Matriz 25% Refuerzo	Manual	5
Flexión	Tipo A	65% Matriz 35% Refuerzo	Manual	5
	Tipo A	70% Matriz 30% Refuerzo	Manual	5
	Tipo A	75% Matriz 25% Refuerzo	Manual	5
	Tipo B	65% Matriz 35% Refuerzo	Manual	5
	Tipo B	70% Matriz 30% Refuerzo	Manual	5
	Tipo B	75% Matriz 25% Refuerzo	Manual	5
Impacto	Tipo A	65% Matriz 35% Refuerzo	Manual	5
	Tipo A	70% Matriz 30% Refuerzo	Manual	5
	Tipo A	75% Matriz 25% Refuerzo	Manual	5
	Tipo B	65% Matriz 35% Refuerzo	Manual	5
	Tipo B	70% Matriz 30% Refuerzo	Manual	5
	Tipo B	75% Matriz 25% Refuerzo	Manual	5
Total de probetas a ensayar				90

Fuente: El Autor

Tipo A: Fibra Longitudinal

Tipo B: Fibra corta inclinada mixta al azar

3.3. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

3.3.1. Variable Independiente

Material Compuesto de matriz poliéster reforzado con fibra de hoja de Yucca Elephantipes.

Tabla 3.2. Variable Independiente

Conceptualización	Categoría	Indicadores	Ítems	Técnicas e Instrumentos
Material compuesto es aquel en el que se une dos o más materiales, la cuales son la matriz y el refuerzo esta puede ser sintético con el fin de obtener nuevos materiales con mejores propiedades mecánicas.	Material Compuesto	Fracción Volumétrica	65% Matriz 35% Refuerzo	Observación Directa. Fichas para toma de datos de ensayos. Norma para Tracción ASTM D3039-15. Flexión ASTM D7264-15. Impacto ASTM D5628-10. Bibliografía.
			70% Matriz 30% Refuerzo	
			75% Matriz 25% Refuerzo	
		Configuración de la fibra	Tipo A (Fibra Longitudinal)	
			Tipo B (Fibra corta inclinada mixta al azar)	
		Tipo de Estratificación	Manual	

Fuente: El Autor

3.3.2. Variable Dependiente

Propiedades Mecánicas

Tabla 3.3. Variable Dependiente

Conceptualización	Categoría	Indicadores	Ítems	Técnicas e Instrumentos
Comportamiento mecánico de un material al aplicar fuerzas o cargas, que son evaluadas mediante ensayos específicos bajo normas y especificaciones técnicas de equipos.	Propiedades Mecánicas	Resistencia a la tracción	¿Cuál fue la resistencia a tracción?	Observación directa Fichas para toma de datos de ensayos Normas ASTM Bibliografía
		Módulo de elasticidad	¿Cuál fue el módulo de elasticidad?	
		Resistencia a la flexión	¿Cuál fue la resistencia a la flexión?	
		Módulo de flexión	¿Cuál fue el módulo de flexión?	
		Impacto	(1,5 - 3) [J]	

Fuente: El Autor

3.4. PLAN DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

La información se recolectó a partir de la observación directa de los ensayos (tracción, flexión e impacto) que se realizó en los laboratorios de la Facultad de ingeniería Civil y Mecánica y en el Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero (Ambato), los datos obtenidos fueron plasmados en tablas y se detalló la información obtenida.

3.5. PLAN PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS

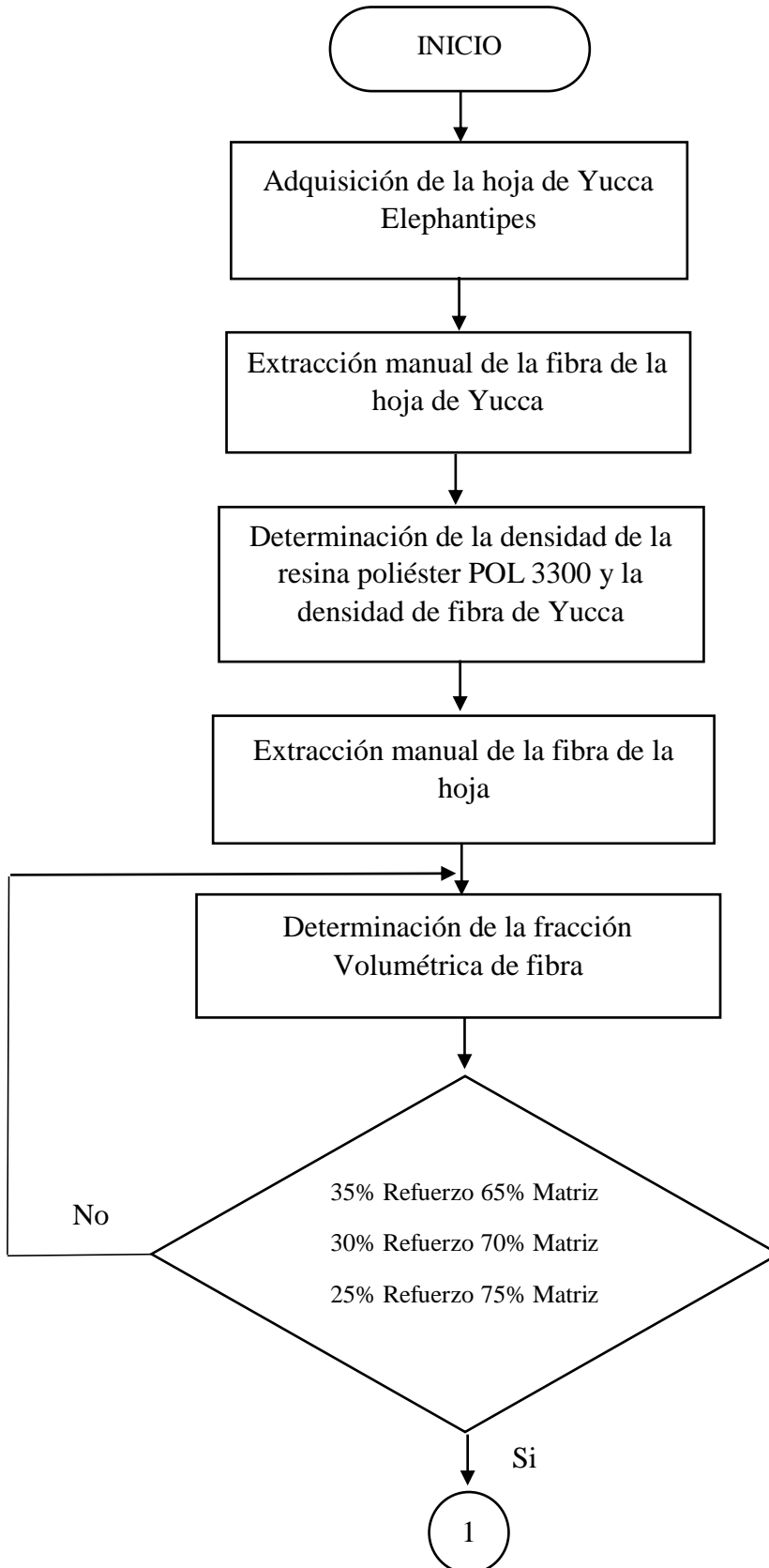
Para el procesamiento se realizó lo siguiente:

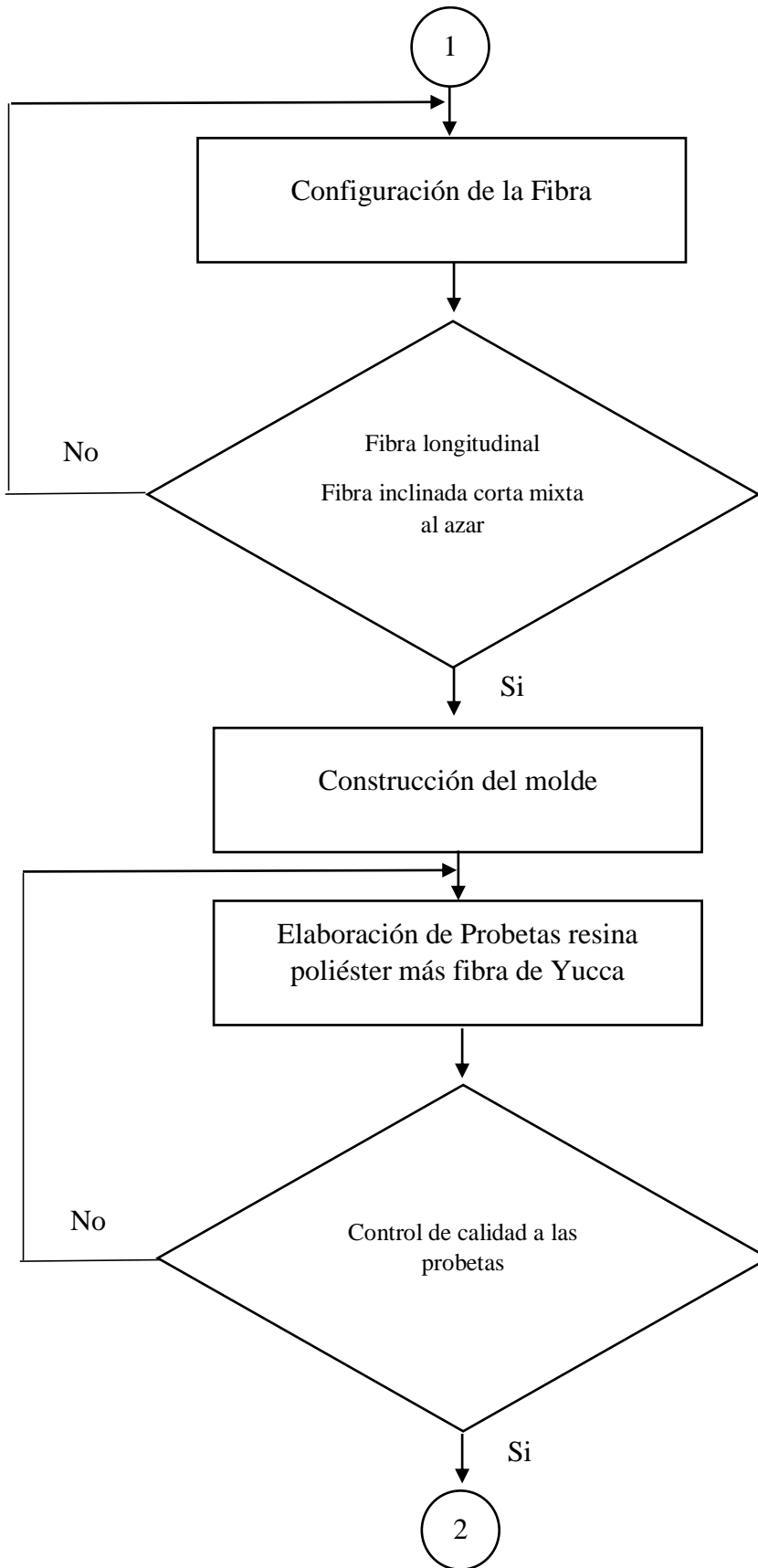
- Se analizó la información obtenida después de la realización de los ensayos y se verificó que estos tengan concordancia.
- Se elaboró tablas y se tabuló todos los datos detallando toda la información.
- Se realizó tablas para un mejor entendimiento de los resultados obtenidos
- Se verificó la hipótesis para aceptarla o rechazarla.

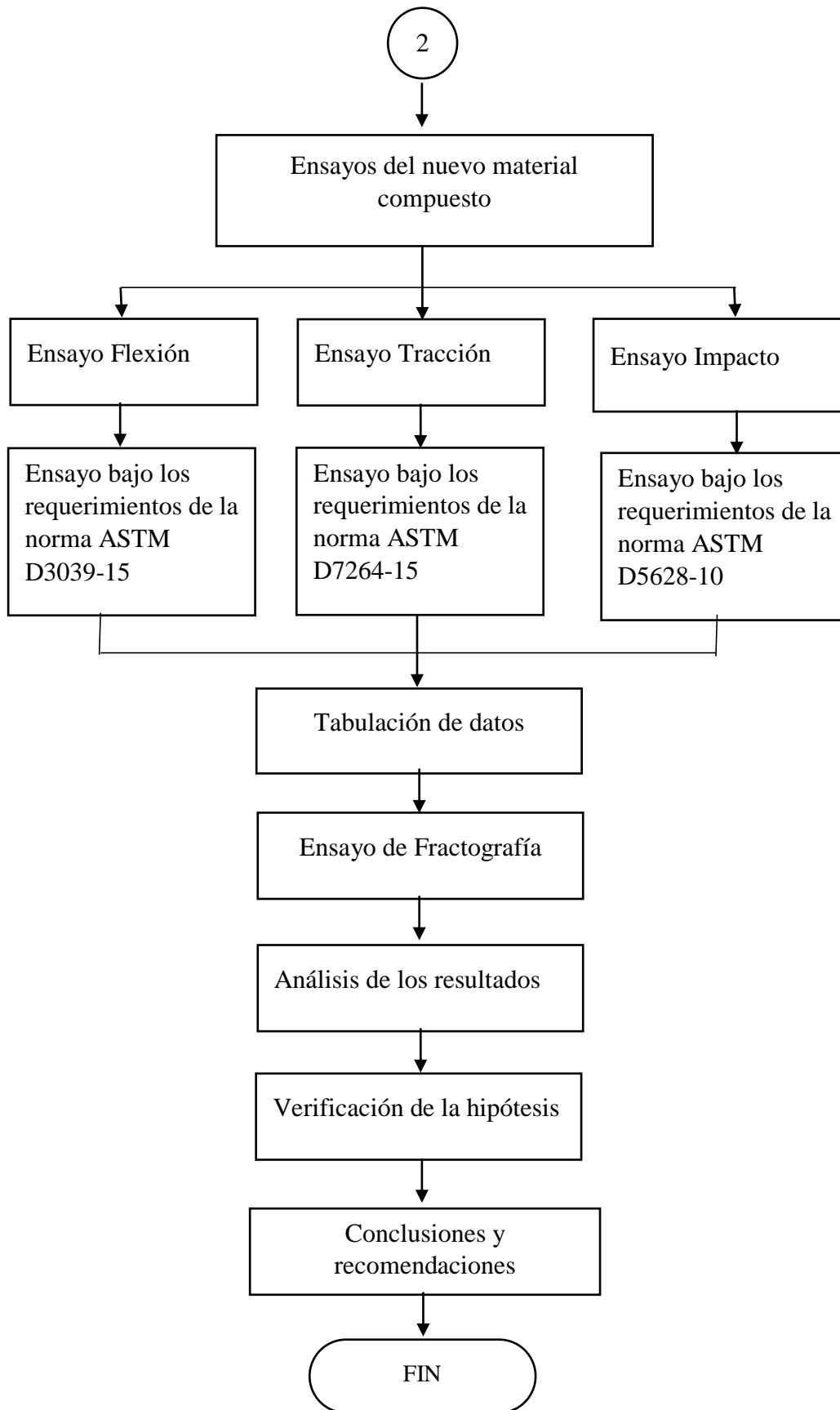
CAPÍTULO IV

4. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE DATOS

4.1. RECOLECCIÓN DE DATOS







4.1.1. Procedimiento

Obtención de la fibra de yucca elephantipes

Para la obtención de la fibra de yucca elephantipes primero se consiguen las hojas de esta planta, una vez obtenidas se las golpea para poder ablandar las mismas, así como se ilustra en la figura 4.1.



Figura 4.1. Ablandamiento de la hoja de Yucca Elephantipes

Fuente: El Autor

Una vez realizado este proceso se colocan las hojas en un recipiente con agua por 7 días para un mayor ablandamiento de las hojas, así como se muestra en la figura 4.2.



Figura 4.2. Colocación de las hojas en un recipiente con agua.

Fuente: El Autor

Transcurrido ese tiempo se las lava y se procede con el raspado de la fibra para retirar el material orgánico que protege a la fibra, después se lava la fibra que va quedando con abundante agua para retirar el sobrante de residuos, así como se observa en la figura 4.3.



Figura 4.3. Lavado de fibras

Fuente: El Autor

Finalmente se pone a secar la fibra por 2 días como se ilustra en la figura 4.4 y se obtiene el producto final.



Figura 4.4. Secado de Fibra

Fuente: El Autor

4.1.2. Cálculos de masa de la fibra

Para hallar la masa requerida de fibra de hoja de yucca elephantipes hay que establecer las dimensiones de las probetas según la norma y tener en cuenta las fracciones volumétricas con las que se va a trabajar.

4.1.3. Probetas a Tracción

Según la norma ASTM D3039-15 las dimensiones de las probetas son:

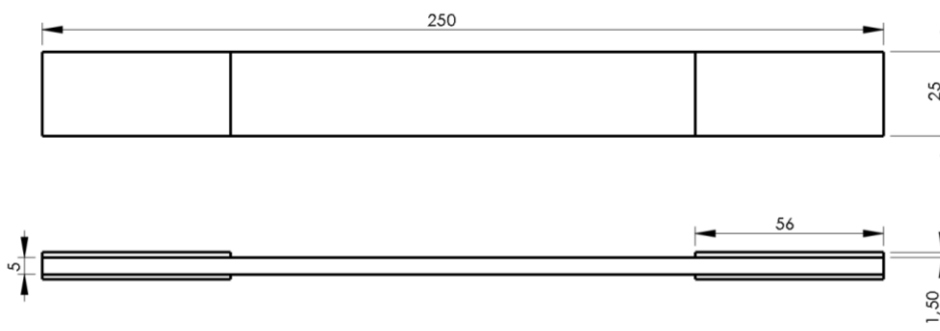


Figura 4.5. Dimensionamiento de la probeta según la norma ASTM D3039-15.

Se procede a calcular el volumen de las probetas a tracción

Cálculo del área

$$A = l * a$$

Ec. [1]

Donde:

l = Largo de la probeta

a = ancho

$$A = 250 \text{ mm} * 25 \text{ mm}$$

$$A = 6250 \text{ mm}^2$$

$$A = 62,5 \text{ cm}^2$$

Cálculo del volumen

$$V = A * e$$

Ec. [2]

Donde

a = área

e = espesor

$$V = 6250 \text{ mm}^2 * 5 \text{ mm}$$

$$V = 31250 \text{ mm}^3$$

$$V = 31,25 \text{ cm}^3$$

4.1.4. Probetas a Flexión

Según la norma ASTM D7264-15 las dimensiones de las probetas son:

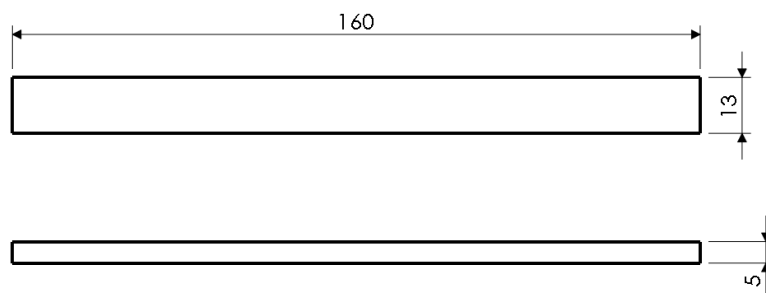


Figura 4.6. Dimensionamiento de la probeta según la norma ASTM D7264-15.

Cálculo del área

$$A = l * a$$

Ec. [1]

$$A = 160 \text{ mm} * 16 \text{ mm}$$

$$A = 2560 \text{ mm}^2$$

$$A = 25,60 \text{ cm}^2$$

Cálculo del volumen

$$V = A * e$$

Ec. [2]

$$V = 2560 \text{ mm}^2 * 5 \text{ mm}$$

$$V = 12800 \text{ mm}^3$$

$$V = 12,8 \text{ cm}^3$$

4.1.5. Probetas a Impacto

Según la norma ASTM D5628-10 las dimensiones de las probetas son:

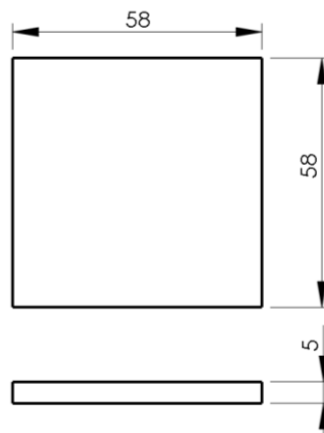


Figura 4.7. Dimensionamiento de la probeta según la norma ASTM D5628-10.

Cálculo del área

$$A = l * a$$

Ec. [1]

$$A = 58 \text{ mm} * 58 \text{ mm}$$

$$A = 3364 \text{ mm}^2$$

$$A = 33,64 \text{ cm}^2$$

Cálculo del volumen

$$V = A * e$$

Ec. [2]

$$V = 3364 \text{ mm}^2 * 5 \text{ mm}$$

$$V = 16820 \text{ mm}^3$$

$$V = 16,82 \text{ cm}^3$$

4.1.6. Construcción del molde

El molde se elaboró con placas y ángulos de acero estructural ASTM A36 para cada uno de los ensayos a tracción, flexión e impacto.

El molde ya construido consta de 3 partes, tapa marco y base, la cual es una placa de 450 mm x 340 mm y 10 mm de espesor esta consta de 12 agujeros de 10 mm de diámetro y 12 agujeros de 8 mm de diámetro tiene una manija para su facilitar su transporte, se ilustra en la figura 4.8.

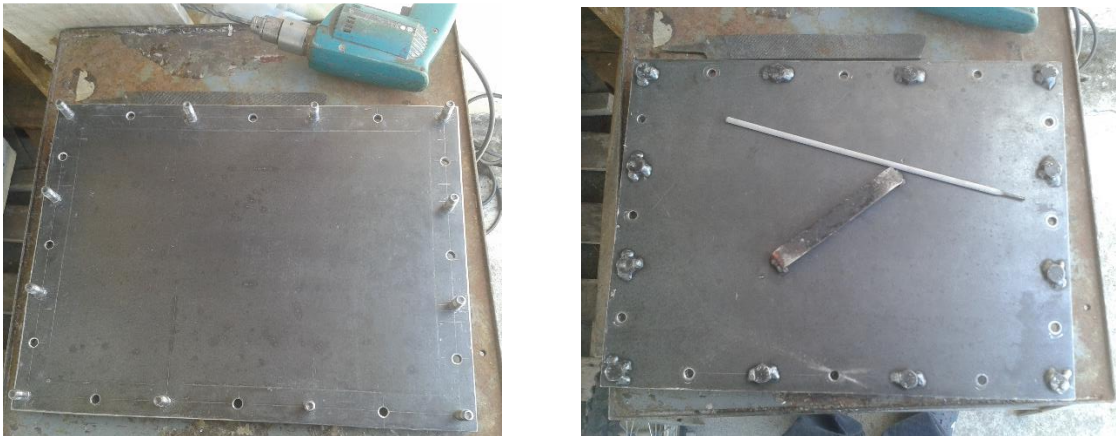


Figura 4.8. Base del Molde.

Fuente: El Autor

El marco está construido por 4 ángulos de 40 mm x 40 mm x 5 mm de igual manera consta con los agujeros del mismo tamaño que los de la base, se ilustra en la figura 4.9.

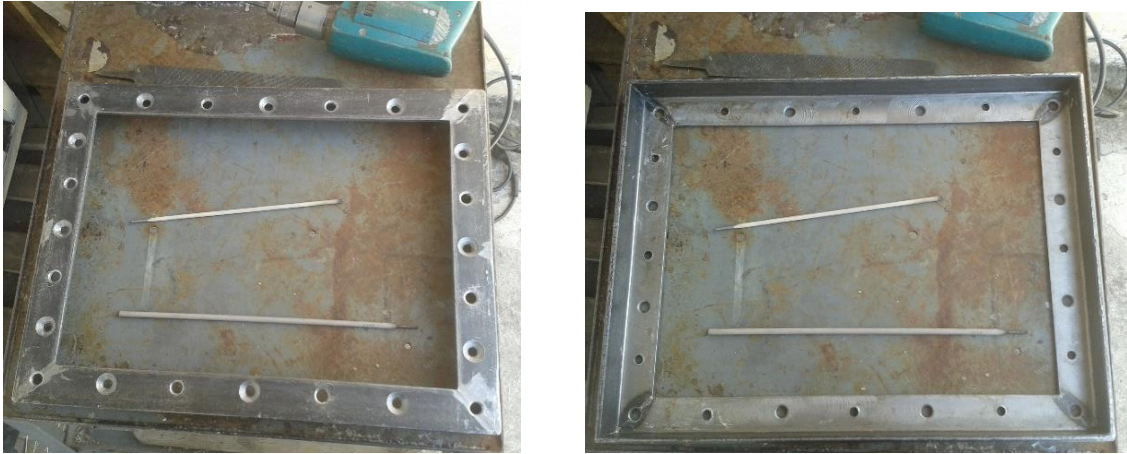


Figura 4.9. Marco del molde.

Fuente: El Autor

La tapa es una placa de 465 mm x 360 mm y 5 mm de espesor esta consta con 12 agujeros de 10 mm de diámetro y dos manijas para facilitar el transporte, se ilustra en la figura 4.10.



Figura 4.10. Tapa del Molde.

Fuente: El Autor

Los detalles del molde se encuentran en planos en la parte de anexos.

4.1.7. Determinación de la densidad de la resina poliéster

Con la elaboración de un cuerpo sólido de 25 ml de resina poliéster catalizada a temperatura ambiente de 20.5 °C, humedad relativa del 40% según el método gravimétrico se obtuvo una densidad de 1,22 g/cm³.



Figura 4.11. Determinación de la densidad de la resina poliéster.

Fuente: El Autor

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

Ec. [3]

Donde:

$$\delta = \text{densidad} \left(\frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} \right)$$

m = masa (gr)

v = volumen (cm^3)

En la tabla 4.1 se indica los datos de masa y volumen para la obtención de la densidad de la resina poliéster.

Tabla 4.1. Determinación de la densidad de la resina poliéster

Densidad de la resina poliéster a temperatura ambiente de 20,5 °C					
Muestra	Masa (g)	Volumen cm^3			Densidad g/cm^3
		Inicial	Final	ΔV	
1	22,1	100	118.1	18.1	1,22

Fuente: El Autor

4.1.8. Determinación de la densidad de fibra de Yucca Elephantipes

La propiedad adquirida de la fibra de hoja yucca elephantipes es la densidad, esta se la obtuvo mediante el experimento del método gravimétrico.

Este método se basa en la toma de 3 muestras de diferentes cantidades de fibra. Y se procede de la siguiente manera se agrega agua con un volumen determinado, después se añade la fibra, una vez realizado esto se mide el incremento de volumen, la densidad se

obtiene dividiendo la masa de la fibra para el volumen este proceso se lo realiza 3 veces y el promedio de estas densidades es la densidad definitiva de la fibra de hoja de yucca elephantipes, en la figura 4.12 se muestra los materiales para obtener la densidad de la fibra.



Figura 4.12. Determinación de la densidad de la fibra de hoja de Yucca Elephantipes.

Fuente: El Autor

En la tabla 4.2 se indica los datos de masa y volumen para la obtención de la densidad de la fibra.

Tabla 4.2. Determinación de la densidad de la fibra de hoja de yucca elephantipes.

Densidad de la fibra de hoja de yucca elephantipes a temperatura ambiente 21 °C					
Muestra	Masa (g)	Volumen cm³			Densidad g/cm³
		Inicial	Final	ΔV	
1	3,3	200	206,82	6,82	0,48
2	6,2	200	211,36	11,36	0,55
3	7,2	200	213,64	13,64	0,53
Densidad Promedio					0,52

Fuente: El Autor

Cálculos

Según el volumen de moldeo en el marco al molde construido se obtiene los siguientes datos:

Cálculo del área de molde

$$A = l * a$$

Ec. [1]

$$A = 385 \text{ mm} * 280 \text{ mm}$$

$$A = 107800 \text{ mm}^2$$

$$A = 1078 \text{ cm}^2$$

Cálculo del volumen de moldeo

$$V = A * e$$

Ec. [2]

$$V = 107800 \text{ mm}^2 * 5 \text{ mm}$$

$$V = 539000 \text{ mm}^3$$

$$V = 539 \text{ cm}^3$$

En la tabla 4.3 se muestra la cantidad de masa requerida para la obtención de las planchas de nuevo material compuesto.

Tabla 4.3. Cantidad de masa de fibra requerida según el volumen de moldeo.

Configuración de la fibra	Volumen Total (cm3)	Densidad (g/cm3)	Porcentaje de Refuerzo	Volumen del refuerzo (cm3)	Masa Calculada (g)
Tipo A	539	0,52	35%	188,7	98,1
Tipo A	539	0,52	30%	161,7	84,1
Tipo A	539	0,52	25%	134,8	70,1
Tipo B	539	0,52	35%	188,7	98,1
Tipo B	539	0,52	30%	161,7	84,1
Tipo B	539	0,52	25%	134,8	70,1
Total de masa de fibra de hoja de Yucca Elephantipes requerida					504,5

Fuente: El Autor

En la tabla 4.4 se muestra la cantidad de volumen requerido para la obtención de las planchas de nuevo material compuesto.

Tabla 4.4. Cantidad de resina poliéster requerida según el volumen de moldeo.

Configuración de la fibra	Volumen Total (cm3)	Densidad (g/cm3)	Porcentaje de la matriz	Volumen de la matriz (cm3)
Tipo A	539	1,22	65%	350,4

Tipo A	539	1,22	70%	377,3
Tipo A	539	1,22	75%	404,3
Tipo B	539	1,22	65%	350,4
Tipo B	539	1,22	70%	377,3
Tipo B	539	1,22	75%	404,3
Total de volumen de resina poliéster requerida				1482,3

Fuente: El Autor

4.1.9. Densidad del compuesto

Para el cálculo de la densidad del compuesto de matriz de resina poliéster y fibra de hoja de yuca elephantipes para ello se utiliza la siguiente ecuación.

$$\rho_c = f_m * \rho_m + f_f * \rho_f \quad \text{Ec. [4]}$$

Donde:

ρ_c = densidad del compuesto

f_m = fracción volumétrica de matriz

ρ_m = densidad de la matriz

f_f = fracción volumétrica de la fibra

ρ_f = densidad de la fibra

En la tabla 4.5 se indica la densidad del material compuesto de acuerdo a su fracción volumétrica.

Tabla 4.5. Densidades de los compuestos de acuerdo su fracción volumétrica.

Fracción Volumétrica		Densidades g/cm ³		Densidad del compuesto g/cm ³
Refuerzo	Matriz	Refuerzo	Matriz	
35%	65%	0,52	1,22	0,98
30%	70%	0,52	1,22	1,01
25%	75%	0,52	1,22	1,05

Fuente: El Autor

4.1.10. Procedimiento para la elaboración de las probetas

Para la elaboración de las probetas se siguió el siguiente procedimiento:

- Se limpia el molde retirando cualquier impureza o escoria que pueda afectar en la fabricación de probetas como se indica en la figura 4.13.



Figura 4.13. Limpieza del molde.

Fuente: El Autor

- Se pasa al menos 2 capas de cera desmoldante para evitar la adherencia de la resina poliéster con el molde, como se muestra en la figura 4.14.



Figura 4.14. Aplicación de cera desmoldante.

Fuente: El Autor

- Se aplica una capa de alcohol Polivinílico como se ilustra en la figura 4.15, esta crea una película separadora entre el molde y la resina, para facilitar la extracción del material compuesto del molde.



Figura 4.15. Aplicación del alcohol polivinílico.

Fuente: El Autor

- Se pesa la cantidad de fibra requerida según la fracción volumétrica, como se observa en la figura 4.16.



Figura 4.16. Peso de la fibra requerida.

Fuente: El Autor

- Se coloca la fibra en el molde de manera ordenada y uniforme como se ilustra en la figura 4.17.



Figura 4.17. Colocación de la fibra vegetal.

Fuente: El Autor

- Se mide la cantidad de resina poliéster requerida y se mezcla con el catalizador para acelerar el proceso de curado, en la figura 4.18 se observa cómo cambia de color la resina una vez catalizada.



Figura 4.18. Preparación de la resina poliéster.

Fuente: El Autor

- Se agrega la resina en el molde cuidadosamente evitando que se riegue y distribuida uniformemente, como se indica en la figura 4.19.



Figura 4.19. Colocación de la resina en el molde.

Fuente: El Autor

- Luego se coloca la tapa del molde y se espera aproximadamente 2 horas para luego retirar la plancha del molde y se realiza el control de calidad de la plancha elaborada, en la figura 4.6 se observa las planchas con las distintas configuraciones de fibra.

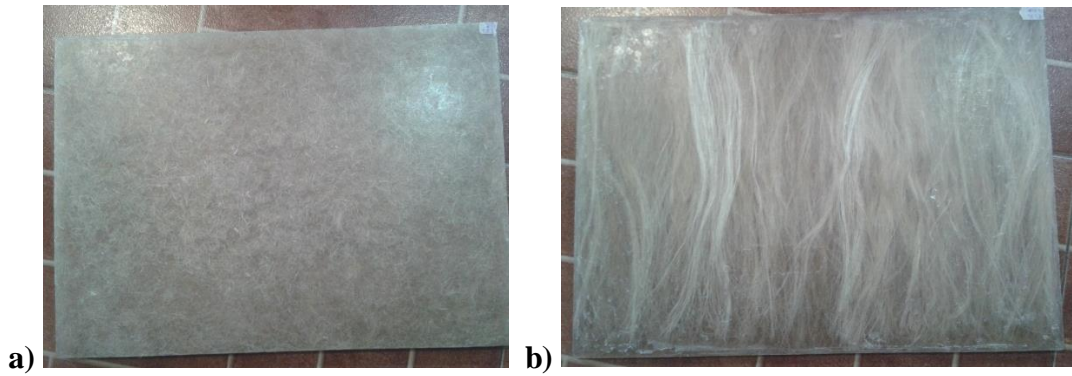


Tabla 4.6. Planchas de material compuesto a) Fibra corta b) Fibra Longitudinal.

Fuente: El Autor

4.1.11. Distribución Propuesta en la plancha del molde

Una vez fabricada la plancha de material compuesto nuevo se propone una distribución para luego realizar el corte a laser del material como se observa en la figura 4.20.

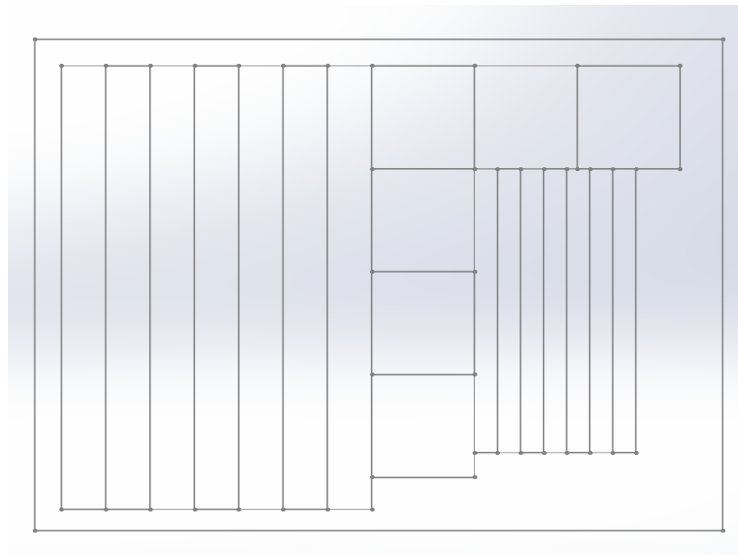


Figura 4.20. Distribución propuesta de corte en la plancha del material compuesto

Fuente: El Autor

- Para la elaboración de las probetas se realiza el corte después de 15 días de curado con las medidas de acuerdo a las normas ASTM D3039-15 D7264-15 y D5628-10, en la figura 4.7 se observa el corte láser por medio de una máquina láser de control numérico.



Tabla 4.7 Corte Láser de la plancha del material compuesto.

Fuente: El Autor

- Con la obtención de las probetas se procede a realizar el control de calidad y se deja curar mínimo 21 días para obtener las mejores propiedades mecánicas luego se pega las sobremontas para que la máquina de tracción tenga un buen agarre del material compuesto, las dimensiones de estas son de 25 x 56 x 1.5 mm en este caso se utiliza lija número 30 y el pegamento tiene que ser resistente para evitar el deslizamiento al momento de realizar los ensayos mecánicos, en la figura 4.8 se observa las probetas con las medidas de acuerdo a las normas establecidas.



Tabla 4.8. Probetas ya cortadas y pegada las sobremonta.

Fuente: El Autor

4.1.12. Ensayo a Tracción

Para la realización de este ensayo se la realiza en la máquina universal de ensayos Metrotec de 50 KN de acuerdo a la norma ASTM D3039-15, como se observa en la figura 4.21.

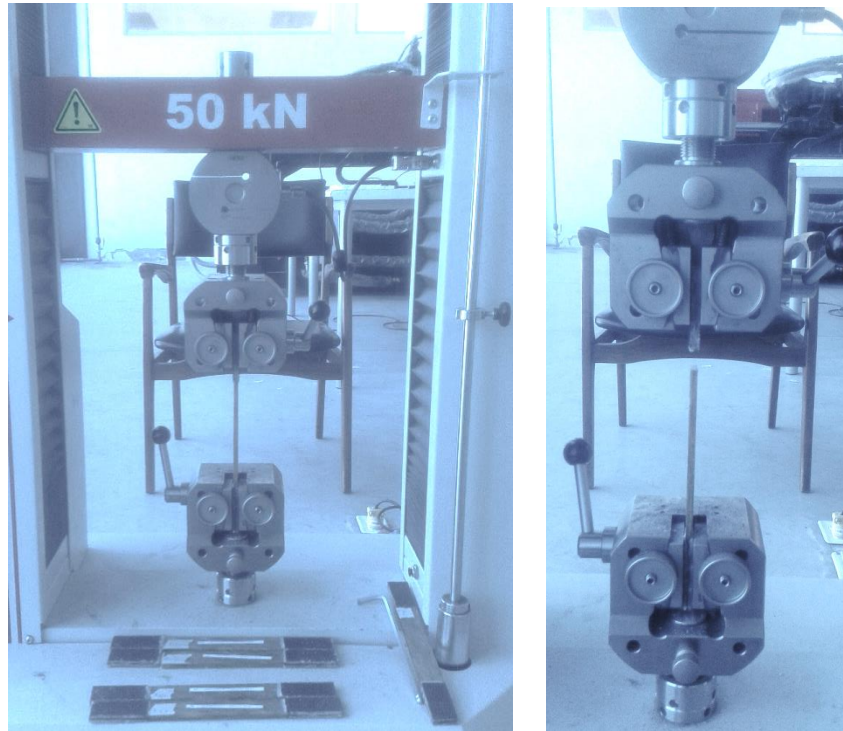


Figura 4.21. Ensayo a Tracción según la norma ASTM D3039-15.

Fuente: El Autor

a. Resistencia a la tracción

Es el valor de esfuerzo más elevado al que se somete la probeta, causando un alargamiento en la dirección de la fuerza aplicada. Y se calcula de la siguiente manera [12].

$$\sigma_{max} = \frac{F}{A} \quad \text{Ec. [5]}$$

Donde:

σ_{max} = Esfuerzo máximo de tracción [MPa].

F = Fuerza máxima antes de ocurrir la falla [N].

A= Área de la sección transversal [mm].

b. Porcentaje de deformación

Propiedad con la cual se puede determinar el grado de deformación plástica que soporta la probeta hasta su fractura. Se puede encontrar esta propiedad con la medición del alargamiento relativo porcentual o porcentaje de deformación plástica.

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

$$\% \text{ de deformación} = \frac{l_f - l_i}{l_i} * 100$$

Donde:

ε = Elongación.

l_f = Longitud final después de la aplicación de carga [mm].

l_i = Longitud inicial antes de la aplicación de carga [mm].

c. Propiedades elásticas

La deformación elástica no es permanente, esto es a que una vez retirada la carga de la probeta vuelve a su estado original. El grado con el que la probeta se deforma depende de la tensión a la que fue sometida. Esta propiedad está representada por la ley de Hooke, se expresa en la siguiente fórmula [13].

$$E = \frac{\sigma_{max}}{\varepsilon} \quad \text{Ec. [7]}$$

Donde:

E = Módulo de elasticidad o módulo de Young.

d. Desviación estándar y coeficiente de variación CV (%)

Se calcula la desviación estándar y el coeficiente de variación CV de cada grupo en el cual se tiene 6 grupos con 5 probetas cada uno. Las ecuaciones se detallan a continuación [14].

$$\bar{x} = (\sum_{i=1}^n x_i) / n \quad \text{Ec. [8]}$$

$$S_{n-1} = \sqrt{(\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2) / (n - 1)} \quad \text{Ec. [9]}$$

$$CV = 100 * \left(\frac{S_{n-1}}{\bar{x}} \right) \quad \text{Ec. [10]}$$

Donde:

\bar{x} = media muestral (Promedio).

x_i = muestras

n = número de datos

S_{n-1} = desviación estándar muestral.

CV = coeficiente de variación muestral en porcentaje.

4.1.13. Ensayo a Flexión

Con la utilización de la misma máquina se realiza este ensayo cumpliendo con los requerimientos de la norma ASTM D7264-15, la distancia entre apoyos es de 140 mm y los radios de curvatura son 5 mm, como se observa en la figura 4.22.



Figura 4.22. Ensayo a Flexión según la norma ASTM D7264-15.

Fuente: El Autor

a. Esfuerzo máximo de flexión

Las probetas se someten a una carga determinada de 3 puntos, trascurrido un tiempo se produce la falla en la probeta de esta manera se obtiene la deflexión máxima con la siguiente ecuación [15].

$$\sigma_{maxf} = \frac{3FL}{2bh^2} \quad \text{Ec. [11]}$$

Donde:

σ_{maxf} = Esfuerzo máximo de flexión [MPa].

F = Fuerza máxima [N].

L = Distancia entre apoyos [mm].

b = ancho de la probeta [mm].

h = espesor de la probeta [mm].

b. Módulo de flexión

Es un parámetro característico de los materiales e indica la relación entre la tensión aplicada y la relación entre el comportamiento elástico. Se representa mediante la siguiente ecuación [16].

$$E = \frac{FL^3}{4bh^3Y} \quad \text{Ec. [12]}$$

Donde:

E = Módulo de elasticidad o módulo de Young.

F = Fuerza máxima [N].

