



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

TRABAJO EXPERIMENTAL PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERA MECÁNICA

TEMA:

CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DEL MATERIAL COMPUESTO DE
MATRIZ EPOXI REFORZADA CON FIBRA VEGETAL (ALGODÓN) Y
FIBRA NATURAL DE STIPA ICHU (PASTO DE PARAMO) CON
SECADO NATURAL Y PRECOCIDO PARA DETERMINAR
PROPIEDADES MECÁNICAS EN LA FABRICACIÓN DE ELEMENTOS
LIVIANOS DE ALTA RESISTENCIA.

Autor: Gabriela Anabel Iza Tutillo

Tutor: Ing. Mg. Juan Gilberto Paredes Salinas

AMBATO-ECUADOR

2017

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de tutor del trabajo experimental previo a la obtención de título de Ingeniero Mecánico de tema “CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DEL MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ EPOXI REFORZADA CON FIBRA VEGETAL (ALGODÓN) Y FIBRA NATURAL DE STIPA ICHU (PASTO DE PARAMO) CON SECADO NATURAL Y PRECOCIDO PARA DETERMINAR PROPIEDADES MECÁNICAS EN LA FABRICACIÓN DE ELEMENTOS LIVIANOS DE ALTA RESISTENCIA.” elaborado por la señorita Gabriela Anabel Iza Tuttillo, con cedula de ciudadanía 0503993909, egresado de la carrera de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, de la Universidad Técnica de Ambato, CERTIFICO que el presente trabajo de investigación fue elaborado en su totalidad por el autor, revisado en todos sus capítulos y ha sido concluido.

Ambato, 05 de Julio del 2017

.....

Ing. Mg. Juan Gilberto Paredes Salinas

Tutor del proyecto

AUTORIA DEL TRABAJO

Yo, Gabriela Anabel Iza Tutillo con cedula de ciudadanía 0503993909, declaro que los resultados obtenidos y que serán expuestos en el presente trabajo experimental con el tema “CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DEL MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ EPOXI REFORZADA CON FIBRA VEGETAL (ALGODÓN) Y FIBRA NATURAL DE STIPA ICHU (PASTO DE PARAMO) CON SECADO NATURAL Y PRECOCIDO PARA DETERMINAR PROPIEDADES MECÁNICAS EN LA FABRICACIÓN DE ELEMENTOS LIVIANOS DE ALTA RESISTENCIA”, son de mi autoría con excepción de las fuentes bibliográficas mismas que han sido citadas en el trabajo de investigación.

Ambato, Julio del 2017

.....

Gabriela Anabel Iza Tutillo

C.I. 0503993909

Autor

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el informe del trabajo experimental realizado por la estudiante Gabriela Anabel Iza Tutillo de la carrera de Ingeniería Mecánica, bajo el tema: “CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DEL MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ EPOXI REFORZADA CON FIBRA VEGETAL (ALGODÓN) Y FIBRA NATURAL DE STIPA ICHU (PASTO DE PARAMO) CON SECADO NATURAL Y PRECOCIDO PARA DETERMINAR PROPIEDADES MECÁNICAS EN LA FABRICACIÓN DE ELEMENTOS LIVIANOS DE ALTA RESISTENCIA”

Ambato, Julio del 2017

Para Constancia firman:

.....
Ing. Mg. Henry Vaca

.....
Ing. Mg. Segundo Espín

DERECHOS DEL 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 y procesos de investigaciones según las normas de la institución.

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

Ambato, Julio del 2017

.....

Gabriela Anabel Iza Tutillo

C.I. 0503993909

Autor

DEDICATORIA

Al concluir esta etapa importante en mi vida como es la culminación de mi carrera universitaria deseo dedicar el presente proyecto a:

Mi Madre Narcisa por ser la persona más importante en mi vida por siempre apoyarme cuidarme, ayudarme en los momentos más difíciles en m existencia, guiándome con su amor incondicional. También a mi Padre por apoyarme en momentos que necesite.

Mi novio quien se convirtió en mi mejor amigo con quien compartí momentos divertidos, fáciles y complicados a lo largo de la carrera.

AGRADECIMIENTO

A Dios quien me ha dado salud e inteligencia para llegar a este logro con tanta felicidad.

A mi tutor de tesis Ing. Juan Gilberto Paredes Salinas. Mg, por compartir sus conocimientos guiándome para llegar a concluir el presente trabajo.

A la Universidad Técnica de Ambato, por acogerme durante estos 5 años de carrera, a los profesores de la Carrera de Ingeniería Mecánica quienes compartieron conocimientos durante cada semestre.

TABLA DE COTENIDO

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR	II
AUTORIA DEL TRABAJO	III
DERECHOS DEL AUTOR	V
DEDICATORIA	VI
AGRADECIMIENTO.....	VII
TABLA DE COTENIDO.....	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XI
ÍNDICE DE TABLAS	XII
ÍNDICE DE FICHAS TÉCNICAS	XIII
RESUMEN EJECUTIVO	XV
EXECUTIVE SUMMARY	XVI
CAPITULO I.....	1
ANTECEDENTES.....	1
1.1. TEMA DEL TRABAJO EXPERIMENTAL.....	1
1.2. ANTECEDENTES	1
1.3. JUSTIFICACIÓN.....	2
1.4. OBJETIVOS.....	3
1.4.1 OBJETIVO GENERAL:.....	3
1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:	3
CAPÍTULO II	4
FUNDAMENTACIÓN	4
2.1. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	4
2.1.1. INGENIERÍA DE MATERIALES.....	4
2.1.2. EVOLUCIÓN DE LOS MATERIALES	4
2.1.3. MATERIALES COMPUESTOS	5
2.1.4. COMPONENTES DE UN MATERIAL COMPUESTO:	7
2.1.5. RESINA EPOXI:	11
2.1.6. TIPOS DE FIBRAS	12
2.1.7. LONGITUD Y DIÁMETRO DE LAS FIBRAS:	13
2.1.8. FIBRA STIPA ICHU	15
2.1.9. FIBRA DE ALGODÓN:.....	17
2.1.10. ENSAYO DE MATERIALES	17
2.2. HIPÓTESIS	24

2.3.	SEÑALAMIENTO DE VARIABLES DE LA HIPÓTESIS	24
2.3.1.	VARIABLE INDEPENDIENTE:.....	24
2.3.2.	VARIABLE DEPENDIENTE:	24
2.3.3.	TERMINO DE RELACIÓN:.....	24
CAPÍTULO III.....		25
METODOLOGÍA		25
3.1.	NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	25
3.1.1.	DESCRIPTIVO:.....	25
3.1.2.	ASOCIACIÓN DE VARIABLES	25
3.1.3.	EXPLICATIVO:	25
3.2.	POBLACIÓN Y MUESTRA.....	26
3.2.1.	POBLACIÓN	26
3.2.2.	MUESTRA.....	26
3.3.	OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	26
3.4.	PLAN DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN	27
3.5.	PLAN PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS.....	27
CAPÍTULO IV.....		28
ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....		28
4.1.	RECOLECCIÓN DE DATOS.....	28
4.1.1.	DIAGRAMA PARA CARACTERIZAR AL NUEVO MATERIAL COMPUESTO.....	28
4.1.2.	PROPIEDADES FÍSICAS DE LA FIBRA DE STIPA ICHU.	30
4.1.3.	PROPUESTA DE LA CONFIGURACION PARA EL REFUERZO DEL MATERIAL COMPUESTO.	32
4.1.4.	DETERMINACIÓN DE LA FRACCIÓN VOLUMÉTRICA DE REFUERZO Y MATRIZ BASADA EN CÁLCULOS DE PROBETAS PRELIMINARES.	34
4.1.5.	DETERMINACIÓN DEL ESPESOR DEL MATERIAL DE REFUERZO (ALGODÓN + STIPA ICHU).....	38
4.1.6.	DIMENSIONAMIENTO Y PARÁMETROS PARA EL DISEÑO DEL MOLDE.....	39
4.1.7.	PLANTEAMIENTO DE ORIENTACIÓN DE REFUERZO, NÚMERO DE CAPAS Y NUMERO DE PROBETAS PARA CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE MATERIAL COMPUESTO.	43
4.1.8.	CALCULO DE VOLUMEN DE MATRIZ EPOXI, VOLUMEN DE FIBRA Y MASA DE FIBRA DE ALGODÓN, FIBRA DE STIPA ICHU.	44
4.1.9.	CALCULOS PARA LA SOLUCIÓN QUIMICA (NaOH+ H ₂ O).....	50

4.1.10.	HERRAMIENTAS Y MATERIALES PARA LA FABRICACIÓN DE PROBETAS A COMPRESIÓN DEL MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ EPOXI + REFUERZO DE FIBRA VEGETAL STIPA ICHU Y FIBRA NATURAL ALGODÓN.	51
4.1.11.	PROCESO DE ELABORACIÓN DE LA FIBRA DE REFUERZO ..	53
4.1.12.	LIMPIEZA DEL MATERIAL DE REFUERZO CON NaOH.....	55
4.1.13.	PROCESO DE ESTRATIFICACIÓN DEL MATERIAL COMPUESTO DE RESINA EPOXI+ FIBRA VEGETAL DE STIPA ICHU + FIBRA NATURAL DE ALGODÓN.....	57
4.1.14.	CORTE DE PROBETAS DE MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ EPOXI + REFUERZO DE FIBRA VEGETAL STIPA ICHU Y FIBRA NATURAL ALGODÓN.	61
4.1.15.	CODIGOS DE PROBETAS PARA ENSAYOS DE FLEXIÓN, TRACCIÓN E IMPACTO.	62
4.1.16.	CARACTERIZACIÓN MECANICA DEL MATERIAL COMPUESTO.....	64
4.2.	ANÁLISIS DE RESULTADOS:.....	115
4.2.3.	SIMULACIÓN DEL MEJOR CASO A FLEXIÓN EN ELEMENTOS FINITOS.	121
4.3.	VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS	124
CAPÍTULO V		133
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		133
5.1.	CONCLUSIONES.....	133
5.2.	RECOMENDACIONES	134
BIBLIOGRAFÍA.....		135
ANEXOS.....		138

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Evolución de materiales de la ingeniería en el tiempo	5
Figura 2. Clasificación de materiales compuestos	6
Figura 3. Formas físicas posibles de las fases incorporadas en materiales compuestos (a) fibra, (b) partícula y (c) hojuela.....	9
Figura 4. Matriz reforzada con material particulado.....	9
Figura 5. Refuerzos de alambres, fibras y whiskers.....	10
Figura 6. Estructura de un material compuesto laminado.....	10
Figura 7. Microfotografía obtenida por microscopía electrónica de barrido de la superficie de fractura de una aleación plata-cobre, reforzada con fibras de carbono.....	11
Figura 8. Resina Epoxi composición química.....	11
Figura 9. Estructura Unidireccional	14
Figura 10. Estructura de capas iguales, casi isotrópico.....	14
Figura 11. Tridimensional.....	15
Figura 12. Efecto de la orientación de las fibras en la resistencia a la tensión de compuestos epóxicos	15
Figura 13. Stipa Ichu (a) Techos de casas, (b) Pasto en el páramo.....	16
Figura 14. Estructura de la fibra de algodón.....	17
Figura 15. Maquina universal de ensayos.....	18
Figura 16. Diagrama tensión-deformación (deformación lineal para ciclos carga- descarga)	19
Figura 17. Ensayo de flexión	20
Figura 18. Posición de la probeta a ensayar (prueba de carga de tres puntos) Procedimiento A	20
Figura 19. Geometría del ensayo caída del dardo	22
Figura 20. Nivel o tipo de Investigación.....	25
Figura 21. Diagrama de procedimiento del material compuesto.....	29
Figura 22. Procedimiento determinación de la densidad del Stipa Ichu.....	30
Figura 23. Procedimiento método gravimétrico para determinar la densidad del algodón.....	31
Figura 24. Peso del refuerzo.....	33
Figura 25. Volumen de moldeo.....	34
Figura 26. Elaboración de probetas preliminares.....	36
Figura 27. Vista transversal de probetas (a) con dos capas (b) con tres capas.....	38
Figura 28. Espesor entre material de refuerzo y matriz.....	38
Figura 29. Probetas distribuidas en el molde de acero ASTM A36.....	40
Figura 30. Telar compuesto de fibra de Stipa Ichu y Algodón.....	46
Figura 31: Corte de material a laser.....	61

Figura 32. Esquema para tomar de altura en el ensayo de impacto	105
Figura 33. Configuración para simulación.....	121
Figura 34. Relación de aspecto del mallado utilizado.....	122

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Materiales híbridos.....	6
Tabla 2. Propiedades resina Epoxi	12
Tabla 3. Características del Stipa Ichu.....	16
Tabla 4. Composición química del algodón.....	17
Tabla 5. Variables independiente: Material compuesto de matriz epoxi reforzada con fibra vegetal (algodón) y fibra natural de Stipa Ichu (pasto de paramo) con secado natural y precocido.....	26
Tabla 6. Variable dependiente, Propiedades Mecánicas.....	27
Tabla 7. Composición de la Paja Stipa Ichu como porcentaje del peso seco.....	30
Tabla 8. Resultados densidad del Stipa Ichu.....	31
Tabla 9. Resultados densidades del refuerzo de algodón.....	32
Tabla 10. Composición en peso y porcentaje del refuerzo.	33
Tabla 11. Resultados de la densidad del material de refuerzo compuesto de algodón + Stipa Ichu	33
Tabla 12. Parámetros de diseño del molde.....	39
Tabla 13. Construcción del molde.	42
Tabla 14. Planteamiento de orientaciones de refuerzo.....	43
Tabla 15: Orientación de refuerzo, volumen de resina y refuerzo, masa de fibras. (Dos capas)	46
Tabla 16. Orientación de refuerzo, volumen de resina y refuerzo, masa de fibras.(Tres capas).....	48
Tabla 17. Orientación de refuerzo para dos capas	49
Tabla 18. Orientación de refuerzo para tres capas	49
Tabla 19. Herramientas y materiales para la fabricar el material compuesto.	51
Tabla 20. Proceso de elaboración de fibra de refuerzo para el material compuesto.(Proceso en Rojo Precocido-Proceso Azul Secado Natural)..	53
Tabla 21. Proceso para limpieza del refuerzo del material compuesto.....	55
Tabla 22. Diagrama de proceso para elaboración de probetas.....	57
Tabla 23. Medidas establecidas para corte de probetas.	61
Tabla 24. Codificación de probetas para ensayos a tracción.	62
Tabla 25. Códigos para probetas de ensayos a flexión.	63
Tabla 26. Códigos para probetas de ensayos a impacto.....	63
Tabla 27. Dimensiones para probetas de ensayo a Tracción.	64
Tabla 28. Tipo de falló en probetas a tracción establecidos por la norma.	64

Tabla 29. Dimensiones para probetas de ensayo a Flexión.	89
Tabla 30. Códigos para identificación de falla en el ensayo a flexión.....	89
Tabla 31. Especificaciones para ensayo de impacto	103
Tabla 32. Tipos de falla para ensayos de impacto	103
Tabla 33. Interpretación de resultados a tracción, flexión e impacto; e identificación de la mejor configuración del material compuesto analizado.....	120
Tabla 34. Parámetros para simulación del mejor caso a flexión.....	122
Tabla 35. Resultados de la simulación en Ansys	123
Tabla 36. Valores comparativos para cálculo de Chi cuadrada	125
Tabla 37. Comprobación de hipótesis con desviación estándar de esfuerzo máximo a tracción.....	126
Tabla 38. Comprobación de hipótesis con desviación estándar de esfuerzo máximo a flexión.	128
Tabla 39. Comprobación de hipótesis con desviación estándar de resistencia al impacto.	130
Tabla 40. Evaluación de resultados de Chi cuadrado.	132

ÍNDICE DE FICHAS TÉCNICAS

Ficha Técnica 1. Recolección de datos de material compuesto sometido a ensayo de Tracción T[SN]22D.90.45.(1)	67
Ficha Técnica 2. Recolección de datos de material compuesto sometido a ensayo de Tracción T[SN]57D.45.90.(1)	69
Ficha Técnica 3. Recolección de datos de material compuesto sometido a ensayo de Tracción T[SN]41D.90.180.(1)	71
Ficha Técnica 4. Recolección de datos de material compuesto sometido a ensayo de Tracción T[SN]35D.90.90.(1)	73
Ficha Técnica 5. Recolección de datos de material compuesto sometido a ensayo de Tracción T[SP]41D.90.180.(1).....	75
Ficha Técnica 6. Recolección de datos de material compuesto sometido a ensayo de Tracción T[SP]39D.45.135.(1).....	77
Ficha Técnica 7. Recolección de datos de material compuesto sometido a ensayo de Tracción T[SP]26D.90.45.(1).....	79
Ficha Técnica 8. Recolección de datos de material compuesto sometido a ensayo de Tracción T[SP]25D.90.90.(1).....	81
Ficha Técnica 9. Recolección de datos de material compuesto sometido a ensayo de Tracción T[SN NaOH]26D.90.45.90.(1).....	83
Ficha Técnica 10. Recolección de datos de material compuesto sometido a ensayo de Tracción T[SN NaOH]26D.45.90.135(1).....	85

Ficha Técnica 11. Recolección de datos promedio para evaluación del ensayo a Tracción.	87
Ficha Técnica 12. Mejores Configuraciones de ensayos a tracción.....	88
Ficha Técnica 13. Recolección de datos de material compuesto sometido a ensayo de Flexión F[SN]49D.90.180(1).....	91
Ficha Técnica 14. Recolección de datos de material compuesto sometido a ensayo de Flexión F [SN]22D.90.90(1).....	93
Ficha Técnica 15. Recolección de datos de material compuesto sometido a ensayo de Flexión F[SP]39D.90.135(1)	95
Ficha Técnica 16. Recolección de datos de material compuesto sometido a ensayo de Flexión F[SP]29D.90.90(1)	97
Ficha Técnica 17. Recolección de datos de material compuesto sometido a ensayo de Flexión F[SN NaOH]29D.90.45.90(1)	99
Ficha Técnica 18 Recolección de datos de material compuesto sometido a ensayo de Flexión F[SN NaOH]29D.45.90.135(1)	101
Ficha Técnica 19. Recolección de datos de material compuesto sometido a Impacto I[SN]37D.90.90.(1).....	106
Ficha Técnica 20. Recolección de datos de material compuesto sometido a Impacto I[SN]35D.90.180.(1).....	107
Ficha Técnica 21. Recolección de datos de material compuesto sometido a Impacto I[SP]25D.90.90.(1)	108
Ficha Técnica 22. Recolección de datos de material compuesto sometido a Impacto I[SP]37D.45.135.(1)	109
Ficha Técnica 23. Recolección de datos de material compuesto sometido a Impacto I[SN NaOH]25D.45.90.135(1)	110
Ficha Técnica 24. Recolección de datos de material compuesto sometido a Impacto I[SN NaOH]25D.90.45.90.(1)	111
Ficha Técnica 25. Recolección de datos para ensayos fractografía de material compuesto.	112
Ficha Técnica 26. Recolección de datos para ensayos fractografía de material compuesto.	113
Ficha Técnica 27. Recolección de datos para ensayos fractografía de material compuesto.	114
Ficha Técnica 28. Evaluación de propiedades mecánicas de ensayo a tracción de seis diferentes casos.	115
Ficha Técnica 29. Evaluación de propiedades mecánicas de ensayo a flexión.	116
Ficha Técnica 30. Evaluación de propiedades mecánicas de ensayos de impacto. .	117
Ficha Técnica 31. Evaluación de resultados en ensayos de tracción, flexión e impacto.....	118

RESUMEN EJECUTIVO

CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DEL MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ EPOXI REFORZADA CON FIBRA VEGETAL (ALGODÓN) Y FIBRA NATURAL DE STIPA ICHU (PASTO DE PARAMO) CON SECADO NATURAL Y PRECOCIDO PARA DETERMINAR PROPIEDADES MECÁNICAS EN LA FABRICACIÓN DE ELEMENTOS LIVIANOS DE ALTA RESISTENCIA.

Autor: Gabriela Anabel Iza Tutillo.

Tutor: Ing. Mg. Juan Gilberto Paredes Salinas

El presente trabajo experimental de caracterización mecánica de un nuevo material compuesto de matriz epoxi y tejido de Stipa Ichu + Algodón, presenta varios parámetros como el tipo de obtención o secado de fibra natural Stipa Ichu (secado natural, precocido y natural con limpieza de NaOH), fracciones volumétricas distintas y orientación de refuerzo variable, el estudio de este material compuesto ha sido propuesto debido a que nos ubicamos en un sector industrializado y en la actualidad se van reemplazando los materiales clásicos por materiales compuestos poliméricos.

El material compuesto es realizado a compresión con dos fracciones volumétricas 30% refuerzo-70% matriz y 45% refuerzo y 55% matriz, orientaciones de refuerzo. Las probetas han sido fabricadas en un molde de acero y a compresión, empleando aditivos desmoldantes. Se realizan ensayos de tracción, flexión e impacto basadas en las normas ASTM D3039, ASTM D 7264, e impacto ASTM D 5628 respectivamente.

Se evalúan los datos tabulados después de los ensayos realizados a las probetas de tracción, flexión e impacto considerando valores promedios y desviación estándar, determinando el material compuesto de mejor configuración al caso compuesto con una fracción volumétrica de 70%matriz-30%refuerzo (tejido de Stipa Ichu + algodón), con secado de fibra (stipa ichu) precocido, curado por 23 días, con dos capas de refuerzo, orientación de refuerzo capa 1: 90°; capa2: 90°.

EXECUTIVE SUMMARY

MECHANICAL CHARACTERIZATION OF THE COMPOSITE MATERIAL COMPOSED OF EPOXY MATRIX REINFORCED WITH VEGETABLE (COTTON) FIBER AND NATURAL FIBER OF STIPA ICHU (PARAMO PASTE) WITH NATURAL AND PRECOCIDO DRYING TO DETERMINE MECHANICAL PROPERTIES IN THE MANUFACTURE OF HIGH RESISTANT LIGHT ELEMENTS.

Author: Gabriela Anabel Iza Tutillo.

Tutor: Ing. Mg. Juan Gilberto Paredes Salinas

The present experimental work of mechanical characterization of a new composite material of epoxy matrix and fabric of Stipa Ichu + Cotton, with several parameters like the type of obtaining or drying of Stipa Ichu natural fiber (natural, precooked and natural drying with cleaning of NaOH) , Different volumetric fractions and variable reinforcement orientation, the study of this composite material has been proposed because we are located in an industrialized sector and are currently replacing the classical materials with polymer composites.

The composite material is made to compression with two volumetric fractions 30% reinforcement-70% matrix and 45% reinforcement and 55% matrix, reinforcement orientations. The specimens were made in a steel mold and compressed, using mold release additives. Tensile, flexural and impact tests are performed based on ASTM D3039, ASTM D 7264, and ASTM D 5628 impact respectively.

The data tabulated after the tests on the tensile, flexural and impact specimens are evaluated considering average values and standard deviation, determining the composite of best configuration to the composite case with a volumetric fraction of 70% matrix-30% reinforcement (tissue Of Stipa Ichu + cotton), with precooked fiber (stipa ichu) drying, cured for 23 days, with two layers of reinforcement, reinforcement orientation layer 1: 90°; Layer 2: 90°.

CAPITULO I

ANTECEDENTES

1.1.TEMA DEL TRABAJO EXPERIMENTAL

CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DEL MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ EPOXI REFORZADA CON FIBRA VEGETAL (ALGODÓN) Y FIBRA NATURAL DE STIPA ICHU (PASTO DE PARAMO) CON SECADO NATURAL Y PRECOCIDO PARA DETERMINAR PROPIEDADES MECÁNICAS EN LA FABRICACIÓN DE ELEMENTOS LIVIANOS DE ALTA RESISTENCIA.

1.2.ANTECEDENTES

Los materiales compuestos han sido tema de investigación en varios estudios realizados por instituciones especializadas, en este trabajo experimental se toman como referencia varios como son:

Paredes [1], concluye: Se determinó que la fracción volumétrica del material compuesto actual es del 70% de matriz y 30% de refuerzo siendo este el parámetro que se le dio al refuerzo del material híbrido al cual también se lo varió en 25% y 40%, respecto a las configuraciones que este tomó (fibra corta (10mm), fibra larga y tejido plano, esto respondiendo al objetivo planteado al inicio del estudio: Determinar la configuración y fracción volumétrica ideal del material híbrido estratificado de matriz poliéster reforzado con fibra de vidrio y cabuya para obtener un material alternativo en la producción de guardachoques para buses, realizada el 1 de octubre del 2012, en la Universidad Técnica de Ambato en la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica: Centro de estudios de posgrados, laboratorios de dicha facultad. Además de la utilización del laboratorio de la Escuela Politécnica Nacional (Quito), utilizando metodología de tipo variables predominantes cuantitativos para determinar las propiedades mecánicas del nuevo material compuesto planteado, además de análisis cualitativo para identificar aspectos físicos.

Según Contreras [2], en su tema redactado como suplemento de la revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales (RLMM), Redactada en Cartagena en

Octubre del 2008 se lleva a cabo la investigación de Fractografía siguiendo tres procedimientos: elaboración de laminados, obtención de los distintos tipos de fractura y análisis fractográfico, concluyendo que la fibra obtenida del fique, son una excelente alternativa para sustituir fibras sintéticas en materiales compuestos con matriz polimérica como consecuencia de sus excelentes propiedades mecánicas, su bajo costo y las actuales reglamentaciones ambientales.

1.3.JUSTIFICACIÓN

Actualmente los materiales clásicos utilizados en la industria han sido sustituidos por materiales polímeros con refuerzos, la ingeniería en una de sus ramas se especializa en el estudio de materiales investigando el desarrollo y composición de los mismos, que al combinarse dispongan de propiedades mecánicas mejores que las ya existentes en la industria.

Las necesidades que presenta la industria de investigaciones sobre materiales compuestos nuevos con propiedades mecánicas de calidad nos llevan al desarrollo de este trabajo experimental buscando brindar propiedades ya existentes en el mercado o mejoradas a menor costo.

La industria presenta varios requerimientos como resistencia al impacto, materiales permisibles a esfuerzos, además de un diseño y estética agradable. Este trabajo experimental se dirige a buscar una alternativa presentando un material compuesto de matriz epoxi con fibra vegetal algodón y fibra natural Stipa Ichu, investigando sobre un tema que en la actualidad es de mucha importancia.

El estudio de materiales compuestos con refuerzo de fibras naturales y vegetales permitirá a la industria emplear material que existe en el medio, de esta forma se disminuye el costo de fabricación de elementos industriales los mismos que conservaran o mejoraran sus propiedades mecánicas.

El trabajo experimental del material compuesto de matriz epoxi reforzada con fibra vegetal (algodón) y fibra natural de Stipa Ichu (pasto de paramo) con secado natural y precocido se considera factible; en nuestro país y ciudad no se ha realizado investigaciones de este tipo de material compuesto, además de ello se cuenta con material bibliográfico equipos y materiales para su desarrollo.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1 OBJETIVO GENERAL:

- Determinar la orientación de los refuerzos y la fracción volumétrica adecuada del material compuesto de matriz epoxi reforzada con fibra vegetal (algodón) y fibra natural de Stipa Ichu (pasto de paramo) con secado natural y precocido.

1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Determinar los parámetros necesarios para la fabricación de probetas del nuevo material compuesto utilizadas en los diferentes ensayos.
- Determinar las propiedades mecánicas a tracción, flexión e impacto de las probetas de material compuesto de matriz epoxi reforzada con fibra vegetal (algodón) y fibra natural de Stipa Ichu (pasto de paramo) con secado natural y precocido.
- Evaluar el material compuesto con la mejor orientación, fracción volumétrica y propiedades mecánicas atractivas industrialmente.
- Determinar el comportamiento que presentan en los resultados de la caracterización mecánica del material compuesto las fibras secadas de forma: Natural, Natural con limpieza de NaOH y secado precocido.

CAPÍTULO II

FUNDAMENTACIÓN

2.1.FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1.1. INGENIERÍA DE MATERIALES.

La ingeniería de materiales se basa en el diseño de la estructura de un material para producir un conjunto de propiedades determinadas, un Ingeniero de Materiales es aquel que se encarga de crear nuevos materiales y mejorar los ya conocidos.

Para inventar nuevos materiales o mejorar los ya existentes se desarrolla su microestructura, composición, síntesis y procesamiento. La composición relaciona la química del material, estructura indica el arreglo de átomos, y la síntesis y procesamiento es la fabricación de componentes.

La civilización humana desde la prehistoria los materiales están asociados a los principales a diferentes usos, con el tiempo los seres humanos descubrieron nuevos materiales y con ello técnicas para producir nuevos materiales y mejorar los ya conocidos satisfaciendo necesidades [3].

2.1.2. EVOLUCIÓN DE LOS MATERIALES

En la historia los materiales tienen un diseño limitado, los materiales utilizados fueron como piedra, bronce, hierro. La metalurgia se desarrolla en el siglo XV convirtiendo la extracción de minerales en una industria tradicional en Europa.

En el siglo XVII durante la revolución industrial el hierro y el acero permitieron la fabricación de varios tipos de máquinas, sustituyendo al hombre facilitando la producción y mejorando la calidad de los productos y disminuyendo los costos.

Para el siglo XX materiales cerámicos y semiconductores aportaron a la electrónica, a inicios de este siglo también se trabaja con polímeros, patentando la baquelita en 1907 siendo el primer plástico sintético, posterior apareció el nailon en el año 1930 que se convirtió en una fibra polimérica sintética utilizada para la elaboración de vestimenta.

En la actualidad las aplicaciones de materiales metálicos, poliméricos y cerámicos, se han optimizado con el avance científico y tecnológico. El acero es un material insustituible, sin embargo la formulación de nuevas aleaciones, productos cerámicos avanzados y materiales compuestos van sustituyendo a los materiales tradicionales

La ciencia en los últimos cincuenta años se ha enfocado en combinar las propiedades de los diferentes tipos de materiales, de esta forma se obtienen materiales compuestos con mejores y propiedades específicas [4].

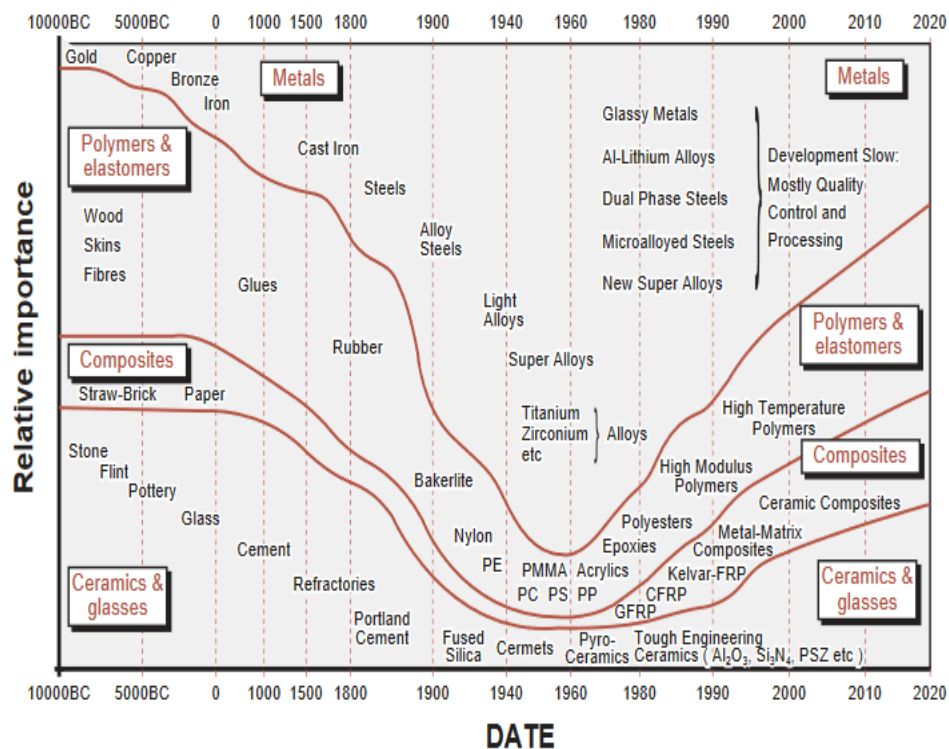


Figura 1. Evolución de materiales de la ingeniería en el tiempo
Fuente: [5].

2.1.3. MATERIALES COMPUESTOS

Un material compuesto es todo sistema de materiales constituido a partir de una unión no química e insoluble entre sí de dos o más componentes con propiedades y características específicas. Identificando dos fases una continua siendo la matriz y una discontinua denominada refuerzos. Los componentes no deben disolverse ni fusionarse completamente unos con otros, la identificación de materiales debe ser posible distinguir por medios físicos. Las propiedades del nuevo material dependen del tipo de interface y de las características de sus componentes [4].

2.1.3.1. Clasificación de los materiales compuestos

Los materiales compuestos constan de combinaciones de dos o más materiales diferentes. Sin embargo hoy en la edad de la tecnología no hay un material predominante.

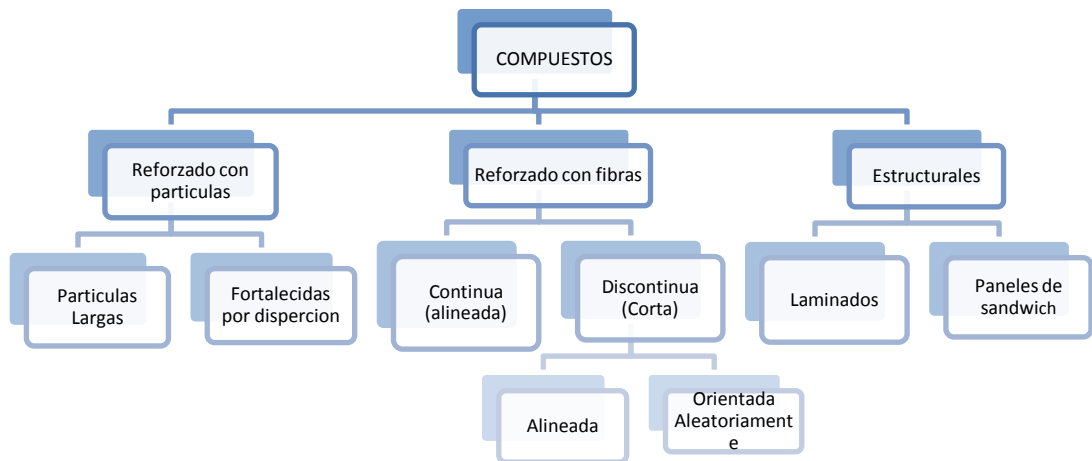
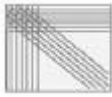





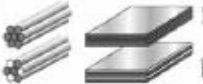
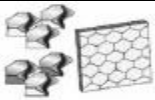


Figura 2. Clasificación de materiales compuestos

Fuente: [4].

Además la combinación de dos o más materiales forman un material híbrido, subdividiéndose en materiales de familias como compuestos, sanduche enrejado y estructura segmentada.

Tabla 1. Materiales híbridos

Familia	Ejemplos	
Compuesto		
Sanduche		
Enrejado		
Estructura segmentada		

Fuente: [4].

2.1.4. COMPONENTES DE UN MATERIAL COMPUESTO:

2.1.4.1. La matriz

La matriz es la fase continua en la que el refuerzo queda embebido sosteniendo los elementos de refuerzo y pueden ser materiales metálicos, cerámicos o resinas orgánicas.

A) Las funciones de la matriz:

- Aglutinar los refuerzos
- Definir las propiedades físicas y químicas, eléctricas y mecánicas
- Brindar cohesión.
- Transferir las cargas aplicadas sobre la matriz hacia los refuerzos
- Proteger la superficie de los refuerzos de la abrasión mecánica
- Proveer al refuerzo de una barrera contra los efectos del medio ambiente tales como la humedad
- Si el material esta reforzado con fibras, la matriz debe proveer soporte lateral contra la posibilidad de pandeo de las mismas bajo cargas de compresión. (materiales compuestos)

La matriz bajo cargas de compresión soporta el esfuerzo ya que es la fase continua, y en tracción la matriz transfiere la carga sobre cada fibra o partículas de manera que soporten el esfuerzo, además la matriz determina la resistencia al impacto y se encarga de detener la propagación de fisuras [6].

B) Tipos de matices:

a) Matrices poliméricas

Definidos como materiales con buenas propiedades mecánicas resistentes a la corrosión y a los agentes químicos, y con sus características pueden ser moldeados con absoluta libertad de formas, los materiales compuestos de este tipo se constituyen de un polímero y refuerzo es algún tipo de fibra ya sea sintética o inorgánica.

Las matrices poliméricas se pueden dividir en tres tipos como son termoplásticas, termoestables y elastómeras [7].

b) Termoplásticos:

Estos polímeros se caracterizan debido que al calentarse a determinadas temperaturas se convierten en fluidos, y estos permiten su moldeabilidad en la forma deseada quedando preservada al enfriarse, constituye el grupo más importante y de mayor uso comercial de polímeros sintéticos.

La estructura puede ser lineal o ramificada, lo que facilita fluir con aportación de calor.

c) Elastómeros:

Estos polímeros poseen cadenas con mucha libertad de movimiento molecular, estos polímeros presentan un estado gomoeelásticos a temperatura ambiente, son infusibles e insolubles pero hinchables como es el caucho natural y sintético [7].

d) Termoestable:

Estos polímeros no pueden fluir por efecto de la temperatura para remodelados. Sus moléculas son entrecruzadas, con resinas de mucha rigidez, al ser sometidos a temperaturas elevadas se promueve su descomposición química del polímero, y a temperaturas ambientes son duros y frágiles. En este grupo están las resinas poliéster, viniléster, epoxi, las fenólicas entre otras.

A este tipo de resinas se les añade diferentes tipos de refuerzo como por ejemplo la fibra de vidrio formando un material compuesto.

2.1.4.2.El material de refuerzo

Es la fase discontinua o dispersa que se agrega a la matriz para conferir al compuesto propiedades que la matriz no posee, es utilizado para incrementar la resistencia, rigidez mecánica y mejorar el comportamiento a altas temperaturas o la resistencia a la abrasión.

El refuerzo puede ser en forma de partículas o de fibras, si es de menor tamaño las partículas la distribución es más homogénea o de igual manera cuando se incrementa la relación longitud/diámetro de la fibra.

La mayor parte de fibras son resistentes, rígidas y de peso liviano. Pueden ser continuas o discontinuas, las continuas son muy largas ofreciendo un camino

continuo donde la parte compuesta puede llevar la carga y las discontinuas son de longitudes cortas [6].



Figura 3. Formas físicas posibles de las fases incorporadas en materiales compuestos (a) fibra, (b) partícula y (c) hojuela.

Fuente: [8]

A) Tipos de refuerzo

a) Partículas

Pueden ser de tamaño grande o partículas consolidadas por dispersión. Estas partículas de refuerzo tienden a restringir el movimiento de la matriz en la proximidad de cada partícula. En esencia, la matriz transfiere parte del esfuerzo aplicado a las partículas, las cuales soportan una fracción de la carga. El grado de refuerzo o mejoramiento del comportamiento mecánico depende de la adhesión matriz-partículas.

Los compuestos reforzados con partículas grandes son utilizados con matrices metálicas, poliméricas y cerámicas, en los materiales compuestos reforzados con partículas consolidadas por dispersión las partículas usualmente tienen diámetros entre 10 y 100 nm. [4]

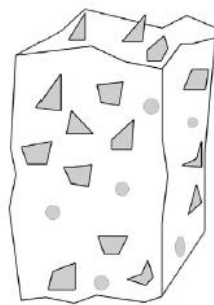


Figura 4. Matriz reforzada con material particulado.

Fuente: [4]

b) Fibras

Estos materiales alcanzan una mejor resistencia a la fatiga, rigidez y relación resistencia-peso al incorporar fibras resistentes y rígidas, en una matriz más blanda y dúctil. De acuerdo al diámetro y a sus características, las fibras pueden ser whiskers (monocristales muy delgados), fibras y alambres.

También se tiene la utilización de fibras naturales como abacá, cabuya y coco, incorporados como elementos de refuerzo en una matriz polimérica, con ventajas como la reducción de costo de manufactura y su menor impacto ambiental.

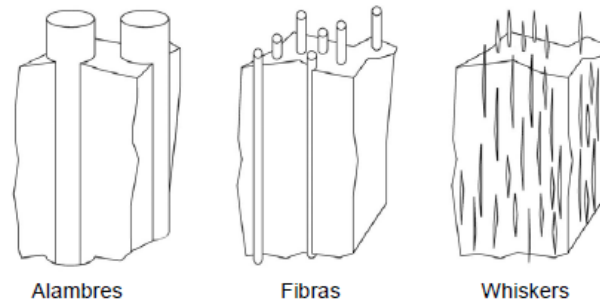


Figura 5. Refuerzos de alambres, fibras y whiskers
Fuente: [4]

c) Elementos estructurales

Los compuestos laminares y paneles tipo sánduche son dos de los compuestos estructurales más comunes. Un compuesto laminar está formado por láminas que tienen una dirección de alta resistencia. Las capas son apiladas y consolidadas, la orientación preferencial de las fibras en cada capa varía de una lámina a otra.

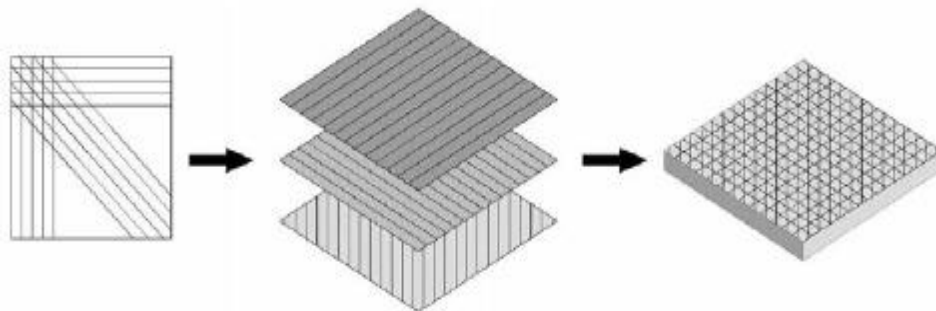


Figura 6. Estructura de un material compuesto laminado
Fuente: [4]

2.1.4.3. La interfaz

Las propiedades de los materiales compuestos dependerán de la interfaz denominada la región de contacto entre la matriz y el refuerzo. Si la interfaz es débil es débil la transferencia de carga de la matriz a la fibra no será eficiente y la matriz soportara las cargas y falle, o se puede producir huecos entre la matriz y fibra logrando romper la pieza.

La buena adhesión entre la fibra y la matriz depende del contacto íntimo entre los átomos en la superficie de uno y otro componente [4, 6].



Figura 7. Microfotografía obtenida por microscopía electrónica de barrido de la superficie de fractura de una aleación plata-cobre, reforzada con fibras de carbono.

Fuente: [6].

2.1.5. RESINA EPOXI:

Este tipo de resina es la más utilizada en los materiales compuestos de alta calidad, la resina epoxi tiene mejores propiedades físicas y químicas en comparación a la poliéster y viniléster, además tiene una capacidad de adhesión sobre varios materiales de refuerzo, se obtienen como resultado laminados con un elevado contenido de fibra.

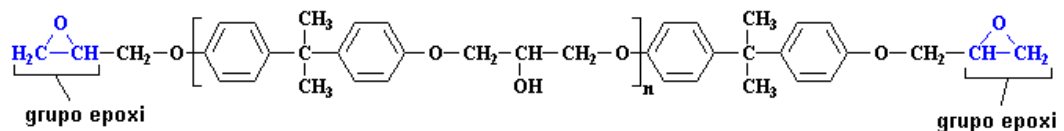


Figura 8. Resina Epoxi composición química

Fuente: [3]

2.1.5.1. Características de la resina epoxi

- Resistente al agua a los disolventes, ácidos y bases y a la mayor cantidad de agentes químicos.
- Presencia de grupos polares OH en sus cadenas favoreciendo la adhesión.
- Las temperaturas de deformación bajo carga son del orden de 120 a 180° dependiendo el tipo de resina.
- La resina epoxi-aminas son las más resistentes mantienen sus características mecánicas hasta 180° en trabajo continuo.
- Se admite cargas de sílice, aunque esto disminuye el coeficiente de dilatación.

- No son inflamables y en su mayoría autoextinguibles
- Poseen propiedades eléctricas buenas.

Tabla 2. Propiedades resina Epoxi

Denominación del producto	PH3630
Color	Ambar
Viscosidad a 77°F, centipoise	190- 200 cps
Relación de mezcla en peso	1 hora

Fuente: [9]

2.1.5.2. Aplicaciones:

- Combinando sus propiedades de tenacidad, flexibilidad, adhesión y resistencia química son aplicadas para adhesivos especiales y revestimientos superficiales.
- En la industria eléctrica y fabricación de herramientas se utiliza el colado, embutido, encapsulado con resinas epoxi.
- En el campo eléctrico se utilizan para impregnar los transformadores y bobinas de motores.
- Para revestimientos utilizando disolventes como en pinturas y sin disolventes para proteger suelos de hormigón cubas metálicas.

2.1.6. TIPOS DE FIBRAS

Fibras naturales: son utilizadas en varias aplicaciones como productos desechables, estructuras o refuerzo, el uso de este tipo de fibras es antiguo empleando especies como lino yute algodón entre otras. Son extraídas mediante procesos físicos o mecánicos y pueden ser

2.1.6.1. Vegetales:

Se subdividen según la ubicación dentro de la planta:

- **Fibras de semilla:** situadas junto a las semillas y se obtienen desprendiendo de estas.
- **Fibras de tallo:** denominadas liberianas, situadas en el tallo, entre el leño y la corteza. Pertenecen a este grupo el lino, el cáñamo, el yute, el abacá, la stipa ichu y el kenaf.

- **Fibras de las hojas:** se pueden aislar quitando la pulpa de las hojas y pueden ser el esparto, la rafia, al fornio, entre otros.
- **Fibras de fruto:** por ejemplo el bonote obtenido del revestimiento del coco
- **Fibras de raíz:** como el zacatón de género Muhlenbergia. [10].

2.1.6.2. Animales:

Perteneciendo a este grupo la lana, los pelos de alpaca, vicuña, camello bactriano, mohair, conejo y también la seda.

2.1.6.3. Minerales:

La única que pertenece a este tipo es el asbesto o amianto.

2.1.7. LONGITUD Y DIÁMETRO DE LAS FIBRAS:

Sus dimensiones característicamente se evalúan mediante la relación de forma: l/d , donde l es la longitud de las fibras y d su diámetro. Las fibras típicas tienen diámetros que varían desde 10 micrones hasta 150 micrones.

La resistencia del compuesto mejora cuando la relación de forma es grande. A menudo las fibras se fracturan debido a defectos de superficie. Fabricarlas con un diámetro lo más pequeño posible, le da a la fibra menos área superficial debido a esto hay menos defectos que puedan propagarse durante el proceso o bajo carga. Se prefieren fibras largas. Los extremos de una fibra soportan menos carga que el resto es decir a menos extremos, mayor capacidad de las fibras para soportar carga.

2.1.7.1. Cantidad de fibras:

Un mayor volumen de fibras incrementa la rigidez y resistencia del compuesto, por ser el que posee mayores propiedades mecánicas intrínsecas. Una fracción máxima de volumen de fibras es, aproximadamente, 80 por ciento con un valor mayor a esta cantidad, las fibras ya no quedan totalmente rodeadas por la matriz y la transferencia de carga deja de ser eficiente [6].

2.1.7.2. Orientación de las fibras

Las fibras de refuerzo pueden introducirse en la matriz con diversas orientaciones. Las fibras cortas con una orientación aleatoria y una relación de forma típicas se

pueden introducir con facilidad en la matriz, dando un comportamiento relativamente isotrópico.

Los arreglos unidireccionales con fibras largas e incluso continuas producen propiedades anisotrópicas, con resistencia y rigidez paralelas a las fibras buenas. Estas fibras se denominan, frecuentemente, como capas de 0° , indicando que todas las fibras están alineadas en la dirección del esfuerzo aplicado; lo cual ocurre en los productos fabricados por pultrusión. Pero si la carga es perpendicular a las fibras, la orientación unidireccional origina propiedades pobres.

Una de las características únicas de los compuestos reforzados con fibra es que sus propiedades se pueden diseñar para soportar condiciones de carga diferentes. En la matriz se pueden introducir fibras largas y continuas en varias direcciones, mediante arreglos ortogonales (capas de $0^\circ/90^\circ$) se obtienen buenas resistencias en dos direcciones perpendiculares, se pueden unir cintas que contienen fibras alineadas para producir una estructura compuesta unidireccional de varias capas

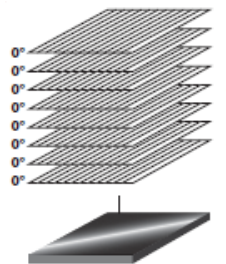


Figura 9. Estructura Unidireccional

Fuente: [6]

Existen disposiciones más complejas (como capas de $0^\circ/\pm 45^\circ/90^\circ$) proporcionan refuerzo en varias direcciones. Las cintas que contienen fibras alineadas se pueden unir con diferentes orientaciones para producir un compuesto casi isotrópico. En este caso, se forma un compuesto $0^\circ/\pm 45^\circ/90^\circ$.

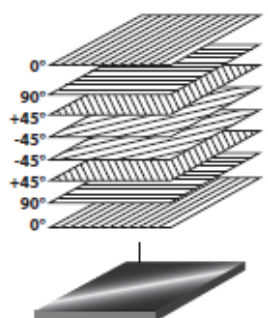


Figura 10. Estructura de capas iguales, casi isotrópico

Fuente: [6]

Las fibras también se pueden organizar en patrones tridimensionales. Incluso en el más simple de los tejidos, las fibras en cada capa de tela tienen un pequeño grado de orientación en una tercera dirección. Se logra un refuerzo tridimensional mayor, cuando las capas de telas están tejidas o cosidas entre sí. También se pueden utilizar tejidos tridimensionales más complejos.

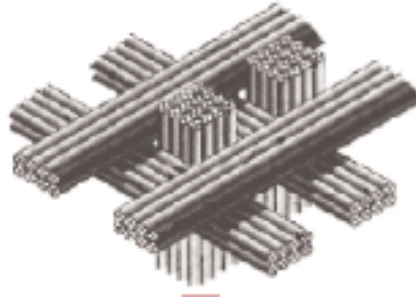


Figura 11. Tridimensional
Fuente: [6]

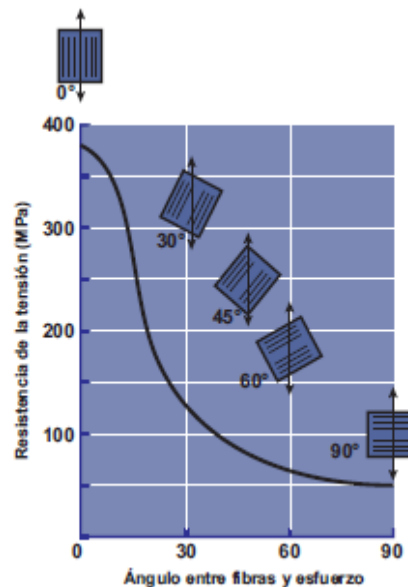


Figura 12. Efecto de la orientación de las fibras en la resistencia a la tensión de compuestos epóxicos
Fuente: [6]

2.1.8. FIBRA STIPA ICHU

Denominada paja brava es un pasto del altiplano andino sudamericano, es una planta endémica de países como Guatemala, México, Costa Rica, El Salvador, Venezuela, Bolivia, Colombia Ecuador, Perú, Chile y Argentina. Soporta el clima del altiplano, árido, pedregoso, arenoso [11].

Tabla 3. Características del Stipa Ichu.

Reino	Plantae
Familia	Poaceae
Tribu:	Stipeae
Genero	Stipa
Especie	Stipa Ichu
Densidad	1.5 g/cm ³

Fuente: [11]

Tiene un tallo de 60 a 180 cm de altura, tiene hojas rígidas, erectas con un diámetro de 0.5mm. Es una planta entera se emplea en el techado de casas, con la parte aérea se trenza cuerdas para los cuernos de toros, empleadas también en la fabricación de escobas, puertas [11].

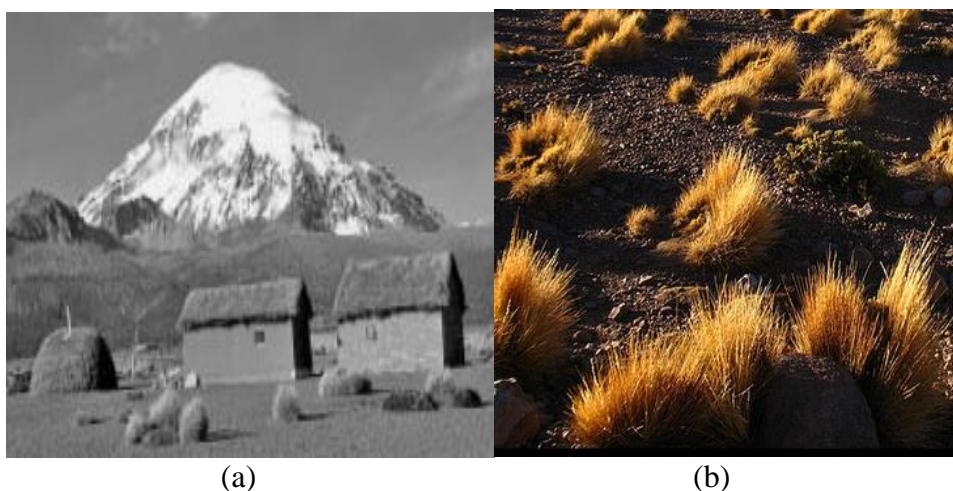


Figura 13. Stipa Ichu (a) Techos de casas, (b) Pasto en el páramo.

Fuente: [11]

2.1.8.1. Secado del Stipa Ichu:

En el presente proyecto se utilizan varios tipos de secado de fibra como son:

- Secado Natural: Recolectar la fibra deshojar y secar al sol por 24 horas.
- Secado Precocido: En este método se inicia con un proceso de enriado esto significa sumergir en agua por 2 semanas para debilitar las paredes celulares del Stipa Ichu. Posterior cocinar las fibras de ichu a 70°C por un lapso de 2 horas, para separar la celulosa y la hemicelulosa de la corteza, por último estas fibras se dejarán secar al aire por un periodo de 24 horas [12].

2.1.9. FIBRA DE ALGODÓN:

Es un tipo de fibra textil vegetal ofrece fibras largas, esta fibra está formada por cutucula, una pared primaria, una pared secundaria y un lumen [10].

Tabla 4. Composición química del algodón

Materia	Porcentaje
Celulosa	80 - 90
Agua	6 - 8
Ceras y grasas	0,5- 1
Proteínas	0 – 1,5
Pectinas	4 - 6
Cenizas	1- 1,18

Fuente: [10]

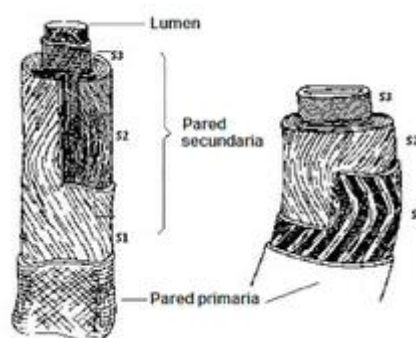


Figura 14. Estructura de la fibra de algodón.

Fuente: [10]

2.1.10. ENSAYO DE MATERIALES

2.1.10.1. Ensayo de tracción.

Los ensayos de tracción son aquellos que proporcionan información de ductilidad y resistencia de materiales sometidos a una carga uniaxial especificada. Este tipo de información se utiliza para la comparación de materiales, control de calidad, diseño bajo parámetros y desarrollo de nuevos materiales. En el presente trabajo experimental se regula este ensayo con la norma ASTM A3039, para materiales compuestos, realizando dichos ensayos en la máquina universal perteneciente al centro de fomento productivo metalmeccánico carroceros del gobierno provincial de Tungurahua [13].



Figura 15. Maquina universal de ensayos.
Fuente: [La autora]

A. Resistencia a la tracción o tensión.

Es el valor del esfuerzo más alto al que es sometida la probeta, provocando un alargamiento o acortamiento en la dirección de la fuerza aplicada [14].

Se puede calcular la resistencia a la tracción mediante la fórmula:

$$\sigma_{max} = \frac{F}{A} \quad \text{Ecuación. 1}$$

Donde:

σ_{max} : Es el esfuerzo máximo en MPa

F : Carga máxima en N

A : Área de la sección transversal en mm^2

B. Propiedades elásticas.

La deformación elástica no es permanente, esto significa que una vez retirada la carga la probeta ensayada vuelve a su estado original. El grado con el cual la probeta se deforma depende únicamente de la tensión a la que fue sometida.

La propiedad de elasticidad está representada por la ley de Hooke la cual es expresada con la formula: [15].

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad \text{Ecuación. 2}$$

Donde:

E : Módulo de elasticidad o módulo de Young MPa.

σ : Esfuerzo máximo MPa.

ε : Elongación



Figura 16. Diagrama tensión-deformación (deformación lineal para ciclos carga-descarga)

Fuente: [15]

C. Deformación plástica (%)

Es una propiedad con la cual se puede determinar el grado de deformación plástica que puede soportar la probeta hasta su posterior fractura. Esta propiedad se puede encontrar con la medición del alargamiento relativo porcentual o porcentaje de deformación plástica, %EL [15].

$$\%EL = \left(\frac{l_f - l_o}{l_o} \right) \times 100. \quad \text{Ecuación. 3}$$

Donde:

%EL: Porcentaje de deformación plástica.

l_o : Longitud inicial probeta.

l_f : Longitud final probeta.

La importancia por la cual se requiere conocer la deformación del material a ensayar es por dos razones, una para encontrar el grado en el cual se deformará la probeta antes de llegar a la rotura, y la otra para especificar el grado de deformación al que puede ser sometida durante las operaciones de conformación [15].

2.1.10.2. Ensayo de flexión.

El ensayo de flexión es un método muy apropiado para ser usado con nuevos materiales, ya sean materiales compuestos por plásticos con reforzó de fibras de matriz termoestable o termoplástica [16].



Figura 17. Ensayo de flexión

Fuente: [La autora]

Este es un método utilizado para encontrar la flexión de las probetas a ensayar, determinar la resistencia a la flexión, el módulo de flexión y otros aspectos de la relación esfuerzo - flexión en condiciones específicas. Se aplica este ensayo a una viga soportada libremente (prueba de carga de tres puntos), método considerado como procedimiento A en la norma que se utilizó en el ensayo ASTM D7264 [17].

Los ensayos de flexión que se efectúen en probetas de diferente dimensión o en probetas preparadas en condiciones diferentes pueden producir resultados no comparables. Por consiguiente, si se desea tener datos comparables se debe aplicar las normas especificadas para la obtención de datos controlados. Existen otros factores que también influyen mucho en la determinación de los resultados del ensayo de flexión, entre estos tenemos la velocidad de prueba, el espesor de la probeta y el acondicionamiento de las probetas [17].

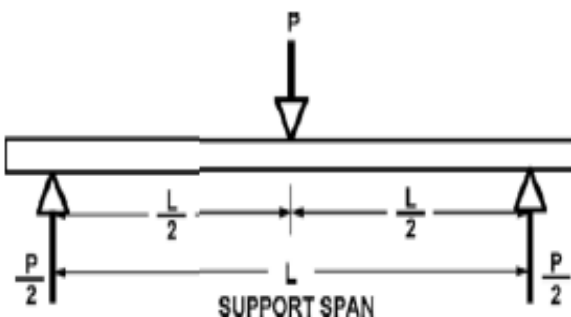


Figura 18. Posición de la probeta a ensayar (prueba de carga de tres puntos)
Procedimiento A

Fuente: ASTM D7264

Para tener una mayor precisión del valor medio del ensayo de flexión se deben ensayar al menos cinco probetas, este puede ser superior si se requiere de una mayor precisión. Es recomendable que las probetas estén siempre orientadas de la misma forma que la superficie en contacto con la placa de la cavidad.

A. Resistencia a la flexión.

Determina la carga necesaria para la generación de un nivel dado en una muestra, típicamente usando una carga de tres puntos como se muestra en la figura anterior. [18]

La expresión que viene dada para la resistencia a la flexión es: [19].

$$\text{Resistencia a la flexión} = \sigma_f = \frac{3FL}{2bh^2} \quad \text{Ecuación. 4}$$

Donde:

σ_f : Resistencia a la flexión.

F: Fuerza aplicada en N.

L: Longitud en mm.

b: Es el ancho de la probeta en mm.

h: Es el espesor de la probeta en mm.

B. Módulo de elasticidad (módulo de Young E).

El módulo de elasticidad E es un parámetro característico de cada uno de los materiales, este indica la relación entre comportamiento elástico del material y la tensión aplicada. [20]

La fórmula del módulo de elasticidad está representada por la siguiente expresión: [18].

$$E = \frac{FL^3}{4bh^3Y} \quad \text{Ecuación. 5}$$

Donde:

E : Módulo de elasticidad o módulo de Young MPa.

F : Fuerza aplicada en N.

L : Longitud en mm.

b : Es el ancho de la probeta en mm.

h : Es el espesor de la probeta en mm.

Y : Deflexión de la probeta.

2.1.10.3. Ensayo de impacto.

La resistencia al impacto representa la resistencia o tenacidad de un material rígido a la súbita aplicación de una carga mecánica. Se determina por medición de la energía requerida para fracturar una probeta bajo condiciones normalizadas. Medida en Joule/m.

En ensayo de caída de dardo se realiza con especificaciones de la norma ASTM 5618-10, en la cual existen varias geometrías para las cuales se especifica mordazas y geometrías y dardo que se debe utilizar. Se basa en dos procedimientos diferentes de altura constante masa variable o masa constante y altura variable, teniendo como resultado la energía requerida para romper la probeta [16].



Figura 19. Geometría del ensayo caída del dardo

Fuente: [La autora]

2.1.10.4. Fractografía

Etimológicamente la palabra fractografía es similar en su origen a la palabra metalográfico fracto que significa fractura y grafía tratamiento descriptivo, es el descubrimiento de un medio para superar la dificultad de llevar la lente de un microscopio suficientemente cerca de la superficie irregular de una fractura para revelar sus detalles dentro de los granos individuales.

El propósito de la fractografía es analizar las características de fractura para intentar relacionar la topografía de la superficie con las causas o mecanismos de la fractura [21].

A. Patrones y mecanismos de fractura en polímeros.

Los materiales poliméricos bajo experimentos de esfuerzo deformación, los elementos se deforman hasta su fractura, ensayos que son realizados a baja velocidad en mm/s.

La fractografía contribuyo en la cristalografía. En el siglo XIX René-Just Haüy observó que los cristales eran fracturados, sus superficies eran paralelas a los planos originales, lo que indica un orden interior y simetría: la base de la cristalografía.

Es importante distinguir entre una grieta y un patrón llamado craze. La primera deformación al aplicar cargas que generan el esfuerzo de un polímero genera un flujo cortante a las últimas moléculas del polímero, si se encuentran sobre la temperatura de transición vítrea o por la flexión y estiramiento.

Eventualmente la grieta comenzará a formarse en un tipo de defecto, después se propagará a alta velocidad, causando una falla. El efecto craze no es una grieta o fisura abierta, es un efecto generado por fibras muy delgadas del polímero que mantiene junta la pieza de arriba hacia abajo y que su formación es debido al surgimiento de micro-huecos en las fibras hasta que la pieza fractura.