L = Distancia entre apoyos [mm].

b = ancho de la probeta [mm].

h = espesor de la probeta [mm].

Y = deflexión de la probeta [mm].

4.1.14. Ensayo a Impacto

Para la realización de este ensayo se utiliza la máquina de ensayos de impacto por caída de dardo como se observa en la figura 4.23 y se lo realiza con los requerimientos de la norma ASTM 5628-10.



Figura 4.23. Máquina y equipo de ensayo de impacto.

Fuente: El Autor

La energía de impacto es representada por la tenacidad de un material rígido a la aplicación de una carga mecánica. Se la obtiene por la medición de la energía requerida para fracturar la probeta bajo condiciones normalizadas, se mide en [J].

Existen varias geometrías de mordazas y dardos todas bajo las especificaciones de la norma ASTM D5628-10. Esta se basa en dos procedimientos diferentes de masa constante y altura variable o altura constante y masa variable, para obtener como resultado la energía requerida para romper la probeta se la calcula con la siguiente ecuación.

$$MFE = hwf \quad \text{Ec. [13]}$$

Donde:

MFE = energía de impacto [J].

h = altura de falla [mm].

w = masa máxima [Kg].

f = factor de conversión a joule.

4.1.15. Grupos de Probetas

En la tabla 4.9 se detalla los grupos que fueron ensayados en el orden que se los realizó en el Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero en la ciudad de Ambato.

Tabla 4.9. Grupos de probetas ensayadas.

Grupos	Configuración de la fibra	Fracción Volumétrica	
		Refuerzo	Matriz
1	Fibra Corta	35%	65%
2	Fibra Longitudinal	35%	65%
3	Fibra Corta	25%	75%
4	Fibra Longitudinal	25%	75%
5	Fibra Corta	30%	70%
6	Fibra Longitudinal	30%	70%

Fuente: El Autor

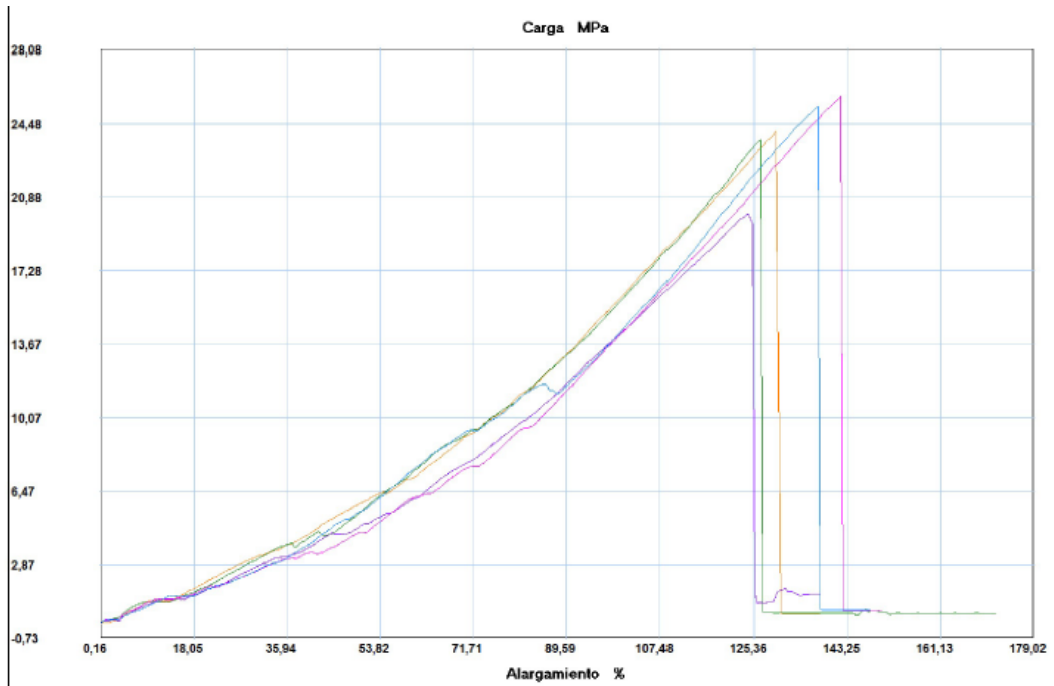
4.1.16. Tabulación de Datos del ensayo a tracción ASTM D3039-15

Tabla 4.10. Tabulación de datos grupo 1 probetas a tracción.

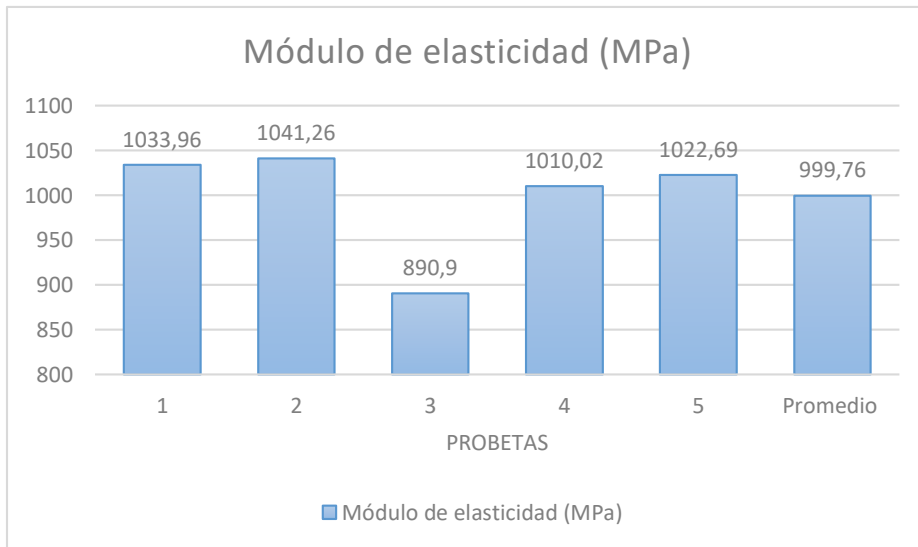
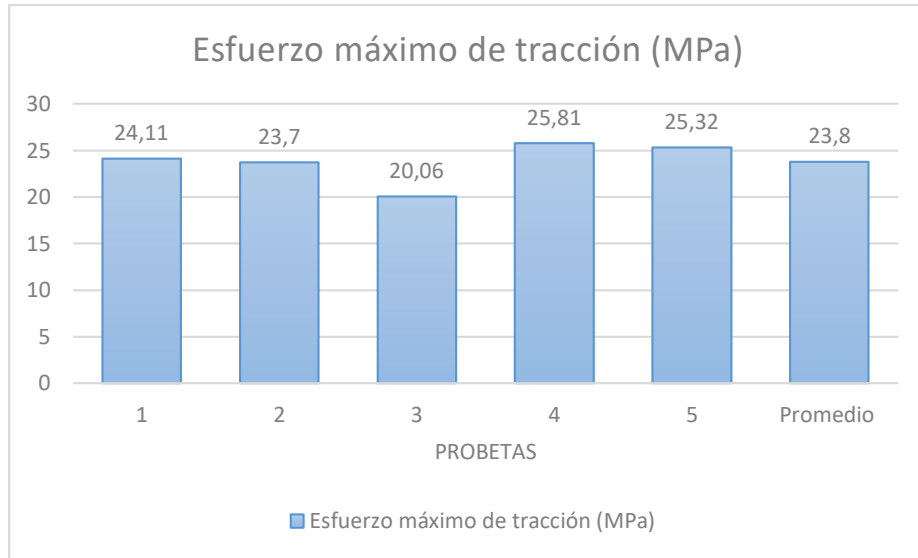
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA					
FICHA DE TABULACIÓN DE DATOS					
DATOS INFORMATIVOS					
Fecha	8/11/2017	Ciudad	Ambato		
Lugar	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero				
Máquina	Máquina Universal de Ensayos Electromecánicos Metrotec MTE 50 KN				
PARÁMETROS DE ENSAYO DE TRACCIÓN					
Número de Probetas	5	Norma	ASTM D3039-15		
Refuerzo	Fibra de hoja de Yucca Elephantipes	Fracción Volumétrica (R)	35%		
Matriz	Resina poliéster	Fracción Volumétrica (M)	65%		
Configuración de la fibra	Corta	Estratificación	Manual		
Dimensiones (mm)	250 x 25 x e	Temperatura	23 °C		
Espesor Promedio (mm)	5.97	Humedad Relativa	55%		
Velocidad de ensayo	10 mm/min	-	-		
RESULTADOS DEL ENSAYO					
Probeta	Carga Máxima (N)	Esfuerzo máximo de tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	% de Elongación	Tipo de Falla evaluado
1	3526,4	24,11	1033,96	2,33	LGM
2	3401,75	23,70	1041,26	2,28	LIT
3	3206,1	20,06	890,90	2,25	LIT
4	3966,61	25,81	1010,02	2,56	LGM
5	3543,75	25,32	1022,69	2,48	LGM
Promedio \bar{X}	3528,92	23,80	999,76	2,38	-
Desviación estándar S_{n-1}	279,37	2,26	61,99	0,13	-
Coefficiente de variación CV	7,92	9,51	6,20	5,55	-
FOTOGRAFÍA DEL ENSAYO					



GRÁFICAS



Probeta	FMax N	FYield N	FRot N	CMax MPa	C.Yield MPa	CRot MPa
1	3526,40	162,51	3526,40	24,11	1,11	24,11
2	3401,75	159,36	3401,75	23,70	1,11	23,70
3	3206,10	192,49	3124,06	20,06	1,20	19,54
4	3966,61	184,60	3966,61	25,81	1,20	25,81
5	3543,75	184,60	3543,75	25,32	1,32	25,32
Media	3528,922	176,712	3512,514	23,800	1,189	23,697
Desv. Std	279,367	14,800	304,359	2,263	0,086	2,476
Coef. V.	0,079	0,084	0,087	0,095	0,072	0,104
+3 Sigma	4367,023	221,112	4425,590	30,588	1,447	31,127



EVALUACIÓN		OBSERVACIÓN	
No se registra valores atípicos por lo que se trabaja con las 5 probetas ensayadas.		Las probetas 1, 4, 5 presentan fallas en la zona lateral media. Las probetas 2 y 3 presentan fallas en zona lateral superior dentro del agarre.	
Esfuerzo Máximo de Tracción promedio (MPa)	23,80		
Módulo de Elasticidad Promedio (MPa)	999,76		
Elaborado por	Christian Pazmiño	Aprobado por	Ing. Mg. Segundo Espín
Revisado por	Ing. Esteban López	Validado por	Ing. Mg. Segundo Espín

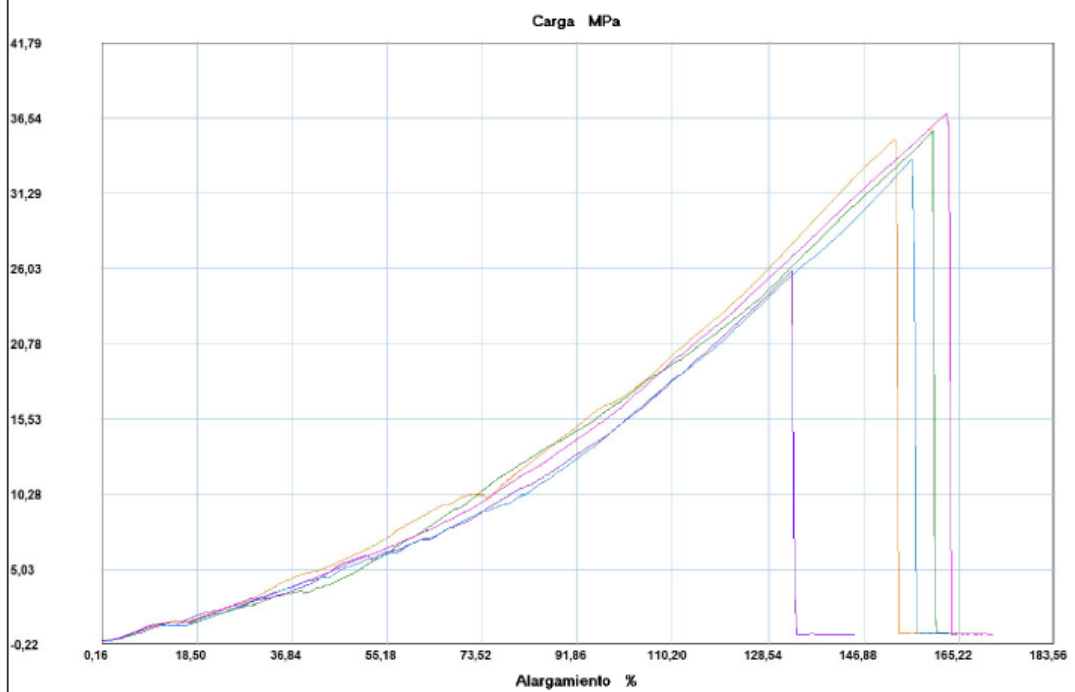
Fuente: El Autor

Tabla 4.11. Tabulación de datos grupo 2 probetas a tracción.

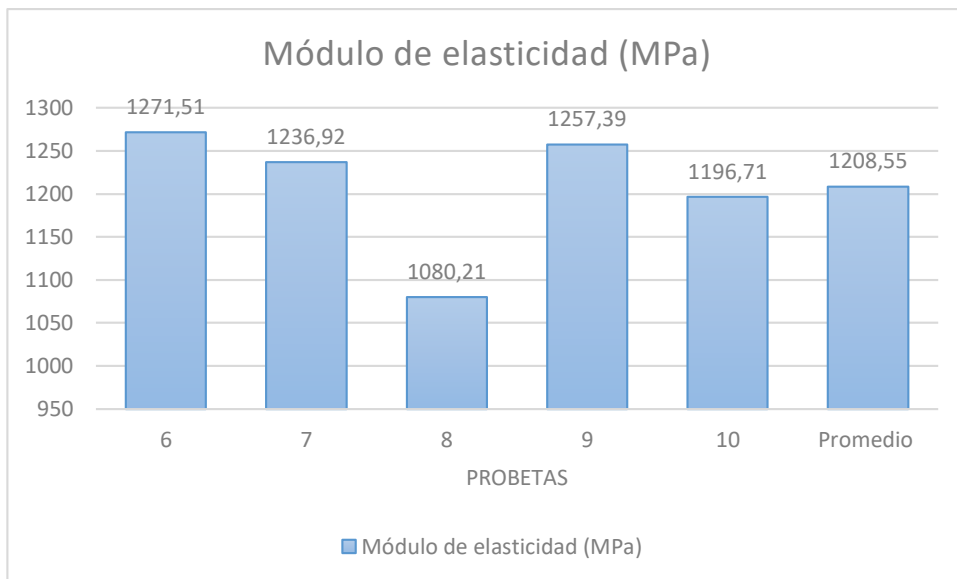
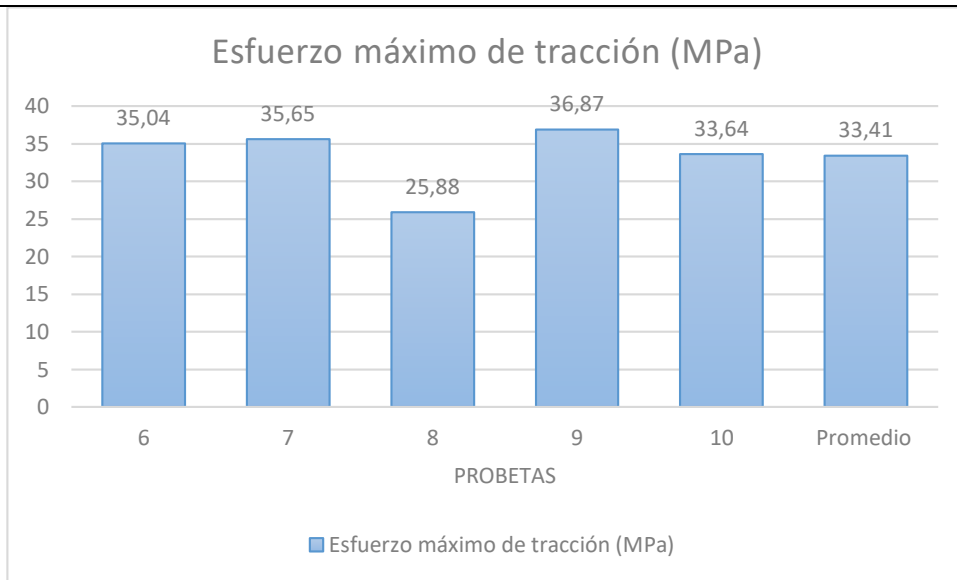
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA					
FICHA DE TABULACIÓN DE DATOS					
DATOS INFORMATIVOS					
Fecha	8/11/2017	Ciudad	Ambato		
Lugar	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero				
Máquina	Máquina Universal de Ensayos Electromecánicos Metrotec MTE 50 KN				
PARÁMETROS DE ENSAYO DE TRACCIÓN					
Número de Probetas	5	Norma	ASTM D3039-15		
Refuerzo	Fibra de hoja de Yucca Elephantipes	Fracción Volumétrica (R)	35%		
Matriz	Resina poliéster	Fracción Volumétrica (M)	65%		
Configuración de la fibra	Longitudinal	Estratificación	Manual		
Dimensiones (mm)	250 x 25 x e	Temperatura	22 °C		
Espesor Promedio (mm)	5.75	Humedad Relativa	59%		
Velocidad de ensayo	10 mm/min	-	-		
RESULTADOS DEL ENSAYO					
Probeta	Carga Máxima (N)	Esfuerzo máximo de tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	% de Elongación	Tipo de Falla evaluado
6	4637,17	35,04	1271,51	2,76	LIT
7	5001,65	35,65	1236,92	2,88	LIT
8	3900,34	25,88	1080,21	2,40	LIT
9	5421,34	36,87	1257,39	2,93	LGM
10	4787,07	33,64	1196,71	2,81	LIT
Promedio \bar{X}	4749,51	33,41	1208,55	2,76	-
Desviación estándar S_{n-1}	559,03	4,37	77,08	0,21	-
Coefficiente de variación CV	11,77	13,08	6,38	7,69	-
FOTOGRAFÍA DEL ENSAYO					



GRÁFICAS



Probeta	FMax N	FYield N	FRot N	CMax MPa	C.Yield MPa	CRot MPa
1	4637,17	187,76	4613,51	35,04	1,42	34,86
2	5001,65	186,18	5001,65	35,65	1,33	35,65
3	3900,34	178,29	3900,34	25,88	1,18	25,88
4	5421,34	194,07	5421,34	36,87	1,32	36,87
5	4787,07	165,67	4787,07	33,64	1,16	33,64
Media	4749,514	182,394	4744,782	33,414	1,283	33,379
Desv. Std	559,028	10,909	560,316	4,370	0,107	4,354
Coef. V.	0,118	0,060	0,118	0,131	0,083	0,130
+3 Sigma	6426,599	215,120	6425,729	46,525	1,604	46,442

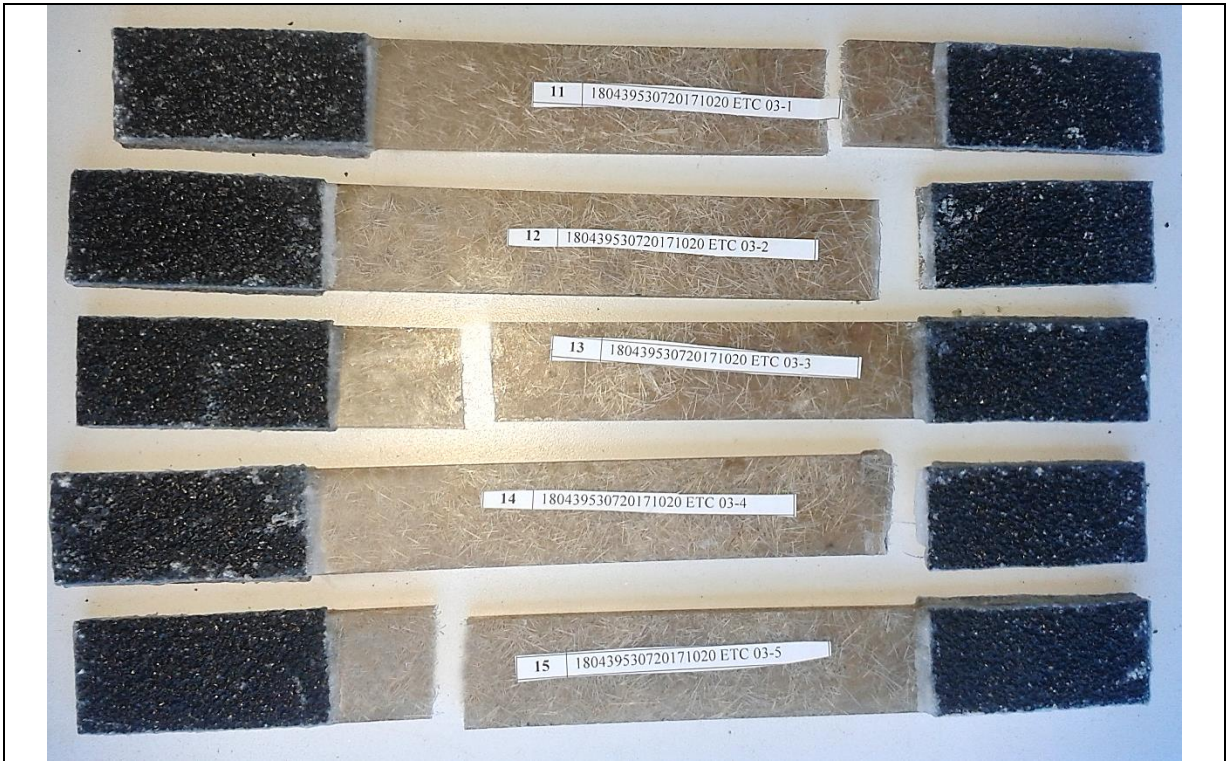


EVALUACIÓN		OBSERVACIÓN	
No se registra valores atípicos por lo que se trabaja con las 5 probetas ensayadas.		Las probetas 6, 7, 8, 10 presentan fallas en zona lateral superior dentro del agarre.	
Esfuerzo Máximo de Tracción promedio (MPa)	33,41		
Módulo de Elasticidad Promedio (MPa)	1208,55	La probeta 9 presenta falla en la zona lateral media.	
Elaborado por	Christian Pazmiño	Aprobado por	Ing. Mg. Segundo Espín
Revisado por	Ing. Esteban López	Validado por	Ing. Mg. Segundo Espín

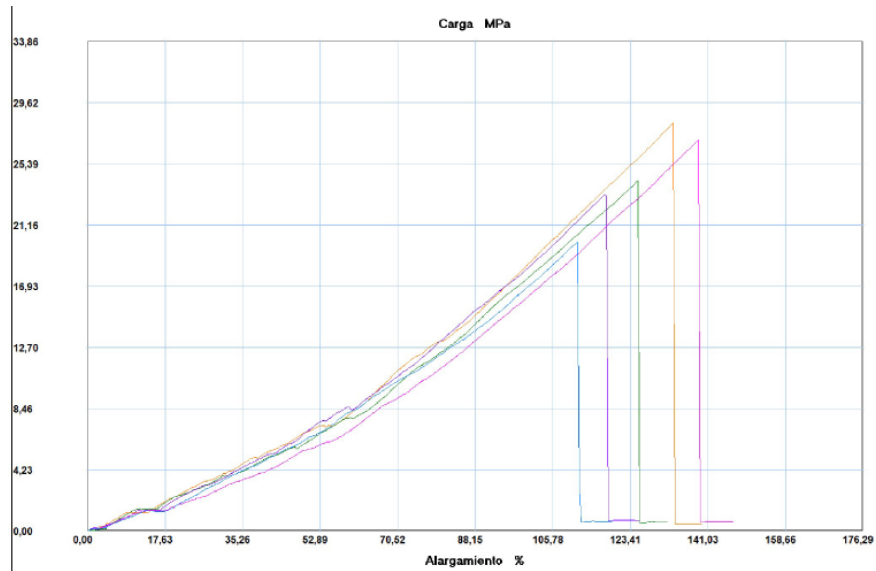
Fuente: El Autor

Tabla 4.12. Tabulación de datos grupo 3 probetas a tracción.

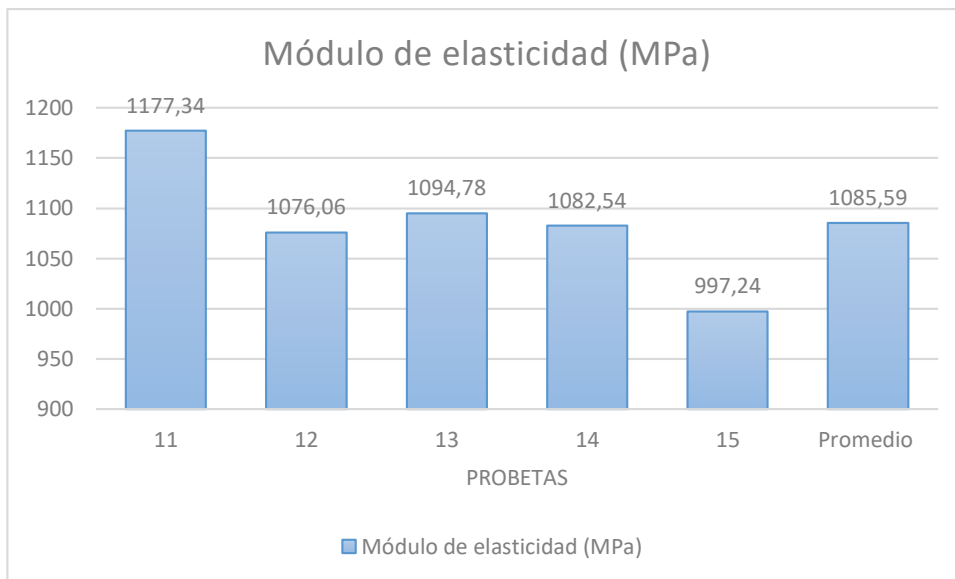
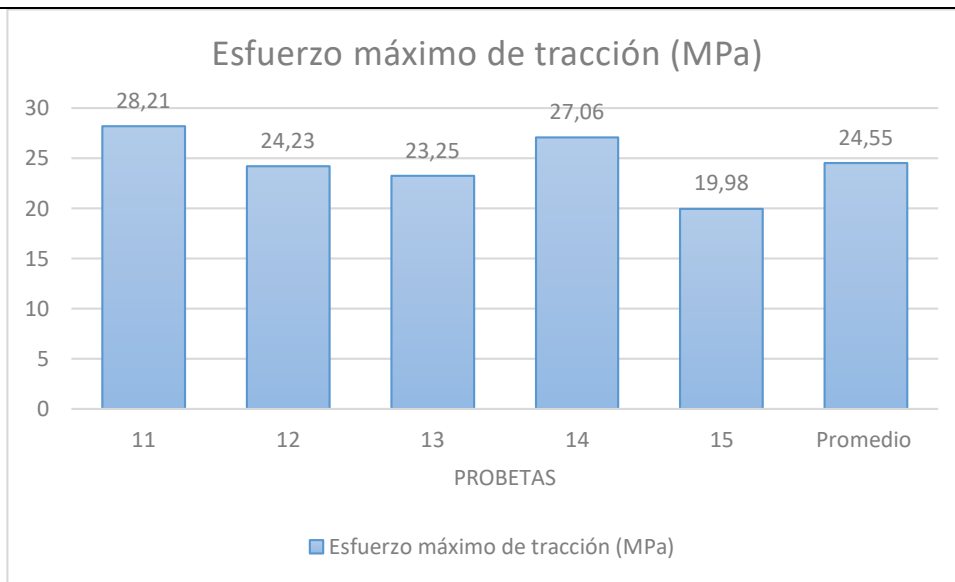
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA					
FICHA DE TABULACIÓN DE DATOS					
DATOS INFORMATIVOS					
Fecha	8/11/2017	Ciudad	Ambato		
Lugar	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero				
Máquina	Máquina Universal de Ensayos Electromecánicos Metrotec MTE 50 KN				
PARÁMETROS DE ENSAYO DE TRACCIÓN					
Número de Probetas	5	Norma	ASTM D3039-15		
Refuerzo	Fibra de hoja de Yucca Elephantipes	Fracción Volumétrica (R)	25%		
Matriz	Resina poliéster	Fracción Volumétrica (M)	75%		
Configuración de la fibra	Corta	Estratificación	Manual		
Dimensiones (mm)	250 x 25 x e	Temperatura	22 °C		
Espesor Promedio (mm)	5.34	Humedad Relativa	59%		
Velocidad de ensayo	10 mm/min	-	-		
RESULTADOS DEL ENSAYO					
Probeta	Carga Máxima (N)	Esfuerzo máximo de tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	% de Elongación	Tipo de Falla evaluado
11	3750,45	28,21	1177,34	2,40	LGM
12	3199,79	24,23	1076,07	2,25	LIT
13	3048,32	23,25	1094,78	2,12	LGM
14	3565,84	27,06	1082,54	2,50	LIT
15	2693,32	19,98	997,24	2	LGM
Promedio \bar{X}	3251,54	24,55	1085,59	2,26	-
Desviación estándar S_{n-1}	419,31	3,26	64,04	0,20	-
Coefficiente de variación CV	12.90	13,26	5,90	8088	-
FOTOGRAFÍA DEL ENSAYO					



GRÁFICAS



Probeta	FMax N	FYield N	FRot N	CMax MPa	C.Yield MPa	CRot MPa
1	3750,45	170,40	3750,45	28,21	1,28	28,21
2	3199,79	200,38	3199,79	24,23	1,52	24,23
3	3048,32	187,76	3038,86	23,25	1,43	23,18
4	3565,84	186,18	3565,84	27,06	1,41	27,06
5	2693,32	171,98	2693,32	19,98	1,28	19,98
Media	3251,544	183,340	3249,652	24,548	1,384	24,534
Desv. Std	419,309	12,394	420,475	3,256	0,104	3,264
Coef. V.	0,129	0,068	0,129	0,133	0,075	0,133
+3 Sigma	4509,472	220,522	4511,078	34,317	1,695	34,324

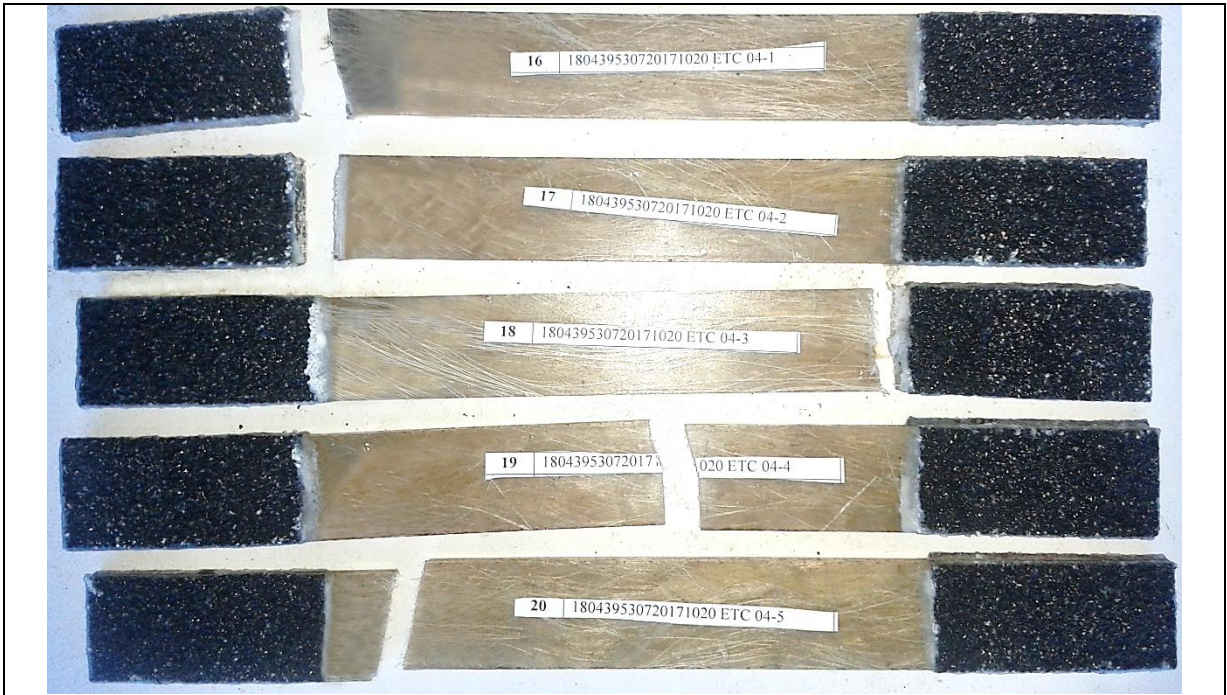


EVALUACIÓN		OBSERVACIÓN	
No se registra valores atípicos por lo que se trabaja con las 5 probetas ensayadas.		Las probetas 11, 13, 15 presentan fallas en la zona lateral media. Las probetas 12 y 14 presentan fallas en zona lateral superior dentro del agarre.	
Esfuerzo Máximo de Tracción promedio (MPa)	24,55		
Módulo de Elasticidad Promedio (MPa)	1085,59		
Elaborado por	Christian Pazmiño	Aprobado por	Ing. Mg. Segundo Espín
Revisado por	Ing. Esteban López	Validado por	Ing. Mg. Segundo Espín

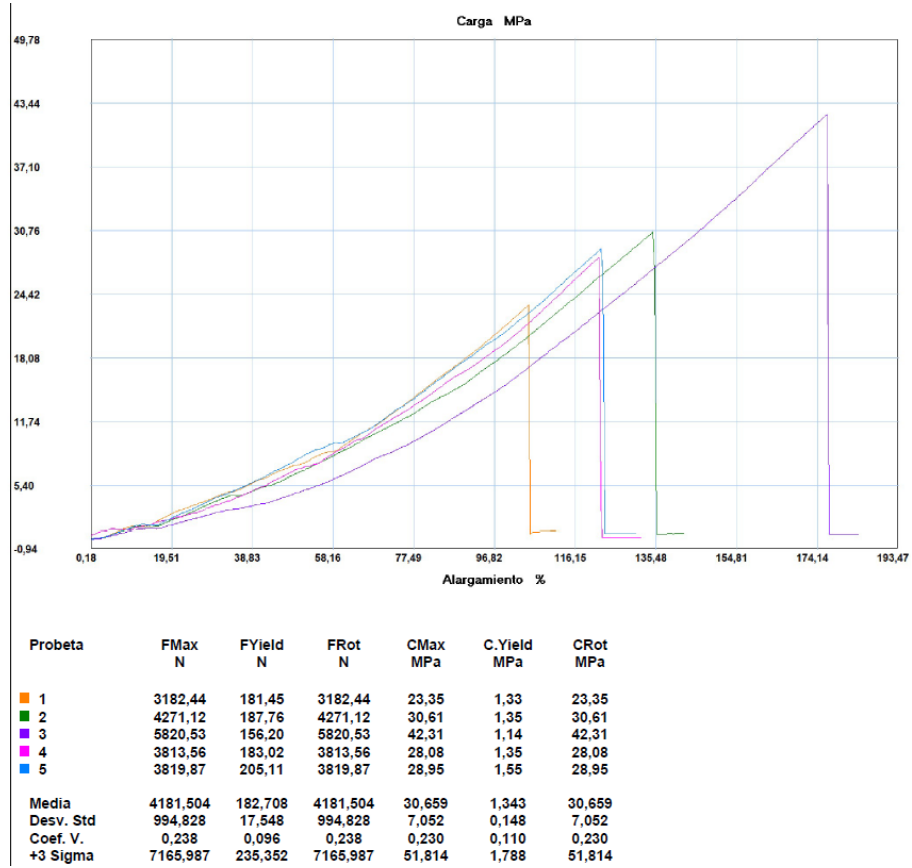
Fuente: El Autor

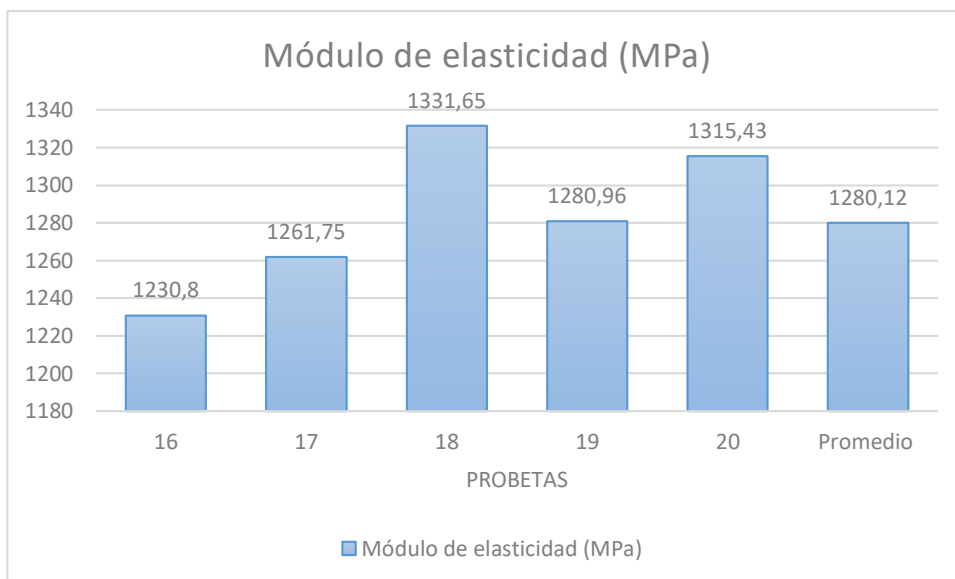
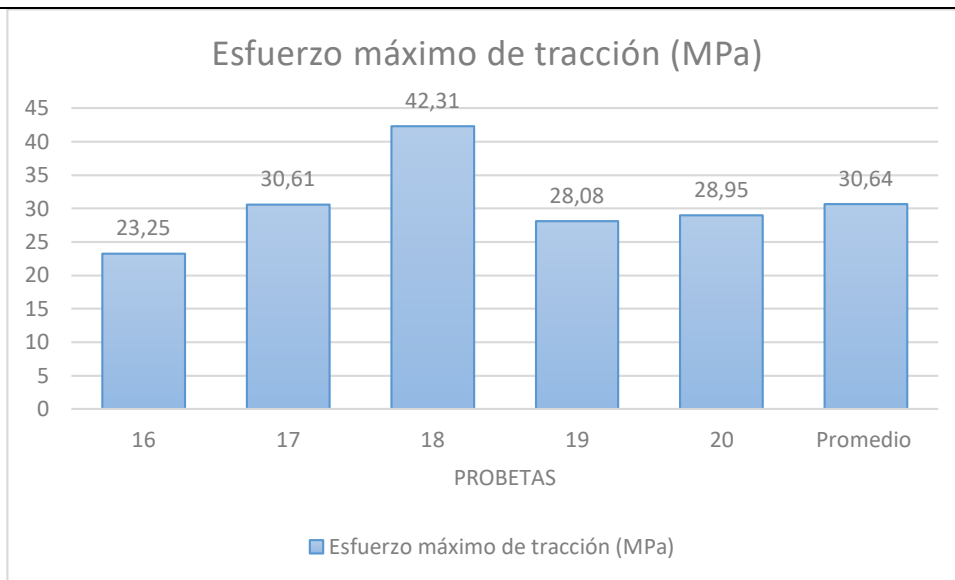
Tabla 4.13. Tabulación de datos grupo 4 probetas a tracción.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA					
FICHA DE TABULACIÓN DE DATOS					
DATOS INFORMATIVOS					
Fecha	8/11/2017	Ciudad	Ambato		
Lugar	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero				
Máquina	Máquina Universal de Ensayos Electromecánicos Metrotec MTE 50 KN				
PARÁMETROS DE ENSAYO DE TRACCIÓN					
Número de Probetas	5	Norma	ASTM D3039-15		
Refuerzo	Fibra de hoja de Yucca Elephantipes	Fracción Volumétrica (R)	25%		
Matriz	Resina poliéster	Fracción Volumétrica (M)	75%		
Configuración de la fibra	Longitudinal	Estratificación	Manual		
Dimensiones (mm)	250 x 25 x e	Temperatura	22 °C		
Espesor Promedio (mm)	5.48	Humedad Relativa	57%		
Velocidad de ensayo	10 mm/min	-	-		
RESULTADOS DEL ENSAYO					
Probeta	Carga Máxima (N)	Esfuerzo máximo de tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	% de Elongación	Tipo de Falla evaluado
16	3182,44	23,25	1230,80	1,89	LAT
17	4271,12	30,61	1261,75	2,43	LIT
18	5820,53	42,31	1331,65	3,18	LIT
19	3813,56	28,08	1280,96	2,19	LGM
20	3819,87	28,95	1315,43	2,20	LIT
Promedio \bar{X}	4181,50	30,64	1280,12	2,38	-
Desviación estándar S_{n-1}	994,83	7,08	40,60	0,49	-
Coefficiente de variación CV	23,79	233,09	3,16	20,46	-
FOTOGRAFÍA DEL ENSAYO					



GRÁFICAS





EVALUACIÓN		OBSERVACIÓN	
No se registra valores atípicos por lo que se trabaja con las 5 probetas ensayadas.		<p>La probeta 16 presenta falla en la zona Superior lateral en el agarre.</p> <p>Las probetas 17, 18, 20 presentan fallas en zona lateral superior dentro del agarre.</p> <p>La probeta 19 presentan fallas en la zona lateral media.</p>	
Esfuerzo Máximo de Tracción promedio (MPa)	30,64		
Módulo de Elasticidad Promedio (MPa)	1280,12		
Elaborado por	Christian Pazmiño	Aprobado por	Ing. Mg. Segundo Espín
Revisado por	Ing. Esteban López	Validado por	Ing. Mg. Segundo Espín

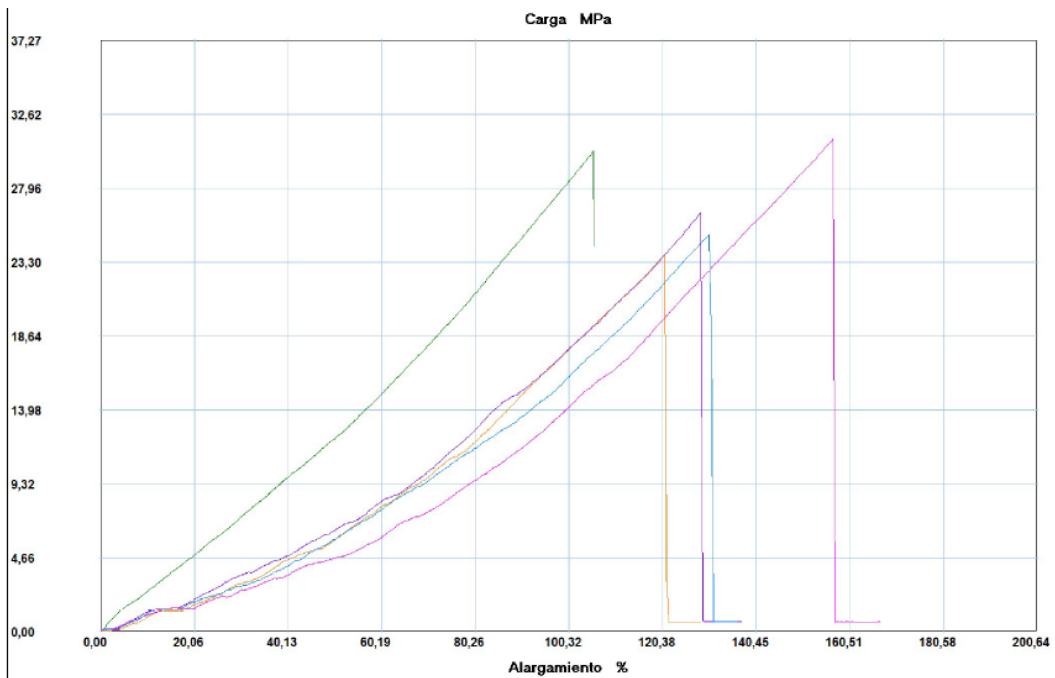
Fuente: El Autor

Tabla 4.14. Tabulación de datos grupo 5 probetas a tracción.

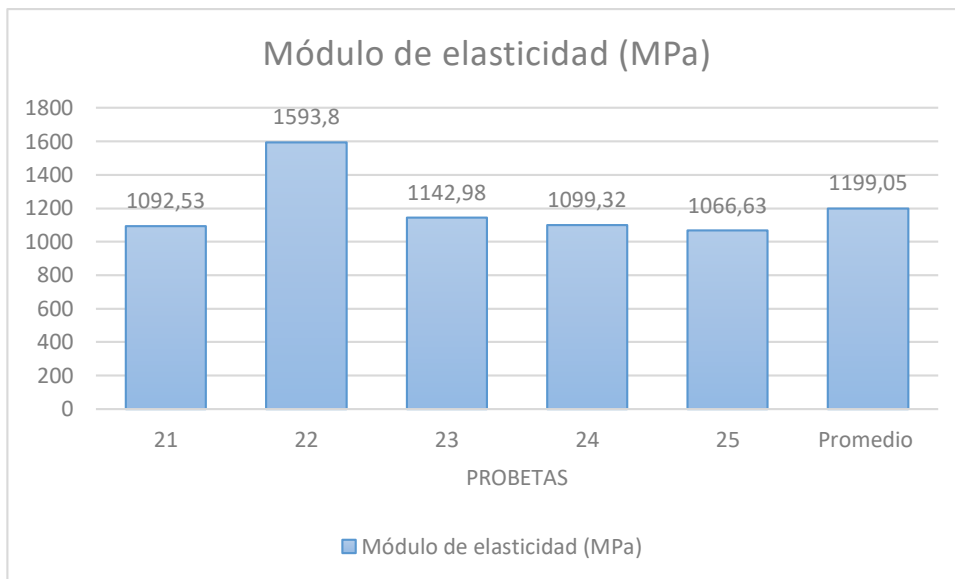
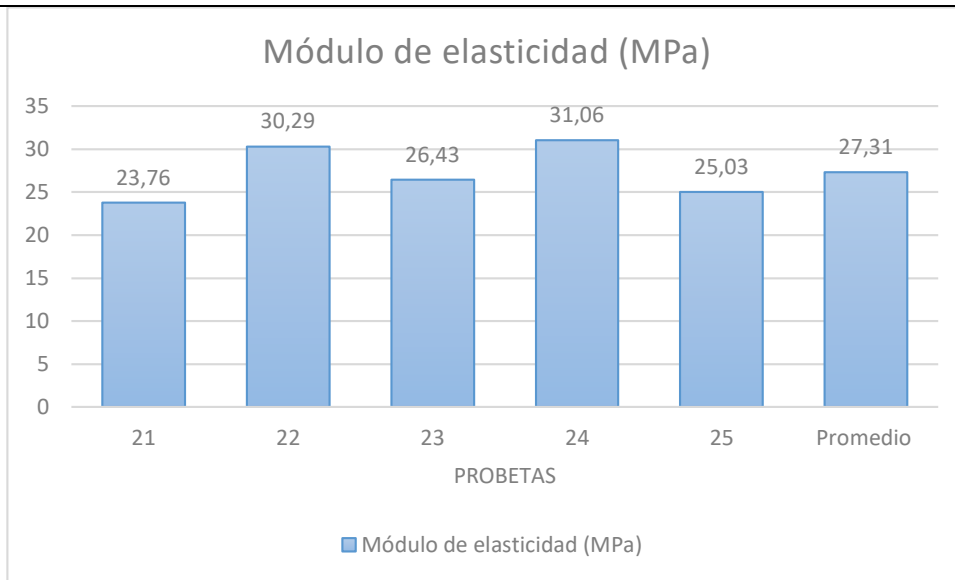
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA					
FICHA DE TABULACIÓN DE DATOS					
DATOS INFORMATIVOS					
Fecha	8/11/2017		Ciudad	Ambato	
Lugar	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero				
Máquina	Máquina Universal de Ensayos Electromecánicos Metrotec MTE 50 KN				
PARÁMETROS DE ENSAYO DE TRACCIÓN					
Número de Probetas	5		Norma	ASTM D3039-15	
Refuerzo	Fibra de hoja de Yucca Elephantipes		Fracción Volumétrica (R)	30%	
Matriz	Resina poliéster		Fracción Volumétrica (M)	70%	
Configuración de la fibra	Corta		Estratificación	Manual	
Dimensiones (mm)	250 x 25 x e		Temperatura	21 °C	
Espesor Promedio (mm)	5,29		Humedad Relativa	61%	
Velocidad de ensayo	10 mm/min		-	-	
RESULTADOS DEL ENSAYO					
Probeta	Carga Máxima (N)	Esfuerzo máximo de tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	% de Elongación	Tipo de Falla evaluado
21	3135,1	23,76	1092,53	2,17	LGM
22	4002,9	30,29	1593,80	1,90	LAT
23	3474,33	26,43	1142,98	2,31	LAT
24	3985,54	31,06	1099,32	2,83	LGM
25	3247,13	25,03	1066,63	2,35	LAT
Promedio \bar{X}	3569	27,31	1199,05	2,31	-
Desviación estándar S_{n-1}	407	3,22	222,37	0,34	-
Coefficiente de variación CV	11,40	11,80	18,55	14,56	-
FOTOGRAFÍA DEL ENSAYO					



GRÁFICAS



Probeta	FMax N	FYield N	FRot N	CMax MPa	C.Yield MPa	CRot MPa
1	3135,10	170,40	3135,10	23,76	1,29	23,76
2	4002,90	383,41	4002,90	30,29	2,90	30,29
3	3474,33	192,49	3474,33	26,43	1,46	26,43
4	3985,54	176,71	3985,54	31,06	1,38	31,06
5	3247,13	183,02	3247,13	25,03	1,41	25,03
Media	3569,000	221,206	3569,000	27,312	1,689	27,312
Desv. Std	407,003	91,041	407,003	3,224	0,681	3,224
Coef. V.	0,114	0,412	0,114	0,118	0,403	0,118
+3 Sigma	4790,010	494,330	4790,010	36,984	3,731	36,984

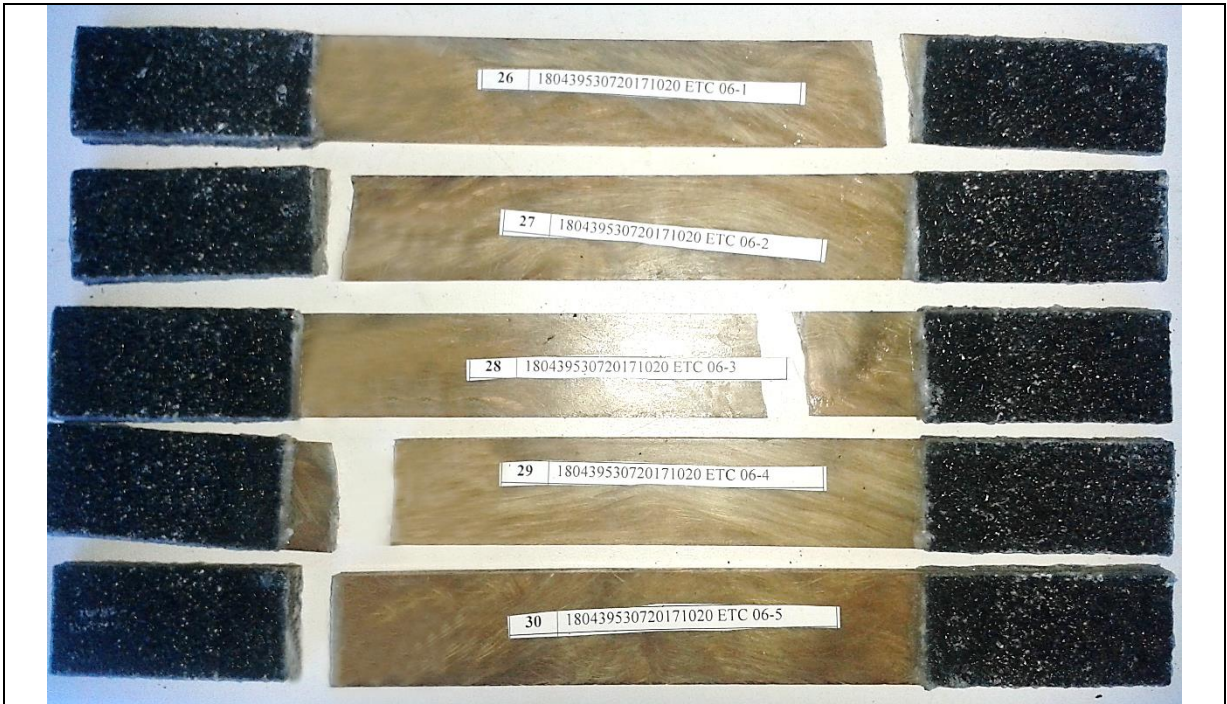


EVALUACIÓN		OBSERVACIÓN	
No se registra valores atípicos por lo que se trabaja con las 5 probetas ensayadas.		Las probetas 21 y 24 presentan fallas en la zona lateral media. Las probetas 22, 23, 25 presentan fallas en la zona superior lateral en el agarre.	
Esfuerzo Máximo de Tracción promedio (MPa)	27,31		
Módulo de Elasticidad Promedio (MPa)	1199,05		
Elaborado por	Christian Pazmiño	Aprobado por	Ing. Mg. Segundo Espín
Revisado por	Ing. Esteban López	Validado por	Ing. Mg. Segundo Espín

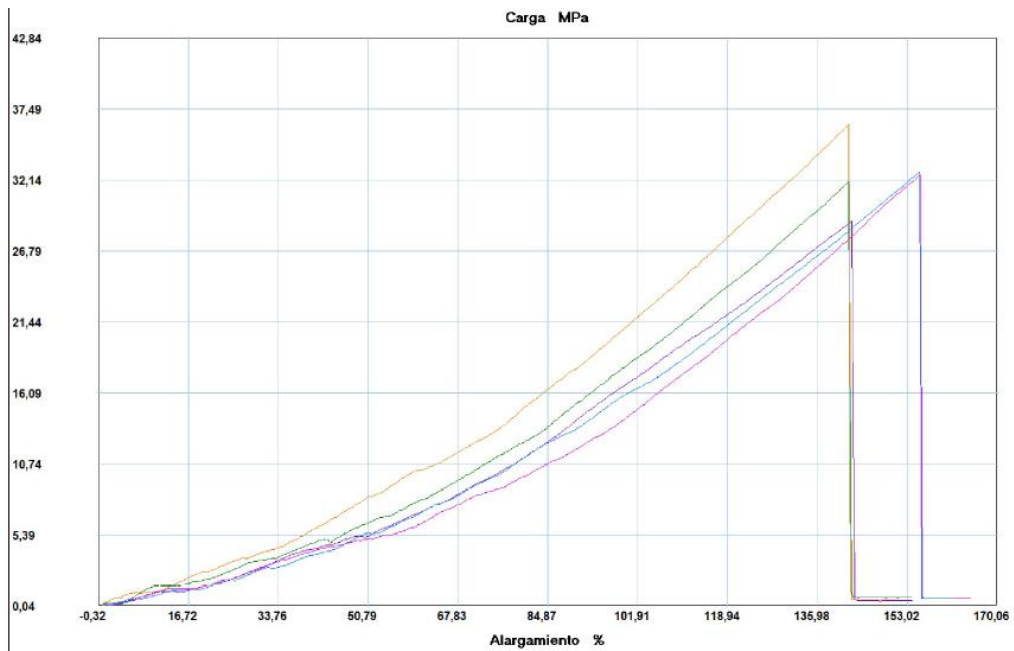
Fuente: El Autor

Tabla 4.15. Tabulación de datos grupo 6 probetas a tracción.

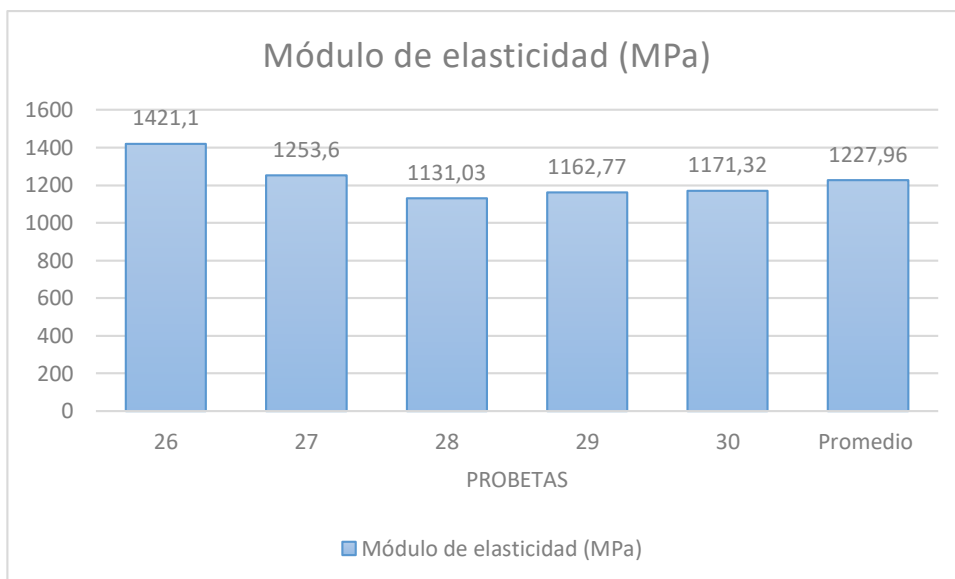
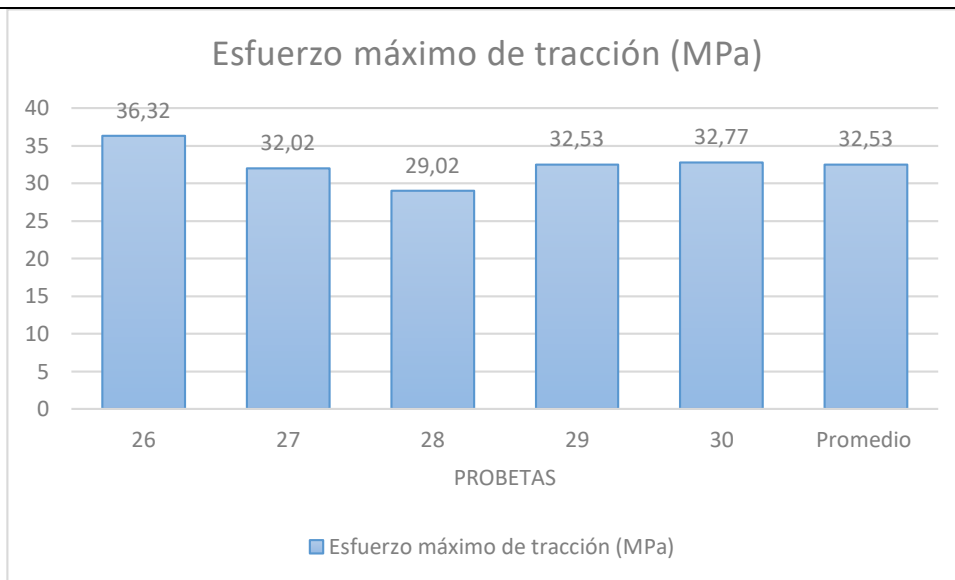
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA					
FICHA DE TABULACIÓN DE DATOS					
DATOS INFORMATIVOS					
Fecha	8/11/2017	Ciudad	Ambato		
Lugar	Centro de Fomento Productivo Metalmeccánico Carrocero				
Máquina	Máquina Universal de Ensayos Electromecánicos Metrotec MTE 50 KN				
PARÁMETROS DE ENSAYO DE TRACCIÓN					
Número de Probetas	5	Norma	ASTM D3039-15		
Refuerzo	Fibra de hoja de Yucca Elephantipes	Fracción Volumétrica (R)	30%		
Matriz	Resina poliéster	Fracción Volumétrica (M)	70%		
Configuración de la fibra	Longitudinal	Estratificación	Manual		
Dimensiones (mm)	250 x 25 x e	Temperatura	21 °C		
Espesor Promedio (mm)	5,92	Humedad Relativa	63%		
Velocidad de ensayo	10 mm/min	-	-		
RESULTADOS DEL ENSAYO					
Probeta	Carga Máxima (N)	Esfuerzo máximo de tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	% de Elongación	Tipo de Falla evaluado
26	4867,53	36,32	1421,10	2,56	LIT
27	4735	32,02	1253,60	2,55	LIT
28	4351,59	29,02	1131,03	2,57	LAT
29	4698,71	32,53	1162,77	2,80	LIT
30	5167,32	32,77	1171,32	2,80	LIT
Promedio \bar{X}	4764,03	32,53	1227,96	2,65	-
Desviación estándar S_{n-1}	295,20	2,60	117,06	0,13	-
Coefficiente de variación CV	6,20	7,99	9,53	4,93	-
FOTOGRAFÍA DEL ENSAYO					



GRÁFICAS



Probeta	FMax N	FYield N	FRot N	CMax MPa	C.Yield MPa	CRot MPa
1	4867,53	197,22	4867,53	36,32	1,47	36,32
2	4735,00	233,51	4735,00	32,02	1,58	32,02
3	4351,59	170,40	4351,59	29,02	1,14	29,02
4	4698,71	190,91	4698,71	32,53	1,32	32,53
5	5167,32	186,18	5167,32	32,77	1,18	32,77
Media	4764,030	195,644	4764,030	32,534	1,338	32,534
Desv. Std	295,200	23,375	295,200	2,598	0,188	2,598
Coef. V.	0,062	0,119	0,062	0,080	0,141	0,080
+3 Sigma	5649,629	265,769	5649,629	40,330	1,903	40,330



EVALUACIÓN		OBSERVACIÓN	
No se registra valores atípicos por lo que se trabaja con las 5 probetas ensayadas.		Las probetas 26, 27, 29, 30 presentan fallas en zona lateral superior dentro del agarre. La probeta 28 presenta falla en la zona superior lateral en el agarre.	
Esfuerzo Máximo de Tracción promedio (MPa)	32,53		
Módulo de Elasticidad Promedio (MPa)	1227,96		
Elaborado por	Christian Pazmiño	Aprobado por	Ing. Mg. Segundo Espín
Revisado por	Ing. Esteban López	Validado por	Ing. Mg. Segundo Espín

Fuente: El Autor

4.1.17. Nomenclatura de tipo de falla evaluado a Tracción

En la tabla 4.16 se indica el tipo de falla evaluado se lo realiza mediante las especificaciones de la norma ASTM D3039-2015.

Tabla 4.16. Nomenclatura tipo de falla a tracción.

Primer carácter		Segundo carácter		Tercer carácter	
L	Lateral	A	En el agarre	T	Parte Superior
L	Lateral	I	Dentro del Agarre	T	Parte Superior
A	Angular	G	Zona Calibrada	M	Medio

Fuente: El Autor

4.1.18. Tabulación de Datos del ensayo a flexión ASTM D7264-15

Tabla 4.17. Tabulación de datos grupo 1 probetas a flexión.

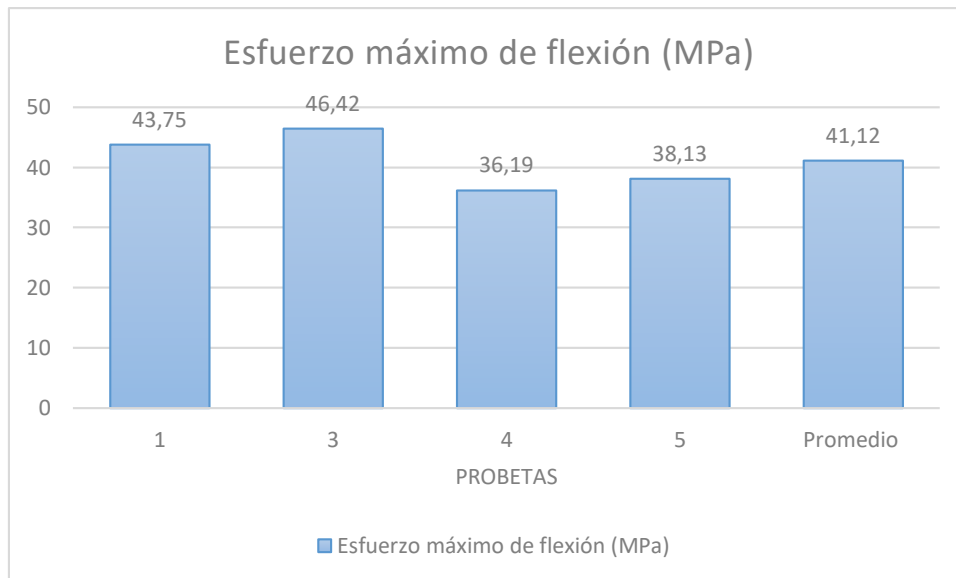
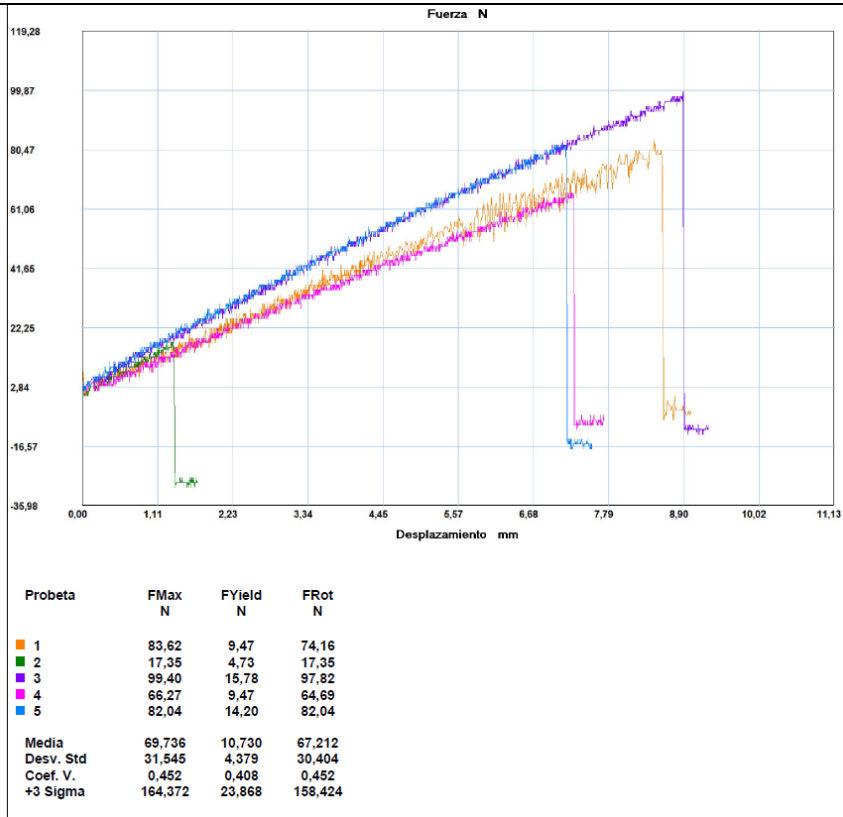
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA						
FICHA DE TABULACIÓN DE DATOS						
DATOS INFORMATIVOS						
Fecha	9/11/2017		Ciudad	Ambato		
Lugar	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero					
Máquina	Máquina Universal de Ensayos Electromecánicos MTE 50 KN					
PARÁMETROS DE ENSAYO A FLEXIÓN						
Número de Probetas	5		Norma	ASTM D7264-15		
Refuerzo	Fibra de hoja de Yucca Elephantipes		Fracción Volumétrica (R)	35%		
Matriz	Resina poliéster		Fracción Volumétrica (M)	65%		
Configuración de la fibra	Corta		Estratificación	Manual		
Dimensiones (mm)	160 x 13 x e		Temperatura	15 °C		
Espesor Promedio (mm)	5,74		Humedad Relativa	83%		
Velocidad de Ensayo	10 mm/min		Distancia entre apoyos	140 mm		
RESULTADOS DEL ENSAYO						
Probeta	Carga Máxima (N)	Deflexión (mm)	Esfuerzo máximo de flexión (MPa)	Módulo de flexión (MPa)	Deformación Máxima (%)	Tipo de Falla evaluado
1	83,62	8,46	43,75	3013,91	1,45	OAL

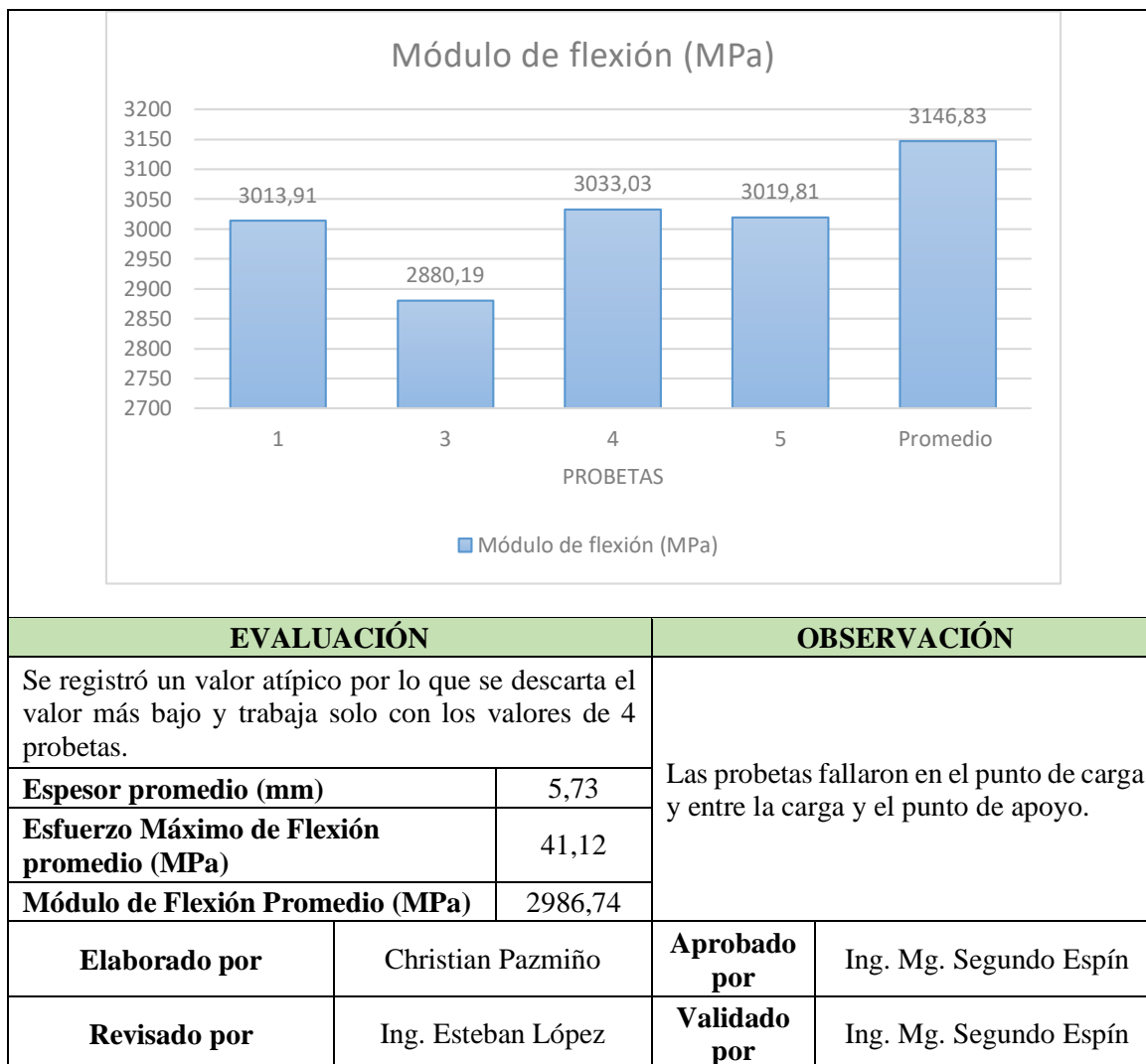
2	17,35	1,25	8,38	3787,21	0,22	OAL
3	99,4	8,894	46,42	2880,19	1,61	OAL
4	66,27	7,099	36,19	3033,03	1,19	OAL
5	82,04	6,991	38,13	3019,81	1,26	OAL
Promedio \bar{X}	69,74	6,54	34,57	3146,83	1,15	-
Desviación estándar S_{n-1}	31,55	3,07	15,22	363,29	0,54	-
Coefficiente de variación CV	45,24	46,97	44,01	11,54	47,34	-

FOTOGRAFÍA DEL ENSAYO



GRÁFICAS





Fuente: El Autor

Tabla 4.18. Tabulación de datos grupo 2 probetas a flexión.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA			
FICHA DE TABULACIÓN DE DATOS			
DATOS INFORMATIVOS			
Fecha	9/11/2017	Ciudad	Ambato
Lugar	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero		
Máquina	Máquina Universal de Ensayos Electromecánicos MTE 50 KN		
PARÁMETROS DE ENSAYO A FLEXIÓN			
Número de Probetas	5	Norma	ASTM D7264-15
Refuerzo	Fibra de hoja de Yucca Elephantipes	Fracción Volumétrica (R)	35%
Matriz	Resina poliéster	Fracción Volumétrica (M)	65%

Configuración de la fibra	Longitudinal	Estratificación	Manual
Dimensiones (mm)	160 x 13 x e	Temperatura	16 °C
Espesor Promedio (mm)	5,67	Humedad Relativa	83%
Velocidad de Ensayo	10 mm/min	Distancia entre apoyos	140 mm

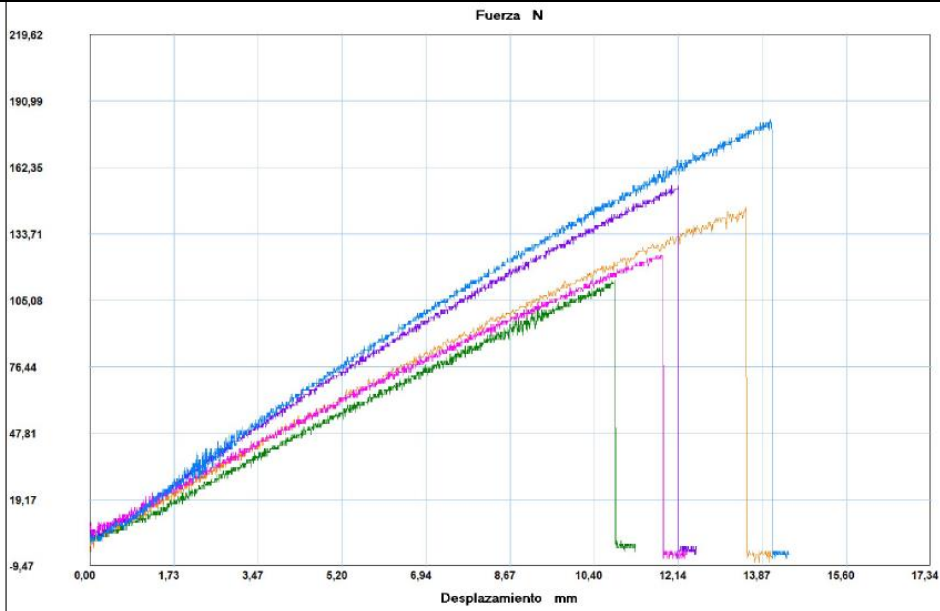
RESULTADOS DEL ENSAYO

Probeta	Carga Máxima (N)	Deflexión (mm)	Esfuerzo máximo de flexión (MPa)	Módulo de flexión (MPa)	Deformación Máxima (%)	Tipo de Falla evaluado
6	145,16	13,531	74,03	3129,89	2,37	OAL
7	113,6	10,763	61,93	3423,90	1,81	OAL
8	154,62	12,003	75,57	3570,78	2,12	OAL
9	124,65	11,682	66,51	3333,11	2,00	OAL
10	183,02	14,021	89,43	3598,49	2,49	OAL
Promedio \bar{X}	144,21	12,40	73,49	3411,23	2,15	-
Desviación estándar S_{n-1}	27,09	1,35	10,50	191,01	0,27	-
Coefficiente de variación CV	18,78	10,86	14,29	5,60	12,71	-

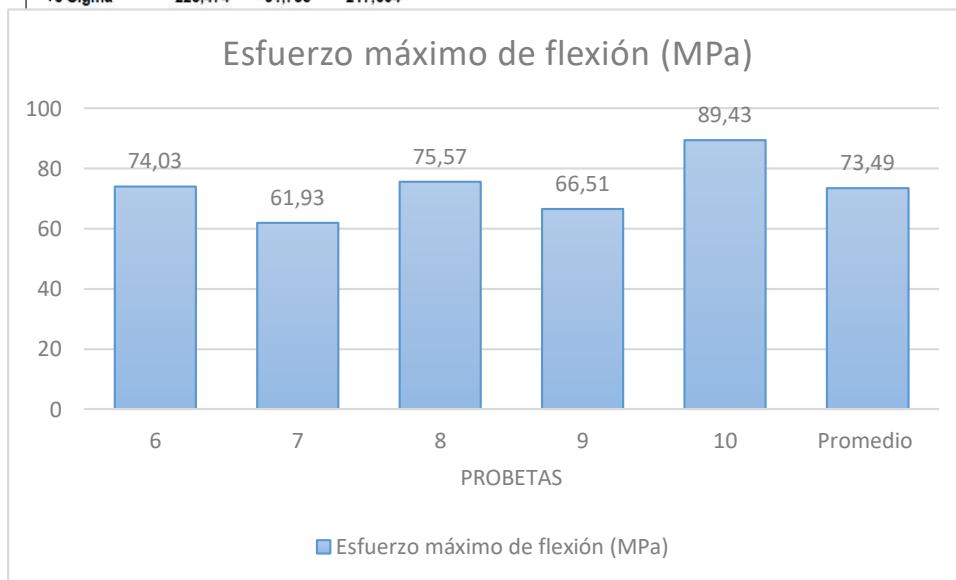
FOTOGRAFÍA DEL ENSAYO

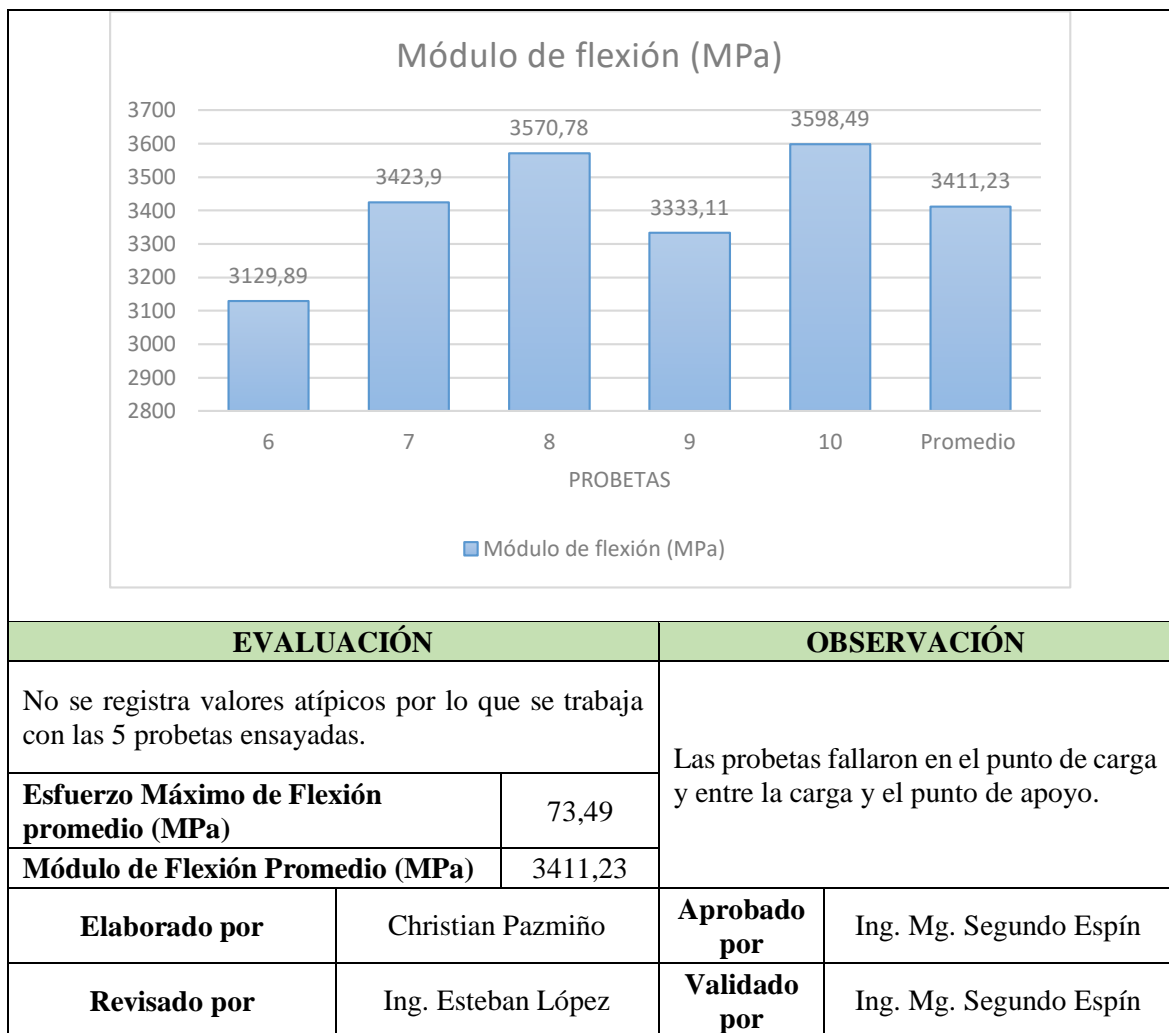


GRÁFICAS



Probeta	FMax N	FYield N	FRot N
1	145,16	11,04	145,16
2	113,60	12,62	113,60
3	154,62	18,93	154,62
4	124,65	20,51	124,65
5	183,02	22,09	176,71
Media	144,210	17,038	142,948
Desv. Std	27,088	4,916	24,885
Coef. V.	0,188	0,289	0,174
+3 Sigma	225,474	31,785	217,604





Fuente: El Autor

Tabla 4.19. Tabulación de datos grupo 3 probetas a flexión.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA			
FICHA DE TABULACIÓN DE DATOS			
DATOS INFORMATIVOS			
Fecha	9/11/2017	Ciudad	Ambato
Lugar	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero		
Máquina	Máquina Universal de Ensayos Electromecánicos MTE 50 KN		
PARÁMETROS DE ENSAYO A FLEXIÓN			
Número de Probetas	5	Norma	ASTM D7264-15
Refuerzo	Fibra de hoja de Yucca Elephantipes	Fracción Volumétrica (R)	25%
Matriz	Resina poliéster	Fracción Volumétrica (M)	75%

Configuración de la fibra	Corta	Estratificación	Manual
Dimensiones (mm)	160 x 13 x e	Temperatura	16 °C
Espesor Promedio (mm)	5,34	Humedad Relativa	82%
Velocidad de Ensayo	10 mm/min	Distancia entre apoyos	140 mm

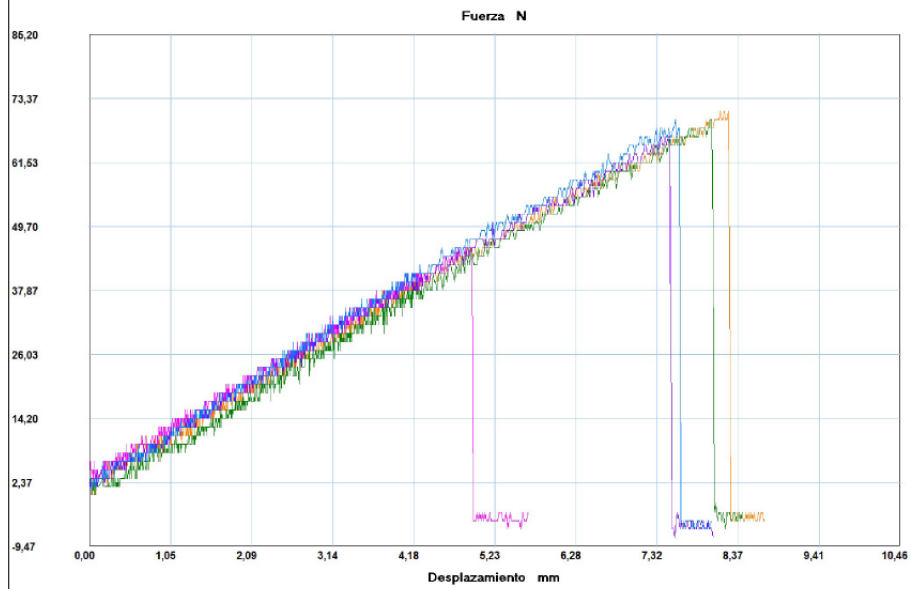
RESULTADOS DEL ENSAYO

Probeta	Carga Máxima (N)	Deflexión (mm)	Esfuerzo máximo de flexión (MPa)	Módulo de flexión (MPa)	Deformación Máxima (%)	Tipo de Falla evaluado
11	71	8,134	41,40	3113,52	1,33	OLB
12	69,42	8,012	39,96	3034,27	1,32	OLB
13	66,27	7,373	37,99	3145,76	1,21	OLB
14	45,76	4,753	26,59	3434,92	0,77	OLB
15	69,42	7,56	39,33	3182,14	1,24	OLB
Promedio \bar{X}	64,37	7,17	37,05	3182,12	1,17	-
Desviación estándar S_{n-1}	10,55	1,39	5,98	151,49	0,23	-
Coefficiente de variación CV	16,38	19,33	16,13	4,76	19,52	-