2.1.10.5. Procesos de fabricación:

El proceso de fabricación de un material compuesto permite satisfacer las respectivas cualidades para un producto en una determinada aplicación, el costo del proceso de fabricación está entre un 50 y 60% en relación al 100% del costo total, teniendo varios procesos de fabricación como: estratificación manual, moldeo por compresión, moldeo por aspersión, inyección, extrusión, pultrusión, estratificación de pre impregnados y moldeo por transferencia de resina [4].

A. Moldeo por compresión.

En esta técnica se emplean los moldes de tipo macho y hembra, empleando presión, esta técnica puede ser para materiales termoplásticos y termoestables.

En el caso de materiales termoestables las láminas son de matriz y refuerzo, en este caso se puede o no aplicar calor dependiendo esta variable del tipo de resina, con un máximo de aplicación del 30% de fibra. Este proceso inicia con el corte de láminas de refuerzo en la forma deseada y colocada en la mitad inferior del molde,

precalentar el molde según lo requiera la resina, cerrando rápidamente con la parte superior y desmoldando al quitar la presión y posterior se procede con el curado del material.

Los materiales termoplásticos, se fabrican con adición de calor, reforzados con fibras unidireccionales. En este tipo de materiales se puede usar una fracción de refuerzo mayor al 60% [4].

2.2.HIPÓTESIS

La caracterización con diferentes orientaciones del refuerzo de tejido entre algodón + Stipa Ichu en el material compuesto de matriz epoxi mejorará las propiedades mecánicas.

2.3.SEÑALAMIENTO DE VARIABLES DE LA HIPÓTESIS

2.3.1. VARIABLE INDEPENDIENTE:

Material compuesto de matriz epoxi reforzada con fibra vegetal (algodón) y fibra natural de Stipa Ichu (pasto de paramo) con secado natural y precocido.

2.3.2. VARIABLE DEPENDIENTE:

Propiedades mecánicas

2.3.3. TERMINO DE RELACIÓN:

Mejorará

CAPÍTULO III.

METODOLOGÍA

3.1. NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN.

3.1.1. DESCRIPTIVO:

El trabajo experimental se realizó con un nivel descriptivo debido a la caracterización del nuevo material, describiendo los materiales para su composición del nuevo material compuesto de fibra de Stipa Ichu + Algodón en matriz epoxi.

3.1.2. ASOCIACIÓN DE VARIABLES

El trabajo experimental fue de tipo asociación de variables, ya que se evaluó las variaciones de comportamiento de una variable en función de variaciones de otra variable.

3.1.3. EXPLICATIVO:

El nivel de investigación es explicativo porque se comprobó experimentalmente la hipótesis planteada anteriormente.

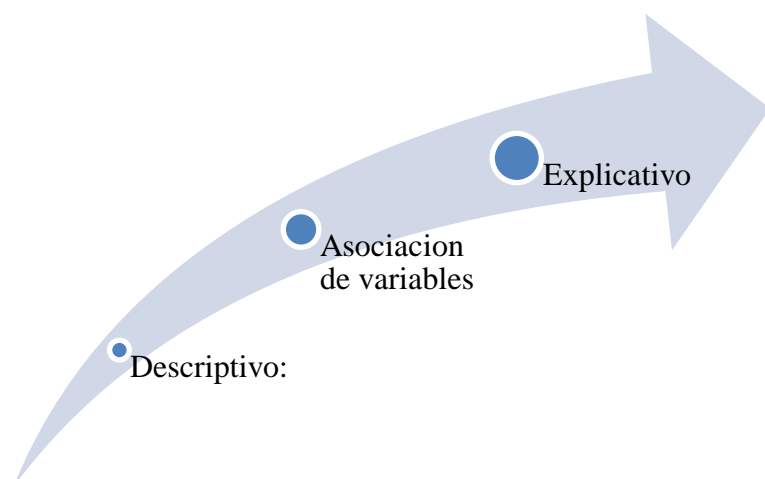


Figura 20. Nivel o tipo de Investigación.

Fuente: [22].

3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.2.1. POBLACIÓN

Material compuesto de matriz epoxi reforzada con fibra vegetal (algodón) y fibra natural de Stipa Ichu (pasto de paramo) con secado natural y precocido fabricadas a compresión, propuesta en el trabajo experimental

3.2.2. MUESTRA

Probetas de material compuesto de matriz epoxi reforzada con fibra vegetal (algodón) y fibra natural de Stipa Ichu (pasto de paramo) con secado natural y precocido con un numero de probetas mínimo de 5 para cada ensayo y bajo medidas establecidas en las Normas correspondientes para Tracción ASTM D3039, Flexión ASTM D7264-07, Impacto ASTM D5628-10 y fractografía de la probeta que presente mejores propiedades mecánicas en los ensayos a tracción, obtenidas bajo moldes a compresión con una fracción volumétrica calculada, configuración ideal y diferente tipo de secado de fibra.

3.3. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Tabla 5. Variables independiente: Material compuesto de matriz epoxi reforzada con fibra vegetal (algodón) y fibra natural de Stipa Ichu (pasto de paramo) con secado natural y precocido.

Conceptualización	Categoría	Indicadores	Índice			Técnicas e Instrumentación
			Resina Epoxi	Fibra de Stipa Ichu	Fibra de Algodón	
Material compuesto de matriz epoxi reforzada con fibra natural de Stipa Ichu (pasto de paramo) y fibra vegetal (algodón).	Material Compuesto	Orientación de refuerzos		90°	0°	<ul style="list-style-type: none"> Fichas de recolección de información Observación, Normativa ASTM D3039, ASTM D7264-07, ASTM D5628-10 Bibliografía
			-	45	135	
				0°	90	
			-	45°	135°	
		Fracción Volumétrica	¿Cuál es la fracción volumétrica ideal?			
		Forma de secado de la fibra	-	Natural	-	
			-	Natural con NaOH	-	
			-	Precocida	-	
Numero de capas	2, 3					

Fuente: [La autora]

Tabla 6. Variable dependiente, Propiedades Mecánicas.

Conceptualización	Categoría	Indicadores	Índice	Técnicas e Instrumentación
Características mecánicas del material compuesto de Resina Epoxi reforzado con Stipa Ichu con secado natural y precocido mas Algodón	Tracción	Resistencia a la tracción	¿Cuál será la resistencia a la tracción?	Fichas decampo Normas ASTM ASTM D3039, ASTM D7264-07, ASTM D5628-10
		Módulo de elasticidad	¿Cuál será el módulo de elasticidad?	
	Flexión	Esfuerzo a flexión	¿Cuál será el esfuerzo a la flexión?	
		Módulo de Flexión	¿Cuál será el módulo de flexión?	
	Impacto	Resistencia al impacto	¿Cuál será la resistencia al impacto?	
	Fractografía	Microscopia	Conformado entre matriz y refuerzo	

Fuente: [La autora]

3.4.PLAN DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

Se utilizó técnicas basadas en la observación de tipo directa, una observación de laboratorio y; la observación directa debido a que se tiene contacto directo con las probetas elaboradas, y la observación de laboratorio debido al lugar donde se realizaron los diferentes ensayos mecánicos de las probetas.

Para el registro de datos obtenidos por medio de la observación se utilizó el instrumento ficha de campo para toma de resultados de los ensayos mecánicos realizados.

3.5.PLAN PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS

Los datos recolectados siguieron los siguientes pasos.

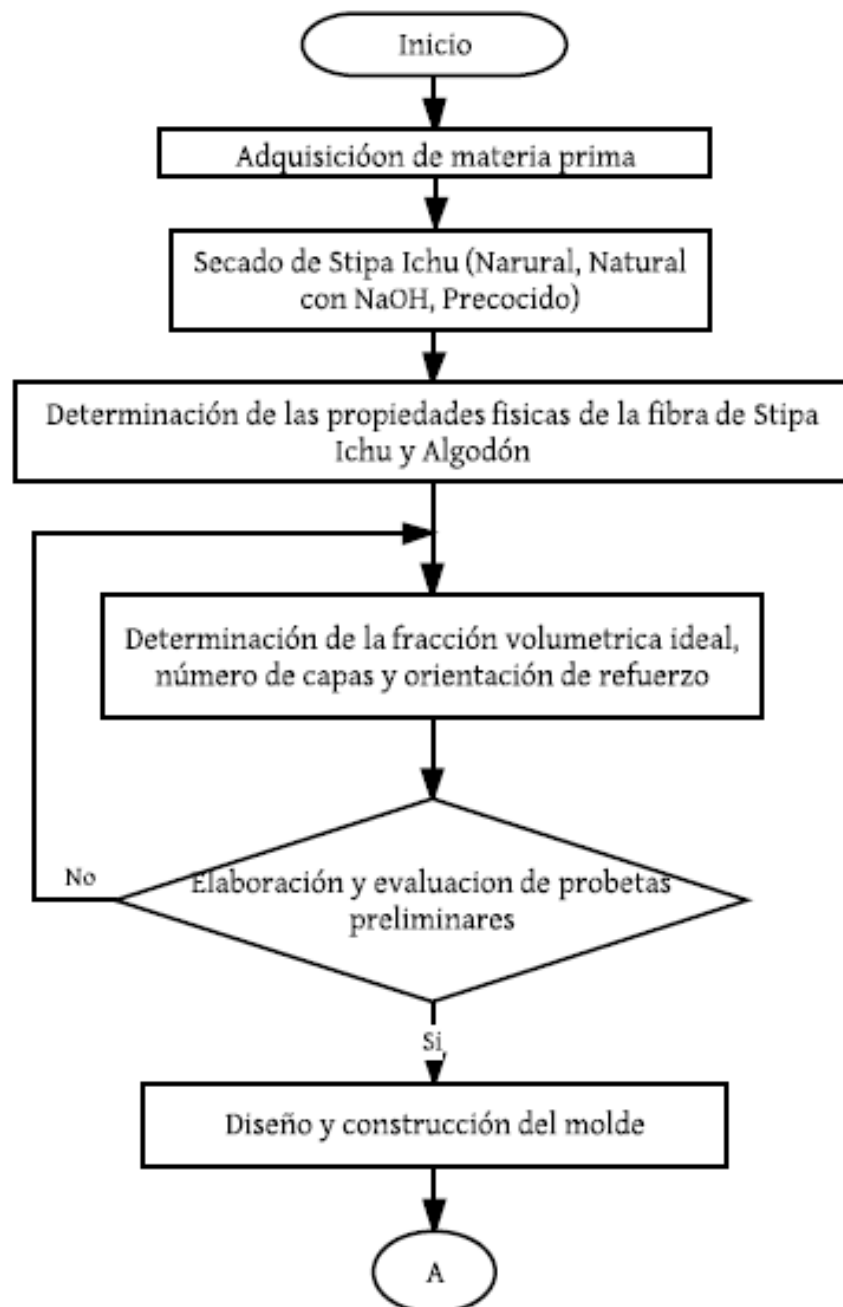
- Revisión crítica de la información recogida, quitando información contradictoria y no pertinente.
- Tabulación de los resultados.
- Presentación escrita de forma tabular
- Análisis de los resultados para comprobar el planteamiento de la hipótesis

CAPÍTULO IV.

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1.RECOLECCIÓN DE DATOS

4.1.1. DIAGRAMA PARA CARACTERIZAR AL NUEVO MATERIAL COMPUESTO.



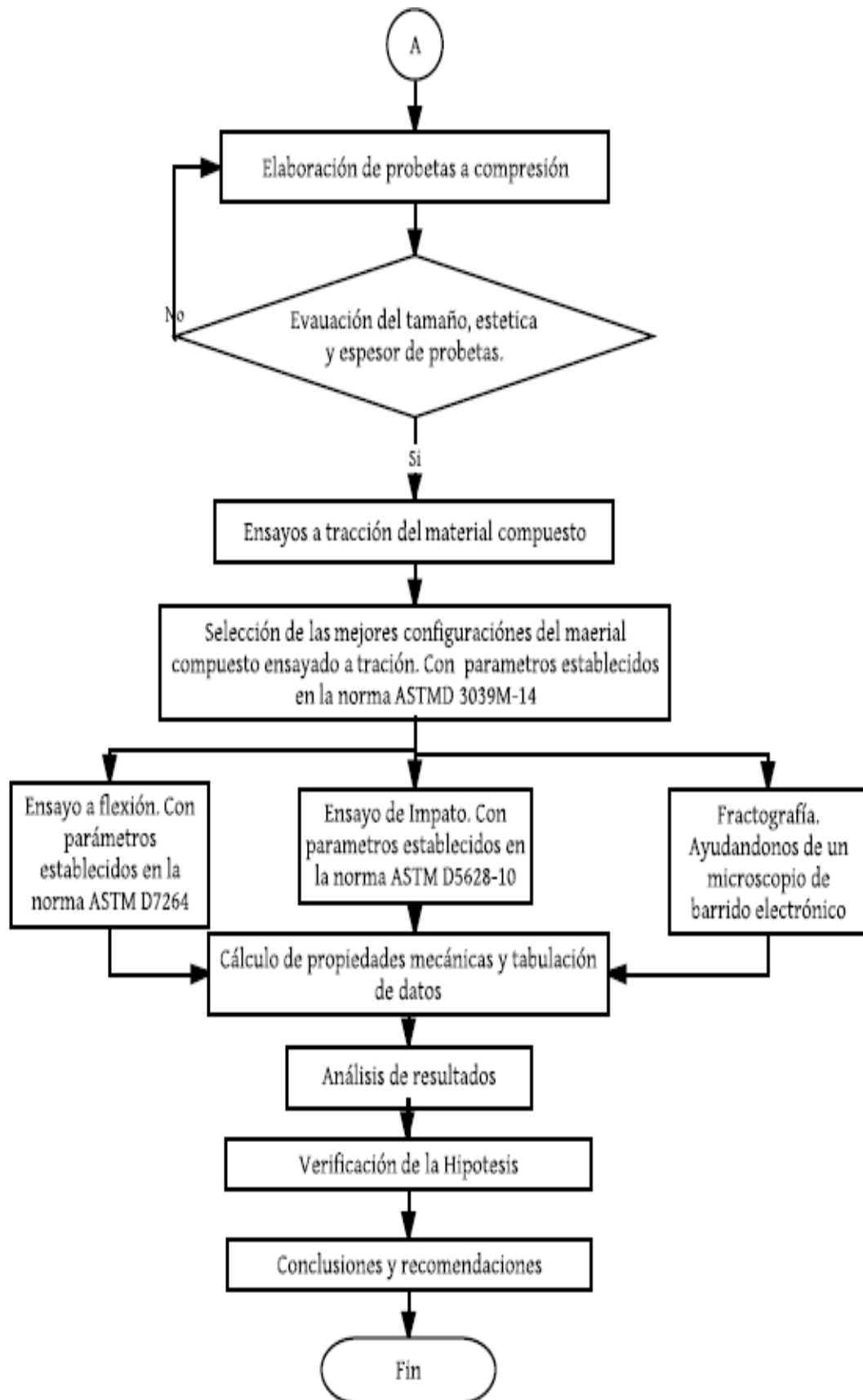


Figura 21. Diagrama de procedimiento del material compuesto.

Fuente: [La autora]

4.1.2. PROPIEDADES FÍSICAS DE LA FIBRA DE STIPA ICHU.

El Stipa Ichu es originario del páramo, para esta trabajo experimental se recolecta el pasto de paramo específicamente de la provincia de Cotopaxi cantón Saquisilí Parroquia Toacaso.

El pasto de paramo con nombre científico Stipa Ichu tiene un diámetro interior de 0.5- 0.8mm, con una longitud del tallo de 22 a 55cm, la fibra es resistente con propiedades específicas

Tabla 7. Composición de la Paja Stipa Ichu como porcentaje del peso seco.

Parámetro	Composición promedio (%)
Humedad	57.7
Celulosa	45.9
Lignina	18.2
Pentosanos	5.5
Cenizas	5.6
Resinas, ceras y grasas	6.7

Fuente: [23]

4.1.2.1. Determinación de la densidad de la fibra mediante el método gravimétrico



Figura 22. Procedimiento determinación de la densidad del Stipa Ichu.

Fuente: [La autora]

- Recortar en longitudes menores los tallos secos y libres de humedad.
- En un vaso de precipitación colocar una cantidad medida de volumen de resina con secante.

- Medir el peso de la fibra en gramos.
- Colocar la fibra en el vaso de precipitación con resina sin endurecedor.
- Medir el volumen final presente en el vaso de precipitación.
- Calcular la densidad con la fórmula 5
- Repetir el procedimiento tres veces.

$$\text{Densidad} = \frac{\text{masa}}{\text{volumen}} \quad \text{Ecuación. 5}$$

Tabla 8. Resultados densidad del Stipa Ichu.

Numero de prueba	Volumen Inicial (ml)	Volumen Final (ml)	Masa de la fibra (gr)	Variación del volumen (cm ³)	Densidad (gr/cm ³)
1	54	66,5	3,789	12,5	0,50
2	45,9	50	2,061	4,1	0,60
3	58	78	3,020	20	0,48
Promedio					0,527

Fuente: [La autora]

4.1.2.2. Determinación de la densidad de la fibra de algodón con el método gravimétrico

La fibra de algodón propuesto como material de refuerzo en el presente trabajo experimental consta de las características presentadas en la tabla 4 del capítulo 2, mediante el método gravimétrico con un vaso de precipitación a temperatura ambiente y con la ayuda de una balanza marca CAMRY se determina la densidad del algodón.

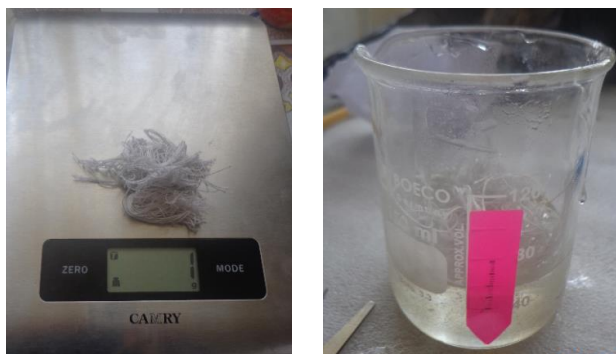


Figura 23. Procedimiento método gravimétrico para determinar la densidad del algodón.

Fuente: [La autora]

- Pesar la masa del algodón en la balanza electrónica.
- Medir el volumen de resina.
- Ingresar el algodón en la resina.
- Medir el volumen final de la resina presente en el vaso de precipitación.
- Calcular la densidad con la fórmula 5.
- Repetir el procedimiento tres veces.

Tabla 9. Resultados densidades del refuerzo de algodón.

Numero de prueba	Volumen Inicial (ml)	Volumen Final (ml)	Masa de la fibra (gr)	Variación del volumen (cm ³)	Densidad (gr/cm ³)
1	56	56,8	1	0,8	1,25
2	56	57,6	2	1,6	1,25
3	58	60	3	2	1,5
Promedio					1,333

Fuente: [La autora]

4.1.3. PROPUESTA DE LA CONFIGURACION PARA EL REFUERZO DEL MATERIAL COMPUESTO.

El refuerzo que se plantea para el presente estudio es un tejido con algodón + Stipa Ichu (pasto de paramo), buscando una configuración ordenada, se obtiene un tejido uniforme.

La composición en peso se realiza con un promedio tomando muestras de telar de 10x5cm, pesando y descomponiendo el telar pesando sus componentes en conjunto e individualmente.

Procedimiento:

- Pesar el telar de dimensiones (10X 5cm)
- Descomponer el telar y pesar individualmente el Stipa Ichu y el Algodón.

Tabla 10. Composición en peso y porcentaje del refuerzo.

Num. de prueba	Masa Algodón + Stipa Ichu 100%(gr)	Masa algodón (gr)	Masa Stipa Ichu (gr)	Masa algodón (%)	Masa Stipa Ichu (%)
1	1,149	0,206	0,943	17,929	82,071
2	1,064	0,198	0,866	18,609	81,391
3	1,234	0,201	1,033	16,288	83,712
Promedio				17,609	82,391

Fuente: [La autora]

4.1.3.1. Determinación de la densidad de refuerzo (Stipa Ichu + Algodón).

La fibra elaborada en el telar de algodón con dimensiones de 10X 5cm de tejido plano.



Figura 24. Peso del refuerzo.

Fuente: [La autora]

- Pesar el material compuesto por algodón+Stipa Ichu en la balanza electrónica.
- Medir el volumen de resina.
- Ingresar la fibra en la resina.
- Medir el volumen final de la resina presente en el vaso de precipitación.

Tabla 11. Resultados de la densidad del material de refuerzo compuesto de algodón + Stipa Ichu

Numero de prueba	Volumen Inicial (ml)	Volumen Final (ml)	Masa de la fibra (gr)	Variación del volumen (cm ³)	Densidad (gr/cm ³)
1	50	54,1	1,149	4,1	0,280
2	45,9	50	1,064	4,1	0,260
3	59	63	1,234	4	0,309
Promedio					0,283

Fuente: [La autora]

4.1.4. DETERMINACIÓN DE LA FRACCIÓN VOLUMÉTRICA DE REFUERZO Y MATRIZ BASADA EN CÁLCULOS DE PROBETAS PRELIMINARES.

La fracción volumétrica ideal para los casos planeados en el trabajo se calcula de forma experimental con el método planteado a continuación:

4.1.4.1. Conociendo el volumen de moldeo de probeta

Se plantea una fracción volumétrica conformada por un 70% de matriz (resina epoxi) y 30% de refuerzo (Stipa Ichu+ Algodón) para secado natural y secado precocido.

Con un volumen de moldeo requerido se calcula las cantidades de resina epoxi y de refuerzo de Stipa Ichu + Algodón.

Datos conocidos:

Calculo del volumen del espacio del moldeo:

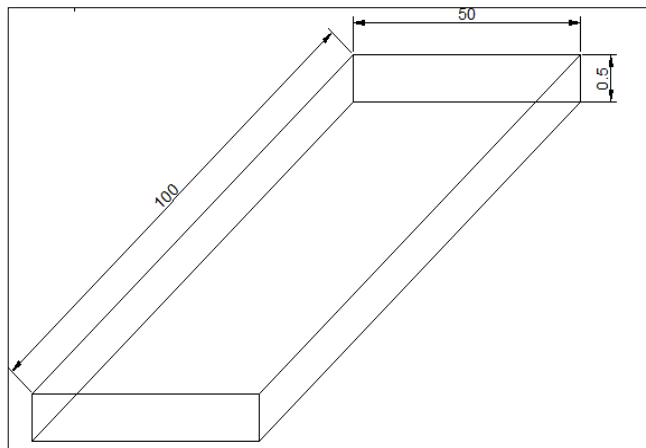


Figura 25. Volumen de moldeo.

Fuente: [La autora]

- 5cm de ancho
- 10 cm de largo
- 0,5 cm de espesor

$$V_{total} = \text{largo} \times \text{ancho} \times \text{espesor}$$

$$V_{total} = 10 \times 5 \times 0,5$$

$$V_{total} = 25\text{cm}^3$$

Fracción Matriz: $f_m = 0,70$

Fracción de refuerzo: $f_f = 0,30$

Densidad

$$\rho_f = 0,28 \frac{g}{cm^3}$$

$$\rho_m = 0,96 \frac{g}{cm^3}$$

A. Volumen de la matriz (resina epoxi)

$$V_{moldeo} = 25cm^3$$

$$f_m = 0,70$$

$$\begin{array}{ll} 25cm^3 & \rightarrow 100\% \\ \text{Volumen de Resina Epoxi} & \rightarrow 70\% \end{array}$$

$$\text{Volumen de matriz (Resina Epoxi)} = 17.5cm^3$$

B. Volumen de refuerzo (Stipa Ichu + Algodón)

$$V_{moldeo} = 25cm^3$$

$$f_f = 0,30$$

$$\begin{array}{ll} 25 cm^3 & \rightarrow 100\% \\ \text{Volumen de la fibra de refuerzo} & \rightarrow 30\% \end{array}$$

$$\text{Volumen de la fibra de refuerzo (Stipa Ichu + Algodon)} = 7.5cm^3$$

De acuerdo al ancho y largo del espacio de moldeo pesamos una capa de fibra (Stipa Ichu + Algodón) de 5cm X 10cm obteniendo una masa de 1,149g.

$$\text{Volumen de refuerzo (Stipa Ichu + Algodon)} = 7.5cm^3$$

$$\rho_f = 0,28 \frac{g}{cm^3}$$

$$m_f = \rho_f * v_f$$

$$m_f = 0,283 \frac{g}{cm^3} * 7.5cm^3$$

$$m_f = 2.12 g$$

C. Cálculo del número de capas de refuerzo

$$\text{Numero de capas} = \frac{m_f}{\text{masa de cada capa}}$$

$$\text{Numero de capas} = \frac{2,12 \text{ g}}{1,149}$$

$$\text{Numero de capas} = 1,84 \approx 2 \text{ capas}$$

D. Cálculo de la densidad del material compuesto

Con una masa de 16g de la probeta preliminar fabricada con los datos del cálculo anterior

$$\text{masa del material compuesto} = 16 \text{ g}$$

$$\text{masa total del refuerzo} = 1,149 * 2 = 2,298 \text{ g}$$

$$V_c = V_m + V_f$$

$$V_c = \frac{m_m}{\rho_m} + \frac{m_f}{\rho_f}$$

$$V_c = \frac{13,702 \text{ g}}{0,96} + \frac{2,298}{0,283}$$

$$V_c = 22,39 \text{ cm}^3$$

$$\rho_c = \frac{m_c}{v_c}$$

$$\rho_c = \frac{16 \text{ g}}{22,39 \text{ cm}^3}$$

$$\rho_c = 0,72 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$



Figura 26. Elaboración de probetas preliminares.

Fuente: [La autora]

E. Cálculo de la fracción volumétrica de refuerzo y matriz para el material compuesto.

$$\begin{aligned}\rho_c &= \rho_f * f_f + \rho_m * f_m \\ 0,75 &= \rho_f * f_f + \rho_m * (1 - f_f) \\ 0,75 &= \rho_f * f_f + \rho_m - \rho_m * f_f \\ 0,75 &= 0,283 * f_f + 0,96 - 0,96 * f_f \\ 0,75 - 0,96 &= (0,283 - 0,96)f_f \\ \bullet \quad f_f &= \frac{0,21}{0,677} \\ f_f &= 0,30 \\ f_f &= 30\% \\ \bullet \quad f_m &= (1 - f_f) \\ f_m &= 1 - 0,30 \\ f_m &= 0,70 \\ f_m &= 70\%\end{aligned}$$

Con el ejercicio preliminar determinamos una fracción volumétrica ideal de 30% refuerzo, y 70% de matriz.

F. Cálculo de fracción volumétrica ideal para aplicar tres capas de refuerzo.

Este caso se presenta con un número de capas 3, para lo cual tenemos como dato la masa de cada capa en el literal D de la sección 4.1.4.1, la densidad del refuerzo 4.1.3.1 y de esta partimos para determinar la nueva fracción volumétrica.

$$\begin{aligned}\text{Numero de capas de refuerzo} &= 3 \\ \text{Masa de 1 capa de refuerzo} &= 1,149 \\ \text{Densidad del refuerzo} &= 0,283 \\ \text{Masa de 3 capas de refuerzo} &= 3X 1,149 \\ \text{Masa de 3 capas de refuerzo} &= 3,447 \\ V_{\text{Refuerzo}} &= \frac{m_{\text{refuerzo}}}{\text{densidad de refuerzo}} \\ V_{\text{Refuerzo}} &= \frac{3,447g}{0,283g/cm^3} \\ V_{\text{Refuerzo}} &= 12,1 cm^3\end{aligned}$$

Con los datos anteriores del literal B de la sección 4.1.4.1 realizaremos una regla de tres para determinar la fracción volumétrica adecuada para esta cantidad de fibra.

$$\begin{array}{l} 7,5 \text{ cm}^3 \quad \rightarrow \quad 30\% \\ 12,1 \text{ cm}^3 \quad \rightarrow \quad x\% \\ x\% = 48,8 \% \approx 45\% \end{array}$$

Con un valor de aproximadamente 45% de refuerzo calculamos el volumen de matriz

$$\begin{array}{l} 12,1 \text{ cm}^3 \quad \rightarrow \quad 45\% \\ X \quad \rightarrow \quad 55\% \\ X = 16,13 \text{ cm}^3 \end{array}$$

La fracción volumétrica adecuada para los casos en que la fibra es sometida a un tratamiento químico de limpieza con NaOH (Hidróxido de sodio) es igual a 65% de matriz y 45% de refuerzo.

4.1.5. DETERMINACIÓN DEL ESPESOR DEL MATERIAL DE REFUERZO (ALGODÓN + STIPA ICHU)

Al terminar de calcular las fracciones volumétricas es importante determinar el espesor del material de refuerzo, mediante la utilización de un calibrador, se realizan mediciones del diámetro de la fibra de refuerzo, este material de refuerzo constituido por algodón y Stipa Ichu se realizó en probetas preliminares fabricadas con el espesor final (matriz + refuerzo) calculado en el literal anterior, en la figura se observa la capa de material de refuerzo.

Las fibras vegetales de Stipa Ichu tienen un diámetro diferente por lo cual se toma 8 muestras para medir el diámetro, calculando un espesor promedio de 1.25mm



Figura 27. Vista transversal de probetas (a) con dos capas (b) con tres capas.

Fuente: [Autora]

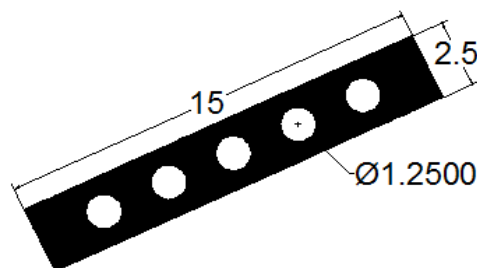
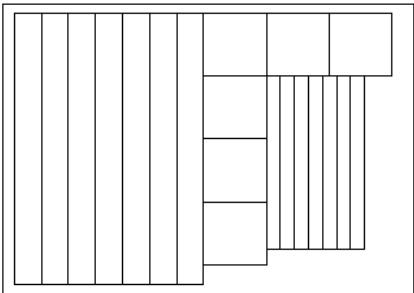


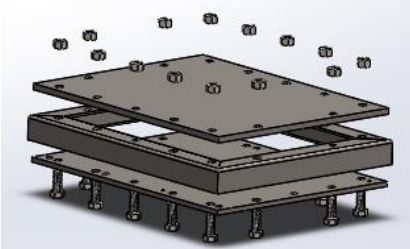



Figura 28. Espesor entre material de refuerzo y matriz.

Fuente: [Autora]

4.1.6. DIMENSIONAMIENTO Y PARÁMETROS PARA EL DISEÑO DEL MOLDE.

Tabla 12. Parámetros de diseño del molde

Ítem	Denominación	Acciones	Figura
1	Diseño geométrico	Establecer el número de probetas de acuerdo con la norma para cada ensayo así como medidas establecidas	
2	Espesor del molde	Establecer un volumen con las medidas del ítem anterior	
3	Selección de material	Establecer espesores de cada parte del molde.	
4	Planos de construcción.	Modelar el molde en un software	
5	Construcción del molde	Cortar, perforar, soldar ángulos.	

Fuente: [La autora]

4.1.6.1.Diseño geométrico:

Las dimensiones del área de trabajo están determinadas de acuerdo a las medidas y número de probetas de ensayos para caracterización mecánica del material compuesto.

- Probetas para Ensayo a tracción, bajo la norma ASTM D3039-14, con 5 probetas de dimensiones: 250X15mm y espesor de 5mm.
- Probetas para Ensayo a Flexión: bajo la norma ASTM D7264-07, con 5 probetas de dimensiones 160X13mm y 5mm de espesor
- Probetas para Ensayo de impacto: El ensayo será bajo la norma ASTM D5628-10 con 5 probetas de dimensiones 58X58mm con un espesor de 5mm.

Se propone un diseño con una configuración de fibras teniendo en cuenta la orientación de las fibras en cada probeta, además de las medidas de probetas, proponiendo el siguiente:

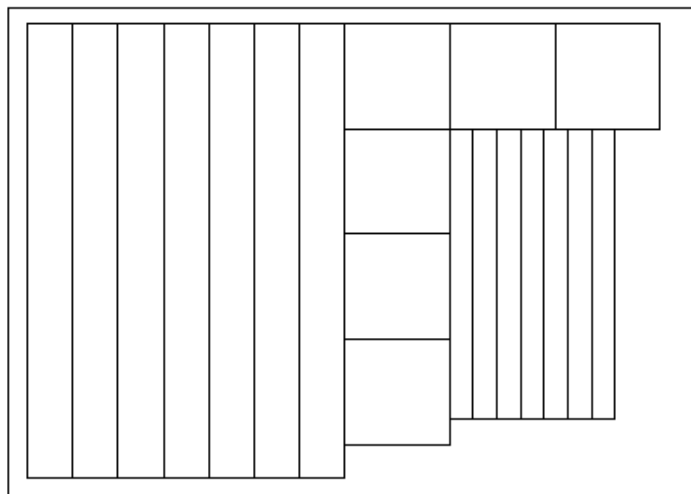


Figura 29. Probetas distribuidas en el molde de acero ASTM A36.

Fuente: [La autora]

4.1.6.2.Espesor del molde

Con los cálculos previos tenemos un espesor de 5mm, este nos ayuda a calcular un volumen de requerimiento 37,5cm X 27cm X 0.5cm.

4.1.6.3. Selección de material

El material con el que se construyó el molde es un Acero ASTM A36 de espesor 1cm con este espesor las placas generan presión al moldear el material compuesto. Un perfil estructural de 4 X 4X 0.5 cm, pernos de acero M10 con tuerca para sujeción entre las partes macho y hembra.


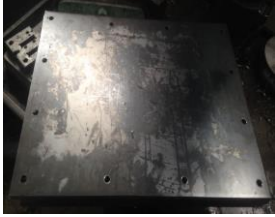


4.1.6.4. Planos de construcción

El modelado de las partes en conjunto se realizan en Solidworks, teniendo en cuenta el área necesaria de moldeo.

4.1.6.5. Construcción del molde

Con el modelado realizado en los planos donde se presentan los detalles se procede con la construcción del molde que contara de una base, un marco y tapa.

Tabla 13. Construcción del molde.

Ítem	Actividad	Figura
Construcción del marco para el molde	Se realiza el marco con ángulo estructural ASTM A36 de 40X40X5 mm de medidas especificadas en los planos, soldando las cuatro partes a nivel.	
Construcción de la base del molde	Medir y cortar la placa con medidas especificadas en los planos en una plancha de espesor 1cm de material acero negro ASTM A36, con la ayuda de rayador medimos y dibujamos los puntos para perforación de pernos y suelda a tapón y perforar los mismos.	
Construcción de la tapa del molde	Se utiliza una plancha de acero negro ASTM A36 con un espesor de 1cm, con rayador y punzador localizamos las medidas para perforación de pernos M12, realizando las perforaciones de acuerdo a los planos	
Ensamble del molde	Terminado el molde se ensambla las partes del molde y para facilidad al desmoldar el material compuesto soldamos un par de manillas de perfil estructural.	

Fuente: [La autora]

4.1.7. PLANTEAMIENTO DE ORIENTACIÓN DE REFUERZO, NÚMERO DE CAPAS Y NUMERO DE PROBETAS PARA CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE MATERIAL COMPUESTO.

De acuerdo a la norma se establece un número de probetas ensayadas para tracción ASTM D3039-00, flexión ASTM D7264-07 e impacto D5628-10 con un numero de 5 probetas, con la fracción volumétrica calculada y propuesta en el literal 4.1.4 con estratificación a compresión presentando orientaciones de refuerzo diferentes como se muestra en la tabla siguiente:

Tabla 14. Planteamiento de orientaciones de refuerzo.

Fracción Volumétrica	N°de capas	Espesor	Secado	Orientación de la fibra	Numero de probetas			Fractografía
					Tracción	Flexión	Impacto	
30% refuerzo + 70% matriz	2	5 mm	Natural	0° + 0°	5	Mejores resultados ensayo a tracción	Mejores resultados ensayo a tracción	Mejor resultados ensayo a tracción
30% refuerzo + 70% matriz	2	5 mm	Natural	0° + 90°	5			
30% refuerzo + 70% matriz	2	5 mm	Natural	0° + 45°	5			
30% refuerzo + 70% matriz	2	5 mm	Natural	45° + 135°	5			
30% refuerzo + 70% matriz	2	5 mm	Precocido	0° + 0°	5			
30% refuerzo + 70% matriz	2	5 mm	Precocido	0° + 90°	5			
30% refuerzo + 70% matriz	2	5 mm	Precocido	0° + 45°	5			
30% refuerzo + 70% matriz	2	5 mm	Precocido	45° + 135°	5			
40% refuerzo + 60% matriz	3	5mm	Natural (NaOH)	90°+45°+90°	5	5	5	
40% refuerzo + 60% matriz	3	5mm	Natural (NaOH)	45°+90°135°	5	5	5	

Fuente: [La autora]

4.1.8. CALCULO DE VOLUMEN DE MATRIZ EPOXI, VOLUMEN DE FIBRA Y MASA DE FIBRA DE ALGODÓN, FIBRA DE STIPA ICHU.

Con los cálculos y elaboración de probetas preliminares en el numeral 4.1.4 se determinó la fracción volumétrica ideal de 30% de refuerzo y 70% matriz, con dos capas y una fracción volumétrica de 45% refuerzo y 55% de matriz, con un espesor de probetas de 5mm, además se propone 10 casos de análisis: 4 con fibras vegetales de stipa ichu con secado natural, 4 con fibras de Stipa ichu precocido, y dos casos especiales con un tratamiento del refuerzo en NaOH (Hidróxido de sodio) y se presenta a continuación los cálculos de matriz y volumen de los componentes para cada caso.

4.1.8.1. Calculo para la fracción volumétrica 30% de refuerzo + 70% de matriz

Con un volumen de llenado calculado 280X 385mm con espesor 5mm

Calculo de volumen de llenado:

$$V_T = 38,5cm \times 28cm \times 0,5cm$$

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

A. Volumen de la matriz (resina epoxi)

$$V_{moldeo} = 539 \text{ cm}^3$$

$$f_f = 0,70$$

$$539 \text{ cm}^3 \rightarrow 100\%$$

$$\text{Volumen de Resina Epoxi} \rightarrow 70\%$$

$$\text{Volumen de matriz (Resina Epoxi)} = 377,3 \text{ cm}^3$$

B. Volumen de resina y secante

La relación que se utiliza para el siguiente trabajo experimental es 1:3 (1 de secante y 3 de resina)

$$\text{Volumen de matriz (Resina Epoxi)} = 377,3 \text{ cm}^3$$

$$377,3 \text{ cm}^3 \rightarrow 100\%$$

$$\text{Volumen de Resina 3660} \rightarrow 75\%$$

$$\text{Volumen de Resina 3660} = 282,97 \text{ cm}^3$$

$$377,3 \text{ cm}^3 \rightarrow 100\%$$

$$\text{Volumen de Secante 3660} \rightarrow 25\%$$

$$\text{Volumen de Secante 3660} = 94,32 \text{ cm}^3$$

C. Volumen de refuerzo (Stipa Ichu + Algodón)

$$V_{moldeo} = 539 \text{ cm}^3$$

$$f_m = 0,30$$

$$\begin{array}{ll} 539 \text{ cm}^3 & \rightarrow 100\% \\ \text{Volumen de Refuerzo} & \rightarrow 30\% \end{array}$$

$$\text{Volumen de refuerzo (Stipa Ichu + Algodon)} = 161,7 \text{ cm}^3$$

D. Masa de fibra vegetal stipa ichu y masa de fibra natural Algodón

$$\text{Volumen de refuerzo (Stipa Ichu + Algodon)} = 161,7 \text{ cm}^3$$

$$\text{Densidad de refuerzo (Stipa Ichu + Algodon)} = 0,283 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

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

$$m = \delta x v$$

$$m = 0,283 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} x 161,7 \text{ cm}^3$$

$$m = 45,76 \text{ g}$$

La masa total de refuerzo es de 45,76 entre las dos capas y por cada capa es de:

$$m = 22,88 \text{ g}$$

Del literal 4.1.3 Tabla 10 tenemos el % de masa de la fibra de algodón (17.61%) y fibra de stipa ichu (82.39%) de un tejido considerado 100%

$$\begin{array}{ll} 22,88 \text{ g} & \rightarrow 100\% \\ \text{Masa de fibra de algodón} & \rightarrow 17,61\% \end{array}$$

$$\text{Masa de fibra de algodón} = 4,02 \text{ g}$$

$$\begin{array}{ll} 22,88 \text{ g} & \rightarrow 100\% \\ \text{Masa de fibra de Stipa Ichu} & \rightarrow 82,39\% \end{array}$$

$$\text{Masa de fibra de Stipa Ichu} = 18,65 \text{ g}$$

Para esta configuración se presenta el telar de medidas 37.5 x 27.5 cm:



Figura 30. Telar compuesto de fibra de Stipa Ichu y Algodón.
Fuente: [La autora]

Debido a que la fracción volumétrica es igual para los casos (secado natural y secado precocido) se presenta el siguiente cuadro resumen de Orientación de refuerzo, volumen de resina y de refuerzo y masa de fibras.

Tabla 15: Orientación de refuerzo, volumen de resina y refuerzo, masa de fibras.
(Dos capas)

Capa 1	Capa2	Volumen de resina cm3	Volumen de resina 3660 (cm3)	Volumen de secante	Volumen de refuerzo	Masa de refuerzo	Masa de algodón	Masa de stipa ichu
stipa ichu 90°+ algodón 0°	stipa ichu 90°+ algodón 0°	377,3	282,97	94,32	161,7	45,76	4,02	18,65
stipa ichu 90°+ algodón 0°	stipa ichu 0°+ algodón 90°	377,3	282,97	94,32	161,8	45,76	4,02	18,65
stipa ichu 90°+ algodón 0°	stipa ichu 45°+ algodón 135°	377,3	282,97	94,32	161,9	45,76	4,02	18,65
stipa ichu 45°+ algodón 135°	stipa ichu 135°+ algodón 45°	377,3	282,97	94,32	161,10	45,76	4,02	18,65

Fuente: [La autora]

4.1.8.2. Cálculo para la fracción volumétrica 45% de refuerzo + 55% de matriz

A. Volumen de la matriz (resina epoxi)

$$V_{moldeo} = 539\text{cm}^3$$

$$f_{matriz} = 0,55$$

$$\begin{array}{rcl} 539\text{cm}^3 & \rightarrow & 100\% \\ \text{Volumen de Matriz} & \rightarrow & 55\% \end{array}$$

$$\text{Volumen de matriz (Resina Epoxi + Secante)} = 296,45\text{cm}^3$$

B. Volumen de resina y secante

La relación que se utiliza para el siguiente trabajo experimental es 1:3 (1 se secante y 3 de resina)

$$\text{Volumen de matriz (Resina Epoxi + secante)} = 296,45\text{cm}^3$$

$$\begin{array}{rcl} 296,45\text{ cm}^3 & \rightarrow & 100\% \\ \text{Volumen de Resina 3660} & \rightarrow & 75\% \end{array}$$

$$\text{Volumen de Resina 3660} = 222,33\text{cm}^3$$

$$\begin{array}{rcl} 296,45\text{ cm}^3 & \rightarrow & 100\% \\ \text{Volumen de Secante 3660} & \rightarrow & 25\% \end{array}$$

$$\text{Volumen de Secante 3660} = 74,11\text{cm}^3$$

C. Volumen de refuerzo (Stipa Ichu + Algodón)

$$V_{moldeo} = 539\text{cm}^3$$

$$f_{refuerzo} = 0,45$$

$$\begin{array}{rcl} 539\text{ cm}^3 & \rightarrow & 100\% \\ \text{Volumen de Refuerzo} & \rightarrow & 45\% \end{array}$$

$$\text{Volumen de refuerzo (Stipa Ichu + Algodon)} = 242,55\text{cm}^3$$

D. Masa de fibra vegetal stipa ichu y masa de fibra natural Algodón

$$\text{Volumen de refuerzo (Stipa Ichu + Algodon)} = 242,55\text{cm}^3$$

$$\text{Densidad de refuerzo (Stipa Ichu + Algodon)} = 0,283 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

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

$$m = \delta x v$$

$$m = 0,283 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} x 242,55\text{cm}^3$$

$$m = 68,64 \text{ g}$$

La masa total de refuerzo es de 68,64g entre las tres capas y por cada capa es de:

$$m = 22,88 \text{ g}$$

Del literal 4.1.3, Tabla 10 tenemos el % de masa de la fibra de algodón (17.61%) y fibra de stipa ichu (82.39%).

$$\begin{array}{ll} 22,88\text{g} & \rightarrow 100\% \\ \text{Masa de fibra de algodón} & \rightarrow 17,61\% \end{array}$$

$$\text{Masa de fibra de algodón} = 4,02\text{g}$$

$$\begin{array}{ll} 22,88 \text{ g} & \rightarrow 100\% \\ \text{Masa de fibra de Stipa Ichu} & \rightarrow 82,39\% \end{array}$$













$$\text{Masa de fibra de Stipa Ichu} = 18,85 \text{ g}$$

Tabla 16. Orientación de refuerzo, volumen de resina y refuerzo, masa de fibras.(Tres capas)

Capa 1	Capa2	Capa3	Volumen de resina cm3	Volumen de resina 3660 (cm3)	Volumen de secante	Volumen de refuerzo	Masa de refuerzo	Masa de algodón	Masa de stipa ichu
stipa ichu 90°+ algodón 0°	stipa ichu 45°+ algodón 135°	stipa ichu 90°+ algodón 0°	296,45	222,33	74,11	242,55	68,64	4,02	18,85
stipa ichu 135°+ algodón 45°	stipa ichu 90°+ algodón 0°	stipa ichu 135°+ algodón 45°	296,45	223,33	74,11	242,55	68,64	4,02	18,85


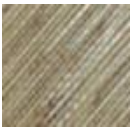


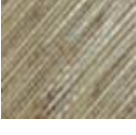



Fuente: [Autora]

Tabla 17. Orientación de refuerzo para dos capas

Capa 1	Capa2	Figura capa 1	Figura capa 2	Sección trasversal probeta
stipa ichu 90°+ algodón 0°	stipa ichu 90°+ algodón 0°			
stipa ichu 90°+ algodón 0°	stipa ichu 0°+ algodón 90°			
stipa ichu 90°+ algodón 0°	stipa ichu 45°+ algodón 135°			
stipa ichu 45°+ algodón 135°	stipa ichu 135°+ algodón 45°			

Fuente: [La autora]

Tabla 18. Orientación de refuerzo para tres capas

Capa 1	Capa 2	Capa 3	Figura capa 1	Figura capa2	Figura capa 3	Sección trasversal probeta
stipa ichu 90°+ algodón 0°	stipa ichu 45°+ algodón 135°	stipa ichu 90°+ algodón 0°				
stipa ichu 45°+ algodón 135°	stipa ichu 90°+ algodón 0°	stipa ichu 135°+ algodón 45°				

Fuente: [La autora]

4.1.9. CALCULOS PARA LA SOLUCIÓN QUIMICA (NaOH+ H2O).

Calculamos los gramos necesarios de NaOH que es preciso disolver para preparar 2500 cm³ de disolución 1,6M de sustancia, la densidad del NaOH es 2,13(g/cm³)

$$1,6M = \frac{1,6 \text{ mol}}{\text{lt}}$$

$$\text{Número de moles NaOH} = \frac{1,6 \text{ mol}}{1\text{lt}} \times 2500\text{cm}^3 \times \frac{1\text{lt}}{1000 \text{ ml}}$$

$$\text{Número de moles NaOH} = 4 \text{ mol}$$

Para calcular los gramos de NaOH es necesario el peso molecular del mismo:

$$1 \text{ mol NaOH} = (\text{masa de Na} + \text{masa de O} + \text{masa de H})$$

$$1 \text{ mol NaOH} = 23\text{g} + 16\text{g} + 1\text{g}$$

$$1 \text{ mol NaOH} = 40 \text{ g}$$

Trasformamos las moles de NaOH a gramos de NaOH:

$$\text{gramos NaOH} = 4 \text{ mol NaOH} \times \frac{40 \text{ gr NaOH}}{1\text{mol NaOH}}$$

$$\text{gramos NaOH} = 160 \text{ gr NaOH}$$

Con el valor de la densidad calculamos el volumen de NaOH presente en la solución.

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

$$v = \frac{160 \text{ gr NaOH}}{2,13 \text{ g/cm}^3}$$

$$v = 75,11 \text{ cm}^3$$






Calculamos el volumen de H₂O presente en la solución:







$$V_{H_2O} = 2500 \text{ cm}^3 - 75,11 \text{ cm}^3$$

$$V_{H_2O} = 174,88 \text{ cm}^3$$

4.1.10. HERRAMIENTAS Y MATERIALES PARA LA FABRICACIÓN DE PROBETAS A COMPRESIÓN DEL MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ EPOXI + REFUERZO DE FIBRA VEGETAL STIPA ICHU Y FIBRA NATURAL ALGODÓN.

Tabla 19. Herramientas y materiales para la fabricar el material compuesto.









Ítem	Material	Descripción	Figura
1	Resina Epoxi 3660, Secante para resina 3660	Polímero termoestable, se endurece al mezclar con endurecedor	
2	Telar	Con medidas específicas 37,5x27,5cm; dos capas por probeta	
3	Vaso de precipitación de 150ml y 250 ml	De vidrio borosilicatado, con medida utilizado para medir cantidades exactas de resina y secante	
4	Cera desmoldante	Se aplica 4 capas, cada una con un tiempo de aplicación y limpiado con la ayuda de un trapo.	
5	Alcohol polivinilico	Polímero soluble en agua, inodoro y no tóxico.	












6	Huaipe	Utilizado para la aplicación y limpieza de cera y alcohol polivinílico.	
7	Balanza electrónica	Utilizada para la fabricación de telar.	
8	Mandil	Protección del cuerpo para el fabricante del material compuesto	
9	Mascarilla	Protege del olor que emite la cera y mezcla de resina.	
10	Guantes	Previene del contacto directo entre resina y catalizador con la piel.	
11	Hidróxido de sodio	Utilizado para la limpieza de impurezas	

Fuente: [La autora]

4.1.11. PROCESO DE ELABORACIÓN DE LA FIBRA DE REFUERZO

Tabla 20. Proceso de elaboración de fibra de refuerzo para el material compuesto.(Proceso en Rojo Precocido-Proceso Azul Secado Natural)








Proceso de elaboración de la fibra de refuerzo compuesta de Stipa Ichu + Algodón									
Ítem	Actividad	Acciones						Tiempo	Observaciones
		Inicio de proceso	Almacenamiento	Actividad relativa al procedimiento	Espera que es parte del proceso	Fin de proceso	Nota aclaratoria(no es parte del proceso)		
1	Recolección de Stipa Ichu							3 horas	
2	Almacenamiento de Stipa Ichu							-	
3	Deshojar el Stipa Ichu(tallos de larga longitud)							2 Semanas	
4	Enriado para precocido							2 semanas	








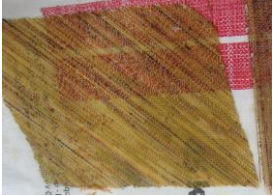
Ítem	Actividad	Acciones						Tiempo	Observaciones
		Inicio de proceso	Almacena miento	Actividad relativa al procedimiento	Espera que es parte del proceso	Fin de proceso	Nota aclaratoria(no es parte del proceso)		
5	Secar al sol							1 día	
6	Cocinar el Stipa Ichu							2 horas	
7	Secar al sol el Stipa Ichu cocinado							1 día	
8	Calculo de dimensiones necesaras de material de refuerzo							30 Minutos	-
9	Tejido de la fibra							3 semanas	
10	Corte del material de refuerzo							1 hora	

Fuente: [La autora]

4.1.12. LIMPIEZA DEL MATERIAL DE REFUERZO CON NaOH

Tabla 21. Proceso para limpieza del refuerzo del material compuesto.

LIMPIEZA DEL MATERIAL DE REFUERZO								
Item	Actividad	Acciones					Tiempo	Imagen
		Inicio de proceso	Actividad relativa al procedimiento	Preparación de un caudal	Almacenamiento	Fin de proceso		
1	Calcular los compuestos para la solución						5 Minutos	-
2	Pesar la cantidad necesaria de NaOH						5 Minutos	
3	Medir el volumen de agua destilada necesaria						5 Minutos	
4	Preparar la solución						15 Minutos	

Item	Actividad	Acciones					Tiempo	Imagen
		Inicio de proceso	Actividad relativa al procedimiento	Preparación de un caudal	Almacenamiento	Fin de proceso		
5	Sumergir el refuerzo en la solución						2 Horas	
6	Sumergir el refuerzo en agua destilada						16 Horas	
7	Lavar el refuerzo con agua destilada						30 Minutos	
8	Secar el refuerzo a temperatura ambiente						1 Día	





Fuente: [La autora]











4.1.13. PROCESO DE ESTRATIFICACIÓN DEL MATERIAL COMPUESTO DE RESINA EPOXI+ FIBRA VEGETAL DE STIPA ICHU + FIBRA NATURAL DE ALGODÓN.

Las probetas sometidas a ensayos mecánicos Tracción, Flexión, Impacto, Fractografía fueron fabricadas con el proceso de estratificación a compresión. Para esto se fabricó un molde de acero ASTM A36, con un diseño macho y hembra.





El diseño de un molde de acero facilita la aplicación de compresión, siendo necesario el contacto entre la matriz y el refuerzo, además se debe evitar el aire atrapado ya que este es el causante de la producción de burbujas.

Tabla 22. Diagrama de proceso para elaboración de probetas.

ELABORACIÓN DE PROBETAS DE MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ EPOXI + REFUERZO DE FIBRA VEGETAL STIPA ICHU Y FIBRA NATURAL ALGODÓN.											
Ítem	Actividad	Acciones								Tiempos	Imagen
		Inicio de proceso	Actividad relativa al procedimiento	Espera que es parte del proceso	Preparación de un caudal	Proceso definido (subrutina)	Almacenamiento	Organización de datos	Fin de proceso		
1	Liempieza del molde									10 Minutos	
2	Aplicar cera desmoldante y pulir la superficie									10 Minutos	

Ítem	Actividad	Acciones								Tiempos	Imagen
		Inicio de proceso	Actividad relativa al procedimiento	Espera que es parte del proceso	Preparación de un caudal	Proceso definido (subrutina)	Almacenamiento	Organización de datos	Fin de proceso		
3	Aplicación de Alcohol Polivinílico									5 Minutos	
4	Dejar secar el alcohol en la superficie expuesta al sol									20 Minutos	
5	Preparación de matriz (Endurecedor + resina)									5 Minutos	
6	Colocar el molde en una superficie que este a nivel.									5 Minutos	
7	Colocacion de matriz en la base+ marco de molde (matriz-refuerzo-matriz)									10 Minutos	

Ítem	Actividad	Acciones								Tiempos	Imagen
		Inicio de proceso	Actividad relativa al procedimiento	Espera que es parte del proceso	Preparación de un caudal	Proceso definido (subrutina)	Almacenamiento	Organización de datos	Fin de proceso		
8	Tapar el molde									5 Minutos	
9	Sujetar el mole con las tuercas generando presión									5 Minutos	
10	Estratificación del material compuesto									24 Horas	
11	Desmoldeo del material compuesto									30 Minutos	
12	Corte de probetas									3 Horas	

Ítem	Actividad	Acciones								Tiempos	Imagen	
		Inicio de proceso	Actividad relativa al procedimiento	Espera que es parte del proceso	Preparación de un caudal	Proceso definido (subrutina)	Almacenamiento	Organización de datos	Fin de proceso			
13	Curado del material										35 Dias	
14	Lijar aristas										2 Horas	
15	Inspeccion visual										1 Hora	
16	Pegado de mordazas en probetas para ensayos a tracción.										1 Hora	

Fuente: [La autora]

4.1.14. CORTE DE PROBETAS DE MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ EPOXI + REFUERZO DE FIBRA VEGETAL STIPA ICHU Y FIBRA NATURAL ALGODÓN.

Transcurrido el tiempo de curado del material compuesto obtenido mediante estratificación a compresión, retirar el alcohol polivinílico que cubre la plancha de material compuesto y con las medidas según las normas ASTM D

Tabla 23. Medidas establecidas para corte de probetas.

MEDIDAS ESTABLECIDAS PARA CORTE DE PROBETAS			
Norma	Tipo de Ensayo	N° de probetas	Medidas
ASTM D3039-14	Ensayo a tracción	5	250X25X5 mm
ASTM D7264-07	Ensayo a flexión	5	160X13X5 mm
ASTM D5628-10	Ensayo de impacto	5	58X59X5 mm

Fuente: [La autora]

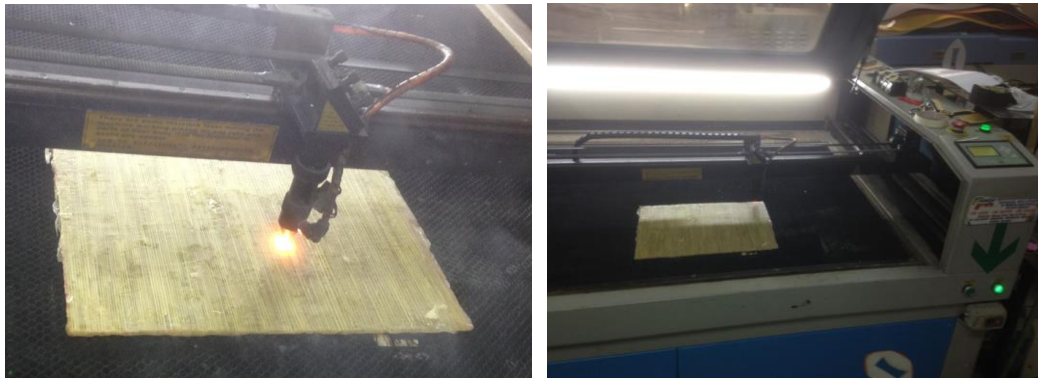


Figura 31: Corte de material a laser.

Fuente: [La autora]

4.1.15. CODIGOS DE PROBETAS PARA ENSAYOS DE FLEXIÓN, TRACCIÓN E IMPACTO.

Se elaboran diferentes tipos de configuraciones, el proceso de elaboración es a compresión y para identificar configuración, tipo de secado y tiempo de curado designamos a las probetas con un código diferente a cada una.

La composición de la matriz está en relación 1:3; es decir por 1 de resina y la tercera parte secante. Se codifica a las probetas de acuerdo a las características como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 24. Codificación de probetas para ensayos a tracción.

CODIGOS ASIGNADOS PARA PROBETAS PARA TRACCIÓN		
Tipo	Código	Significado
1	T.[SN-SP].21D.90.0(1-5)	Probeta de ensayo a tracción, [secado natural; precocido y natural con NaOH], curada por 21 días a temperatura ambiente libre de humedad, orientación 90°,0°: número de probeta (1-5)
2	T.[SN-SP].21D.90.45(1-5)	Probeta de ensayo a tracción, [secado natural; precocido y natural con NaOH], curada por 21 días a temperatura ambiente libre de humedad, orientación 90°,45°: número de probeta (1-5)
3	T.[SN-SP].21D.90.180(1-5)	Probeta de ensayo a tracción, [secado natural; precocido y natural con NaOH], curada por 21 días a temperatura ambiente libre de humedad, orientación 90°,180°: número de probeta (1-5)
4	T.[SN-SP-SN NaOH].21D.45.180.60(1-5)	Probeta de ensayo a tracción, [secado natural; precocido y natural con NaOH], curada por 21 días a temperatura ambiente libre de humedad, orientación 45°,135°: número de probeta (1-5)

Fuente: [La autora]

Las probetas para ensayos a flexión son fabricadas con las mismas características que las probetas de tracción, en la codificación se cambia la T por la F que significa tracción por Flexión. Como se muestra a continuación.

Tabla 25. Códigos para probetas de ensayos a flexión.

CODIGOS ASIGNADOS PARA PROBETAS DE FLEXIÓN		
Tipo	Código	Significado
1	F.[SN-SP- SN NaOH].21D.90.0(1-5)	Probeta de ensayo a flexión, [secado natural]; precocido y natural con NaOH], curada por 21 días a temperatura ambiente libre de humedad, orientación 90°,0°: número de probeta (1-5)
2	F.[SN-SP- SN NaOH].21D.90.45(1-5)	Probeta de ensayo a tracción,[secado natural]; precocido y natural con NaOH], curada por 21 días a temperatura ambiente libre de humedad, orientación 90°,45°: número de probeta (1-5)
3	F.[SN-SP- SN NaOH].21D.90.180(1-5)	Probeta de ensayo a tracción, [secado natural]; precocido y natural con NaOH], curada por 21 días a temperatura ambiente libre de humedad, orientación 90°,180°: número de probeta (1-5)
4	F.[SN-SP- SN NaOH].21D.45.135(1-5)	Probeta de ensayo a tracción, [secado natural]; precocido y natural con NaOH], curada por 21 días a temperatura ambiente libre de humedad, orientación 45°,135°: número de probeta (1-5)

Fuente: [La autora]

Las probetas para el ensayo de impacto se codifican de la siguiente manera.

Tabla 26. Códigos para probetas de ensayos a impacto

CODIGOS ASIGNADOS PARA PROBETAS DE IMPACTO		
Tipo	Código	Significado
1	I.[SN-SP- SN NaOH].21D.90.0(1-5)	Probeta de ensayo a impacto, [secado natural]; precocido y natural con NaOH], curada por 21 días a temperatura ambiente libre de humedad, orientación 90°,0°: número de probeta (1-5)
2	I.[SN-SP- SN NaOH].21D.90.45(1-5)	Probeta de ensayo a impacto, [secado natural]; precocido y natural con NaOH], curada por 21 días a temperatura ambiente libre de humedad, orientación 90°,45°: número de probeta (1-5)
3	I.[SN-SP- SN NaOH].21D.90.180(1-5)	Probeta de ensayo a impacto,[secado natural]; precocido y natural con NaOH], curada por 21 días a temperatura ambiente libre de humedad, orientación 90°,180°: número de probeta (1-5)
4	I.[SN-SP- SN NaOH].21D.45.135(1-5)	Probeta de ensayo a impacto, [secado natural]; precocido y natural con NaOH], curada por 21 días a temperatura ambiente libre de humedad, orientación 45°,135°: número de probeta (1-5)

Fuente: [La autora]

4.1.16. CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DEL MATERIAL COMPUESTO

La caracterización mecánica llevada a cabo en el Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero, en este centro utilizamos el laboratorio de Resistencia de materiales con una Máquina Universal Electromecánicas de marca Metrotec MTE 50. Los ensayos de impacto y fractografía utilizamos el laboratorio de la facultad de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.

4.1.16.1. Ensayo a tracción.

Aplicamos la norma ASTM D 3039- 00: Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials, con un número de probetas de 5 por cada caso como está establecido en dicha norma, además medidas y tipos de falla mismos que se ilustran en las tablas siguientes respectivamente

Tabla 27. Dimensiones para probetas de ensayo a Tracción.

Dimensión de muestra	Valor (mm)
Ancho	25
Largo	250
Espesor	5

Fuente: [La autora]

Tabla 28. Tipo de falló en probetas a tracción establecidos por la norma.