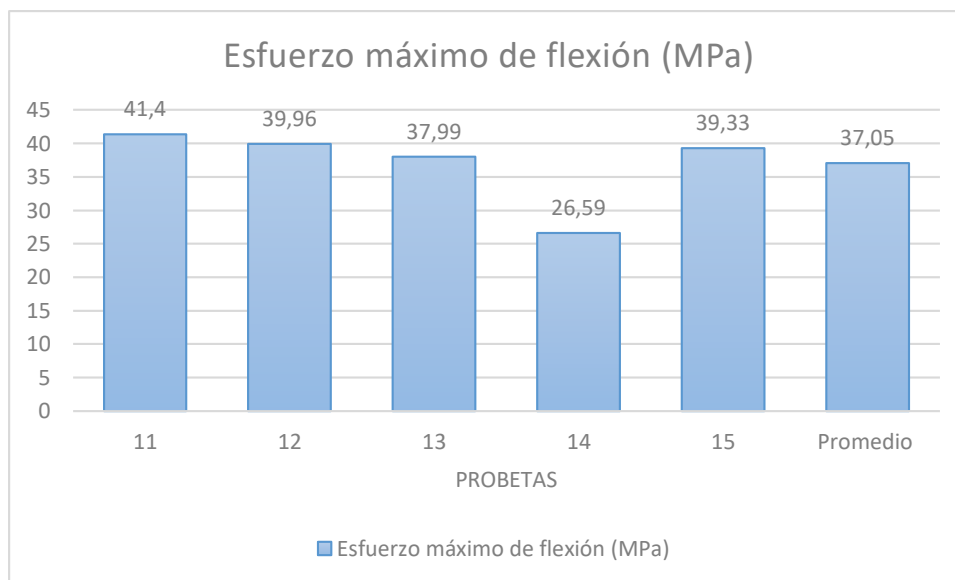
FOTOGRAFÍA DEL ENSAYO

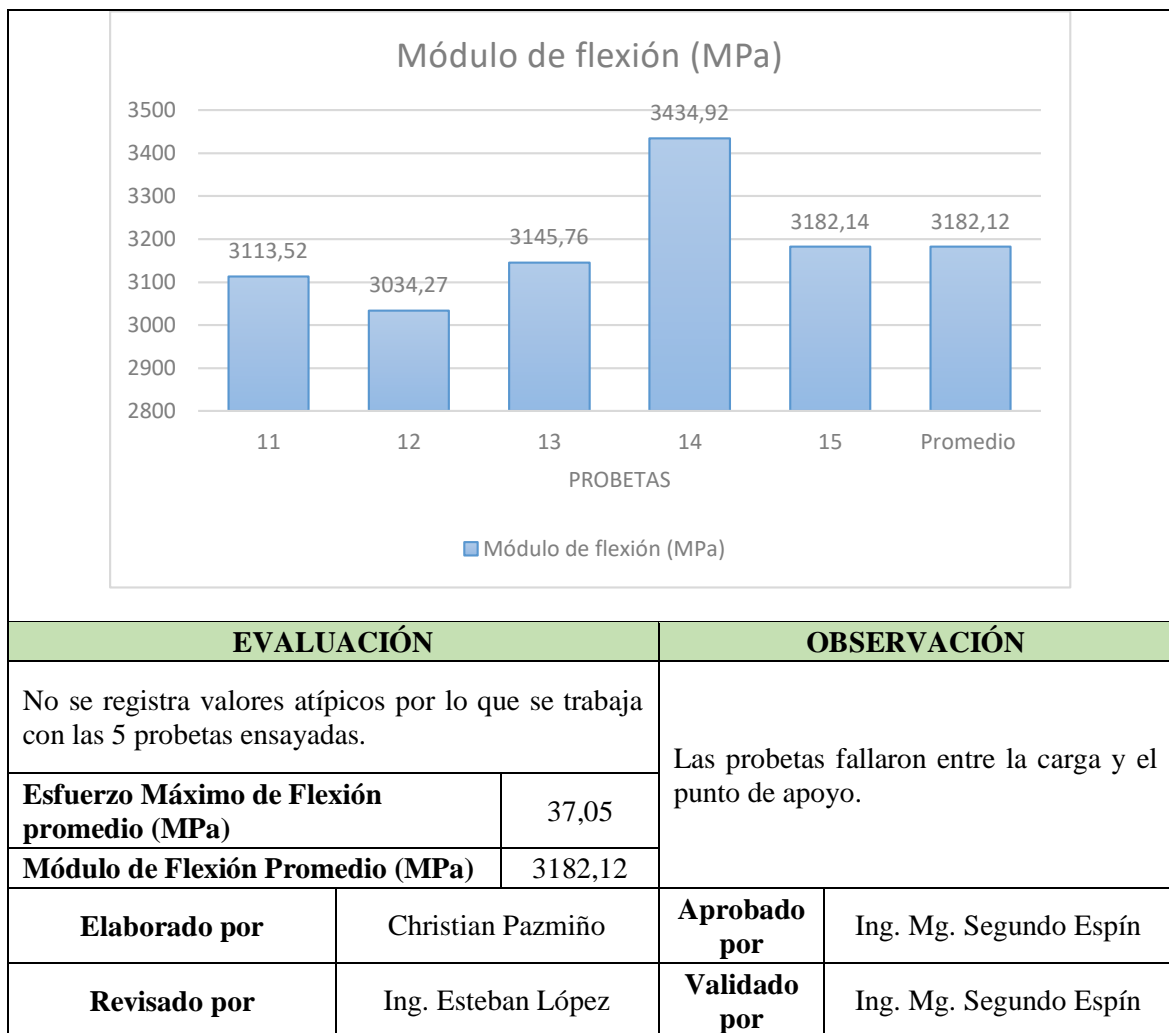


GRÁFICAS



Probeta	FMax N	FYield N	FRot N
1	71,00	9,47	71,00
2	69,42	6,31	69,42
3	66,27	7,89	66,27
4	45,76	9,47	45,76
5	69,42	7,89	67,84
Media	64,374	8,206	64,058
Dev. Std	10,546	1,322	10,380
Coef. V.	0,164	0,161	0,162
+3 Sigma	96,013	12,172	95,197





Fuente: El Autor

Tabla 4.20. Tabulación de datos grupo 4 probetas a flexión.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA			
FICHA DE TABULACIÓN DE DATOS			
DATOS INFORMATIVOS			
Fecha	9/11/2017	Ciudad	Ambato
Lugar	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero		
Máquina	Máquina Universal de Ensayos Electromecánicos MTE 50 KN		
PARÁMETROS DE ENSAYO A FLEXIÓN			
Número de Probetas	5	Norma	ASTM D7264-15
Refuerzo	Fibra de hoja de Yucca Elephantipes	Fracción Volumétrica (R)	25%
Matriz	Resina poliéster	Fracción Volumétrica (M)	75%

Configuración de la fibra	Longitudinal	Estratificación	Manual
Dimensiones (mm)	160 x 13 x e	Temperatura	17 °C
Espesor Promedio (mm)	5,43	Humedad Relativa	82%
Velocidad de Ensayo	10 mm/min	Distancia entre apoyos	140 mm

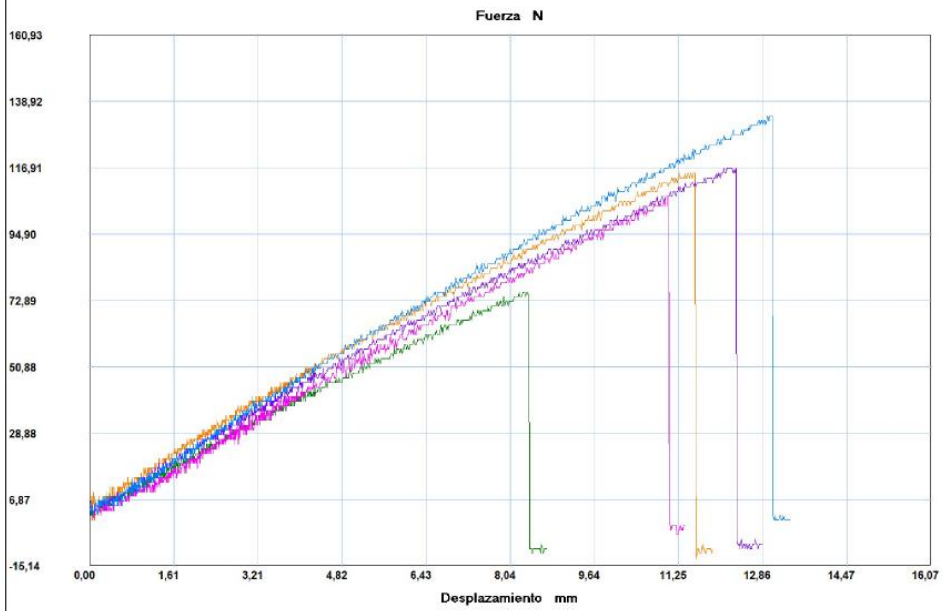
RESULTADOS DEL ENSAYO

Probeta	Carga Máxima (N)	Deflexión (mm)	Esfuerzo máximo de flexión (MPa)	Módulo de flexión (MPa)	Deformación Máxima (%)	Tipo de Falla evaluado
16	115,18	11,263	35,23	3251,02	1,90	OBV
17	75,73	8,207	25,76	3405,43	1,32	OBV
18	116,76	12,116	36,83	3206,21	2,01	OAL
19	107,29	11,006	34,17	3250,34	1,84	OAL
20	134,11	12,953	41,26	3299,04	2,19	OAL
Promedio \bar{X}	109,81	11,11	34,65	3282,41	1,85	-
Desviación estándar S_{n-1}	21,42	1,79	5,66	76,21	0,32	-
Coefficiente de variación CV	19,51	16,15	16,33	2,32	17,49	-

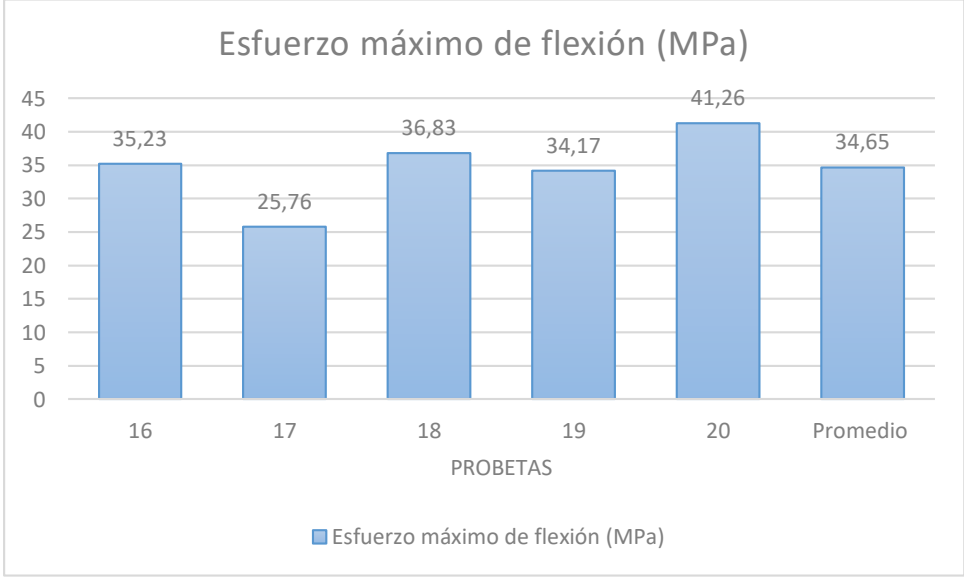
FOTOGRAFÍA DEL ENSAYO



GRÁFICAS



Probeta	FMax N	FYield N	FRot N
1	115,18	12,62	115,18
2	75,73	9,47	74,16
3	116,76	11,04	116,76
4	107,29	7,89	107,29
5	134,11	11,04	134,11
Media	109,814	10,412	109,500
Desv. Std	21,421	1,797	22,048
Coef. V.	0,195	0,173	0,201
+3 Sigma	174,077	15,802	175,643



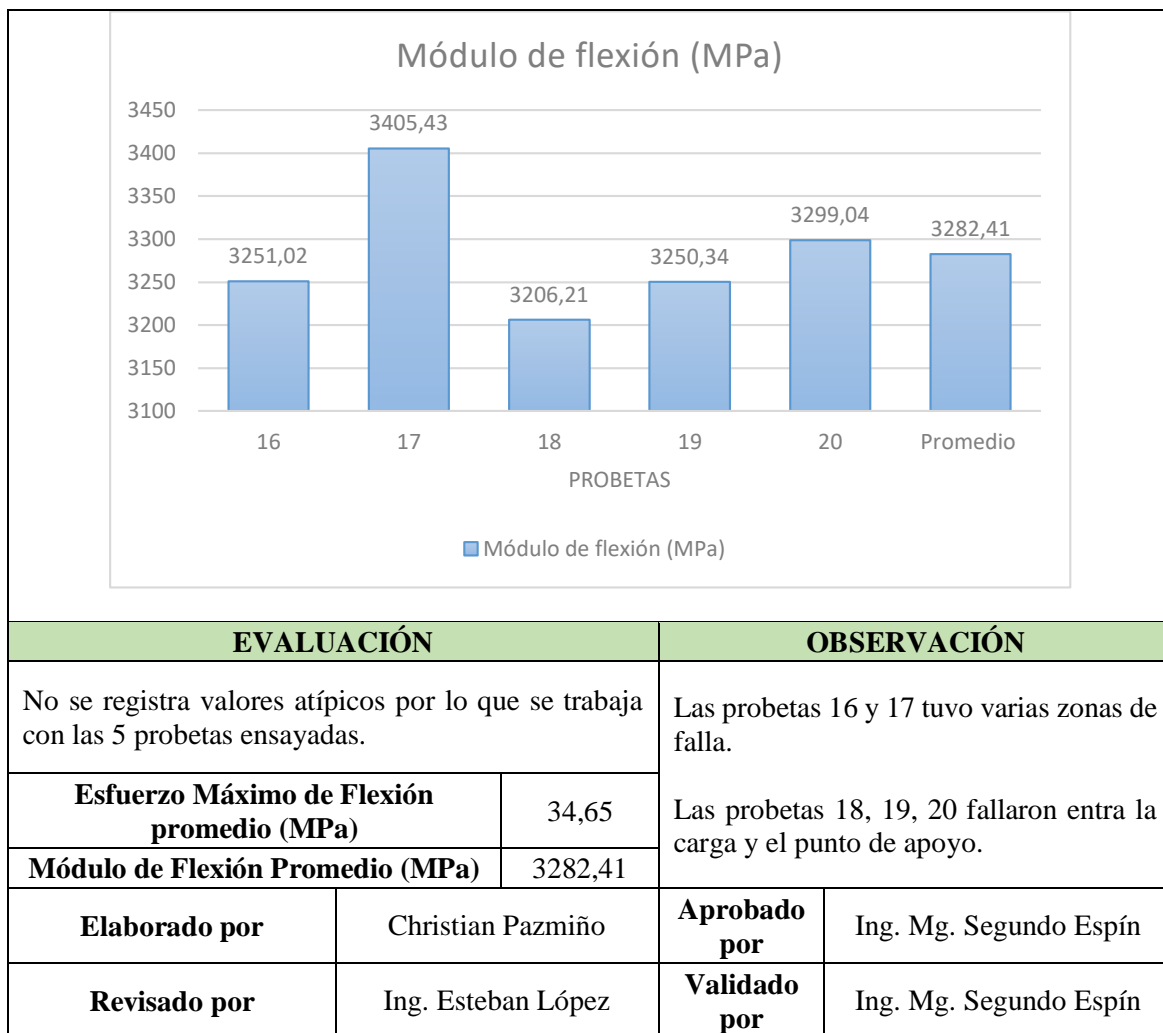


Tabla 4.21. Tabulación de datos grupo 5 probetas a flexión.

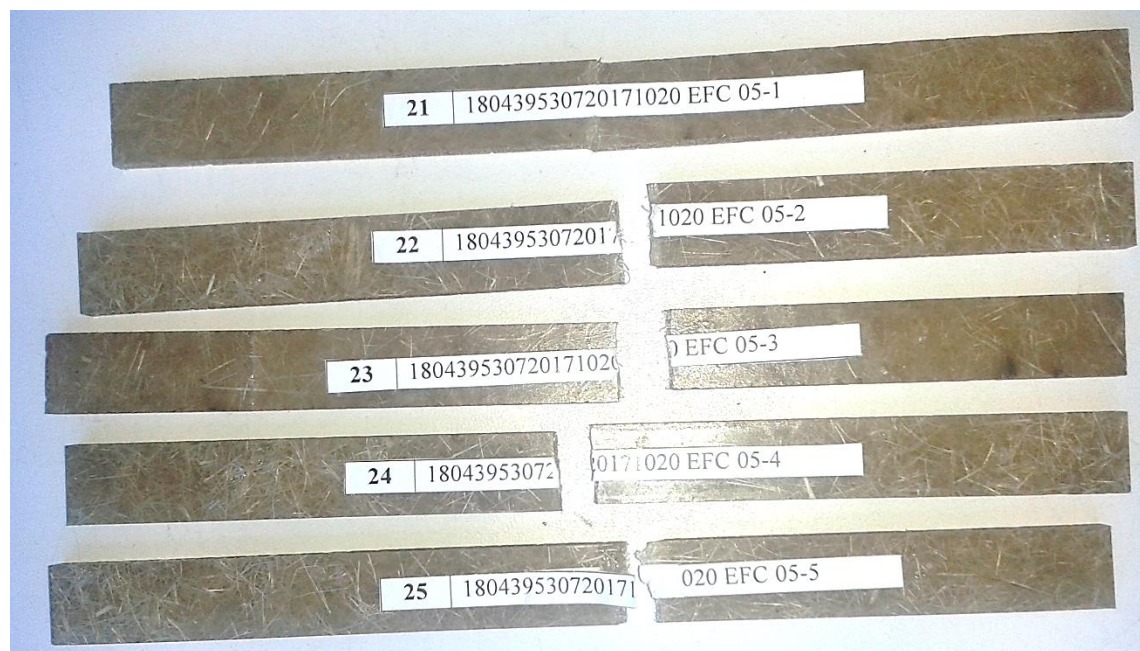
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA			
FICHA DE TABULACIÓN DE DATOS			
DATOS INFORMATIVOS			
Fecha	9/11/2017	Ciudad	Ambato
Lugar	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero		
Máquina	Máquina Universal de Ensayos Electromecánicos MTE 50 KN		
PARÁMETROS DE ENSAYO A FLEXIÓN			
Número de Probetas	5	Norma	ASTM D7264-15
Refuerzo	Fibra de hoja de Yucca Elephantipes	Fracción Volumétrica (R)	30%
Matriz	Resina poliéster	Fracción Volumétrica (M)	70%

Configuración de la fibra	Corta	Estratificación	Manual
Dimensiones (mm)	160 x 13 x e	Temperatura	17 °C
Espesor Promedio (mm)	5,06	Humedad Relativa	72%
Velocidad de Ensayo	10 mm/min	Distancia entre apoyos	140 mm

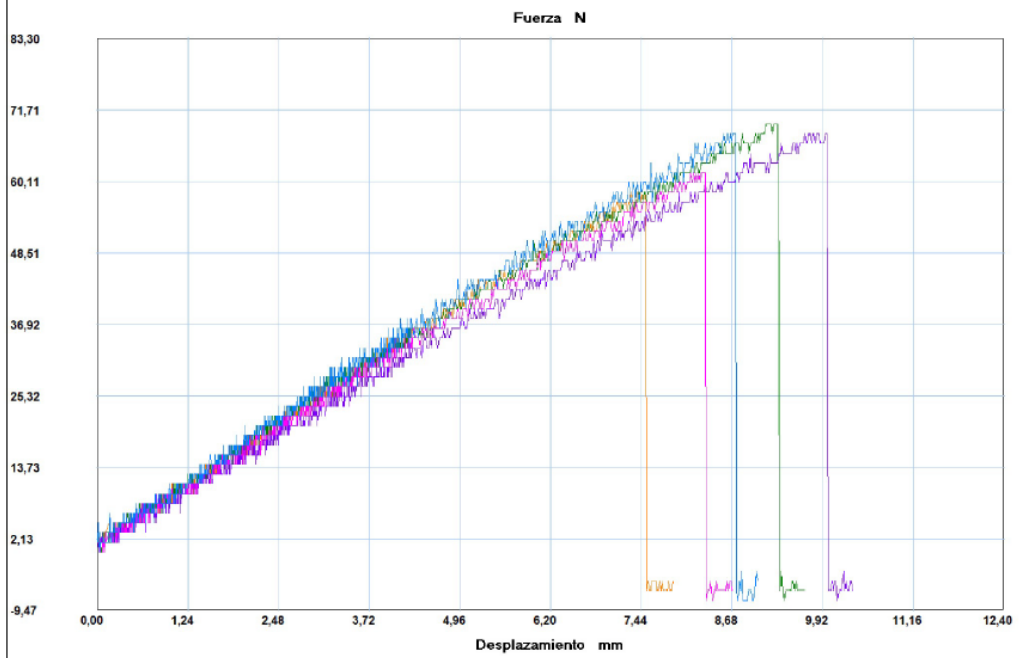
RESULTADOS DEL ENSAYO

Probeta	Carga Máxima (N)	Deflexión (mm)	Esfuerzo máximo de flexión (MPa)	Módulo de flexión (MPa)	Deformación Máxima (%)	Tipo de Falla evaluado
21	58,38	7,299	36,78	3252,84	1,13	OAV
22	69,42	9,142	44,07	3118,55	1,41	OAV
23	67,84	9,675	44,48	2997,75	1,48	OAV
24	61,53	8,115	39,74	3148,91	1,26	OAV
25	67,84	8,565	42,76	3191,31	1,34	OAV
Promedio \bar{X}	65,00	8,56	41,57	3141,87	1,33	-
Desviación estándar S_{n-1}	4,78	0,92	3,26	95,03	0,14	-
Coefficiente de variación CV	7,36	10,72	7,84	3,02	10,33	-

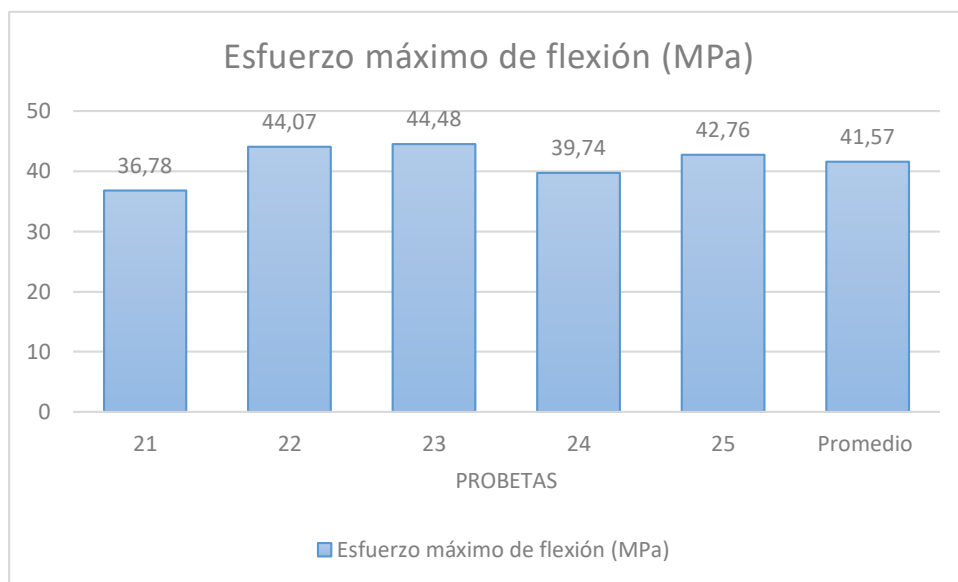
FOTOGRAFÍA DEL ENSAYO

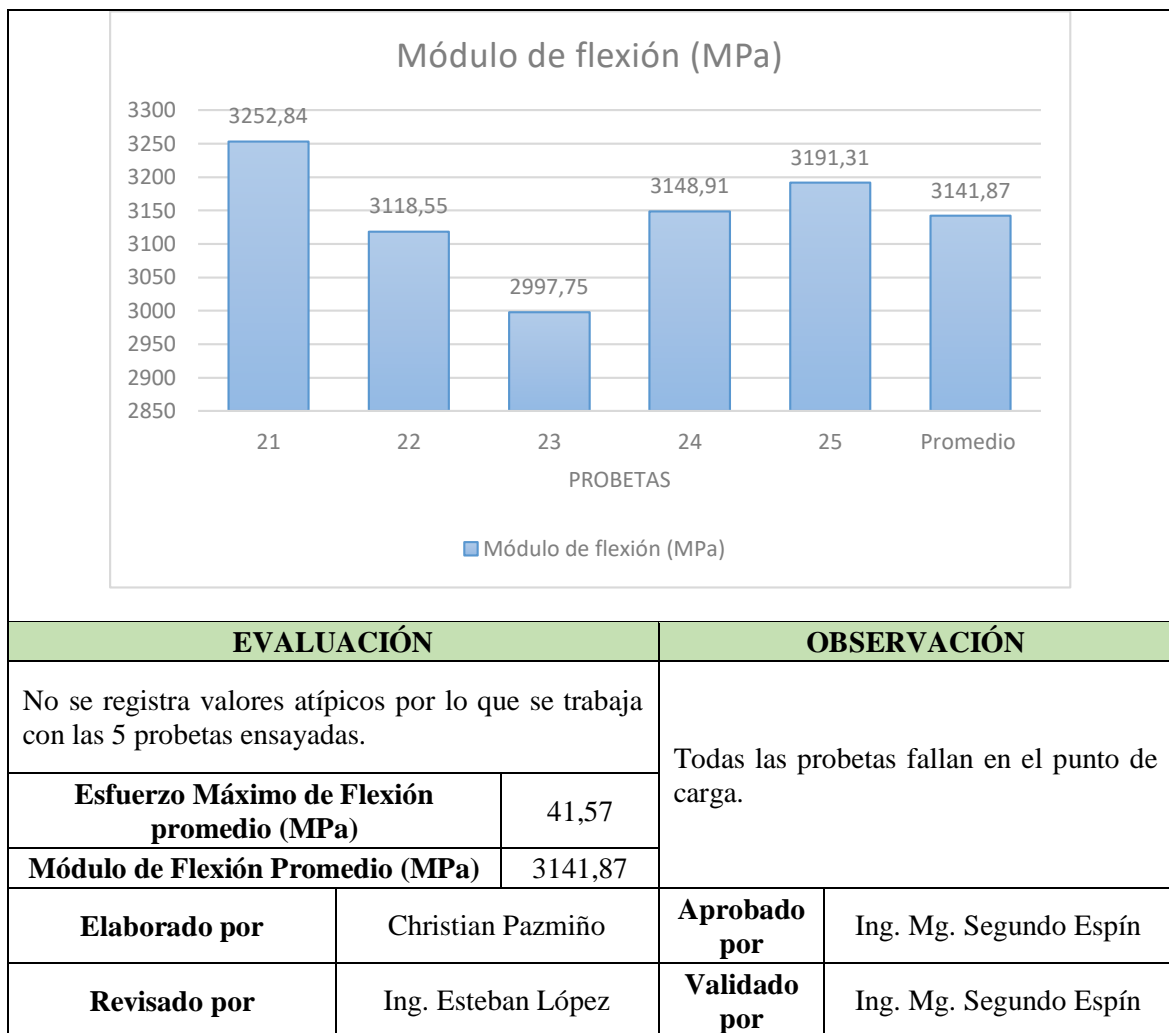


GRÁFICAS



Probeta	FMax N	FYield N	FRot N
1	58,38	6,31	56,80
2	69,42	7,89	69,42
3	67,84	7,89	67,84
4	61,53	6,31	61,53
5	67,84	7,89	67,84
Media	65,002	7,258	64,686
Desv. Std	4,784	0,865	5,349
Coef. V.	0,074	0,119	0,083
+3 Sigma	79,353	9,854	80,734





Fuente: El Autor

Tabla 4.22. Tabulación de datos grupo 6 probetas a flexión.

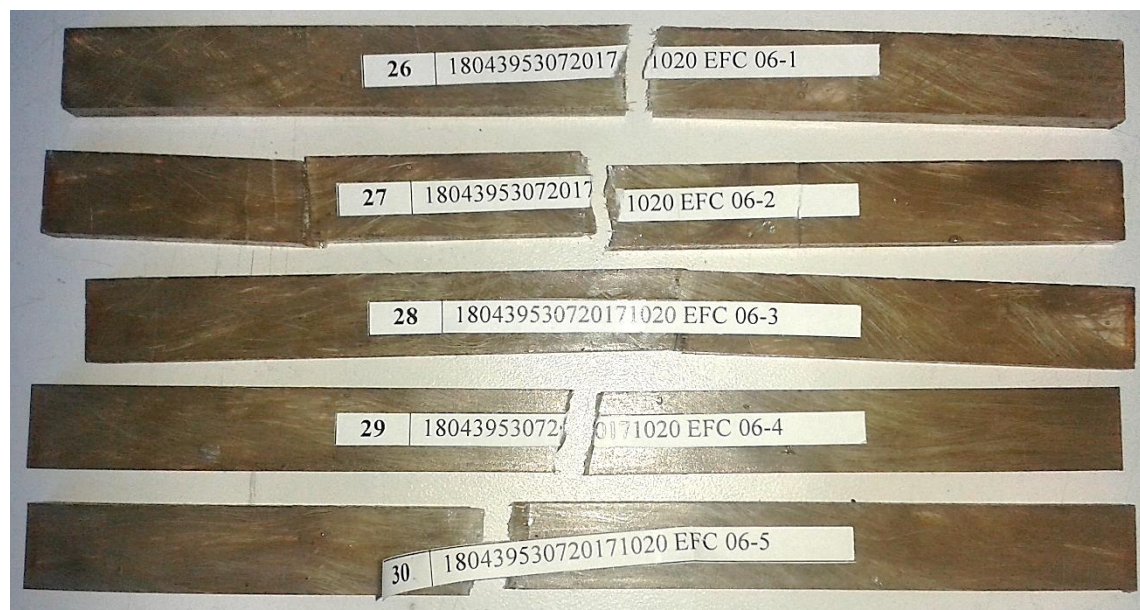
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA			
FICHA DE TABULACIÓN DE DATOS			
DATOS INFORMATIVOS			
Fecha	9/11/2017	Ciudad	Ambato
Lugar	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero		
Máquina	Máquina Universal de Ensayos Electromecánicos MTE 50 KN		
PARÁMETROS DE ENSAYO A FLEXIÓN			
Número de Probetas	5	Norma	ASTM D7264-15
Refuerzo	Fibra de hoja de Yucca Elephantipes	Fracción Volumétrica (R)	30%
Matriz	Resina poliéster	Fracción Volumétrica (M)	70%

Configuración de la fibra	Longitudinal	Estratificación	Manual
Dimensiones (mm)	160 x 13 x e	Temperatura	17 °C
Espesor Promedio (mm)	5,896	Humedad Relativa	75%
Velocidad de Ensayo	10 mm/min	Distancia entre apoyos	140 mm

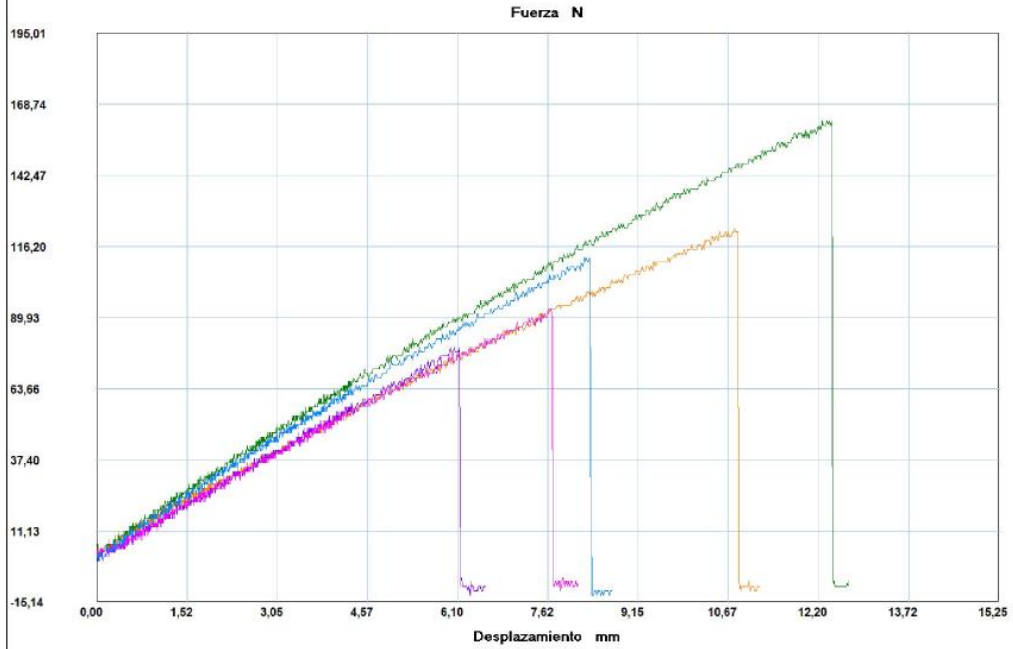
RESULTADOS DEL ENSAYO

Probeta	Carga Máxima (N)	Deflexión (mm)	Esfuerzo máximo de flexión (MPa)	Módulo de flexión (MPa)	Deformación Máxima (%)	Tipo de Falla evaluado
26	123,07	10,778	63,15	3375,67	1,87	OAV
27	162,51	12,265	72,98	3196,95	2,28	OAV
28	78,89	5,971	37,65	3491,37	1,08	OAV
29	93,09	7,64	44,93	3295,48	1,36	OAV
30	112,02	8,239	50,46	3334,43	1,51	OBV
Promedio \bar{X}	113,92	8,98	53,84	3338,78	1,62	-
Desviación estándar S_{n-1}	32,05	2,52	14,19	108,00	0,47	-
Coefficiente de variación CV	28,14	28,08	26,36	3,23	28,80	-

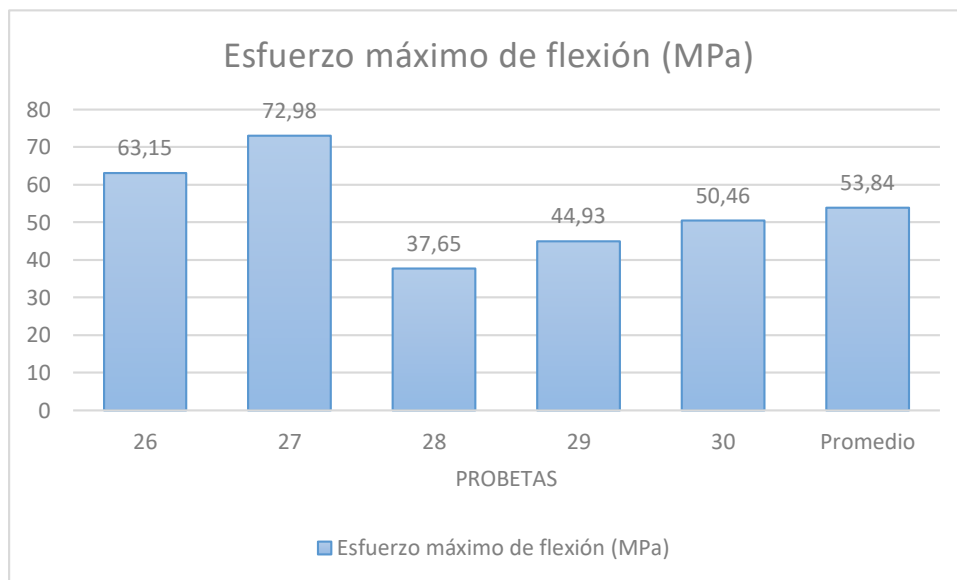
FOTOGRAFÍA DEL ENSAYO

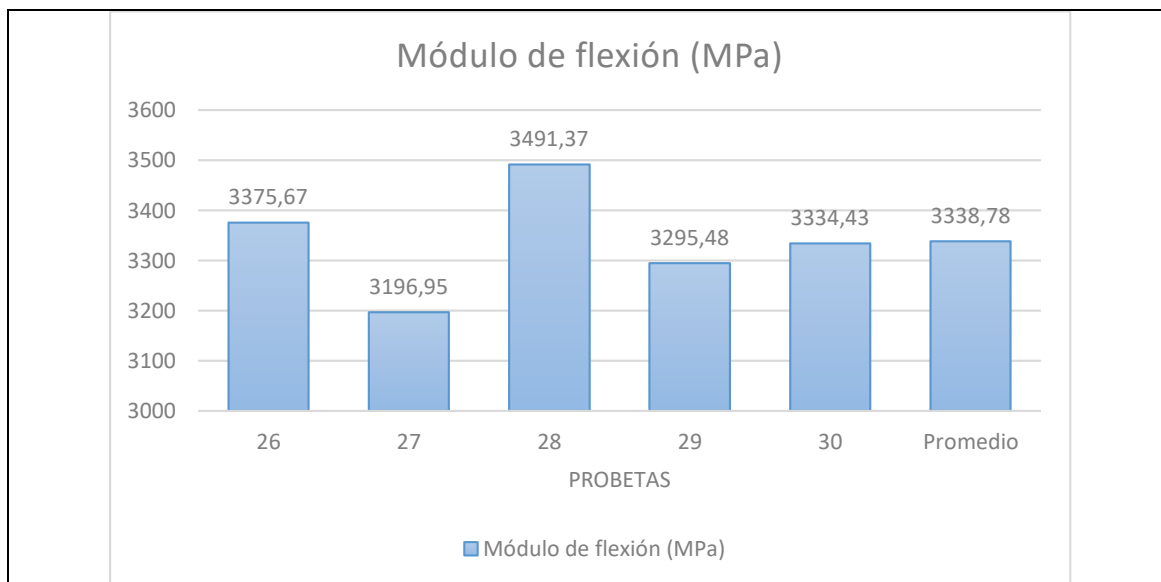


GRÁFICAS



Probeta	FMax N	FYield N	FRot N
1	123,07	14,20	121,49
2	162,51	15,78	162,51
3	78,89	7,89	78,89
4	93,09	9,47	89,93
5	112,02	12,62	112,02
Media	113,916	11,992	112,968
Desv. Std	32,052	3,271	32,481
Coef. V.	0,281	0,273	0,288
+3 Sigma	210,072	21,806	210,410





EVALUACIÓN		OBSERVACIÓN	
No se registra valores atípicos por lo que se trabaja con las 5 probetas ensayadas.		Las probetas 26, 27, 28, 29 fallan en el punto de carga.	
Esfuerzo Máximo de Flexión promedio (MPa)	53,84	La probeta 30 tiene varias zonas de falla.	
Módulo de Flexión Promedio (MPa)	3338,78		
Elaborado por	Christian Pazmiño	Aprobado por	Ing. Mg. Segundo Espín
Revisado por	Ing. Esteban López	Validado por	Ing. Mg. Segundo Espín

Fuente: El Autor

4.1.19. Nomenclatura de tipo de falla evaluado Flexión

En la tabla 4.23 se indica el tipo de falla evaluado se lo realiza mediante las especificaciones de la norma ASTM D7264-2015.

Tabla 4.23. Nomenclatura tipo de falla a flexión.

Primer carácter		Segundo carácter		Tercer carácter	
O	Otros	A	En el punto de carga	B	Fondo
O	Otros	L	Entre la carga y el punto de apoyo	V	Varios

Fuente: El Autor

4.1.20. Tabulación de Datos del ensayo a impacto ASTM D5628-10

Tabla 4.24. Tabulación de datos grupo 1 probetas a impacto.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA					
FICHA DE TABULACIÓN DE DATOS					
DATOS INFORMATIVOS					
Fecha	15/11/2017	Ciudad	Ambato		
Lugar	Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica				
Máquina	Equipo de ensayo a impacto por caída de dardo				
PARÁMETROS DE ENSAYO A IMPACTO					
Número de Probetas	5	Norma	ASTM D5628-10		
Refuerzo	Fibra de hoja de Yucca Elephantipes	Fracción Volumétrica (R)	35%		
Matriz	Resina poliéster	Fracción Volumétrica (M)	65%		
Configuración de la fibra	Corta	Estratificación	Manual		
Dimensiones (mm)	58 x 58 x e	Temperatura	20 °C		
Espesor Promedio (mm)	5,51	Humedad Relativa	35%		
Diámetro del Dardo (mm)	20	Geometría del Dardo	FE		
RESULTADOS DEL ENSAYO					
Probeta	Altura en (mm)	Peso (Kg)	Coefficiente f	Energía de impacto MEF (J)	Tipo de Falla
1	600	0,2303	0,00980665	1,355	A
2	590	0,2303	0,00980665	1,332	A
3	580	0,2303	0,00980665	1,310	A
4	570	0,2303	0,00980665	1,287	A
5	580	0,2303	0,00980665	1,310	B
Promedio \bar{X}	584	0,2303	0,00980665	1,319	-
Desviación estándar S_{n-1}	-	-	-	0,023	-
Coefficiente de variación CV	-	-	-	0,017	-

FOTOGRAFÍAS DEL ENSAYO

Cara Frontal



Cara Posterior



Energía Promedio Absorbida (J)	1,319		
Inicio de la falla	Las probetas de la 1 a la 4 en una sola superficie, la probeta 5 tiene grietas que penetran todo el espesor de la placa.		
Elaborado por	Christian Pazmiño	Aprobado por	Ing. Mg. Segundo Espín
Revisado por	Ing. Mg. Segundo Espín	Validado por	Ing. Mg. Segundo Espín

Fuente: El Autor

Tabla 4.25. Tabulación de datos grupo 2 probetas a impacto.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA					
FICHA DE TABULACIÓN DE DATOS					
DATOS INFORMATIVOS					
Fecha	15/11/2017	Ciudad	Ambato		
Lugar	Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica				
Máquina	Equipo de ensayo a impacto por caída de dardo				
PARÁMETROS DE ENSAYO A IMPACTO					
Número de Probetas	5	Norma	ASTM D5628-10		
Refuerzo	Fibra de hoja de Yucca Elephantipes	Fracción Volumétrica (R)	35%		
Matriz	Resina poliéster	Fracción Volumétrica (M)	65%		
Configuración de la fibra	Longitudinal	Estratificación	Manual		
Dimensiones (mm)	58 x 58 x e	Temperatura	20 °C		
Espesor Promedio (mm)	5,36	Humedad Relativa	35%		
Diámetro del Dardo (mm)	20	Geometría del Dardo	FE		
RESULTADOS DEL ENSAYO					
Probeta	Altura en (mm)	Peso (Kg)	Coficiente f	Energía de impacto MEF (J)	Tipo de Falla
6	580	0,2303	0,00980665	1,310	B
7	570	0,2303	0,00980665	1,287	B
8	560	0,2303	0,00980665	1,265	A
9	550	0,2303	0,00980665	1,242	B
10	540	0,2303	0,00980665	1,220	A
Promedio \bar{X}	560	-	-	1,265	-
Desviación estándar S_{n-1}	-	-	-	0,032	-
Coficiente de variación CV	-	-	-	0,025	-
FOTOGRAFÍAS DEL ENSAYO					
Cara Frontal					



Cara Posterior



Energía Promedio Absorbida (J)	1,265		
Inicio de la falla	Las probetas 6, 7, 9 tienen grietas que penetran todo el espesor de la placa, las probetas 8 y 10 tienen grietas en una sola superficie.		
Elaborado por	Christian Pazmiño	Aprobado por	Ing. Mg. Segundo Espín

Revisado por	Ing. Mg. Segundo Espín	Validado por	Ing. Mg. Segundo Espín
---------------------	------------------------	---------------------	------------------------

Fuente: El Autor

Tabla 4.26. Tabulación de datos grupo 3 probetas a impacto.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA					
FICHA DE TABULACIÓN DE DATOS					
DATOS INFORMATIVOS					
Fecha	15/11/2017	Ciudad	Ambato		
Lugar	Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica				
Máquina	Equipo de ensayo a impacto por caída de dardo				
PARÁMETROS DE ENSAYO A IMPACTO					
Número de Probetas	5	Norma	ASTM D5628-10		
Refuerzo	Fibra de hoja de Yucca Elephantipes	Fracción Volumétrica (R)	25%		
Matriz	Resina poliéster	Fracción Volumétrica (M)	75%		
Configuración de la fibra	Corta	Estratificación	Manual		
Dimensiones (mm)	58 x 58 x e	Temperatura	20 °C		
Espesor Promedio (mm)	5,16	Humedad Relativa	35%		
Diámetro del Dardo (mm)	20	Geometría del Dardo	FE		
RESULTADOS DEL ENSAYO					
Probeta	Altura en (mm)	Peso (Kg)	Coficiente f	Energía de impacto MEF (J)	Tipo de Falla
11	540	0,2303	0,00980665	1,22	A
12	530	0,2303	0,00980665	1,197	A
13	510	0,2303	0,00980665	1,152	A
14	490	0,2303	0,00980665	1,107	A
15	470	0,2303	0,00980665	1,061	A
Promedio \bar{X}	508	-	-	1,147	-
Desviación estándar S_{n-1}	-	-	-	0,058	-

Coefficiente de variación CV	-	-	-	0,050	-
-------------------------------------	---	---	---	-------	---

FOTOGRAFÍAS DEL ENSAYO

Cara Frontal



Cara Posterior



Energía Promedio Absorbida (J)	1,147		
Inicio de la falla	Todas las probetas tienen grietas en una sola superficie.		
Elaborado por	Christian Pazmiño	Aprobado por	Ing. Mg. Segundo Espín
Revisado por	Ing. Mg. Segundo Espín	Validado por	Ing. Mg. Segundo Espín

Fuente: El Autor

Tabla 4.27. Tabulación de datos grupo 4 probetas a impacto.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA					
FICHA DE TABULACIÓN DE DATOS					
DATOS INFORMATIVOS					
Fecha	15/11/2017	Ciudad	Ambato		
Lugar	Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica				
Máquina	Equipo de ensayo a impacto por caída de dardo				
PARÁMETROS DE ENSAYO A IMPACTO					
Número de Probetas	5	Norma	ASTM D5628-10		
Refuerzo	Fibra de hoja de Yucca Elephantipes	Fracción Volumétrica (R)	25%		
Matriz	Resina poliéster	Fracción Volumétrica (M)	75%		
Configuración de la fibra	Longitudinal	Estratificación	Manual		
Dimensiones (mm)	58 x 58 x e	Temperatura	20 °C		
Espesor Promedio (mm)	5,27	Humedad Relativa	35%		
Diámetro del Dardo (mm)	20	Geometría del Dardo	FE		
RESULTADOS DEL ENSAYO					
Probeta	Altura en (mm)	Peso (Kg)	Coefficiente f	Energía de impacto MEF (J)	Tipo de Falla
16	470	0,2303	0,00980665	1,061	A
17	450	0,2303	0,00980665	1,016	B


18	430	0,2303	0,00980665	0,971	A
19	410	0,2303	0,00980665	0,926	A
20	390	0,2303	0,00980665	0,881	A
Promedio \bar{X}	430	-	-	0,971	-
Desviación estándar S_{n-1}	-	-	-	0,064	-
Coefficiente de variación CV	-	-	-	0,066	-

FOTOGRAFÍAS DEL ENSAYO

Cara Frontal



Cara Posterior

			
Energía Promedio Absorbida (J)	0,971		
Inicio de la falla	Las probetas 16, 18, 19, 20 tienen grietas en una sola superficie, la probeta 17 tiene grietas que penetran todo el espesor de la placa.		
Elaborado por	Christian Pazmiño	Aprobado por	Ing. Mg. Segundo Espín
Revisado por	Ing. Mg. Segundo Espín	Validado por	Ing. Mg. Segundo Espín

Fuente: El Autor

Tabla 4.28. Tabulación de datos grupo 5 probetas a impacto.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA			
FICHA DE TABULACIÓN DE DATOS			
DATOS INFORMATIVOS			
Fecha	15/11/2017	Ciudad	Ambato
Lugar	Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica		
Máquina	Equipo de ensayo a impacto por caída de dardo		
PARÁMETROS DE ENSAYO A IMPACTO			
Número de Probetas	5	Norma	ASTM D5628-10
Refuerzo	Fibra de hoja de Yucca Elephantipes	Fracción Volumétrica (R)	30%

Matriz	Resina poliéster	Fracción Volumétrica (M)	70%
Configuración de la fibra	Corta	Estratificación	Manual
Dimensiones (mm)	58 x 58 x e	Temperatura	20 °C
Espesor Promedio (mm)	5,27	Humedad Relativa	35%
Diámetro del Dardo (mm)	20	Geometría del Dardo	FE

RESULTADOS DEL ENSAYO

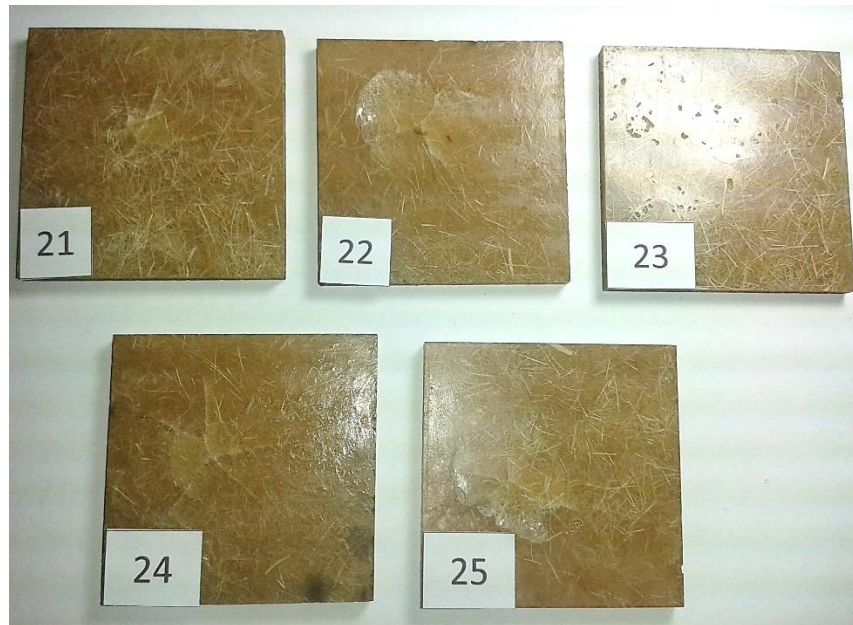
Probeta	Altura en (mm)	Peso (Kg)	Coefficiente f	Energía de impacto MEF (J)	Tipo de Falla
21	390	0,2303	0,00980665	0,881	A
22	410	0,2303	0,00980665	0,926	A
23	410	0,2303	0,00980665	0,926	A
24	430	0,2303	0,00980665	0,971	A
25	450	0,2303	0,00980665	1,016	A
Promedio \bar{X}	418	-	-	0,944	-
Desviación estándar S_{n-1}	-	-	-	0,046	-
Coefficiente de variación CV	-	-	-	0,049	-

FOTOGRAFÍAS DEL ENSAYO

Cara Frontal



Cara Posterior



Energía Promedio Absorbida (J)	0,944		
Inicio de la falla	Todas las probetas tienen grietas en una sola superficie.		
Elaborado por	Christian Pazmiño	Aprobado por	Ing. Mg. Segundo Espín
Revisado por	Ing. Mg. Segundo Espín	Validado por	Ing. Mg. Segundo Espín

Fuente: El Autor

Tabla 4.29. Tabulación de datos grupo 6 probetas a impacto.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA			
FICHA DE TABULACIÓN DE DATOS			
DATOS INFORMATIVOS			
Fecha	15/11/2017	Ciudad	Ambato
Lugar	Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica		
Máquina	Equipo de ensayo a impacto por caída de dardo		
PARÁMETROS DE ENSAYO A IMPACTO			
Número de Probetas	5	Norma	ASTM D5628-10

Refuerzo	Fibra de hoja de Yucca Elephantipes	Fracción Volumétrica (R)	30%		
Matriz	Resina poliéster	Fracción Volumétrica (M)	70%		
Configuración de la fibra	Longitudinal	Estratificación	Manual		
Dimensiones (mm)	58 x 58 x e	Temperatura	20 °C		
Espesor Promedio (mm)	5,27	Humedad Relativa	35%		
Diámetro del Dardo (mm)	20	Geometría del Dardo	FE		
RESULTADOS DEL ENSAYO					
Probeta	Altura en (mm)	Peso (Kg)	Coefficiente f	Energía de impacto MEF (J)	Tipo de Falla
26	450	0,2303	0,00980665	1,016	B
27	430	0,2303	0,00980665	0,971	A
28	450	0,2303	0,00980665	1,016	A
29	430	0,2303	0,00980665	0,971	B
30	410	0,2303	0,00980665	0,926	A
Promedio \bar{X}	434	-	-	0,980	-
Desviación estándar S_{n-1}	-	-	-	0,034	-
Coefficiente de variación CV	-	-	-	0,034	-
FOTOGRAFÍAS DEL ENSAYO					
Cara Frontal					



Cara Posterior



Energía Promedio Absorbida (J)	0,980		
Inicio de la falla	La probetas 26 y 29 tienen grietas que penetran todo el espesor de la placa, las probetas 27, 28, 30 tienen grietas en una sola superficie.		
Elaborado por	Christian Pazmiño	Aprobado por	Ing. Mg. Segundo Espín
Revisado por	Ing. Mg. Segundo Espín	Validado por	Ing. Mg. Segundo Espín

Fuente: El Autor

4.1.21. Nomenclatura de tipo de fallas del ensayo a impacto

En la tabla 4.30 se indica el tipo de falla evaluado se lo realiza mediante las especificaciones de la norma ASTM D5628-10.

Tabla 4.30. Nomenclatura tipo de falla a impacto.

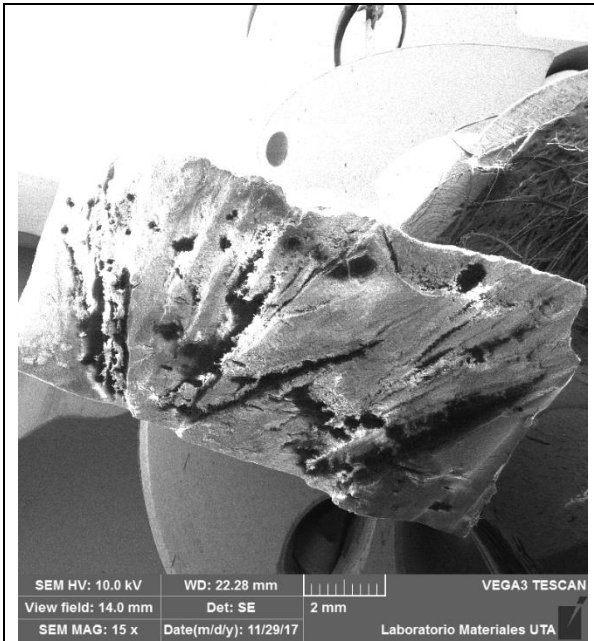
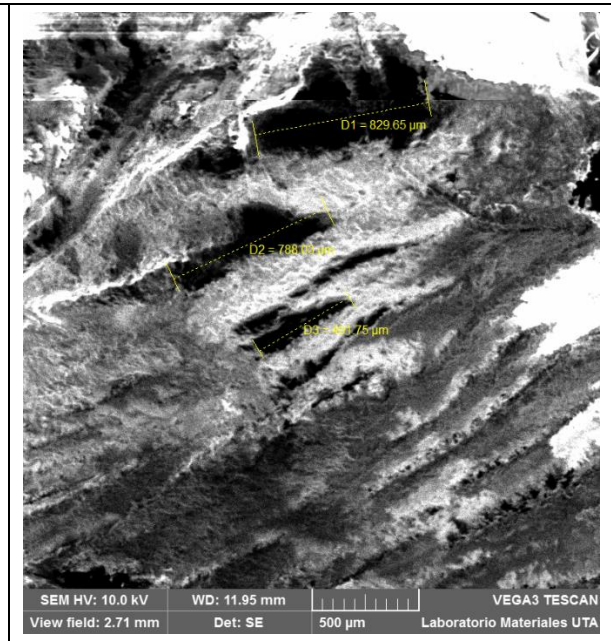
Nomenclatura de tipo de fallas del ensayo a impacto	
Tipo A	Grieta o grietas en una solo superficie (la placa podría retener agua).
Tipo B	Grietas que penetran en todo el espesor (el agua probablemente penetraría a través de la placa).
Tipo C:	Quebradizo (la placa es partida en varias piezas después del impacto).
Tipo D	Falla dúctil (la placa es penetrada pero no se parte en varias partes).

Fuente: El Autor

4.1.22. Ensayo de Fractografía

Tabla 4.31. Análisis fractográfico de la sección transversal de la muestra.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA			
FICHA PARA RECOLECCIÓN DE DATOS DE ENSAYOS DE FRACTOGRAFÍA			
Fecha	29/11/2017	Ciudad	Ambato
Lugar	Laboratorio de ciencia de materiales FICM-UTA		
Máquina	Microscopio de barrido VGA 3 TESCAN		
Refuerzo	Fibra de hoja de Yucca Elephantipes	Fracción Volumétrica (R)	35%
Matriz	Resina poliéster	Fracción Volumétrica (M)	65%
Configuración de la fibra	Fibra Longitudinal	Estratificación	Manual
Dimensión de la muestra (mm)	10 x 10 x 5	Nº de muestras	1
GRÁFICAS DEL ENSAYO			

 <p>SEM HV: 10.0 kV WD: 22.28 mm VEGA3 TESCAN View field: 14.0 mm Det: SE 2 mm SEM MAG: 15 x Date(m/d/y): 11/29/17 Laboratorio Materiales UTA</p>	 <p>SEM HV: 10.0 kV WD: 11.95 mm VEGA3 TESCAN View field: 2.71 mm Det: SE 500 μm Laboratorio Materiales UTA</p>
DESCRIPCIÓN	DESCRIPCIÓN
<p>En esta gráfica se observa la zona transversal de la probeta donde se fracturó tras realizar el ensayo de tracción, se puede observar que existen zonas con desgarramiento de la matriz y pequeños poros por donde pasa la fibra longitudinal, también se observa burbujas de aire.</p>	<p>Aquí se observa las dimensiones de las burbujas que existen en la sección trasversal analizada, estos son causantes de que el material falle y se originan en la fabricación del compuesto.</p>

Fuente: El Autor

Tabla 4.32. Análisis fractográfico de la fibra.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA			
FICHA PARA RECOLECCIÓN DE DATOS DE ENSAYOS DE FRACTOGRAFÍA			
Fecha	29/11/2017	Ciudad	Ambato
Lugar	Laboratorio de ciencia de materiales FICM-UTA		
Máquina	Microscopio de barrido VGA 3 TESCAN		
Refuerzo	Fibra de hoja de Yucca Elephantipes		
GRÁFICAS DEL ENSAYO			

DESCRIPCIÓN	DESCRIPCIÓN
<p>En esta gráfica se observa a la fibra de Yucca Elephantipes se puede notar que a nivel microscópico tiene ramificaciones y diferentes diámetros.</p>	<p>La fibra tiene una media de diámetro de 40 µm.</p>

Fuente: El Autor

4.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Luego de la tabulación de datos se hace una recopilación de los valores promedio de todos los grupos ensayados, los ítems a ser analizados en los ensayos a tracción y flexión son: el esfuerzo máximo (MPa) y el módulo de elasticidad (MPa) de cada uno, para el ensayo a impacto se analiza la energía de impacto MEF (J).

4.2.1. Resultados promedio del esfuerzo máximo (MPa) de las probetas ensayadas a tracción ASTM D3039-15 y flexión ASTM D7264-15.

En la tabla 4.33 se escogió el mejor resultado de los ensayos y se tiene, que para el esfuerzo máximo de tracción un valor 33,41 MPa en el grupo 2, con una configuración de fibra longitudinal y fracción volumétrica del 35% de refuerzo y 65% de matriz de igual manera para el esfuerzo máximo de flexión el mejor resultado se tiene en el grupo 2, con un valor de 73,43 MPa.

Tabla 4.33. Comparación de datos esfuerzo máximo MPa.

Grupos	Configuración de la fibra	Fracción Volumétrica		Ensayo a Tracción	Ensayo a Flexión
		Refuerzo	Matriz	Esfuerzo Máximo de Tracción (MPa)	Esfuerzo máximo de flexión (MPa)
1	Fibra Corta	35%	65%	23,8	41,12
2	Fibra Longitudinal	35%	65%	33,41	73,49
3	Fibra Corta	25%	75%	24,55	37,05
4	Fibra Longitudinal	25%	75%	30,64	34,65
5	Fibra Corta	30%	70%	27,31	41,57
6	Fibra Longitudinal	30%	70%	32,53	53,84
Mejores Resultados		-	-	-	-

Fuente: El Autor

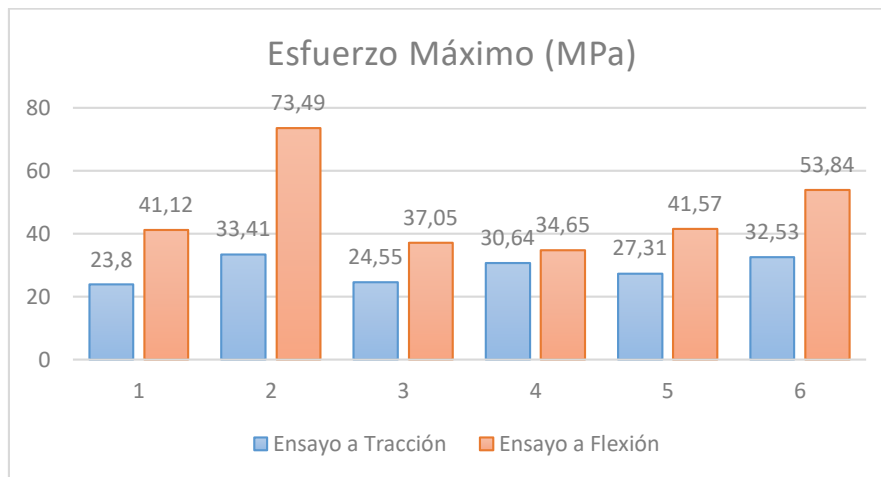


Figura 4.24. Comparación de datos esfuerzo máximo MPa ensayo a tracción y flexión.

Fuente: El Autor

4.2.2. Resultados promedio del módulo de elasticidad (MPa) de las probetas ensayadas a tracción y flexión.

En la tabla 4.34 se indica el mejor resultado para el módulo de elasticidad en el ensayo de tracción en el grupo 4, con una configuración de fibra longitudinal, fracción volumétrica del 25% de refuerzo y 75% de matriz con un valor de 1280,15 MPa. En el ensayo de flexión se tiene el mejor resultado en el grupo 2, con configuración de fibra

longitudinal, fracción volumétrica del 35% de refuerzo 65% de matriz con un valor de 3411,23 MPa.

Tabla 4.34. Comparación de datos módulo de elasticidad MPa.

Grupos	Configuración de la fibra	Fracción Volumétrica		Ensayo a Tracción	Ensayo a Flexión
		Refuerzo	Matriz	Módulo de elasticidad MPa	Módulo de elasticidad MPa
1	Fibra Corta	35%	65%	999,76	2986,74
2	Fibra Longitudinal	35%	65%	1208,55	3411,23
3	Fibra Corta	25%	75%	1085,56	3182,12
4	Fibra Longitudinal	25%	75%	1280,12	3282,41
5	Fibra Corta	30%	70%	1119,05	3141,87
6	Fibra Longitudinal	30%	70%	1227,97	3338,78
Mejores Resultados		-	-	-	-

Fuente: El Autor

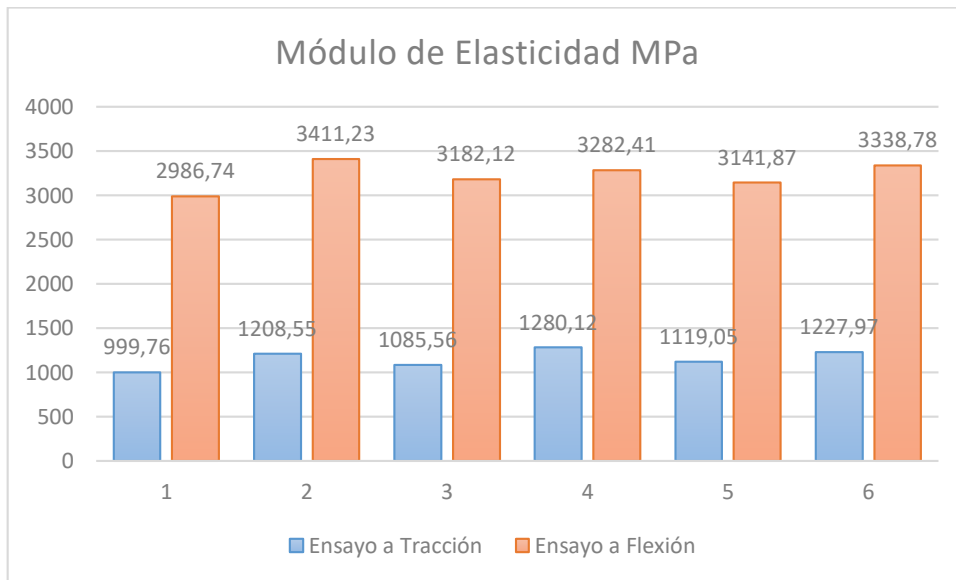


Figura 4.25. Comparación de datos módulo de elasticidad MPa ensayo a tracción y flexión.

Fuente: El Autor

4.2.3. Resultados promedio de la energía de impacto MEF (J) ASTM D5628-10

En la tabla 4.35 se observa que en el ensayo a impacto se tiene el mejor resultado en el grupo 1, con configuración de fibra corta y fracción volumétrica del 35% de refuerzo y 65% y con una energía de impacto de 1,319 J.

Tabla 4.35. Comparación de datos de energía de impacto MEF (J).

Grupos	Configuración de la fibra	Fracción Volumétrica		Ensayo a Impacto
		Refuerzo	Matriz	Energía de impacto MEF (J)
1	Fibra Corta	35%	65%	1,319
2	Fibra Longitudinal	35%	65%	1,22
3	Fibra Corta	25%	75%	1,147
4	Fibra Longitudinal	25%	75%	0,971
5	Fibra Corta	30%	70%	1,016
6	Fibra Longitudinal	30%	70%	0,98
Mejores Resultados		-	-	-

Fuente: El Autor

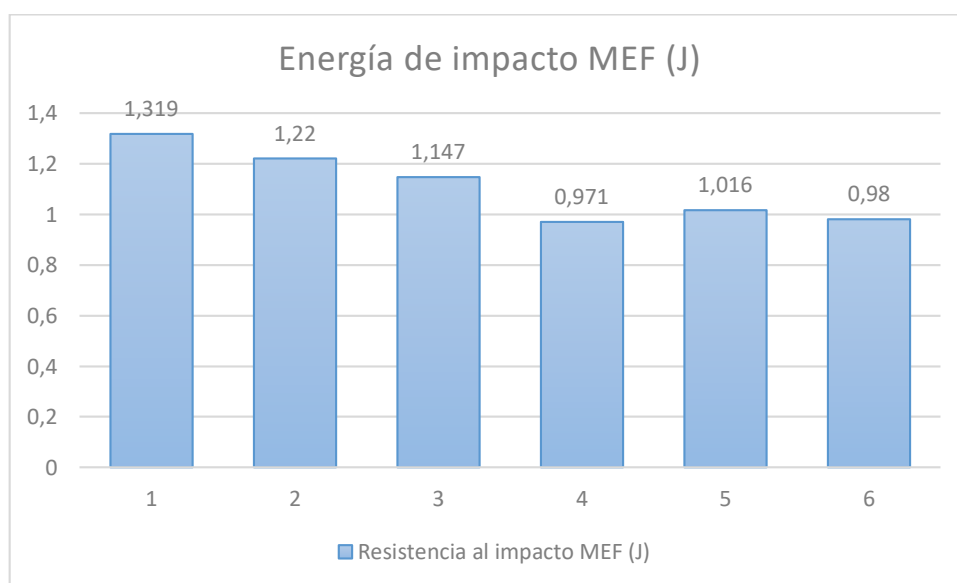


Figura 4.26. Comparación de datos de energía de impacto MEF (J).

Fuente: El Autor

4.2.4. Determinación de la mejor fracción volumétrica

Se utiliza la distribución T student para dos muestras independientes y se va a comparar los mejores resultados para el ensayo a tracción y flexión.

Cumplimiento de supuestos

- Normalidad

Se comprueba con Kolmogorov – Smirnov o Shapiro – Wilks, en este caso se utilizó Smirnov o Shapiro – Wilks ya que $m \leq 50$.

Donde:

m = número de datos

- Homogeneidad de varianzas

La varianza de una muestra debe ser similar a la varianza de la otra muestra. Se comprueba con test de Levene.

- Independencia

Puntuaciones distintas [17].

Para la aplicación de este método debe cumplir todos estos supuestos en caso contrario no es viable trabajar con la distribución t de Student.

Para el ensayo a tracción

Hipótesis nula (H₀)

No existirá diferencia estadísticamente significativa entre las medias del esfuerzo máximo de tracción, con configuración de fibra Longitudinal y fracción volumétrica del 35% de refuerzo y 65% de matriz (Grupo 2) con respecto a la configuración de fibra longitudinal y fracción volumétrica del 30% de refuerzo y 70 % de matriz (Grupo 6).

Hipótesis alternativa (H_a)

Existirá diferencia estadísticamente significativa entre las medias del esfuerzo máximo de tracción, con configuración de fibra longitudinal y fracción volumétrica del 35% de refuerzo y 65% de matriz (Grupo 2) con respecto a la configuración de fibra corta y fracción volumétrica del 30% de refuerzo y 70 % de matriz (Grupo 6).

Margen de error (α)

$\alpha = 0,05$ Nivel de significancia para proyectos de investigación.

Evidencia muestral

En la tabla 4.36 se muestran los resultados obtenidos de las 5 probetas ensayadas a tracción de los grupos 2 y 6 con la fracción establecida.

Tabla 4.36. Datos para analizar la hipótesis ensayo a tracción.

Configuración de Fibra	Fibra Longitudinal	
	Esfuerzo máximo de tracción (MPa)	
Probeta	Grupo 2 (X)	Grupo 6 (Y)
1	35,04	36,32
2	35,65	32,02
3	25,88	29,02
4	36,87	32,53
5	33,64	32,77
Media aritmética \bar{X}	33,42	32,53
Desviación estándar S_{n-1}	4,37	2,60

Fuente: El Autor

En la tabla 4.37 se muestra la prueba de Shapiro – Wilk que se lo realizó con la ayuda del software de cálculo estadístico libre, con esta prueba se comprueba que los datos estén distribuidos normalmente.

Tabla 4.37. Prueba de Normalidad Shapiro - Wilk

Pruebas de normalidad				
Configuración de Fibra		Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.
Esfuerzo máximo de tracción (MPa)	Grupo 2	0,794	5	0,073
	Grupo 6	0,938	5	0,652

Fuente: El Autor

$\alpha = 0,05$

$0,073 > 0,05$ El grupo 2 tiene datos normalmente distribuidos.

0,652 > 0,05 El grupo 6 tiene datos normalmente distribuidos.

En la tabla 4.38 se indica la prueba de Levene que se lo realizó con la ayuda del software de cálculo estadístico libre, con esta prueba se comprueba que existen varianzas similares en ambos grupos.

Tabla 4.38. Prueba de Levene.

Prueba de muestras independientes			
Prueba de Levene de igualdad de varianzas		F	Sig.
Esfuerzo máximo de tracción (MPa)	Se asumen varianzas iguales	0,876	0,377

Fuente: El Autor

0,377 > 0,05 El Grupo 2 y 6 tiene varianzas similares.

Cálculos

X: resultados de las probetas ensayadas del grupo 2.

Y: resultados de las probetas ensayadas del grupo 6.

Para el cálculo de la desviación estándar de la muestra X se utiliza la Ec. [9].

$$S_X = \sqrt{(\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2) / (n - 1)} \quad \text{Ec. [9]}$$

Donde:

S_X = Desviación estándar de X

n = tamaño de la muestra de X

$$S_X = 4,37$$

Para el cálculo de la desviación estándar de la muestra Y se utiliza la Ec. [9].

$$S_x = \sqrt{(\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2) / (m - 1)} \quad \text{Ec. [9]}$$

Donde:

S_y = Desviación estándar de Y

m = tamaño de la muestra de Y

$$S_y = 2,60$$

Aplicación de la distribución T student para la obtención del valor estadístico calculado por medio de la siguiente ecuación.

$$t_c = \frac{\bar{X} - \bar{Y}}{\sqrt{\frac{(n-1)S_x^2 + (m-1)S_y^2}{n+m-2} * \left(\frac{1}{n} + \frac{1}{m}\right)}} \quad \text{Ec. [14]}$$

Donde:

t_c = valor estadístico calculado

\bar{X} : media aritmética de X

\bar{Y} : media aritmética de Y

$$t_c = \frac{33,42 - 32,53}{\sqrt{\frac{(5-1)4,37^2 + (5-1)2,60^2}{5+5-2} * \left(\frac{1}{5} + \frac{1}{5}\right)}}$$

$$t_c = 0,39$$

La regla de decisión:

Se acepta H_0 si $t_c < t_a$

Donde:

t_a = valor crítico obtenido de la tabla de distribución T student de dos colas que se muestra en la figura.

Grados de libertad

Se utiliza la siguiente ecuación para el cálculo de grados de libertad [18].

$$gl = n + m - 2 \quad \text{Ec. [15]}$$

Donde:

$gl = \text{grados de libertad}$

$$gl = 5 + 5 - 2$$

$$gl = 8$$

En la figura 4.27 se muestra la tabla de distribución t de Student.

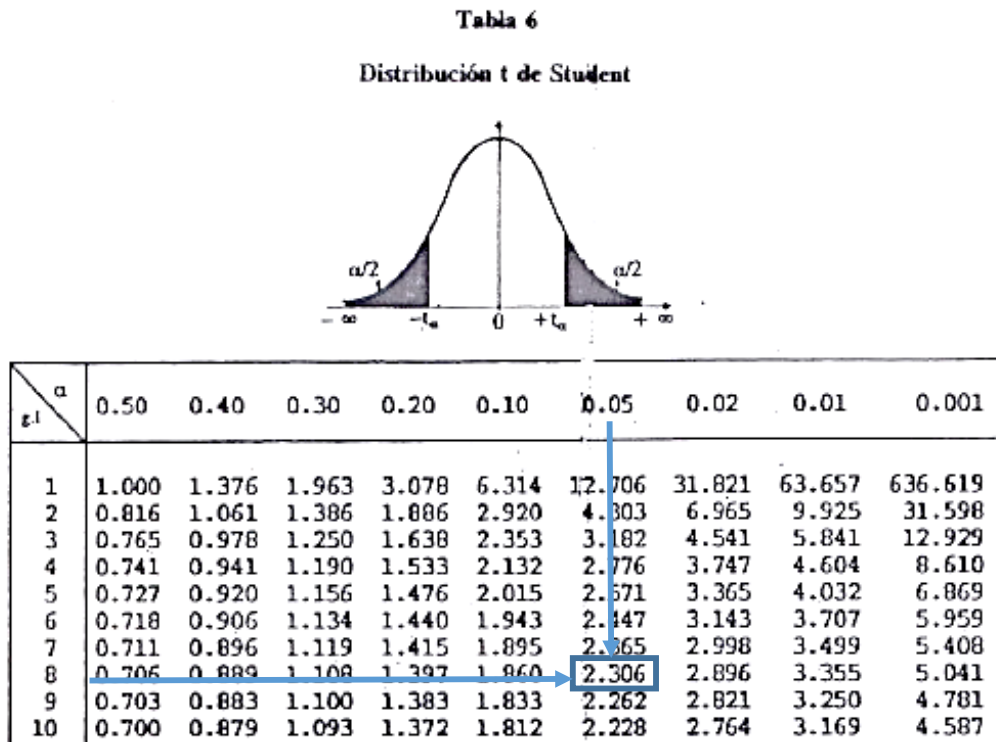


Figura 4.27. Tabla de distribución t de student con dos colas [19].

$$t_{\alpha} = 2,306$$

$$t_c = 0,39$$

Comprobación

Se acepta H_0 si $t_c < t_{\alpha}$

$$0,39 < 2,306$$

Se acepta la hipótesis nula H_0 y se rechaza la hipótesis alternativa.

Para el ensayo a flexión

Hipótesis nula (H₀)

No existirá diferencia estadísticamente significativa entre las medias del esfuerzo máximo de flexión, con configuración de fibra Longitudinal y fracción volumétrica del 35% de refuerzo y 65% de matriz (Grupo 2) con respecto a la configuración de fibra longitudinal y fracción volumétrica de 30% del refuerzo y 70 % de matriz (Grupo 6).

Hipótesis alternativa (H_a)

Existirá diferencia estadísticamente significativa entre las medias del esfuerzo máximo de flexión, con configuración de fibra Longitudinal y fracción volumétrica del 35% de refuerzo y 65% de matriz (Grupo 2) con respecto a la configuración de fibra corta y fracción volumétrica del 30% de refuerzo y 70 % de matriz (Grupo 6).

Margen de error (α)

$\alpha = 0,05$ Nivel de significancia para proyectos de investigación.

Evidencia muestral

En la tabla 4.39 se muestran los resultados obtenidos de las 5 probetas ensayadas a flexión de los grupos 2 y 6 con la fracción volumétrica mencionada anteriormente.

Tabla 4.39. Datos para analizar la hipótesis ensayo a flexión.

Configuración de Fibra	Fibra Longitudinal	
	Esfuerzo máximo de flexión (MPa)	
Probeta	Grupo 2 (X)	Grupo 6 (Y)
1	74,03	63,15
2	61,93	72,98
3	75,57	37,65
4	66,51	44,93
5	89,43	50,47
Media aritmética \bar{X}	73,49	53,84
Desviación estándar S_{n-1}	10,50	14,19

Fuente: El Autor

En la tabla 4.40 se indica la prueba de Shapiro – Wilk que se lo realizó con la ayuda del software de cálculo estadístico libre, con esta prueba se comprueba que los datos estén distribuidos normalmente.

Tabla 4.40. Prueba de Normalidad Shapiro - Wilk

Pruebas de normalidad				
Configuración de Fibra		Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl.	Sig.
Esfuerzo máximo de tracción (MPa)	Grupo 2	0,950	5	0,734
	Grupo 6	0,964	5	0,839

Fuente: El Autor

$$\alpha = 0,05$$

$0,734 > 0,05$ El grupo 2 tiene datos normalmente distribuidos.

$0,839 > 0,05$ El grupo 6 tiene datos normalmente distribuidos.

En la tabla 4.41 se muestra la prueba de Levene se lo realizó con la ayuda del software de cálculo estadístico libre, con esta prueba se comprueba que existen varianzas similares en ambos grupos.

Tabla 4.41. Prueba de Levene.

Prueba de Levene de igualdad de varianzas		F	Sig.
Esfuerzo máximo de tracción (MPa)	Se asumen varianzas iguales	0,971	0,353

Fuente: El Autor

$0,353 > 0,05$ El Grupo 2 y 6 tiene varianzas similares.

Cálculos

X: resultados de las probetas ensayadas del grupo 2.

Y: resultados de las probetas ensayadas del grupo 6.

Para el cálculo de la desviación estándar de la muestra X se utiliza la Ec. [9].

$$S_X = \sqrt{(\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2) / (n - 1)} \quad \text{Ec. [9]}$$

Donde:

S_X = Desviación estándar de X

n = tamaño de la muestra de X

$$S_X = 10,50$$

Para el cálculo de la desviación estándar de la muestra Y se utiliza la Ec. [9].

$$S_Y = \sqrt{(\sum_{i=1}^m (y_i - \bar{y})^2) / (m - 1)} \quad \text{Ec. [9]}$$

S_Y = Desviación estándar de Y

m = tamaño de la muestra de Y

$$S_Y = 14,19$$

Aplicación de la distribución T student para la obtención del valor estadístico calculado por medio de la siguiente ecuación.

$$t_c = \frac{\bar{X} - \bar{Y}}{\sqrt{\frac{(n-1)S_X^2 + (m-1)S_Y^2}{n+m-2} * \left(\frac{1}{n} + \frac{1}{m}\right)}} \quad \text{Ec. [14]}$$

Donde:

t_c = valor estadístico calculado

\bar{X} : media aritmética de X

\bar{Y} : media aritmética de Y

$$t_c = \frac{73,49 - 53,84}{\sqrt{\frac{(5-1)10,50^2 + (5-1)14,19^2}{5+5-2} * \left(\frac{1}{5} + \frac{1}{5}\right)}}$$

$$t_c = 2,49$$

La regla de decisión:

Se acepta H_0 si $t_c < t_a$

Donde:

t_a = valor crítico obtenido de la tabla de distribución T student de dos colas que se muestra en la figura.

Grados de libertad

Se utiliza la siguiente ecuación para el cálculo de grados de libertad [18].

$$gl = n + m - 2 \quad \text{Ec. [15]}$$

Donde:

gl = grados de libertad

$$gl = 5 + 5 - 2$$

$$gl = 8$$

En la figura 4.28 se muestra la distribución t de Student.

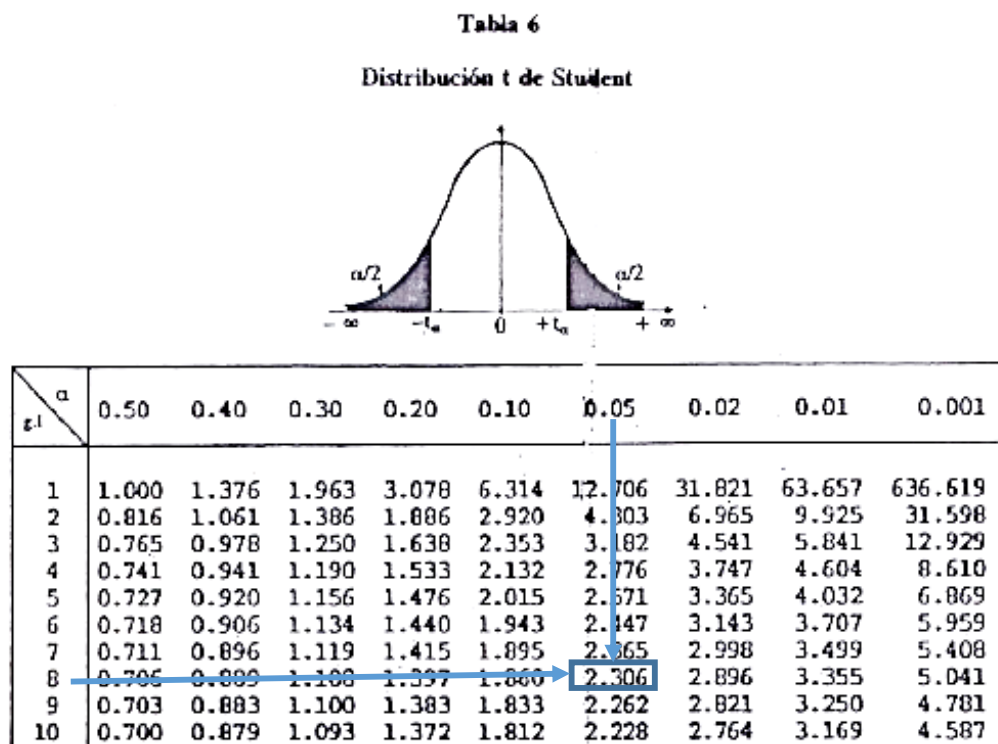


Figura 4.28. Tabla de distribución t de student con dos colas [19].

$$t_a = 2,306$$

$$t_c = 2,49$$

Comprobación

Se acepta H_0 si $t_c < t_a$

$$2,49 > 2,306$$

Se rechaza la hipótesis nula H_0 y se acepta la hipótesis alternativa H_a .