Códigos de identificación de falla					
Primer carácter		Segundo carácter		Tercer carácter	
Modo de fallo	Código	Área de falla	Código	Localización de falla	Código
Angular	A	Dentro de la empuñadura	I	Fondo	B
De laminación de borde	D	Al agarre/pestaña	A	Superior	T
Agarre/ pestaña	G	<1 W de agarre/pestaña	W	Izquierda	L
Lateral	L	Calibrar	G	Derecha	R
Modo múltiple	M(xyz)	Varias áreas	M	Medio	M
Largo, Partiendo	S	Varios	V	Varios	V
Explosivo	X	Desconocido	U	Desconocido	U
Otro	O				

Fuente: [La autora]

Cálculos:

- Esfuerzo a tracción: Calculado en el punto máximo (carga máxima), evaluando 5 probetas.

$$\sigma_i = \frac{P_i}{A} \quad \text{Ecuación. 6}$$

Donde:

σ_i = Último esfuerzo a tracción [MPa]

P_i =Carga Máxima antes de ocurrir la falla. [N]

A = Área transversal de probeta [mm^2]

- Deformación ultima a tracción: con el uso de un extensómetro se realiza la medición de alargamiento, el extensómetro tiene una medida de 25mm inicial, y se calcula con la siguiente ecuación.

$$\varepsilon_i = \frac{\delta_i}{L_g} \quad \text{Ecuación. 7}$$

Donde:

ε_i =Deformación por tracción en el punto de datos i

δ_i = Desplazamiento del extensómetro en el punto de datos i [mm]

L_g =Longitud calibrada del extensómetro [mm]

- Módulo de elasticidad: calculada con los valores de esfuerzo a tracción y deformación última a tracción.

$$E = \frac{\sigma_i}{\varepsilon_i} \quad \text{Ecuación. 8}$$

Donde:

E = Módulo de elasticidad.

- Cálculo estadístico: Para las pruebas en cada caso como mínimo 5 probetas, calculando el valor promedio, desviación estándar y coeficiente de variación (en porcentaje %) por cada propiedad evaluada en el ensayo.

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

Ecuación. 9

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

Ecuación. 10

$$CV = \frac{S_{n-1}}{\bar{x}} \times 100$$

Ecuación. 11

Donde:




\bar{x} = Media muestral (Promedio)

S_{n-1} =Desviacion estándar de la muestra.

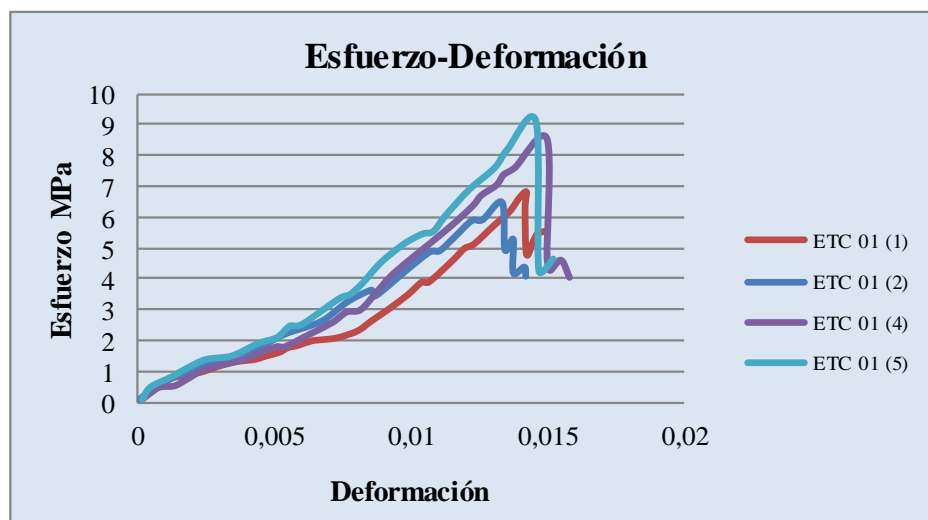
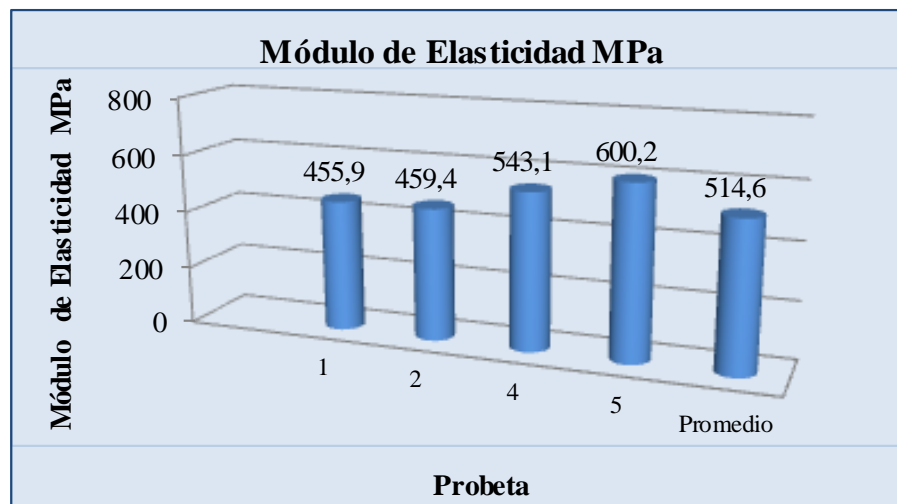
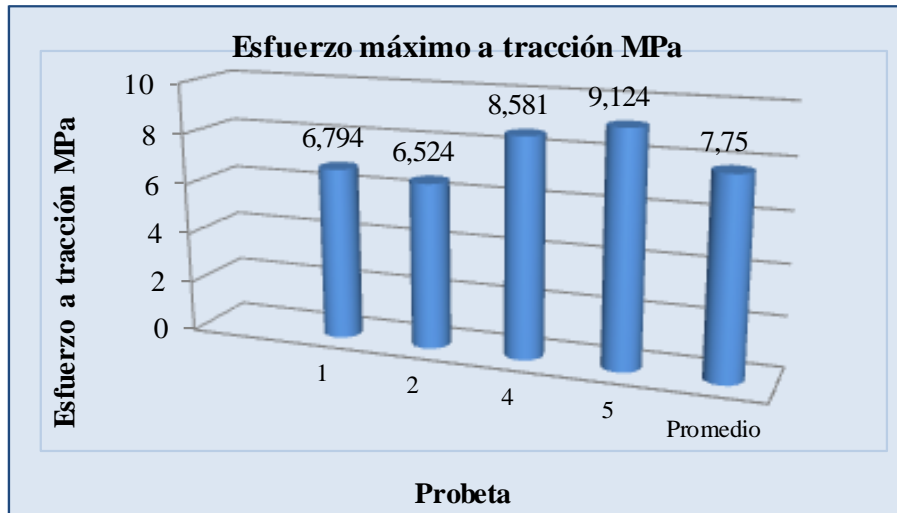
CV =Coeficiente de variación de la muestra (%)

x_i =Propiedad medida en el ensayo.

Ficha Técnica 1. Recolección de datos de material compuesto sometido a ensayo de Tracción T[SN]22D.90.45.(1)

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA						
FICHA PARA RECOLECCIÓN DE DATOS DE ENSAYOS A TRACCIÓN								
Fecha:	23/04/2017		Ciudad:	Ambato				
Laboratorio:	Materiales-Centro de Fomento Productivo Metalmeccánico Carrocero							
Maquina:	Máquina Universal			Modelo:	Metrotec MTE50			
Temperatura:	18°C		Código de probeta:	T[SN]22D.90.45(1)				
Matriz:	Epoxi	N° Probetas:	5	Norma:	ASTM D3039-14			
Refuerzo:	Stipa Ichu (Pasto de paramo)		Fracción Volumétrica:		Matriz:	70%		
	Algodón				Refuerzo:	30%		
Orientación de refuerzo:	Tejido Stipa Ichu +Algodón		Capa 1	90°	Número de capas:	2		
			Capa 2	45°				
Longitud Calibrada	138	Dimensiones:	250x25xe	Tipo de secado:	Natural			
RESULTADOS DEL ENSAYO								
Probeta	Dimensiones		Área mm ²	Carga Máxima N	Esfuerzo máximo a traccion MPa	Deformacion Unitaria	Módulo de Elasticidad MPa	Tipo de Falla
	Ancho (mm)	Espesor r(mm)						
1	25,00	5,75	143,8	976,66	6,79	0,0149	455,97	SGM
2	24,91	6,00	149,5	975,08	6,52	0,0142	459,44	AGM
3	24,75	5,56	137,6	2231,02	16,21	0,0234	692,86	AGM
4	25,00	5,70	142,5	1222,80	8,58	0,0158	543,10	AGM
5	25,00	5,70	142,5	1300,11	9,12	0,0152	600,26	AGM
Promedio	\bar{x}			1118,66	7,76	0,0150	514,69	-
Desviación estandar S_{n-1}				167,88	1,29	0,0010	69,83	-
Coeficiente de variación CV				15,01	16,63	6,6560	13,57	-
FOTOGRAFÍA DE PROBETAS								
								
EVALUACIÓN				OBSERVACIÓN				
El grupo con secado natural obtiene resultados promedio de esfuerzo a tracción de 7,75 MPa, y Módulo de elasticidad de 514,69 MPa; se a eliminado el valor superior de todos los valores.				Las fotografías mostradas son de probetas despues del ensayo, fueron ensayadas 5 probetas en total.				




REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE RESULTADOS



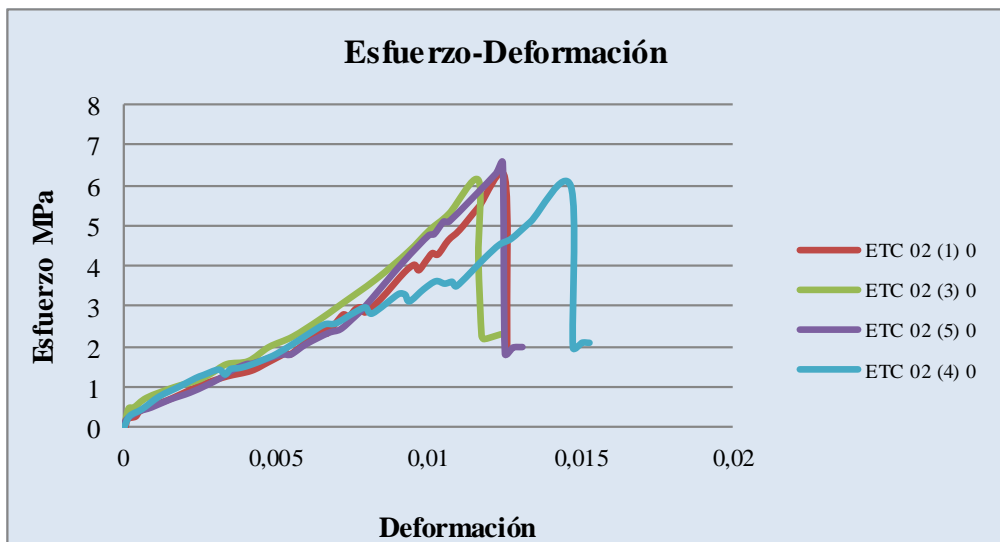
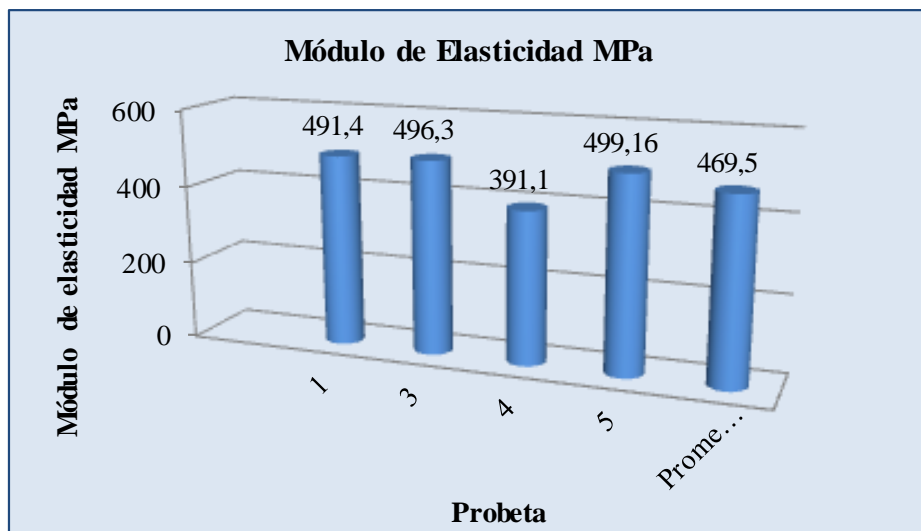
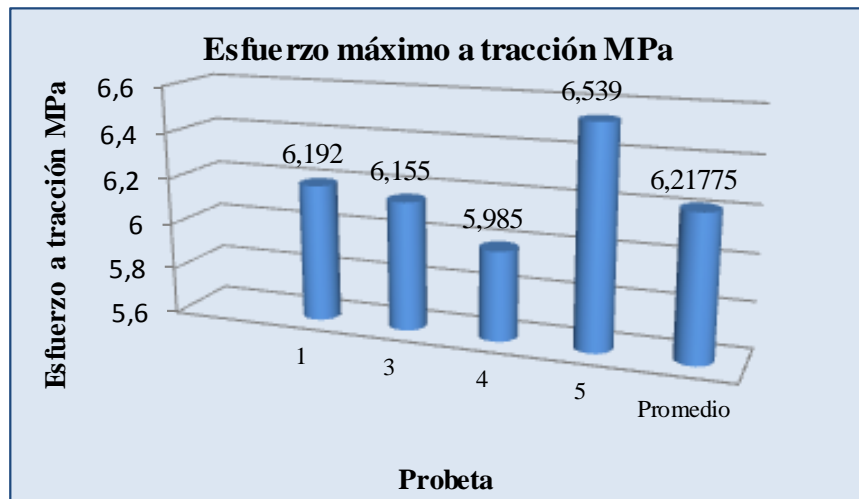
Elaborado: Gabriela Iza **Revisado:** Ing. Juan Paredes

Fuente: [La autora]

Ficha Técnica 2. Recolección de datos de material compuesto sometido a ensayo de Tracción T[SN]57D.45.90.(1)

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA							
FICHA PARA RECOLECCIÓN DE DATOS DE ENSAYOS A TRACCIÓN								
Fecha:	23/04/2017	Ciudad:	Ambato					
Laboratorio:	Materiales-Centro de Fomento Productivo Metalmeccánico Carrocero							
Maquina:	Máquina Universal		Modelo:	Metrotec MTE50				
Temperatura:	19°C	Código de probeta:	T[SN] 57D.45.135(1)					
Matriz:	Epoxi	N° Probetas:	5	Norma:	ASTM D3039-14			
Refuerzo:	Stipa Ichu (Pasto de paramo)	Fracción		Matriz:	70%			
	Algodón	Volumétrica:		Refuerzo:	30%			
Orientación de refuerzo:	Tejido Stipa Ichu +Algodón	Capa 1	45°	Número de capas:	2			
		Capa 2	135°					
Longitud	138	Dimensiones:	250x25xe	Tipo de secado:	Natural			
RESULTADOS DEL ENSAYO								
Probeta	Dimensiones		Área mm ²	Carga Máxima N	Esfuerzo máximo a tracción MPa	Deformación Unitaria	Módulo de Elasticidad MPa	Tipo de Falla
	Ancho (mm)	Espesor (mm)						
1	24,90	5,70	141,9	878,84	6,19	0,013	491,43	LGM
2	24,78	5,72	141,7	651,63	4,60	0,012	386,30	LGM
3	24,60	5,70	140,2	863,06	6,16	0,012	496,37	SGM
4	24,60	5,68	139,7	836,24	5,99	0,015	391,18	SGM
5	25,00	5,82	145,5	951,42	6,54	0,013	499,16	LGM
Promedio	\bar{x}			882,39	6,22	0,013	469,53	-
Desviación estandar	S_{n-1}			49,27	0,23	0,001	52,34	-
Coeficiente de variación	CV			5,58	3,73	7,491	11,15	-
FOTOGRAFÍA DE PROBETAS								
								
EVALUACIÓN			OBSERVACIÓN					
El grupo con secado natural obtiene resultados promedio de esfuerzo a tracción de 6,21 MPa, y Módulo de elasticidad de 469,53 MPa. En los calculos se elimina el valor mas bajo de todos y se calcula con 4 datos.			Las fotografías mostradas son de probetas despues del ensayo, fueron ensayadas 5 probetas en total.					




REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE RESULTADOS



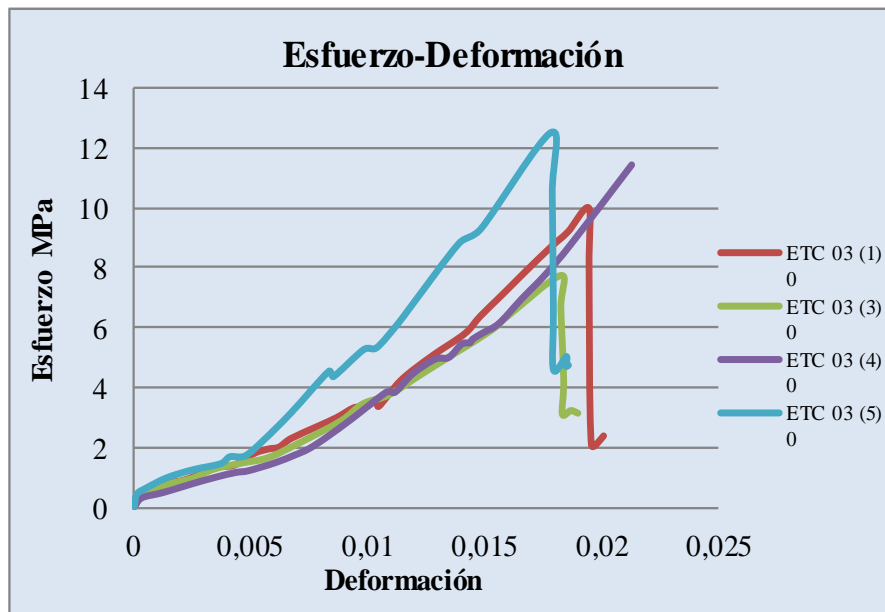
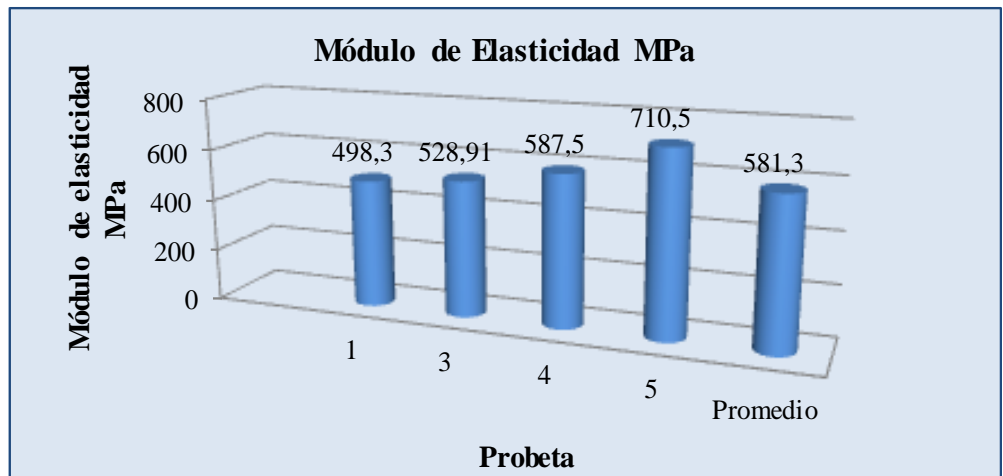
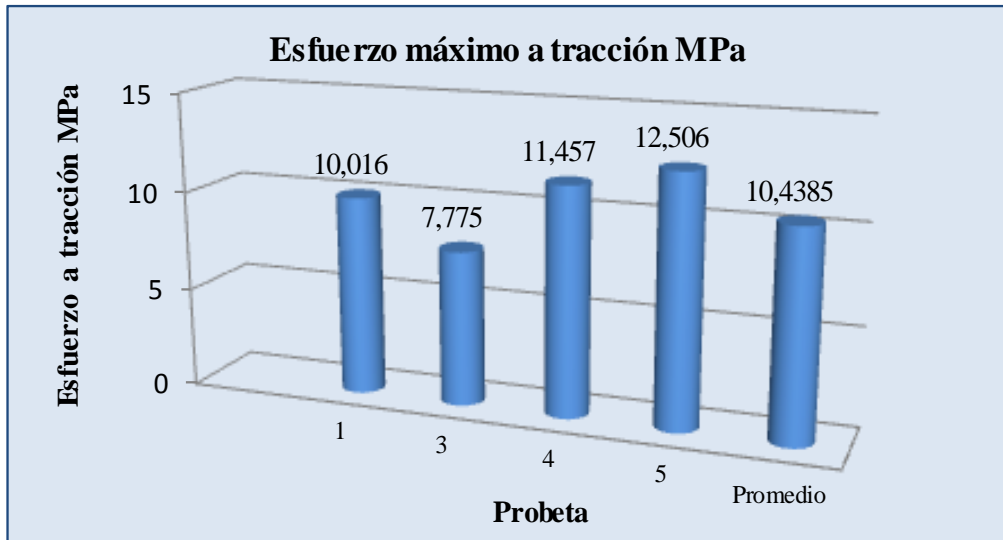
Elaborado: Gabriela Iza **Revisado:** Ing. Juan Paredes

Fuente: [La autora]

Ficha Técnica 3. Recolección de datos de material compuesto sometido a ensayo de Tracción T[SN]41D.90.180.(1)

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA						
FICHA PARA RECOLECCIÓN DE DATOS DE ENSAYOS A TRACCIÓN								
Fecha:	23/04/2017		Ciudad:	Ambato				
Laboratorio:	Materiales-Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero							
Maquina:	Máquina Universal			Modelo:	Metrotec MTE50			
Temperatura:	20°C		Código de probeta:	T[SN] 41D.90.180(1)				
Matriz:	Epoxi	N° Probetas:	5	Norma:	ASTM D3039-14			
Refuerzo:	Stipa Ichu (Pasto de paramo)		Fracción Volumétrica:		Matriz:	70%		
	Algodón				Refuerzo:	30%		
Orientación de refuerzo:	Tejido Stipa Ichu +Algodón		Capa 1	90°	Número de capas:	2		
			Capa 2	180°				
Longitud	138	Dimensiones:	250x25xe		Tipo de secado:	Natural		
RESULTADOS DEL ENSAYO								
Probeta	Dimensiones		Área mm ²	Carga Máxima N	Esfuerzo máximo a tracción MPa	Deformación Unitaria	Módulo de Elasticidad MPa	Tipo de Falla
	Ancho (mm)	Espesor (mm)						
1	24,86	5,76	143,2	1434,23	10,02	0,020	498,31	SGM
2	24,90	5,75	143,2	987,71	6,90	0,016	445,10	LAT
3	25,25	5,65	142,7	1109,20	7,78	0,015	528,91	LGM
4	24,70	5,57	137,6	1576,23	11,46	0,020	587,54	LAT
5	24,72	5,65	139,7	1746,63	12,51	0,018	710,57	LGM
Promedio		\bar{x}		1466,57	10,44	0,018	581,33	-
Desviación estandar S_{n-1}				270,32	2,05	0,002	93,78	-
Coeficiente de variación CV				18,43	19,62	11,127	16,13	-
FOTOGRAFÍA DE PROBETAS								
								
EVALUACIÓN				OBSERVACIÓN				
El grupo con secado natural obtiene resultados promedio de esfuerzo a tracción de 10,43 MPa, y Módulo de elasticidad de 581,33 MPa; En los calculos se elimina el valor mas bajo de todos y se calcula con 4 datos.				Las fotografías mostradas son de probetas despues del ensayo, fueron ensayadas 5 probetas en total.				




REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE RESULTADOS



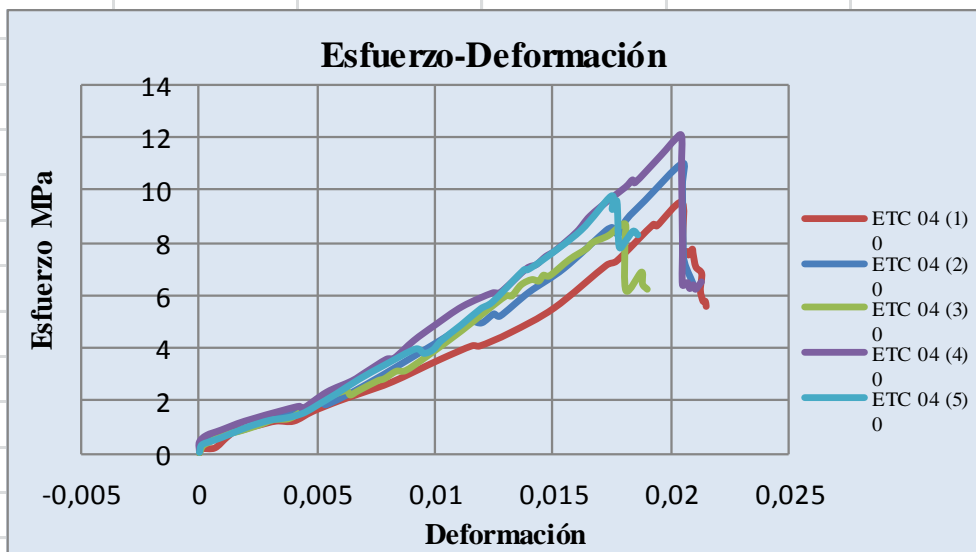
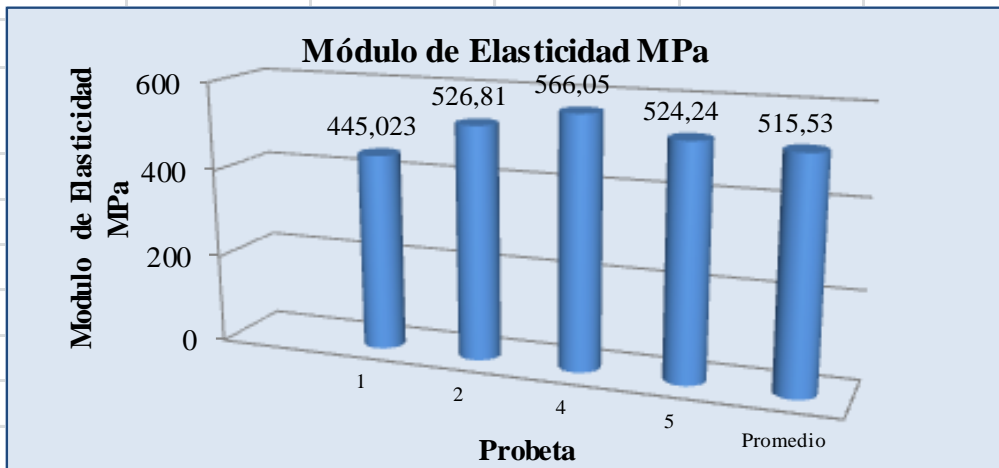
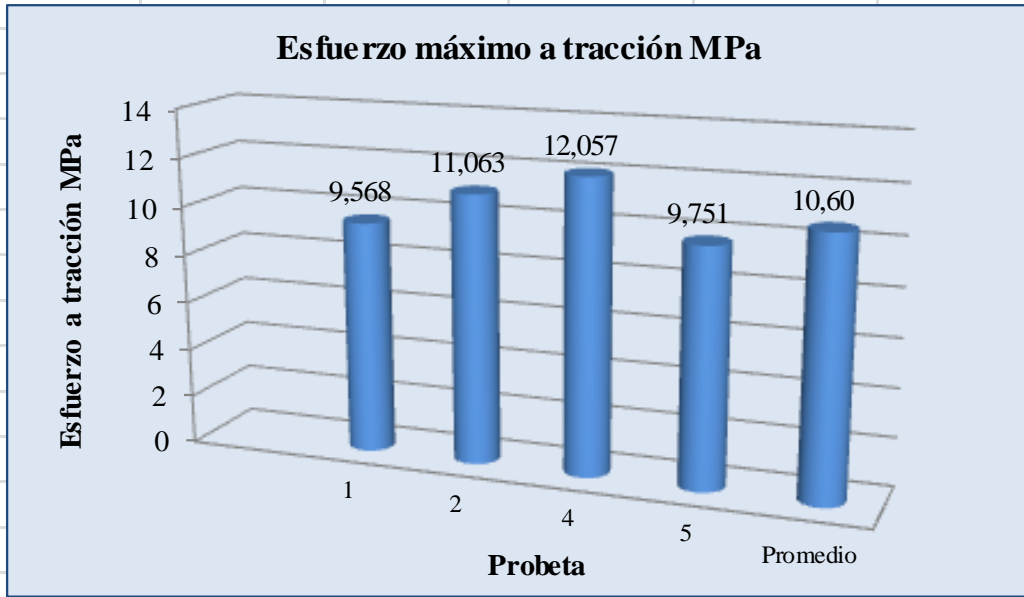
Elaborado: Gabriela Iza **Revisado:** Ing. Juan Paredes

Fuente: [La autora]

Ficha Técnica 4. Recolección de datos de material compuesto sometido a ensayo de Tracción T[SN]35D.90.90.(1)

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO							
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA								
FICHA PARA RECOLECCIÓN DE DATOS DE ENSAYOS A TRACCIÓN								
Fecha:	23/04/2017	Ciudad:	Ambato					
Laboratorio:	Materiales-Centro de Fomento Productivo Metalmeccánico Carrocero							
Maquina:	Máquina Universal	Modelo:	Metrotec MTE50					
Temperatura:	20°C	Código de probeta:	T[SN] 35D.90.90(1)					
Matriz:	Epoxi	N° Probetas:	5	Norma:	ASTM D3039-14			
Refuerzo:	Stipa Ichu (Pasto de paramo)	Fracción Volumétrica:		Matriz:	70%			
	Algodón			Refuerzo:	30%			
Orientación de refuerzo:	Tejido Stipa Ichu +Algodón	Capa 1	90°	Número de capas:	2			
		Capa 2	90°					
Longitud	138	Dimensiones:	250x25xe	Tipo de secado:	Natural			
RESULTADOS DEL ENSAYO								
Probeta	Dimensiones		Área mm ²	Carga Máxima N	Esfuerzo máximo a tracción MPa	Deformación Unitaria	Módulo de Elasticidad MPa	Tipo de Falla
	Ancho (mm)	Espesor (mm)						
1	24,65	5,80	143,0	1367,96	9,57	0,022	445,023	AGM
2	24,73	5,75	142,2	1573,07	11,06	0,021	526,810	SGM
3	24,68	5,85	144,4	1263,82	8,75	0,019	460,737	AGM
4	24,93	5,90	147,1	1773,45	12,06	0,021	566,056	LGM
5	24,77	5,84	144,7	1410,56	9,75	0,019	524,247	AGM
Promedio	\bar{x}			1531,26	10,61	0,021	515,534	-
Desviación estandar S_{n-1}				184,07	1,17	0,001	50,752	-
Coeficiente de variación CV				12,02	11,05	4,854	9,845	-
FOTOGRAFÍA DE PROBETAS								
								
EVALUACIÓN			OBSERVACIÓN					
El grupo con secado natural obtiene resultados promedio de esfuerzo a tracción de 10,60 MPa, y Módulo de elasticidad de 515,53 MPa. En los cálculos se elimina el valor mas bajo de todos y se calcula con 4 datos.			Las fotografías mostradas son de probetas despues del ensayo, fueron ensayadas 5 probetas en total.					




REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE RESULTADOS



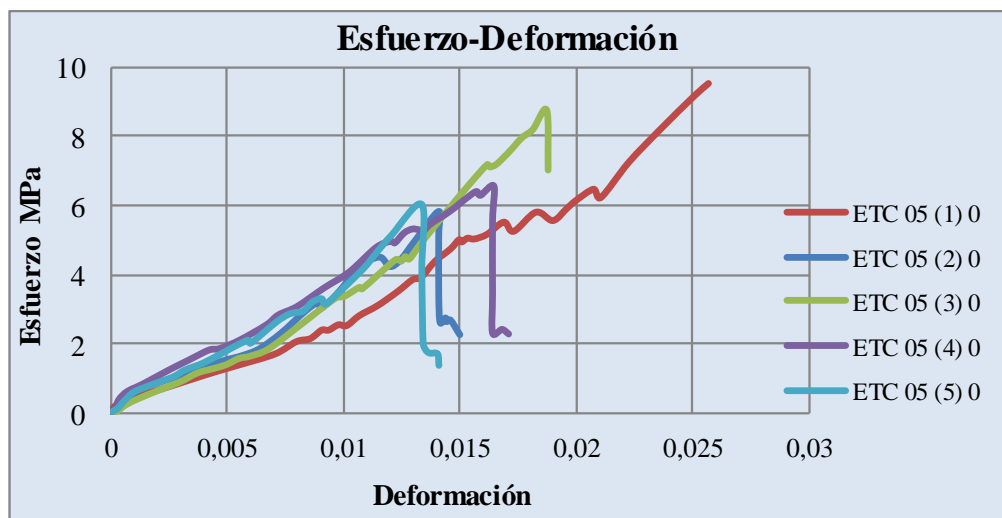
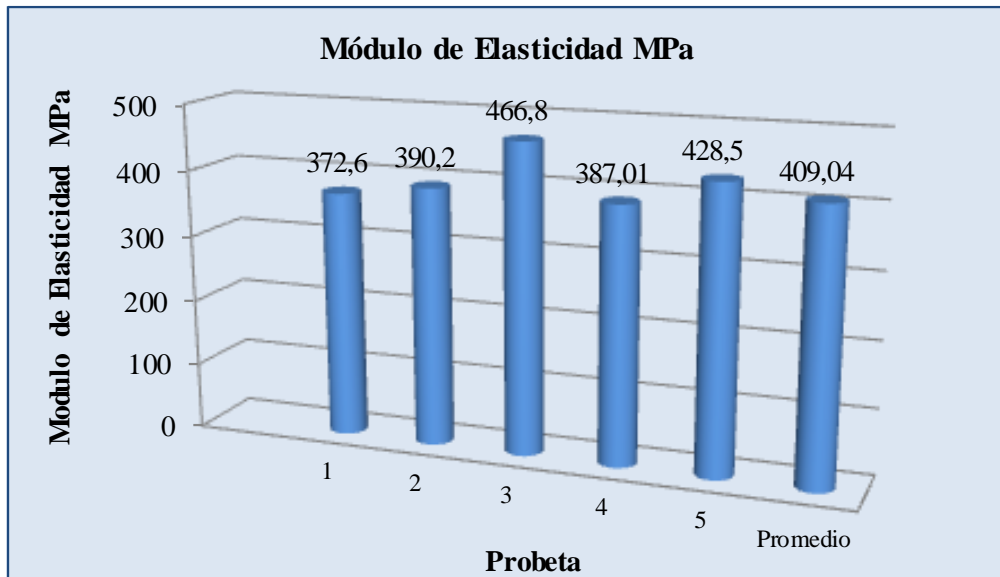
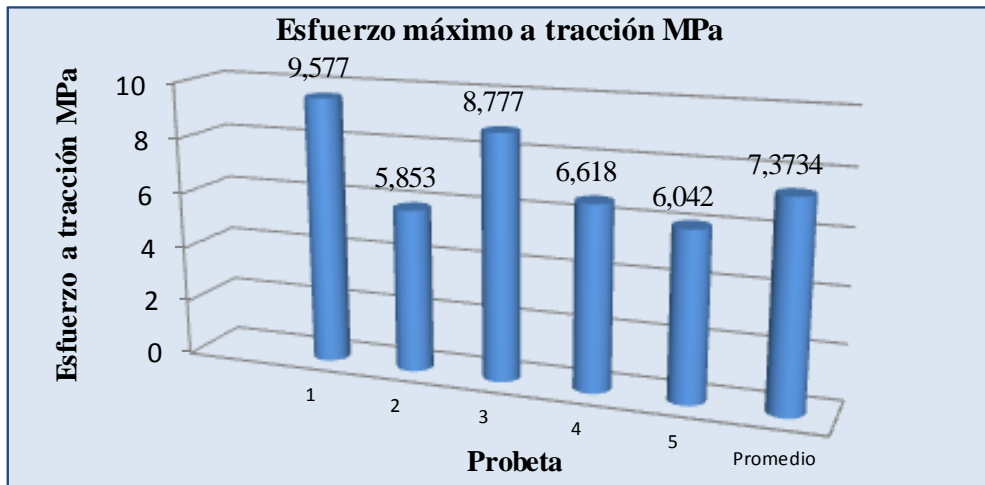
Elaborado: Gabriela Iza **Revisado:** Ing. Juan Paredes

Fuente: [La autora]

Ficha Técnica 5. Recolección de datos de material compuesto sometido a ensayo de Tracción T[SP]41D.90.180.(1)

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO							
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA								
FICHA PARA RECOLECCIÓN DE DATOS DE ENSAYOS A TRACCIÓN								
Fecha:	23/04/2017	Ciudad:	Ambato					
Laboratorio:	Materiales-Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero							
Maquina:	Máquina Universal	Modelo:	Metrotec MTE50					
Temperatura:	17°C	Código de probeta:	T[SP] 41D.90.180(1)					
Matriz:	Epoxi	N° Probetas:	5	Norma:	ASTM D3039-14			
Refuerzo:	Stipa Ichu (Pasto de paramo)	Fracción Volumétrica:		Matriz:	70%			
	Algodón			Refuerzo:	30%			
Orientación de refuerzo:	Tejido Stipa Ichu +Algodón	Capa 1	90°	Número de capas:	2			
		Capa 2	180°					
Longitud	138	Dimensiones:	250x25xe	Tipo de secado:	Precocido			
RESULTADOS DEL ENSAYO								
Probeta	Dimensiones		Área mm ²	Carga Máxima N	Esfuerzo máximo a tracción MPa	Deformación Unitaria	Módulo de Elasticidad MPa	Tipo de Falla
	Ancho (mm)	Espesor (mm)						
1	24,80	5,7	141,4	1353,76	9,58	0,026	372,65	AGM
2	24,97	5,7	142,3	833,08	5,85	0,015	390,20	AGM
3	24,80	5,4	133,9	1175,47	8,78	0,019	466,86	LGM
4	25,00	5,6	138,8	918,28	6,62	0,017	387,02	AGM
5	25,00	5,6	140,8	850,44	6,04	0,014	428,51	LGM
Promedio	\bar{x}			1026,21	7,37	0,018	409,05	-
Desviación estandar	S_{n-1}			228,81	1,69	0,005	38,36	-
Coeficiente de variación	CV			22,30	22,97	25,414	9,38	-
FOTOGRAFÍA DE PROBETAS								
								
EVALUACIÓN			OBSERVACIÓN					
El grupo con secado natural obtiene resultados promedio de esfuerzo a tracción de 7,3 MPa, y Módulo de elasticidad de 409,04 MPa.			Las fotografías mostradas son de probetas después del ensayo, fueron ensayadas 5 probetas en total.					




REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE RESULTADOS



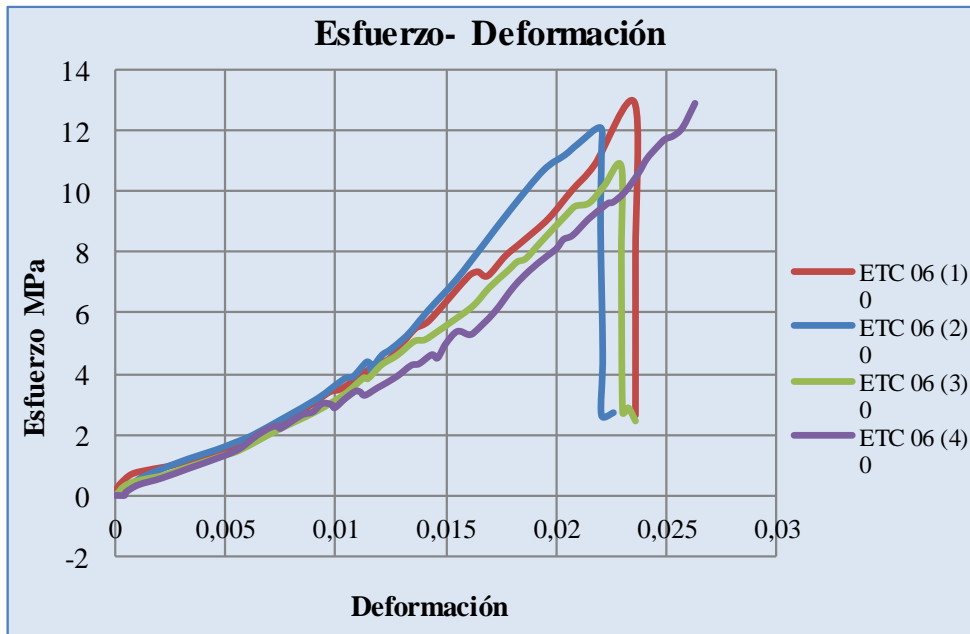
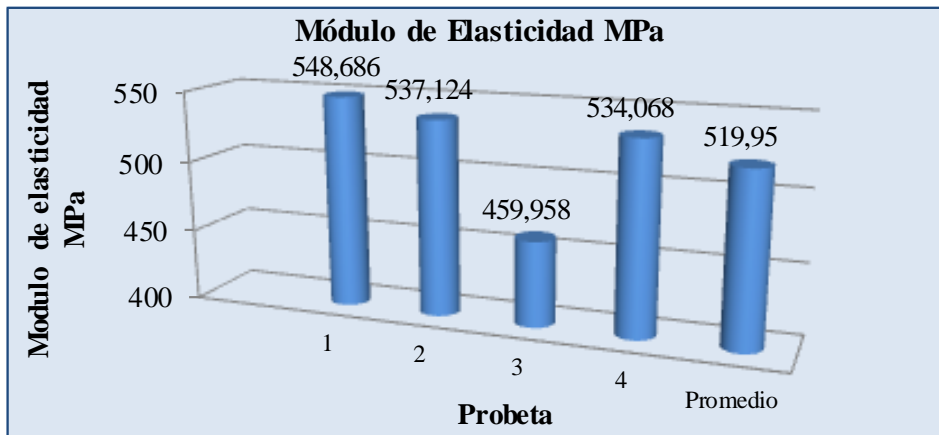
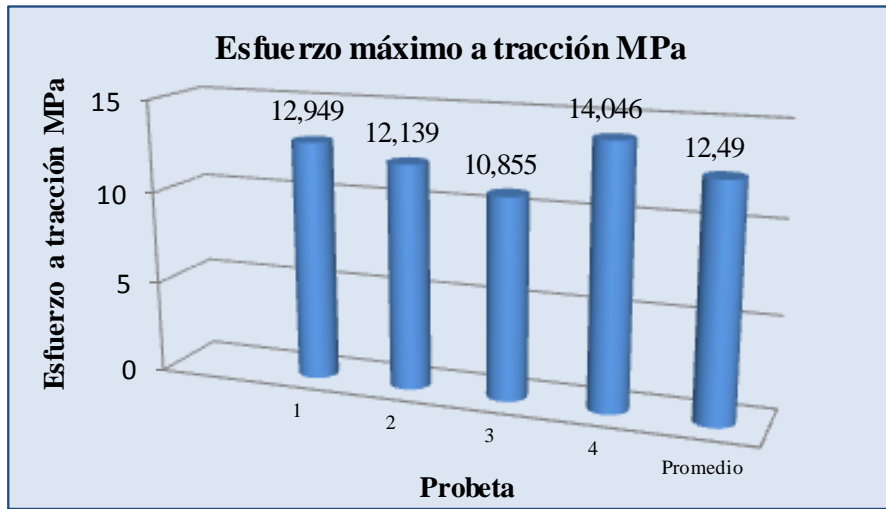
Elaborado: Gabriela Iza **Revisado:** Ing. Juan Paredes

Fuente: [La autora]

Ficha Técnica 6. Recolección de datos de material compuesto sometido a ensayo de Tracción T[SP]39D.45.135.(1)

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA						
FICHA PARA RECOLECCIÓN DE DATOS DE ENSAYOS A TRACCIÓN								
Fecha:	23/04/2017		Ciudad:	Ambato				
Laboratorio:	Materiales-Centro de Fomento Productivo Metalmeccánico Carrocero							
Maquina:	Máquina Universal			Modelo:	Metrotec MTE50			
Temperatura:	17°C		Código de probeta:	T[SP] 39D.45.135(1)				
Matriz:	Epoxi	N° Probetas:	5	Norma:	ASTM D3039-14			
Refuerzo:	Stipa Ichu (Pasto de paramo)		Fracción Volumétrica:		Matriz:	70%		
	Algodón				Refuerzo:	30%		
Orientación de refuerzo:	Tejido Stipa Ichu +Algodón		Capa 1	45°	Número de capas:	2		
			Capa 2	135°				
Longitud	138	Dimensiones:	250x25xe	Tipo de secado:	Precocido			
RESULTADOS DEL ENSAYO								
Probeta	Dimensiones		Área mm ²	Carga Máxima N	Esfuerzo máximo a tracción MPa	Deformación Unitaria	Módulo de Elasticidad MPa	Tipo de Falla
	Ancho (mm)	Espesor (mm)						
1	25,00	5,41	135,3	1751,36	12,95	0,024	548,686	LAT
2	24,75	5,63	139,3	1691,41	12,14	0,023	537,124	LAT
3	25,00	5,50	137,5	1492,60	10,86	0,024	459,958	AGM
4	24,90	5,40	134,5	1888,63	14,05	0,026	534,068	AGM
5	24,84	5,50	136,6	1435,80	10,51	0,018	574,262	AGM
Promedio	\bar{x}			1706,00	12,50	0,024	519,959	-
Desviación estandar	S_{n-1}			164,48	1,35	0,002	40,493	-
Coefficiente de variación CV				9,64	10,76	8,325	7,788	-
FOTOGRAFÍA DE PROBETAS								
								
EVALUACIÓN				OBSERVACIÓN				
El grupo con secado natural obtiene resultados promedio de esfuerzo a tracción de 12,49 MPa, y Módulo de elasticidad de 519,95 MPa. En los cálculos se elimina el valor mas bajo de todos y se calcula con 4 datos.				Las fotografías mostradas son de probetas despues del ensayo, fueron ensayadas 5 probetas en total.				




REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE RESULTADOS



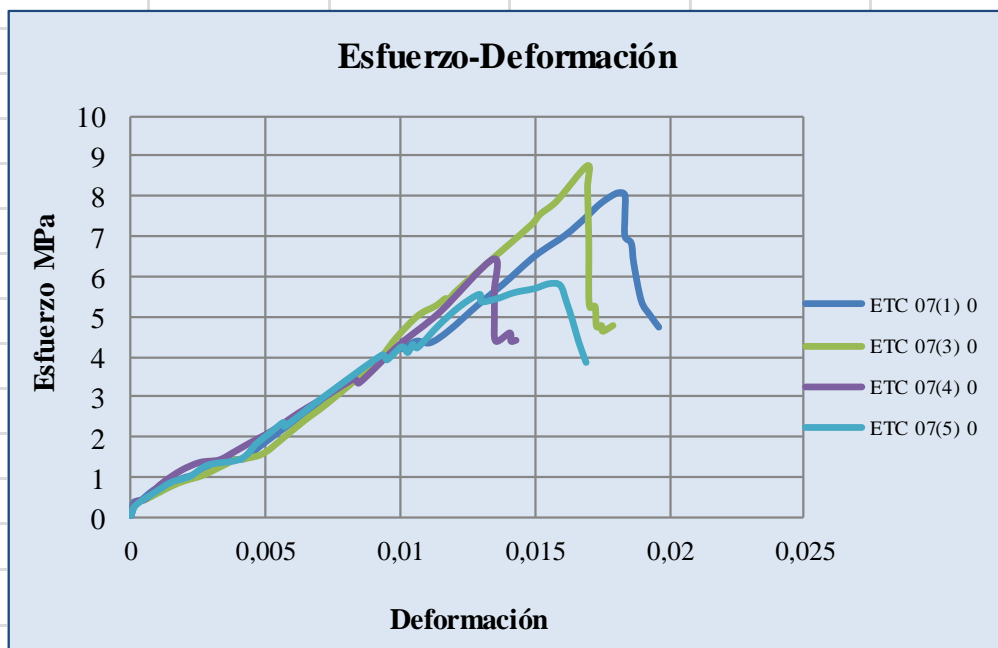
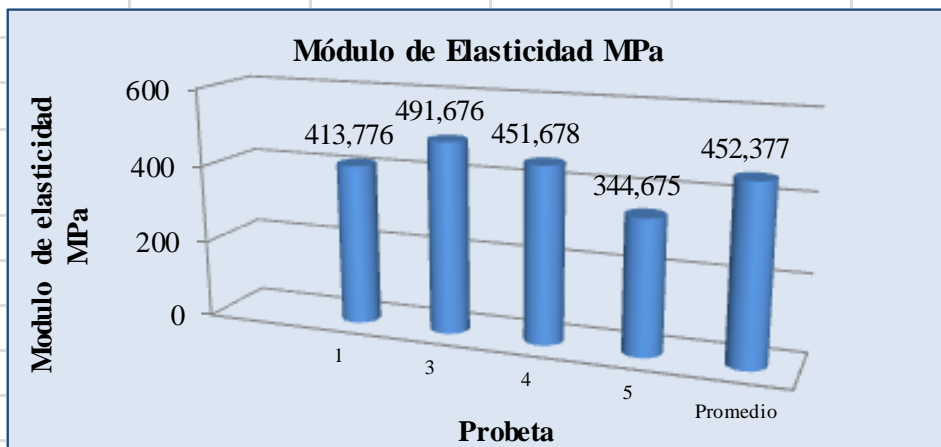
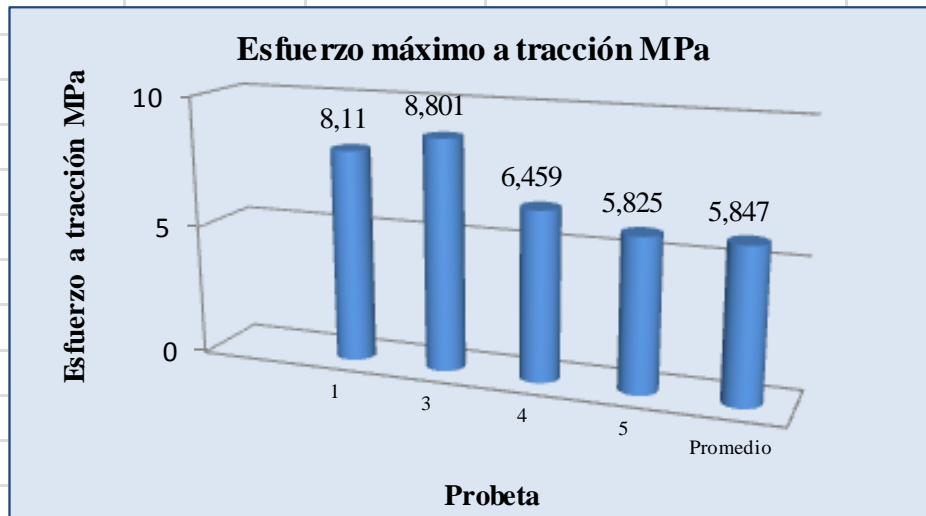
Elaborado: Gabriela Iza **Revisado:** Ing. Juan Paredes

Fuente: [Autor]

Ficha Técnica 7. Recolección de datos de material compuesto sometido a ensayo de Tracción T[SP]26D.90.45.(1)

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO							
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA								
FICHA PARA RECOLECCIÓN DE DATOS DE ENSAYOS A TRACCIÓN								
Fecha:	23/04/2017	Ciudad:	Ambato					
Laboratorio:	Materiales-Centro de Fomento Productivo Metalmeccánico Carrocero							
Maquina:	Máquina Universal	Modelo:	Metrotec MTE50					
Temperatura:	20°C	Código de probeta:	T[SP] 26D.90.45(1)					
Matriz:	Epoxi	N° Probetas:	5	Norma:	ASTM D3039-14			
Refuerzo:	Stipa Ichu (Pasto de paramo)	Fracción Volumétrica:		Matriz:	70%			
	Algodón			Refuerzo:	30%			
Orientación de refuerzo:	Tejido Stipa Ichu +Algodón	Capa 1	90°	Número de capas:	2			
		Capa 2	45°					
Longitud	138	Dimensiones:	250x25xe	Tipo de secado:	Precocido			
RESULTADOS DEL ENSAYO								
Probeta	Dimensiones		Área mm ²	Carga Máxima N	Esfuerzo máximo a tracción MPa	Deformación Unitaria	Módulo de Elasticidad MPa	Tipo de Falla
	Ancho (mm)	Espesor (mm)						
1	24,60	5,90	145,1	1177,04	8,11	0,020	413,776	LGM
2	24,65	5,78	142,5	668,99	4,70	0,015	319,388	LGM
3	24,80	5,87	145,6	1281,18	8,80	0,018	491,676	AGM
4	24,60	5,65	139,0	897,77	6,46	0,014	451,678	AGM
5	24,76	5,82	144,1	839,39	5,83	0,017	344,675	AGM
Promedio	\bar{x}			840,45	5,85	86,182	452,377	-
Desviación estandar S_{n-1}				321,88	2,18	99,494	69,844	-
Coeficiente de variación CV				38,30	37,25	115,447	15,439	-
FOTOGRAFÍA DE PROBETAS								
								
EVALUACIÓN			OBSERVACIÓN					
<p>El grupo con secado natural obtiene resultados promedio de esfuerzo a tracción de 5,84 MPa, y Módulo de elasticidad de 452,37 MPa. En los cálculos se elimina el valor mas bajo de todos y se calcula con 4 datos.</p>			<p>Las fotografías mostradas son de probetas despues del ensayo, fueron ensayadas 5 probetas en total.</p>					




REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE RESULTADOS



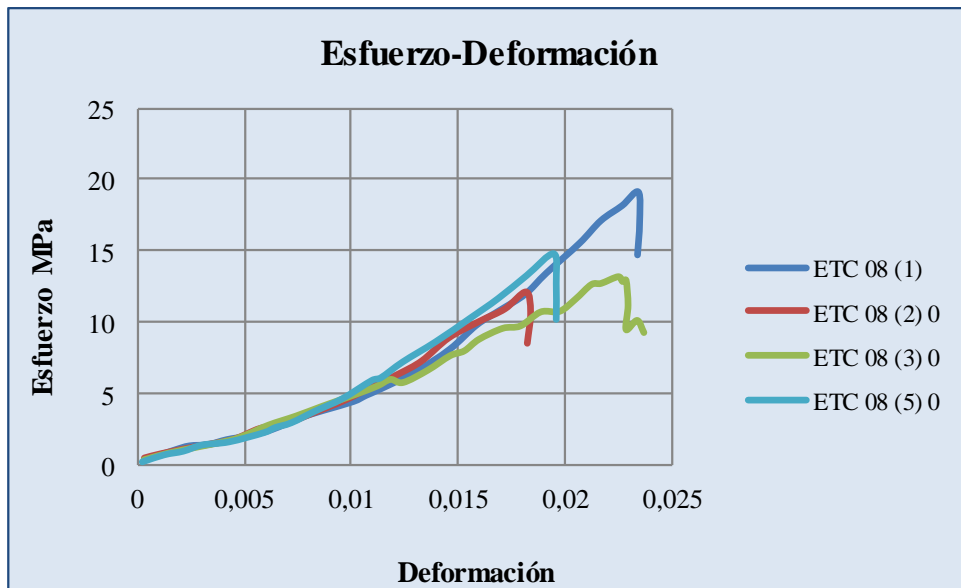
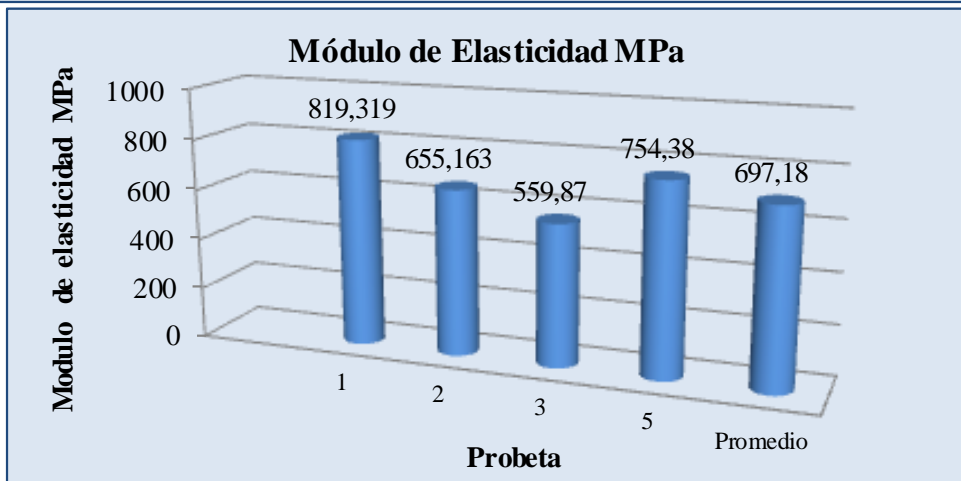
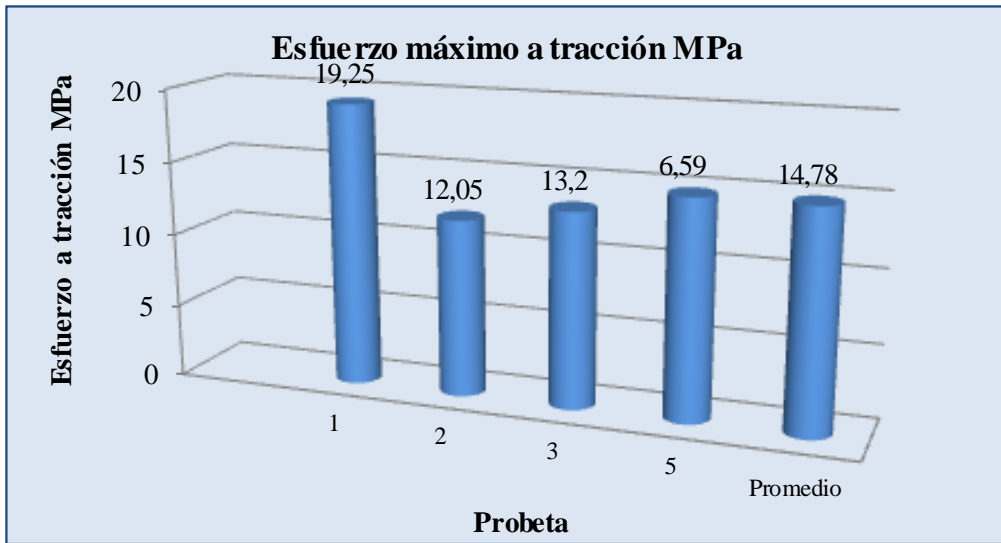
Elaborado: Gabriela Iza **Revisado:** Ing. Juan Paredes

Fuente: [La autora]

Ficha Técnica 8. Recolección de datos de material compuesto sometido a ensayo de Tracción T[SP]25D.90.90.(1)

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA						
FICHA PARA RECOLECCIÓN DE DATOS DE ENSAYOS A TRACCIÓN								
Fecha:	23/04/2017		Ciudad:	Ambato				
Laboratorio:	Materiales-Centro de Fomento Productivo Metalmeccánico Carrocero							
Maquina:	Máquina Universal			Modelo:	Metrotec MTE50			
Temperatura:	19°C		Código de probeta:	T[SP] 25D.90.90(1)				
Matriz:	Epoxi	N° Probetas:	5	Norma:	ASTM D3039-14			
Refuerzo:	Stipa Ichu (Pasto de paramo)		Fracción Volumétrica:		Matriz:	70%		
	Algodón				Refuerzo:	30%		
Orientación de refuerzo:	Tejido Stipa Ichu +Algodón		Capa 1	90°	Número de capas:	2		
			Capa 2	90°				
Longitud	138	Dimensiones:	250x25xe	Tipo de secado:	Precocido			
RESULTADOS DEL ENSAYO								
Probeta	Dimensiones		Área mm ²	Carga Máxima N	Esfuerzo máximo a tracción MPa	Deformación Unitaria	Módulo de Elasticidad MPa	Tipo de Falla
	Ancho (mm)	Espesor (mm)						
1	24,60	5,36	131,9	2538,69	19,25	0,024	819,32	SGM
2	25,00	5,45	136,3	1642,50	12,06	0,018	655,16	LTA
3	24,83	5,45	135,3	1795,54	13,27	0,024	559,87	AGM
4	25,00	5,41	135,3	891,46	6,59	0,013	527,28	LGM
5	25,07	5,38	134,9	1994,35	14,79	0,020	754,39	LGM
Promedio	\bar{x}			1497,88	13,19	0,020	663,20	-
Desviación estandar S_{n-1}				692,65	3,68	0,003	120,32	-
Coeficiente de variación CV				46,24	27,89	15,353	18,14	-
FOTOGRAFÍA DE PROBETAS								
								
EVALUACIÓN				OBSERVACIÓN				
El grupo con secado natural obtiene resultados promedio de esfuerzo a tracción de 13,91 MPa, y Módulo de elasticidad de 663,20 MPa. En los cálculos se elimina el valor mas bajo de todos y se calcula con 4 datos.				Las fotografías mostradas son de probetas despues del ensayo, fueron ensayadas 5 probetas en total.				




REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE RESULTADOS



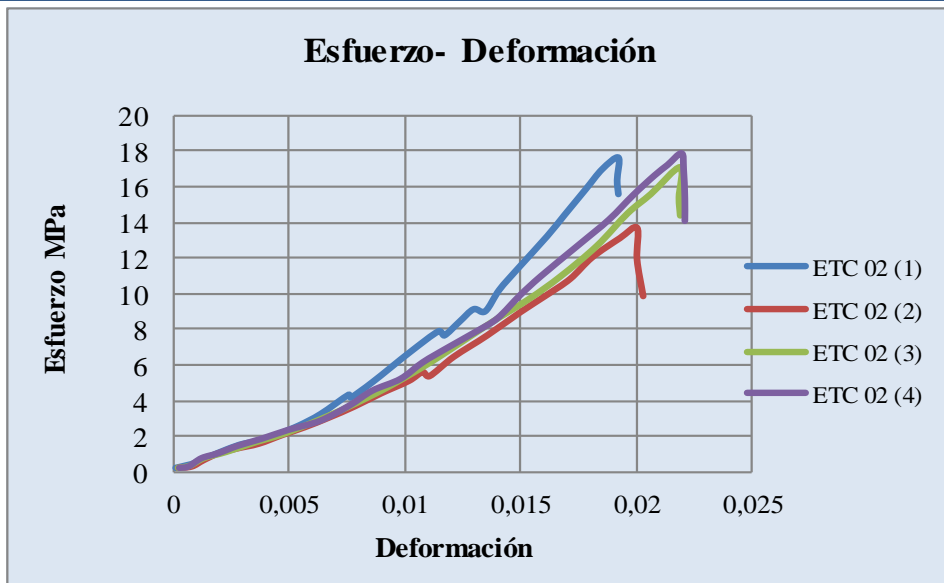
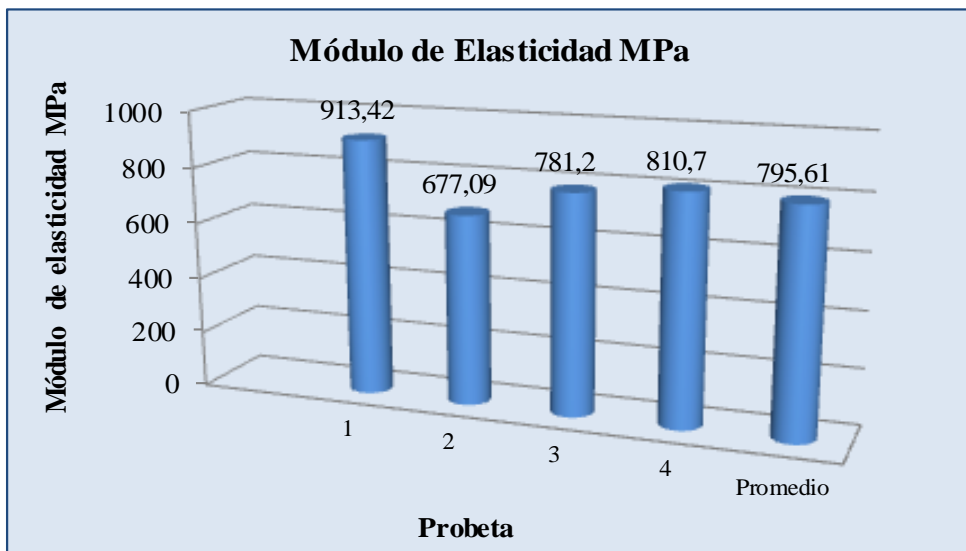
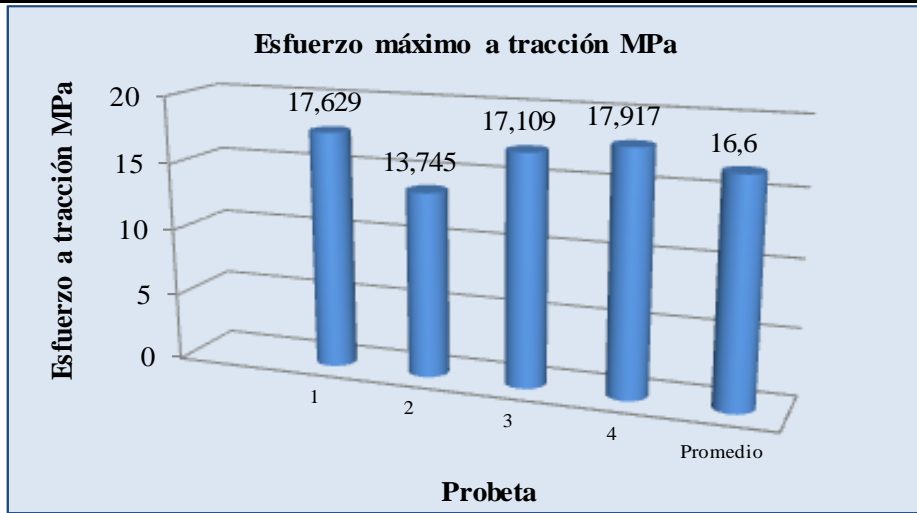
Elaborado: Gabriela Iza **Revisado:** Ing. Juan Paredes

Fuente: [La autora]

Ficha Técnica 9. Recolección de datos de material compuesto sometido a ensayo de Tracción T[SN NaOH]26D.90.45.90.(1)

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO							
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA								
FICHA PARA RECOLECCIÓN DE DATOS DE ENSAYOS A TRACCIÓN								
Fecha:	23/04/2017		Ciudad:	Ambato				
Laboratorio:	Materiales-Centro de Fomento Productivo Metalmeccánico Carrocero							
Maquina:	Máquina Universal			Modelo:	Metrotec MTE50			
Temperatura:	18°C	Código de probeta:	T[SN NaOH] 23D.90.45.90(1)					
Matriz:	Epoxi	N° Probetas:	5	Norma:	ASTM D3039-14			
Refuerzo:	Stipa Ichu (Pasto de paramo)		Fracción Volumétrica:	Matriz:	60%			
	Algodón			Refuerzo:	40%			
Orientación de refuerzo:	Tejido Stipa Ichu +Algodón		Capa 1	90°	Número de capas:	2		
			Capa 2	45°				
			Capa 3	90°				
Longitud	138	Dimensiones:	250x25xe	Tipo de secado:	Precocido			
RESULTADOS DEL ENSAYO								
Probeta	Dimensiones		Área mm ²	Carga Máxima N	Esfuerzo máximo a tracción MPa	Deformación Unitaria	Módulo de Elasticidad MPa	Tipo de Falla
	Ancho (mm)	Espesor r(mm)						
1	24,98	5,37	134,1	2364,86	17,63	0,019	913,42	AGM
2	25,27	5,51	139,2	1913,85	13,75	0,020	677,09	AGM
3	24,99	5,46	136,4	2334,48	17,11	0,022	781,23	AGM
4	25,25	5,51	139,1	2492,77	17,92	0,022	810,72	AGM
5	24,98	5,49	137,1	1454,94	10,61	0,016	650,86	LGM
Promedio	\bar{x}			2276,49	16,60	0,021	795,62	-
Desviación estandar	S_{n-1}			217,63	1,67	0,001	84,20	-
Coeficiente de variación	CV			9,56	10,08	4,785	10,58	-
FOTOGRAFÍA DE PROBETAS								
								
EVALUACIÓN				OBSERVACIÓN				
<p>El grupo con secado natural obtiene resultados promedio de esfuerzo a tracción de 16,6 MPa, y Módulo de elasticidad de 795,61 MPa. En los cálculos se elimina el valor mas bajo de todos y se calcula con 4 datos.</p>				<p>Las fotografías mostradas son de probetas despues del ensayo, fueron ensayadas 5 probetas en total.</p>				




REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE RESULTADOS



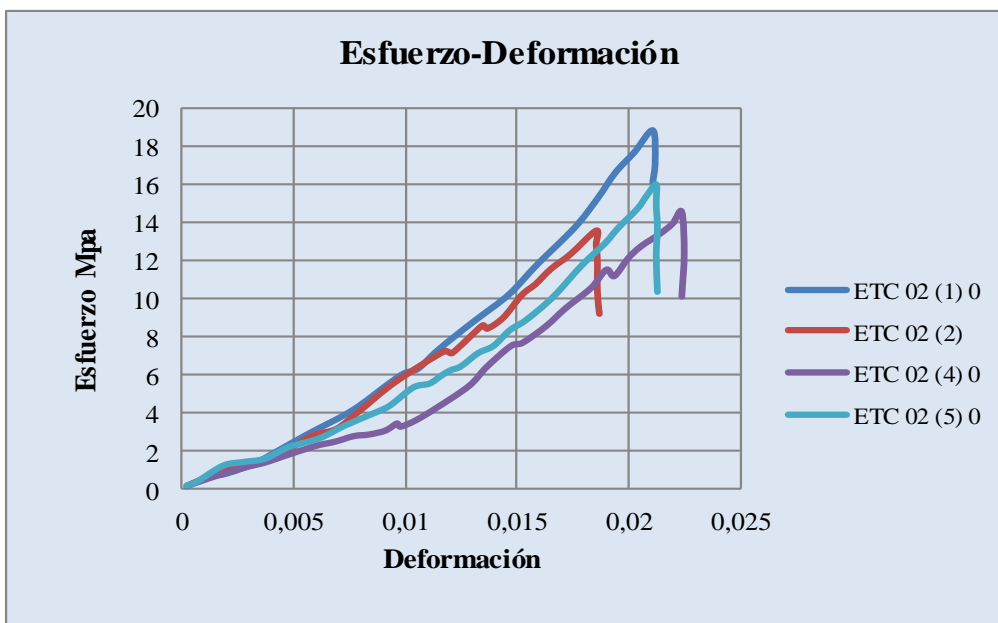
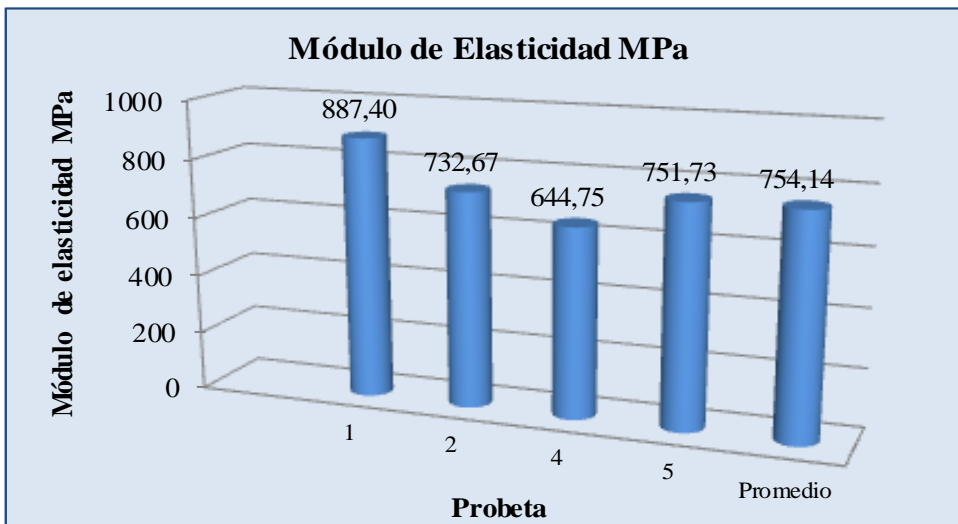
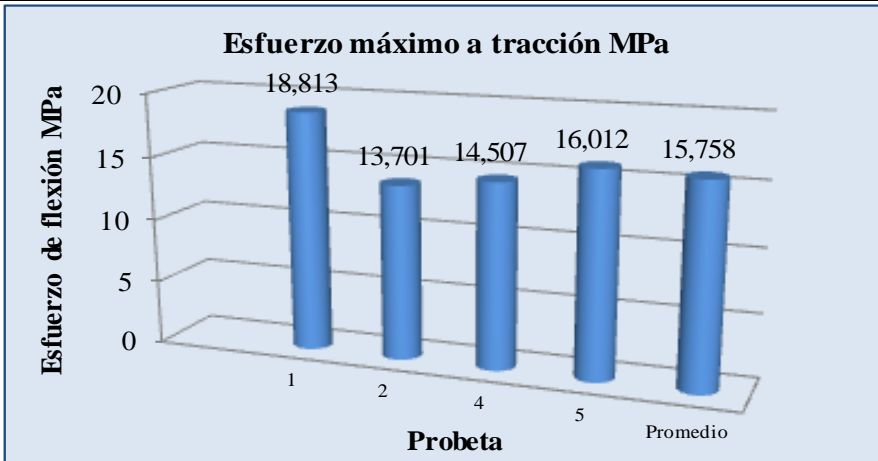
Elaborado: Gabriela Iza **Revisado:** Ing. Juan Paredes

Fuente: [La autora]

Ficha Técnica 10. Recolección de datos de material compuesto sometido a ensayo de Tracción T[SN NaOH]26D.45.90.135(1)

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO							
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA								
FICHA PARA RECOLECCIÓN DE DATOS DE ENSAYOS A TRACCIÓN								
Fecha:	23/04/2017	Ciudad:	Ambato					
Laboratorio:	Materiales-Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero							
Maquina:	Máquina Universal		Modelo:	Metrotec MTE50				
Temperatura:	18°C	Código de probeta:	T[SN NaOH] 25D.45.90.135(1)					
Matriz:	Epoxi	N° Probetas:	5	Norma:	ASTM D3039-14			
Refuerzo:	Stipa Ichu (Pasto de paramo)		Fracción Volumétrica:	Matriz:	60%			
	Algodón			Refuerzo:	40%			
Orientación de refuerzo:	Tejido Stipa Ichu +Algodón		Capa 1	45°	Número de capas:	2		
			Capa 2	90°				
			Capa 3	135°				
Longitud Calibrada	138	Dimensiones:	250x25xe	Tipo de secado:	Natural NaOH			
RESULTADOS DEL ENSAYO								
Probeta	Dimensiones		Área mm ²	Carga Máxima N	Esfuerzo máximo a tracción MPa	Deformación Unitaria	Módulo de Elasticidad MPa	Tipo de Falla
	Ancho (mm)	Espesor r(mm)						
1	25,00	5,00	125,0	2351,60	18,81	0,021	887,41	AGM
2	25,02	5,52	138,1	1892,19	13,70	0,019	732,67	LGM
3	25,04	5,46	136,7	1821,19	13,32	0,021	637,37	AGM
4	25,04	5,46	136,7	1983,34	14,51	0,023	644,76	AGM
5	24,89	5,47	136,1	2180,06	16,01	0,021	751,74	LGM
Promedio	\bar{x}			2101,80	15,76	0,021	754,14	-
Desviación estandar S_{n-1}				177,83	1,95	0,001	86,88	-
Coeficiente de variación CV				8,46	12,37	4,779	11,52	-
FOTOGRAFÍA DE PROBETAS								
								
EVALUACIÓN			OBSERVACIÓN					
<p>El grupo con secado natural obtiene resultados promedio de esfuerzo a tracción de 15,75MPa, y Módulo de elasticidad de 745,14 MPa. En los cálculos se elimina el valor mas bajo de todos y se calcula con 4 datos.</p>			<p>Las fotografías mostradas son de probetas despues del ensayo, fueron ensayadas 5 probetas en total.</p>					

REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE RESULTADOS





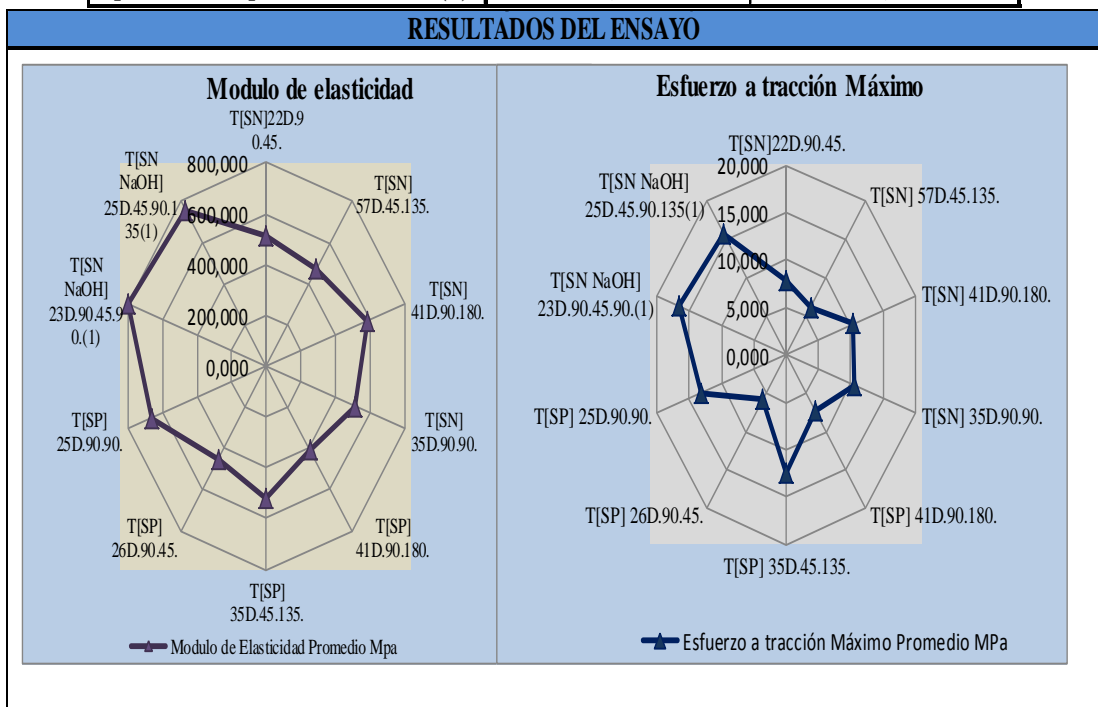
Elaborado:	Gabriela Iza	Revisado:	Ing. Juan Paredes
-------------------	--------------	------------------	-------------------

Fuente: [La autora]

De la toma de datos, tabulación de resultados referentes a propiedades mecánicas a tracción del material compuesto de matriz epoxi con refuerzo de Stipa Ichu y algodón con secado natural y precocido se presenta el siguiente cuadro resumen con los promedios de Esfuerzo máximo a tracción y módulo de elasticidad para elegir los mejores resultados previos al ensayo a Flexión e Impacto que se realiza con los mejores resultados y configuraciones a tracción.

Ficha Técnica 11. Recolección de datos promedio para evaluación del ensayo a Tracción.



 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA 		
RESUMEN DE DATOS PROMEDIO DE ENSAYOS A TRACCIÓN		
Probeta	Esfuerzo a tracción Máximo Promedio MPa	Modulo de Elasticidad Promedio Mpa
T[SN]22D.90.45.	7,756	514,694
T[SN] 57D.45.135.	6,218	469,534
T[SN] 41D.90.180.	10,439	581,332
T[SN] 35D.90.90.	10,610	515,534
T[SP] 41D.90.180.	7,373	409,047
T[SP] 35D.45.135.	12,497	519,959
T[SP] 26D.90.45.	5,847	452,377
T[SP] 25D.90.90.	13,191	663,205
T[SN NaOH] 23D.90.45.90.(1)	16,600	795,618
T[SN NaOH] 25D.45.90.135(1)	15,758	754,143

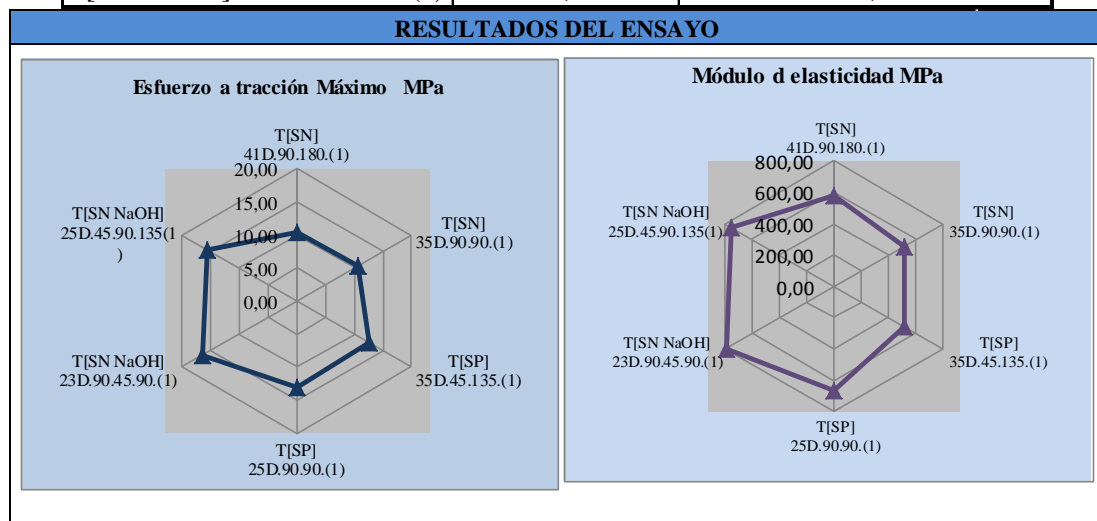


Fuente: [La autora]

Analizando los resultados a tracción del material compuesto de matriz epoxi con tejido de Stipa Ichu y Algodón. Con los mejores resultados de esfuerzo a tracción y módulo de elasticidad las configuraciones presentadas en la siguiente tabla pasan a un análisis de flexión.

Ficha Técnica 12. Mejores Configuraciones de ensayos a tracción.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA 		
DATOS PROMEDIO DE 6 MEJORES ENSAYOS A TRACCIÓN ASTM D3039-14		
Probeta	Esfuerzo a tracción Máximo	Módulo de Elasticidad Promedio MPa
T[SN] 41D.90.180.(1)	10,44	581,33
T[SN] 35D.90.90.(1)	10,61	515,53
T[SP] 35D.45.135.(1)	12,50	519,96
T[SP] 25D.90.90.(1)	13,19	663,20
T[SN NaOH] 23D.90.45.90.(1)	16,60	795,62
T[SN NaOH] 25D.45.90.135(1)	15,76	754,14



Fuente: [La autora]

4.1.16.2. Ensayo a flexión:

Para la realización del ensayo de flexión se aplica la norma ASTM D7264-07: Standard Test Method for Flexural Properties of Polymer Matrix Composite Materials, con la maquina Universal de ensayos Electromecanicas MTE 50 existente en el Centro de Fomento Metalmecánico Carrocero del Gobierno provincial de

Tungurahua, con 5 probetas por cada caso como estipula la norma. Además de ello con dimensiones de probetas establecidas en la siguiente tabla:

Tabla 29. Dimensiones para probetas de ensayo a Flexión.

Dimensión de muestra	Valor (mm)
Ancho	13
Largo	160
Espesor	5

Fuente: [La autora]

En el informe se presentan tipos de falla los cuales están citados en la norma con la que se realiza todo el ensayo y a continuación se presenta una tabla con los códigos para tipos de falla:

Tabla 30. Códigos para identificación de falla en el ensayo a flexión.

Códigos de identificación de falla					
Primer carácter		Segundo carácter		Tercer carácter	
Modo de fallo	Código	Área de falla	Código	Localización de falla	Código
Tensión	T	En el punto de carga	A	Parte superior	T
Compresión	C	Entre la carga	B	Fondo	B
Pandeo	B	Entre los soportes	S	Izquierdo	L
Cizalla interlaminar	S	Entre la carga y el punto de apoyo	L	Derecho	R
Multimodo	M(xyz)	Desconocido	U	Medio	M
Otro	O			Varios	V
				Desconocido	U

Fuente: [La autora]

Cálculos:

- El esfuerzo máximo a flexión se calcula con la ecuación siguiente con el método A, basada en una viga simplemente apoyada en dos puntos y una carga en el centro.

$$\sigma = \frac{3PL}{2bh^2} \quad \text{Ecuación. 12}$$

Donde:

σ = Esfuerzo en la superficie externa en la mitad de la viga MPa

P = Fuerza aplicada [N]

L = Distancia entre apoyos [mm]

b = Ancho de viga

h = Espesor de la viga [mm]

- La deformación en la superficie externa para este caso se calcula con la siguiente ecuación:

$$\varepsilon = \frac{6\delta h}{L^2} \quad \text{Ecuación. 13}$$

Donde:

ε = Deformación en la superficie externa [mm/mm]

δ = Deflexión en el centro de la viga.

- Para el cálculo del módulo de elasticidad a flexión utilizamos el esfuerzo máximo a flexión y la deformación.

$$E_f = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon} \quad \text{Ecuación. 14}$$

Donde:

E_f = Módulo de flexión.

- Cálculo estadístico: Para las pruebas en cada caso como mínimo 5 probetas, calculando el valor promedio, desviación estándar y coeficiente de variación (en porcentaje %) por cada propiedad evaluada en el ensayo.

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad \text{Ecuación. 15}$$

$$S_{n-1} = \sqrt{\frac{(\sum_{i=1}^n x_i^2 - n\bar{x}^2)}{n-1}} \quad \text{Ecuación. 16}$$

$$CV = \frac{S_{n-1}}{\bar{x}} \times 100 \quad \text{Ecuación. 17}$$

Donde:




\bar{x} = Media muestral (Promedio)

S_{n-1} = Desviación estándar de la muestra.

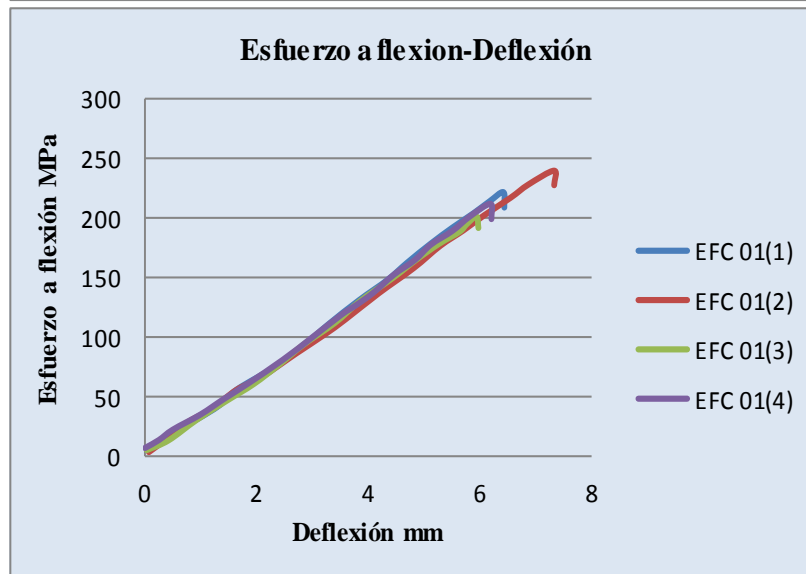
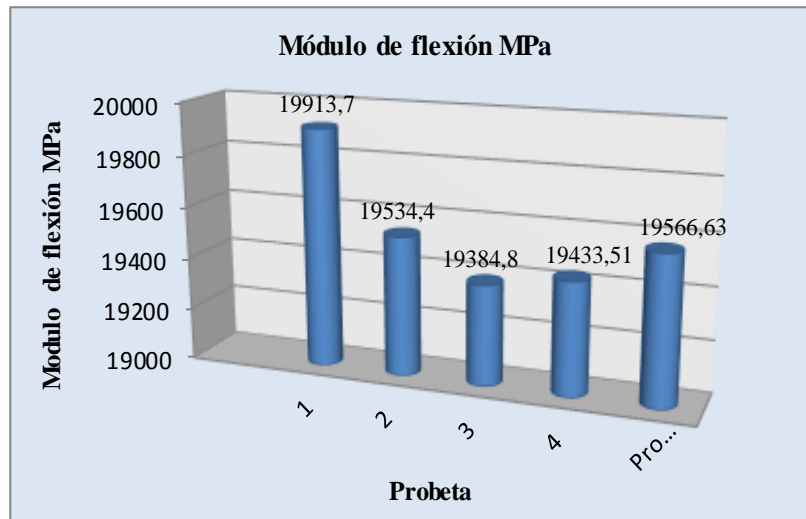
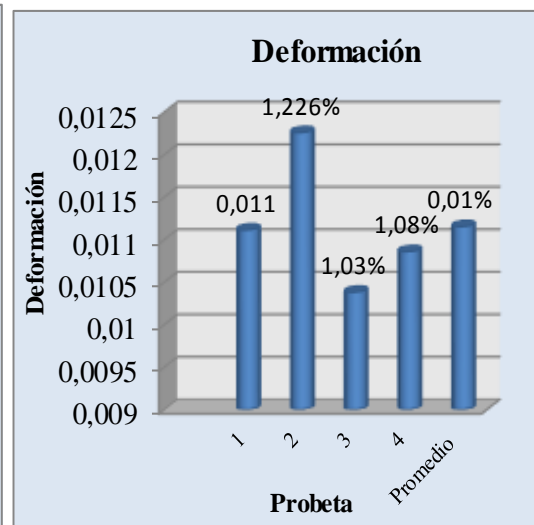
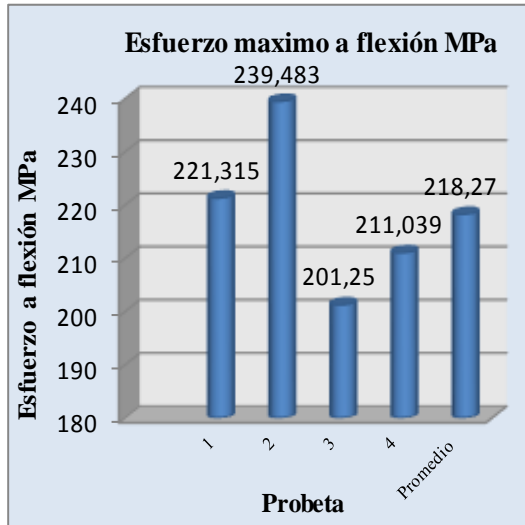
CV = Coeficiente de variación de la muestra (%)

x_i = Propiedad medida en el ensayo.

Ficha Técnica 13. Recolección de datos de material compuesto sometido a ensayo de Flexión F[SN]49D.90.180(1)

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA							
FICHA PARA RECOLECCIÓN DE DATOS DE ENSAYOS A FLEXIÓN								
Fecha:	23/04/2017	Ciudad:	Ambato	Código probeta:	F[SN] 49D.90.180(1)			
Laboratorio:	Materiales-Centro de Fomento Productivo Metalmeccánico Carrocero							
Maquina:	Máquina Universal de tracción	Modelo:	Metrotec MTE50					
Matriz:	Epoxi	N° de probetas:	5	Norma:	ASTM D7264			
Refuerzo:	Stipa Ichu (Pasto de paramo)	Fracción Volumétrica:	Matriz:	70%				
	Algodón		Refuerzo:	30%				
Orientación de refuerzo:	Tejido Stipa Ichu	Capa 1	90°	Número de capas:	2			
	+Algodón	Capa 2	180°	Temperatura:	19 °C			
Distancia entre apoyos:	140	Dimensiones:	160x13xe	Secado:	Natural			
RESULTADOS DEL ENSAYO								
Probeta	Dimensiones		Carga Máxima	Deflexión	Esfuerzo maximo a flexión MPa	Deformación Unitaria %	Módulo de flexión MPa	Tipo de falla
	Ancho(m)	Espesor(mm)						
1	12,99	5,64	435,47	6,44	221,32	0,011	19913,72	OLV
2	12,90	5,48	441,78	7,31	239,48	0,012	19534,41	OLB
3	12,82	5,70	399,18	5,95	201,26	0,010	19384,89	OLB
4	12,72	5,73	419,70	6,19	211,04	0,011	19433,51	OLB
5	12,93	5,62	328,18	5,17	168,76	0,009	18984,11	OAB
Promedio	\bar{x}		424,03	6,47	218,27	0,011	19566,63	-
Desviacion estandar	S_{n-1}		18,99	0,59	16,34	0,001	239,62	-
Coefficiente de variación	CV		4,48	9,15	7,49	7,147	1,22	-
FOTOGRAFÍAS PROBETAS ENSAYADAS								
								
OBSERVACIONES								
<p>El ensayo se realizo a 5 probetas, presentando fallas similares consideradas en la norma con la que se realiza el ensayo. Para el cálculo de promedio y desviación estandar se elimina el valor mas bajo y se calcula con 4 resultados.</p>								




REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE RESULTADOS



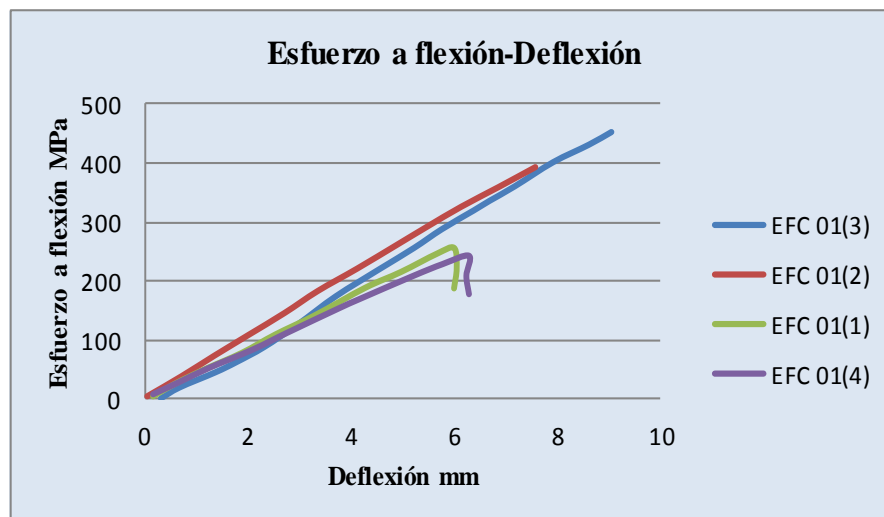
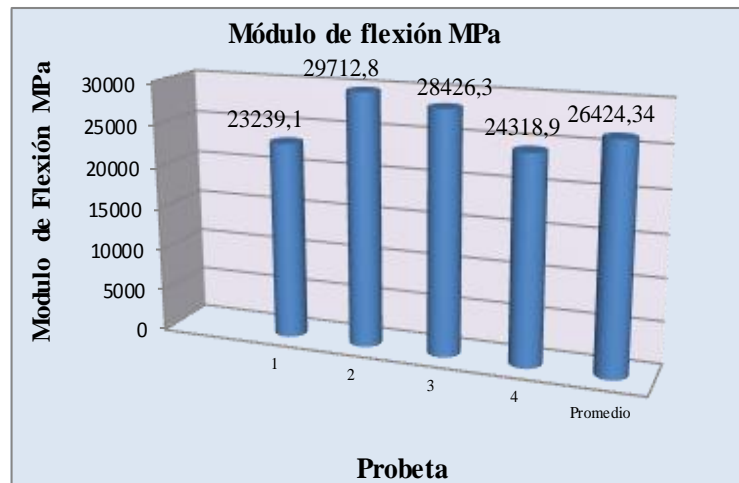
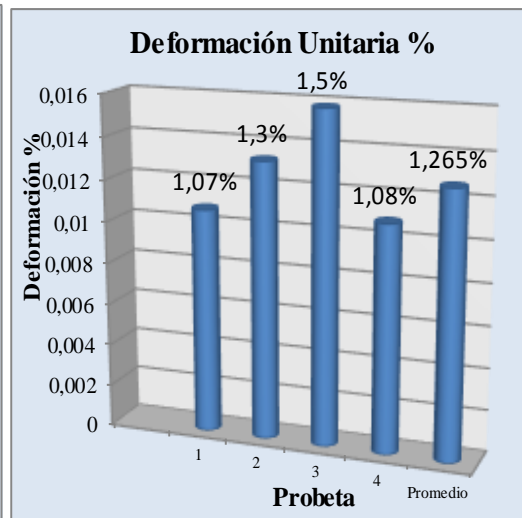
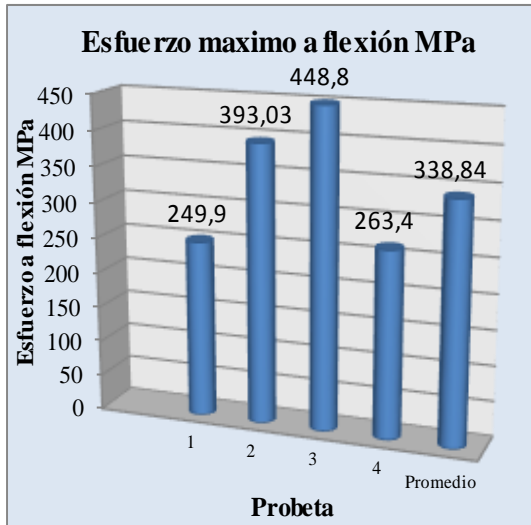
Realizado: Gabriela Iza **Revisado :** Ing. Juan Paredes

Fuente: [La autora]

Ficha Técnica 14. Recolección de datos de material compuesto sometido a ensayo de Flexión F [SN]22D.90.90(1)

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA							
FICHA PARA RECOLECCIÓN DE DATOS DE ENSAYOS A FLEXIÓN								
Fecha:	23/04/2017	Ciudad:	Ambato	Código probeta:	F[SN] 22D.90.90(1)			
Laboratorio:	Materiales-Centro de Fomento Productivo Metalmeccánico Carrocero							
Maquina:	Máquina Universal de tracción	Modelo:		Metrotec MTE50				
Matriz:	Epoxi	N° de probetas:	5	Norma:	ASTM D7264			
Refuerzo:	Stipa Ichu (Pasto de paramo)	Fracción		Matriz:	70%			
	Algodón	Volumétrica:		Refuerzo:	30%			
Orientación de refuerzo:	Tejido Stipa Ichu +Algodón	Capa 1	90°	Número de capas:	2			
		Capa 2	90°	Temperatura:	19 °C			
Distancia entre apoyos:	140	Dimensiones:	160x13xe	Secado:	Natural			
RESULTADOS DEL ENSAYO								
Probeta	Dimensiones		Carga Máxima	Deflexión	Esfuerzo maximo a flexión MPa	Deformación Unitaria %	Módulo de flexión MPa	Tipo de falla
	Ancho(m)	Espesor(mm)						
1	12,97	5,86	530,14	6,00	249,96	1,08%	23239,15	OLV
2	12,98	5,67	781,01	7,62	393,04	1,32%	29712,89	OLB
3	12,95	5,72	905,66	9,02	448,87	1,58%	28426,36	OLB
4	12,98	5,68	525,41	6,23	263,48	1,08%	24318,96	OLB
5	12,96	5,82	481,23	9,46	230,21	1,69%	13657,33	OAB
Promedio	\bar{x}		685,56	7,22	338,84	1,27%	26424,34	-
Desviacion estandar	S_{n-1}		189,17	1,40	97,68	0,24%	3130,53	-
Coefficiente de variación	CV		27,59	19,38	28,83	1885,97%	11,85	-
FOTOGRAFÍAS PROBETAS ENSAYADAS								
								
OBSERVACIONES								
El ensayo se realizo a 5 probetas, presentando fallas similares consideradas en la norma con la que se realiza el ensayo. Para el cálculo de promedio y desviación estandar se elimina el valor mas bajo y se calcula con 4 resultados.								

REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE RESULTADOS



Realizado:




Gabriela Iza

Revisado :

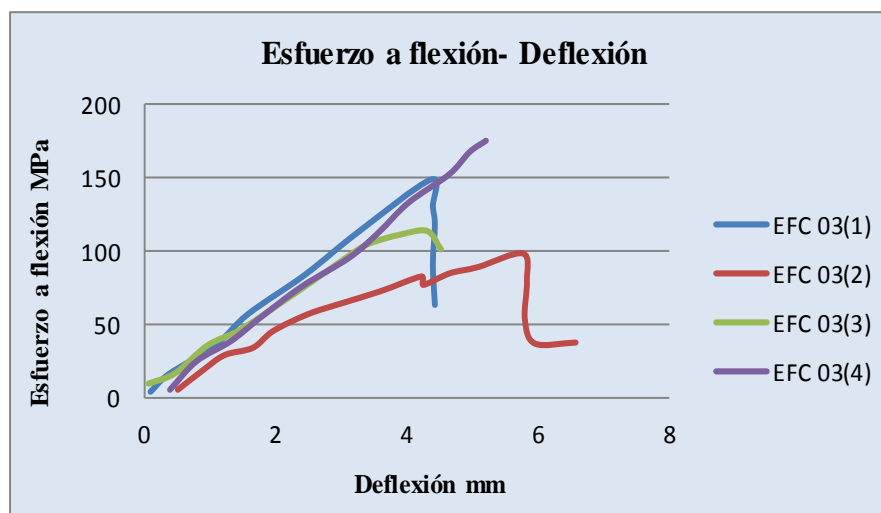
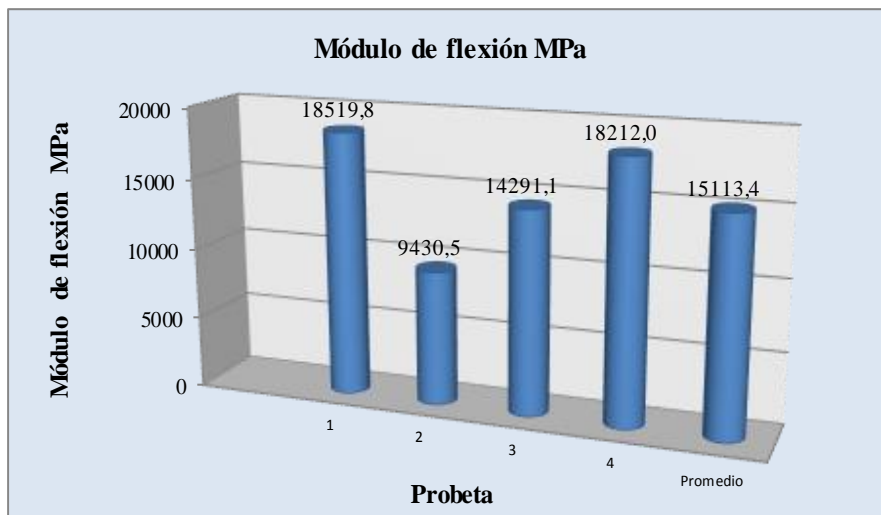
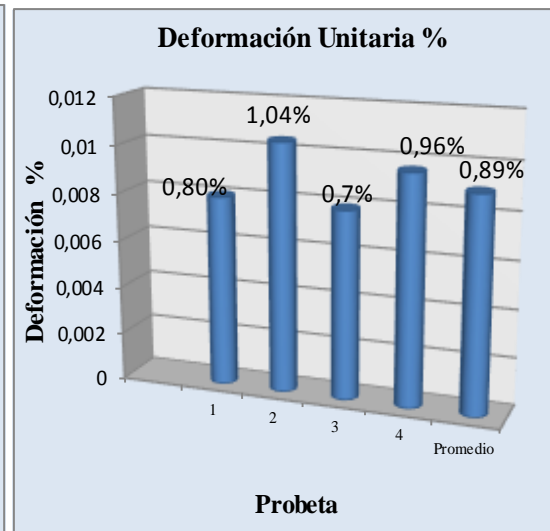
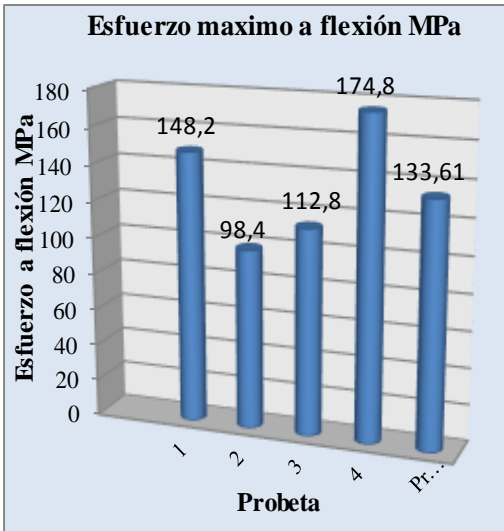
Ing. Juan Paredes

Fuente: [La autora]

Ficha Técnica 15. Recolección de datos de material compuesto sometido a ensayo de Flexión F[SP]39D.90.135(1)

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA							
FICHA PARA RECOLECCIÓN DE DATOS DE ENSAYOS A FLEXIÓN								
Fecha:	23/04/2017	Ciudad:	Ambato	Código probeta:	F[SP] 39D.45.135(1)			
Laboratorio:	Materiales-Centro de Fomento Productivo Metalmeccánico Carrocero							
Maquina:	Máquina Universal de tracción	Modelo:		Metrotec MTE50				
Matriz:	Epoxi	N° de probetas:	5	Norma:	ASTM D7264			
Refuerzo:	Stipa Ichu (Pasto de paramo)	Fracción Volumétrica:		Matriz:	70%			
	Algodón			Refuerzo:	30%			
Orientación de refuerzo:	Tejido Stipa Ichu +Algodón	Capa 1	45°	Número de capas:	2			
		Capa 2	135°	Temperatura:	19 °C			
Distancia entre apoyos:	140	Dimensiones:	160x13xe	Secado:	Precocido			
RESULTADOS DEL ENSAYO								
Probeta	Dimensiones		Carga Máxima	Deflexión	Esfuerzo maximo a flexión MPa	Deformación Unitaria %	Módulo de flexión MPa	Tipo de falla
	Ancho(m)	Espesor(mm)						
1	13,12	5,88	320,29	4,45	148,28	0,80%	18519,81	OLV
2	13,09	5,87	211,43	5,81	98,44	1,04%	9430,55	OLB
3	13,05	6,00	252,45	4,30	112,85	0,79%	14291,19	OLB
4	13,19	5,92	384,98	5,30	174,89	0,96%	18212,06	OLB
5	13,08	5,92	662,68	13,84	303,58	2,51%	12102,84	OAB
Promedio	\bar{x}		292,29	4,96	133,61	0,90%	15113,40	-
Desviacion estandar	S_{n-1}		76,38	0,72	34,58	0,12%	4249,56	-
Coefficiente de variación CV			26,13	14,41	25,88	1383,65%	28,12	-
FOTOGRAFÍAS PROBETAS ENSAYADAS								
								
OBSERVACIONES								
El ensayo se realizo a 5 probetas, presentando fallas similares consideradas en la norma con la que se realiza el ensayo. Para el cálculo de promedio y desviación estandar se elimina el valor mas alto y se calcula con 4 resultados.								




REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE RESULTADOS



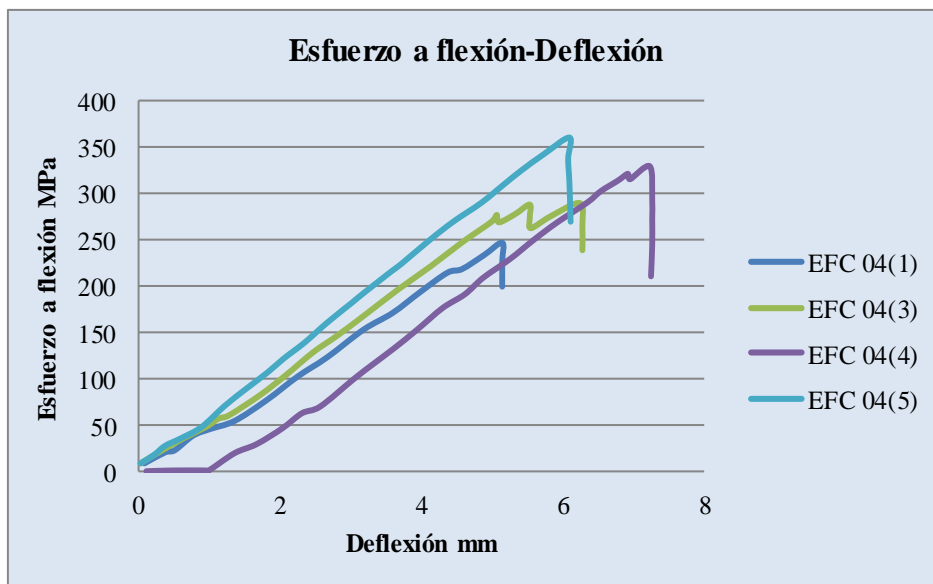
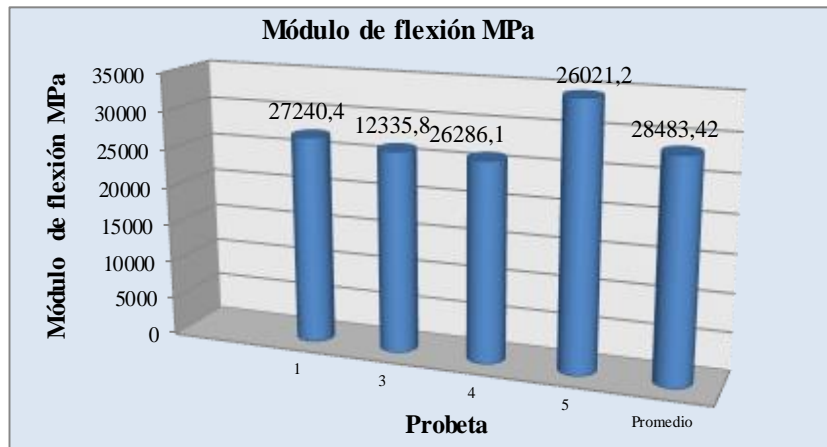
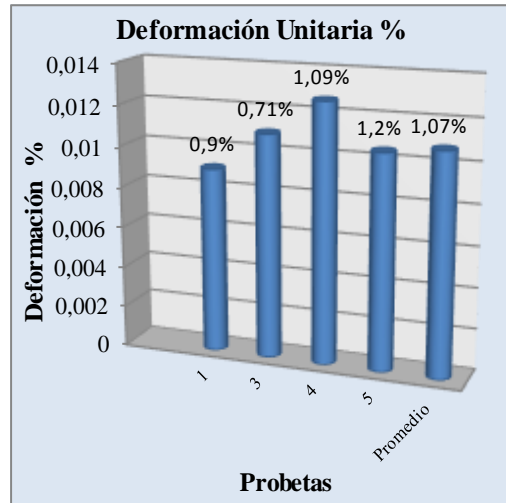
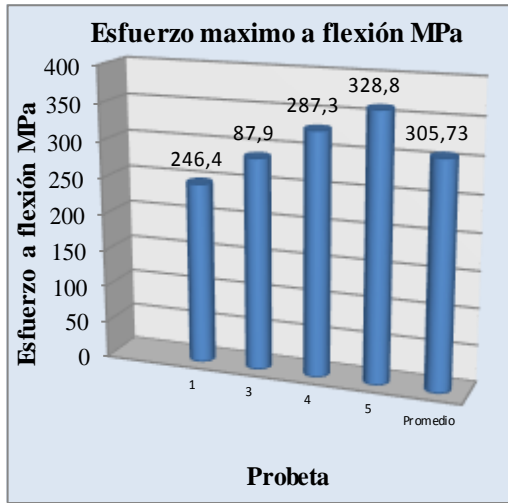
Realizado: Gabriela Iza **Revisado :** Ing. Juan Paredes

Fuente: [La autora]

Ficha Técnica 16. Recolección de datos de material compuesto sometido a ensayo de Flexión F[SP]29D.90.90(1)

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA							
FICHA PARA RECOLECCIÓN DE DATOS DE ENSAYOS A FLEXIÓN								
Fecha:	23/04/2017	Ciudad: Ambato	Código probeta: F[SP] 29D.90.90(1)					
Laboratorio:	Materiales-Centro de Fomento Productivo Metalmeccánico Carrocero							
Maquina:	Máquina Universal de tracción	Modelo:	Metrotec MTE50					
Matriz:	Epoxi	N° de probetas: 5	Norma: ASTM D7264					
Refuerzo:	Stipa Ichu (Pasto de paramo)	Fracción Volumétrica:	Matriz: 70%					
	Algodón		Refuerzo: 30%					
Orientación de refuerzo:	Tejido Stipa Ichu +Algodón	Capa 1	90°	Número de capas:	2			
		Capa 2	90°	Temperatura:	19 °C			
Distancia entre apoyos:	140	Dimensiones:	160x13xe	Secado:	Precocido			
RESULTADOS DEL ENSAYO								
Probeta	Dimensiones		Carga Máxima	Deflexión	Esfuerzo maximo a flexión MPa	Deformación Unitaria %	Módulo de flexión MPa	Tipo de falla
	Ancho(m)	Espesor(mm)						
1	12,98	5,73	500,16	5,16	246,46	0,905%	27240,404	OLV
2	12,84	5,81	181,45	4,01	87,91	0,713%	12335,802	OLB
3	13,05	5,71	582,21	6,25	287,35	1,093%	26286,125	OLB
4	12,84	5,70	653,21	7,24	328,82	1,264%	26021,262	OLB
5	12,91	5,63	702,12	6,08	360,32	1,048%	34385,869	OAB
Promedio	\bar{x}		609,43	6,18	305,74	0,01077	28483,415	-
Desviacion estandar	S_{n-1}		87,92	0,85	49,54	0,001	3969,648	-
Coefficiente de variación	CV		14,43	13,81	16,20	13,727	13,937	-
FOTOGRAFÍAS PROBETAS ENSAYADAS								
								
OBSERVACIONES								
El ensayo se realizo a 5 probetas, presentando fallas similares consideradas en la norma con la que se realiza el ensayo. Para el cálculo de promedio y desviación estandar se elimina el valor mas bajo y se calcula con 4 resultados.								




REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE RESULTADOS



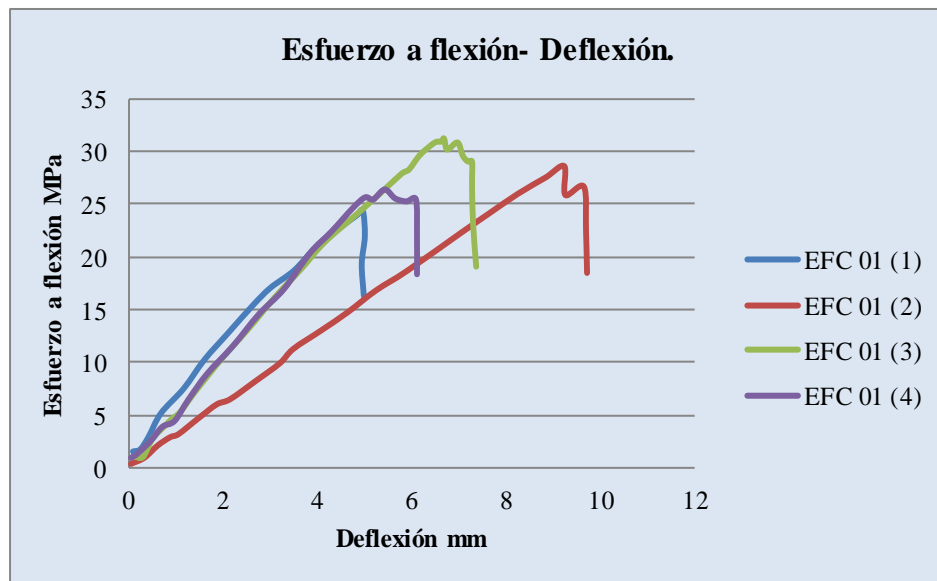
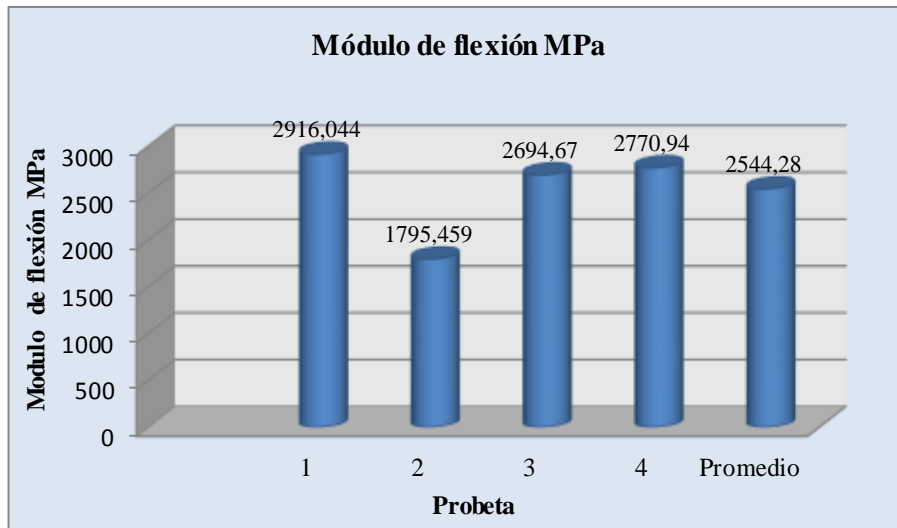
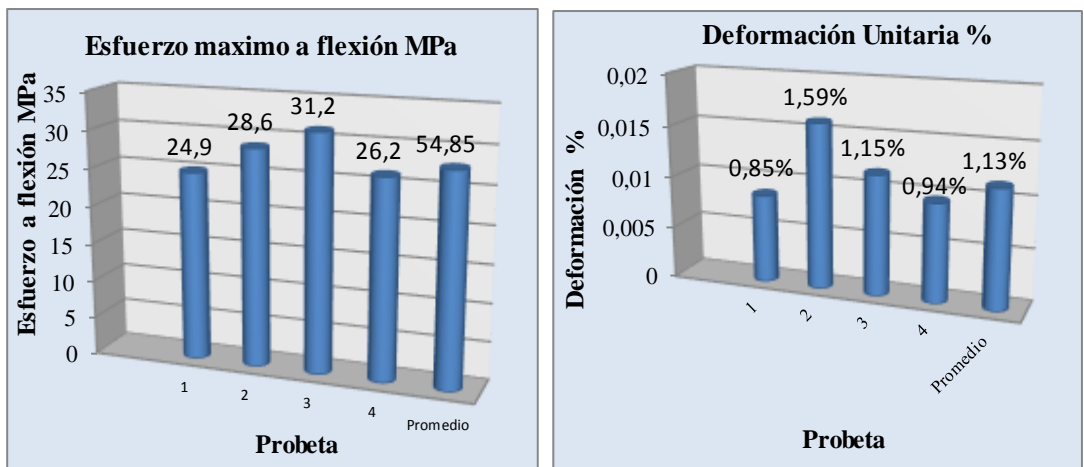
Realizado:	Gabriela Iza	Revisado :	Ing. Juan Paredes
-------------------	--------------	-------------------	-------------------

Fuente: [La autora]

Ficha Técnica 17. Recolección de datos de material compuesto sometido a ensayo de Flexión F[SN NaOH]29D.90.45.90(1)

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA							
FICHA PARA RECOLECCIÓN DE DATOS DE ENSAYOS A FLEXIÓN								
Fecha:	23/04/2017	Ciudad: Ambato	Código probeta: F[SNNaOH] 29D.90.45.90(1)					
Laboratorio:	Materiales-Centro de Fomento Productivo Metalmeccánico Carrocero							
Maquina:	Máquina Universal de tracción	Modelo:	Metrotec MTE50					
Matriz:	Epoxi	N° de probetas:	5					
Refuerzo:	Stipa Ichu (Pasto de paramo)	Fracción Volumétrica:	Matriz: 60%					
	Algodón		Refuerzo: 40%					
Orientación de refuerzo:	Tejido Stipa Ichu +Algodón	Capa 1	90°	Número de capas:	3			
		Capa 2	45°	Temperatura:	19 °C			
		Capa 3	90°	Secado:	Natural NaOH			
Distancia entre apoyos:	140	Dimensiones:	160x13xe					
RESULTADOS DEL ENSAYO								
Probeta	Dimensiones		Carga Máxima	Deflexión	Esfuerzo maximo a flexión MPa	Deformación Unitaria %	Módulo de flexión MPa	Tipo de falla
	Ancho(m)	Espesor(mm)						
1	12,58	5,66	47,84	4,93	24,929	0,85%	2916,04	OLB
2	12,84	5,65	55,89	9,22	28,635	1,59%	1795,46	OLB
3	13,06	5,68	62,61	6,66	31,205	1,16%	2694,68	OAB
4	12,95	5,72	53,04	5,42	26,288	0,95%	2770,94	OLB
5	13,01	5,63	85,10	8,58	43,337	1,48%	2929,65	OLB
Promedio	\bar{x}		54,85	6,56	27,764	1,14%	2544,28	-
Desviacion estandar	σ_{n-1}		6,16	1,92	2,758	0,33%	507,59	-
Coefficiente de variación	CV		11,23	29,25	9,933	2889,87%	19,95	-
FOTOGRAFÍAS PROBETAS ENSAYADAS								
								
OBSERVACIONES								
<p>El ensayo se realizo a 5 probetas, presentando fallas similares consideradas en la norma con la que se realiza el ensayo. Para el cálculo de promedio y desviación estandar se elimina el valor mas alto y se calcula con 4 resultados.</p>								




REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE RESULTADOS



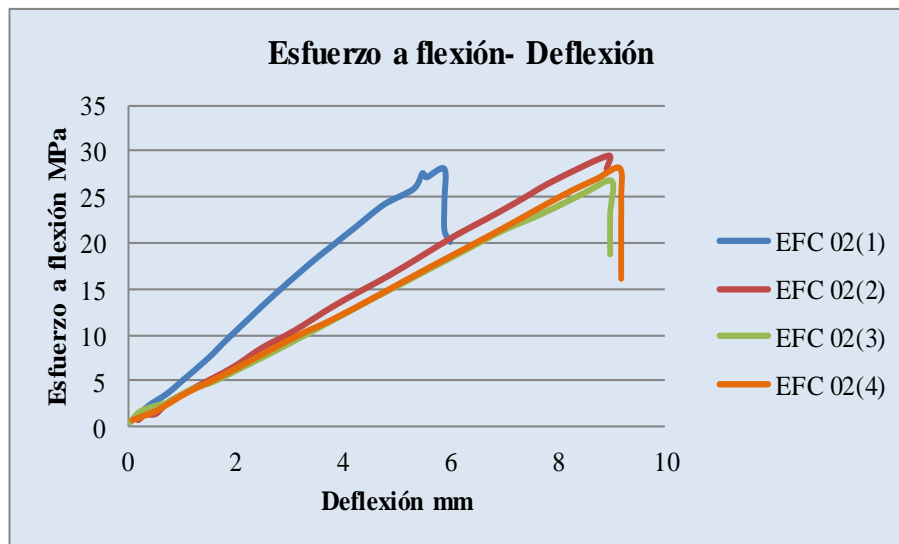
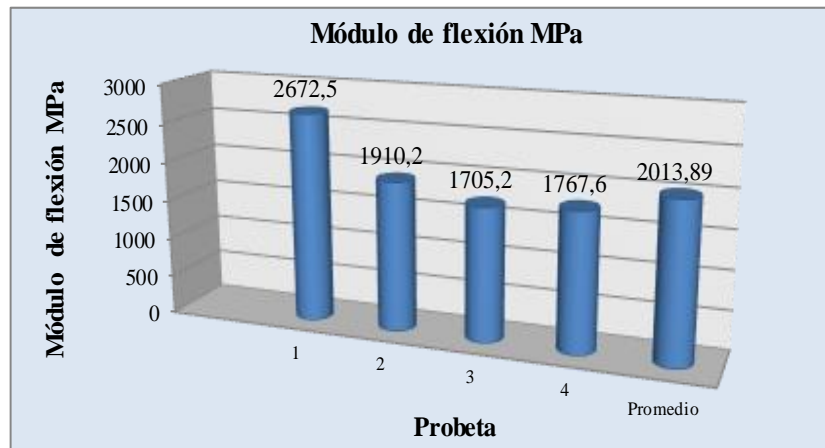
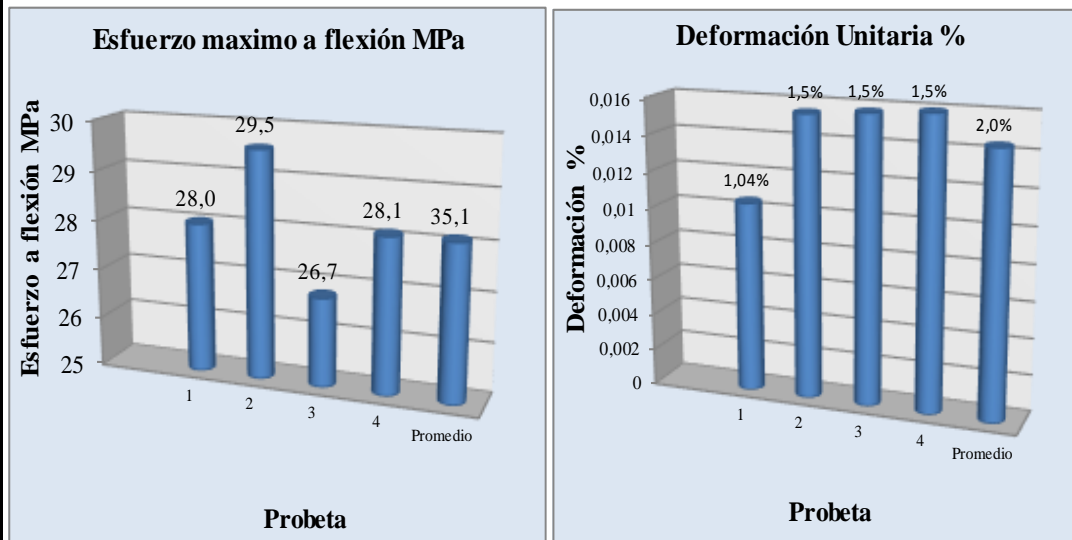
Realizado: Gabriela Iza **Revisado :** Ing. Juan Paredes

Fuente: [La autora]

Ficha Técnica 18 Recolección de datos de material compuesto sometido a ensayo de Flexión F[SN NaOH]29D.45.90.135(1)

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA							
FICHA PARA RECOLECCIÓN DE DATOS DE ENSAYOS A FLEXIÓN								
Fecha:	23/04/2017	Ciudad:	Ambato	Código probeta:	[SNNaOH] 29D.45.90.135(1)			
Laboratorio:	Materiales-Centro de Fomento Productivo Metalmeccánico Carrocero							
Maquina:	Máquina Universal de tracción	Modelo:	Metrotec MTE50					
Matriz:	Epoxi	N° de probetas:	5	Norma:	ASTM D7264			
Refuerzo:	Stipa Ichu (Pasto de paramo)	Fracción Volumétrica:	Matriz:	60%				
	Algodón		Refuerzo:	40%				
Orientación de refuerzo:	Tejido Stipa Ichu +Algodón	Capa 1	45°	Número de capas:	3			
		Capa 2	90°	Temperatura:	19 °C			
		Capa 3	135°	Secado:	Natural NaOH			
Distancia entre apoyos:	140	Dimensiones:	160x13xe					
RESULTADOS DEL ENSAYO								
Probeta	Dimensiones		Carga Máxima	Deflexión	Esfuerzo maximo a flexión MPa	Deformación Unitaria %	Módulo de flexión MPa	Tipo de falla
	Ancho(m)	Espesor(mm)						
1	12,97	5,86	59,42	5,84	28,02	1,05%	2672,51	OLB
2	12,98	5,67	58,75	8,92	29,57	1,55%	1910,27	OLB
3	12,95	5,72	54,05	8,97	26,79	1,57%	1705,20	OAB
4	12,98	5,68	56,06	9,15	28,11	1,59%	1767,60	OLB
5	12,96	5,82	73,52	11,77	35,17	2,10%	1676,60	OLB
Promedio	\bar{x}		57,07	8,22	28,12	1,44%	2013,90	-
Desviacion estandar	S_{n-1}		2,48	1,59	1,14	0,26%	447,38	-
Coefficiente de variación	CV		4,35	19,31	4,04	1815,23%	22,21	-
FOTOGRAFÍAS PROBETAS ENSAYADAS								
								
OBSERVACIONES								
El ensayo se realizo a 5 probetas, presentando fallas similares consideradas en la norma con la que se realiza el ensayo. Para el cálculo de promedio y desviación estandar se elimina el valor mas alto y se calcula con 4 resultados.								

REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE RESULTADOS



Realizado: Gabriela Iza **Revisado :** Ing. Juan Paredes

Fuente: [La autora]

4.1.16.3. Ensayo de impacto:

Los ensayos de impacto se llevan a cabo de acuerdo a la norma ASTM D 5628-10, basada en la caída de dardo, el método utilizado es masa constante y altura variable, con geometría FE, el equipo utilizado para las pruebas de caída del dardo pertenece a los laboratorios de la facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, de acuerdo a la norma es necesario un número de probetas de 20 con dimensiones basadas en la geometría FE.

Tabla 31. Especificaciones para ensayo de impacto

Geometría	Diámetro de dardo (mm)	Tamaño de muestra(mm)	Diámetro de muestra (mm)
FE	20 ±0,2	58X58XE	58

Fuente: [La autora]

En la norma se presenta los tipos de falla con los que se evalúa las fallas de las probetas sometidas al ensayo de impacto:

Tabla 32. Tipos de falla para ensayos de impacto

Tipo de falla	Descripción	Consideración
A	Grieta o fisura en una superficie	NO FALLA
B	Grietas que penetran en todo el espesor	NO FALLA
C	Quebradizo, rota en varios pedazos	FALLA
D	Placa traspasada, rota	FALLA

Fuente: [La autora]

Cálculos:

- Basándonos en la norma calculamos la altura media de impacto para producir falla con la ecuación:

$$h = h_0 + d_n \left(\frac{A}{N} \pm 0,5 \right) \quad \text{Ecuación 18}$$

Donde:

h = Altura de impacto para producir falla [mm]

h_0 = Altura mínima en la cual ocurre la falla [mm]

d_n = Variación de altura [mm]

A = Sumatoria del número de fallas

N = Número total de fallas o no fallas (cualquiera que sea menor)

± El signo negativo en la formula se usa cuando los eventos son fallas y el positivo cuando los eventos no son fallas.

- La energía absorbida por la probeta [J] con la siguiente expresión:

$$MFE = hwf \quad \text{Ecuación 19}$$

Donde:

MFE = Energía absorbida por la probeta

h = Altura media de impacto para producir falla

w = Masa de dardo

f = Factor de conversión a joule $9,80665 \times 10^{-3}$

- Desviación estándar de la altura media (h) se calcula con la siguiente expresión:

$$S_h = 1,62d_n \left[\frac{B}{N} - \left(\frac{A}{N} \right)^2 \right] + 0,047d_n \quad \text{Ecuación 20}$$

S_h = Desviación estándar, [mm]

B = Sumatorio del número de fallas por la posición de falla al cuadrado.

- Desviación estándar de la energía absorbida calculada con la siguiente expresión:

$$S_{MFE} = S_h f \quad \text{Ecuación 21}$$

S_{MFE} = Desviación estándar de la energía absorbida [J].

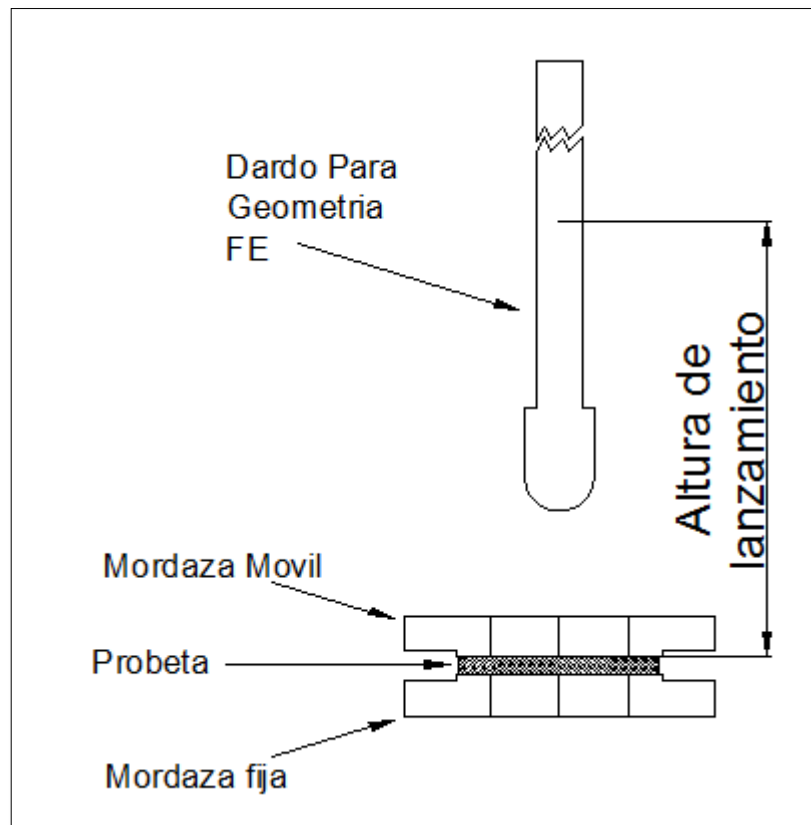






Figura 32. Esquema para tomar de altura en el ensayo de impacto
Fuente: [La autora]

Ficha Técnica 19. Recolección de datos de material compuesto sometido a Impacto I[SN]37D.90.90.(1)

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA			
FICHA PARA RECOLECCIÓN DE DATOS DE ENSAYOS A IMPACTO				
Fecha:	23/04/2017	Ciudad:	Ambato	
Laboratorio:	Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica UTA			
Máquina:	Equipo de ensayo de Impacto por caída de dardo			
Norma:	ASTM 5628-10	Numero de capas:	2	
Procedimiento:	Masa constante	Codigo:	I[SN]30D.90.90.1	
Matriz:	Epoxi	Fracción Volumetrica:	Matriz: 70%	
Refuerzo:	Stipa Ichu	N° de probetas:	Re fuerzo: 30%	
	Algodón		5	
Orientación de refuerzo:	Capa 1	90°	Tipo de secado Precocido	
	Capa 2	90°	Peso dardo: 0,2855	
Geometria:	FE	Diametro interior del anillo de soporte: 40		
Dimensiones:	58X58Xe			
Factor de conversión:		0,00980665	Revisado por: Ing. Juan Paredes	
RESULTADOS DEL ENSAYO				
Probeta	Espesor	Altura de lanzamiento(mm)	Resistencia al Impacto MFE (J)	Tipo de falla
1	5,60	400	1,12	A
2	5,80	500	1,40	A
3	5,67	600	1,68	A
4	5,64	650	1,82	B,C
5	5,74	700	1,96	B,C
ANÁLISIS Y CÁLCULO ESTADÍSTICO				
ho	dn	A	N	h
500	100		2	5
Sh	B	S MFE [J]	Resistencia al Impacto MFE (J)	
108,38	4	0,3	1,37	
FOTOGRAFIA DE PROBETAS (Frontal-Posterior)				
				
EVALUACIÓN			OBSERVACIÓN	
Maxima resistencia al impacto [J]:	1,68		1.-Se considera un mejor comportamiento al obtener una altura mayor o con una falla de tipo A 2.- Las fibras son resistentes, la matriz falla en todos los casos no asi la fibra.	
Espesor promedio mm:	5,69			
Energía promedio absorbida por la probeta [J]	1,37			

Fuente: [La autora]

Ficha Técnica 20. Recolección de datos de material compuesto sometido a Impacto I[SN]35D.90.180.(1)

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA			
FICHA PARA RECOLECCIÓN DE DATOS DE ENSAYOS A IMPACTO				
Fecha:	23/04/2017	Ciudad:	Ambato	
Laboratorio:	Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica UTA			
Máquina:	Equipo de ensayo de Impacto por caída de dardo			
Norma:	ASTM 5628-10	Número de capas:	2	
Procedimiento:	Masa constante	Código:	I[SN]35D.90.180.1	
Matriz:	Epoxi	Fracción Volumetrica:	70%	
Refuerzo:	Stipa Ichu	N° de probetas:	30%	
	Algodón		5	
Orientación de refuerzo:	Capa 1	90°	Tipo de secado	Natural
	Capa 2	180°	Peso dardo:	0,2855
Geometria:	FE	Diametro interior del anillo de soporte:		40
Dimensiones:	58X58Xe			
Factor de conversión:		0,00980665	Revisado por:	Ing. Juan Paredes
RESULTADOS DEL ENSAYO				
Probeta	Espesor	Altura de lanzamiento(mm)	Resistencia al Impacto MFE (J)	Tipo de falla
1	5,34	300	0,84	A
2	5,45	400	1,12	A
3	5,54	450	1,26	B,C
4	5,45	500	1,40	A
5	5,69	600	1,68	B,C
ANÁLISIS Y CÁLCULO ESTADÍSTICO				
ho	dn	A	N	h
400	100	2	5	390
Sh	B	S MFE [J]	Resistencia al Impacto MFE (J)	
108,38	4	0,3	1,09	
FOTOGRAFIA DE PROBETAS (Frontal-Posterior)				
				
EVALUACIÓN			OBSERVACIÓN	
Maxima resistencia al impacto:	1,40	1.-Se considera un mejor comportamiento al obtener una altura mayor con una falla de tipo A 2.- Las fibras son resistentes, la matriz falla en todos los casos no así la fibra.		
Espesor promedio:	5,49			
Energía promedio absorbida por la probeta [J]	1,09			


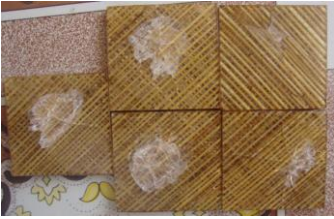
Fuente: [La autora]

Ficha Técnica 21. Recolección de datos de material compuesto sometido a Impacto I[SP]25D.90.90.(1)

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA			
FICHA PARA RECOLECCIÓN DE DATOS DE ENSAYOS A IMPACTO				
Fecha:	23/04/2017	Ciudad:	Ambato	
Laboratorio:	Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica UTA			
Máquina:	Equipo de ensayo de Impacto por caída de dardo			
Norma:	ASTM 5628-10	Numero de capas:	2	
Procedimiento:	Masa constante	Código:	I[SP]25D.90.90.1	
Matriz:	Epoxi	Fracción Volumetrica:	Matriz:	70%
Refuerzo:	Stipa Ichu	N° de probetas:	Refuerzo:	30%
	Algodón		5	
Orientación de refuerzo:	Capa 1	90°	Tipo de secado	Precocido
	Capa 2	90°	Peso dardo:	0,2855
Geometria:	FE	Diametro interior del anillo de soporte:		40
Dimensiones:	58X58Xe			
Factor de conversión:		0,00980665	Revisado por:	Ing. Juan Paredes
RESULTADOS DEL ENSAYO				
Probeta	Espesor	Altura de lanzamiento(mm)	Resistencia al Impacto MFE (J)	Tipo de falla
1	5,67	400	1,12	NO FALLA
2	5,68	500	1,4	A
3	5,64	600	1,68	A,C
4	5,62	700	1,96	A,C
5	5,6	600	1,68	B,C
ANÁLISIS Y CÁLCULO ESTADÍSTICO				
ho	dn	A	N	h
500	100	3	5	510
Sh	B	S MFE [J]	Resistencia al Impacto MFE (J)	
237,98	9	0,67	1,43	
FOTOGRAFIA DE PROBETAS (Frontal-Posterior)				
				
EVALUACION			OBSERVACIÓN	
Maxima resistencia al impacto [J]:	1,96		1.-Se considera un mejor comportamiento al obtener una altura mayor con una falla de tipo A 2.- Las fibras son resistentes, la matriz falla en todos los casos no asi la fibra.	
Espesor promedio mm:	5,64			
Energía promedio absorbida por la probeta [J]	1,43			




Fuente: [La autora]

Ficha Técnica 22. Recolección de datos de material compuesto sometido a Impacto I[SP]37D.45.135.(1)

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA			
FICHA PARA RECOLECCIÓN DE DATOS DE ENSAYOS A IMPACTO				
Fecha:	23/04/2017	Ciudad:	Ambato	
Laboratorio:	Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica UTA			
Máquina:	Equipo de ensayo de Impacto por caída de dardo			
Norma:	ASTM 5628-10	Numero de capas:	2	
Procedimiento:	Masa constante	Codigo:	I[SP]37D.45.135.1	
Matriz:	Epoxi	Fracción Volumetrica:	Matriz: 70%	
Refuerzo:	Stipa Ichu	N° de probetas:	Refuerzo: 30%	
	Algodón		5	
Orientación de refuerzo:	Capa 1	45°	Tipo de secado: Precocido	
	Capa 2	135°	Peso dardo: 0,2855	
Geometria:	FE	Diametro interior del anillo de soporte:	40	
Dimensiones:	58X58Xe			
Factor de conversión:		0,00980665	Revisado por: Ing. Juan Paredes	
RESULTADOS DEL ENSAYO				
Probeta	Espesor	Altura de lanzamiento(mm)	Resistencia al Impacto MFE (J)	Tipo de falla
1	5,65	550	1,54	A
2	5,45	600	1,68	A,C
3	5,67	650	1,82	C
4	5,45	700	1,96	A
5	5,34	1000	2,8	A,C
ANÁLISIS Y CÁLCULO ESTADÍSTICO				
ho	dn	A	N	h
600	50		3	5
Sh	B	S MFE [J]	Resistencia al Impacto MFE (J)	
118,99	9	0,33	1,69	
FOTOGRAFIA DE PROBETAS (Frontal-Posterior)				
				
EVALUACION			OBSERVACIÓN	
Maxima resistencia al impacto individual [J]:		1,96	1.-Se considera un mejor comportamiento al obtener una altura mayor con una falla de tipo A 2.- Las fibras son resistentes, la matriz falla en todos los casos no así la fibra.	
Espesor promedio mm:		5,51		
Energía promedio absorbida por la probeta [J]		1,69		





Fuente: [La autora]

Ficha Técnica 23. Recolección de datos de material compuesto sometido a Impacto
I[SN NaOH]25D.45.90.135(1)

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA			
FICHA PARA RECOLECCIÓN DE DATOS DE ENSAYOS A IMPACTO				
Fecha:	23/04/2017	Ciudad:	Ambato	
Laboratorio:	Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica UTA			
Máquina:	Equipo de ensayo de Impacto por caída de dardo			
Norma:	ASTM 5628-10	Numero de capas:	3	
Procedimiento:	Masa constante	Código:	I[SN NaOH]25D.45.90.135.1	
Matriz:	Epoxi	Fracción Volumétrica:	Matriz: 70%	
Refuerzo:	Stipa Ichu	N° de probetas:	Refuerzo: 30%	
	Algodón		5	
Orientación de refuerzo:	Capa 1	45°	Tipo de secado: Precocido	
	Capa 2	90°		
	Capa 3	135°		
Geometría:	FE	Diametro interior del anillo de soporte:	40	
Dimensiones:	58X58Xe			
Factor de conversión:		0,00980665	Revisado por: Ing. Juan Paredes	
RESULTADOS DEL ENSAYO				
Probeta	Espesor	Altura de lanzamiento(mm)	Resistencia al Impacto MFE (J)	Tipo de falla
1	5,34	700	1,96	A
2	5,43	750	2,1	B,C
3	5,56	800	2,24	A
4	5,46	850	2,38	B
5	5,47	900	2,52	A,B
ANÁLISIS Y CÁLCULO ESTADÍSTICO				
ho	dn	A	N	h
750	50		2	745
Sh	B	S MFE [J]	Resistencia al Impacto MFE (J)	
54,19	4	0,15	2,09	
FOTOGRAFIA DE PROBETAS (Frontal-Posterior)				
				
EVALUACIÓN			OBSERVACIÓN	
Maxima resistencia al impacto Individual [J]:	2,10		1.-Se considera un mejor comportamiento al obtener una altura mayor con una falla de tipo A 2.- Las fibras son resistentes, la matriz falla en todos los casos no así la fibra.	
Espesor promedio mm:	5,45			
Energía promedio absorbida por la probeta [J]	2,09			

Fuente: [La autora]

Ficha Técnica 24. Recolección de datos de material compuesto sometido a Impacto
I[SN NaOH]25D.90.45.90.(1)



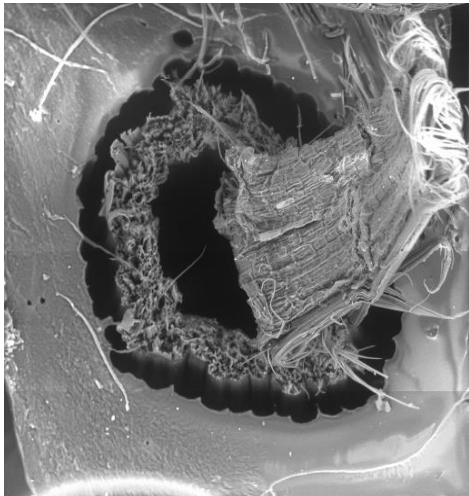
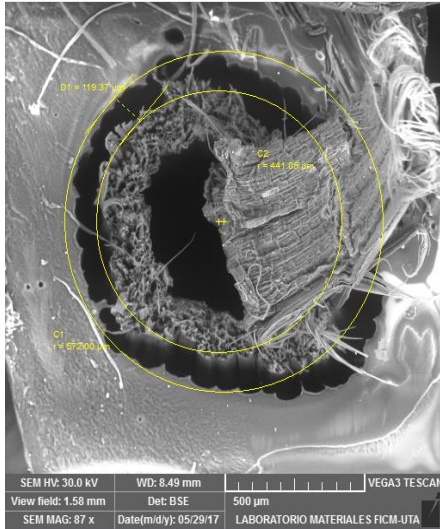
	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA			
FICHA PARA RECOLECCION DE DATOS DE ENSAYOS A IMPACTO				
Fecha:	23/04/2017	Ciudad:	Ambato	
Laboratorio:	Facultad de Ingenieria Civil y Mecanica UTA			
Máquina:	Equipo de ensayo de Impacto por caída de dardo			
Norma:	ASTM 5628-10	Numero de capas:	3	
Procedimiento:	Masa constante	Código:	I[SN NaOH]25D.90.45.90(1)	
Matriz:	Epoxi	Fracción Volumetrica:	Matriz: 60%	
Refuerzo:	Stipa Ichu	N° de probetas:	Refuerzo: 40%	
	Algodón		5	
Orientación de refuerzo:	Capa 1	90°	Tipo de secado: Precocido	
	Capa 2	45°		
	Capa 3	90°		
Geometria:	FE	Diametro interior del anillo de soporte:	40	
Dimensiones:	58X58Xe			
Factor de conversión:		0,00980665	Revisado por: Ing. Juan Paredes	
RESULTADOS DEL ENSAYO				
Probeta	Espesor	Altura de lanzamiento(mm)	Resistencia al Impacto MFE (J)	Tipo de falla
1	5,64	700	1,96	B,C
2	6,64	750	2,1	A
3	6,67	800	2,24	A,B
4	5,65	850	2,38	B
5	5,67	900	2,52	B
ANÁLISIS Y CÁLCULO ESTADÍSTICO				
ho	dn	A	N	h
750	50		1	735
Sh	B	S MFE [J]	Resistencia al Impacto MFE (J)	
15,31	1	0,04	2,06	
FOTOGRAFIA DE PROBETAS (Frontal-Posterior)				
				
EVALUACIÓN			OBSERVACIÓN	
Maxima resistencia al impacto individual [J]:		2,52	1.-Se considera un mejor comportamiento al obtener una altura mayor con una falla de tipo A 2.- Las fibras son resistentes, la matriz falla en todos los casos no asi la fibra.	
Espesor promedio mm:		6,05		
Energía promedio absorbida por la probeta [J]		2,06		

Fuente: [La autora]

4.1.16.4. Fractografía.



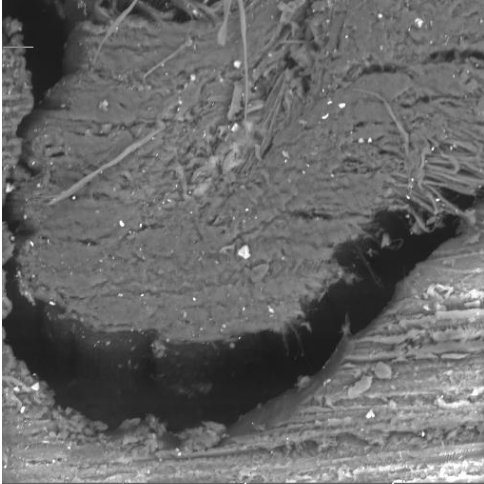
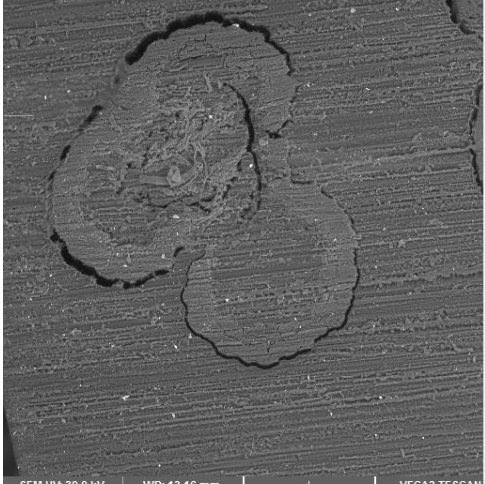
Se realiza un análisis de la interfaz del material es decir la adherencia que presenta entre matriz y refuerzo, este análisis se realiza al material con mejores propiedades en el ensayo a atracción siendo este [SN NaOH] 23D.90.45.90, formado de refuerzo con secado natural y limpieza de NaOH, con 23 días de curado, orientación de capa 1:90°, capa 2: 45°, capa3: 90° y fracción volumétrica 45% refuerzo, 55% de matriz.

Ficha Técnica 25. Recolección de datos para ensayos fractografía de material compuesto.

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA					
FICHA PARA RECOLECCIÓN DE DATOS DE ENSAYOS DE FRACTOGRAFÍA							
Fecha:	29/05/2017	Ciudad:	Ambato	Modo Bajo Vacío BSE			
Laboratorio:	Laboratorio de ciencia de materiales FICM- UTA						
Máquina:	Microscopio de barrido			Modelo:	TESCAN VEGA 3SBU		
Matriz:	Epoxi	N° Probetas:	2	Campo de Visión:		Wide Feld	
Refuerzo:	Stipa Ichu (Pasto de paramo)		Fracción Volumetrica:		Matriz:	45%	
	Algodón				Refuerzo:	55%	
Orientación de refuerzo:	Tejido Stipa Ichu +Algodón		Capa 1	90	Número de capas:	3	
			Capa 2	45			
			Capa 3	90			
Dimensiones:	15x15x5	Tipo de secado:	Natural con NaOH		Voltaje de Aceleración	30kV	
RESULTADOS DE FRACTOGRAFIA							
							
Desprendimiento de una fibra de Stipa Ichu y matriz epoxi, ruptura de la fibra de forma transversal				Desprendimiento de la fibra de Stipa Ichu, desprendimiento de microfibras del tallo de Stipa Ichu, medidas del diametro de fibra.			



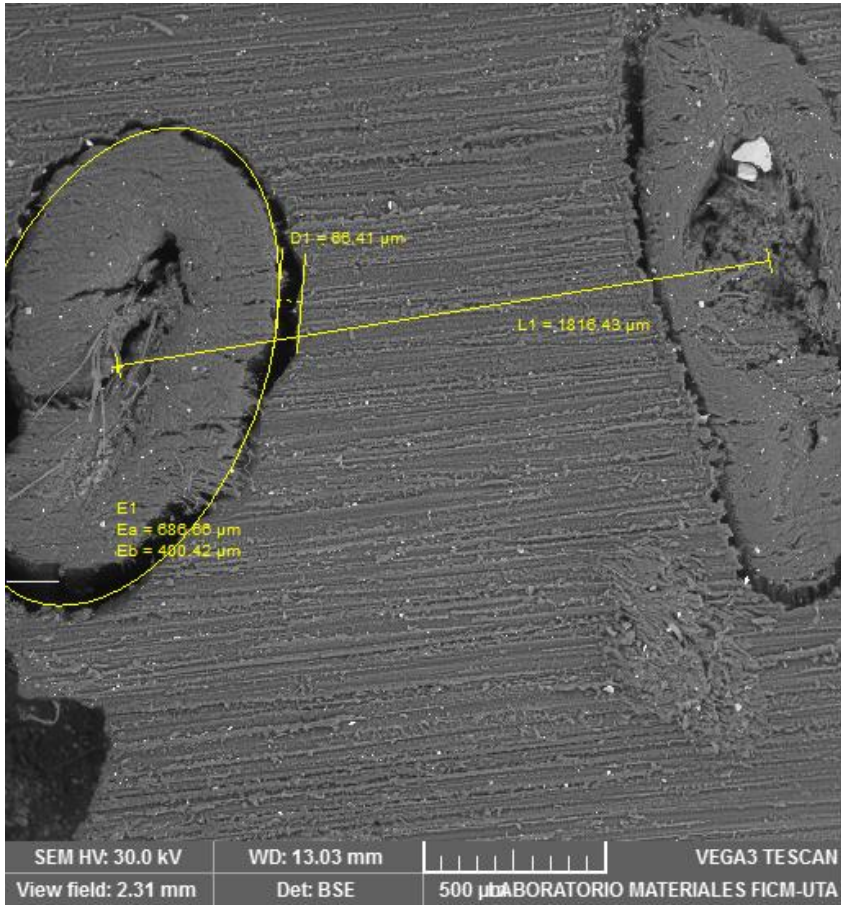
Fuente: [La autora]

Ficha Técnica 26. Recolección de datos para ensayos fractografía de material compuesto.

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO					
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA						
FICHA PARA RECOLECCIÓN DE DATOS DE ENSAYOS DE FRACTOGRAFÍA						
Fecha:	29/05/2017	Ciudad:	Ambato	Modo Bajo Vacío BSE		
Laboratorio:	Laboratorio de ciencia de materiales FICM- UTA					
Máquina:	Microscopio de barrido		Modelo:	TESCAN VEGA 3SBU		
Matriz:	Epoxi	N° Probetas:	2	Campo de Visión:	Wide Feld	
Refuerzo:	Stipa Ichu (Pasto de paramo)		Fracción Volumétrica:	Matriz:	45%	
	Algodón			Refuerzo:	55%	
Orientación de refuerzo:	Tejido Stipa Ichu +Algodón		Capa 1	90	Número de capas:	3
			Capa 2	45		
			Capa 3	90	Voltaje de Aceleración	30kV
Dimensiones:	15x15x5	Tipo de secado:	Natural con NaOH			
RESULTADOS DE FRACTOGRAFIA						
						
<p>SEM HV: 30.0 kV WD: 13.07 mm VEGA3 TESCAN View field: 659 µm Det: BSE 200 µm LABORATORIO MATERIALES FICM-UTA</p>			<p>SEM HV: 30.0 kV WD: 13.16 mm VEGA3 TESCAN View field: 1.82 mm Det: BSE 500 µm LABORATORIO MATERIALES FICM-UTA</p>			
Desprendimiento de una fibra de Stipa Ichu y matriz epoxi, y alargamiento de la fibra de Stipa Ichu			Interfaz matriz y refuerzo, presencia de dos fibras de Stipa Ichu de diametro variable en matriz epoxi.			

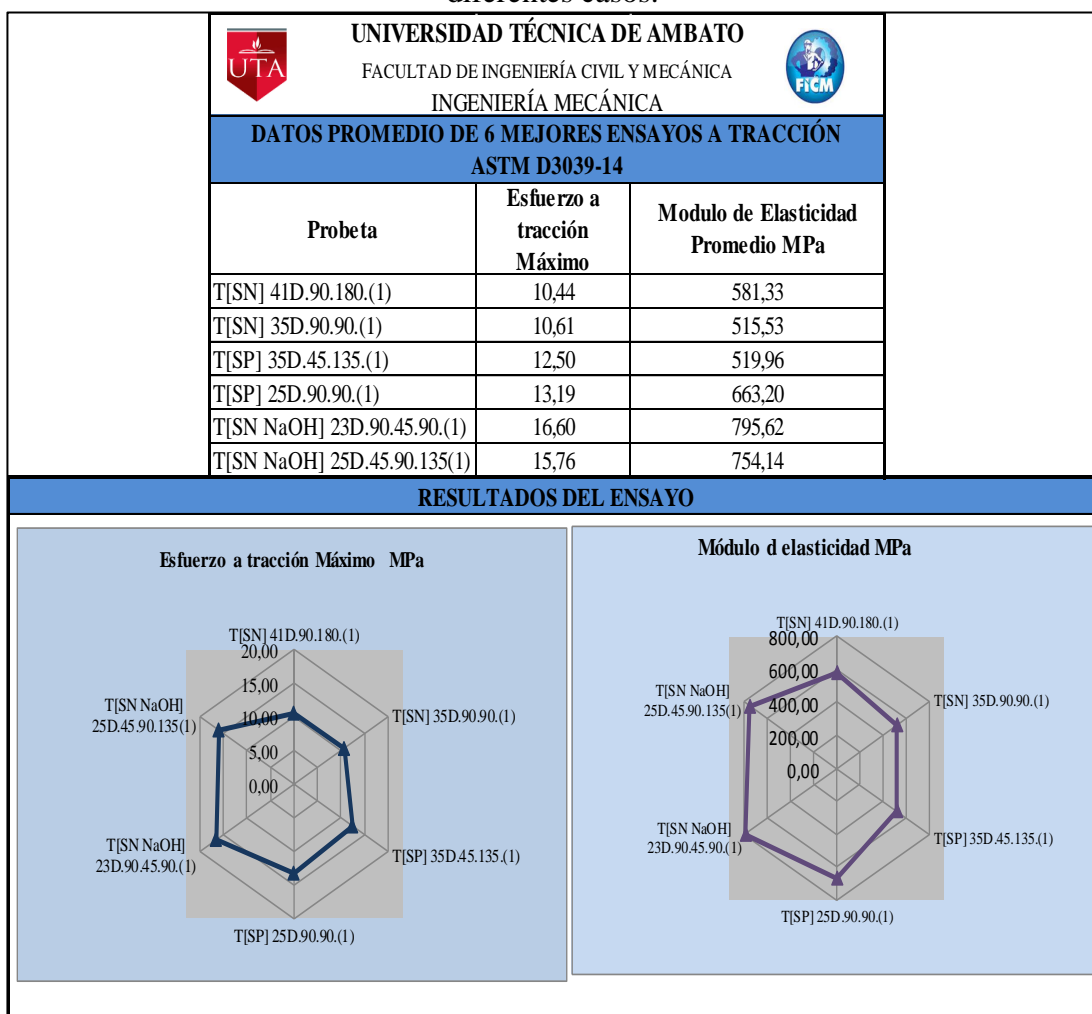
Fuente: [La autora]

Ficha Técnica 27. Recolección de datos para ensayos fractografía de material compuesto.

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO				
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA					
FICHA PARA RECOLECCIÓN DE DATOS DE ENSAYOS DE FRACTOGRAFÍA					
Fecha:	29/05/2017	Ciudad:	Ambato	Modo Bajo Vacío BSE	
Laboratorio:	Laboratorio de ciencia de materiales FICM- UTA				
Maáquina:	Microscopio de barrido		Modelo:	TESCAN VEGA 3SBU	
Matriz:	Epoxi	N° Probetas:	2	Campo de Visión:	Wide Feld
Refuerzo:	Stipa Ichu (Pasto de paramo)	Fracción Volumetrica:		Matriz:	45%
	Algodón			Refuerzo:	55%
Orientación de refuerzo:	Tejido Stipa Ichu +Algodón	Capa 1	90	Número de capas:	3
		Capa 2	45		
		Capa 3	90	Voltaje de Aceleración	30kV
Dimensiones:	15x15x5	Tipo de secado:	Natural con NaOH		
RESULTADOS DE FRACTOGRAFIA					
					
<p align="center">Interfaz entre matriz y refuerzo, distancia entre centros de fibra de Stipa Ichu y diametro de una fibra, resultados reflejados despues de la ruptura del material</p> <p align="center">Fuente: [La autora]</p>					

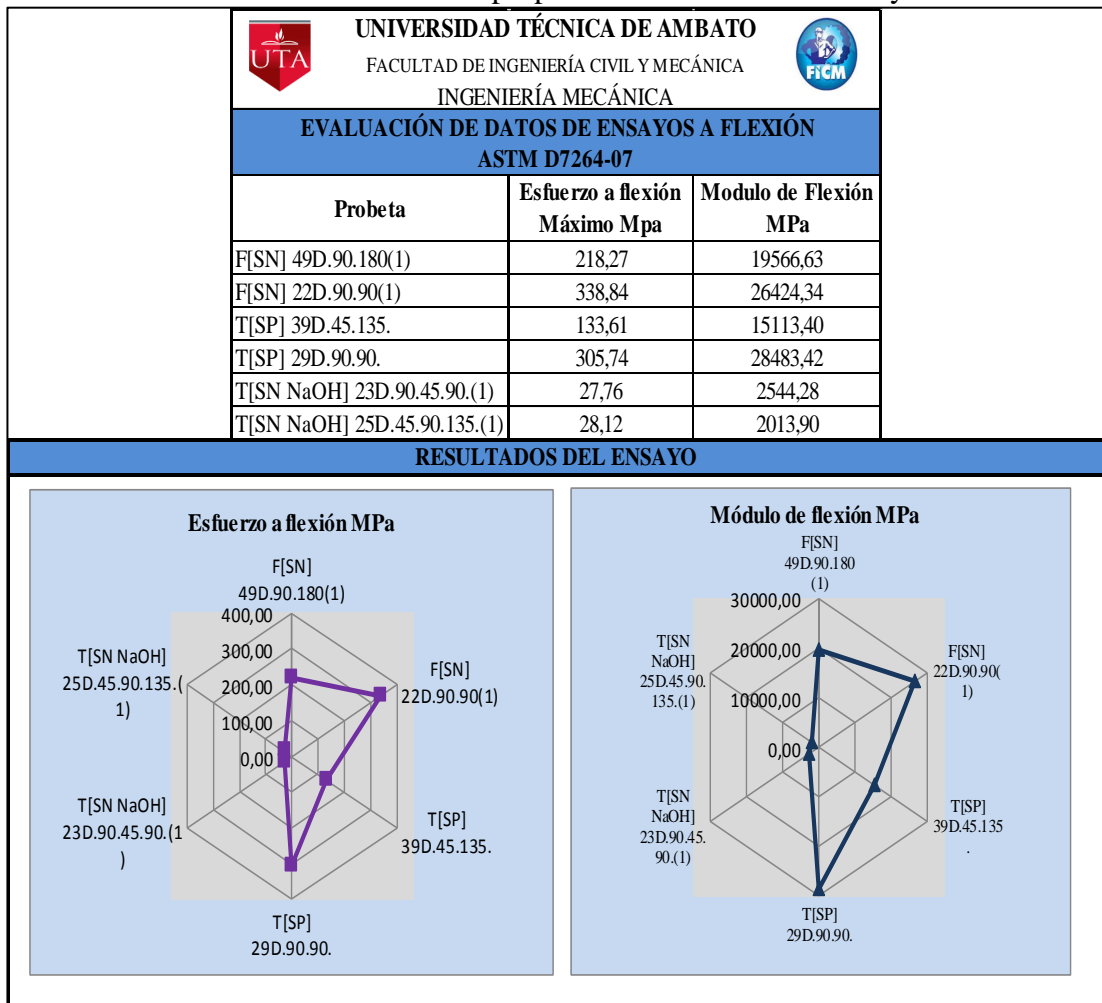
4.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS:

Ficha Técnica 28. Evaluación de propiedades mecánicas de ensayo a tracción de seis diferentes casos.



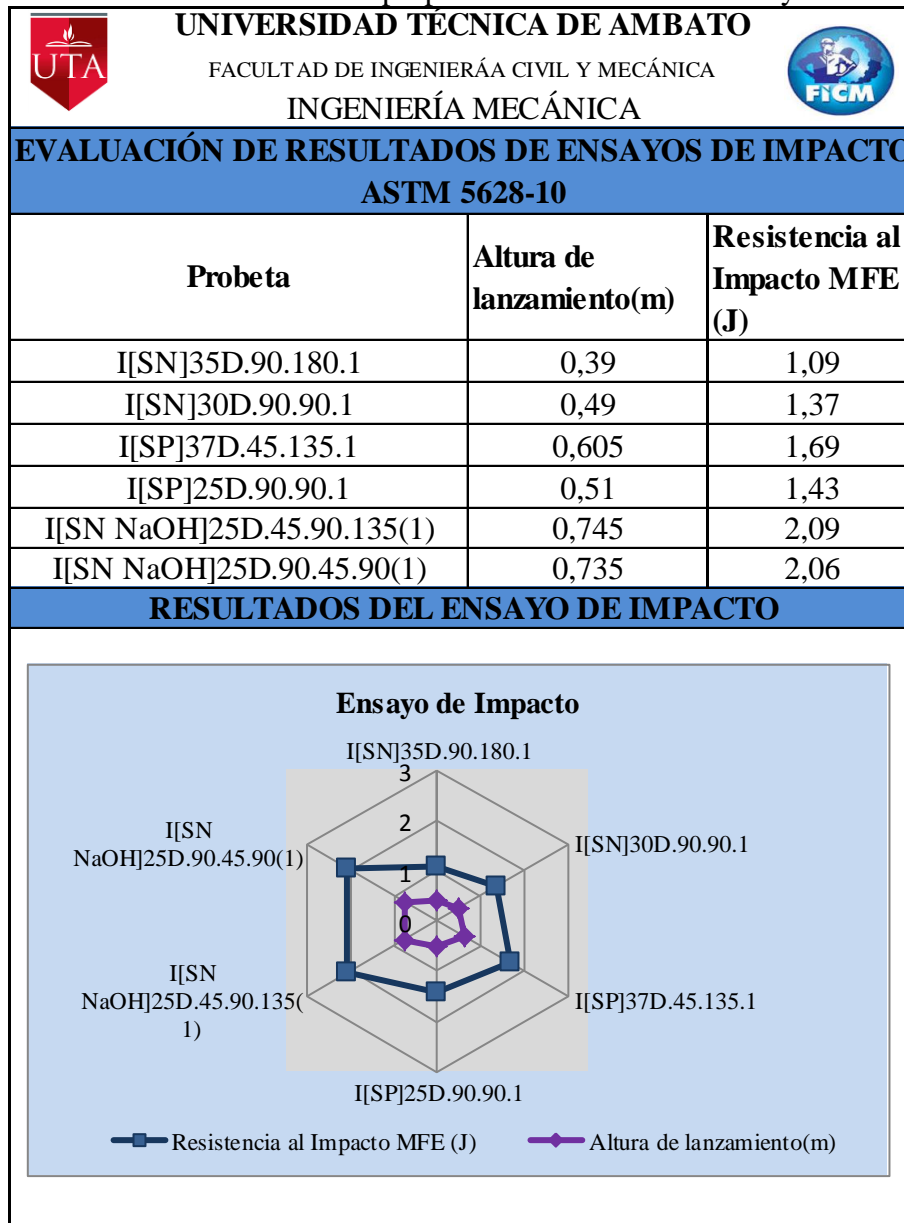
Fuente: [La autora]

Ficha Técnica 29. Evaluación de propiedades mecánicas de ensayo a flexión.



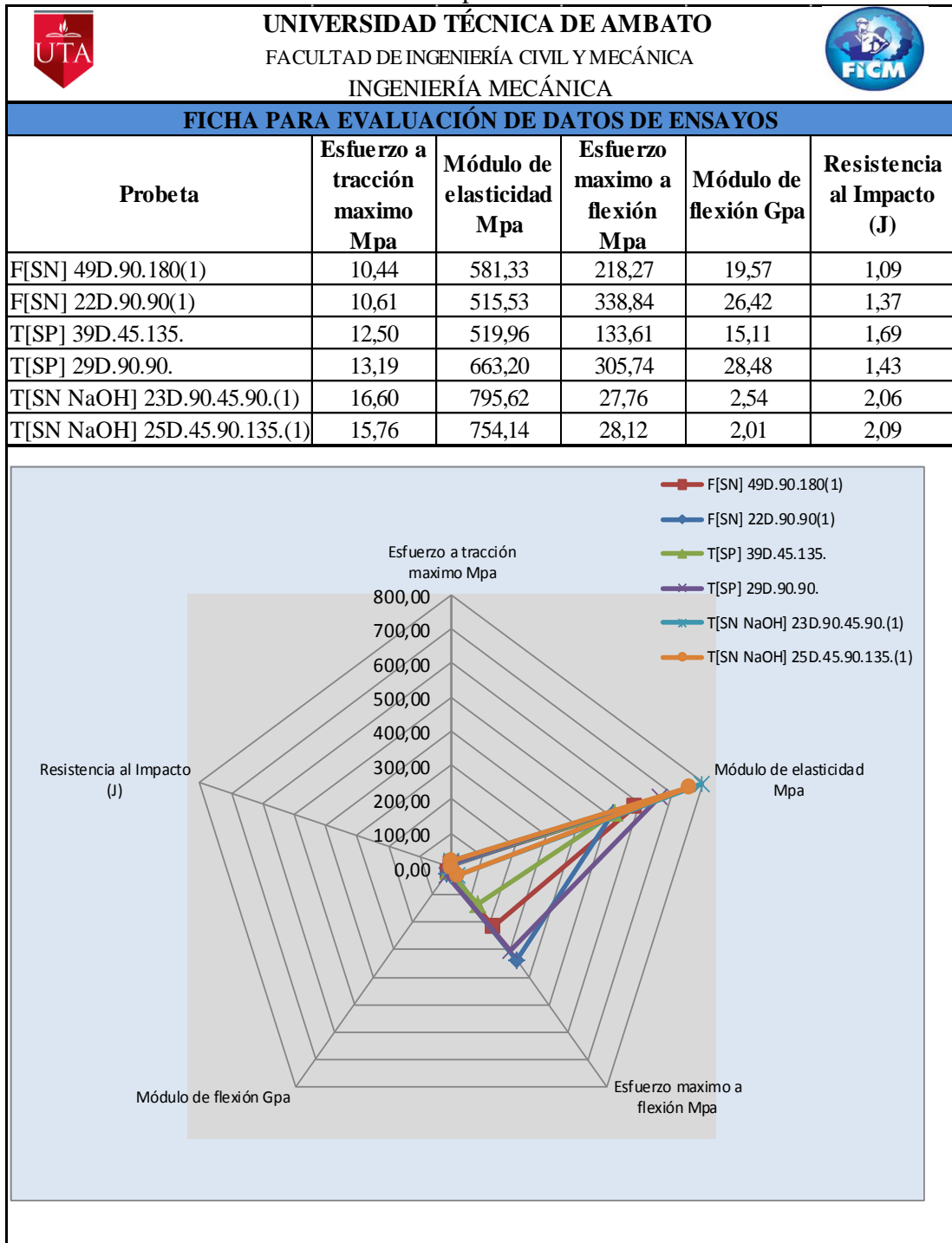
Fuente: [La autora]

Ficha Técnica 30. Evaluación de propiedades mecánicas de ensayos de impacto.



Fuente: [La autora]

Ficha Técnica 31. Evaluación de resultados en ensayos de tracción, flexión e impacto.



- Los resultados para ensayos a tracción reflejado en los gráficos radiales de la ficha técnica 23 siendo los mejores resultados T[SN NaOH] 23D.90.45.90. (Ensayo de tracción de tipo secado natural con limpieza de NaOH, 23 días de curado y orientaciones de fibra de Stipa ichu capa 1: 90° capa 2: 45°, capa 3:

90°, con esfuerzo a tracción máximo de 16,60MPa y Modulo de elasticidad de 795,62 MPa. Y el segundo caso con mejores resultados atracción es T[SN NaOH] 25D.45.90.135. (Ensayo de tracción de tipo secado natural con limpieza de NaOH, 25 días de curado y orientaciones de fibra de Stipa ichu capa 1: 45° capa 2: 90°, capa 3: 135°, con esfuerzo a tracción máximo de 15,76MPa y Modulo de elasticidad de 754,14 MPa.

- Los resultados para ensayos a flexión reflejados en los gráficos radiales de la ficha técnica 24 siendo los mejores resultados F[SN] 22D.90.90. (Ensayo a flexión de tipo secado natural, 22 días de curado y orientaciones de fibra de Stipa ichu capa 1: 90° capa 2: 90°, con esfuerzo de flexión máximo de 338,84 MPa y Modulo de Flexión de 26424,34 MPa. Un segundo caso con mejores resultados en flexión es F[SP] 29D.90.90. (Ensayo a flexión de tipo secado precocido, 29 días de curado y orientaciones de fibra de Stipa ichu capa 1:90° capa 2: 90°, con esfuerzo de flexión máximo de 305,74MPa y Modulo de elasticidad de 28483,42 MPa.
- Los resultados para ensayos de impacto reflejado en los gráficos radiales de la ficha técnica 25 siendo los mejores resultados I[SN NaOH] 23D.90.45.90. (Ensayo de impacto de tipo secado natural con limpieza de NaOH, 23 días de curado y orientaciones de fibra de Stipa ichu capa 1: 90° capa 2: 45°, capa 3: 90°, con altura de lanzamiento de 74,5cm y resistencia al impacto de 2,09 J. Y el segundo caso con mejores resultados de impacto es I[SN NaOH] 25D.45.90.135. (Ensayo de impacto de tipo secado natural con limpieza de NaOH, 25 días de curado y orientaciones de fibra de Stipa ichu capa 1: 45° capa 2: 90°, capa 3: 135°, altura de lanzamiento del dardo de 73,5 cm y resistencia al impacto o energía absorbida por la probeta es 2,06 J.

A continuación se procede a la evaluación del mejor caso analizado el cual posea las mejores características mecánicas, analizando un total de 6 casos, ponderando los resultados de promedio y desviación estándar, y el caso con mejor puntuación será considerado como ideal en el estudio.

Tabla 33. Interpretación de resultados a tracción, flexión e impacto; e identificación de la mejor configuración del material compuesto analizado.

Probeta	TRACCIÓN				FLEXIÓN				IMPACTO		Valor ponderado sobre 10
	Esfuerzo a tracción Máximo	Variación	Módulo de elasticidad Promedio	Variación	Esfuerzo a flexión	Variación	Módulo de flexión	Variación	Resistencia al impacto J	Variación	
T[SN] 41D.90.180.(1)	10,44	-2,74	581,33	-56,97	218,27	42,88	19566,63	3875,64	1,09	-0,53	6,00
T[SN] 35D.90.90.(1)	10,61	-2,57	515,53	-122,76	338,84	163,45	26424,34	10733,34	1,37	-0,25	6,00
T[SP] 35D.45.135.(1)	12,50	-0,69	519,96	-118,34	133,61	-41,78	15113,40	-577,59	1,69	0,07	6,80
T[SP] 25D.90.90.(1)	13,19	0,01	663,20	24,91	305,74	130,35	28483,42	12792,42	1,43	-0,19	9,20
T[SN NaOH] 23D.90.45.90.(1)	16,60	3,42	795,62	157,32	27,76	-147,63	2544,28	-13146,71	2,06	0,44	6,80
T[SN NaOH] 25D.45.90.135(1)	15,76	2,58	754,14	115,84	28,12	-147,27	2013,90	-13677,10	2,09	0,47	6,80
Promedio \bar{x}	13,18		638,30		175,39		15690,99		1,62		
Desviación estandar S_{n-1}	2,566		119,256		134,738		11437,69		0,4		
Valores limite	Desde	Hasta	Desde	Hasta	Desde	Hasta	Desde	Hasta	Desde	Hasta	
Valores aceptables	13,18	15,75	638,30	757,55	175,39	310,13	15690,99	27128,69	1,62	2,02	
Valores medianamente aceptables	13,18	10,62	638,30	519,04	175,39	40,65	15690,99	4253,30	1,62	1,22	
Valores no aceptables	10,62	inferior	519,04	inferior	40,65	inferior	4253,30	inferior	1,22	inferior	

Fuente: [La autora]

PONDERACIÓN	
Valores Aceptables	10
Valores medianamente	6
Valores no aceptables	2

Para la selección del mejor material se utiliza el valor promedio y la desviación estándar calculada en cada caso expuesto en este capítulo, la ponderación se realiza con valores con rangos generados a partir de: valores aceptables están entre el valor promedio y el valor promedio+ desviación estándar; Valores Medianamente aceptables están entre el valor promedio y valor promedio- desviación estándar y valores no aceptables aquellos que se encuentran por debajo del valor promedio – desviación estándar.

El mejor caso corresponde a los ensayos realizados al material compuesto con obtención de refuerzo (Stipa Ichu) con secado precocido, 25 días de curado, orientación de refuerzo de 90° en la capa 1 y 90° en la capa 2, fracción volumétrica 30% refuerzo y matriz 70%, mismo que ha sido evaluado en la tabla anterior con el código T[SP] 25D. 90.90. (1).

4.2.3. SIMULACIÓN DEL MEJOR CASO A FLEXIÓN EN ELEMENTOS FINITOS.

Considerando las características de una probeta de flexión de medidas establecidas en la norma ASTM D7264 (16X13X5) se procede la simulación considerando un material ortotropico es decir las propiedades mecánicas son únicas e independientes en tres direcciones perpendiculares entre sí, considerando una viga con un apoyo puntual en el centro con restricción en un extremo y móvil a lo largo del eje Y en el segundo extremo, para lo cual se presenta el siguiente esquema.

Con la tabulación de resultados a flexión se considera una mejor configuración de fibras al caso de 22 días de curado con orientaciones a 90° , 90° ; fracción volumétrica 30% de refuerzo y 70% de matriz, y se procede a una simulación en el software de elementos finitos.

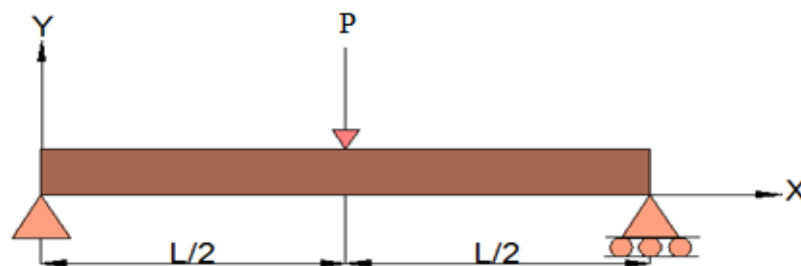


Figura 33. Configuración para simulación
Fuente: [La autora]

Se considera un material compuesto existente en la librería de workbench con las siguientes características.

Tabla 34. Parámetros para simulación del mejor caso a flexión.

Propiedad	Valor
Densidad del material compuesto	0,96 g/cm ³
Módulo de Young	504 MPa
Poisson	0,3
Ultimo esfuerzo a tracción	13,19MPa
Carga en el eje Y	609,42 N

Fuente: [La autora]

Estadística de mallado:

El modelo genera 850 nodos y 96 elementos mismo que presentado en un análisis estadístico de mallado y representado por una relación de aspecto indica la calidad de malla y si el elemento es adecuado.

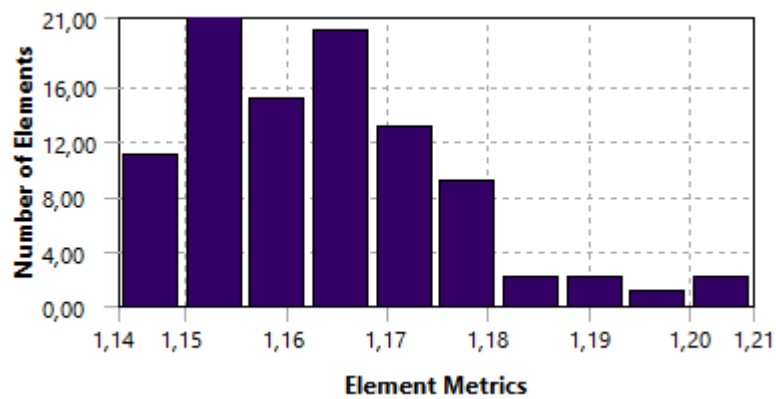
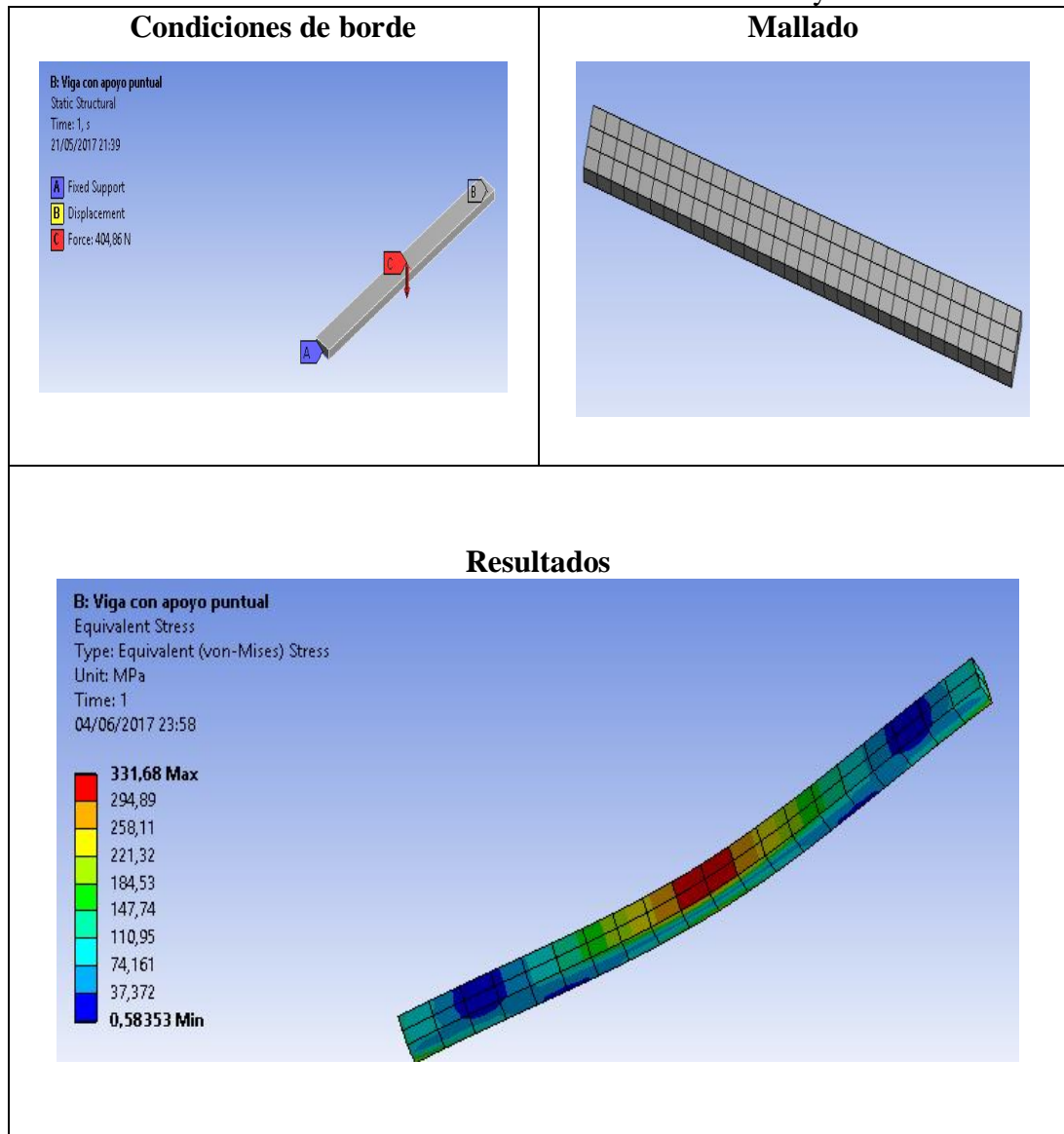


Figura 34. Relación de aspecto del mallado utilizado.

Fuente: [La autora]

Tabla 35. Resultados de la simulación en Ansys



Fuente: [La autora]

CÁLCULO DE ERROR

Va = Valor exacto (valor ensayado)

Ve = Valor aproximado (valor simulado)

Ea = Error Absoluto

Er = Error relativo

$$Ea = |Ve - Va| \quad \text{Ecuación. 22}$$

$$Er = \frac{Ea}{Ve} * 100 \quad \text{Ecuación. 23}$$

Va = Valor promedio de Esfuerzo máximo a flexión en configuración de refuerzo 90°,90° y fracion volumétrica (30%-70%): **305,73 MPa**

Ve = Valor simulado en Workbench de Esfuerzo máximo a flexión: **331,68 MPa**

$$Ea = |331,68 - 305,73|$$

$$Ea = 25,95$$

$$Er = \frac{25,93}{331,68} * 100$$

$$Er = 7,81\%$$

4.3. VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS

Concluido el capítulo 4 se procedió a la demostración de la hipótesis planteada en el capítulo 2, para esto se ha tomado en cuenta los valores de media aritmética o promedio y desviación estándar de cada caso ensayado, cuyos valores fueron representados en graficas de barras representando los valores de propiedades mecánicas tabuladas en los diferentes ensayos de tracción, flexión e impacto y para la evaluación del mejor caso se realizó una ponderación de datos y cálculos estadísticos.

Hipotesis Nula H_0 la variación de la orientación del refuerzo que conforma el material compuesto analizado no influye en las propiedades mecánicas.

Evaluada con una desviación estándar de los esfuerzos máximos a flexión, tracción y energía de impacto.

Hipotesis alternativa H_1 la variación de la orientación del refuerzo que conforma el material compuesto analizado si influye en las propiedades mecánicas.

Nivel de significancia: Denominado rango de aceptación de hipótesis alternativa considerando 0,05 para proyectos de experimentación o investigación.

Estadístico de prueba :Se utiliza la desviación estándar, varianza y medias, en este caso utilizamos desviación estándar.

Valor crítico: Un valor crítico es cualquier valor que separa la región crítica (donde rechazamos la hipótesis nula) de los valores del estadístico de prueba que no conducen al rechazo de la hipótesis nula.

Chi cuadrado: esta distribución no es simétrica, sus valores pueden ser cero o positivos, pero no negativos, calculada con la expresión:

$$X^2 = \frac{(n-1)S^2}{\sigma^2} \quad \text{Ecuación. 24}$$

Donde:

n = tamaño de la muestra

S^2 = desviación muestral

σ^2 = desviación poblacional

Tabla 36. Valores comparativos para cálculo de Chi cuadrada

Valores necesarios para chi cuadrada.	Esfuerzo máximo a tracción Mpa	Esfuerzo máximo a flexión Mpa	Resistencia al Impacto MFE (J)
Probeta	Desviación estandar S_{n-1}	Desviación estandar S_{n-1}	Desviación estandar S_{n-1}
T[SN] 41D.90.180.(1)	2,05	16,34	0,30
T[SN] 35D.90.90.(1)	1,17	97,68	0,30
T[SP] 35D.45.135.(1)	1,35	34,58	0,33
T[SP] 25D.90.90.(1)	3,68	49,54	0,67
T[SN NaOH] 23D.90.45.90.(1)	1,67	2,76	0,04
T[SN NaOH] 25D.45.90.135(1)	1,95	1,14	0,15
PROMEDIO	1,98	33,67	0,30

Fuente: [La autora]

Tabla 37. Comprobación de hipótesis con desviación estándar de esfuerzo máximo a tracción.