4.2.5. Comparación de las propiedades mecánicas del material compuesto (resina poliéster reforzado con fibra de hoja de yuca elephantipes) con otros materiales compuestos.

En la tabla 4.42 se indica la mejor configuración de fibra de yuca elephantipes y fracción volumétrica, se compara con otros materiales compuestos de matriz resina poliéster reforzados con fibras vegetales que presentan similares aplicaciones y propiedades mecánicas.

Tabla 4.42. Propiedades mecánicas de compuestos de matriz poliéster reforzados con diferentes tipos de fibra natural [2].

Tipo de refuerzo	Fracción Volumétrica		Esfuerzo máximo a tracción [MPa]	Módulo a tracción [MPa]	Esfuerzo máximo a flexión [MPa]	Módulo a flexión [MPa]
	Refuerzo (%)	Matriz (%)				
Fibra longitudinal de yuca elephantipes	35	65	33,41	1208,55	73,49	3411,23
Fibra 10 mm de ábaca	30	70	29,8	5323	47,5	2685
Fibra corta de coco	15	85	17,2	1843,5	44,7	2011,1
Fibra longitudinal de coco	30	70	45	4000	56	4000
Fibra corta de sisal	40	60	34,5	1900	86,4	-
Fibra corta de coco	30	70	14	1400	31,2	-
Fibra de Yute	-	-	44,3	2880	60,1	2970
Fibra de Vidrio	-	-	117,4	6080	138,2	4020

Los materiales compuestos hoy en día tienen aplicación en la industria automovilística como, por ejemplo, para partes decorativas de vehículos.

Para la utilización de los materiales compuestos también se da en la industria mobiliaria, su fácil fabricación y moldeo permiten que estas estén reemplazando a los materiales tradicionales.

El objetivo de la creación de nuevos materiales compuestos es que estos tengan excelentes propiedades mecánicas reducir peso, costos de fabricación y colaborar con el medio ambiente.

En las figuras 4.29 y 4.30 se muestran las diferentes aplicaciones de los materiales compuestos reforzados con fibras naturales en las diferentes industrias



Figura 4.29. Aplicaciones de materiales compuestos reforzados con fibra natural en la industria automotriz [20].



Figura 4.30. Aplicaciones de materiales compuestos reforzados con fibra natural en la industria mobiliaria [21].

4.2.6. Aplicación Industrial

El MDF (Medium Density Fiberboard), es un material compuesto elaborado a partir de fibras de madera y resinas adhesivas mediante un proceso de alta presión y temperatura. En la tabla 4.43 se representa las propiedades mecánicas del MDF que se utiliza en la fabricación de muebles modulares.

Tabla 4.43. Propiedades mecánicas del MDF [22].

Propiedades Mecánicas del MDF			
Propiedades Mecánicas del MDF	Método de Ensayo	Unidad de Medida	Especificaciones UNE 622-2
			Rango de espesores en mm
			> 4 a 6
Resistencia a la Tracción	UNE-EN 319	MPa	0,65
Resistencia a Flexión	UNE-EN 310	MPa	23
Módulo de elasticidad	UNE-EN 310	MPa	2700

Tabla 4.44. Mejores propiedades mecánicas del material compuesto de poliéster y fibra de yuca elephantipes.

Propiedades Mecánicas del compuesto poliéster fibra de Yucca Elephantipes			
Propiedades Mecánicas del compuesto poliéster fibra de yuca elephantipes	Método de Ensayo	Unidad de Medida	Espesor en mm
			5
Resistencia a la Tracción	ASTM D3039-2015	MPa	33,41
Resistencia a Flexión	ASTM - D7264-2015	MPa	73,49
Módulo de elasticidad	ASTM - D7264-2015	MPa	3411,23

Fuente: El Autor

En la tabla 4.44 se indica la mejor configuración de fibra y fracción volumétrica del nuevo material compuesto de poliéster y fibra de yucca elephantipes.

Se compara con las propiedades mecánicas del MDF y se puede afirmar que el nuevo material compuesto tiene mejores propiedades en resistencia a la tracción, flexión y módulo de elasticidad, por lo que se puede utilizar este material de igual manera en la fabricación de modulares.

En la figura 4.31 y 4.32 se ilustra muebles y muebles modulares elaborados de compuesto poliéster y fibra natural.

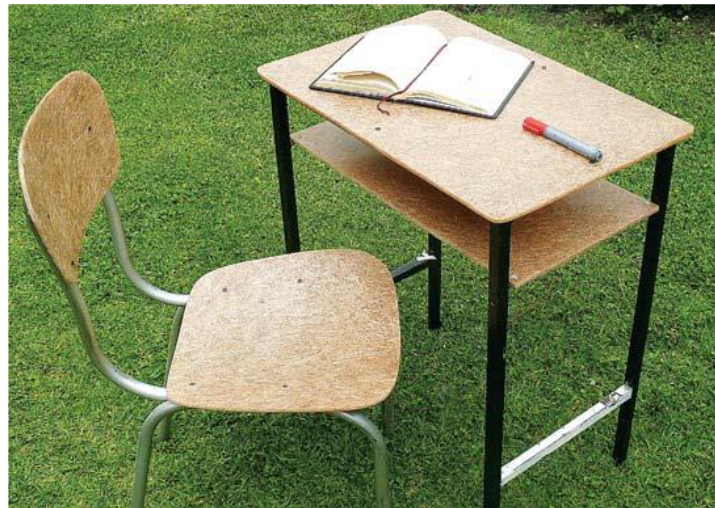


Figura 4.31. mesa y silla de compuesto poliéster/ fibra de abacá [10].



Figura 4.32. Muebles para dispositivos audiovisuales de compuesto poliéster/ fibra natural [23].

4.3. VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS

Según la distribución T- Student para muestras independientes en los resultados del ensayo a tracción no existe diferencia estadísticamente significativa entre los grupos 2 y 6, con valores de media aritmética de 33,42 MPa y 32,53 MPa respectivamente, de esfuerzo máximo de tracción por lo que para la aplicación industrial se va utilizar el nuevo material compuesto con configuración de fibra longitudinal de hoja de Yucca Elephantipes con 35% de refuerzo y resina poliéster al 65%.

Según la distribución T- Student para muestras independientes en los resultados del ensayo a flexión si existe una diferencia estadísticamente significativa entre los grupos 2 y 6, con valores de media aritmética de 73,49 MPa y 53,84 MPa respectivamente, de esfuerzo máximo de flexión por lo que para la aplicación industrial se va a utilizar solo el nuevo material compuesto con configuración de fibra longitudinal de hoja de Yucca Elephantipes con 35% de refuerzo y matriz resina poliéster al 65%.

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- El grupo de probetas que presentó las mejores propiedades mecánicas para tracción y flexión tiene 21 días de curado, una configuración de fibra longitudinal y fracción volumétrica del 35% de Refuerzo y 65% de matriz, por lo que para la aplicación industrial ésta configuración es la óptima.
- Con los resultados obtenidos de los ensayos mecánicos se determinó que la media del grupo que presentó las mejores propiedades mecánicas en el ensayo de tracción, fue manufacturado con estratificación manual y fracción volumétrica de 35% de fibra longitudinal y 65% de matriz de resina poliéster con un valor de 33,42 MPa de esfuerzo máximo de tracción y módulo de elasticidad 1208,55 MPa.
- En el ensayo a flexión la media del grupo que presentó las mejores propiedades mecánicas fue manufacturado una fracción volumétrica del 35% de refuerzo y 65% de matriz los valores son de 73,49 MPa de esfuerzo máximo de flexión y módulo de elasticidad de 3411,23 MPa
- En el ensayo a impacto la media del grupo con mejores propiedades mecánicas tiene una configuración de fibra corta y fracción volumétrica de 35% de refuerzo y 65% de matriz con una energía de impacto de 1,32 J.

5.2. RECOMENDACIONES

- Una vez adquirida la resina poliéster se debe almacenar en un lugar cerrado sin contacto con el sol y bajas temperaturas para evitar la gelificación de la misma.
- Utilizar el equipo necesario de protección personal para evitar lesiones por el uso de resina y catalizador.
- Se debe encerar el molde y aplicar alcohol polivinílico correctamente para evitar la adhesión y dificultar la extracción del material compuesto del molde.
- Se debe calcular correctamente la cantidad de catalizador peróxido (metil-etil-cetona) requerida para evitar tiempos anticipados de gelificación.
- Cuando se agrega la resina en la fibra se debe pasar un rodillo permitiendo la humectación de la fibra y evitar la aparición de burbujas que posteriormente afectaran en las propiedades mecánicas.
- Antes de realizar los ensayos mecánicos se debe dejar curar las probetas 21 días para adquirir las mejores propiedades mecánicas.
- Para la colocación de las sobremontas en las probetas de tracción se utilizó pegamento instantáneo (cianoacrilato) más bicarbonato da buen resultado y proporciona alta resistencia.

6. BIBLIOGRAFÍA

- [1] S. S. Pacha Guashco, «Caracterización mecánica y numérica del material híbrido de matriz epoxi reforzada con tejido plano de fibra vegetal (algodón) y fibra natural (fibra de cabuya),» Universidad Técnica de Ambato, Ambato-Ecuador, 2016.
- [2] N. A. Tamayo Duque, «Obtención y Caracterización de materiales compuestos de matriz poliéster reforzados con fibra de cabuya mediante estratificación,» Escuela Politécnica Nacional, Quito-Ecuador, 2012.
- [3] G. E. Mazón Ortiz, «Caracterización mecánica del material compuesto de matriz poliéster con fibra de coco para la determinación de propiedades mecánicas en aplicaciones industriales,» Universidad Técnica de Ambato, Ambato-Ecuador, 2017.
- [4] A. D. 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,» Universidad Técnica de Ambato, Ambato-Ecuador, 2017.
- [5] J. S. Gómez P, «Diseño de un material compuesto con fibra natural para sustituir la utilización de fibra de vidrio,» Universidad EAFIT, Medellín-Colombia, 2009.
- [6] J. M. Tixe Subina y J. D. Vistín Bastidas, «Aplicación de materiales compuestos para la formación de guardabarros y tapas laterales de una moto de 125cc, 4 tiempos,» Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba-Ecuador, 2015.
- [7] M. Barrera, *Ficha UE 47 Yucca Elephantipes*, Primera ed., El Salvador, 2008.
- [8] S. Sapuan, «Composite Materials,» de *Concurrent Engineering Approach*, Boston-Estados Unidos, Butterworth-Heinemann, 2017, pp. 57-93.
- [9] F. Stupenego, «Materiales Compuestos,» de *Materiales y Materias Primas*, Buenos Aires-Argentina, inet, 2011, p. 27.

- [10] V. H. Guerrero, J. Dávila, S. Galeas, P. Pontón, N. Rosas, V. Sotomayor y C. Valdivieso, *Nuevos Materiales Aplicaciones Estructurales e Industriales*, Primera ed., Quito-Ecuador: imprefepp, 2011.
- [11] J. G. 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,» Universidad Técnica de Ambato, Ambato-Ecuador, 2012.
- [12] B. Züinkler, *Ejercicios sobre elasticidad y resitencia de materiales*, Barcelona - España: REVERTÉ S.A, 2003.
- [13] W. D. Callister y D. G. Rethwisch, *Materials science and engineering*, Novena edición ed., Estados Unidos: Wiley, 2014.
- [14] C. A. Chaparro Acosta, «Medidas de dispersión,» [En línea]. Available: <https://matcris5.files.wordpress.com/2014/03/medidas-de-dispersion.pdf>. [Último acceso: 15 Noviembre 2017].
- [15] N. R. Schott, M. G. Rosato y D. Rosato, «Flexural stress-strain curve,» de *Plastics Engineering, Manufacturing & Data Handbook*, Volume 1 ed., United States, Kluter, 2001, p. 1303.
- [16] L. M. Vélez Moreno, *Materiales Industriales Teoría y Aplicaciones*, Medellin - Colombia: Textos Académicos, 2018.
- [17] R. A. Sánchez Turcios, «t-Student. Usos y abusos,» *Revista Mexicana*, vol. 26, nº 1, p. 3, Enero 2015.
- [18] F. Olea Serrano, «TÉCNICAS ESTADÍSTICAS APLICADAS EN NUTRICIÓN Y SALUD,» [En línea]. Available: <http://www.ugr.es/~fmocan/MATERIALES%20DOCTORADO/testt2016.pdf>. [Último acceso: 20 Noviembre 2017].
- [19] «SlideShare,» LinkedIn, 8 Marzo 2010. [En línea]. Available: <https://www.slideshare.net/Maicori/tabla-t-student-3372178>. [Último acceso: 23 Noviembre 2017].

- [20] E. Pollitt, «Global Hemp,» 18 Febrero 2011. [En línea]. Available: <http://www.globalhemp.com/2011/02/automotive-composites.html>. [Último acceso: 24 Noviembre 2017].
- [21] A. Boone, «FlexForm Technologies,» 2013. [En línea]. Available: <http://www.naturalfibersforautomotive.com/?p=204>. [Último acceso: 24 Noviembre 2017].
- [22] C. D. Hernández Mazano, «El MDF como material escultórico estudio analítico, técnico, estructural y comparativo del conglomerado de madera de fibras de densidad media,» Universidad de Granada, Granada-España, 2012.
- [23] F. Delgado, S. Galeas y V. Guerrero, «Obtención de materiales compuestos híbridos de matriz poliéster reforzada con fibras de coco y vidrio para la elaboración de tableros,» Escuela Politécnica Nacional, Quito-Ecuador, 2014.

ANEXOS

- 1.** Ficha técnica de la resina poliéster
- 2.** Normas para ensayo a tracción ASTM D3039
- 3.** Norma para ensayo a flexión ASTM D7264
- 4.** Norma para el ensayo a impacto ASTM D5628
- 5.** Informe técnico del ensayo a tracción y flexión emitido por parte del Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero.
- 6.** Planos del Molde

**Anexo 1. Ficha
técnica de la resina
poliéster.**



POL® 33000

Resina poliéster Ortoftálica de propósito general

APLICACIONES

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

RECOMENDACIONES DE USO

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

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

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

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

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

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

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

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

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

FORMA DE APLICACIÓN DEL PRODUCTO

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

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

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

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

Fecha de actualización: Enero 2015 v.1



ESPECIFICACIONES DE LA RESINA LÍQUIDA

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

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

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

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

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

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

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

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

SEGURIDAD Y MANEJO

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

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

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

CERTIFICACIONES

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

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

Fecha de actualización: Enero 2015 v.1

**Anexo 2. Norma
para ensayo a
tracción ASTM
D3039.**



Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials¹

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

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

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

1. Scope

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

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

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

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:

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

- Properties and Equilibrium Conditioning of Polymer Matrix Composite Materials⁴
- E 4 Practices for Force Verification of Testing Machines⁵
- E 6 Terminology Relating to Methods of Mechanical Testing⁵
- E 83 Practice for Verification and Classification of Extensometers⁵
- E 111 Test Method for Young's Modulus, Tangent Modulus, and Chord Modulus⁵
- E 122 Practice for Choice of Sample Size to Estimate a Measure of Quality for a Lot or Process⁶
- E 132 Test Method for Poisson's Ratio at Room Temperature⁵
- E 177 Practice for Use of the Terms Precision and Bias in ASTM Test Methods⁶
- E 251 Test Methods for Performance Characteristics of Metallic Bonded Resistance Strain Gages⁵
- E 456 Terminology Relating to Quality and Statistics⁶
- E 691 Practice for Conducting an Interlaboratory Study to Determine the Precision of a Test Method⁶
- E 1012 Practice for Verification of Specimen Alignment Under Tensile Loading⁵
- E 1237 Guide for Installing Bonded Resistance Strain Gages⁵

3. Terminology

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

3.2 *Definitions of Terms Specific to This Standard:*

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

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

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

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

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

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

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

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



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

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

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

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

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

3.3 *Symbols:*

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

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

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

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

3.3.5 E —modulus of elasticity in the test direction.

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

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

3.3.8 h —coupon thickness.

3.3.9 L_g —extensometer gage length.

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

3.3.11 n —number of coupons per sample population.

3.3.12 P —load carried by test coupon.

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

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

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

3.3.16 w —coupon width.

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

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

3.3.19 δ —extensional displacement.

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

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

3.3.22 σ —normal stress.

3.3.23 ν —Poisson's ratio.

4. Summary of Test Method

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

5. Significance and Use

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

5.1.1 Ultimate tensile strength,

5.1.2 Ultimate tensile strain,

5.1.3 Tensile chord modulus of elasticity,

5.1.4 Poisson's ratio, and

5.1.5 Transition strain.

6. Interferences

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

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

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

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

7. Apparatus

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

used to measure the thickness of the specimen. A micrometer with a flat anvil interface shall be used to measure the width of the specimen. The accuracy of the instruments shall be suitable for reading to within 1 % of the sample width and thickness. For typical specimen geometries, an instrument with an accuracy of $\pm 2.5 \mu\text{m}$ [$\pm 0.0001 \text{ in.}$] 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_{total} . Plotting percent bending versus axial average strain is useful in understanding trends in the bending behavior of the system.

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

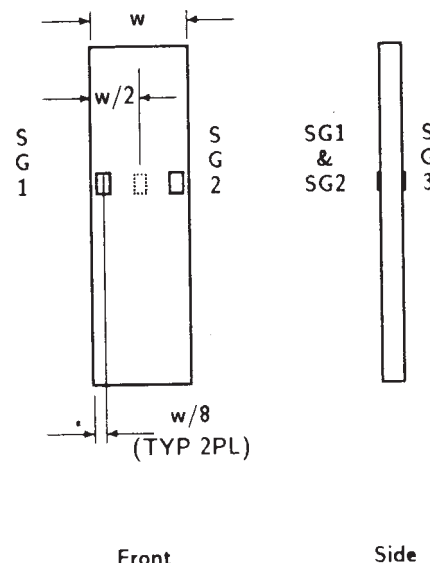


FIG. 1 Gage Locations for System Alignment Check Coupon

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

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

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

where:

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

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

ϵ_1 , ϵ_2 , and ϵ_3 = indicated longitudinal strains displayed by Gages 1, 2, and 3, respectively, of Fig. 1, $\mu\epsilon$; and

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

The total bending component is:

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

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

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

7.3.1.1 Surface preparation of fiber-reinforced composites in accordance with Practice E 1237 can penetrate the matrix material and cause damage to the reinforcing fibers resulting in improper coupon failures. Reinforcing fibers should not be exposed or damaged during the surface preparation process.

⁷ A typical gage would have a 0.25-in. active gage length, 350- Ω resistance, a strain rating of 3 % or better, and the appropriate environmental resistance and thermal coefficient.

⁸ Tuttle, M. E. and Brinson, H. F., "Resistance-Foil Strain-Gage Technology as Applied to Composite Materials," *Experimental Mechanics*, Vol 24, No. 1, March 1984; pp. 54–65; errata noted in Vol 26, No. 2, June 1986, pp. 153–154.

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

7.3.1.2 Consideration should be given to the selection of gages having larger resistances to reduce heating effects on low-conductivity materials. Resistances of 350 Ω or higher are preferred. Additional consideration should be given to the use of the minimum possible gage excitation voltage consistent with the desired accuracy (1 to 2 V is recommended) to reduce further the power consumed by the gage. Heating of the coupon by the gage may affect the performance of the material directly, or it may affect the indicated strain as a result of a difference between the gage temperature compensation factor and the coefficient of thermal expansion of the coupon material.

7.3.1.3 Consideration of some form of temperature compensation is recommended, even when testing at standard laboratory atmosphere. Temperature compensation is required when testing in nonambient temperature environments.

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

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

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

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

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

8. Sampling and Test Specimens

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

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

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

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

8.2.1 *General Requirements:*

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

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

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

8.2.2 *Specific Recommendations:*

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

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

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

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

TABLE 1 Tensile Specimen Geometry Requirements

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

^A See 8.2.2 or Table 2 for recommendations.

TABLE 2 Tensile Specimen Geometry Recommendations^A

Fiber Orientation	Width, mm [in.]	Overall Length, mm [in.]	Thickness, mm [in.]	Tab Length, mm [in.]	Tab Thickness, mm [in.]	Tab Bevel Angle, °
0° unidirectional	15 [0.5]	250 [10.0]	1.0 [0.040]	56 [2.25]	1.5 [0.062]	7 or 90
90° unidirectional	25 [1.0]	175 [7.0]	2.0 [0.080]	25 [1.0]	1.5 [0.062]	90
balanced and symmetric	25 [1.0]	250 [10.0]	2.5 [0.100]	emery cloth	—	—
random-discontinuous	25 [1.0]	250 [10.0]	2.5 [0.100]	emery cloth	—	—

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

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

8.2.2.5 Tab Material—The most consistently used bonded tab material has been continuous E-glass fiber-reinforced polymer matrix materials (woven or unwoven) in a [0/90]_ns laminate configuration. The tab material is commonly applied at 45° to the loading direction to provide a soft interface. Other configurations that have reportedly been successfully used have incorporated steel tabs or tabs made of the same material as is being tested.

8.2.2.6 Bonded Tab Length—When using bonded tabs, estimate the minimum suggested tab length for bonded tabs by the following simple equation. As this equation does not account for the peaking stresses that are known to exist at the ends of bonded joints. The tab length calculated by this equation should normally be increased by some factor to reduce the chances of joint failure:

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

where:

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

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

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

8.3 Specimen Preparation:

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

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

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

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

9. Calibration

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

10. Conditioning

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

11. Procedure

11.1 Parameters To Be Specified Before Test:

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

11.1.2 The tensile properties and data reporting format desired.

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

11.1.3 The environmental conditioning test parameters.

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

11.2 General Instructions:

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

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

DRAWING NOTES:

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

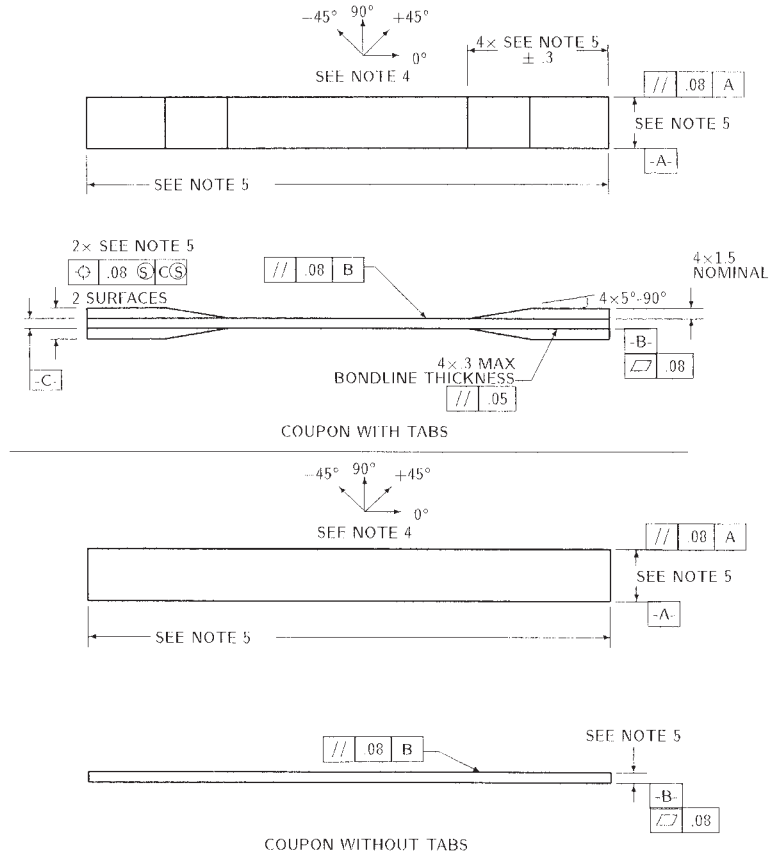


FIG. 2 Tension Test Specimen Drawing (SI)

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

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

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

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

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

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

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

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

DRAWING NOTES:

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

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

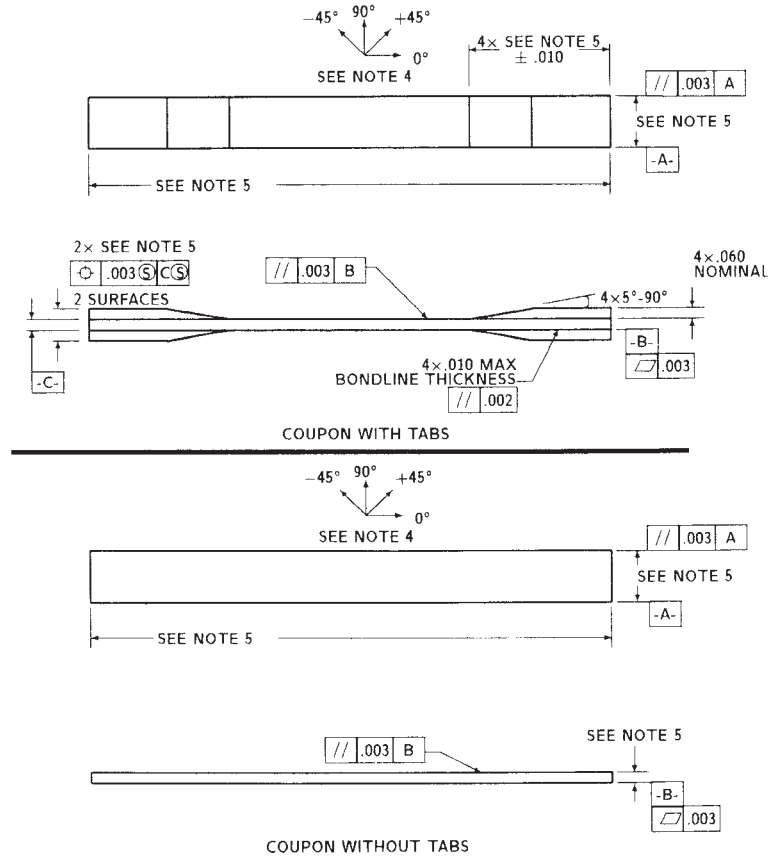


FIG. 3 Tension Test Specimen Drawing (inch-pound)

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

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

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

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

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

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

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

TABLE 3 Specimen Alignment and Chord Modulus Calculation Strain Ranges

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

^A 1000 $\mu\epsilon$ = 0.001 absolute strain.

^B This strain range is to be contained in the lower half of the stress/strain curve. For materials that fail below 6000 $\mu\epsilon$, a strain range of 25 to 50 % of ultimate is recommended.

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

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

where:

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

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

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

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

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

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

12. Calculation

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

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

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

where:

- F^{tu} = ultimate tensile strength, MPa [psi];
- P^{\max} = maximum load before failure, N [lbf];
- σ_i = tensile stress at i th data point, MPa [psi];
- P_i = load at i th data point, N [lbf]; and
- A = average cross-sectional area from 11.2.3, mm² [in.²].

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

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

where:

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

12.3 Tensile Modulus of Elasticity:

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

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

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

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

where:

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

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

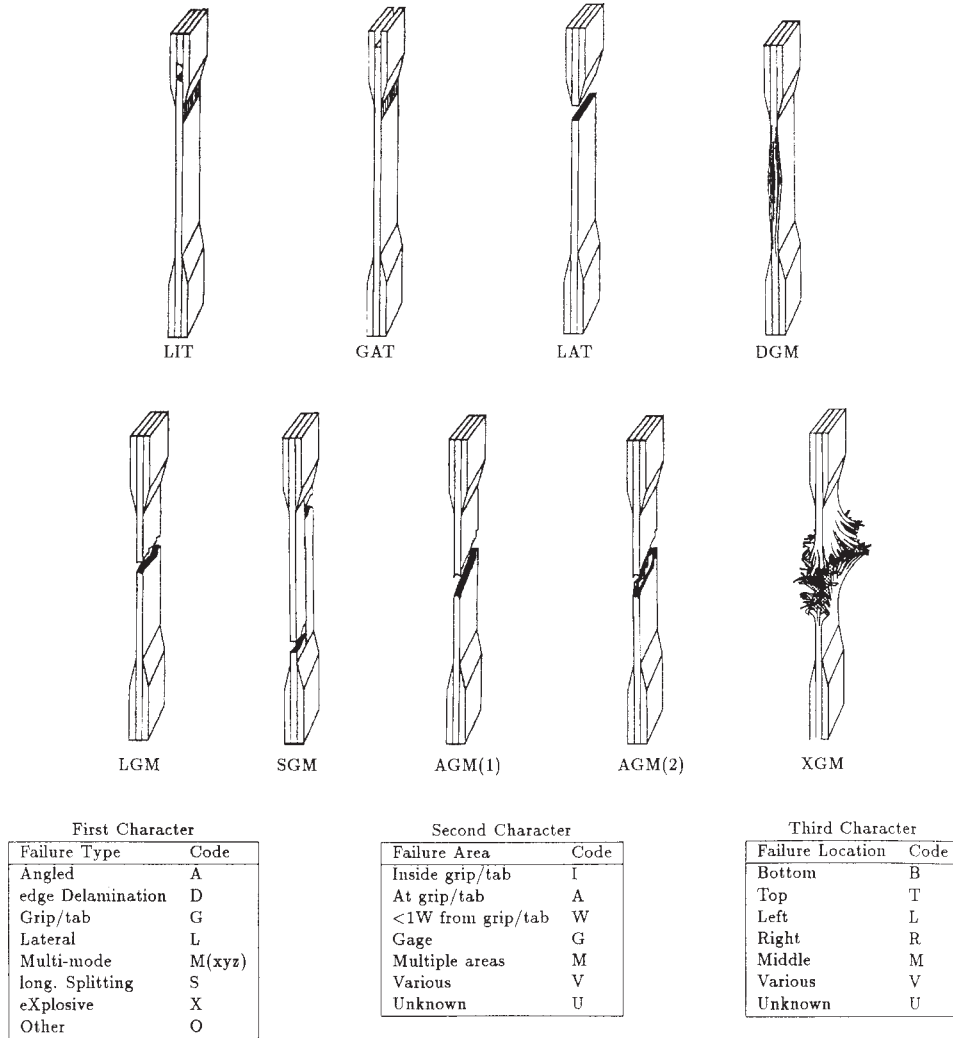


FIG. 4 Tensile Test Failure Codes/Typical Modes

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

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

12.4 Poisson's Ratio:

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

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

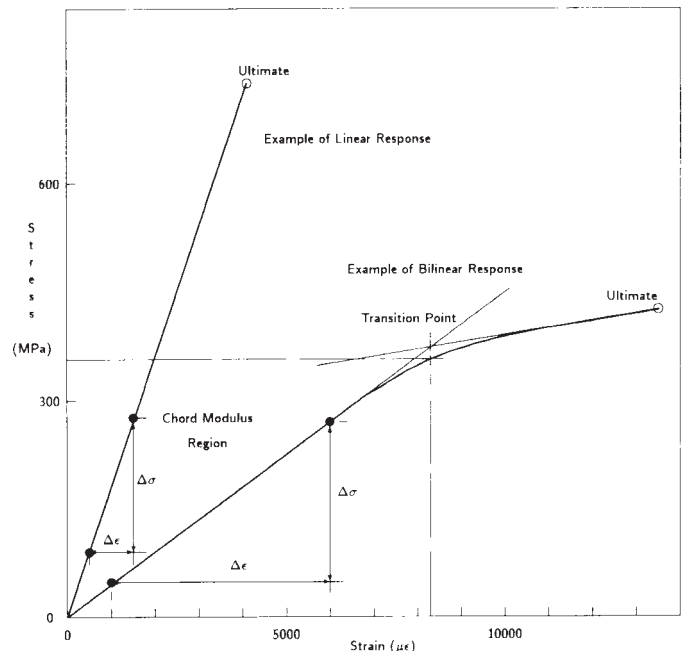


FIG. 5 Typical Tensile Stress-Strain Curves

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

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

where:

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

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

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

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

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

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

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

where:

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

13. Report

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

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

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

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

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

13.1.7 Ply orientation stacking sequence of the laminate.

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

13.1.9 Average ply thickness of the material.

13.1.10 Results of any nondestructive evaluation tests.

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

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

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

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

13.1.15 Dimensions of each test specimen.

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

13.1.17 Relative humidity and temperature of the testing laboratory.

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

13.1.19 Number of specimens tested.

13.1.20 Speed of testing.

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

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

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

13.1.24 Percent bending results for each specimen so evaluated.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

13.1.34 Failure mode and location of failure for each specimen.

14. Precision and Bias

14.1 Precision:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

TABLE 4 Precision Statistics

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

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

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

TABLE 5 Averages of the Coefficients of Variation

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

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

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

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

15. Keywords

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

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

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

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

**Anexo 3. Norma
para el ensayo a
flexión ASTM
D7264.**



Standard Test Method for Flexural Properties of Polymer Matrix Composite Materials¹

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

1. Scope

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

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

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

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

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

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

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

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:²

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

Polymer Matrix Composite Materials and Their Laminates

- D 3878 Terminology for Composite Materials
 - D 5229/D 5229M Test Method for Moisture Absorption Properties and Equilibrium Conditioning of Polymer Matrix Composite Materials
 - D 5687/D 5687M Guide for Preparation of Flat Composite Panels with Processing Guidelines for Specimen Preparation
 - D 6272 Test Method for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials by Four-Point Bending
 - D 6856 Guide for Testing Fabric-Reinforced “Textile” Composite Materials
 - E 4 Practices for Force Verification of Testing Machines
 - E 6 Terminology Relating to Methods of Mechanical Testing
 - E 18 Test Methods for Rockwell Hardness and Rockwell Superficial Hardness of Metallic Materials
 - E 122 Practice for Calculating Sample Size to Estimate, With a Specified Tolerable Error, the Average for a Characteristic of a Lot or Process
 - E 177 Practice for Use of the Terms Precision and Bias in ASTM Test Methods
 - E 456 Terminology Relating to Quality and Statistics
 - E 1309 Guide for Identification of Fiber-Reinforced Polymer-Matrix Composite Materials in Databases
 - E 1434 Guide for Recording Mechanical Test Data of Fiber-Reinforced Composite Materials in Databases
- 2.2 *Other Documents:*
- ANSI Y14.5-1999 Dimensioning and Tolerancing—Includes Inch and Metric³
 - ANSI B46.1-1995 Surface Texture (Surface Roughness, Waviness and Lay)³

3. Terminology

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

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

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

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

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

129200811:27:41AM single-user license only, copying and networking prohibited.

Downloaded: 129200811:27:41AM single-user license only, copying and networking prohibited.

WEX to UNIVERSIDADE DE SAO PAULO-CRUESP.

3.2 Definitions of Terms Specific to This Standard:

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

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

3.3 Symbols:

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

4. Summary of Test Method

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

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

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

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

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

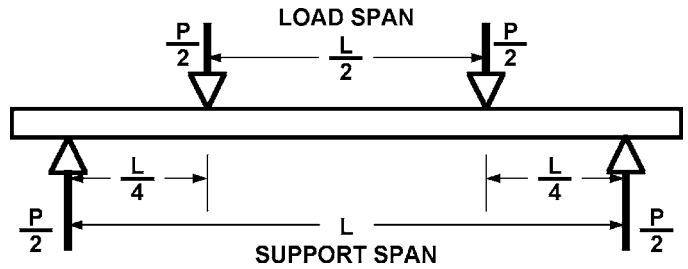


FIG. 2 Procedure B—Loading Diagram

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

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

5. Significance and Use

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

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

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

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

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

6. Interferences

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

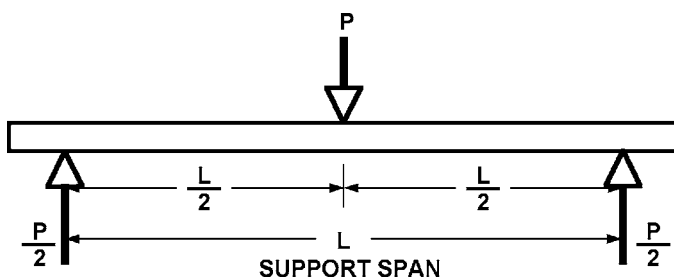


FIG. 1 Procedure A—Loading Diagram

Licensed by WEX to UNIVERSIDADE DE SAO PAULO-CRUESP. Downloaded: 1/29/2008 11:27:41 AM single-user license only, copying and networking prohibited.

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.

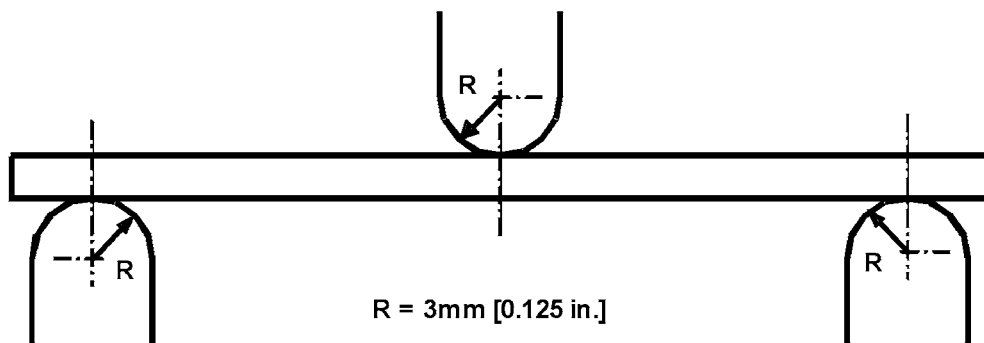
6.4 Loading noses may be fixed, rotatable or rolling. Typically, for testing composites, fixed or rotatable loading noses are used. The type of loading nose can affect results, since non-rolling paired supports on either the tension or compression side of the specimen introduce slight longitudinal forces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

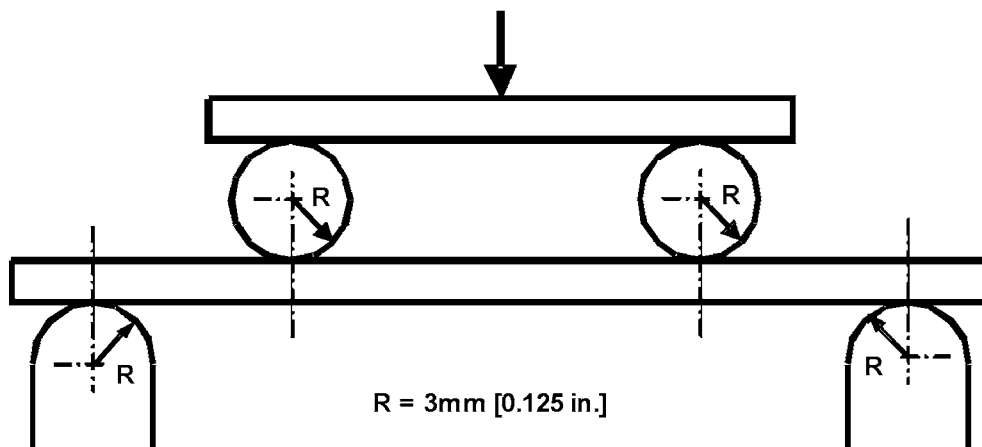
7. Apparatus

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)

Licensed by WEX to UNIVERSIDADE DE SAO PAULO-CRUESP. Downloaded: 1/29/2008 11:27:41 AM single-user license only, copying and networking prohibited.

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

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

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

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

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

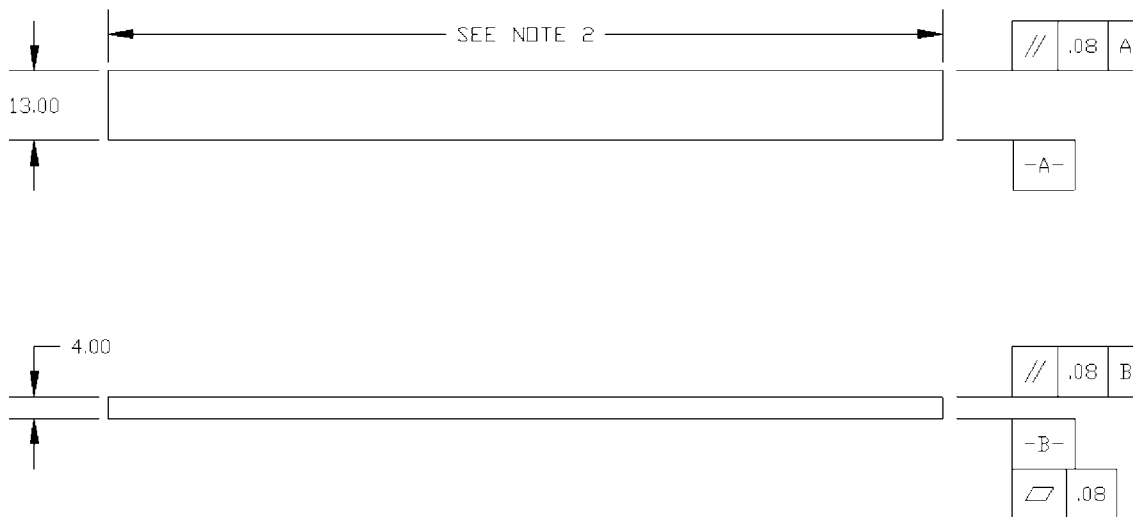
within $\pm 3^\circ\text{C}$ [$\pm 5^\circ\text{F}$] and the required vapor level to within ± 5 % relative humidity.

8. Test Specimens

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

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

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

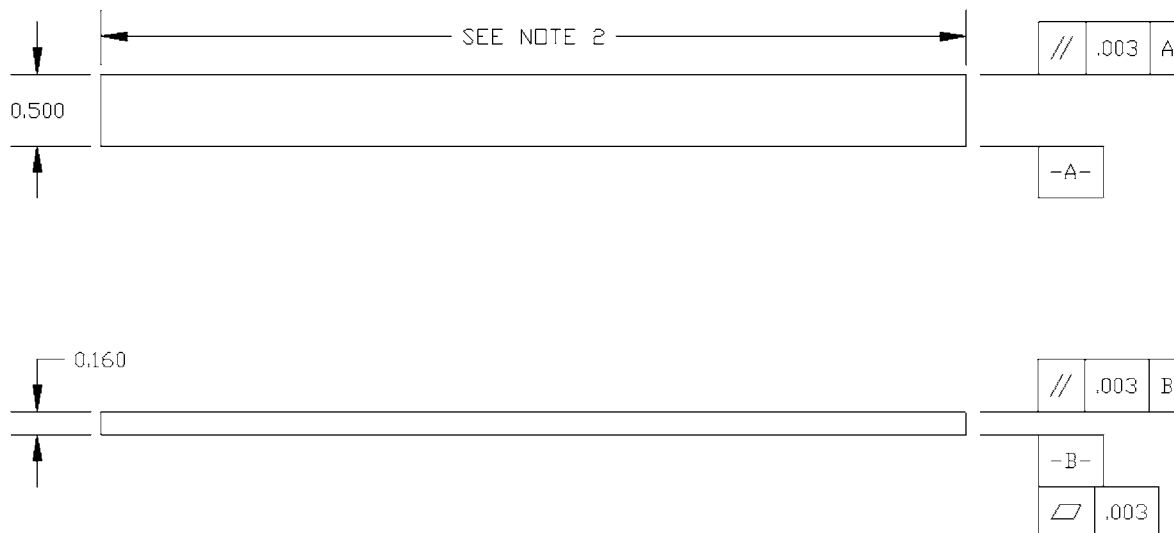


NOTE 1—Drawing interpretation per ANSI Y14.5-1999 and ANSI B46.1-1995.

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

FIG. 4 Standard Flexural Test Specimen Drawing (SI)

Licensed by WEX to UNIVERSIDADE DE SAO PAULO-CRUESP. Downloaded: 1/29/2008 11:27:41 AM single-user license only, copying and networking prohibited.



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

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

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

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

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

9. Number of Test Specimens

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

10. Conditioning

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

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

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

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

11. Procedure

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

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

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

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

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

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

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

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

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

12. Validation

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

13. Calculation

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

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

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

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

where:

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

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

13.2 *Maximum Flexural Stress, Procedure B*—When a beam of homogeneous, elastic material is tested in flexure as a beam simply supported at two outer points and loaded at two central points separated by a distance equal to 1/2 the support span and at equal distance from the adjacent support point, the maximum stress at the outer surface occurs between the two central loading points that define the load span (Fig. 2). The stress may be calculated for any point on the load-deflection curve by the following equation (Note 7):

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

where:

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

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

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

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

Licensed by WEX to UNIVERSIDADE DE SAO PAULO-CRUESP. Downloaded: 1/29/2008 11:27:41 AM single-user license only, copying and networking prohibited.

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

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

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

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

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

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

where:

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

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

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

where:

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

13.7 Flexural Modulus of Elasticity:

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

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

where:

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

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

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

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

13.7.2.1 *For Procedure A:*

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

where:

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

13.7.2.2 *For Procedure B:*

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

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

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

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

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

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

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

where:

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

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

14. Report

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

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

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

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

14.1.4 The test Procedure used (A or B).

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

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

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

14.1.8 Ply orientation stacking sequence of the laminate.

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

14.1.10 Average ply thickness of the material.

14.1.11 Results of any nondestructive evaluation tests.

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

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

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

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

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

14.1.17 Relative humidity and temperature of the testing laboratory.

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

14.1.19 Number of specimens tested.

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

14.1.21 Loading and support nose type and dimensions.

14.1.22 Speed of testing.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

14.1.35 Failure mode and location of failure for each specimen.

15. Precision and Bias

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

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

16. Keywords

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

(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.

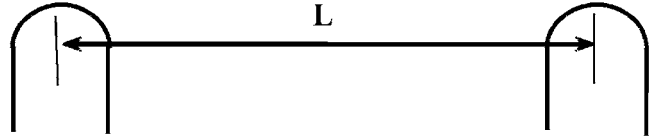


FIG. A1.1 Markings on Fixed Specimen Supports

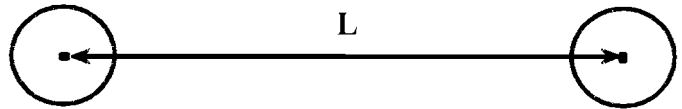


FIG. A1.2 Markings on Rotatable Specimen Supports

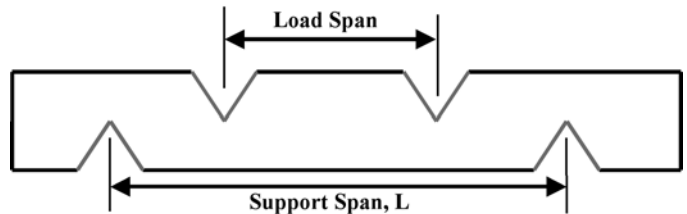


FIG. A1.3 Fixture Used to Align Loading Noses and Supports

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').

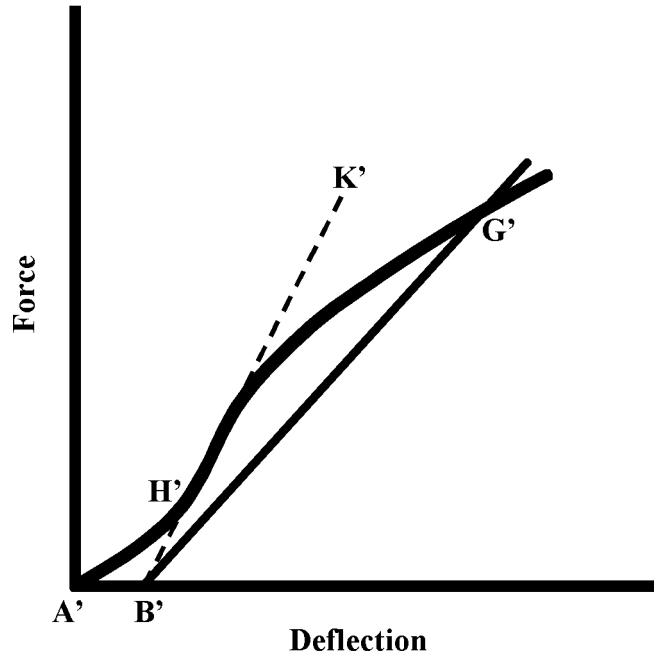


FIG. A2.2 Material without a Hookean Region

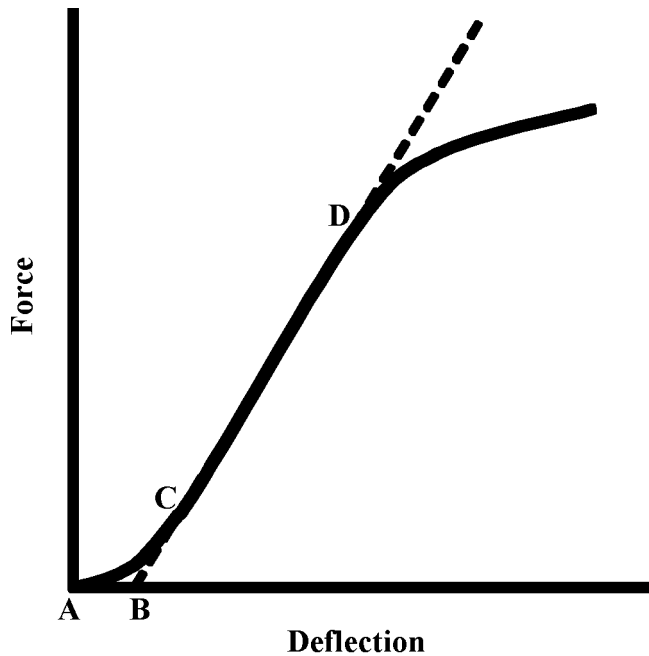


FIG. A2.1 Material with a Hookean Region

Licensed by WEX to UNIVERSIDADE DE SAO PAULO-CRUESP. Downloaded: 1/29/2008 11:27:41AM single-user license only, copying and networking prohibited.

 **D 7264/D 7264M – 07**

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

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

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

**Anexo 4. Norma para
el ensayo a impacto
ASTM D5628.**



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

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

^{e1} NOTE—Editorial changes were made throughout in November 2001.

1. Scope

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

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

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

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

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:

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

Tup Falling Weight⁵

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

3. Terminology

3.1 Definitions:

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

3.2 Definitions of Terms Specific to This Standard:

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

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

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

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

¹ This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee D20 on Plastics and is the direct responsibility of Subcommittee D20.10 on Mechanical Properties. Current edition approved March 10, 1996. Published July 1996. Originally published as D 5628 – 94. Last previous edition D 5628 – 95.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

4. Summary of Test Method

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

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

4.3 The technique used to determine mean failure energy is commonly called the Bruceton Staircase Method or the Up-and-Down Method (1).⁹ Testing is concentrated near the mean, reducing the number of specimens required to obtain a reasonably precise estimate of the impact resistance.

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

5. Significance and Use

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

6. Interferences

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

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

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

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

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

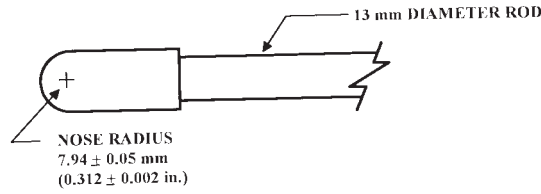


FIG. 1 (a)

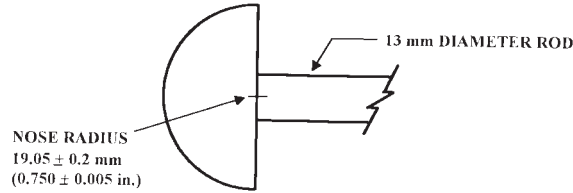
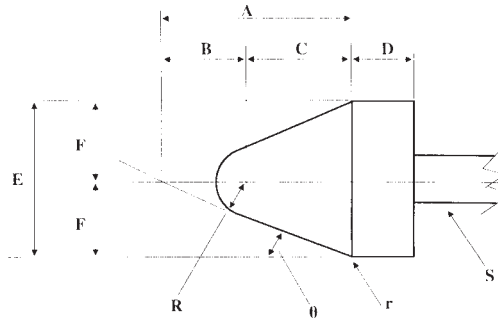


FIG. 1 (c)

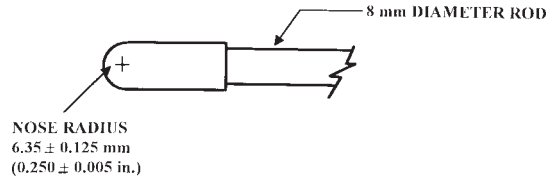


FIG. 1 (d)

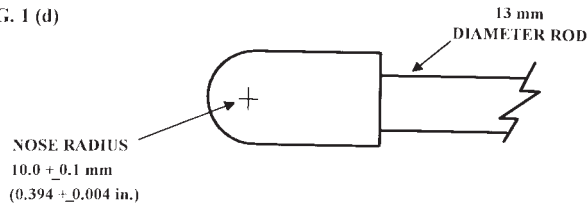


FIG. 1 (e)

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

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

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

^A Larger diameter shafts may be used.

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

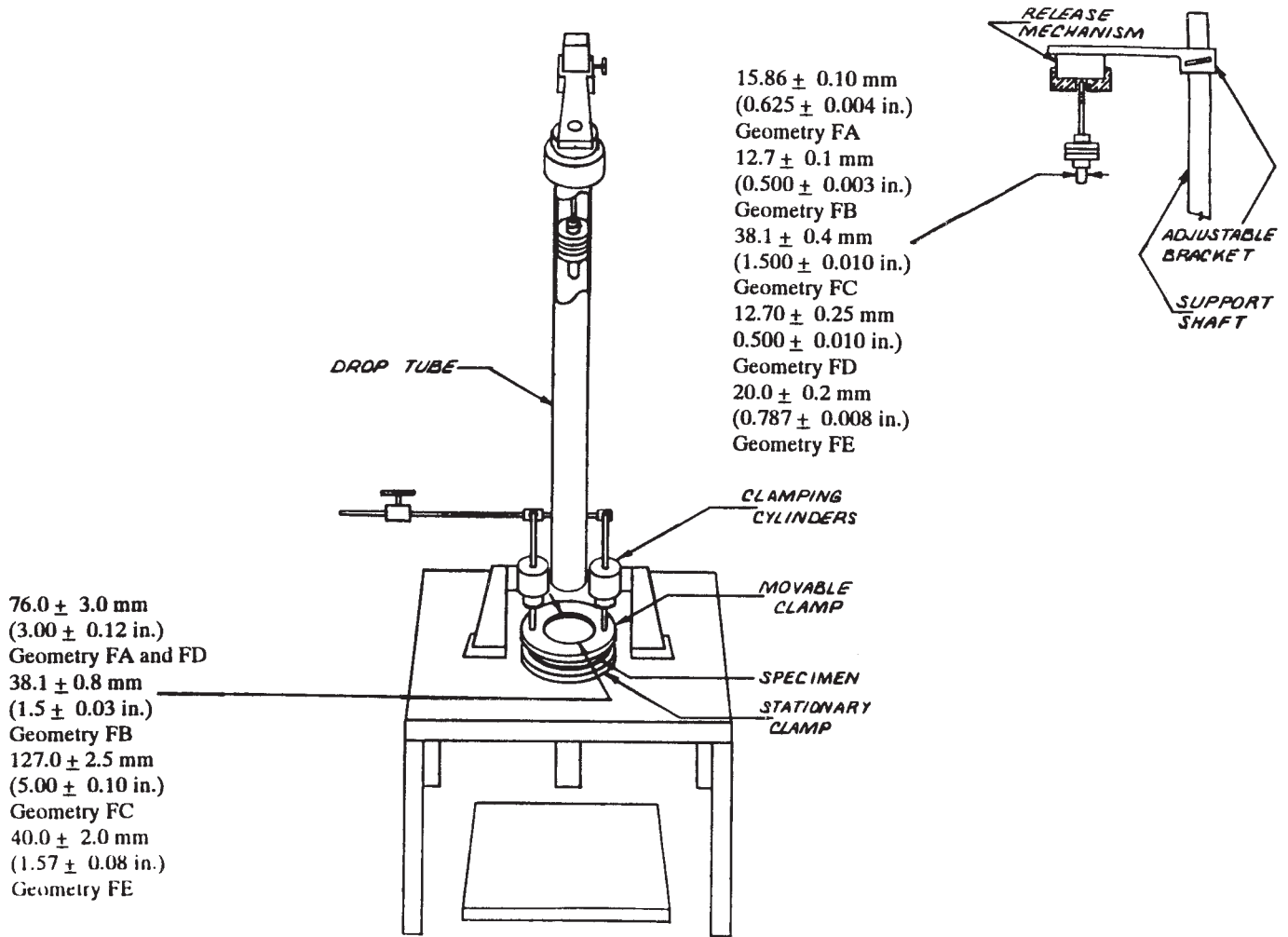


FIG. 2 One Type of Falling Mass Impact Tester

7. Apparatus

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

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

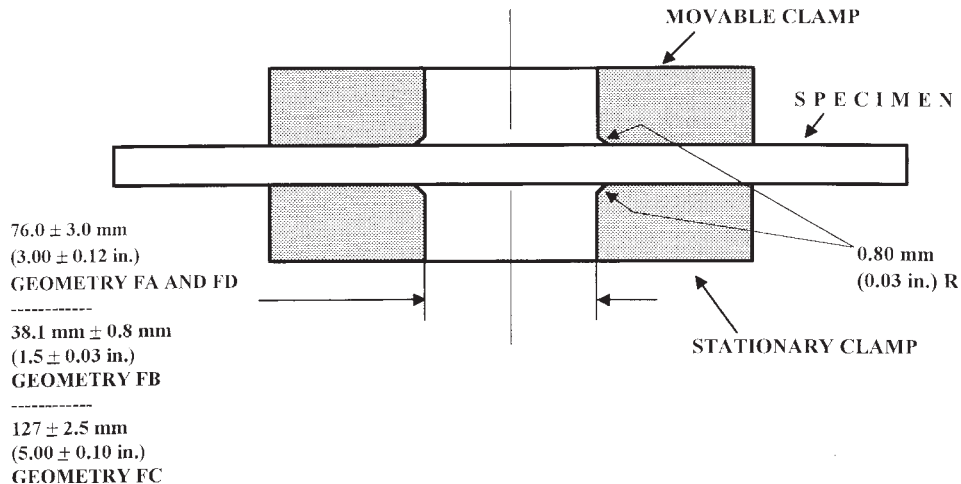


FIG. 3 Support Plate/Specimen/Clamp Configuration for Geometries FA, FB, FC, and FD

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

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

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

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

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

7.2 *Tup*:

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

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

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

TABLE 1 **Tup and Support Ring Dimensions**

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

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

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

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

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

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

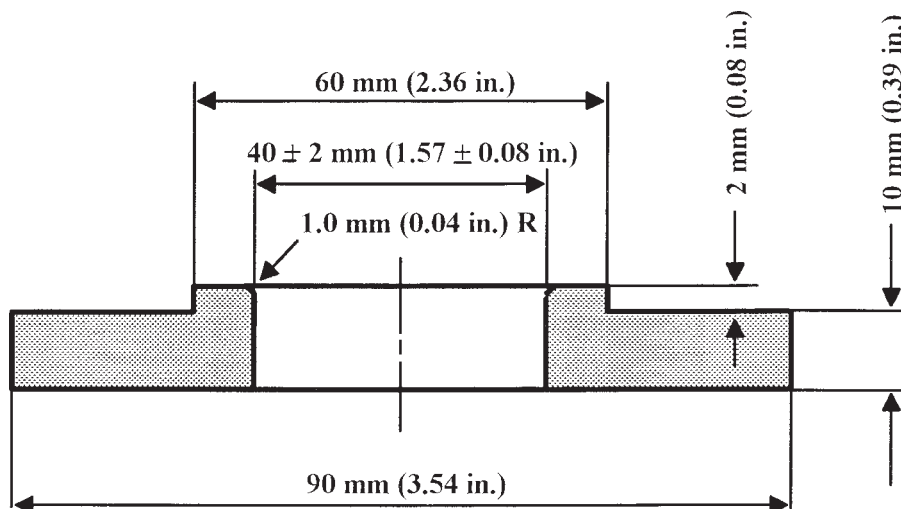


FIG. 4 Test-Specimen Support for Geometry FE

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

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

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

8. Hazards

8.1 Safety Precautions:

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

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

9. Sampling

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

10. Test Specimens

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

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

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

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

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

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

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

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

11. Conditioning

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

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

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

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

12. Procedure

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

12.2 Mark the specimens and condition as specified in 11.1.

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

TABLE 2 Minimum Size of Specimen

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

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

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

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

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

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

NOTE 5—If failures cannot be produced with the maximum available missile mass, the drop height can be increased. The test temperature could be reduced by (a) use of an ice-water mixture, or (b) by air-conditioned environment to provide one of the temperatures given in 3.3 of Test Methods D 618. Conversely, if the unloaded tup causes failures when dropped 0.660 m, the drop height can be decreased. A moderate change in dart velocity will not usually affect the mean-failure energy appreciably. Refer to 5.1.

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

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

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

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

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

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

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

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

13. Calculation

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

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

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

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

where:

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

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

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

where:

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

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

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

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

where:

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

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

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

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

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

or

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

where:

$s_{\bar{h}}$ = estimated standard deviation of the mean height, mm,
 $s_{\bar{w}}$ = 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 may be found in Appendix X1.

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

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

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

or

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

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,

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

14.1.12 Date of test and operator's identification,

14.1.13 Test temperature,

14.1.14 In no case shall results obtained with arbitrary geometries differing from those contained in these test methods be reported as values obtained by this test method (D 5628), and

14.1.15 The test method number and published/revision date.

15. Precision and Bias

15.1 Tables 3 and 4 are based on a round robin¹⁰ conducted in 1972 involving three materials tested by six laboratories. Data from only four laboratories were used in calculating the values in these tables. Each test result was the mean of multiple individual determinations (Bruceton Staircase Procedure). Each laboratory obtained one test result for a material.

NOTE 8—The number of laboratories participating in the 1972 round robin and the number of results collected do not meet the minimum requirements of Practice E 691. Data in Tables 3 and 4 should be used only for guidance, and not as a referee when there is a dispute between users of this test method.

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

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

15.1.3 *Acrylonitrile-Butadiene-Styrene (ABS)*—Specimens were cut from samples of 2.64-mm (0.104-in.) thickness extruded sheet.

NOTE 9—**Caution:** The following explanations of r and R (15.2-15.2.3) are only intended to present a meaningful way of considering the approximate precision of this test method. The data in Tables 3 and 4 should not be rigorously applied to acceptance or rejection of material, as those data are specific to the round robin and may not be representative of other lots, conditions, materials, or laboratories. Users of this test method should apply the principles outlined in Practice E 691 to generate data specific to their laboratory and materials, or between specific laboratories. The principles of 15.2-15.2.3 would then be valid for such data.

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

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

TABLE 3 Precision, Method FB

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

^A Data generated in three laboratories.

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

$r = 2.83 V_r$.

TABLE 4 Precision, Method FC

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

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

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

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

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

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

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

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

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

16. Keywords

16.1 dart impact; falling-mass impact; impact; impact resistance; mean-failure energy; mean-failure height; mean-failure mass; rigid plastic; tup

APPENDIX

(Nonmandatory Information)

X1. SAMPLE CALCULATIONS

Total Dart Mass, kg	Outcome of Test (X = failure; O = non-failure)																				<i>n_x</i>	<i>n_o</i>	<i>i</i>	<i>n_i</i>	<i>in₁</i>	<i>i²n₁</i>
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20						
9.00						X															1	0	2	1	2	4
8.00					O		X		X			X		X							4	1	1	4	4	4
7.00		X		O				O		X		O		O		X		X		O	4	5	0	4	0	0
6.00	O		O								O							O		O	0	5				
Totals																					9	11		9	6	8
																					<i>(N_x)</i>	<i>(N_o)</i>		<i>(N)</i>	<i>(A)</i>	<i>(B)</i>

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

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

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

$= 7.17 \text{ kg}$

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

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

0.77 kg

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

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

TABLE X1.1 Values of G for Obtaining the Estimated Standard Deviation of the Mean

<i>s/d</i>	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
0.40						1.18	1.175	1.17	1.16	1.155
0.50	1.15	1.145	1.14	1.135	1.13	1.125	1.12	1.11	1.105	1.10
0.60	1.095	1.09	1.085	1.08	1.075	1.07	1.07	1.065	1.06	1.06
0.70	1.055	1.055	1.05	1.05	1.045	1.04	1.04	1.035	1.035	1.03
0.80	1.03	1.025	1.025	1.02	1.02	1.02	1.015	1.015	1.015	1.01
0.90	1.01	1.01	1.005	1.005	1.005	1.00	1.00	1.00	0.995	0.995
1.00	0.995	0.99	0.99	0.99	0.985	0.985	0.985	0.985	0.98	0.98
1.10	0.98	0.98	0.98	0.975	0.975	0.975	0.975	0.975	0.975	0.97
1.20	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.965	0.965	0.965	0.965
1.30	0.965	0.965	0.965	0.965	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96
1.40	0.96	0.96	0.96	0.955	0.955	0.955	0.955	0.955	0.955	0.955
1.50	0.955	0.955	0.955	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95
1.60	0.95	0.95	0.95	0.95	0.945	0.945	0.945	0.945	0.945	0.945
1.70	0.945	0.945	0.945	0.945	0.945	0.945	0.94	0.94	0.94	0.94
1.80	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.935
1.90	0.935	0.935	0.935	0.935	0.935	0.935	0.935	0.935	0.935	0.935
2.00	0.935	0.935	0.935	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93

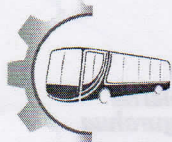
REFERENCES

- (1) Brownlee, K. A., Hodgest, J. L., Jr., and Rosenblatt, Murray, "The Up-and-Down Method with Small Samples," *American Statistical Association Journal*, Vol 48, 1953, pp. 262–277.
- (2) Hagan, R. S., Schmitz, J. V., and Davis, D. A., "Impact Testing of High Impact Thermoplastic Sheet," *Technical Papers, 17th Annual Technical Conference of SPE, SPPPB*, Vol VIII, January 1961.
- (3) "Test Method A—Falling Dart Impact, Proposed Method of Test for Impact Resistance of Fabricated Plastics Parts," *Proposed Test Methods for Plastics Parts Used in Appliances*, the Society of the Plastics Industry, New York, NY, January 1965.
- (4) Weaver, O. R., "Using Attributes to Measure a Continuous Variable in Impact Testing Plastic Bottles," *Materials Research and Standards, MR & S*, Vol 6, No. 6, June 1966, pp. 285–291.
- (5) Natrella, M. G., *Experimental Statistics*, National Bureau of Standards Handbook 91, October 1966, pp. 10–22 and 10–23.

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

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

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



RECEPCIÓN E IDENTIFICACIÓN DE PROBETAS

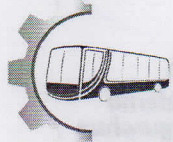
Informe N°: 186502752020170829-ETC	
DATOS DEL CLIENTE	
Empresa / Cliente: Christian Andrés Pazmiño Guerrero	
Dirección: Corazón y Chiles, Barrio el Recreo, Ambato.	
NÚM. DE CEDULA / RUC: 1804395307001	TELÉFONO: 0983017390
E-MAIL: crissan.pazmino@gmail.com	

DATOS INFORMATIVOS
Laboratorio: Resistencia de Materiales.
Designación del material: Material matriz polimérica reforzado con fibras de hoja de yucca elephantipes.
Método de ensayo: ASTM D3039-2015

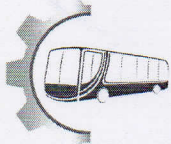
Número de Probetas cuantificadas.

N°	Identificación del grupo	Configuración de fibra	Fracción volumétrica		Probetas a Ensayar
			Refuerzo (%)	Matriz (%)	
1	180439530720171020 ETC 01	Fibra Corta	35	65	5
2	180439530720171020 ETC 02	Fibra larga	35	65	5
3	180439530720171020 ETC 03	Fibra Corta	25	75	5
4	180439530720171020 ETC 04	Fibra larga	25	75	5
5	180439530720171020 ETC 05	Fibra Corta	30	70	5
6	180439530720171020 ETC 06	Fibra larga	30	70	5
TOTAL					30

Nota: Las probetas fueron realizadas en un molde con la utilización de mezcla de resina poliéster con refuerzo de fibra de hoja de yuca, la configuración de la fibra se realiza con fibras cortas y largas, según especificaciones y declaraciones del cliente.



ENSAYO SOLICITADO				
No.	No. DE PROBETA	DESCRIPCIÓN	FECHAS	
			RECEPCIÓN	ENSAYO
1	180439530720171020 ETC 01-1	Cumple criterios dimensionales.	07/11/2017	09/11/2017
2	180439530720171020 ETC 01-2	Cumple criterios dimensionales	07/11/2017	09/11/2017
3	180439530720171020 ETC 01-3	Cumple criterios dimensionales	07/11/2017	09/11/2017
4	180439530720171020 ETC 01-4	Cumple criterios dimensionales	07/11/2017	09/11/2017
5	180439530720171020 ETC 01-5	Cumple criterios dimensionales	07/11/2017	09/11/2017
6	180439530720171020 ETC 02-1	Cumple criterios dimensionales	07/11/2017	09/11/2017
7	180439530720171020 ETC 02-2	Cumple criterios dimensionales	07/11/2017	09/11/2017
8	180439530720171020 ETC 02-3	Cumple criterios dimensionales	07/11/2017	09/11/2017
9	180439530720171020 ETC 02-4	Cumple criterios dimensionales	07/11/2017	09/11/2017
10	180439530720171020 ETC 02-5	Cumple criterios dimensionales	07/11/2017	09/11/2017
11	180439530720171020 ETC 03-1	Cumple criterios dimensionales	07/11/2017	09/11/2017
12	180439530720171020 ETC 03-2	Cumple criterios dimensionales	07/11/2017	09/11/2017
13	180439530720171020 ETC 03-3	Cumple criterios dimensionales	07/11/2017	09/11/2017
14	180439530720171020 ETC 03-4	Cumple criterios dimensionales	07/11/2017	09/11/2017
15	180439530720171020 ETC 03-5	Cumple criterios dimensionales	07/11/2017	09/11/2017
16	180439530720171020 ETC 04-1	Cumple criterios dimensionales	07/11/2017	09/11/2017
17	180439530720171020 ETC 04-2	Cumple criterios dimensionales	07/11/2017	09/11/2017
18	180439530720171020 ETC 04-3	Cumple criterios dimensionales	07/11/2017	09/11/2017
19	180439530720171020 ETC 04-4	Cumple criterios dimensionales	07/11/2017	09/11/2017
20	180439530720171020 ETC 04-5	Cumple criterios dimensionales	07/11/2017	09/11/2017
21	180439530720171020 ETC 05-1	Cumple criterios dimensionales	07/11/2017	09/11/2017
22	180439530720171020 ETC 05-2	Cumple criterios dimensionales	07/11/2017	09/11/2017
23	180439530720171020 ETC 05-3	Cumple criterios dimensionales	07/11/2017	09/11/2017
24	180439530720171020 ETC 05-4	Cumple criterios dimensionales	07/11/2017	09/11/2017

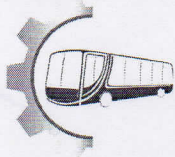


25	180439530720171020 ETC 05-5	Cumple criterios dimensionales	07/11/2017	09/11/2017
26	180439530720171020 ETC 06-1	Cumple criterios dimensionales	07/11/2017	09/11/2017
27	180439530720171020 ETC 06-2	Cumple criterios dimensionales	07/11/2017	09/11/2017
28	180439530720171020 ETC 06-3	Cumple criterios dimensionales	07/11/2017	09/11/2017
29	180439530720171020 ETC 06-4	Cumple criterios dimensionales	07/11/2017	09/11/2017
30	180439530720171020 ETC 06-5	Cumple criterios dimensionales	07/11/2017	09/11/2017

DATOS INFORMATIVOS: De acuerdo a los criterios de aceptación y rechazo las probetas cumplen con el número mínimo de muestras para el ensayo y en las dimensiones. El cliente acepta que se ensaye con estas observaciones.

Elaborado por:	Aprobado por:
Ing. Fernando Galarza Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC	Ing. Esteban López Espinel Director Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC
Cliente	

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



LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES
ENSAYO DE TRACCIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS
INFORME DE RESULTADOS N°: 180439530720171020-ETC

DATOS GENERALES

Datos informativos: N° de proforma: RM_2017_058
Empresa / Cliente: Christian Andrés Pazmiño Guerrero
RUC/C.I.: 1804395307001 **Ciudad:** Ambato.
Dirección: Corazón y Chiles, Barrio el Recreo.
Teléfono: 0983017390 **Correo:** crissan.pazmiño@gmail.com
Datos del ensayo:
Lugar de Ejecución del Ensayo: Laboratorio de Resistencia de Materiales.
Dirección: Ambato/Catiglata. Toronto y Rio de Janeiro.
Método de ensayo: ASTM D3039-2015. Método de prueba estándar para propiedades de tracción de materiales compuestos de matriz de polimérica.
Tipo de ensayo: Cuantitativo. **Tipo de probeta:** Plana.
Equipo utilizado: Maquina de ensayos universal. Metro test 50 kN
Velocidad de ensayo: 10 mm/min **Precarga:** 0 N
Fecha de Inicio de Ensayo: 07/11/2017. **Fecha de Finalización de Ensayo:** 08/11/2017.
 Los resultados obtenidos en el presente informe corresponden a ensayos realizados en probetas de materiales compuestos. Las probetas fueron recibidas en el Laboratorio de Resistencia de Materiales del CFPMC del H.G.P. Tungurahua.

OBJETOS DE ENSAYO

Número de Probetas cuantificadas

N°	Identificación del grupo	Configuración de fibra	Fracción volumétrica		Probetas a Ensayar
			Refuerzo (%)	Matriz (%)	
1	180439530720171020 ETC 01	Fibra Corta	35	65	5
2	180439530720171020 ETC 02	Fibra larga	35	65	5
3	180439530720171020 ETC 03	Fibra Corta	25	75	5
4	180439530720171020 ETC 04	Fibra larga	25	75	5
5	180439530720171020 ETC 05	Fibra Corta	30	70	5
6	180439530720171020 ETC 06	Fibra larga	30	70	5
TOTAL					30

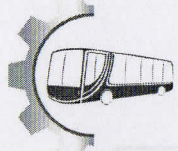
Nota: Las probetas fueron realizadas en un molde con la utilización de mezcla de resina poliéster con refuerzo de fibra de hoja de yucca elephantipes, la configuración de la fibra se realiza con fibras cortas y largas, según especificaciones y declaraciones del cliente.

Observaciones: Ninguna.

Elaborado por:		Aprobado por:
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

Fecha de entrega de Informe: Ambato, 09 de noviembre de 2017.

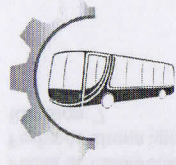
N°. Factura: 001-002-000003638



Resultados:

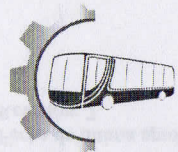
Pro beta	Identificación de probeta	Temper atura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones mm		Fuerza máxima (N)	Esfuerzo máximo de tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (Calculado) (MPa)	% Elongación (Calculado)	Tipo de falla evaluado
				Ancho	Espesor					
1	180439530720171020 ETC 01-1	23	55	24.58	5.95	3526,4	24.11	1033.96	2.33	LGM
2	180439530720171020 ETC 01-2	23	55	25.09	5.72	3401,75	23.70	1041.26	2.28	LIT
3	180439530720171020 ETC 01-3	23	55	24.90	6.42	3206,1	20.06	890.90	2.25	LIT
4	180439530720171020 ETC 01-4	23	55	25.11	6.12	3966,61	25.81	1010.02	2.56	LGM
5	180439530720171020 ETC 01-5	23	55	24.73	5.66	3543,75	25.32	1022.69	2.48	LGM
Promedio \bar{x}						3528.92	23.80	999.76	2.38	
Desviación estándar S_{n-1}						279.37	2.26	61.99	0.13	
Coeficiente de variación CV						7.92	9.51	6.20	5.55	

Pro beta	Identificación de probeta	Temper atura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones mm		Fuerza máxima (N)	Esfuerzo máximo de tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (Calculado) (MPa)	% Elongación (Calculado)	Tipo de falla evaluado
				Ancho	Espesor					
6	180439530720171020 ETC 02-1	22	59	24.60	5.38	4637.17	35.04	1271.51	2.76	LIT
7	180439530720171020 ETC 02-2	22	59	25.01	5.61	5001.65	35.65	1236.92	2.88	LIT
8	180439530720171020 ETC 02-3	22	59	24.79	6.08	3900.34	25.88	1080.21	2.40	LIT
9	180439530720171020 ETC 02-4	22	59	24.84	5.92	5421.34	36.87	1257.39	2.93	LGM
10	180439530720171020 ETC 02-5	22	59	24.79	5.74	4787.07	33.64	1196.71	2.81	LIT
Promedio \bar{x}						4749.51	33.41	1208.55	2.76	
Desviación estándar S_{n-1}						559.03	4.37	77.08	0.21	
Coeficiente de variación CV						11.77	13.08	6.38	7.69	



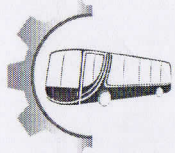
Probeta	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones mm		Fuerza máxima (N)	Esfuerzo máximo de tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (Calculado) (MPa)	% Elongación (Calculado)	Tipo de falla evaluado
				Ancho	Espesor					
11	180439530720171020 ETC 03-1	22	59	24.94	5.33	3750.45	28.21	1177.34	2.40	LGM
12	180439530720171020 ETC 03-2	22	59	24.82	5.32	3199.79	24.23	1076.07	2.25	LIT
13	180439530720171020 ETC 03-3	22	59	24.60	5.33	3048.32	23.25	1094.78	2.12	LGM
14	180439530720171020 ETC 03-4	22	59	24.86	5.30	3565.84	27.06	1082.54	2.50	LIT
15	180439530720171020 ETC 03-5	22	59	24.87	5.42	2693.32	19.98	997.24	2	LGM
Promedio \bar{x}						3251.54	24.55	1085.59	2.26	
Desviación estándar S_{n-1}						419.31	3.26	64.04	0.20	
Coeficiente de variación CV						12.90	13.26	5.90	8.88	

Probeta	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones mm		Fuerza máxima (N)	Esfuerzo máximo de tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (Calculado) (MPa)	% Elongación (Calculado)	Tipo de falla evaluado
				Ancho	Espesor					
16	180439530720171020 ETC 04-1	22	57	24.93	5.49	3182.44	23.25	1230.80	1.89	LAT
17	180439530720171020 ETC 04-2	22	57	25.10	5.56	4271.12	30.61	1261.75	2.43	LIT
18	180439530720171020 ETC 04-3	22	57	24.74	5.56	5820.53	42.31	1331.65	3.18	LIT
19	180439530720171020 ETC 04-4	22	57	24.56	5.53	3813.56	28.08	1280.96	2.19	LGM
20	180439530720171020 ETC 04-5	22	57	24.99	5.28	3819.87	28.95	1315.43	2.20	LIT
Promedio \bar{x}						4181.50	30.64	1280.12	2.38	
Desviación estándar S_{n-1}						994.83	7.08	40.60	0.49	
Coeficiente de variación CV						23.79	233.09	3.16	20.46	



Pro beta	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones mm		Fuerza máxima (N)	Esfuerzo máximo de tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (Calculado) (MPa)	% Elongación (Calculado)	Tipo de falla evaluado
				Ancho	Espesor					
21	180439530720171020 ETC 05-1	21	61	24.53	5.38	3135.1	23.76	1092.53	2.17	LGM
22	180439530720171020 ETC 05-2	21	61	25.03	5.28	4002.9	30.29	1593.80	1.90	LAT
23	180439530720171020 ETC 05-3	21	61	24.76	5.31	3474.33	26.43	1142.98	2.31	LAT
24	180439530720171020 ETC 05-4	21	61	24.58	5.22	3985.54	31.06	1099.32	2.83	LGM
25	180439530720171020 ETC 05-5	21	61	24.76	5.24	3247.13	25.03	1066.63	2.35	LAT
				Promedio \bar{x}		3569	27.31	1199.05	2.31	
				Desviación estándar S_{n-1}		407	3.22	222.37	0.34	
				Coeficiente de variación CV		11.40	11.80	18.55	14.56	

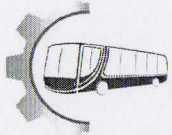
Pro beta	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones mm		Fuerza máxima (N)	Esfuerzo máximo de tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (Calculado) (MPa)	% Elongación (Calculado)	Tipo de falla evaluado
				Ancho	Espesor					
26	180439530720171020 ETC 06-1	21	63	24.77	5.41	4867.53	36.32	1421.10	2.56	LIT
27	180439530720171020 ETC 06-2	21	63	24.81	5.96	4735	32.02	1253.60	2.55	LIT
28	180439530720171020 ETC 06-3	21	63	24.54	6.11	4351.59	29.02	1131.03	2.57	LAT
29	180439530720171020 ETC 06-4	21	63	24.73	5.84	4698.71	32.53	1162.77	2.80	LIT
30	180439530720171020 ETC 06-5	21	63	25.07	6.29	5167.32	32.77	1171.32	2.80	LIT
				Promedio \bar{x}		4764.03	32.53	1227.96	2.65	
				Desviación estándar S_{n-1}		295.20	2.60	117.06	0.13	
				Coeficiente de variación CV		6.20	7.99	9.53	4.93	



Nomenclatura:

De tipo de falla evaluado: El tipo de falla evaluado se lo realiza mediante los criterios de la norma ASTM D3039-2015.

Primer carácter		Segundo carácter		Tercer carácter	
L	Lateral	A	En el agarre	T	Parte superior
L	Lateral	I	Dentro del agarre	T	Parte superior
A	Angular	G	Zona calibrada	M	Medio

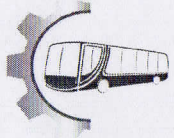


HOJA DE ALMACENAMIENTO DE MUESTRAS

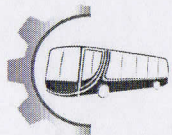
Informe N°: 180439530720171020-ETC	
DATOS DEL CLIENTE	
Empresa / Cliente: Christian Andrés Pazmiño Guerrero	
DIRECCIÓN: Corazón y Chiles, Barrio el Recreo, Ambato.	
NÚM. DE CEDULA / RUC: 1804395307001	TELÉFONO: 0983017390
E-MAIL: crissan.pazmino@gmail.com	

DATOS INFORMATIVOS
Laboratorio: Resistencia de Materiales.
Designación del material: Material matriz polimérica reforzado con fibras de hoja de yucca elephantipes.
Método de ensayo: ASTM D7264-2015.