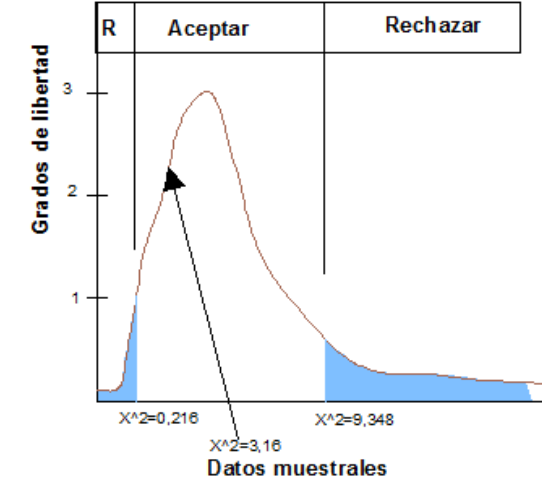
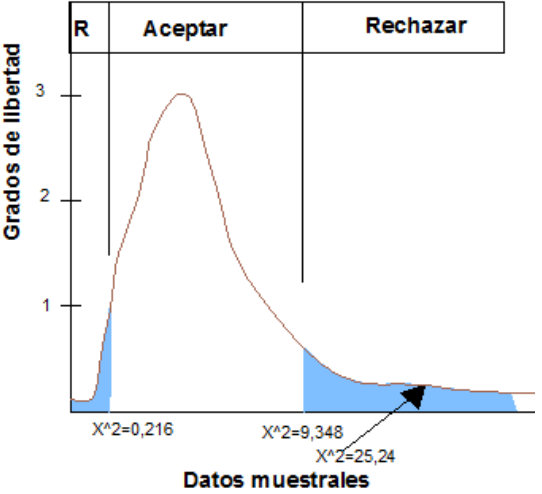
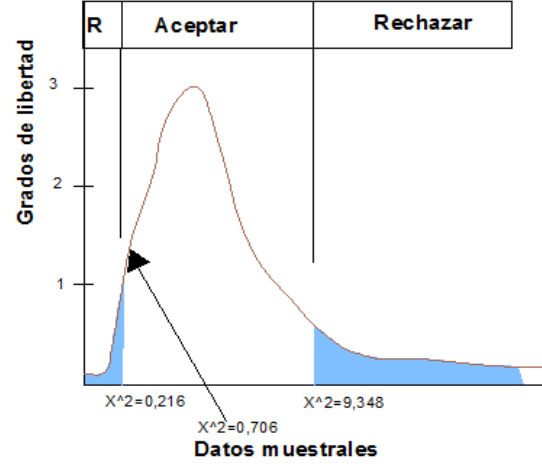
Esfuerzo máximo a tracción Mpa		
Promedio Desviación Estandar		1,98
T[SN] 41D.90.180.(1)		2,05
Cálculo de Chi cuadrado		3,217
Grados de libertad		3
Nivel de significancia		0,05
Valores críticos		0,975
		0,025
Datos muestrales		0,216
		9,348
<p>Conclusión: Existe suficiente evidencia para aceptar la aseveración de que la desviación estandar es igual a 1,98</p>		
Promedio Desviación Estandar		1,98
T[SN] 41D.90.180.(1)		1,17
Cálculo de Chi cuadrado		1,053
Grados de libertad		3
Nivel de significancia		0,05
Valores críticos		0,975
		0,025
Datos muestrales		0,216
		9,348
<p>Conclusión: Existe suficiente evidencia para aceptar la aseveración de que la desviación estandar es igual a 1,98</p>		
Promedio Desviación Estandar		1,98
T[SP] 35D.45.135.(1)		1,35
Cálculo de Chi cuadrado		1,387
Grados de libertad		3
Nivel de significancia		0,05
Valores críticos		0,975
		0,025
Datos muestrales		0,216
		9,348
<p>Conclusión: Existe suficiente evidencia para aceptar la aseveración de que la desviación estandar es igual a 1,98</p>		

Promedio Desviación Estandar	1,98	
T[SP] 25D.90.90.(1)	3,68	
Cálculo de Chi cuadrado	6,920	
Grados de libertad	3	
Nivel de significancia	0,05	
Valores críticos	0,975	
	0,025	
Datos muestrales	0,216	
	9,348	
Conclusión: Existe suficiente evidencia para aceptar la aseveración de que la desviación estandar es igual a 1,98		
Promedio Desviación Estandar	1,67	
T[SN NaOH] 23D.90.45.90.(1)	1,98	
Cálculo de Chi cuadrado	4,188	
Grados de libertad	3	
Nivel de significancia	0,05	
Valores críticos	0,975	
	0,025	
Datos muestrales	0,216	
	9,348	
Conclusión: Existe suficiente evidencia para aceptar la aseveración de que la desviación estandar es igual a 1,98		
Promedio Desviación Estandar	1,98	
T[SN NaOH] 25D.45.90.135(1)	1,95	
Calculo de Chi cuadrado	2,913	
Grados de libertad	3	
Nivel de significancia	0,05	
Valores críticos	0,975	
	0,025	
Datos muestrales	0,216	
	9,348	
Conclusión: Existe suficiente evidencia para aceptar la aseveración de que la desviación estandar es igual a 1,98		

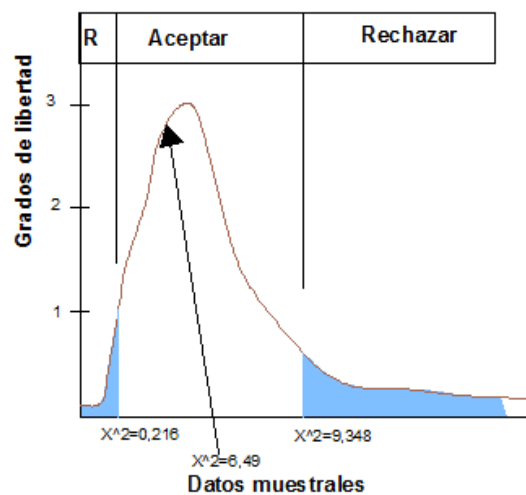
Fuente: [La autora]

Tabla 38. Comprobación de hipótesis con desviación estándar de esfuerzo máximo a flexión.

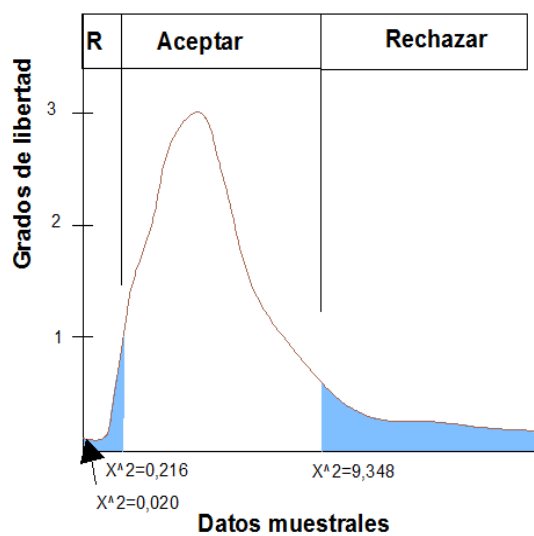
Esfuerzo máximo a flexión Mpa	
Promedio Desviación Estandar	33,67
T[SN] 41D.90.180.(1)	16,34
Cálculo de Chi cuadrado	0,706
Grados de libertad	3
Nivel de significancia	0,05
Valores críticos	0,975
	0,025
Datos muestrales	0,216
	9,348
<p>Conclusión: Existe suficiente evidencia para aceptar la aseveración de que la desviación estandar es igual a 1,98</p>	
Promedio Desviación Estandar	33,67
T[SN] 35D.90.90.(1)	97,68
Cálculo de Chi cuadrado	25,244
Grados de libertad	3
Nivel de significancia	0,05
Valores críticos	0,975
	0,025
Datos muestrales	0,216
	9,348
<p>Conclusión: Existe suficiente evidencia para no aceptar la aseveración de que la desviación estandar es igual a 1,98</p>	
Promedio Desviación Estandar	33,67
T[SP] 35D.45.135.(1)	34,58
Cálculo de Chi cuadrado	3,164
Grados de libertad	3
Nivel de significancia	0,05
Valores críticos	0,975
	0,025
Datos muestrales	0,216
	9,348
<p>Conclusión: Existe suficiente evidencia para aceptar la aseveración de que la desviación estandar es igual a 1,98</p>	



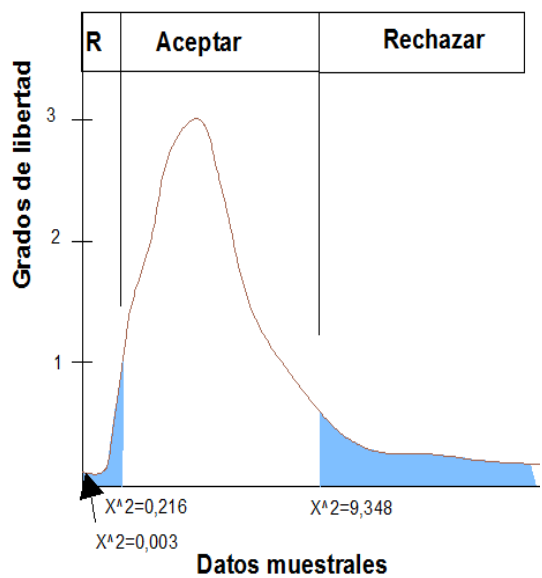
Promedio Desviación Estandar	33,67
T[SP] 25D.90.90.(1)	49,54
Cálculo de Chi cuadrado	6,494
Grados de libertad	3
Nivel de significancia	0,05
Valores críticos	0,975
	0,025
Datos muestrales	0,216
	9,348
<p>Conclusión: Existe suficiente evidencia para aceptar la aseveración de que la desviación estandar es igual a 1,98</p>	



Promedio Desviación Estandar	33,67
T[SN NaOH]	2,76
Cálculo de Chi cuadrado	0,020
Grados de libertad	3
Nivel de significancia	0,05
Valores críticos	0,975
	0,025
Datos muestrales	0,216
	9,348
<p>Conclusión: Existe suficiente evidencia para no aceptar la aseveración de que la desviación estandar es igual a 1,98</p>	



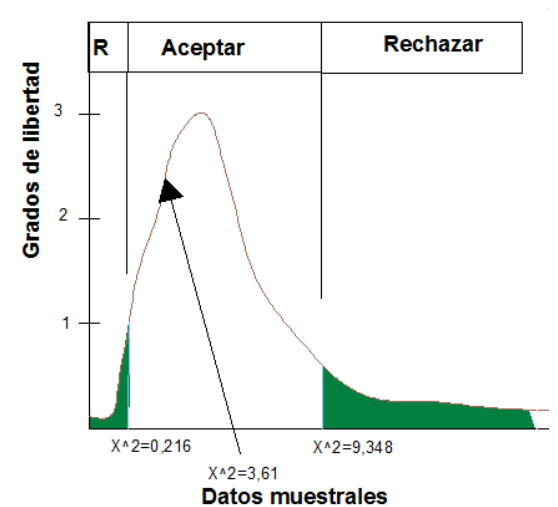
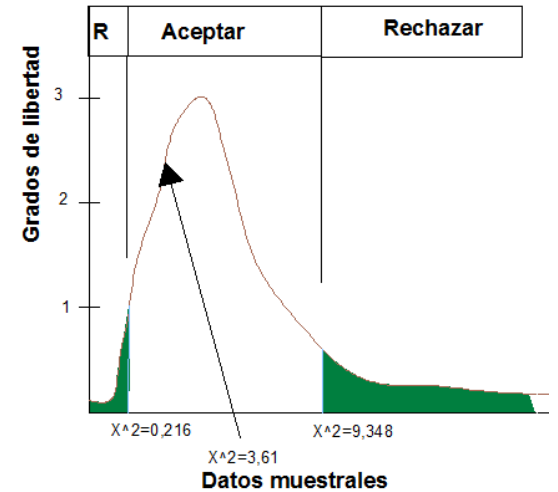
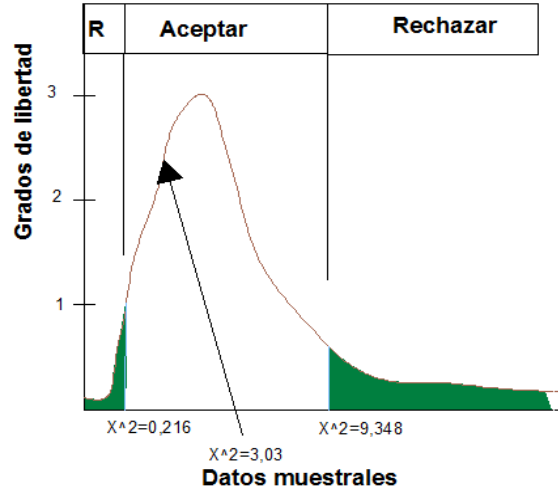
Promedio Desviación Estandar	33,67
T[SN NaOH]	1,14
Calculo de Chi cuadrado	0,003
Grados de libertad	3
Nivel de significancia	0,05
Valores críticos	0,975
	0,025
Datos muestrales	0,216
	9,348
<p>Conclusión: Existe suficiente evidencia para aceptar la aseveración de que la desviación estandar es igual a 1,98</p>	



Fuente: [La autora]

Tabla 39. Comprobación de hipótesis con desviación estándar de resistencia al impacto.

Resistencia al Impacto MFE (J)	
Promedio Desviación Estandar	0,30
T[SN] 41D.90.180.(1)	0,30
Cálculo de Chi cuadrado	3,034
Grados de libertad	3
Nivel de significancia	0,05
Valores críticos	0,975
	0,025
Datos muestrales	0,216
	9,348
<p>Conclusión: Existe suficiente evidencia para aceptar la aseveración de que la desviación estandar es igual a 1,98</p>	
Promedio Desviación Estandar	0,30
T[SP] 35D.45.135.(1)	0,33
Cálculo de Chi cuadrado	3,671
Grados de libertad	3
Nivel de significancia	0,05
Valores críticos	0,975
	0,025
Datos muestrales	0,216
	9,348
<p>Conclusión: Existe suficiente evidencia para aceptar la aseveración de que la desviación estandar es igual a 1,98</p>	
Promedio Desviación Estandar	0,30
T[SP] 35D.45.135.(1)	0,33
Cálculo de Chi cuadrado	3,671
Grados de libertad	3
Nivel de significancia	0,05
Valores críticos	0,975
	0,025
Datos muestrales	0,216
	9,348
<p>Conclusión: Existe suficiente evidencia para aceptar la aseveración de que la desviación estandar es igual a 1,98</p>	



Promedio Desviación Estandar	0,30	
T[SP] 25D.90.90.(1)	0,60	
Cálculo de Chi cuadrado	8,090	
Grados de libertad	3	
Nivel de significancia	0,05	
Valores críticos	0,975	
	0,025	
Datos muestrales	0,216	
	9,348	
<p>Conclusión: Existe suficiente evidencia para no aceptar la aseveración de que la desviación estandar es igual a 1,98</p>		
Promedio Desviación Estandar	0,30	
T[SN NaOH]	0,04	
Cálculo de Chi cuadrado	0,054	
Grados de libertad	3	
Nivel de significancia	0,05	
Valores críticos	0,975	
	0,025	
Datos muestrales	0,216	
	9,348	
<p>Conclusión: Existe suficiente evidencia para no aceptar la aseveración de que la desviación estandar es igual a 1,98</p>		
Promedio Desviación Estandar	0,30	
T[SN NaOH]	0,15	
Cálculo de Chi cuadrado	0,758	
Grados de libertad	3	
Nivel de significancia	0,05	
Valores críticos	0,975	
	0,025	
Datos muestrales	0,216	
	9,348	
<p>Conclusión: Existe suficiente evidencia para aceptar la aseveración de que la desviación estandar es igual a 1,98</p>		

Fuente: [La autora]

Tabla 40. Evaluación de resultados de Chi cuadrado.

Probeta	Esfuerzo máximo a tracción Mpa	Esfuerzo máximo a flexión Mpa	Resistencia al Impacto MFE (J)
	Desviación estandar S_{n-1}	Desviación estandar S_{n-1}	Desviación estandar S_{n-1}
T[SN] 41D.90.180.(1)	Si	Si	Si
T[SN] 35D.90.90.(1)	Si	No	Si
T[SP] 35D.45.135.(1)	Si	Si	Si
T[SP] 25D.90.90.(1)	Si	Si	Si
T[SN NaOH] 23D.90.45.90.(1)	No	No	No
T[SN NaOH] 25D.45.90.135(1)	No	No	Si

Fuente: [La autora]

Finalmente se comprueba la hipótesis con una aceptación de la aseveración que al cambiar la orientación el material tiene mejoría en la caracterización mecánica datos hallados en la distribución estadística de Chi cuadrada.

El mejor caso que presento mejores resultados de ensayos a tracción, flexión e impacto se realiza una ponderación con los valores promedio y desviación estándar y calculo estadístico se presenta al material T[SP]25D.90.90.(1) descrito como material compuesto de matriz epoxi reforzado con Stipa Ichu con secado precocido y algodón, con 25 días de curado, con orientaciones capa 1 : 90° y capa 2 : 90° y fracción volumétrica 30% refuerzo-70% matriz mismo que en la ponderación de datos supera al resto de casos.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1.CONCLUSIONES

- Con el análisis de resultados de ensayos realizados se determinó que con la variación de orientación de refuerzos así como variaciones en la fracción volumétrica empleada para matriz y refuerzo del material influyen en dichos resultados.
- Para la fabricación de probetas del nuevo material compuesto se determinó el número de capas, orientación de los refuerzos, tipo de secado del Stipa Ichu, utilización de un molde a compresión, dos fracciones volumétricas y la normativa correspondiente a ensayos de tracción flexion e impacto en materiales compuestos.
- Las probetas del material compuesto de matriz epoxi con refuerzo de Stipa Ichu y algodón fueron ensayadas a tracción, flexión, impacto, y fractografía determinando el esfuerzo máximo a tracción y flexión, módulo de elasticidad, módulo de flexión, altura de lanzamiento del dardo, cantidad de energía absorbida por la probeta, adherencia entre matriz y refuerzo.
- De los casos analizados en el presente trabajo experimental mediante el análisis de resultados se escoge al mejor caso, siendo este con un proceso de secado de fibra de Stipa Ichu precocido, con 25 días de curado y orientación de fibra de 90° en al capa 1 y 90-° en la capa 2 y fracción volumétrica 30% refuerzo-70% matriz.
- El proceso de obtención de fibra de Stipa Ichu si influye en los resultados de ensayos propuestos en el trabajo experimental: en tracción el secado natural con limpieza de NaOH es el mejor resultado, seguido del secado precocido el cual elimina lignina de los tallos, el secado natural no ayudo en este caso a mejorar las propiedades mecánicas; en flexión el mejor proceso de obtención de fibra es el secado natural, seguido del secado precocido y en este caso la utilización de NaOH para la limpieza de la fibra no ayuda en la mejoría de

resultados; en impacto la obtención de la fibra de Stipa Ichu si influye en los resultados, siendo con secado natural con limpieza de NaOH, seguido del secado precocido y finalmente secado natural.

5.2.RECOMENDACIONES

- Se debe fabricar un molde dimensionado con el área calculada con la sumatoria de todas las probetas, esto ayuda que el espesor de las probetas sea uniforme.
- En la superficie limpia después de pulir la aplicación de cera desmoldante, dejar secar por 30 minutos al sol el alcohol polivinílico hasta que esté completamente seco, esto ayuda a que el material no se pegue al molde.
- Asegurarse que el material de refuerzo este completamente sumergido en la matriz, esto ayudara a evitar la creación de burbujas en el material.
- Retirar el alcohol polivinilico presente como en las probetas de tracción antes de pegar las sobremontas, esto evita que las sobremontas se desprendan de la probeta al realizar el ensayo.
- Curar las probetas a temperatura ambiente, evitar temperaturas altas o que este en contacto con el sol.
- Utilizar equipos de protección personal tales como mascarilla, gafasm guantes de caucho, para realizar la limpieza de la fibra con NaOH y manipular la mezcla de resina epoxi más secante.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] J. G. Paredes, «Estudio de polimeros Híbridos Estratificados de Matriz Poliéster Reforzada con fibra de Vidrio y cabuya como Material Alternativo y su incidencia en las propiedades mecánicas en Guardachoques para Buses,» Ambato, 2012.
- [2] M. Contreras y W. Hormaza, «Fractografía de la fibra natural extraída de fique y de un material compuesto reforzado con tejido de fibra de fique y matriz resina Poliéster,» *Revista Latinoamericana de metalurgia y Materiales*, vol. Volumen Suplemento , nº S1, p. 15, 2008.
- [3] W. D. Callister, *Materials Science and Engineering*, Estados Unidos: Jhon Wiley, 2007.
- [4] V. H. Guerrero, J. L. Dávila y M. N. Rosas, *Nuevos Materiales Aplicaciones Estructurales e Industriales*, Quito: Imprefepp, 2011.
- [5] M. Ashby, *Materials Selection in Mechanical Desing*, Boston: Butterworth Heinemann, 1999.
- [6] F. Stupenengo, *Materiales y Materias Primas*, Argentina: Saavedra, 2011.
- [7] A. Besednjak, *Materiales Compuestos Procesos de fabricación de embarcaciones*, Barcelona: UPC, 2005.
- [8] M. Groover, *Fundamentos de la Manufctura Moderna Materiales, Procesos y Sistemas*, México: Pearson, 1997.
- [9] I. PTM & W Industries, *Laminating Resing for Composite Parts*, Santa Fe: PTM & W.
- [10] F. Lockuán, *La industria textil y su control de calidad*, 2013.
- [11] M. Macía, «Las plantas de fibra,» *Botánica Económica de los Andes Centrales*, pp. 381-382, 2006.
- [12] C. Becerra , «APEC PERU,» 01 Julio 2014. [En línea]. Available: <http://www.andina.com.pe/agencia/noticia-plantean-uso-del-ichu-como-aislante-termico-viviendas-zona-andina-563189.aspx>. [Último acceso: 10 Noviembre 2016].
- [13] «Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials ASTM

E8/E8M – 09,» 2010.

- [14] B. Zünkle, «Solicitud a tracción, compresión y cizallamiento.,» de *Ejercicios sobre elasticidad y resistencia de materiales*, Barcelona , REVERTÉ, S.A., 2003, p. 63.
- [15] W. D. Callister, «Propiedades mecánicas de los metales,» de *Introducción a la ciencia e ingeniería de los materiales, Volumen I*, Barcelona, España, REVERTÉ, S.A., 2007, pp. 114-131.
- [16] INEN, «Materiales compuestos plásticos reforzados con fibras. Determinación de la resistencia a la cizalla interlaminar aparente por el método de ensayo de flexión con poca separación entre apoyos (ISO 14130:1997, IDT) NTE INEN-ISO 14130,» 2014.
- [17] ISO, «ISO 178: 2003 "Plastics - Determination of flexural properties ISO 178: 2003",» 2003.
- [18] R. D.V., N. R. Schott y M. G, «Flexural stress-Strain Curve,» de *Plastics Institute of America Plastics Engineering, Manufacturing & Data Handbook Volumen 2*, USA, Copyring (c) 2001 by Kluter Academic Publishers., 2001, p. 1303.
- [19] J. D., J. Hsu, W. Michael y J. R, «Materials,» de *AAOS Atlas of Orthoses and Assistive Devices*, China, Copyring (c) by Mosby, Inc., an affiliate of Elsevier Inc., 2008, pp. 15-20.
- [20] L. M. Vélez Moreno, «Módulo de elasticidad,» de *Materiales industriales. Teoría y aplicaciones*, 2008, p. 120.
- [21] C. Rodriguez , «Patrones y mecanismos de fractura en los materiales compuestos de matriz polimérica reforzados con fibras,» Nuevo León, 2013.
- [22] Becerra, Metodología de la investigación científica, Ambato: UTA, 2006.
- [23] . K. Albarracin, L. Jaramillo y M. Albuja, «Obtención de Bioetanol Anhidro a partir de Paja (Stipa Ichu),» *Revista Politecnica*, vol. 36, nº 2, p. 9, 1015.
- [24] W. W. Joseph W. Giachino, «Ensayo de tracción.,» de *Técnica y práctica de la soldadura*, España, Reverté. S. A. 1981, 2007, p. 413.
- [25] C. Núñez, A. Roca y J. Jorba, «Resistencia mecánica obtenida a través del ensayo de tracción. Ensayos no Destructivos,» de *Comportamiento mecánico de los materiales. Volumen II. Ensayos mecánicos*, Barcelona, Publicacions 1

Editions de la Universitat de Barcelona , pp. 21-22.

[26] R. Carles Riba, «Ensayo de impacto,» de *Selección de materiales en el diseño de máquinas*, Barcelona, Editions de la Universitat Politècnica de Catalunya, SL, 2008, pp. 22-23.

[27] ISO, « DIN EN ISO 179-1 "Plastics – Determination of Charpy impact properties",» 2001.

[28] S. Millán Gómez, «Ensayos no Destructivos,» de *Procedimientos de mecanizado*, pp. 79-81.

ANEXOS

ANEXO 1: Ficha técnica de resina Epoxi

ANEXO 2: Norma para ensayo de tracción ASTM D3039

ANEXO 3: Norma para ensayo de flexión ASTM D7264M

ANEXO 4: Norma para ensayo de impacto ASTM D5628-10

ANEXO 5: Informe técnico de los ensayos a tracción y flexión del material compuesto emitido por el Centro de Fomento Carrocero Metalmecánico de Tungurahua

ANEXO 6: Planos

ANEXO 1: Ficha técnica de resina Epoxi

MATERIAL SAFETY DATA SHEET

SECTION I — PRODUCT INFORMATION

AEROPOXY PH3660

PTM & W INDUSTRIES, INC. **PHONE NUMBER: (562)946-4511**
10640 S. PAINTER AVE. **CHEMICAL TRANSPORTATION EMERGENCY:**
SANTA FE SPRINGS, CA. 90670-4092 **CHEMTREC (800) 424-9300**

DATE OF PREPARATION: 2/9/2007 SUPERSEDES: 6/7/2006

PROPER SHIPPING NAME : Corrosive Liquid, N.O.S.

CONTAINS : MODIFIED AMINE MIXTURE

HAZARD CLASS..... : 8

UN NUMBER : UN1760

PACKAGING GROUP..... : III

HAZARD LABEL(S) : Corrosive

HMIS CODES:

HEALTH..... = 3	0 = MINIMAL	3 = SERIOUS
FLAMMABILITY = 1	1 = SLIGHT	4 = SEVERE
REACTIVITY..... = 0	2 = MODERATE	

⇒ PERSONAL PROTECTION RATING TO BE SUPPLIED BY USER DEPENDING ON USE CONDITIONS.

SECTION II — PRODUCT/COMPOSITION

THE PRECISE COMPOSITION OF THIS PRODUCT IS PRIVILEGED INFORMATION. A MORE COMPLETE DISCLOSURE CAN BE PROVIDED TO A HEALTH, SAFETY, OR REGULATORY PROFESSIONAL IF REQUIRED.

NO.	COMPONENT	CAS. NO.	PERCENT
1	MODIFIED AMINE MIXTURE	N.A.	< 99%
2	DIPHENYLOLPROPANE	80-05-7	< 1%

SECTION III — HAZARD STATUS

NO.	CANCER	REPRO-TOX	TARGET ORGANS	ACGIH/TLV	OSHA/PEL
1	NO	NO	SKIN, EYE, LUNG	N.A.mg/M ³	N.A.mg/M ³
2	NO	NO	LIVER, KIDNEY	N.A.	N.A. mg/M3

SECTION IV — REGULATORY STATUS

A. CAL SAFE DRINKING WATER & TOXIC ENFORCEMENT ACT OF 1986

NO.	CHEMICAL NAME	CAS. NO.	CANCER/REPRO.TOX	QUANTITY
THIS PRODUCT MAY CONTAIN TRACES OF, OR OTHER PROP. 65 LISTED CHEMICALS AS IMPURITIES. HOWEVER, NONE ARE USED AS INGREDIENTS.				

B. CERCLA — 40 CFR 302

RELEASES EXCEEDING THE REPORTABLE QUANTITY (RQ) MUST BE REPORTED TO THE NATIONAL RESPONSE CENTER. (800)424-8802

RQ = 100lbs. (UNLISTED HAZARDOUS WASTE - CHARACTERISTIC OF CORROSIVITY)

C. OSHA — 29 CFR 1910

ACCORDING TO OSHA CRITERIA THE FOLLOWING COMPONENT(S) ARE HAZARDOUS:

1	MODIFIED AMINE MIXTURE	N.A.	< 99%
2	DIPHENYLOLPROPANE	80-05-7	< 1%

D. RCRA — 40 CFR 261

PRODUCT IS AN UNLISTED RCRA CORROSIVE WASTE.

E. SARA TITLE III — 52 CFR 13378, 52 CFR 21152

NO.	RQ(lbs.) (•1)	TPQ(lbs.) (•2)	SEC.313 (•3)	313 CAT. (•4)	311/312 (•5)
1	NONE	NOT LISTED	NO	NONE	H1
2	NONE	NOT LISTED	YES	NONE	H1,H2

OTHER SARA SUBSTANCE(S) IF PRESENT ARE ALL BELOW THE DE MINIMUS CONCENTRATION(S).

- 1 = REPORTABLE QUANTITY OF EXTREMELY HAZARDOUS SUBSTANCE, SEC. 302
- 2 = THRESHOLD PLANNING QUANTITY, EXTREMELY HAZARDOUS SUBSTANCE, SEC. 302
- 3 = TOXIC CHEMICAL, SEC. 313 (INDIVIDUAL CHEMICAL LISTED)
- 4 = TOXIC RELEASE INVENTORY FORM CATEGORY SEC. 313 (40 CFR 372.65 C)
- 5 = HAZARD CATEGORY FOR SARA SEC. 311/312 REPORTING
- H1 = IMMEDIATE (ACUTE) HEALTH HAZARD H2 = DELAYED (CHRONIC) HEALTH HAZARD
- P3 = FIRE HAZARD P4 = SUDDEN PRESSURE RELEASE HAZARD P5 = REACTIVE HAZ.

F. TSCA — 44 CFR 59764

ALL COMPONENTS LISTED.

G. VOC — SCAQMD RULES

NO.	CHEMICAL	QUANTITY	VP mm HG	gms./l. @ 20°C
	NIL			

NOTE: THIS PRODUCT DOES NOT CONTAIN SOLVENTS, BUT MAY CONTAIN INGREDIENTS WITH VP'S LOW ENOUGH TO BE EMITTED IF HEATED ALONE. WHEN 2 PART RESINS AND HARDENERS ARE PROPERLY MIXED TOGETHER THESE INGREDIENTS REACT TOGETHER AND ARE CONSUMED WITHOUT SIGNIFICANT ATMOSPHERIC EMISSIONS.

SECTION V — PHYSICAL DATA

PHYSICAL STATE	LIQUID
COLOR.....	AMBER
SP. GR.....	0.96
DENSITY.....	8.0 lbs./gal.

SECTION VI — FIRE AND EXPLOSION HAZARD DATA

FLASH POINT : $\geq 200^{\circ}\text{F}$ (FOR PRODUCT OR LOWEST FLASH POINT INGREDIENT)
FLAMMABILITY CLASSIFICATION: COMBUSTIBLE CLASS (IIIB)
EXTINGUISHING MEDIA: WATER FOG, DRY CHEMICAL, CARBON DIOXIDE, OR FOAM.
NOTE: EITHER ATMOSPHERE-SUPPLY OR AIR-PURIFYING RESPIRATORS SHOULD BE AVAILABLE FOR FIRE FIGHTERS (20 CFR 1910.134).

SECTION VII — HEALTH HAZARD DATA

EFFECTS OF OVEREXPOSURE:

ACUTE:

- **EYES:** CAUSES SEVERE CONJUNCTIVAL IRRITATION, CORNEAL INJURY AND IRITIS.
- **SKIN:** MAY CAUSE IRRITATION, BURNS, ULCERATION, OR SKIN SENSITIZATION.
- **INHALATION:** VAPORS ARE IRRITATING AND MAY CAUSE TEARS, BURNING OF NOSE AND THROAT, COUGHING, WHEEZING, NAUSEA, AND VOMITING.
- **INGESTION:** MODERATELY TOXIC, MAY CAUSE MOUTH AND THROAT BURNS, ABDOMINAL PAIN, NAUSEA, VOMITING, WEAKNESS, THIRST, AND COMA.

CHRONIC:

- AMINE VAPORS MAY CAUSE LIVER & KIDNEY INJURY. EYE, SKIN OR LUNG DISORDERS MAY DEVELOP OR BE AGGRAVATED BY AMINES.

EMERGENCY AND FIRST AID PROCEDURES:

- **EYES:** IMMEDIATELY FLUSH EYES WITH LARGE AMOUNTS OF WATER FOR 15 MINUTES. GET MEDICAL ATTENTION.
- **SKIN:** WASH AFFECTED AREA IMMEDIATELY WITH LARGE AMOUNTS OF SOAP AND WATER. REMOVE AND WASH CONTAMINATED CLOTHING BEFORE REUSE. CONTACT A PHYSICIAN IF IRRITATION OCCURS.
- **INHALATION:** REMOVE VICTIM TO FRESH AIR AND PROVIDE OXYGEN IF BREATHING IS DIFFICULT. GET MEDICAL ATTENTION.
- **INGESTION:** DO NOT INDUCE VOMITING. GIVE LARGE QUANTITIES OF WATER. CALL A PHYSICIAN IMMEDIATELY. NEVER GIVE ANYTHING BY MOUTH TO AN UNCONSCIOUS PERSON.

SECTION VIII — REACTIVITY DATA

- **STABILITY:** STABLE UNDER NORMAL STORAGE CONDITIONS. UNSTABLE AT ELEVATED TEMPERATURES.
- **INCOMPATIBILITY:** STRONG OXIDIZING AGENTS, STRONG LEWIS OR MINERAL ACIDS.
- **HAZARDOUS DECOMPOSITION PRODUCTS:** OXIDES OF CARBON AND NITROGEN AND OTHER UNKNOWN ORGANIC COMPOUNDS.

SECTION IX — SPILL OR LEAK PROCEDURES

- **IF MATERIAL IS SPILLED:** AVOID CONTACT WITH MATERIAL. PERSONS NOT WEARING PROPER PROTECTIVE EQUIPMENT (SEE BELOW) SHOULD BE EXCLUDED FROM THE AREA UNTIL CLEAN UP IS COMPLETE. DIKE AREA TO PREVENT SPILL SPREADING AND SCOOP UP EXCESS TO RECOVERY CONTAINERS. ABSORB REMNANT ON NONCOMBUSTIBLE MATERIAL SUCH AS CLAY AND SHOVEL INTO CONTAINERS FOR DISPOSAL.
- **WASTE DISPOSAL METHOD:** DISPOSE OF WASTE IN ACCORDANCE WITH FEDERAL, STATE, AND LOCAL REGULATIONS.

SECTION X — SPECIAL PROTECTION INFORMATION

- **RESPIRATORY PROTECTION:** NOT NORMALLY NECESSARY UNLESS THE MATERIAL IS BEING USED IN SUCH A WAY AS TO PRODUCE DUST, MIST, VAPOR, FUMES, OR SMOKE, IN WHICH CASE NIOSH APPROVED RESPIRATORY PROTECTION SHOULD BE USED.
- **VENTILATION:** SHOULD BE SUFFICIENT TO CONTROL ANY DUST, MIST, VAPOR OR FUMES PRODUCED BY PROCESSING OR HANDLING METHOD. BREATHING OF VAPOR MUST BE AVOIDED.
- **HAND PROTECTION:** IMPERVIOUS GLOVES, NEOPRENE OR RUBBER GLOVES.
- **EYE PROTECTION:** SPLASH PROOF GOGGLES OR SAFETY GLASSES WITH SIDE SHIELDS.
- **OTHER PROTECTIVE EQUIPMENT:** CLEAN, BODY COVERING CLOTHING AND FOOTWEAR.

SECTION XI — SPECIAL PRECAUTIONS

- AVOID SKIN AND EYE CONTACT.
- AVOID BREATHING VAPOR, MIST OR FUMES.
- ENSURE THAT ALL CONTAINERS ARE PROPERLY LABELED TO PREVENT ACCIDENTAL INGESTION OR IMPROPER DISPOSAL.
- RESEAL PARTLY USED CONTAINERS.
- WASH WITH SOAP AND WATER BEFORE EATING, DRINKING OR USING TOILET FACILITIES.
- STORE UNDER COOL, DRY CONDITIONS AND AWAY FROM OPEN FLAMES AND HIGH TEMPERATURES.
- OBSERVE CONDITIONS OF GOOD INDUSTRIAL HYGIENE AND SAFE WORKING PRACTICE.

We believe that the information contained herein is correct as of the date of this Material Safety Data Sheet. Since the use of this information and these opinions and the conditions of use of this product are not within the control of PTM & W, it is the user's obligation to determine the conditions of safe use of the product. PTM & W makes no warranty, expressed or implied regarding the accuracy of these data. PTM & W assumes no responsibility for injury from the use of the product described herein. Further, there are many federal, state, and local laws and regulations governing chemical products and it is beyond the scope of this MSDS to determine which of these apply and it is the responsibility of the user to determine how these effect their use of the product.



★

NEW HARDENER ★

PR2032 Laminating Resin For Composite Parts

★

DESCRIPTION

PR2032 is a medium viscosity, unfilled, light amber laminating resin that is designed for structural production applications. When used with the three hardeners listed here, the combinations provide excellent wet-out of fiberglass, carbon and aramid fibers. Special additives have been incorporated into these products to promote chemical adhesion to fabrics made with these fibers. Typical applications include aircraft and sail plane skins and structural components, auto bodies, radomes and prototype parts.

Hardeners PH3660, PH3663 and PH3665 are the standard production hardeners for fabricating composite parts. PH3660 has a one hour working time, PH3663 has 90 minutes, and PH3665 has been developed to provide a longer working time for larger and/or more complicated laminates when needed. All three of these hardeners will cure completely at room temperature without additional heat.

★ PH3663 is a newer addition to the AEROPoxy line that offers some unique characteristics for certain uses. The mixed viscosity of the system when using PH3663 is considerably lower than the other laminating hardeners. This allows easy penetration of thicker fabrics during hand lay-up, and provides a good system for the infusion process. Also, even though it has a working time 50% longer than PH3660, it cures in essentially the same time as PH3660. Cured properties with the PH3663 maintain the high standard set by the AEROPoxy line.

PH3630 is a faster setting hardener that can be used for patching and repairs, and smaller laminates. PH3630 has a similar viscosity to PH3660 and PH3665, so handling will be similar, except for the faster cure.

These products can be considered low toxicity materials that have minimum hazard potential when used properly and in a clean and responsible manner. PR2032 does not contain any hazardous diluents or extenders. Hardeners PH3660, PH3663, PH3665 and PH3630 do not contain methylene dianiline (MDA), or other potentially harmful aniline derivatives. Neither the resin nor the hardeners will crystallize in normal shipping and storage conditions, including refrigerated storage. Both components have excellent moisture resistance, for minimal problems in high humidity environments.

PRODUCT SPECIFICATIONS

★

	PR2032	PH3630	PH3660	PH3663	PH3665	ASTM Method
Color	Lt. Amber	Amber	Amber	Lt. Amber	Amber	Visual
Viscosity, @77°F, centipoise	1,650 cps	150-175 cps	190-200 cps	35 cps	200-250 cps	D2392
Specific Gravity, gms./cc	1.15	0.96	0.96	0.97	0.95	D1475
Mix Ratio, By Wt.		30 minutes	1 hour	90 minutes	2 hours	PTM&W
Pot Life, 4 fl. Oz. Mass @ 77°F		100 : 27 By Weight, or 3 to 1 By Volume		100 : 25 By Weight	100 : 27 By Wt, or 3 to 1 By Vol.	D2471

HANDLING and CURING

★

PH3660, PH3663 and PH3665 are the hardeners typically used to fabricate high performance composite parts. PH3660 has a one hour working time, and can be used for all sizes of parts using the contact layup method of fabrication. If the vacuum bagging technique is being used, PH3660 should only be used for smaller parts. Hardener PH3665 has a longer working time that is useful for vacuum bagging larger parts before the resin has gelled. PH3663 falls between these two hardeners, and can be used for parts somewhat larger than would be produced with PH3660, while maintaining a faster cure than with PH3665. In any case, with either of these three hardeners, plan to allow the laminate to cure at least 24 hours, at a minimum of 72°F, before moving the structure. This can be accelerated by applying heat after the resin has gelled. Be careful using heat guns and lamps, as they tend to concentrate heat, producing localized hot spots which can damage the epoxy. These systems can be cured at ambient temperatures, or given an elevated temperature cure. The higher the curing temperature, the higher the resulting service temperature. With a higher temperature cure, a safe service temperature over 200°F can be obtained.

Hardener PH3630 will cure completely at room temperature, and does not require a heat cure. It is intended for fast repairs or additions to a primary structure, and for parts that will be exposed to lower service temperatures. All primary structures should be fabricated with PH3660, PH3663 or PH3665 to take advantage of their longer work life and better service temperature capabilities.

PR2032 Laminating Resin For Composite Parts, Page 2

TYPICAL MECHANICAL PROPERTIES



	PR2032 PH3630	PR2032 with PH3660				PR2032 PH3663	PR2032 PH3665	ASTM Method
		Neat Resin (Unreinforced)	With Fiberglass	With Graphite	With Kevlar			
Mix Ratio	100 : 27 By Weight, or 3 to 1 By Volume					100 : 25 By Weight	100:27 By Wt. 3 to 1 By Vol.	PTM&W
Pot Life, @ 77°F	30 minutes	1 hour				1.5 Hour	2 hours	D2471
Color	Lt. Amber	Light Amber				Light Amber	Lt. Amber	Visual
Mixed Viscosity, @77°F, cps	800-875 cps	900 - 950 cps				440 cps	925-975 cps	D2393
Cured Hardness, Shore D	88 Shore D	88 Shore D				87 Shore D	87 Shore D	D2240
Specific Gravity, grams, cc	1.16	1.11				1.109	1.12	D1475
Density, lb./cu. Inch	.0420	.0401				.0401	.0410	D792
Specific Volume, cu. in./lb.	23.8	25.0				24.96	24.4	D792
Tensile Strength, psi ⁽¹⁾	45,350 psi	9828 psi	45,170 psi	75,640 psi	45,400 psi	40,010 psi	45,870 psi	D638
Elongation at Break, % ⁽¹⁾	1.91 %	1.90 %	1.96 %	0.91 %	1.31 %	1.67 %	1.98 %	D638
Tensile modulus, psi ⁽¹⁾	2,800,000 psi	418,525 psi	2,620,000 psi	8,170,000 psi	3,770,000 psi	2,647,520 psi	2,520,000 psi	D638
Flexural Strength, psi ⁽¹⁾	68,167 psi	16,827 psi	62,285 psi	96,541 psi	34,524 psi	65,461 psi	66,667 psi	D790
Flexural Modulus, psi ⁽¹⁾	2,770,000 psi	462,910 psi	2,560,000 psi	6,480,000 psi	2,500,000 psi	2,639,766 psi	3,050,000 psi	D790
Glass Transition Temp., Tg	194°F	196°F				194°F	194°F	TMA
Thermal Coef. of Expansion Range:	3.7 x 10 ⁻⁵ in./in./°F	4.3 x 10 ⁻⁵ in./in./°F				4.14 x 10 ⁻⁵ in./in./°F	4.15 x 10 ⁻⁵ in./in./°F	D696
⁽¹⁾ Fiberglass Properties Derived with A 10 Ply Laminate, Hand Lay-up, Style 181 Glass Fabric, 55% Glass Content; Graphite Properties with a 10 Ply Laminate of 5.6 oz. 3K Fabric; and Kevlar Properties with A 10 Ply Laminate of 5 oz. Kevlar								

PACKAGING WEIGHTS



	Quart Kit	Gallon Kit	Pail Kit	Drum Kit				
PR2032	2.25 lb.	7.5 lb.	48 lb.	500 lb.				
PH3630, PH3660 or PH3665	.66 lb.	2 lb.	13 lb.	135 lb.				
PH3663	.6 lb.	1.9 lb.	12 lb.	126 lb.				
Kit	2.9 lb.	2.85 lb.	9.5 lb.	9.4 lb.	61 lb.	60 lb.	635 lb.	626 lb.

SAFETY and HANDLING

PTM&W AEROPOXY epoxy products are made from raw materials carefully chosen to minimize or even eliminate toxic chemicals, and therefore offer the user high performance products with minimum hazard potential when properly used. Generally, the PTM&W AEROPOXY epoxy resins and hardeners will present no handling problems if users exercise care to protect the skin and eyes, and if good ventilation is provided in the work areas. However, all epoxy resins and hardeners can be irritating to the skin, and prolonged contact may result in sensitization; and breathing of mist or vapors may cause allergic respiratory reaction, especially in highly sensitive individuals. As such, avoid contact with eyes and skin, and avoid breathing vapors. Wear protective rubber apron, clothing, gloves, face shield or other items as required to prevent contact with the skin. In case of skin contact, immediately wash with soap and water, followed by a rinse of the area with vinegar, and then a further wash with soap and water. The vinegar will neutralize the hardener and lessen the chances of long term effects. Use goggles, a face shield, safety glasses or other items as required to prevent contact with the eyes. If material gets into the eyes, immediately flush with water for at least 15 minutes and call a physician. Generally, keep the work area as uncluttered and clean as possible, and clean up any minor spills immediately to prevent accidental skin contact at a later time. Keep tools clean and properly stored. Dispose of trash and empty containers properly. Do not use any of these types of products until Material Safety Data Sheets have been read and understood.

AEROPOXY PR2032 w-4 Hardeners Bulletin / ZW-38 / 062408-C2



PTM&W Industries, Inc.

10640 S. Painter Avenue Santa Fe Springs, CA 90670-4092
562-946-4511 800-421-1518 FAX: 562-941-4773

Visit Us At: www.aeropoxy.com Send Questions To: info@aeropoxy.com

ANEXO 2: Norma para ensayo de 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 reappraisal. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reappraisal.

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

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 *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.*

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.

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 Ma-

trix 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 dimensions, shown within square brackets: $[M]$ for mass, $[L]$ for length, $[T]$ for time, $[\Theta]$ for thermodynamic temperature,

¹ This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee D-30 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.

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_x) 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 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

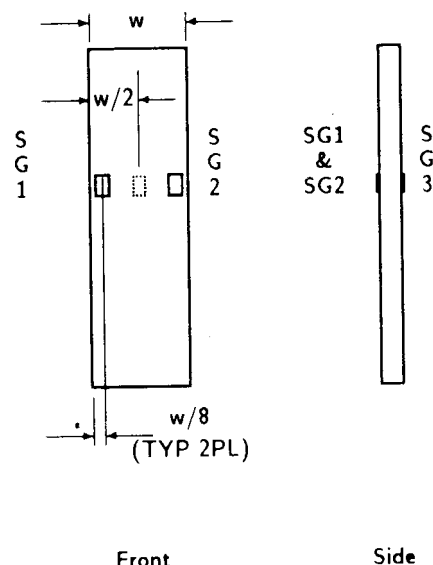


FIG. 1 Gage Locations for System Alignment Check Coupon

strain levels ($>1000 \mu\epsilon$). A system showing excessive bending for the given application should be readjusted or modified.

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

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

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:

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

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

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

7.3.1.1 Surface preparation of fiber-reinforced composites in accordance with Practice E 1237 can penetrate the matrix material and cause damage to the reinforcing fibers resulting in improper coupon failures. Reinforcing fibers should not be exposed or damaged during the surface preparation process. The strain gage manufacturer should be consulted regarding surface preparation guidelines and recommended bonding agents for composites pending the development of a set of standard practices for strain gage installation surface preparation of fiber-reinforced composite materials.

⁷ 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.

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

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

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

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

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

7.4 Conditioning Chamber—When conditioning materials at nonlaboratory environments, a temperature/vapor-level-controlled environmental conditioning chamber is required that shall be capable of maintaining the required temperature to within $\pm 3^\circ\text{C}$ [$\pm 5^\circ\text{F}$] and the required relative vapor level to within ± 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 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

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

^ASee 8.2.2 or Table 2 for recommendations.

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.

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	—	—

^ADimensions 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.

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:

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

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 ($23 \pm 3^\circ\text{C}$ [$73 \pm 5^\circ\text{F}$] and $50 \pm 10\%$ 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.

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).

DRAWING NOTES:

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

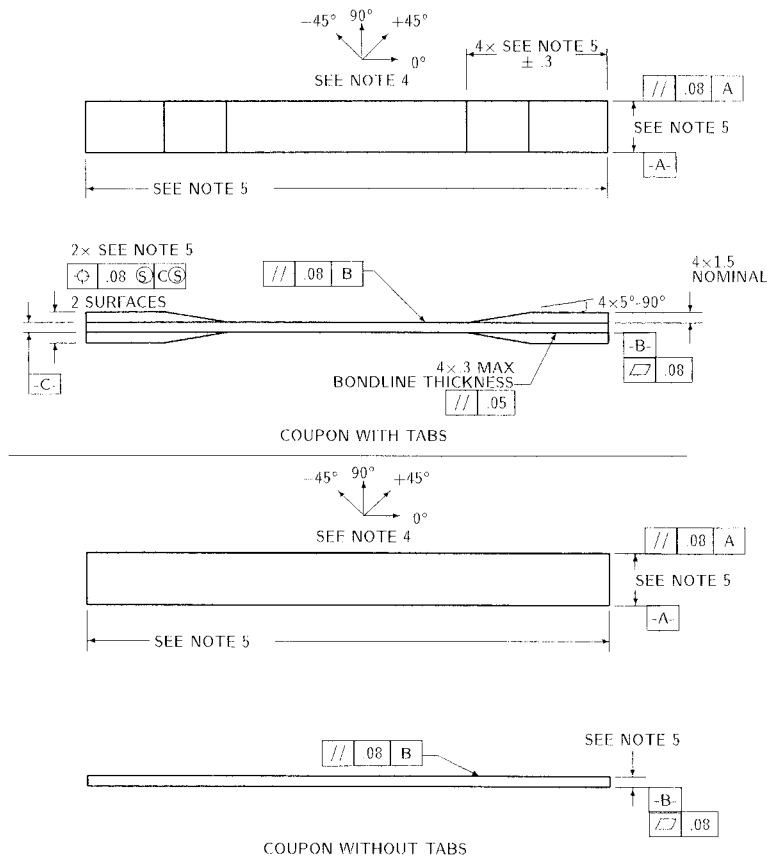


FIG. 2 Tension Test Specimen Drawing (SI)

11.3 *Speed of Testing*—Set the speed of testing to effect a nearly constant strain rate in the gage section. If strain control is not available on the testing machine, this may be approximated by repeated monitoring and adjusting of the rate of load application to maintain a nearly constant strain rate, as measured by strain transducer response versus time. The strain rate should be selected so as to produce failure within 1 to 10 min. If the ultimate strain of the material cannot be reasonably estimated, initial trials should be conducted using standard speeds until the ultimate strain of the material and the compliance of the system are known, and the strain rate can be adjusted. The suggested standard speeds are:

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

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

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

ASTM D 3039/D 3039M

DRAWING NOTES:

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

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

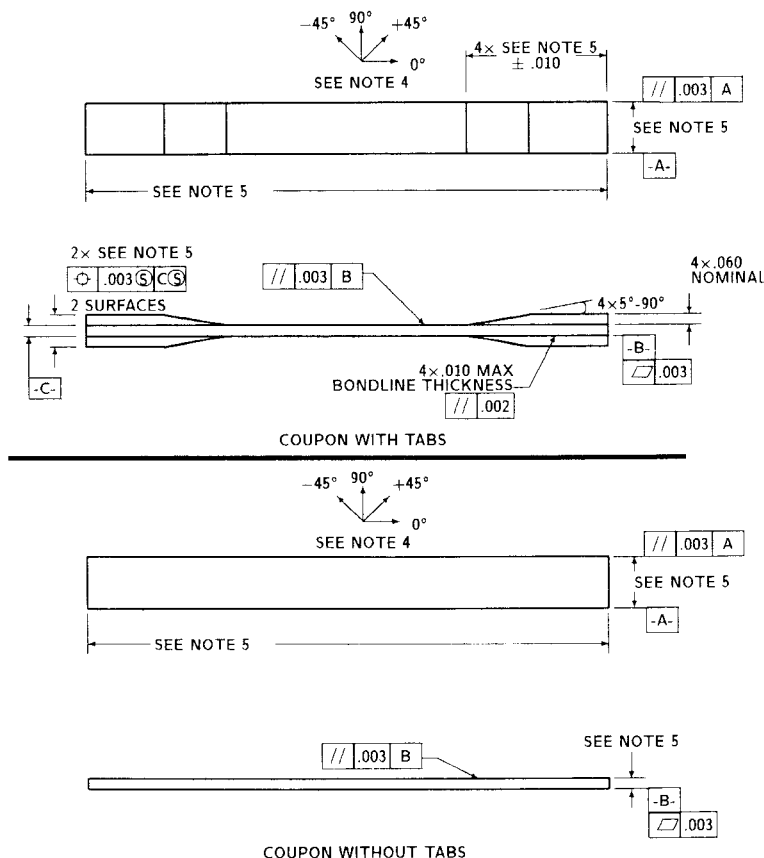


FIG. 3 Tension Test Specimen Drawing (inch-pound)

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 percent bending is no more than 3%. When bending is greater

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	
μϵ ^A	μϵ	μϵ
1000 ^B	3000	2000

^A1000 μϵ = 0.001 absolute strain.

^BThis strain range is to be contained in the lower half of the stress/strain curve. For materials that fail below 6000 μϵ, a strain range of 25 to 50 % of ultimate is recommended.

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, μϵ;
- ϵ_b = indicated strain from back transducer, μϵ; 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.

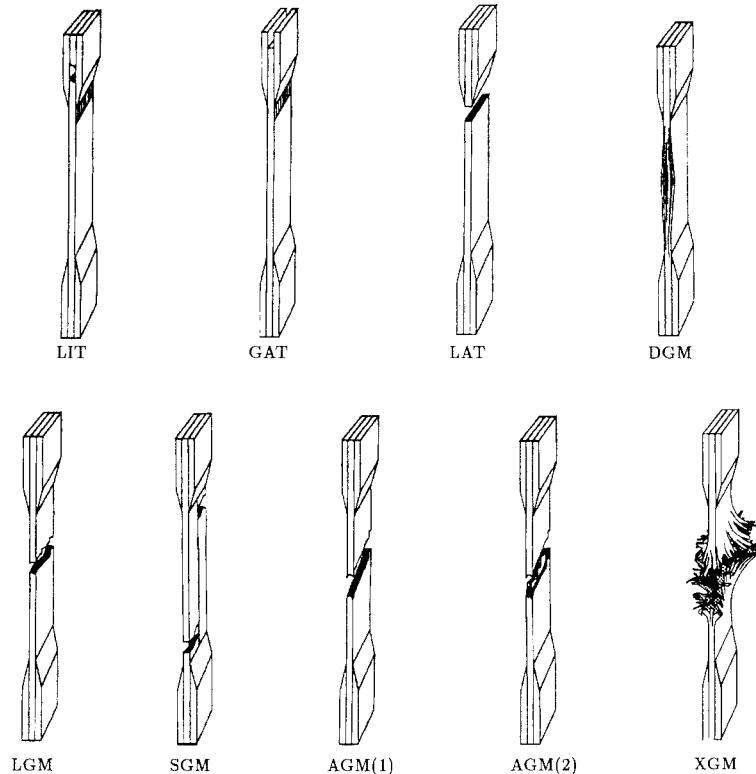
$$F^{tu} = P^{max}/A \tag{6}$$

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

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



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

FIG. 4 Tensile Test Failure Codes/Typical Modes

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.

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

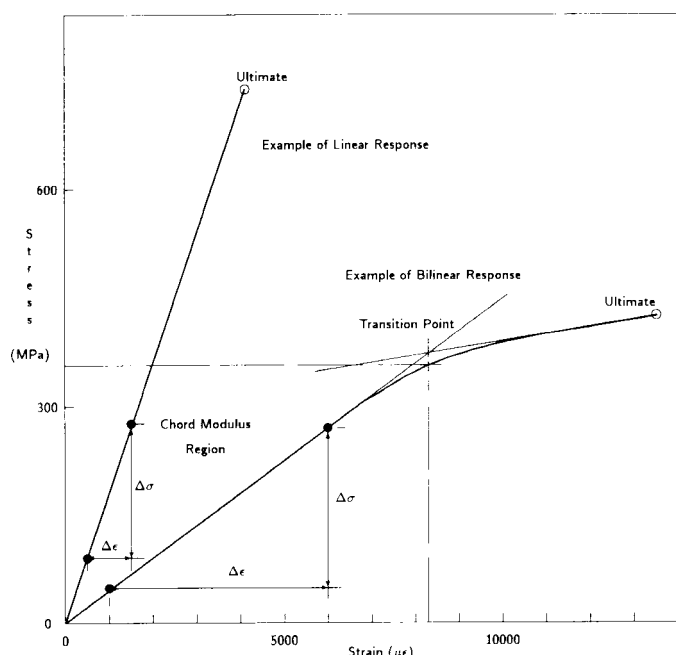


FIG. 5 Typical Tensile Stress-Strain Curves

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, 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 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 traveler and traveler geometry, and the procedure used if other than that specified in the test method.

13.1.17 Relative humidity and temperature of the testing laboratory.

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

13.1.19 Number of specimens tested.

13.1.20 Speed of testing.

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

13.1.22 If strain 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.

TABLE 5 Averages of the Coefficients of Variation

Parameter	Average of $S_r/X, \%$	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, material 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

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

**NOTICE: This standard has either been superseded and replaced by a new version or discontinued.
Contact ASTM International (www.astm.org) for the latest information.**

 **D 3039/D 3039M**

The American Society for Testing and Materials 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 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, 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 ensayo de flexión ASTM D7264M



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>.

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

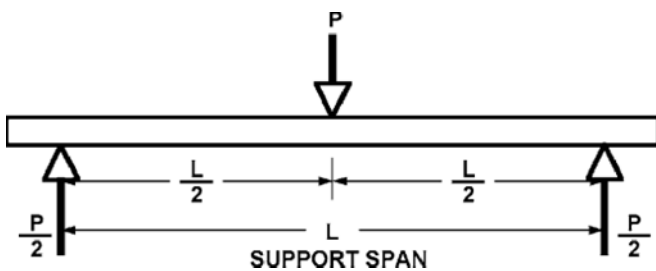


FIG. 1 Procedure A—Loading Diagram

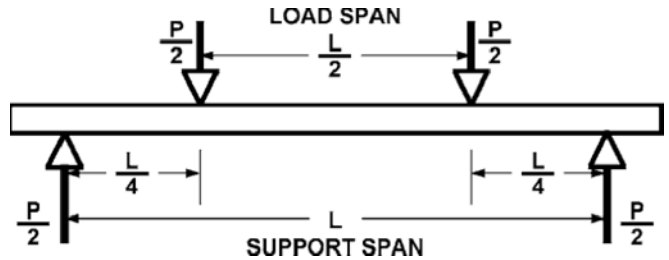


FIG. 2 Procedure B—Loading Diagram

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

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

5. Significance and Use

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

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

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

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

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

6. Interferences

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

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.

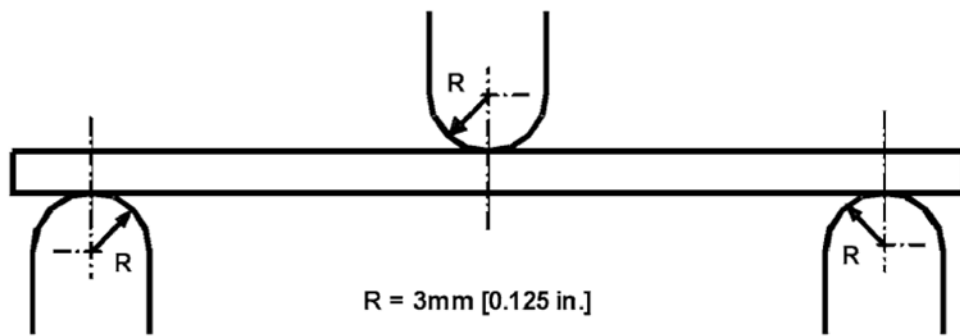
6.4 Loading noses may be fixed, rotatable or rolling. Typically, for testing composites, fixed or rotatable loading noses are used. The type of loading nose can affect results, since non-rolling paired supports on either the tension or compression side of the specimen introduce slight longitudinal forces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

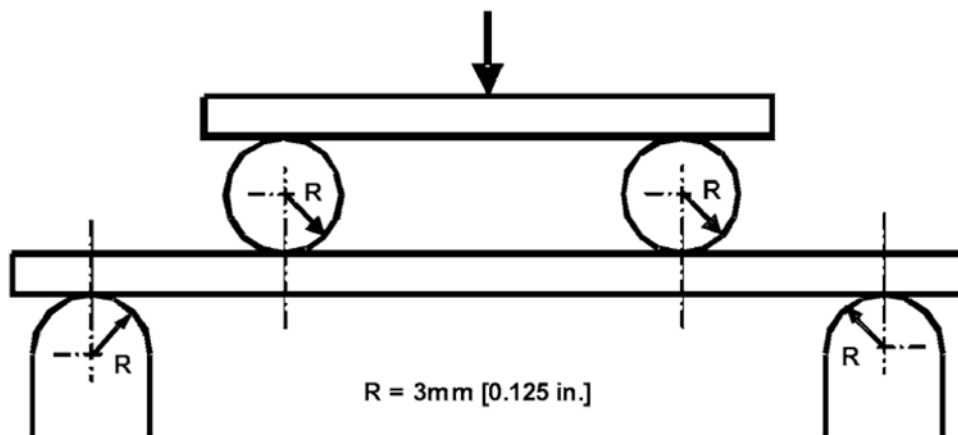
7. Apparatus

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 11:27:41AM 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

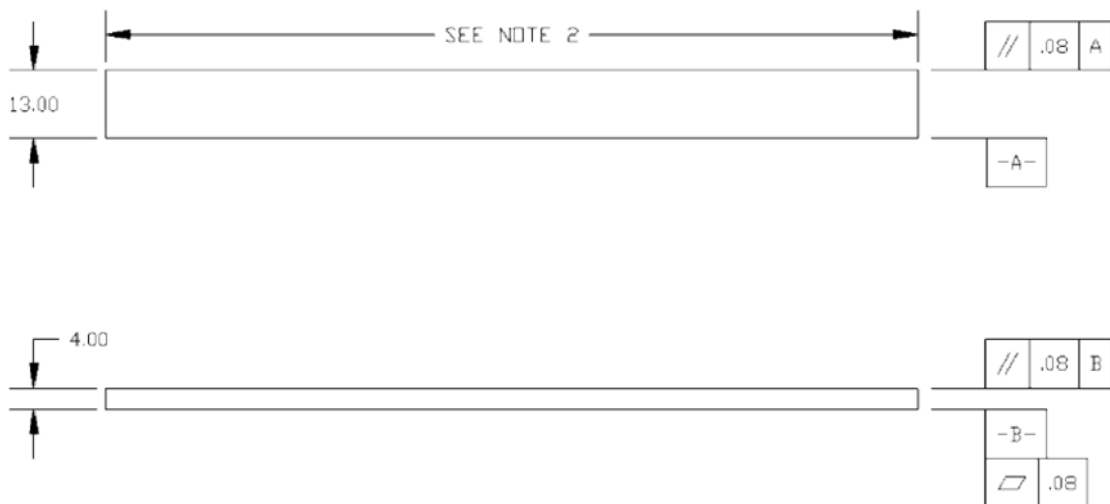
within $\pm 3^\circ\text{C}$ [$\pm 5^\circ\text{F}$] and the required vapor level to within ± 5 % relative humidity.

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.

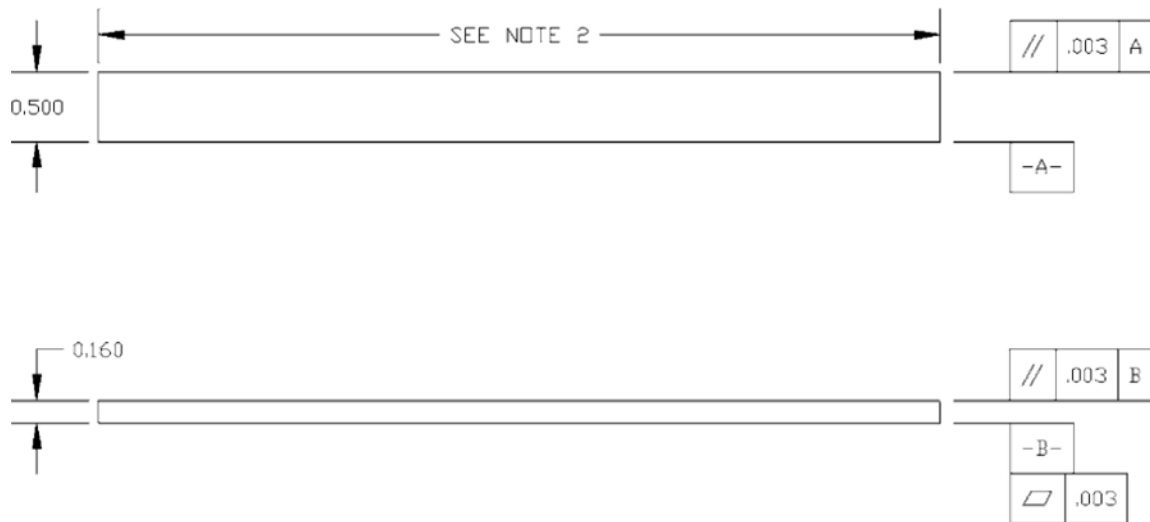


NOTE 1—Drawing interpretation per ANSI Y14.5-1999 and ANSI B46.1-1995.

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 ½ the support span and at equal distance from the adjacent support point, the maximum stress at the outer surface occurs between the two central loading points that define the load span (Fig. 2). The stress may be calculated for any point on the load-deflection curve by the following equation (Note 7):

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

where:

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

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

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

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

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:

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

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

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

where:

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

⁵ For discussion of these effects, see Zweben C., Smith, W. S., and Wardle, M. W., "Test Methods for Fiber Tensile Strength, Composite Flexural Modulus, and Properties of Fabric-Reinforced Laminates," *Composite Materials: Testing and Design (Fifth Conference)*, ASTM STP 674, 1979, pp. 228-262.



14. Report

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

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

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

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

14.1.4 The test Procedure used (A or B).

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

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

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

14.1.8 Ply orientation stacking sequence of the laminate.

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

14.1.10 Average ply thickness of the material.

14.1.11 Results of any nondestructive evaluation tests.

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

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

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

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

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

14.1.17 Relative humidity and temperature of the testing laboratory.

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

14.1.19 Number of specimens tested.

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

14.1.21 Loading and support nose type and dimensions.

14.1.22 Speed of testing.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

14.1.35 Failure mode and location of failure for each specimen.

15. Precision and Bias

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

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

16. Keywords

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

ANNEXES

(Mandatory Information)

A1. MEASURING AND SETTING SPAN

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

A1.2 *Measurement of Span:*

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

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

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

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

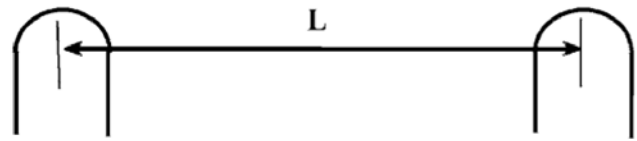


FIG. A1.1 Markings on Fixed Specimen Supports

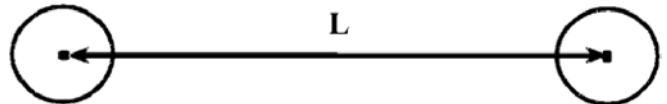


FIG. A1.2 Markings on Rotatable Specimen Supports

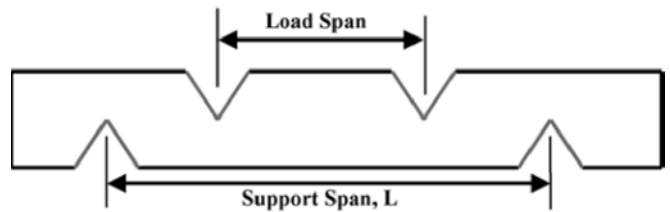


FIG. A1.3 Fixture Used to Align Loading Noses and Supports

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

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').

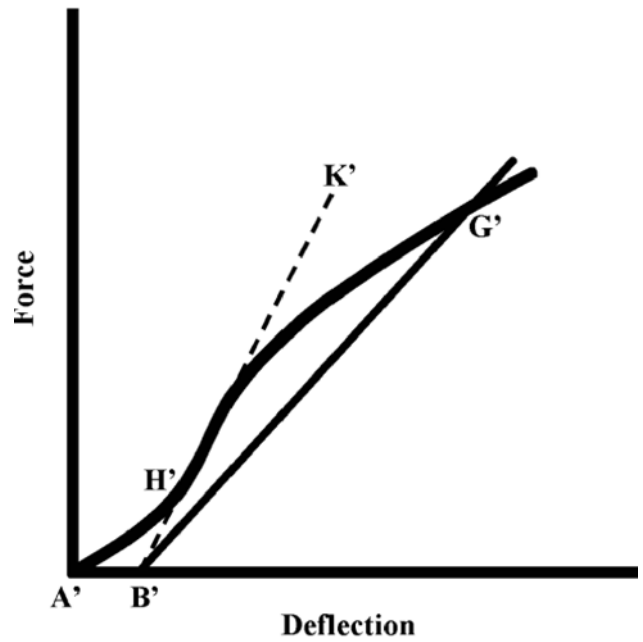


FIG. A2.2 Material without a Hookean Region

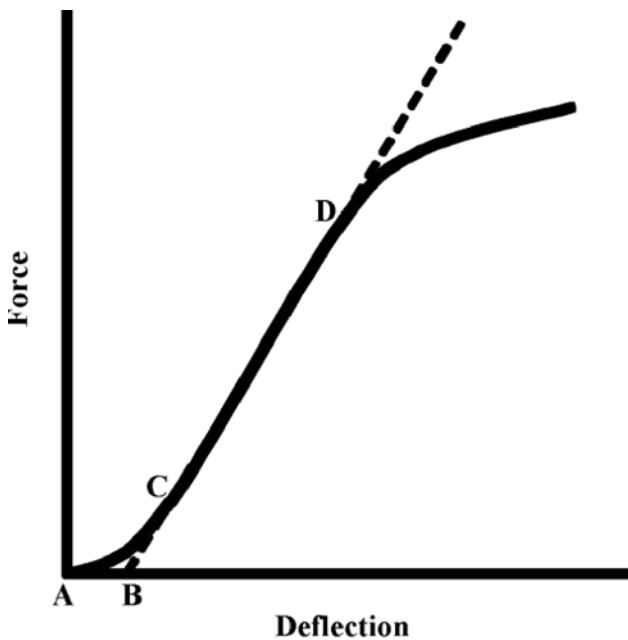


FIG. A2.1 Material with a Hookean Region

Licensed by WEX to UNIVERSIDADE DE SAO PAULO-CRUESP. Downloaded: 1/29/2008 11:27:41 AM 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 ensayo de
impacto ASTM D5628-10



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.

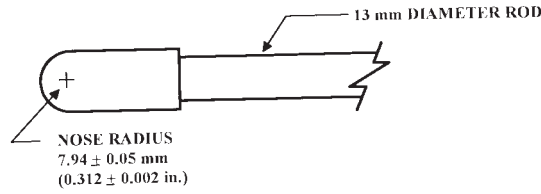


FIG. 1 (a)

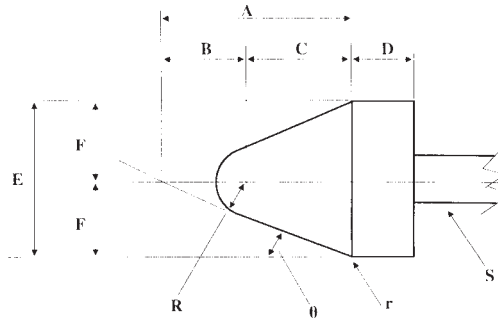


FIG. 1 (b)

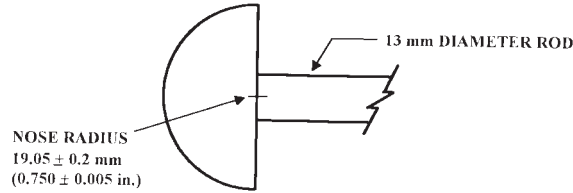


FIG. 1 (c)

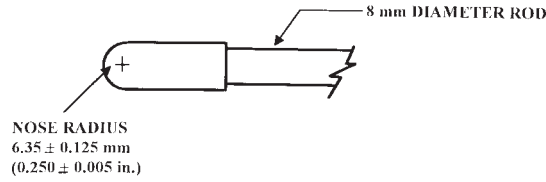


FIG. 1 (d)

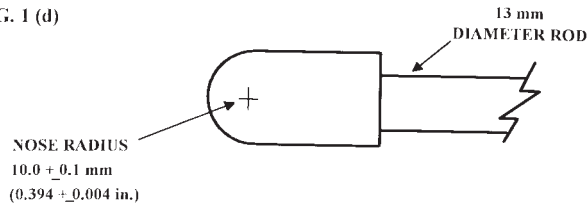


FIG. 1 (e)

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)

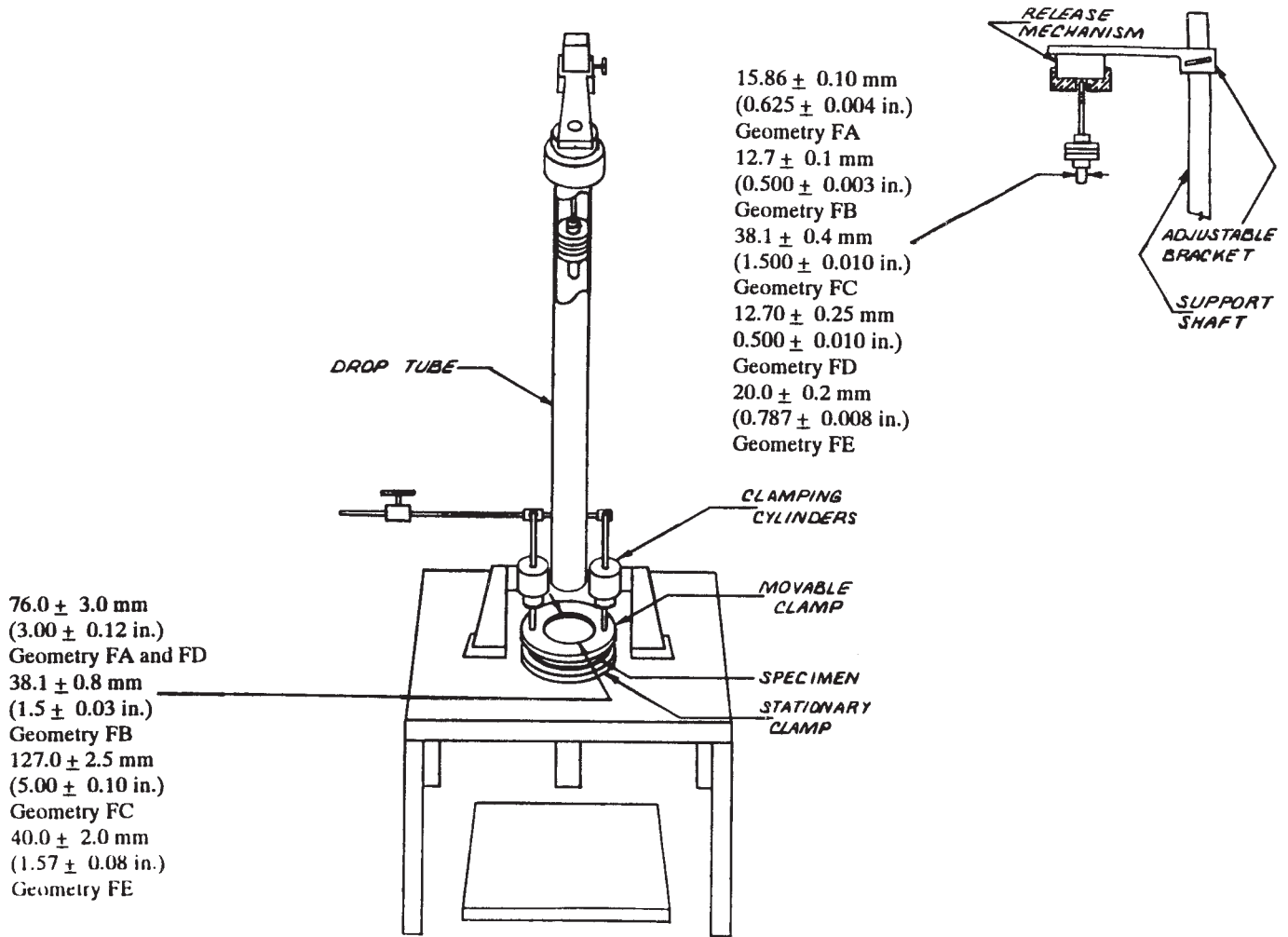


FIG. 2 One Type of Falling Mass Impact Tester

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.).

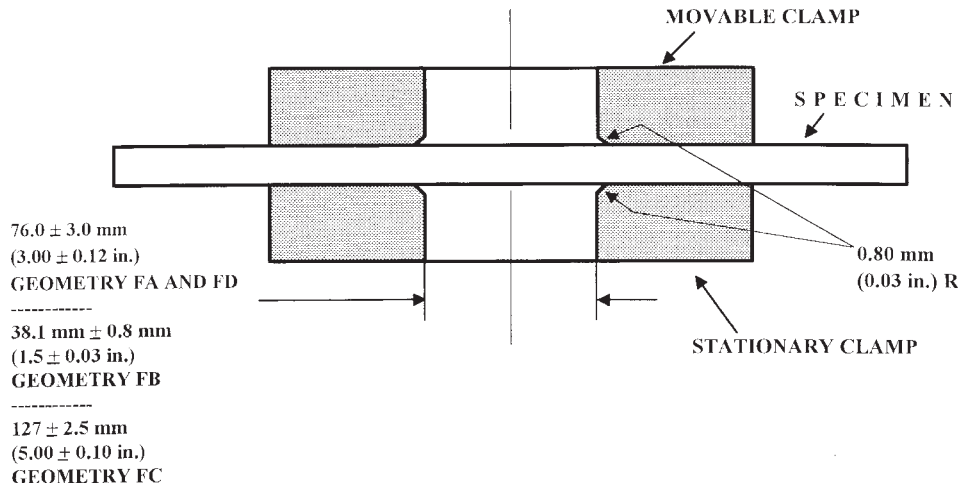


FIG. 3 Support Plate/Specimen/Clamp Configuration for Geometries FA, FB, FC, and FD

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

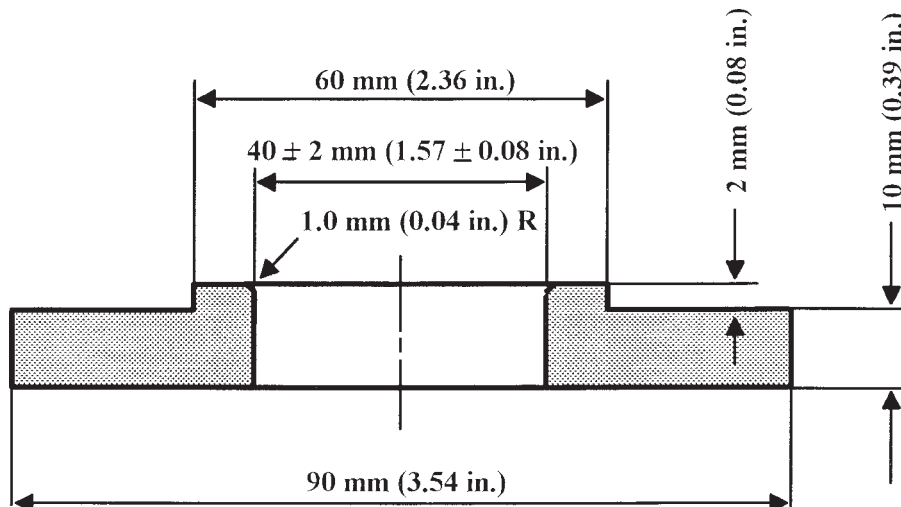


FIG. 4 Test-Specimen Support for Geometry FE

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, J	Values Expressed as Percent of the Mean	
		V_r	r
Polymethyl Methacrylate (PMMA)	1.33	4.13	11.7
Styrene-Butadiene (SB)	48.3	18.3	51.8

V_r = within-laboratory coefficient of variation of the mean.
 $r = 2.83 V_r$.

means from testing multiple individual specimens (Bruceton Staircase Procedure), the following applies:

15.2.1 *Repeatability, r*—In comparing two test results for the same material obtained by the same operator using the same equipment on the same day, the two test results should be judged not equivalent if they differ by more than the r value for that material.

15.2.2 *Reproducibility, R*—In comparing two test results for the same material obtained by different operators using differ-

ent equipment in different laboratories, reproducibility statistics were not calculated because data from only four and three laboratories do not justify making these calculations.

15.2.3 Any judgment in accordance with 15.2.1 would have an approximate 95 % (0.95) probability of being correct.

15.3 *Bias*—There are no recognized standards by which to estimate bias of this test method.

15.4 Efforts to form a task group to address between laboratory reproducibility of this test method has been unsuccessful. Persons interested in participating in such a task group should contact ASTM Headquarters.

16. Keywords

16.1 dart impact; falling-mass impact; impact; impact resistance; mean-failure energy; mean-failure height; mean-failure mass; rigid plastic; tup

APPENDIX

(Nonmandatory Information)

X1. SAMPLE CALCULATIONS

Total Dart Mass, kg	Outcome of Test (X = failure; O = non-failure)																				n_x	n_o	i	n_i	in_1	i^2n_1
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20						
9.00						X															1	0	2	1	2	4
8.00					O		X		X			X		X							4	1	1	4	4	4
7.00		X		O				O		X		O		O		X		X		O	4	5	0	4	0	0
6.00	O		O								O							O		O	0	5				
Totals																					9	11		9	6	8
																					(N_x)	(N_o)		(N)	(A)	(B)

$w_o = 7.00; N = N_x = 9; d = 1.00$
 $w = w_o + d(A/N - 0.5)$
 $= 7.00 + 1.00 (6/9 - 0.5)$
 $= 7.17 \text{ kg}$
 $s = 1.620 d [((NB - A^2)/9^2) + 0.029]$
 $= 1.620 (1.00) [((9.8 - 6^2)/9^2) + 0.029]$
 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).

ANEXO 5: Informe técnico de los ensayos a tracción y flexión del material compuesto emitido por el Centro de Fomento Carrocero Metalmecánico de Tungurahua.

**INFORME TÉCNICO DE LOS ENSAYOS A TRACCIÓN Y FLEXIÓN DEL MATERIAL
COMPUESTO EMITIDO POR EL CENTRO DE FOMENTO CARROCERO METALMECÁNICO DE
TUNGURAHUA**



Centro de Fomento Productivo
Metalmecánico Carrocero



Honorable Gobierno
Provincial de Tungurahua

**LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES
ENSAYO DE TRACCIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS
INFORME N°: 050157454520170419-ETC**

Designación del material: Material híbrido de matriz epóxica reforzada con tejido de stipa mas fibra vegetal de algodón.

Método de ensayo: ASTM D3039-2015.

Empresa / Cliente: Sra. Narcisa de Jesús Tutillo Morocho.

Fecha de Inicio de Ensayo: 19 de abril de 2017.

Fecha de Finalización de Ensayo: 19 de abril de 2017.

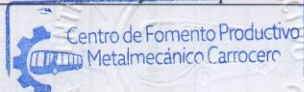
Los resultados obtenidos en el presente informe corresponden a ensayos realizados en muestras de materiales compuestos. Las muestras fueron entregadas en el Laboratorio de Resistencia de Materiales del CFPMC del H.G.P. Tungurahua.

Número de Probetas cuantificadas

Grupo N°	Tipo de secado de la fibra	Fracción volumétrica Matriz- Refuerzo	Fracción volumétrica M2- M1	Número de capas	Orientación de Fibras		Orientación de Fibras		Número de probetas a ensayar
					M1	M2	M1	M2	
1	Natural	30%-70%	18%-82%	2	90	180	45	135	5
2	Natural	30%-70%	18%-82%	2	45	135	135	45	5
3	Natural	30%-70%	18%-82%	2	90	180	180	90	5
4	Natural	30%-70%	18%-82%	2	90	180	90	180	5
5	Precocido	30%-70%	18%-82%	2	90	180	45	135	5
6	Precocido	30%-70%	18%-82%	2	45	135	135	45	5
7	Precocido	30%-70%	18%-82%	2	90	180	180	90	5
8	Precocido	30%-70%	18%-82%	2	90	180	90	180	5
TOTAL PROBETAS									40

Nota: El proceso de fabricación del material compuesto tipo híbrido de matriz epóxica con refuerzo de fibra vegetal algodón (Material 2-M2) más fibra natural stipa Ichu o pasto de páramo (Material 1-M1) dos tipos de secado de la fibra que son secado natural y secado precocido, según la especificación y declaración del cliente. Debe tener correspondencia con el orden con la designación de material.

Elaborado por:	Aprobado por:	
Ing. Fernando Galarza Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC	Ing. Ángel Balseca Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC	Ing. Esteban López Espinel Director Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC



**Ambato, 09 de Mayo de 2017.
N°. Factura. 001-002-000002507**



Centro de Fomento Productivo
Metalmeccánico Carrocero



Honorable Gobierno
Provincial de Tungurahua

Resultados:

Ítem	Identificación de probeta	Temperatura y humedad	Dimensiones	Fuerza máxima (N)	Esfuerzo máximo de tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (Calculado) (MPa)	% Elongación (Calculado)	Tipo de falla evaluado
1	050157454520170404 - ETC 01 -1	18°C, 81%	a=25,00 b=5,75	976,66	6,79	455,98	1,49	SGM
2	050157454520170404 - ETC 01 -2	18°C, 81%	a=24,91 b=6,00	975,08	6,52	459,43	1,42	AGM
3	050157454520170404 - ETC 01 -3	18°C, 81%	a=24,75 b=5,56	2231,02	16,21	692,84	2,34	AGM
4	050157454520170404 - ETC 01 -4	18°C, 81%	a=25,00 b=5,70	1222,80	8,58	543,10	1,58	AGM
5	050157454520170404 - ETC 01 -5	18°C, 81%	a=25,00 b=5,70	1300,11	9,12	600,23	1,52	AGM
			Promedio \bar{x}	1341,13	9,44	550,32	1,67	
			Desviación estándar S_{n-1}	518,27	3,94	100,02	0,37	
			Coefficiente de variación CV	38,64	41,74	18,17	22,69	

Ítem	Identificación de probeta	Temperatura y humedad	Dimensiones	Fuerza máxima (N)	Esfuerzo máximo de tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (Calculado) (MPa)	% Elongación (Calculado)	Tipo de falla evaluado
6	050157454520170404 - ETC 02 -1	19°C, 80%	a=24,90 b=5,70	878,84	6,19	491,43	1,26	LGM
7	050157454520170404 - ETC 02 -2	19°C, 80%	a=24,78 b=5,72	651,63	4,59	386,32	1,19	LGM
8	050157454520170404 - ETC 02 -3	19°C, 80%	a=24,60 b=5,70	863,06	6,15	496,37	1,24	SGM
9	050157454520170404 - ETC 02 -4	19°C, 80%	a=24,60 b=5,68	836,24	5,98	391,16	1,53	SGM
10	050157454520170404 - ETC 02 -5	19°C, 80%	a=25,00 b=5,82	951,42	6,53	499,15	1,31	LGM
			Promedio \bar{x}	836,23	5,89	452,89	1,30	
			Desviación estándar S_{n-1}	111,67	0,75	58,64	0,13	
			Coefficiente de variación CV	13,35	12,76	12,94	10,13	

Código: RG-RM-004
Fecha de Elaboración: 11-05-2016
Fecha de última aprobación: 09-05-2017
Revisión: 5

INFORME DE ENSAYO DE
TRACCIÓN MATERIALES
COMPUESTOS



Centro de Fomento Productivo
Metalmeccánico Carrocero



Honorable Gobierno
Provincial de Tungurahua

Ítem	Identificación de probeta	Temperatura y humedad	Dimensiones	Fuerza máxima (N)	Esfuerzo máximo de tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (Calculado) (MPa)	% Elongación (Calculado)	Tipo de falla evaluado
11	050157454520170404 - ETC 03 -1	20°C, 80%	a=24,86 b=5,76	1434,23	10,01	498,30	2,01	SGM
12	050157454520170404 - ETC 03 -2	20°C, 80%	a=24,90 b=5,75	987,71	6,89	445,07	1,55	LAT
13	050157454520170404 - ETC 03 -3	20°C, 80%	a=25,25 b=5,65	1109,20	7,77	528,91	1,47	LGM
14	050157454520170404 - ETC 03 -4	20°C, 80%	a=24,70 b=5,57	1576,23	11,45	587,53	1,95	LAT
15	050157454520170404 - ETC 03 -5	20°C, 80%	a=24,72 b=5,65	1746,63	12,50	710,54	1,76	LGM
			Promedio \bar{x}	1370,80	9,73	554,07	1,75	
			Desviación estándar S_{n-1}	317,27	2,37	101,52	0,23	
			Coefficiente de variación CV	23,14	24,43	18,32	13,60	

Ítem	Identificación de probeta	Temperatura y humedad	Dimensiones	Fuerza máxima (N)	Esfuerzo máximo de tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (Calculado) (MPa)	% Elongación (Calculado)	Tipo de falla evaluado
16	050157454520170404 - ETC 04 -1	20°C, 75%	a=24,65 b=5,80	1367,96	9,56	445,03	2,15	AGM
17	050157454520170404 - ETC 04 -2	20°C, 75%	a=24,73 b=5,75	1573,07	11,06	526,78	2,1	SGM
18	050157454520170404 - ETC 04 -3	20°C, 75%	a=24,68 b=5,85	1263,82	8,75	460,71	1,9	AGM
19	050157454520170404 - ETC 04 -4	20°C, 75%	a=24,93 b=5,90	1773,45	12,05	566,06	2,13	LGM
20	050157454520170404 - ETC 04 -5	20°C, 75%	a=24,77 b=5,84	1410,56	9,75	524,25	1,86	AGM
			Promedio \bar{x}	1477,77	10,23	504,56	2,02	
			Desviación estándar S_{n-1}	199,28	1,31	50,32	0,13	
			Coefficiente de variación CV	13,48	12,80	9,97	6,75	

Código: RG-RM-004
Fecha de Elaboración: 11-05-2016
Fecha de última aprobación: 09-05-2017
Revisión: 5

INFORME DE ENSAYO DE
TRACCIÓN MATERIALES
COMPUESTOS



Ítem	Identificación de probeta	Temperatura y humedad	Dimensiones	Fuerza máxima (N)	Esfuerzo máximo de tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (Calculado) (MPa)	% Elongación (Calculado)	Tipo de falla evaluado
21	050157454520170404 - ETC 05 -1	17°C, 82%	a=24,80 b=5,70	1353,76	9,57	372,63	2,57	AGM
22	050157454520170404 - ETC 05 -2	17°C, 82%	a=24,97 b=5,70	833,08	5,85	390,21	1,50	AGM
23	050157454520170404 - ETC 05 -3	17°C, 82%	a=24,80 b=5,40	1175,47	8,77	466,88	1,88	LGM
24	050157454520170404 - ETC 05 -4	17°C, 82%	a=25,00 b=5,55	918,28	6,61	387,03	1,71	AGM
25	050157454520170404 - ETC 05 -5	17°C, 82%	a=25,00 b=5,63	850,44	6,04	428,52	1,41	LGM
			Promedio \bar{x}	1026,20	7,37	409,05	1,81	
			Desviación estándar S_{n-1}	228,80	1,69	38,37	0,46	
			Coefficiente de variación CV	22,29	22,97	9,38	25,39	

Ítem	Identificación de probeta	Temperatura y humedad	Dimensiones	Fuerza máxima (N)	Esfuerzo máximo de tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (Calculado) (MPa)	% Elongación (Calculado)	Tipo de falla evaluado
26	050157454520170404 - ETC 06 -1	17°C, 82%	a=25,00 b=5,41	1751,36	12,94	548,68	2,36	LAT
27	050157454520170404 - ETC 06 -2	17°C, 82%	a=24,75 b=5,63	1691,41	12,138	537,10	2,26	LAT
28	050157454520170404 - ETC 06 -3	17°C, 82%	a=25,00 b=5,50	1492,60	10,85	459,96	2,36	AGM
29	050157454520170404 - ETC 06 -4	17°C, 82%	a=24,90 b=5,40	1888,63	14,04	534,06	2,63	AGM
30	050157454520170404 - ETC 06 -5	17°C, 82%	a=24,84 b=5,50	1435,80	10,50	574,28	1,83	AGM
			Promedio \bar{x}	1651,96	12,09	530,82	2,28	
			Desviación estándar S_{n-1}	186,79	1,46	42,65	0,29	
			Coefficiente de variación CV	11,30	12,11	8,03	12,70	



Ítem	Identificación de probeta	Temperatura y humedad	Dimensiones	Fuerza máxima (N)	Esfuerzo máximo de tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (Calculado) (MPa)	% Elongación (Calculado)	Tipo de falla evaluado
31	050157454520170404 - ETC 07 -1	20°C, 72%	a=24,60 b=5,90	1177,04	8,10	413,75	1,96	LGM
32	050157454520170404 - ETC 07 -2	20°C, 72%	a=24,65 b=5,78	668,99	4,69	319,41	1,47	LGM
33	050157454520170404 - ETC 07 -3	20°C, 72%	a=24,80 b=5,87	1281,18	8,80	491,66	1,79	AGM
34	050157454520170404 - ETC 07 -4	20°C, 72%	a=24,60 b=5,65	897,77	6,45	451,69	1,43	AGM
35	050157454520170404 - ETC 07 -5	20°C, 72%	a=24,76 b=5,82	839,39	5,82	344,66	1,69	AGM
			Promedio \bar{x}	972,87	6,77	404,24	1,66	
			Desviación estándar S_{n-1}	251,26	1,67	71,98	0,22	
			Coefficiente de variación CV	25,82	24,70	17,80	13,28	

Ítem	Identificación de probeta	Temperatura y humedad	Dimensiones	Fuerza máxima (N)	Esfuerzo máximo de tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (Calculado) (MPa)	% Elongación (Calculado)	Tipo de falla evaluado
36	050157454520170404 - ETC 08 -1	19°C, 76%	a=24,60 b=5,36	2538,69	19,2535038	819,298035	2,35	SGM
37	050157454520170404 - ETC 08 -2	19°C, 76%	a=25,00 b=5,45	1642,50	12,0550459	655,165536	1,84	LTA
38	050157454520170404 - ETC 08 -3	19°C, 76%	a=24,83 b=5,45	1795,54	13,268501	559,852364	2,37	AGM
39	050157454520170404 - ETC 08 -4	19°C, 76%	a=25,00 b=5,41	891,46	6,59120148	527,296118	1,25	LGM
40	050157454520170404 - ETC 08 -5	19°C, 76%	a=25,07 b=5,38	1994,35	14,7864789	754,412189	1,96	LGM
			Promedio \bar{x}	1772,50	13,19	663,20	1,954	
			Desviación estándar S_{n-1}	597,89	4,58	124,39	0,45	
			Coefficiente de variación CV	33,73	34,77	18,75	23,43	



Centro de Fomento Productivo
Metalmecánico Carrocero

COMERCIALIZADOR
INSTITUCIÓN AFILIADA
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES
CARROCERAS



Honorable Gobierno
Provincial de Tungurahua

19/01/2018

Nomenclatura: De tipo de falla evaluado: El tipo de falla evaluado se lo realiza mediante los criterios de la norma ASTM D3039-2015.

Primer caracter	Lateral	Lateral	Segundo caracter	En el agarre	Tercer caracter	Parte superior	Parte superior	ENEE
L	Lateral	Lateral	A	Dentro del agarre	T	Parte superior	Parte superior	042
L	Lateral	Lateral	I	Zona calibrada	T	Medio		1324
A	Angular	Angular	G		M			
01	0201214222013001 - E.L.C.03-3		10.C.300*	0-2.70	00010	147411160		170
20	0201214222013001 - E.L.C.03-4		10.C.300*	0-2.41	00100	221300118		174
28	0201214222013001 - E.L.C.03-5		10.C.300*	0-2.42	13210	228823104		323
29	0201214222013001 - E.L.C.03-5		10.C.300*	0-2.74	00020	052100009		174
30	0201214222013001 - E.L.C.03-1		10.C.300*	0-2.70	32100	010300032		323
Tasa	Representación de la muestra	A principal L secundarias	Diferenciación	Diferenciación	(A)	(A) (A) (A)	(A) (A) (A)	(A) (A) (A)
					(B)	(B) (B) (B)	(B) (B) (B)	(B) (B) (B)
					(C)	(C) (C) (C)	(C) (C) (C)	(C) (C) (C)
					(D)	(D) (D) (D)	(D) (D) (D)	(D) (D) (D)

32	0201214222013001 - E.L.C.03-2	10.C.330*	0-2.85	00000	00100	11300		1326
34	0201214222013001 - E.L.C.03-4	10.C.330*	0-2.90	00100	00100			035
37	0201214222013001 - E.L.C.03-2	10.C.330*	0-2.85	00100	00100			100
38	0201214222013001 - E.L.C.03-5	10.C.330*	0-2.85	00100	00100			
39	0201214222013001 - E.L.C.03-1	10.C.330*	0-2.85	00100	00100			
Tasa	Representación de la muestra	A principal L secundarias	Diferenciación	Diferenciación	(A)	(A) (A) (A)	(A) (A) (A)	(A) (A) (A)
					(B)	(B) (B) (B)	(B) (B) (B)	(B) (B) (B)
					(C)	(C) (C) (C)	(C) (C) (C)	(C) (C) (C)
					(D)	(D) (D) (D)	(D) (D) (D)	(D) (D) (D)

Código: RG-RM-004
Fecha de Elaboración: 11-05-2016
Fecha de última aprobación: 09-05-2017
Revisión: 5

**INFORME DE ENSAYO DE
TRACCIÓN MATERIALES
COMPUESTOS**



INSTITUTO DE INVESTIGACIONES
CARROCERAS



LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES
ENSAYO DE TRACCIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS
INFORME N°: 050157454520170508-ETC

Designación del material: Material híbrido de matriz epóxica reforzada con tejido de stipa mas fibra vegetal de algodón.

Método de ensayo: ASTM D3039-2015.

Empresa / Cliente: Sra. Narcisa de Jesús Tutillo Morocho

Fecha de Inicio de Ensayo: 08 de mayo de 2017.

Fecha de Finalización de Ensayo: 08 de mayo de 2017.

Los resultados obtenidos en el presente informe corresponden a ensayos realizados en muestras de materiales compuestos. Las muestras fueron entregadas en el Laboratorio de Resistencia de Materiales del CFPMC del H.G.P. Tungurahua.

Número de Probetas cuantificadas

Grupo N°	Tipo de secado de la fibra	Fracción volumétrica Matriz-Refuerzo	Fracción volumétrica M2 – M1	Número de capas	Orientación de Fibras		Orientación de Fibras		Orientación de Fibras		Número de probetas a ensayar
					M1	M2	M1	M2	M1	M2	
1	Natural con NaOH	40%-60%	18%-82%	3	90	180	45	135	90	180	5
2	Natural con NaOH	40%-60%	18%-82%	3	45	135	90	180	135	45	5

Nota: El proceso de fabricación del material compuesto tipo híbrido de matriz epóxica con refuerzo de fibra vegetal algodón (Material 2-M2) más fibra natural stipa Ichu o pasto de páramo (Material 1-M1) mediante secado natural con NaOH, según la especificación y declaración del cliente. Debe tener correspondencia con en el orden con la designación de material.

Elaborado por:	Aprobado por:	
Ing. Fernando Galarza Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC	Ing. Ángel Balseca Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC	Ing. Esteban López Espinel Director Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC



Ambato, 10 de Mayo de 2017.
N°. Factura. 001-002-000002667



Resultados:

Pro beta	Identificación de probeta	Temperatura y humedad	Dimensiones	Fuerza máxima (N)	Esfuerzo máximo de tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (Calculado) (MPa)	% Elongación (Calculado)	Tipo de falla evaluado
1	050157454520170404 - ETC 01 -1	18°C, 76%	a=24,98 b=5,37	2364,86	17,63	913,44	1,93	AGM
2	050157454520170404 - ETC 01 -2	18°C, 76%	a=25,27 b=5,51	1913,85	13,75	677,10	2,03	AGM
3	050157454520170404 - ETC 01 -3	18°C, 76%	a=24,99 b=5,46	2334,48	17,11	781,24	2,19	AGM
4	050157454520170404 - ETC 01 -4	18°C, 76%	a=25,25 b=5,51	2492,77	17,92	810,73	2,21	AGM
5	050157454520170404 - ETC 01 -5	18°C, 76%	a=24,98 b=5,49	1454,94	10,61	650,86	1,63	LGM
			Promedio \bar{x}	2112,18	15,40	766,68	1,998	
			Desviación estándar S_{n-1}	427,02	3,15	106,21	0,23	
			Coefficiente de variación CV	20,21	20,51	13,85	11,81	

Pro beta	Identificación de probeta	Temperatura y humedad	Dimensiones	Fuerza máxima (N)	Esfuerzo máximo de tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (Calculado) (MPa)	% Elongación (Calculado)	Tipo de falla evaluado
6	050157454520170404 - ETC 02 -1	18°C, 76%	a=25,00 b=5,00	2351,60	18,81	887,39	2,12	AGM
7	050157454520170404 - ETC 02 -2	18°C, 76%	a=25,02 b=5,52	1892,19	13,70	732,65	1,87	LGM
8	050157454520170404 - ETC 02 -3	18°C, 76%	a=25,04 b=5,46	1821,19	13,32	637,35	2,09	AGM
9	050157454520170404 - ETC 02 -4	18°C, 76%	a=25,04 b=5,46	1983,34	14,51	644,74	2,25	AGM
10	050157454520170404 - ETC 02 -5	18°C, 76%	a=24,89 b=5,47	2180,06	16,01	751,75	2,13	LGM
			Promedio \bar{x}	2045,676	15,27	730,78	2,09	
			Desviación estándar S_{n-1}	217,65	2,23	101,36	0,13	
			Coefficiente de variación CV	10,63	14,62	13,87	6,61	



Centro de Fomento Productivo
Metalmecánico Carrocero



Honorable Gobierno
Provincial de Tungurahua

Nomenclatura:
De tipo de falla evaluado: El tipo de falla evaluado se lo realiza mediante los criterios de la norma ASTM D3039-2015.

Primer caracter	Segundo caracter	Tercer caracter
Lateral	A	T
Lateral	I	T
Angular	G	M
		Parte superior
		Parte superior
		Medio

DATOS INFORMATIVOS
Laboratorio: Subsistencia de Muestras
Designación del material: Material fabricado de matriz epóxica reforzada con tejido de fibra mas fibra vegetal de algodón.
Método de ensayo: ASTM D3039-2015

Nº MUESTRA	FECHA DE ENSAYO	FECHA DE ELABORACION	RESPONSABLE	COMENTARIOS
001-1576-75013-00-ETC-01-4	08/05/2017		Ing. F. Galarrza	Se almacena
002-1576-75013-00-ETC-01-5	08/05/2017		Ing. F. Galarrza	Se almacena
003-1576-75013-00-ETC-01-6	08/05/2017		Cliente	Se entrega al cliente
004-1576-75013-00-ETC-01-7	08/05/2017		Cliente	Se entrega al cliente
005-1576-75013-00-ETC-01-8	08/05/2017		Cliente	Se entrega al cliente



LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES
ENSAYO DE TRACCIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS
INFORME N°: 050157454520170508-EFC

Designación del material: Material compuesto tipo híbrido de matriz epóxica reforzada con tejido de stipa mas fibra vegetal de algodón.

Método de ensayo: ASTM D7264-2015.

Procedimiento: A

Empresa / Cliente: Sra. Narcisa de Jesús Tutillo Morocho

Fecha de Inicio de Ensayo: 08 de mayo de 2017.

Fecha de Finalización de Ensayo: 08 de mayo de 2017

Los resultados obtenidos en el presente informe corresponden a ensayos realizados en muestras de materiales compuestos. Las muestras fueron entregadas en el Laboratorio de Resistencia de Materiales del CFPMC del H.G.P. Tungurahua.

Número de Probetas cuantificadas

Grupo N°	Tipo de secado de la fibra	Fracción volumétrica Matriz-Refuerzo	Fracción volumétrica a M2- M1	Número de capas	Orientación de Fibras		Orientación de Fibras		Número de probetas a ensayar
					M1	M2	M1	M2	
1	Natural	30%-70%	18%-82%	2	90	180	45	135	5
2	Natural	30%-70%	18%-82%	2	45	135	135	45	5
3	Natural	30%-70%	18%-82%	2	90	180	180	90	5
4	Natural	30%-70%	18%-82%	2	90	180	90	180	5
TOTAL PROBETAS									20

Nota: En Proceso de fabricación del material compuesto de matriz epóxica con refuerzo de fibra vegetal algodón más fibra natural Stipa Ichu (pasto de paramo), secado de la fibra natural, según la especificación y declaración del cliente.

Distancia entre apoyos: 140 mm

Elaborado por:		Aprobado por:
Ing. Fernando Galarza	Ing. Angel Balseca	Ing. Esteban López Espinel
Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC	Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC	Director Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC

Ambato, 10 de Mayo de 2017.
Nº. Factura. 001-002-000002667



Centro de Fomento Productivo
Metalmeccánico Carrocero



Honorable Gobierno
Provincial de Tungurahua

Resultados.

Pro beta	Identificación de probeta	Temperatura y humedad	Dimensiones	Fuerza máxima (N)	Deflexión (mm)	Esfuerzo máximo de flexión (MPa)	Módulo de elasticidad secante de flexión (Mpa)	Deformación máxima (%)	Tipo de falla evaluado
1	050157454520170508-EFC 01 -1	19°C, 76%	a= 12,99 b=5,64	435,47	6,437	221,31	19913,72	1,11	OLV
2	050157454520170508-EFC 01 -2	19°C, 76%	a=12,9 b=5,48	441,78	7,308	239,48	19534,41	1,23	OLB
3	050157454520170508-EFC 01 -3	19°C, 76%	a=12,82 b=5,70	399,18	5,95	201,26	19384,89	1,04	OLB
4	050157454520170508-EFC 01 -4	19°C, 76%	a=12,72 b=5,73	419,7	6,191	211,04	19433,51	1,09	OLB
5	050157454520170508-EFC 01 -5	19°C, 76%	a= 12,93 b=5,62	328,18	5,167	168,76	18984,11	0,89	OAB
		Promedio \bar{x}		404,86	6,21	208,37	19450,13	1,07	
		Desviación estándar S_{n-1}		45,91	0,78	26,28	333,06	0,12	
		Coefficiente de variación CV		11,34	12,51	12,61	1,71	11,48	

Pro beta	Identificación de probeta	Temperatura y humedad	Dimensiones	Fuerza máxima (N)	Deflexión (mm)	Esfuerzo máximo de flexión (MPa)	Módulo de elasticidad secante de flexión (Mpa)	Deformación máxima (%)	Tipo de falla evaluado
6	050157454520170508-EFC 02 -1	19°C, 7%	a=12,97 b=5,86	530,14	5,996	257,39	23848,65	1,08	OAB
7	050157454520170508-EFC 02 -2	19°C, 716%	a=12,98 b=5,67	781,01	7,621	391,96	29579,02	1,33	OLV
8	050157454520170508-EFC 02 -3	19°C, 76%	a=12,95 b=5,72	905,66	9,018	451,04	28764,61	1,57	OLV
9	050157454520170508-EFC 02 -4	19°C, 76%	a= 12,98 b=5,68	525,41	6,231	242,92	21403,62	1,13	OAB
10	050157454520170508-EFC 02 -5	19°C, 76%	a=12,96 b=5,82	481,23	9,461	220,73	12723,56	1,73	OAB
		Promedio \bar{x}		644,69	7,67	312,81	23263,89	1,37	
		Desviación estándar S_{n-1}		187,59	1,57	26,28	6801,47	0,28	
		Coefficiente de variación CV		29,10	20,52	12,61	29,24	20,48	

Código: RG-RM-005
Fecha de Elaboración: 11-05-2016
Fecha de última aprobación: 28-04 -2017
Revisión: 5

INFORME DE ENSAYO DE
FLEXIÓN MATERIALES
COMPUESTOS



Centro de Fomento Productivo
Metalmecánico Carrrocero



Honorable Gobierno
Provincial de Tungurahua

Pro beta	Identificación de probeta	Temperatura y humedad	Dimensiones	Fuerza máxima (N)	Deflexión (mm)	Esfuerzo máximo de flexión (MPa)	Módulo de elasticidad secante de flexión (Mpa)	Deformación máxima (%)	Tipo de falla evaluado
11	050157454520170508-EFC 03 -1	18°C, 74%	a=13,12 b=5,88	320,29	4,448	148,28	18519,83	1,11	OLB
12	050157454520170508-EFC 03 -2	18°C, 74%	a=13,09 b=5,87	211,43	5,809	98,44	9430,51	1,23	OLB
13	050157454520170508-EFC 03 -3	18°C, 74%	a=13,05 b=6	252,45	4,299	112,84	14291,17	1,04	OAB
14	050157454520170508-EFC 03 -4	18°C, 74%	a=13,19 b=5,92	384,98	5,299	174,89	18212,03	1,09	OAB
15	050157454520170508-EFC 03 -5	18°C, 74%	a=13,08 b=5,92	662,68	13,841	303,58	12102,85	0,89	OLB
		Promedio \bar{x}		366,32	6,74	167,61	14511,28	1,07	
		Desviación estándar S_{n-1}		178,36	4,02	81,76	3918,77	0,12	
		Coefficiente de variación CV		48,68	59,62	48,74	27,01	11,48	

Pro beta	Identificación de probeta	Temperatura y humedad	Dimensiones	Fuerza máxima (N)	Deflexión (mm)	Esfuerzo máximo de flexión (MPa)	Módulo de elasticidad secante de flexión (Mpa)	Deformación máxima (%)	Tipo de falla evaluado
16	050157454520170508-EFC 04 -1	19°C, 75%	a=12,98 b=5,73	500,16	5,158	246,46	27240,38	1,08	OLB
17	050157454520170508-EFC 04 -2	19°C, 75%	a=12,84 b=5,81	181,45	4,007	87,91	12335,83	1,33	OLB
18	050157454520170508-EFC 04 -3	19°C, 75%	a=13,05 b=5,71	582,21	6,254	287,35	26286,15	1,57	OLB
19	050157454520170508-EFC 04 -4	19°C, 75%	a=12,84 b=5,70	653,21	7,242	328,82	26021,29	1,13	OLB
20	050157454520170508-EFC 04 -5	19°C, 75%	a=12,91 b=5,63	702,12	6,08	360,32	34385,90	1,73	OLB
		Promedio \bar{x}		523,83	5,75	262,17	25253,91	1,37	
		Desviación estándar S_{n-1}		205,98	1,22	106,44	7997,98	0,28	
		Coefficiente de variación CV		39,32	21,27	40,60	31,67	20,48	

Código: RG-RM-005
Fecha de Elaboración: 11-05-2016
Fecha de última aprobación: 28-04 -2017
Revisión: 5

INFORME DE ENSAYO DE
FLEXIÓN MATERIALES
COMPUESTOS



LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES
ENSAYO DE TRACCIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS

INFORME N°: 050157454520170508-EFC

Designación del material: Material compuesto tipo híbrido de matriz epóxica reforzada con tejido de stipa mas fibra vegetal de algodón.

Método de ensayo: ASTM D7264-2015. **Procedimiento:** A

Empresa / Cliente: Sra. Narcisa de Jesús Tutillo Morocho

Fecha de Inicio de Ensayo: 08 de mayo de 2017.

Fecha de Finalización de Ensayo: 08 de mayo de 2017

Los resultados obtenidos en el presente informe corresponden a ensayos realizados en muestras de materiales compuestos. Las muestras fueron entregadas en el Laboratorio de Resistencia de Materiales del CFPMC del H.G.P. Tungurahua.

Número de Probetas cuantificadas

Grupo N°	Tipo de secado de la fibra	Fracción volumétrica Matriz-Refuerzo	Fracción volumétrica M2 – M1	Número de capas	Orientación de Fibras		Orientación de Fibras		Orientación de Fibras		Número de probetas a ensayar
					M1	M2	M1	M2	M1	M2	
1	Natural con NaOH	40%-60%	18%-82%	3	90	180	45	135	90	180	5
2	Natural con NaOH	40%-60%	18%-82%	3	45	135	90	180	135	45	5

Nota: El proceso de fabricación del material compuesto tipo híbrido de matriz epóxica con refuerzo de fibra vegetal algodón (Material 2-M2) más fibra natural stipa Ichu o pasto de páramo (Material 1-M1) mediante secado natural con NaOH, según la especificación y declaración del cliente. Debe tener correspondencia con en el orden con la designación de material.

Distancia entre apoyos: 140 mm

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



Ambato, 10 de Mayo de 2017.
N°. Factura. 001-002-000002667



Centro de Fomento Productivo
Metalmecánico Carrocero



Honorable Gobierno
Provincial de Tungurahua

Resultados.

Pro beta	Identificación de probeta	Temperatura y humedad	Dimensiones	Fuerza máxima (N)	Deflexión (mm)	Esfuerzo máximo de flexión (MPa)	Módulo de elasticidad secante de flexión (Mpa)	Deformación máxima (%)	Tipo de falla evaluado
1	050157454520170508-EFC 01 -1	18°C, 77%	a= 12,85 b=5,66	47,84	4,934	24,40	2854,72	0,85	OLB
2	050157454520170508-EFC 01 -2	18°C, 77%	a=12,84 b=5,65	55,89	9,221	28,63	1795,44	1,59	OLB
3	050157454520170508-EFC 01 -3	18°C, 77%	a=13,06 b=5,68	62,61	6,660	31,20	2694,67	1,16	OAB
4	050157454520170508-EFC 01 -4	18°C, 77%	a=12,95 b=5,72	53,04	5,418	26,29	2770,96	0,95	OLB
5	050157454520170508-EFC 01 -5	18°C, 77%	a= 13,01 b=5,63	85,10	8,583	43,34	2929,63	1,48	OLB
		Promedio \bar{x}		60,90	6,96	30,77	2609,08	1,21	
		Desviación estándar S_{n-1}		14,54	1,89	7,47	463,31	0,32	
		Coefficiente de variación CV		23,88	27,17	24,28	17,76	26,77	

Pro beta	Identificación de probeta	Temperatura y humedad	Dimensiones	Fuerza máxima (N)	Deflexión (mm)	Esfuerzo máximo de flexión (MPa)	Módulo de elasticidad secante de flexión (Mpa)	Deformación máxima (%)	Tipo de falla evaluado
6	050157454520170508-EFC 02 -1	18°C, 71%	a=12,97 b=5,86	59,42	5,844	28,02	2672,48	1,05	OLB
7	050157454520170508-EFC 02 -2	18°C, 71%	a=12,98 b=5,67	58,75	8,917	29,57	1910,25	1,55	OAB
8	050157454520170508-EFC 02 +3	18°C, 71%	a=12,95 b=5,72	54,05	8,972	26,79	1705,19	1,57	OLB
9	050157454520170508-EFC 02 -4	18°C, 71%	a= 12,98 b=5,68	56,06	9,147	28,11	1767,58	1,59	OAB
10	050157454520170508-EFC 02 -5	18°C, 71%	a=12,96 b=5,82	73,52	11,774	35,17	1676,61	2,10	OAB
		Promedio \bar{x}		60,36	8,93	29,53	1946,42	1,57	
		Desviación estándar S_{n-1}		7,66	2,10	3,30	415,76	0,37	
		Coefficiente de variación CV		12,70	23,53	11,18	21,36	23,63	



Centro de Fomento Productivo
Metalmeccánico Carrocero



Honorable Gobierno
Provincial de Tungurahua

Nomenclatura:

De tipo de falla evaluado: el tipo de falla evaluado se lo realiza mediante los criterios de la norma ASTM D2764-2015.

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

Código: RG-RM-005
Fecha de Elaboración: 11-05-2016
Fecha de última aprobación: 28-04 -2017
Revisión: 5

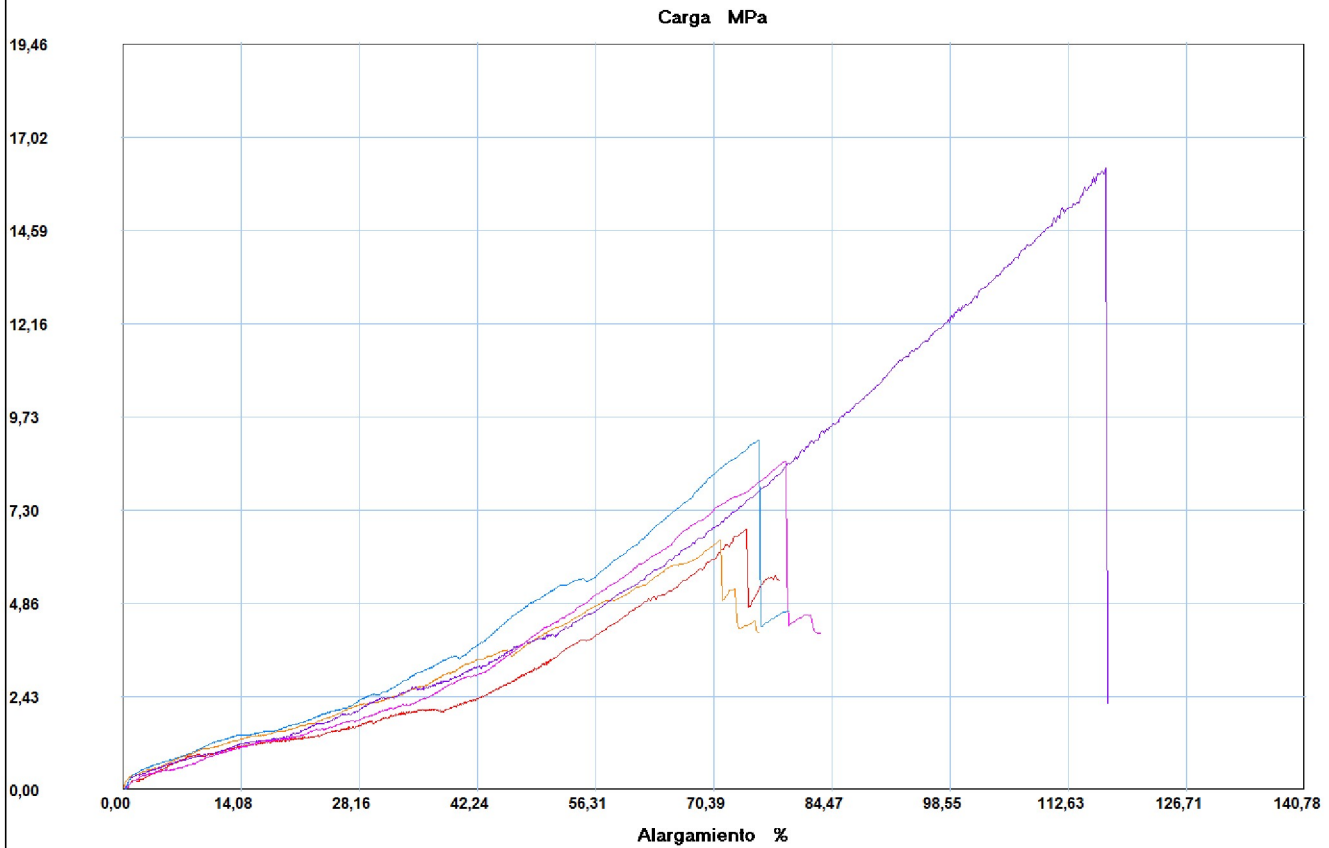
**INFORME DE ENSAYO DE
FLEXIÓN MATERIALES
COMPUESTOS**

INFORME :
ENSAYO :

ETC 01
TRACCION



Referencia : MATERIAL COMPUESTO
 Cliente :
 Calidad :
 Operario : ING. F. GALARZA
 Norma : ASTM D3039
 Fecha : 19/04/2017
 Hora : 11:54:53
 Temperatura : 18
 H.R.% : 81
 Pedido : 050157454520170404



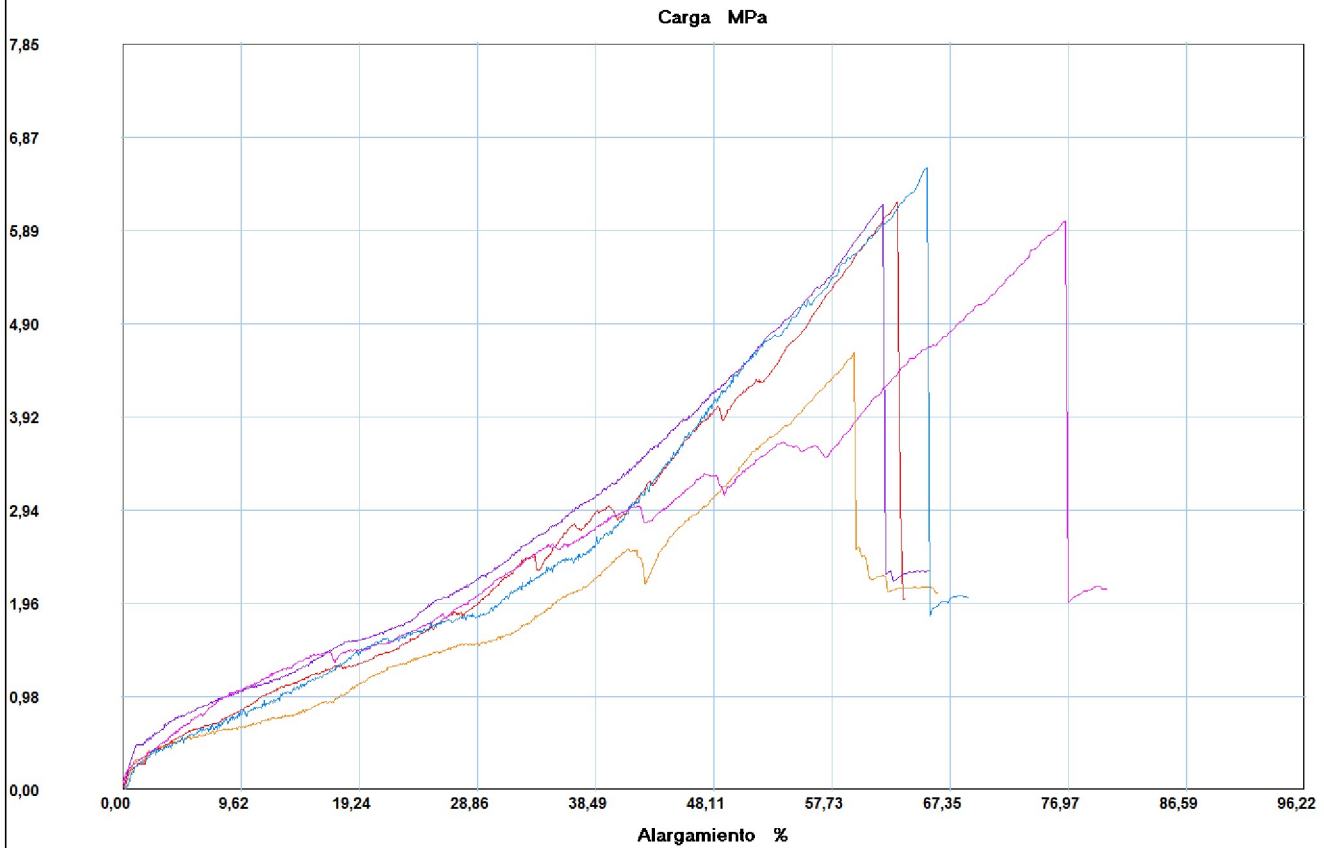
Probeta	FMax N	FYield N	FRot N	CMax MPa	C.Yield MPa	CRot MPa
1	976,66	104,13	870,95	6,79	0,72	6,06
2	975,08	119,91	975,08	6,52	0,80	6,52
3	2231,02	110,45	2177,37	16,21	0,80	15,82
4	1222,80	82,04	1222,80	8,58	0,58	8,58
5	1300,11	119,91	1300,11	9,12	0,84	9,12
Media	1341,134	107,288	1309,262	9,447	0,749	9,222
Desv. Std	518,271	15,621	515,986	3,944	0,106	3,914
Coef. V.	0,386	0,146	0,394	0,417	0,141	0,424
+3 Sigma	2895,947	154,151	2857,220	21,278	1,067	20,964

INFORME :
ENSAYO :

ETC 02
TRACCION



Referencia : MATERIAL COMPUESTO
 Cliente :
 Calidad :
 Operario : ING. F. GALARZA
 Norma : ASTM D3039
 Fecha : 19/04/2017
 Hora : 12:13:03
 Temperatura : 19
 H.R.% : 80
 Pedido : 050157454520170404



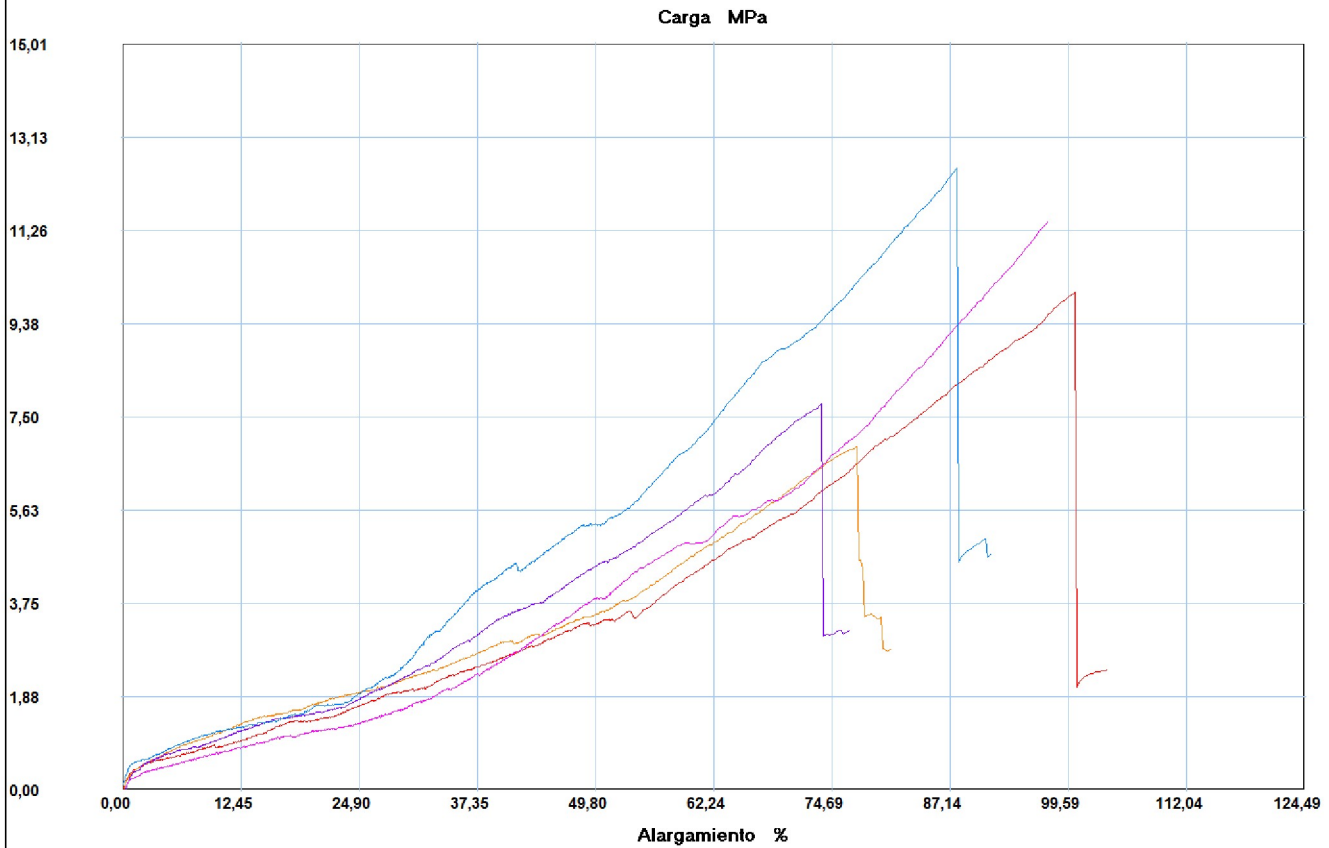
Probeta	FMax N	FYield N	FRot N	CMax MPa	C.Yield MPa	CRot MPa
1	878,84	91,51	878,84	6,19	0,64	6,19
2	651,63	78,89	651,63	4,60	0,56	4,60
3	863,06	119,91	863,06	6,16	0,86	6,16
4	836,24	112,02	836,24	5,98	0,80	5,98
5	951,42	89,93	951,42	6,54	0,62	6,54
Media	836,238	98,452	836,238	5,894	0,695	5,894
Desv. Std	111,671	16,941	111,671	0,752	0,127	0,752
Coef. V.	0,134	0,172	0,134	0,128	0,183	0,128
+3 Sigma	1171,250	149,276	1171,250	8,150	1,077	8,150

INFORME :
ENSAYO :

ETC 03
TRACCION



Referencia : MATERIAL COMPUESTO
 Cliente :
 Calidad :
 Operario : ING. F. GALARZA
 Norma : ASTM D3039
 Fecha : 19/04/2017
 Hora : 12:24:38
 Temperatura : 20
 H.R.% : 80
 Pedido : 050157454520170404



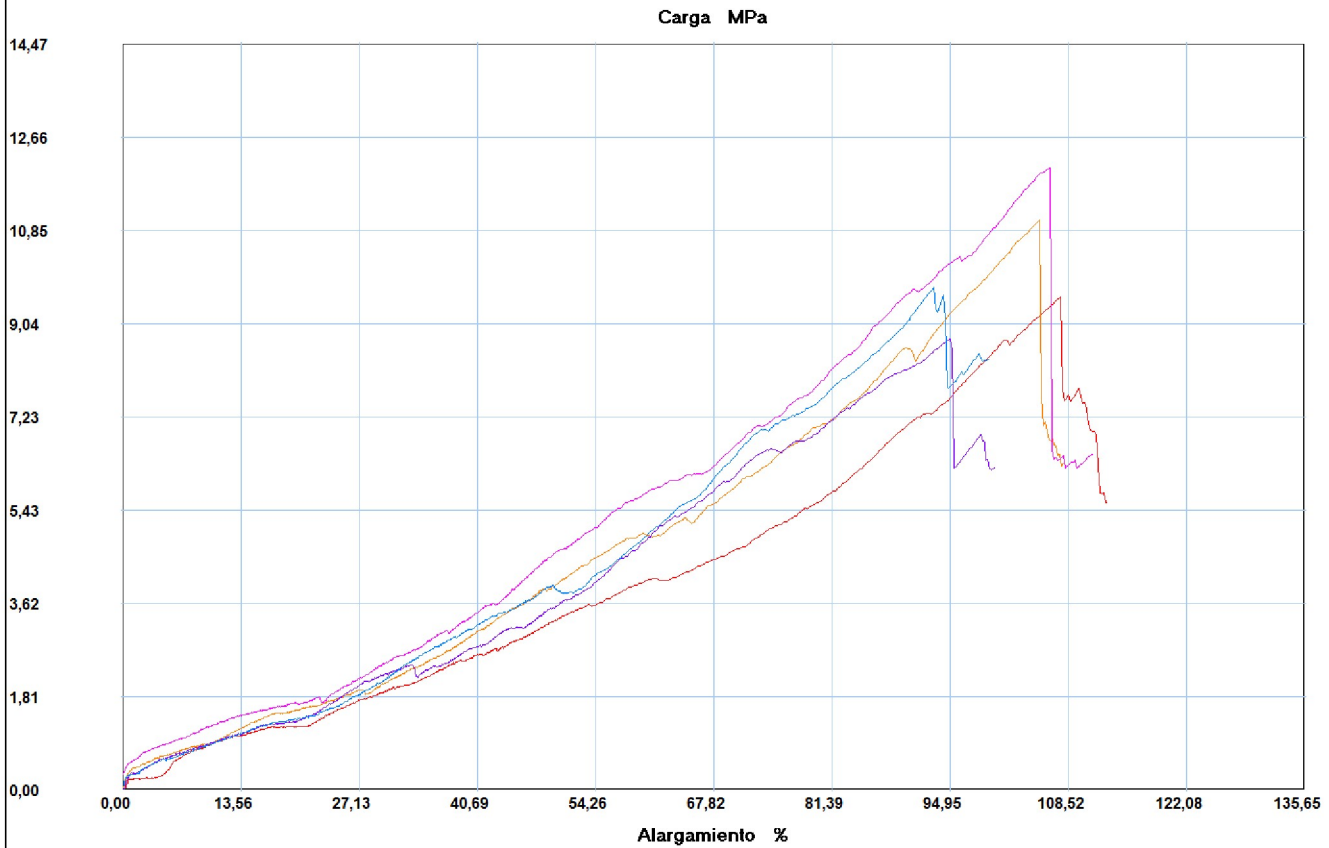
Probeta	FMax N	FYield N	FRot N	CMax MPa	C.Yield MPa	CRot MPa
1	1434,23	110,45	1434,23	10,02	0,77	10,02
2	987,71	130,96	987,71	6,90	0,91	6,90
3	1109,20	116,76	1109,20	7,77	0,82	7,77
4	1576,23	83,62	1576,23	11,46	0,61	11,46
5	1746,63	138,85	1746,63	12,51	0,99	12,51
Media	1370,800	116,128	1370,800	9,730	0,821	9,730
Desv. Std	317,280	21,364	317,280	2,377	0,147	2,377
Coef. V.	0,231	0,184	0,231	0,244	0,179	0,244
+3 Sigma	2322,639	180,220	2322,639	16,862	1,263	16,862

INFORME :
ENSAYO :

ETC 04
TRACCION



Referencia : MATERIAL COMPUESTO
 Cliente :
 Calidad :
 Operario : ING. F. GALARZA
 Norma : ASTM D3039
 Fecha : 19/04/2017
 Hora : 12:38:24
 Temperatura : 20
 H.R.% : 75
 Pedido : 050157454520170404



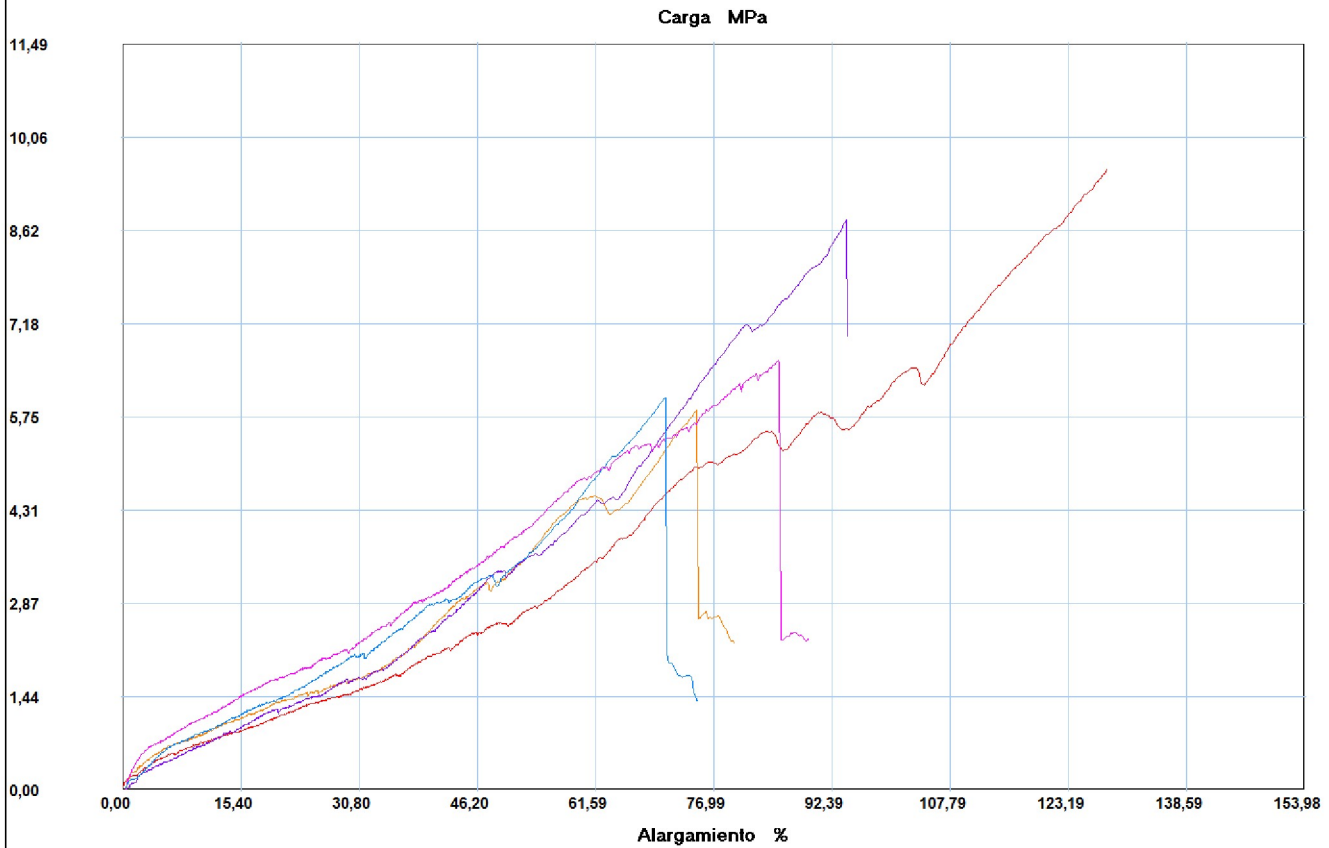
Probeta	FMax N	FYield N	FRot N	CMax MPa	C.Yield MPa	CRot MPa
1	1367,96	104,13	1367,96	9,57	0,73	9,57
2	1573,07	115,18	1573,07	11,06	0,81	11,06
3	1263,82	108,87	1263,82	8,75	0,75	8,75
4	1773,45	154,62	1773,45	12,06	1,05	12,06
5	1410,56	104,13	1410,56	9,75	0,72	9,75
Media	1477,772	117,386	1477,772	10,239	0,813	10,239
Desv. Std	199,285	21,303	199,285	1,311	0,138	1,311
Coef. V.	0,135	0,181	0,135	0,128	0,170	0,128
+3 Sigma	2075,628	181,294	2075,628	14,173	1,226	14,173

INFORME :
ENSAYO :

ETC 05
TRACCION



Referencia : MATERIAL COMPUESTO
 Cliente :
 Calidad :
 Operario : ING. F. GALARZA
 Norma : ASTM D3039
 Fecha : 19/04/2017
 Hora : 12:50:14
 Temperatura : 17
 H.R.% : 82
 Pedido : 050157454520170404



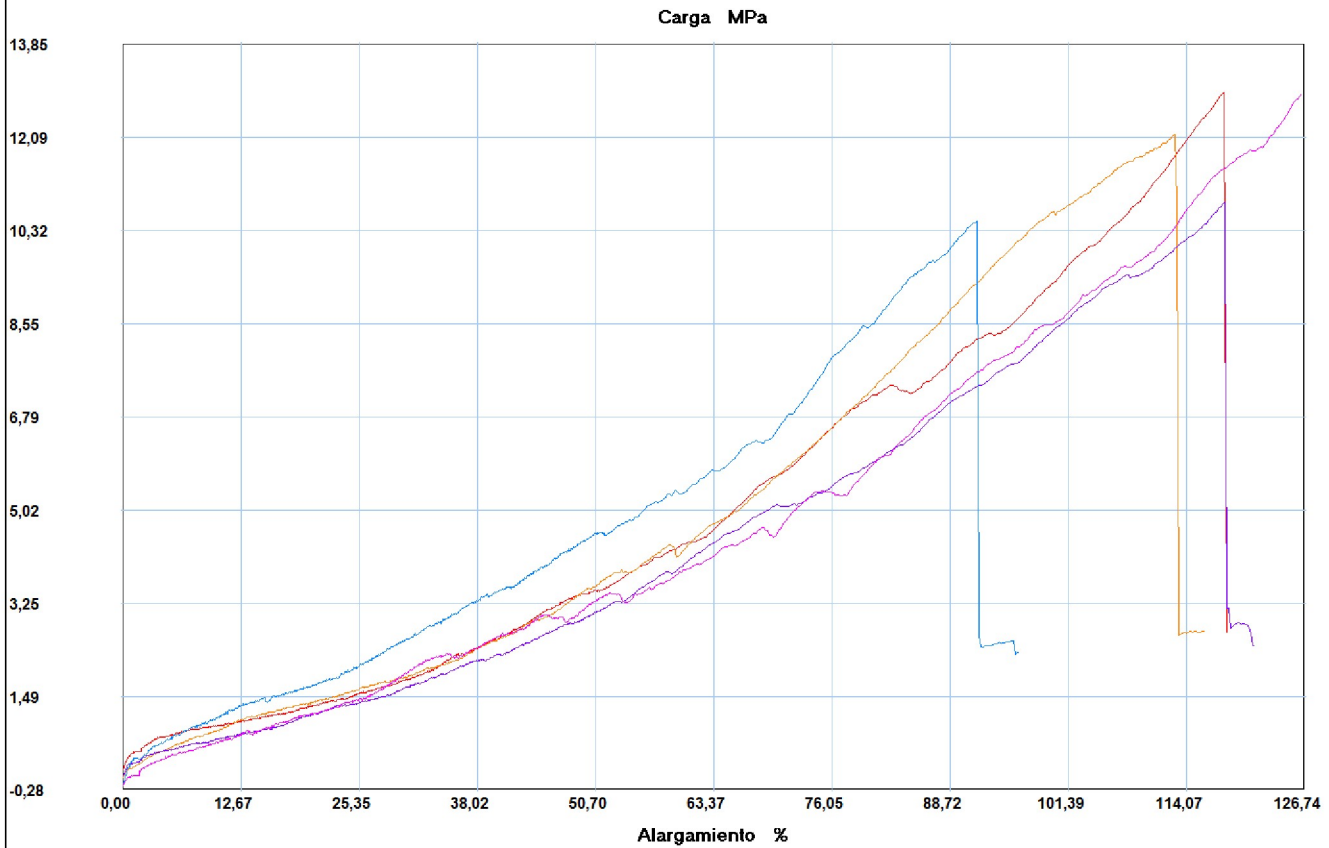
Probeta	FMax N	FYield N	FRot N	CMax MPa	C.Yield MPa	CRot MPa
1	1353,76	89,93	1353,76	9,58	0,64	9,58
2	833,08	99,40	833,08	5,85	0,70	5,85
3	1175,47	67,84	1175,47	8,78	0,51	8,78
4	918,28	123,07	869,37	6,62	0,89	6,27
5	850,44	96,25	850,44	6,04	0,68	6,04
Media	1026,206	95,298	1016,424	7,374	0,682	7,303
Desv. Std	228,807	19,823	235,522	1,694	0,137	1,740
Coef. V.	0,223	0,208	0,232	0,230	0,201	0,238
+3 Sigma	1712,627	154,766	1722,989	12,456	1,094	12,523

INFORME :
ENSAYO :

ETC 06
TRACCION



Referencia : MATERIAL COMPUESTO
 Cliente :
 Calidad : ING. F. GALARZA
 Operario : admin
 Norma : ASTM D3039
 Fecha : 19/04/2017
 Hora : 13:00:15
 Temperatura : 17
 H.R.% : 82
 Pedido : 050157454520170404



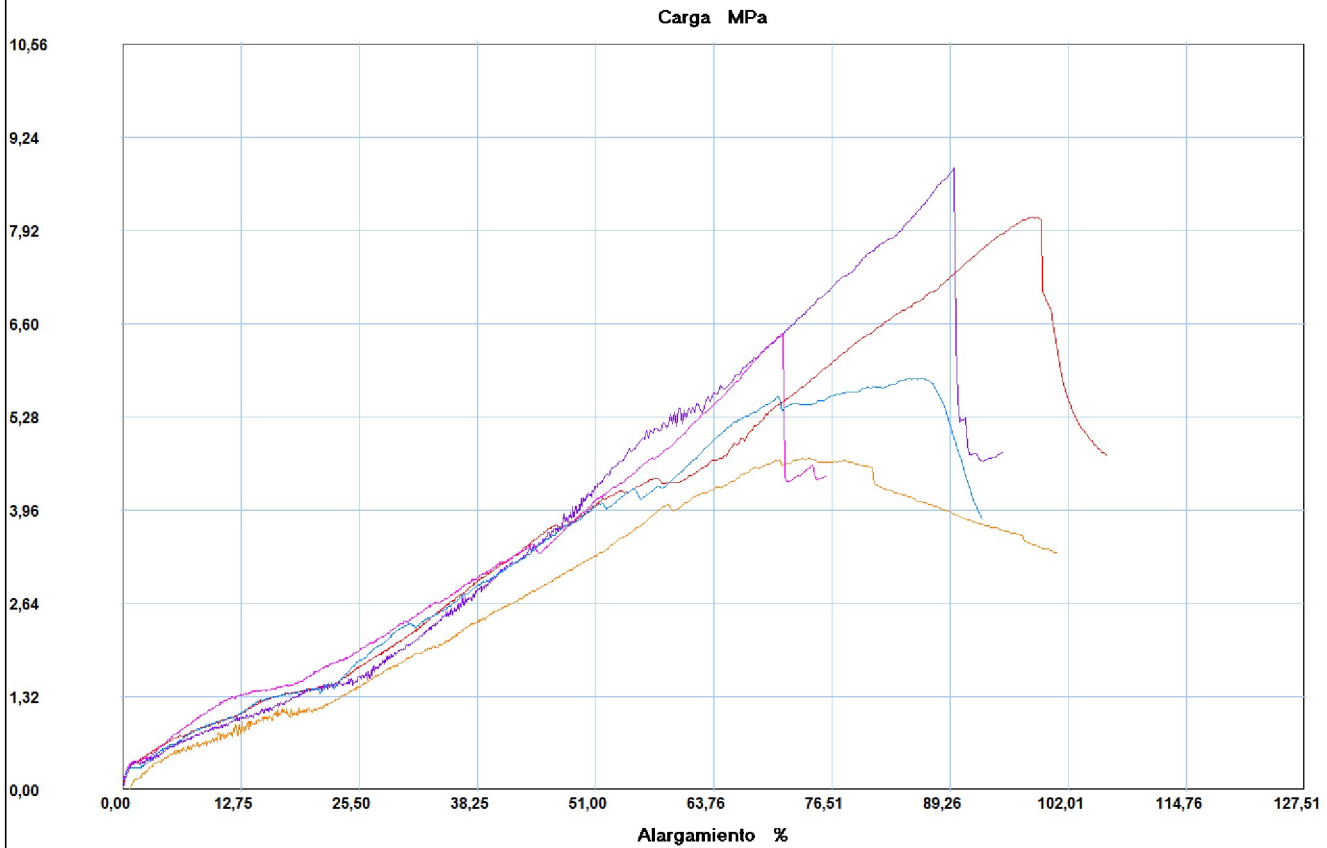
Probeta	FMax N	FYield N	FRot N	CMax MPa	C.Yield MPa	CRot MPa
1	1751,36	118,33	1751,36	12,95	0,87	12,95
2	1691,41	100,98	1691,41	12,14	0,72	12,14
3	1492,60	83,62	1492,60	10,86	0,61	10,86
4	1888,63	72,58	1888,63	14,05	0,54	14,05
5	1435,80	121,49	1435,80	10,51	0,89	10,51
Media	1651,960	99,400	1651,960	12,100	0,727	12,100
Desv. Std	186,795	21,314	186,795	1,465	0,156	1,465
Coef. V.	0,113	0,214	0,113	0,121	0,215	0,121
+3 Sigma	2212,346	163,342	2212,346	16,496	1,195	16,496

INFORME :
ENSAYO :

ETC 07
TRACCION



Referencia : MATERIAL COMPUESTO
 Cliente :
 Calidad :
 Operario : ING. F. GALARZA
 Norma : ASTM D 3039
 Fecha : 19/04/2017
 Hora : 15:22:41
 Temperatura : 20
 H.R.% : 72
 Pedido : 050157454520170404



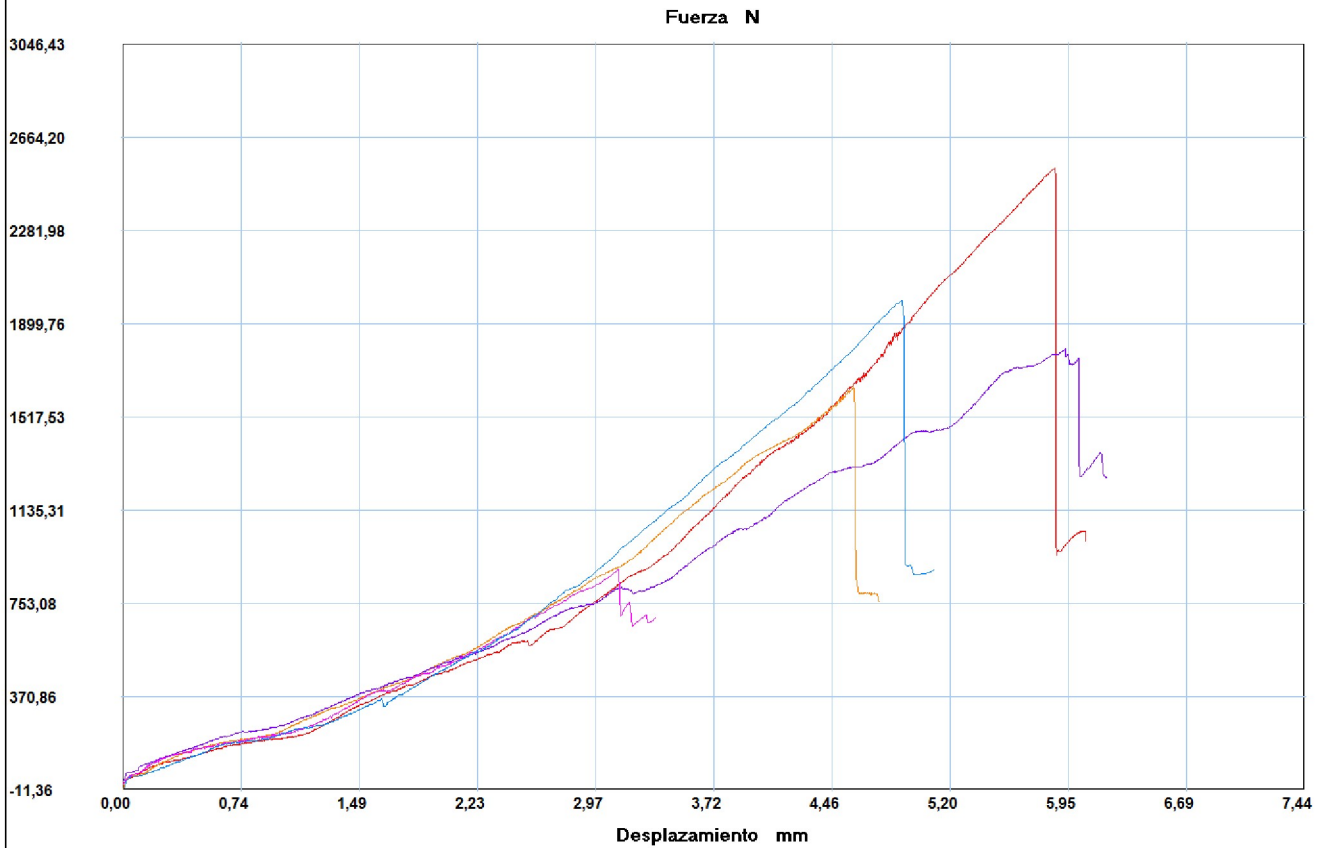
Probeta	FMax N	FYield N	FRot N	CMax MPa	C.Yield MPa	CRot MPa
1	1177,04	119,91	1170,73	8,11	0,83	8,07
2	668,99	88,36	657,94	4,70	0,62	4,62
3	1281,18	105,71	1281,18	8,80	0,73	8,80
4	897,77	119,91	897,77	6,46	0,86	6,46
5	839,39	113,60	550,65	5,82	0,79	3,82
Media	972,874	109,498	911,654	6,778	0,765	6,353
Desv. Std	251,267	13,180	315,657	1,674	0,095	2,142
Coef. V.	0,258	0,120	0,346	0,247	0,125	0,337
+3 Sigma	1726,675	149,037	1858,625	11,801	1,051	12,780

INFORME :
ENSAYO :

ETC 08
TRACCION



Referencia : MATERIAL COMPUESTO
 Cliente :
 Calidad :
 Operario : ING. F. GALARZA
 Norma : ASTM D3039
 Fecha : 19/04/2017
 Hora : 15:51:30
 Temperatura : 19
 H.R.% : 76
 Pedido : 050157454520170404



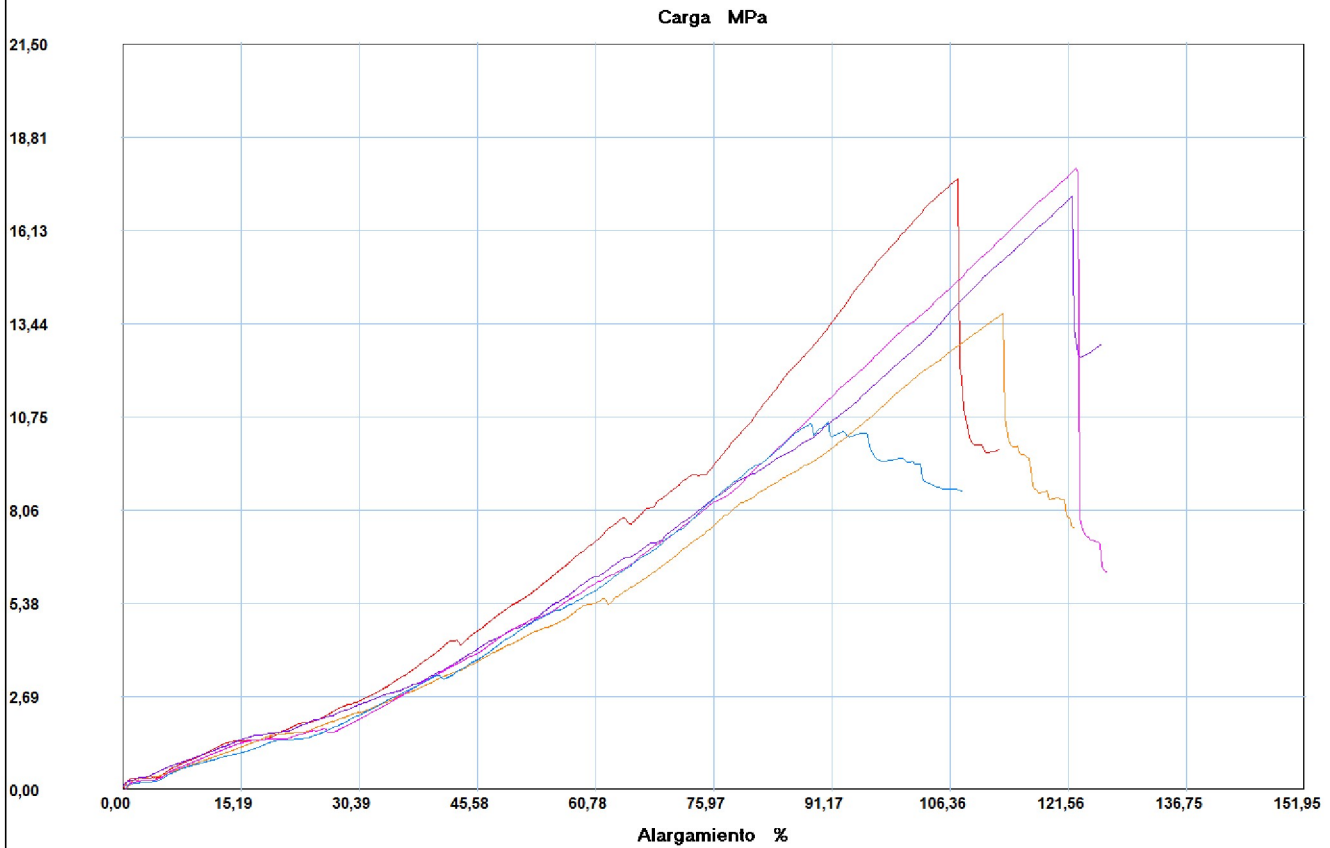
Probeta	FMax N	FYield N	FRot N	CMax MPa	C.Yield MPa	CRot MPa
1	2538,69	162,51	2538,69	19,25	1,23	19,25
2	1642,50	160,94	1636,18	12,06	1,18	12,01
3	1795,54	208,27	1795,54	13,27	1,54	13,27
4	891,46	130,96	891,46	6,59	0,97	6,59
5	1994,35	108,87	1994,35	14,79	0,81	14,79
Media	1772,508	154,310	1771,244	13,191	1,146	13,182
Desv. Std	597,898	37,526	598,248	4,587	0,278	4,590
Coef. V.	0,337	0,243	0,338	0,348	0,243	0,348
+3 Sigma	3566,201	266,889	3565,988	26,951	1,980	26,951

INFORME :
ENSAYO :

ETC 01
TRACCION



Referencia : MATERIAL COMPUESTO
Cliente :
Calidad :
Operario : ING. F. GALARZA
Norma : ASTM D3039
Fecha : 08/05/2017
Hora : 10:35:44
Temperatura : 18
H.R.% : 76
Pedido : 050157454520170508



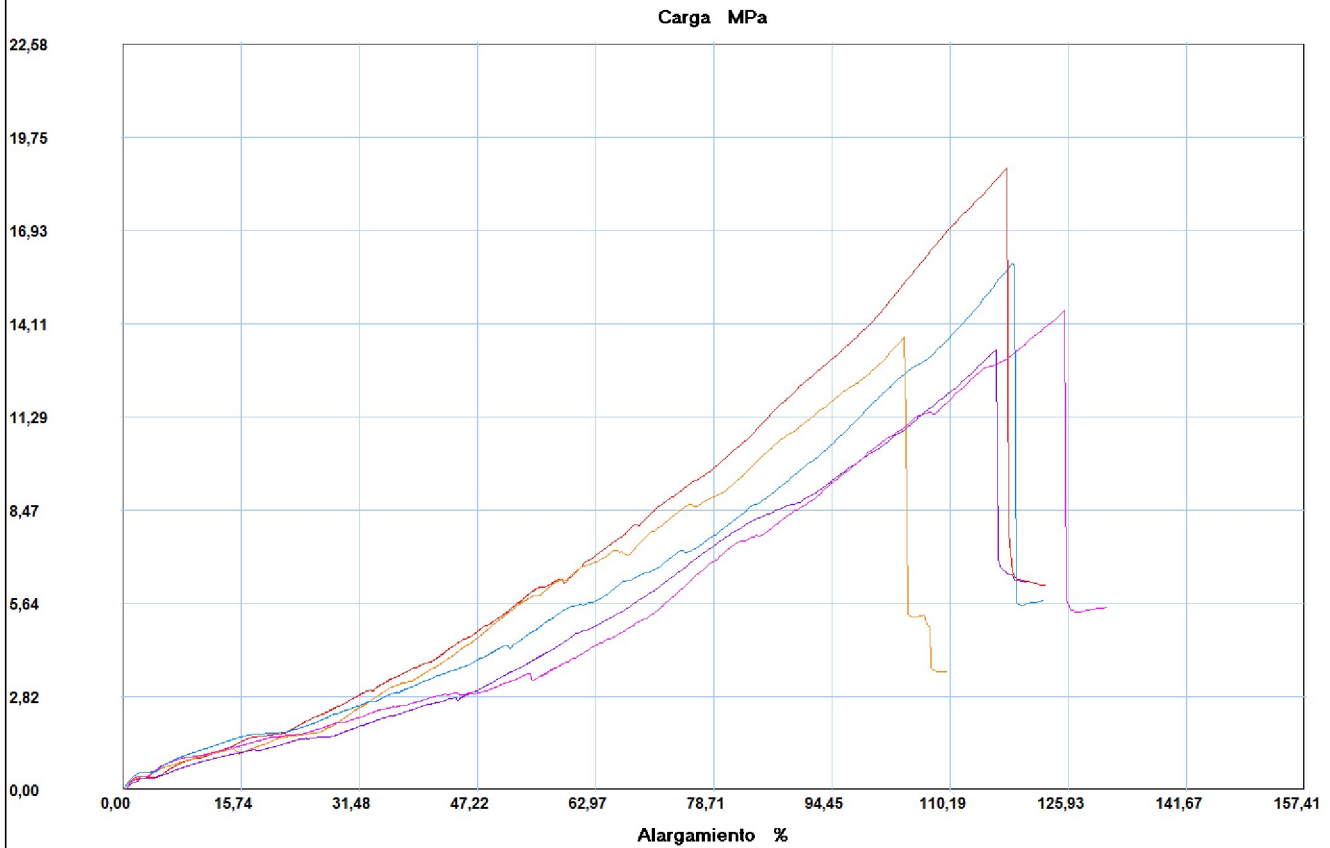
Probeta	FMax N	CMax MPa
1	2364,86	17,63
2	1913,85	13,75
3	2334,48	17,11
4	2492,77	17,92
5	1454,94	10,61
Media	2112,180	15,402
Desv. Std	427,028	3,159
Coef. V.	0,202	0,205
+3 Sigma	3393,265	24,879

INFORME :
ENSAYO :

ETC 02
TRACCION



Referencia : MATERIAL COMPUESTO
Cliente :
Calidad :
Operario : admin
Norma : ASTM D 3039
Fecha : 08/05/2017
Hora : 11:33:31
Temperatura : 18
H.R.% : 76
Pedido : 050157454520170508



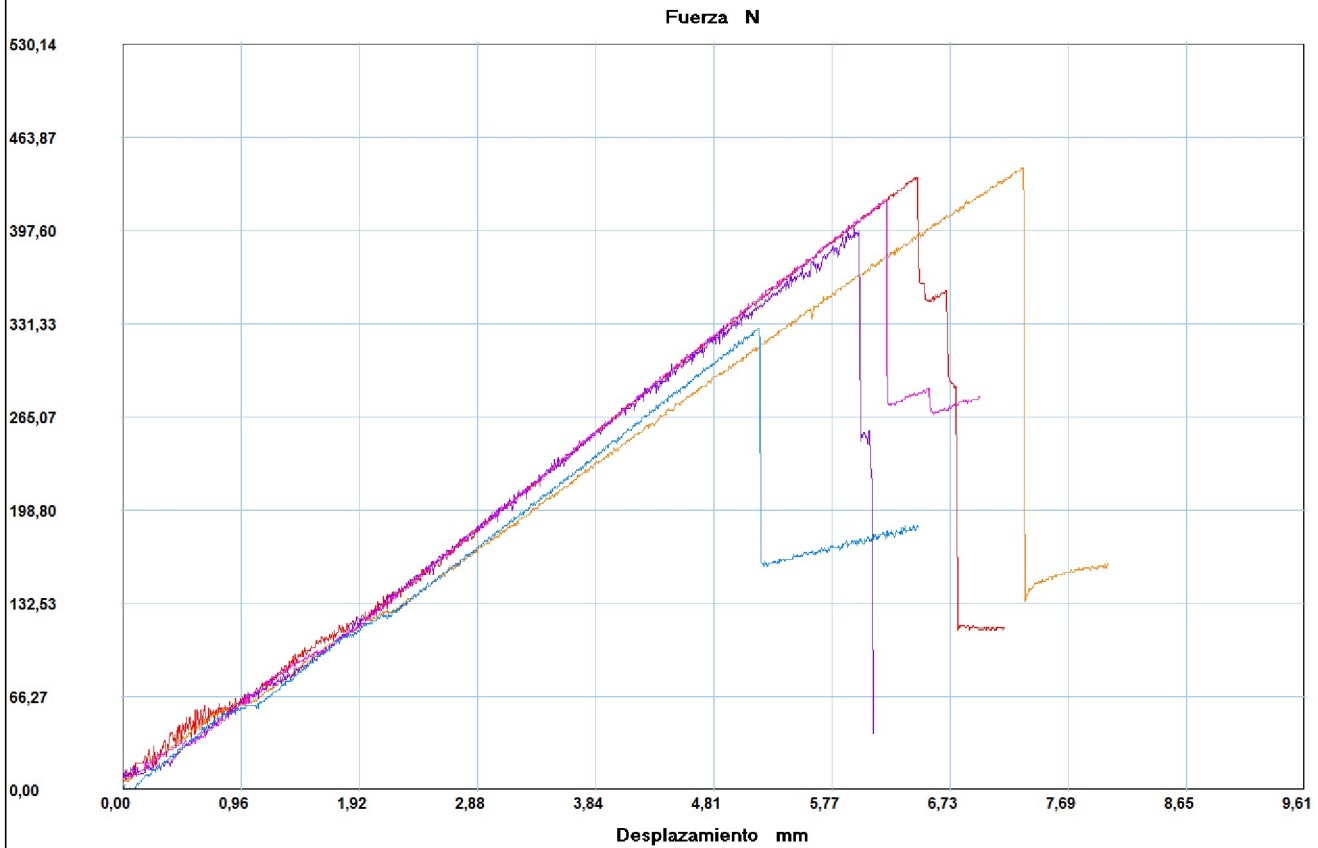
Probeta	FMax N	CMax MPa
■ 1	2351,60	18,81
■ 2	1892,19	13,70
■ 3	1821,19	13,32
■ 4	1983,34	14,51
■ 5	2180,06	15,95
Media	2045,676	15,258
Desv. Std	217,650	2,228
Coef. V.	0,106	0,146
+3 Sigma	2698,626	21,942

INFORME :
ENSAYO :

EFC 01
FLEXION 3P



Referencia : MATERIAL COMPUESTO
 Cliente :
 Calidad :
 Operario : ING. F. GALARZA
 Norma : ASTM D7264
 Fecha : 20/04/2017
 Hora : 14:50:16
 Temperatura : 19
 H.R.% : 76
 Pedido : 050157454520170404



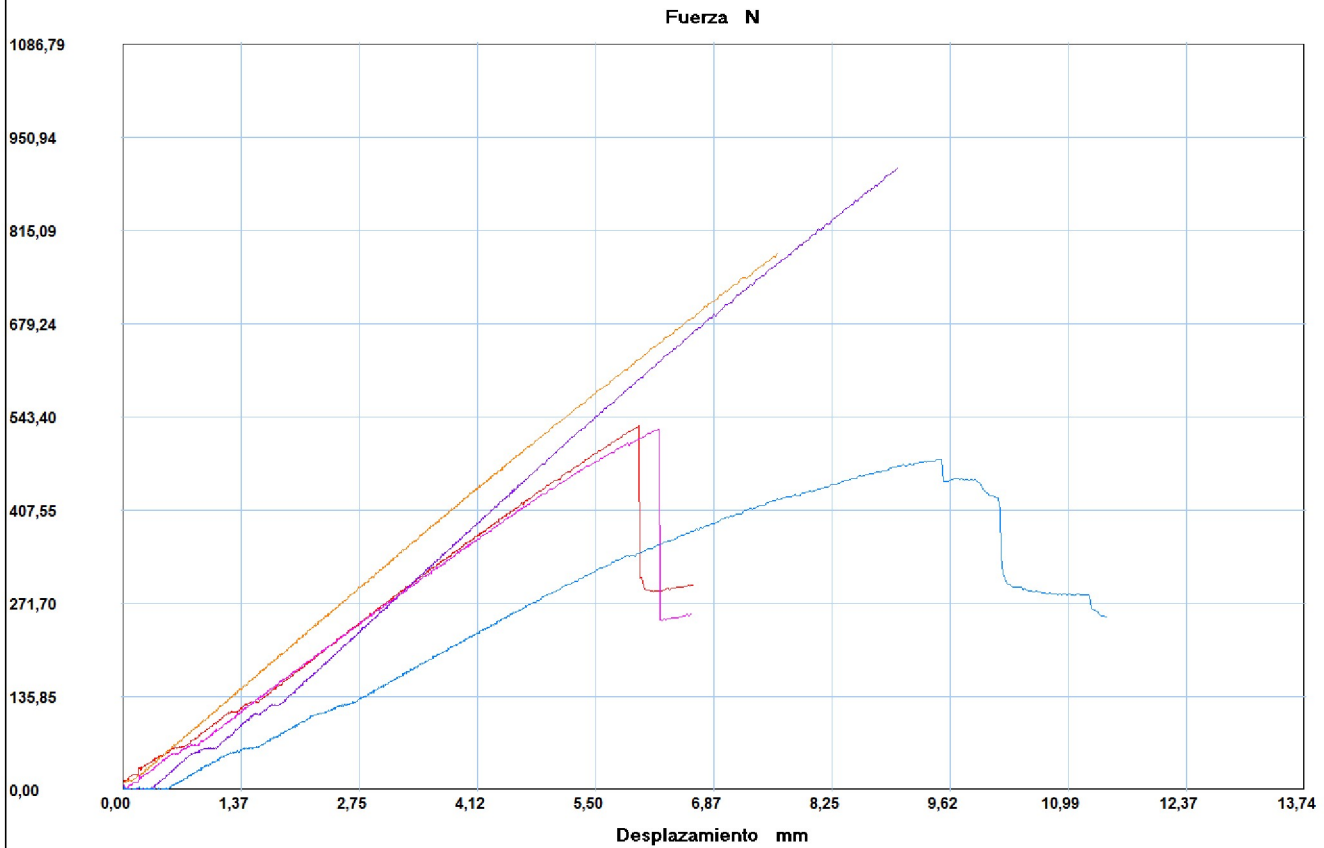
Probeta	FMax N	FRot N	CMax MPa	CRot MPa	ModFlex MPa
1	435,47	435,47	5,94	5,94	18443,31
2	441,78	441,78	6,25	6,25	18815,82
3	399,18	396,03	5,46	5,42	17104,15
4	419,70	419,70	5,76	5,76	17453,30
5	328,18	326,61	4,52	4,49	17848,54
Media	404,862	403,918	5,586	5,573	17933,024
Desv. Std	45,914	46,682	0,663	0,674	700,719
Coef. V.	0,113	0,116	0,119	0,121	0,039
+3 Sigma	542,604	543,964	7,575	7,594	20035,180

INFORME :
ENSAYO :

EFC 02
FLEXION 3P



Referencia : MATERIAL COMPUESTO
 Cliente :
 Calidad :
 Operario : ING. F. GALRAZA
 Norma : ASTM D 7264
 Fecha : 20/04/2017
 Hora : 15:23:50
 Temperatura : 19
 H.R.% : 76
 Pedido : 050157454520170404



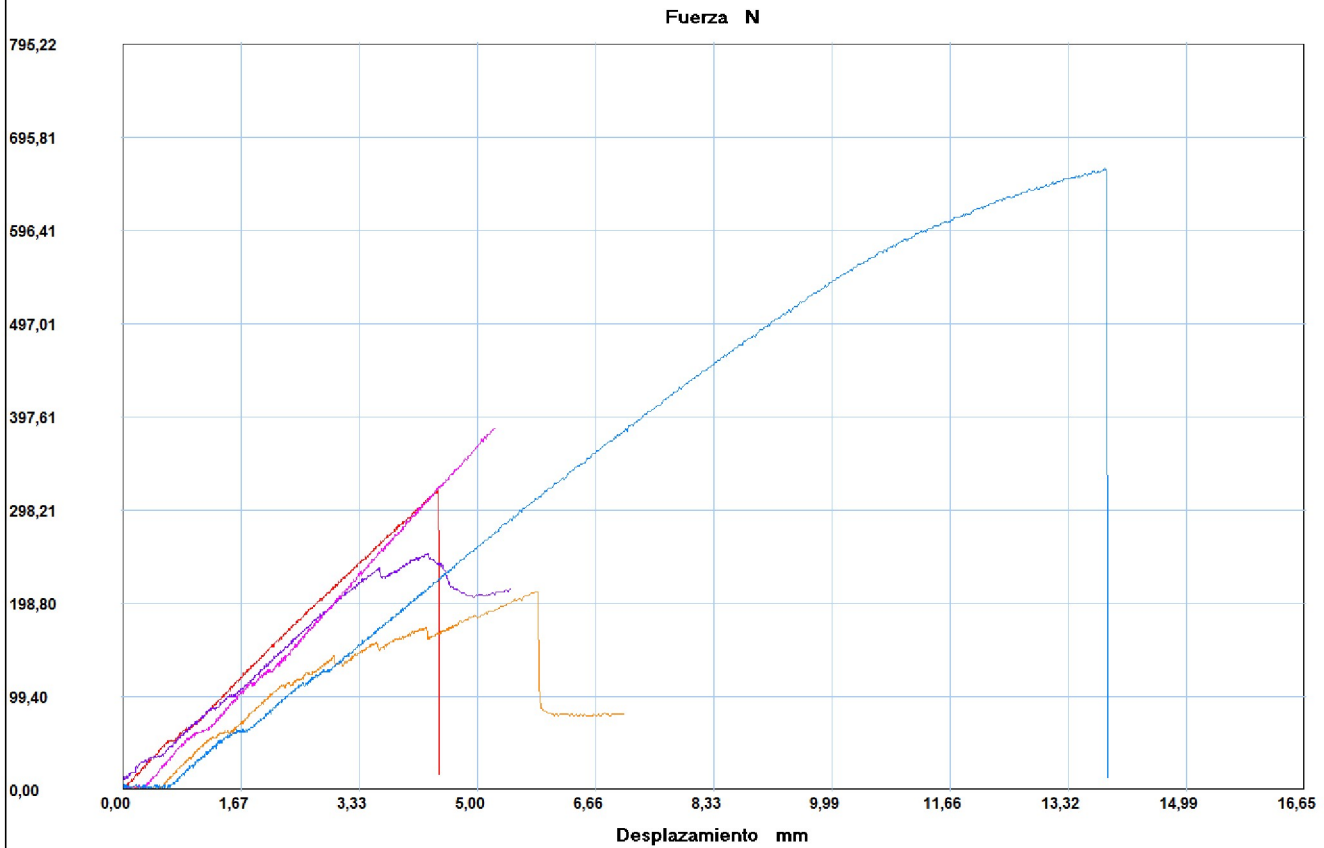
Probeta	FMax N	FRot N	CMax MPa	CRot MPa	ModFlex MPa
1	530,14	530,14	7,21	7,21	19916,04
2	781,01	781,01	10,60	10,60	30881,96
3	905,66	905,66	12,20	12,20	25145,04
4	525,41	525,41	6,88	6,88	21154,23
5	481,23	481,23	6,30	6,30	12666,60
Media	644,690	644,690	8,637	8,637	21952,775
Desv. Std	187,588	187,588	2,605	2,605	6725,696
Coef. V.	0,291	0,291	0,302	0,302	0,306
+3 Sigma	1207,454	1207,454	16,454	16,454	42129,863

INFORME :
ENSAYO :

EFC 03
FLEXION 3P



Referencia : MATERIAL COMPUESTO
 Cliente :
 Calidad :
 Operario : ING. F. GALARZA
 Norma : ASTM D 7264
 Fecha : 20/04/2017
 Hora : 15:35:45
 Temperatura : 18
 H.R.% : 74
 Pedido : 050157454520170404



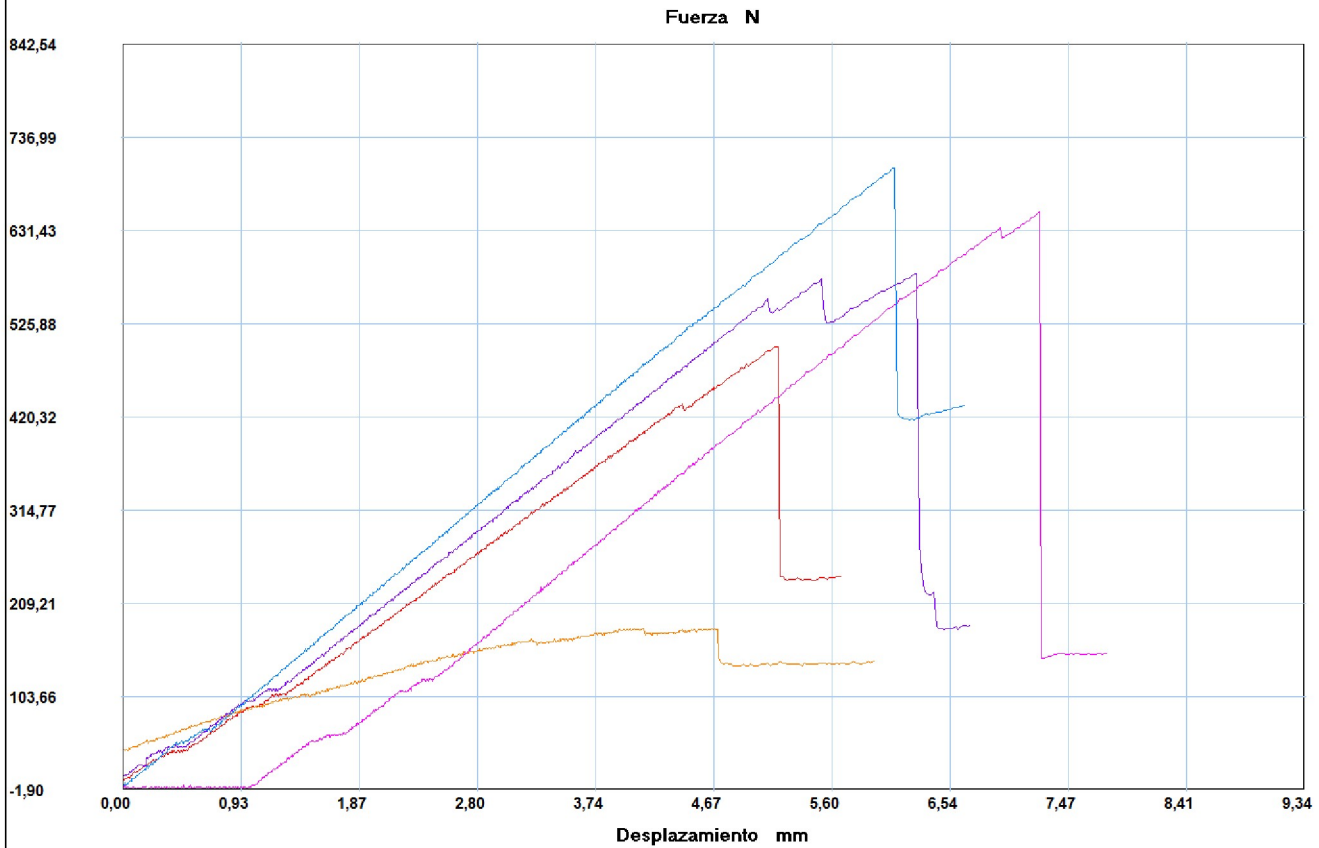
Probeta	FMax N	FRot N	CMax MPa	CRot MPa	ModFlex MPa
1	320,29	320,29	4,15	4,15	17895,20
2	211,43	211,43	2,75	2,75	13958,38
3	252,45	252,45	3,22	3,22	13751,92
4	384,98	384,98	4,93	4,93	17560,50
5	662,68	659,52	8,56	8,52	10843,42
Media	366,366	365,734	4,723	4,715	14801,883
Desv. Std	178,363	177,051	2,303	2,286	2943,716
Coef. V.	0,487	0,484	0,488	0,485	0,199
+3 Sigma	901,455	896,888	11,631	11,572	23633,032

INFORME :
ENSAYO :

EFC 04
FLEXION 3P



Referencia : MATERIAL COMPUESTO
 Cliente :
 Calidad :
 Operario : ING. F. GALARZA
 Norma : ASTM D 7264
 Fecha : 20/04/2017
 Hora : 15:49:48
 Temperatura : 19
 H.R.% : 75
 Pedido : 050157454520170404



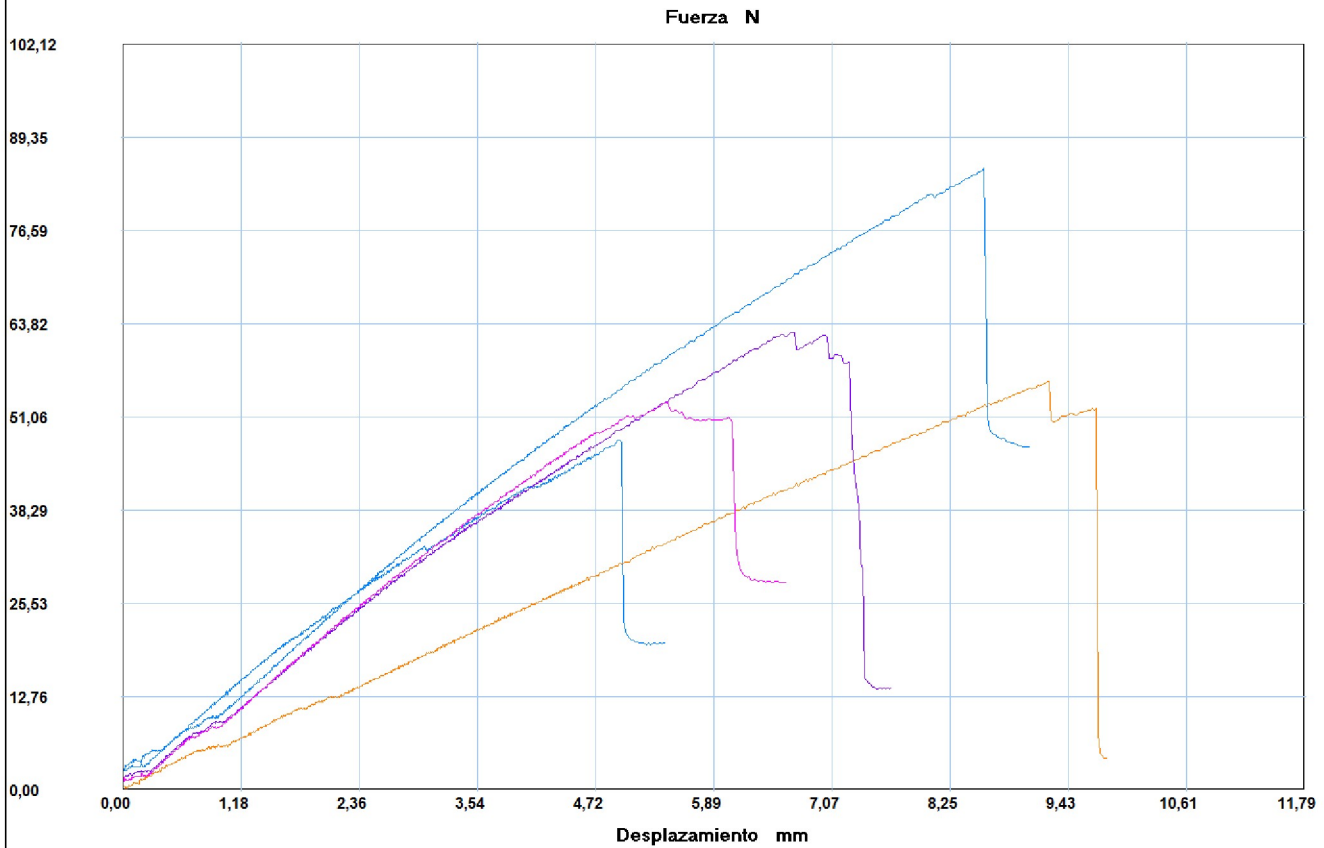
Probeta	FMax N	FRot N	CMax MPa	CRot MPa	ModFlex MPa
1	500,16	500,16	6,72	6,72	20991,57
2	181,45	143,58	2,43	1,92	11848,67
3	582,21	582,21	7,81	7,81	22972,57
4	653,21	653,21	8,93	8,93	11515,05
5	702,12	702,12	9,66	9,66	31173,59
Media	523,830	516,256	7,111	7,010	19700,290
Desv. Std	205,985	221,810	2,843	3,053	8256,179
Coef. V.	0,393	0,430	0,400	0,436	0,419
+3 Sigma	1141,785	1181,685	15,639	16,168	44468,826

INFORME :
ENSAYO :

EFC 01
FLEXION 3P



Referencia : MATERIAL COMPUESTO
Cliente :
Calidad :
Operario : ING. F. GALARZA
Norma : ASTM D7264
Fecha : 08/05/2017
Hora : 11:53:16
Temperatura : 18
H.R.% : 77
Pedido : 050157454520170508



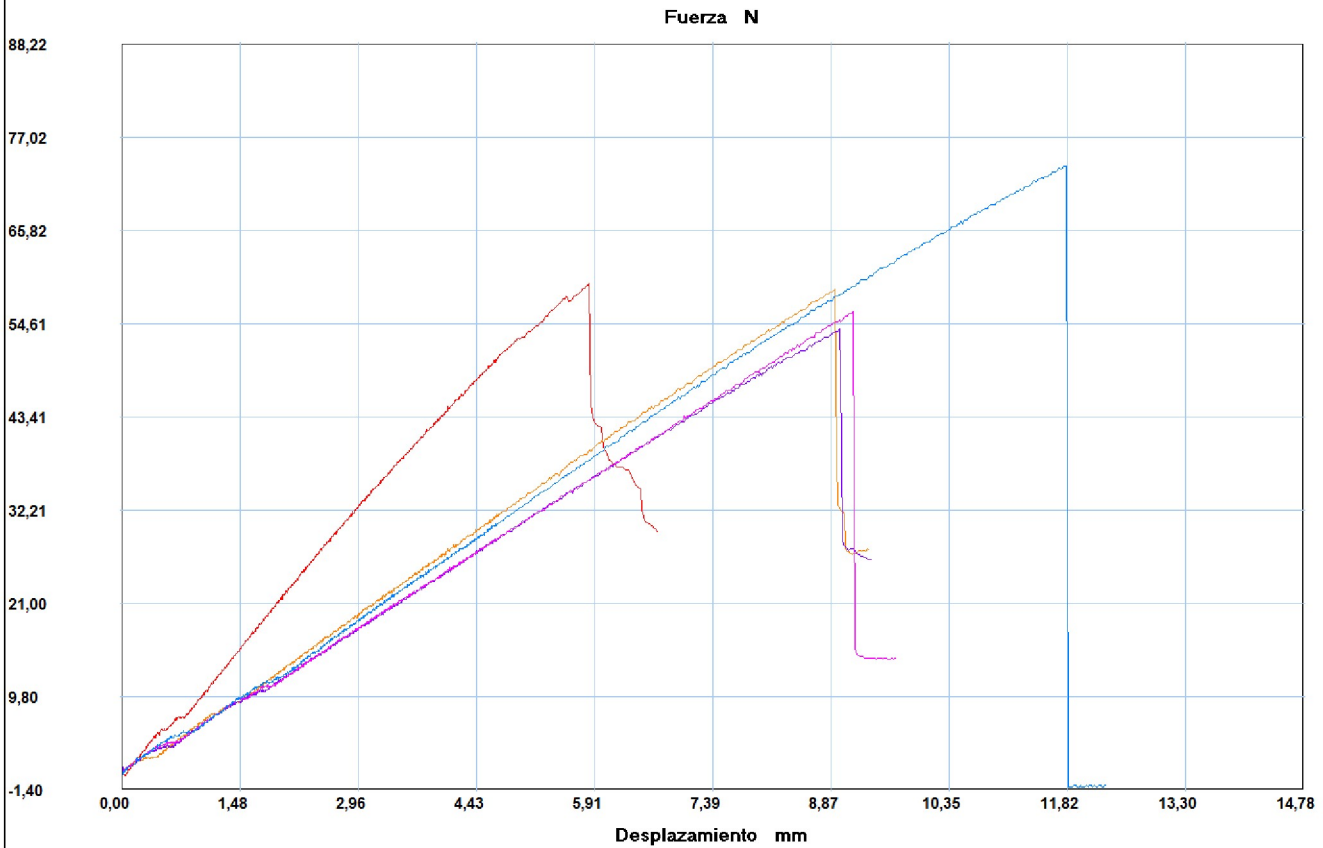
Probeta	FMax N	FYield N	FRot N
1	47,84	7,22	47,67
2	55,89	5,04	55,89
3	62,61	6,88	61,94
4	53,04	6,04	50,35
5	85,10	8,39	85,10
Media	60,896	6,714	60,190
Desv. Std	14,543	1,260	14,964
Coef. V.	0,239	0,188	0,249
+3 Sigma	104,525	10,494	105,081

INFORME :
ENSAYO :

EFC 02
FLEXION 3P

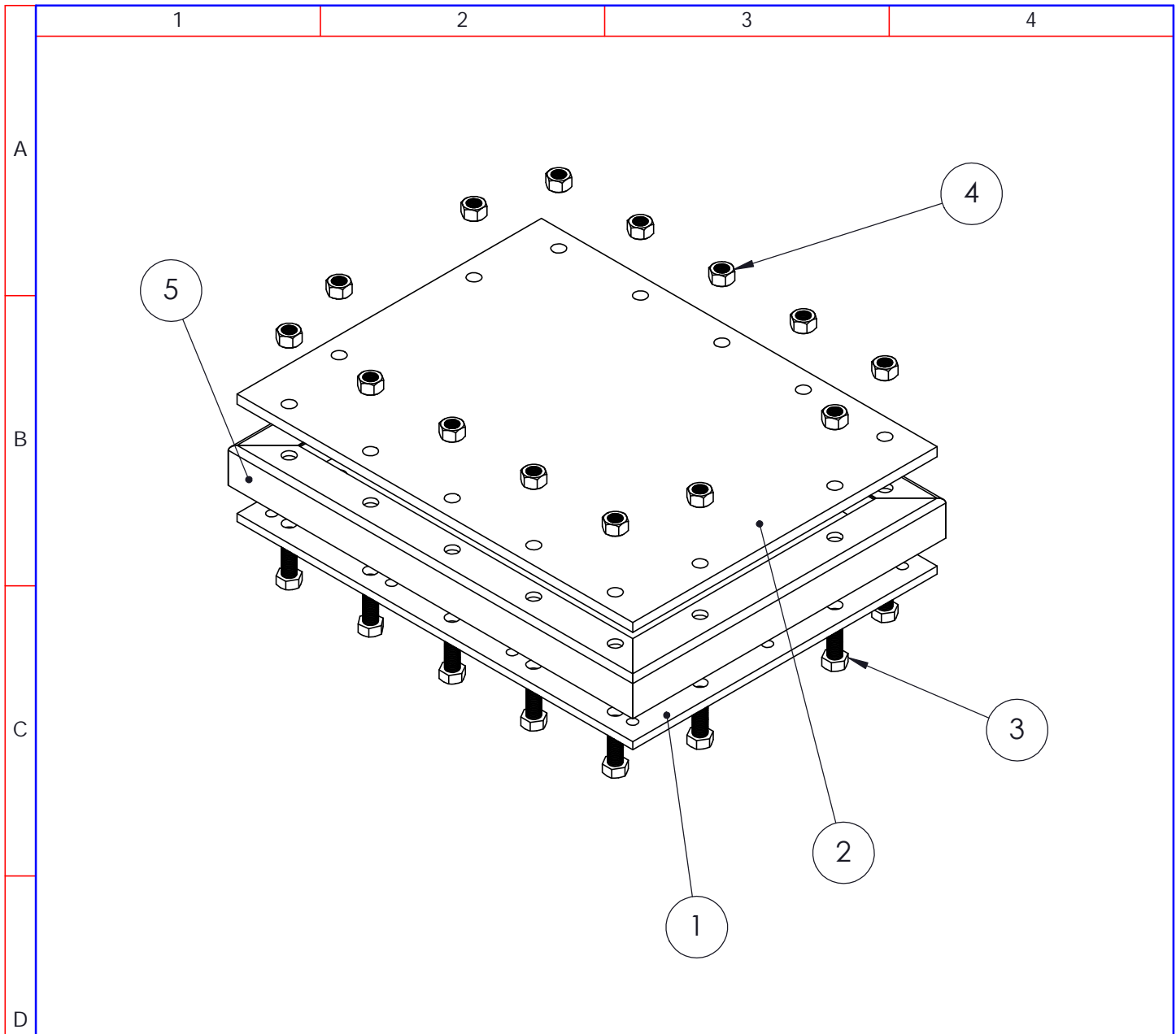


Referencia : MATERIAL COMPUESTO
Cliente :
Calidad :
Operario : ING. F. GALARZA
Norma : ASTM D7264
Fecha : 08/05/2017
Hora : 12:27:26
Temperatura : 18
H.R.% : 71
Pedido : 050157454520170508