N°	IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	FECHA INGRESO	FECHA ELIMINACIÓN	RESPONSABLE	OBSERVACIONES	Evidencias
1	180439530720171020 ETC 01-1	07/11/2017		Ing. F. Galarza	Se almacena	
2	180439530720171020 ETC 01-2	07/11/2017		Ing. F. Galarza	Se almacena	
3	180439530720171020 ETC 01-3	07/11/2017	10/11/2017	Cliente	Entrega al cliente	
4	180439530720171020 ETC 01-4	07/11/2017	10/11/2017	Cliente	Entrega al cliente	
5	0180439530720171020 ETC 01-5	07/11/2017	10/11/2017	Cliente	Entrega al cliente	



N°	IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	FECHA INGRESO	FECHA ELIMINACIÓN	RESPONSABLE	OBSERVACIONES	Evidencias	
6	180439530720171020 ETC 02-1	07/11/2017		Ing. F. Galarza	Se almacena		
7	180439530720171020 ETC 02-2	07/11/2017		Ing. F. Galarza	Se almacena		
8	180439530720171020 ETC 02-3	07/11/2017	10/11/2017	Cliente	Entrega al cliente		
9	180439530720171020 ETC 02-4	07/11/2017	10/11/2017	Cliente	Entrega al cliente		
10	0180439530720171020 ETC 02-5	07/11/2017	10/11/2017	Cliente	Entrega al cliente		
11	180439530720171020 ETC 03-1	07/11/2017		Ing. F. Galarza	Se almacena		
12	180439530720171020 ETC 03-2	07/11/2017		Ing. F. Galarza	Se almacena		
13	180439530720171020 ETC 03-3	07/11/2017	10/11/2017	Cliente	Entrega al cliente		
14	180439530720171020 ETC 03-4	07/11/2017	10/11/2017	Cliente	Entrega al cliente		
15	0180439530720171020 ETC 03-5	07/11/2017	10/11/2017	Cliente	Entrega al cliente		
16	180439530720171020 ETC 04-1	07/11/2017		Ing. F. Galarza	Se almacena		
17	180439530720171020 ETC 04-2	07/11/2017		Ing. F. Galarza	Se almacena		
18	180439530720171020 ETC 04-3	07/11/2017	10/11/2017	Cliente	Entrega al cliente		
19	180439530720171020 ETC 04-4	07/11/2017	10/11/2017	Cliente	Entrega al cliente		
20	0180439530720171020 ETC 04-5	07/11/2017	10/11/2017	Cliente	Entrega al cliente		

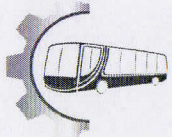


Formulario 7
Límite de validez de uso: 11-01-2014

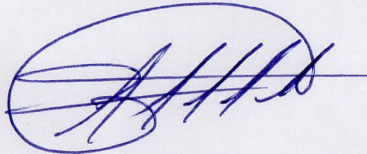
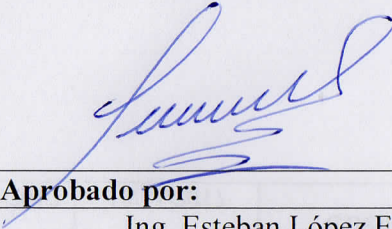

Nº	IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	FECHA INGRESO	FECHA ELIMINACIÓN	RESPONSABLE	OBSERVACIONES	Evidencias
21	180439530720171020 ETC 05-1	07/11/2017		Ing. F. Galarza	Se almacena	
22	180439530720171020 ETC 05-2	07/11/2017		Ing. F. Galarza	Se almacena	
23	180439530720171020 ETC 05-3	07/11/2017	10/11/2017	Cliente	Entrega al cliente	
24	180439530720171020 ETC 05-4	07/11/2017	10/11/2017	Cliente	Entrega al cliente	
25	0180439530720171020 ETC 05-5	07/11/2017	10/11/2017	Cliente	Entrega al cliente	
26	180439530720171020 ETC 06-1	07/11/2017		Ing. F. Galarza	Se almacena	
27	180439530720171020 ETC 06-2	07/11/2017		Ing. F. Galarza	Se almacena	
28	180439530720171020 ETC 06-3	07/11/2017	10/11/2017	Cliente	Entrega al cliente	
29	180439530720171020 ETC 06-4	07/11/2017	10/11/2017	Cliente	Entrega al cliente	
30	0180439530720171020 ETC 06-5	07/11/2017	10/11/2017	Cliente	Entrega al cliente	

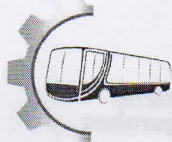
[Faint handwritten signatures and stamps]





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.

	
Elaborado por:	Aprobado por:
Ing. Fernando Galarza.	Ing. Esteban López Espinel
Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC	Director Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC
	
Cliente	



RECEPCIÓN E IDENTIFICACIÓN DE PROBETAS

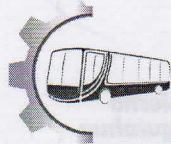
Informe N°: 180439530720171020-EFC	
DATOS DEL CLIENTE	
Empresa / Cliente: Christian Andrés Pazmiño Guerrero	
DIRECCIÓN: Corazón y Chiles, Barrio el Recreo, Ambato.	
NÚM. DE CEDULA / RUC: 1804395307001	TELÉFONO: 0983017390
E-MAIL: crissan.pazmino@gmail.com	

DATOS INFORMATIVOS
Laboratorio: Resistencia de Materiales.
Designación del material: Material matriz polimérica reforzado con fibras de hoja de yucca elephantipes.
Método de ensayo: ASTM D7264-2015.

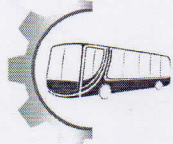
Número de Probetas cuantificadas.

N°	Identificación del grupo	Configuración de fibra	Fracción volumétrica		Probetas a Ensayar
			Refuerzo (%)	Matriz (%)	
1	180439530720171020 EFC 01	Fibra Corta	35	65	5
2	180439530720171020 EFC 02	Fibra larga	35	65	5
3	180439530720171020 EFC 03	Fibra Corta	25	75	5
4	180439530720171020 EFC 04	Fibra larga	25	75	5
5	180439530720171020 EFC 05	Fibra Corta	30	70	5
6	180439530720171020 EFC 06	Fibra larga	30	70	5
TOTAL					30

Nota: Las probetas fueron realizadas en un molde con la utilización de mezcla de resina poliéster con refuerzo de fibra de hoja de yuca, la configuración de la fibra se realiza con fibras cortas y largas, según especificaciones y declaraciones del cliente.



ENSAYO SOLICITADO				
No.	No. DE PROBETA	DESCRIPCIÓN	FECHAS	
			RECEPCIÓN	ENSAYO
1	180439530720171020 EFC 01-1	No cumple criterios dimensionales.	07/11/2017	09/11/2017
2	180439530720171020 EFC 01-2	No cumple criterios dimensionales.	07/11/2017	09/11/2017
3	180439530720171020 EFC 01-3	No cumple criterios dimensionales.	07/11/2017	09/11/2017
4	180439530720171020 EFC 01-4	No cumple criterios dimensionales.	07/11/2017	09/11/2017
5	180439530720171020 EFC 01-5	No cumple criterios dimensionales.	07/11/2017	09/11/2017
6	180439530720171020 EFC 02-1	No cumple criterios dimensionales.	07/11/2017	09/11/2017
7	180439530720171020 EFC 02-2	No cumple criterios dimensionales.	07/11/2017	09/11/2017
8	180439530720171020 EFC 02-3	No cumple criterios dimensionales.	07/11/2017	09/11/2017
9	180439530720171020 EFC 02-4	No cumple criterios dimensionales.	07/11/2017	09/11/2017
10	180439530720171020 EFC 02-5	No cumple criterios dimensionales.	07/11/2017	09/11/2017
11	180439530720171020 EFC 03-1	No cumple criterios dimensionales.	07/11/2017	09/11/2017
12	180439530720171020 EFC 03-2	No cumple criterios dimensionales.	07/11/2017	09/11/2017
13	180439530720171020 EFC 03-3	No cumple criterios dimensionales.	07/11/2017	09/11/2017
14	180439530720171020 EFC 03-4	No cumple criterios dimensionales.	07/11/2017	09/11/2017
15	180439530720171020 EFC 03-5	No cumple criterios dimensionales.	07/11/2017	09/11/2017
16	180439530720171020 EFC 04-1	No cumple criterios dimensionales.	07/11/2017	09/11/2017
17	180439530720171020 EFC 04-2	No cumple criterios dimensionales.	07/11/2017	09/11/2017
18	180439530720171020 EFC 04-3	No cumple criterios dimensionales.	07/11/2017	09/11/2017
19	180439530720171020 EFC 04-4	No cumple criterios dimensionales.	07/11/2017	09/11/2017
20	180439530720171020 EFC 04-5	No cumple criterios dimensionales.	07/11/2017	09/11/2017
21	180439530720171020 EFC 05-1	No cumple criterios dimensionales.	07/11/2017	09/11/2017
22	180439530720171020 EFC 05-2	No cumple criterios dimensionales.	07/11/2017	09/11/2017
23	180439530720171020 EFC 05-3	No cumple criterios dimensionales.	07/11/2017	09/11/2017

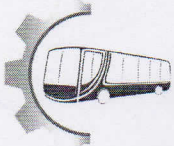


24	180439530720171020 EFC 05-4	No cumple criterios dimensionales.	07/11/2017	09/11/2017
25	180439530720171020 EFC 05-5	No cumple criterios dimensionales.	07/11/2017	09/11/2017
26	180439530720171020 EFC 06-1	No cumple criterios dimensionales.	07/11/2017	09/11/2017
27	180439530720171020 EFC 06-2	No cumple criterios dimensionales.	07/11/2017	09/11/2017
28	180439530720171020 EFC 06-3	No cumple criterios dimensionales.	07/11/2017	09/11/2017
29	180439530720171020 EFC 06-4	No cumple criterios dimensionales.	07/11/2017	09/11/2017
30	180439530720171020 EFC 06-5	No cumple criterios dimensionales.	07/11/2017	09/11/2017

DATOS INFORMATIVOS: De acuerdo a los criterios de aceptación y rechazo las probetas cumplen con el número mínimo de muestras para el ensayo, mas no en las dimensiones. El cliente acepta que se ensaye con estas observaciones.

Elaborado por:	Aprobado por:
Ing. Fernando Galarza Chacón	Ing. Esteban López Espinel
Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC	Director Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC
Cliente	

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



LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES
ENSAYO DE FLEXIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS
INFORME DE RESULTADOS N°: 180439530720171020-EFC

DATOS GENERALES

Datos informativos: N° de proforma: RM_2017_058
Empresa / Cliente: Christian Andrés Pazmiño Guerrero
RUC/C.I.: 1804395307001 **Ciudad:** Ambato.
Dirección: Corazón y Chiles, Barrio el Recreo.
Teléfono: 0983017390 **Correo:** crissan.pazmino@gmail.com

Datos del ensayo:

Lugar de Ejecución del Ensayo: Laboratorio de Resistencia de Materiales.
Dirección: Ambato/Catiglata. Toronto y Rio de Janeiro.
Método de ensayo: ASTM D7264-2015. Método de prueba estándar para propiedades de flexión de materiales compuestos de matriz de polímero.
Tipo de ensayo: Cuantitativo. **Procedimiento:** A
Equipo utilizado: Máquina de ensayos universal. Metro test 50 kN
Velocidad de ensayo: 10 mm/min **Precarga:** 0 N **Distancia entre apoyos:** 140 mm
Fecha de Inicio de Ensayo: 30/08/2017. **Fecha de Finalización de Ensayo:** 26/09/2017.
Los resultados obtenidos en el presente informe corresponden a ensayos realizados en probetas de materiales compuestos. Las probetas fueron recibidas en el Laboratorio de Resistencia de Materiales del CFPMC del H.G.P. Tungurahua.

OBJETOS DE ENSAYO

Número de Probetas cuantificadas

N°	Identificación del grupo	Configuración de fibra	Fracción volumétrica		Probetas a Ensayar
			Refuerzo (%)	Matriz (%)	
1	180439530720171020 EFC 01	Fibra Corta	35	65	5
2	180439530720171020 EFC 02	Fibra larga	35	65	5
3	180439530720171020 EFC 03	Fibra Corta	25	75	5
4	180439530720171020 EFC 04	Fibra larga	25	75	5
5	180439530720171020 EFC 05	Fibra Corta	30	70	5
6	180439530720171020 EFC 06	Fibra larga	30	70	5
TOTAL					30

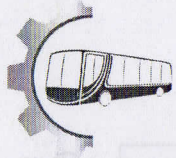
Nota: Las probetas fueron realizadas en un molde con la utilización de mezcla de resina poliéster con refuerzo de fibra d hoja de yucca elephantipes, la configuración de la fibra se realiza con fibras cortas y largas, según especificaciones y declaraciones del cliente.

Observaciones: Ninguna.

Elaborado por:		Aprobado por:
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

Fecha de entrega de Informe: Ambato, 10 de noviembre de 2017.

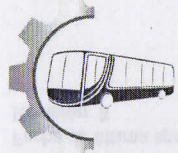
N°. Factura: 001-002-000003519



Resultados:

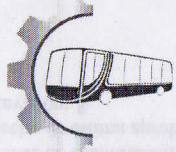
Probeta	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones mm		Fuerza máxima (N)	Deflexión (mm)	Esfuerzo máximo de flexión (MPa)	Módulo de elasticidad secante de flexión (Mpa)	Deformación máxima (%)	Tipo de falla evaluado
				Ancho	Espesor						
1	180439530720171020 EFC 01-1	15	83	12,8	5,6	83,62	8,467	43,75	3013,91	1,45	OAL
2	180439530720171020 EFC 01-2	15	83	13,02	5,78	17,35	1,25	8,38	3787,21	0,22	OAL
3	180439530720171020 EFC 01-3	15	83	12,83	5,92	99,4	8,894	46,42	2880,19	1,61	OAL
4	180439530720171020 EFC 01-4	15	83	12,76	5,49	66,27	7,099	36,19	3033,03	1,19	OAL
5	180439530720171020 EFC 01-5	15	83	12,98	5,9	82,04	6,991	38,13	3019,81	1,26	OAL
Promedio \bar{x}						69,74	6,54	34,57	3146,83	1,15	
Desviación estándar S_{n-1}						31,55	3,07	15,22	363,29	0,54	
Coeficiente de variación CV						45,24	46,97	44,01	11,54	47,34	

Probeta	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	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
				Ancho	Espesor						
6	180439530720171020 EFC 02-1	16	83	12,63	5,71	145,16	13,531	74,03	3129,89	2,37	OAL
7	180439530720171020 EFC 02-2	16	83	12,78	5,49	113,6	10,763	61,93	3423,90	1,81	OAL
8	180439530720171020 EFC 02-3	16	83	12,95	5,76	154,62	12,003	75,57	3570,78	2,12	OAL
9	180439530720171020 EFC 02-4	16	83	12,64	5,58	124,65	11,682	66,51	3333,11	2,00	OAL
10	180439530720171020 EFC 02-5	16	83	12,82	5,79	183,02	14,021	89,43	3598,49	2,49	OAL
Promedio \bar{x}						144,21	12,40	73,49	3411,23	2,15	
Desviación estándar S_{n-1}						27,09	1,35	10,50	191,01	0,27	
Coeficiente de variación CV						18,78	10,86	14,29	5,60	12,71	



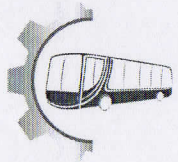
Probeta	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones mm		Fuerza máxima (N)	Deflexión (mm)	Esfuerzo máximo de flexión (MPa)	Módulo de elasticidad secante de flexión (Mpa)	Deformación máxima (%)	Tipo de falla evaluado
				Ancho	Espesor						
11	180439530720171020 EFC 03-1	16	82	12,63	5,34	71	8,134	41,40	3113,52	1,33	OLB
12	180439530720171020 EFC 03-2	16	82	12,65	5,37	69,42	8,012	39,96	3034,27	1,32	OLB
13	180439530720171020 EFC 03-3	16	82	12,8	5,35	66,27	7,373	37,99	3145,76	1,21	OLB
14	180439530720171020 EFC 03-4	16	82	12,77	5,32	45,76	4,753	26,59	3434,92	0,77	OLB
15	180439530720171020 EFC 03-5	16	82	13	5,34	69,42	7,56	39,33	3182,14	1,24	OLB
Promedio \bar{x}						64,37	7,17	37,05	3182,12	1,17	
Desviación estándar S_{n-1}						10,55	1,39	5,98	151,49	0,23	
Coeficiente de variación CV						16,38	19,33	16,13	4,76	19,52	

Probeta	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	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
				Ancho	Espesor						
16	180439530720171020 EFC 04-1	17	82	12,97	5,5	115,18	11,263	35,23	3251,02	1,90	OBV
17	180439530720171020 EFC 04-2	17	82	12,7	5,27	75,73	8,207	25,76	3405,43	1,32	OBV
18	180439530720171020 EFC 04-3	17	82	12,95	5,42	116,76	12,116	36,83	3206,21	2,01	OAL
19	180439530720171020 EFC 04-4	17	82	12,64	5,46	107,29	11,006	34,17	3250,34	1,84	OAL
20	180439530720171020 EFC 04-5	17	82	12,8	5,52	134,11	12,953	41,26	3299,04	2,19	OAL
Promedio \bar{x}						109,81	11,11	34,65	3282,41	1,85	
Desviación estándar S_{n-1}						21,42	1,79	5,66	76,21	0,32	
Coeficiente de variación CV						19,51	16,15	16,33	2,32	17,49	



Probeta	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	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
				Ancho	Espesor						
21	180439530720171020 EFC 05-1	17	72	13,02	5,06	58,38	7,299	36,78	3252,84	1,13	OAV
22	180439530720171020 EFC 05-2	17	72	12,97	5,05	69,42	9,142	44,07	3118,55	1,41	OAV
23	180439530720171020 EFC 05-3	17	72	12,76	5,01	67,84	9,675	44,48	2997,75	1,48	OAV
24	180439530720171020 EFC 05-4	17	72	12,6	5,08	61,53	8,115	39,74	3148,91	1,26	OAV
25	180439530720171020 EFC 05-5	17	72	12,76	5,11	67,84	8,565	42,76	3191,31	1,34	OAV
Promedio \bar{x}						65,00	8,56	41,57	3141,87	1,33	
Desviación estándar S_{n-1}						4,78	0,92	3,26	95,03	0,14	
Coeficiente de variación CV						7,36	10,72	7,84	3,02	10,33	

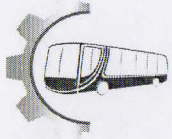
Probeta	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones mm		Fuerza máxima (N)	Deflexión (mm)	Esfuerzo máximo de flexión (MPa)	Módulo de elasticidad secante de flexión (Mpa)	Deformación máxima (%)	Tipo de falla evaluado
				Ancho	Espesor						
26	180439530720171020 EFC 06-1	17	75	12,73	5,67	123,07	10,778	63,15	3375,67	1,87	OAV
27	180439530720171020 EFC 06-2	17	75	12,65	6,08	162,51	12,265	72,98	3196,95	2,28	OAV
28	180439530720171020 EFC 06-3	17	75	12,64	5,9	78,89	5,971	37,65	3491,37	1,08	OAV
29	180439530720171020 EFC 06-4	17	75	12,8	5,83	93,09	7,64	44,93	3295,48	1,36	OAV
30	180439530720171020 EFC 06-5	17	75	12,95	6	112,02	8,239	50,46	3334,43	1,51	OBV
Promedio \bar{x}						113,92	8,98	53,84	3338,78	1,62	
Desviación estándar S_{n-1}						32,05	2,52	14,19	108,00	0,47	
Coeficiente de variación CV						28,14	28,08	26,36	3,23	28,80	



Nomenclatura:

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

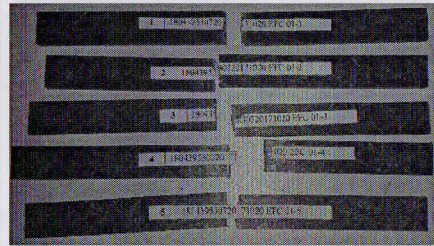
Primer carácter		Segundo carácter		Tercer carácter	
O	Otros	A	En el punto de carga	B	Fondo
O	Otros	L	Entre la carga y el punto de apoyo	V	varios

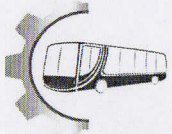


HOJA DE ALMACENAMIENTO DE MUESTRAS

Informe N°: 180439530720171020-EFC	
DATOS DEL CLIENTE	
Empresa / Cliente: Christian Andrés Pazmiño Guerrero	
DIRECCIÓN: Corazón y Chiles, Barrio el Recreo, Ambato.	
NÚM. DE CEDULA / RUC: 1804395307001	TELÉFONO: 0983017390
E-MAIL: crissan.pazmino@gmail.com	

DATOS INFORMATIVOS
Laboratorio: Resistencia de Materiales.
Designación del material: Material matriz polimérica reforzado con fibras de hoja de yucca elephantipes.
Método de ensayo: ASTM D7264-2015.

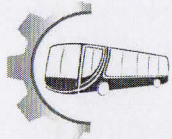
N°	IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	FECHA INGRESO	FECHA ELIMINACIÓN	RESPONSABLE	OBSERVACIONES	Evidencias
1	180439530720171020 EFC 01-1	07/11/2017		Ing. F. Galarza	Se almacena	
2	180439530720171020 EFC 01-2	07/11/2017		Ing. F. Galarza	Se almacena	
3	180439530720171020 EFC 01-3	07/11/2017	10/11/2017	Cliente	Se entrega al cliente	
4	180439530720171020 EFC 01-4	07/11/2017	10/11/2017	Cliente	Se entrega al cliente	
5	180439530720171020 EFC 01-5	07/11/2017	10/11/2017	Cliente	Se entrega al cliente	



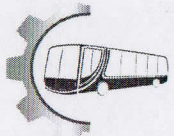
N°	IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	FECHA INGRESO	FECHA ELIMINACIÓN	RESPONSABLE	OBSERVACIONES	Evidencias
6	180439530720171020 EFC 02-1	07/11/2017		Ing. F. Galarza	Se almacena	
7	180439530720171020 EFC 02-2	07/11/2017		Ing. F. Galarza	Se almacena	
8	180439530720171020 EFC 02-3	07/11/2017	10/11/2017	Cliente	Se entrega al cliente	
9	180439530720171020 EFC 02-4	07/11/2017	10/11/2017	Cliente	Se entrega al cliente	
10	180439530720171020 EFC 02-5	07/11/2017	10/11/2017	Cliente	Se entrega al cliente	
11	180439530720171020 EFC 03-1	07/11/2017		Ing. F. Galarza	Se almacena	
12	180439530720171020 EFC 03-2	07/11/2017		Ing. F. Galarza	Se almacena	
13	180439530720171020 EFC 03-3	07/11/2017	10/11/2017	Cliente	Se entrega al cliente	
14	180439530720171020 EFC 03-4	07/11/2017	10/11/2017	Cliente	Se entrega al cliente	
15	180439530720171020 EFC 03-5	07/11/2017	10/11/2017	Cliente	Se entrega al cliente	
16	180439530720171020 EFC 04-1	07/11/2017		Ing. F. Galarza	Se almacena	
17	180439530720171020 EFC 04-2	07/11/2017		Ing. F. Galarza	Se almacena	
18	180439530720171020 EFC 04-3	07/11/2017	10/11/2017	Cliente	Se entrega al cliente	
19	180439530720171020 EFC 04-4	07/11/2017	10/11/2017	Cliente	Se entrega al cliente	
20	180439530720171020 EFC 04-5	07/11/2017	10/11/2017	Cliente	Se entrega al cliente	

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

**HOJA DE ALMACENAMIENTO
DE MUESTRAS**



N°	IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	FECHA INGRESO	FECHA ELIMINACIÓN	RESPONSABLE	OBSERVACIONES	Evidencias
21	180439530720171020 EFC 05-1	07/11/2017		Ing. F. Galarza	Se almacena	
22	180439530720171020 EFC 05-2	07/11/2017		Ing. F. Galarza	Se almacena	
23	180439530720171020 EFC 05-3	07/11/2017	10/11/2017	Cliente	Se entrega al cliente	
24	180439530720171020 EFC 05-4	07/11/2017	10/11/2017	Cliente	Se entrega al cliente	
25	180439530720171020 EFC 05-5	07/11/2017	10/11/2017	Cliente	Se entrega al cliente	
26	180439530720171020 EFC 06-1	07/11/2017		Ing. F. Galarza	Se almacena	
27	180439530720171020 EFC 06-2	07/11/2017		Ing. F. Galarza	Se almacena	
28	180439530720171020 EFC 06-3	07/11/2017	10/11/2017	Cliente	Se entrega al cliente	
29	180439530720171020 EFC 06-4	07/11/2017	10/11/2017	Cliente	Se entrega al cliente	
30	180439530720171020 EFC 06-5	07/11/2017	10/11/2017	Cliente	Se entrega al cliente	

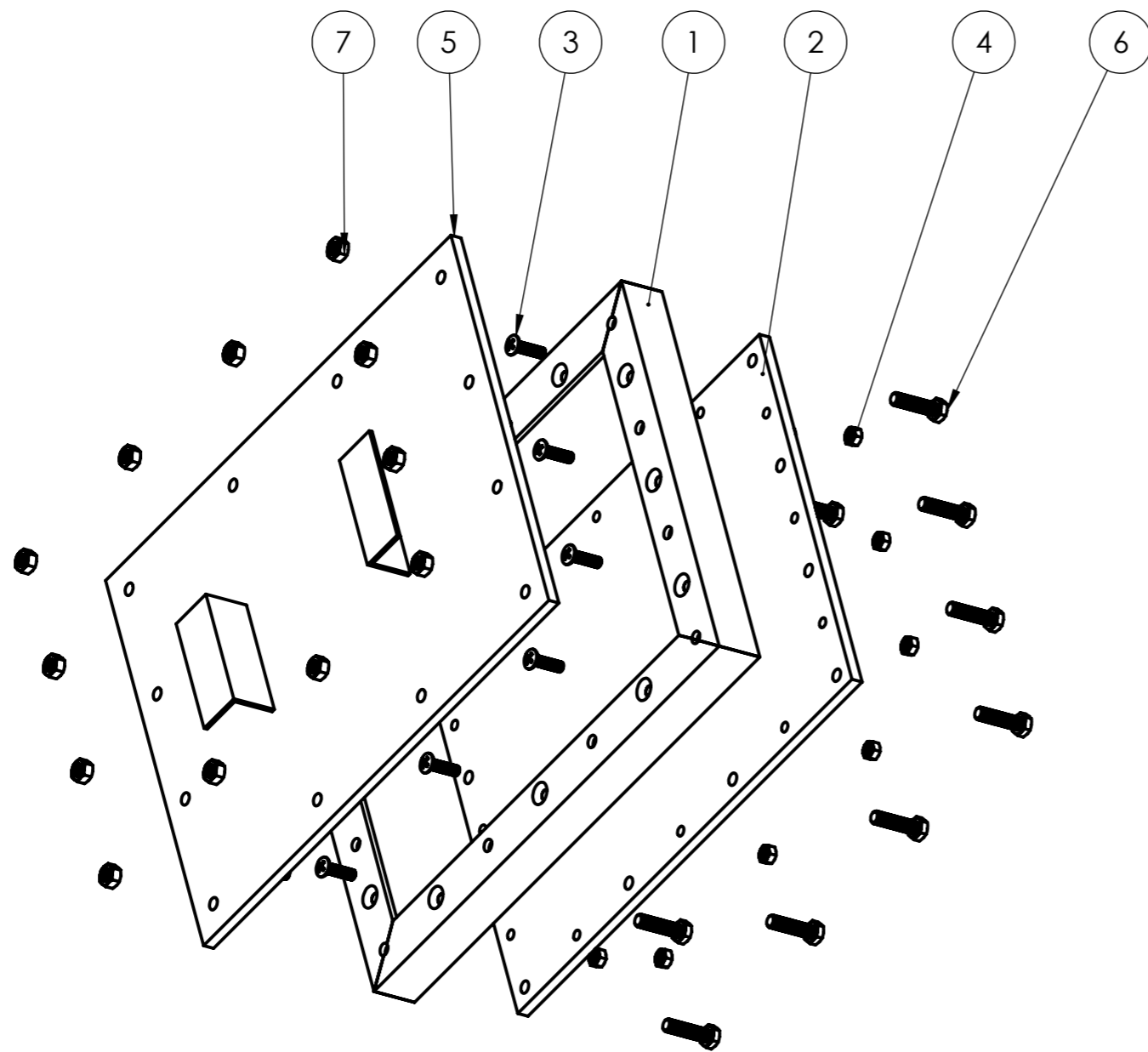


Las dos primeras muestras de cada grupo por acuerdo con el cliente se almacenan en el CFPMC. El centro no se responsabiliza por el mantenimiento y almacenamiento de las otras, quedando a responsabilidad del cliente su resguardo.

Elaborado por:	Aprobado por:
Ing. Fernando Galarza Chacón Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC	Ing. Esteban López Espinel Director Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC
Cliente	

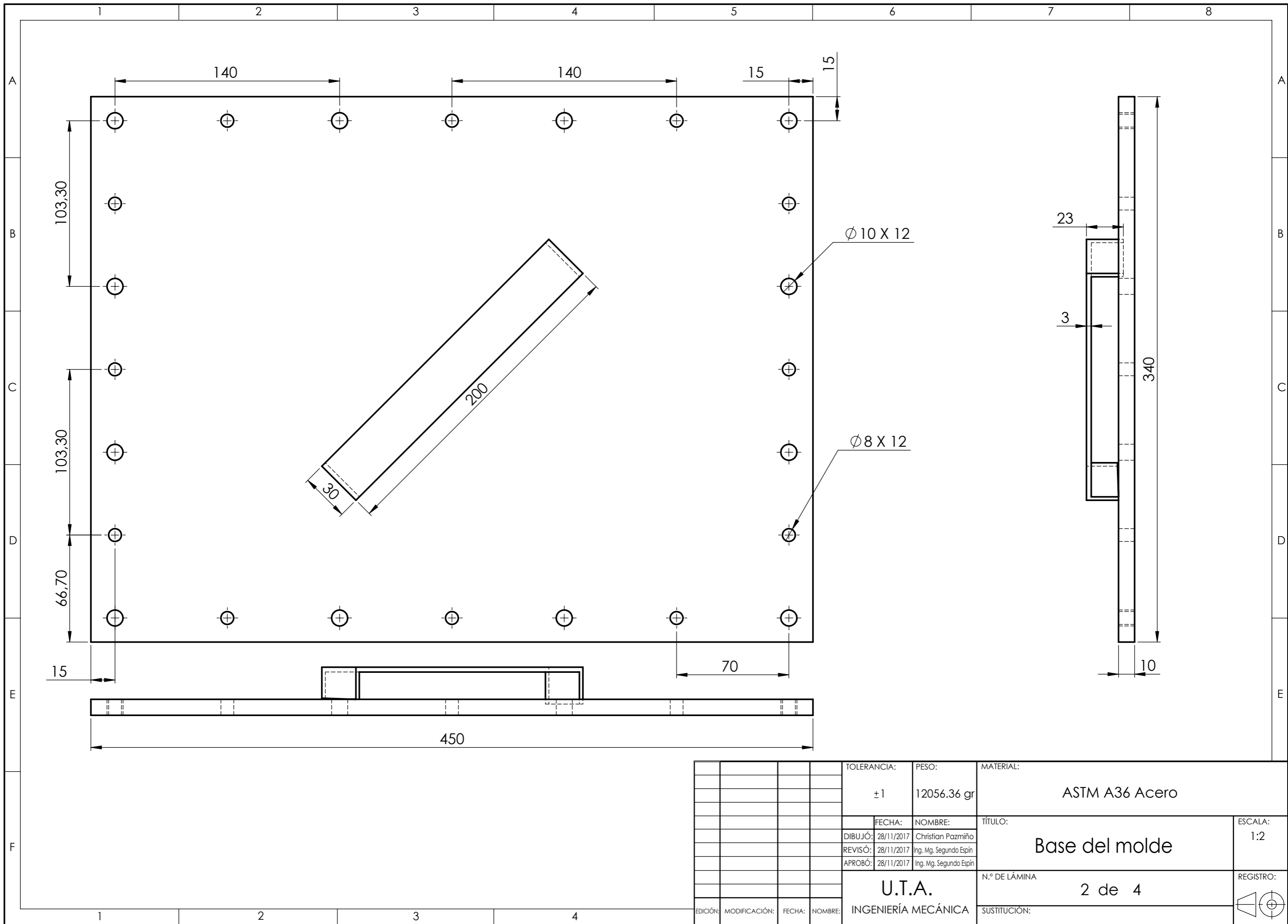
**Anexo 5. Informe
técnico del ensayo a
tracción y flexión
emitido por parte
Centro de Fomento
Productivo
Metalmecánico
Carrocero.**

Anexo 6. Planos del Molde.



N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	MATERIAL	CANTIDAD
1	Marco	ASTM A36 Acero	1
2	Base	ASTM A36 Acero	1
3	Tornillo M8 x 1.25 x 30	-	12
4	Tuerca hexagonal M8 x 1.25	-	12
5	Tapa	ASTM A36 Acero	1
6	Perno Hexagonal M10 x 1.5 x 40	-	12
7	Perno Hexagonal M10 x 1.5	-	12

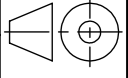
				TOLERANCIA:	PESO:	MATERIAL:			
				±1	30070.47 gr	Varios			
					FECHA:	NOMBRE:	TÍTULO:		ESCALA:
				DIBUJÓ:	28/11/2017	Christian Pazmiño	Molde		1:5
				REVISÓ:	28/11/2017	Ing. Mg. Segundo Espin			
				APROBÓ:	28/11/2017	Ing. Mg. Segundo Espin			
				U.T.A. INGENIERÍA MECÁNICA			N.º DE LÁMINA	1 de 4	REGISTRO:
EDICIÓN:	MODIFICACIÓN:	FECHA:	NOMBRE:				SUSTITUCIÓN:		

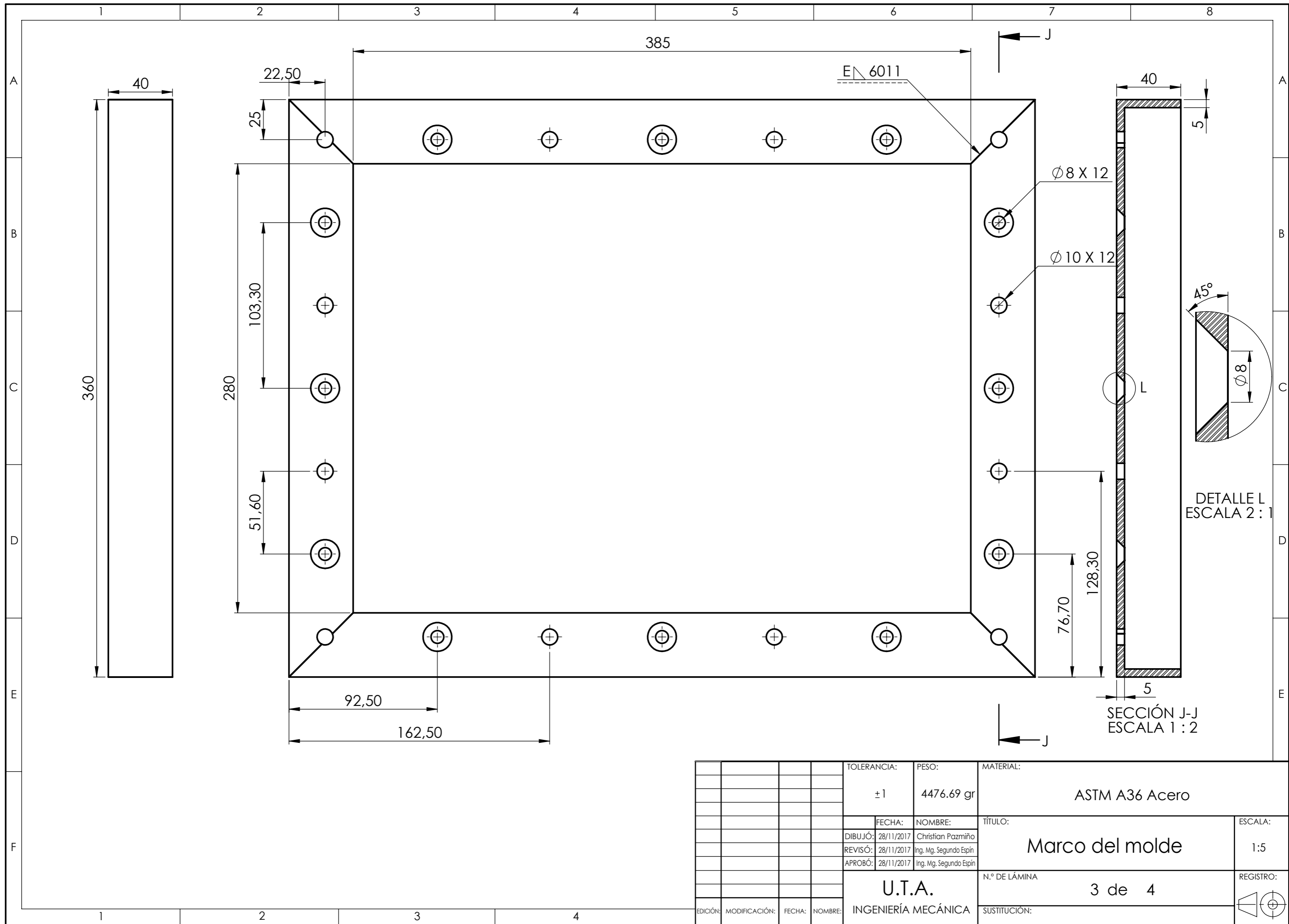


Ø 10 X 12

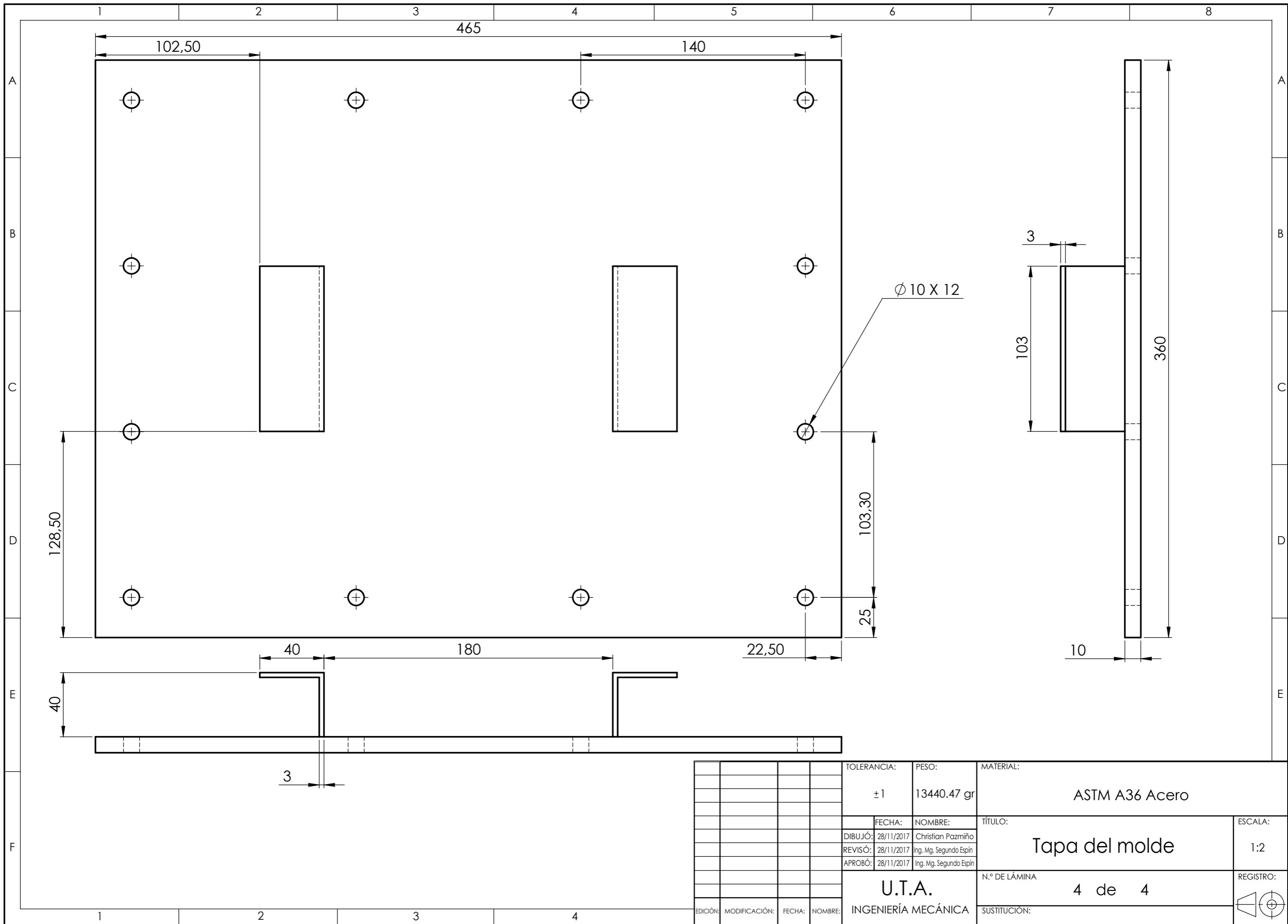
Ø 8 X 12

TOLERANCIA:	± 1	PESO:	12056.36 gr	MATERIAL:	ASTM A36 Acero
FECHA:	28/11/2017	NOMBRE:	Christian Pazmiño	TÍTULO:	Base del molde
DIBUJÓ:	28/11/2017	REVISÓ:	28/11/2017	APROBÓ:	28/11/2017
INGENIERÍA MECÁNICA	U.T.A.		N.º DE LÁMINA:	2 de 4	ESCALA:
EDICIÓN:	MODIFICACIÓN:	FECHA:	NOMBRE:	SUSTITUCIÓN:	REGISTRO:





				TOLERANCIA:	PESO:	MATERIAL:	
				±1	4476.69 gr	ASTM A36 Acero	
				FECHA:	NOMBRE:	TÍTULO:	
				DIBUJÓ: 28/11/2017	Christian Pazmiño	Marco del molde	
				REVISÓ: 28/11/2017	Ing. Mg. Segundo Espin	ESCALA:	
				APROBÓ: 28/11/2017	Ing. Mg. Segundo Espin	1:5	
				U.T.A.		N.º DE LÁMINA	REGISTRO:
				INGENIERÍA MECÁNICA		3 de 4	
EDICIÓN:	MODIFICACIÓN:	FECHA:	NOMBRE:	SUSTITUCIÓN:			



TOLERANCIA:	PESO:	MATERIAL:	
±1	13440.47 gr	ASTM A36 Acero	
FECHA:	NOMBRE:	TÍTULO:	ESCALA:
DIBUJÓ: 28/11/2017	Christian Pazmiño	Tapa del molde	1:2
REVISÓ: 28/11/2017	Ing. Mg. Segundo Espin		
APROBÓ: 28/11/2017	Ing. Mg. Segundo Espin		
U.T.A.		N.º DE LÁMINA	REGISTRO:
INGENIERÍA MECÁNICA		4 de 4	
EDICIÓN:	MODIFICACIÓN:	FECHA:	NOMBRE: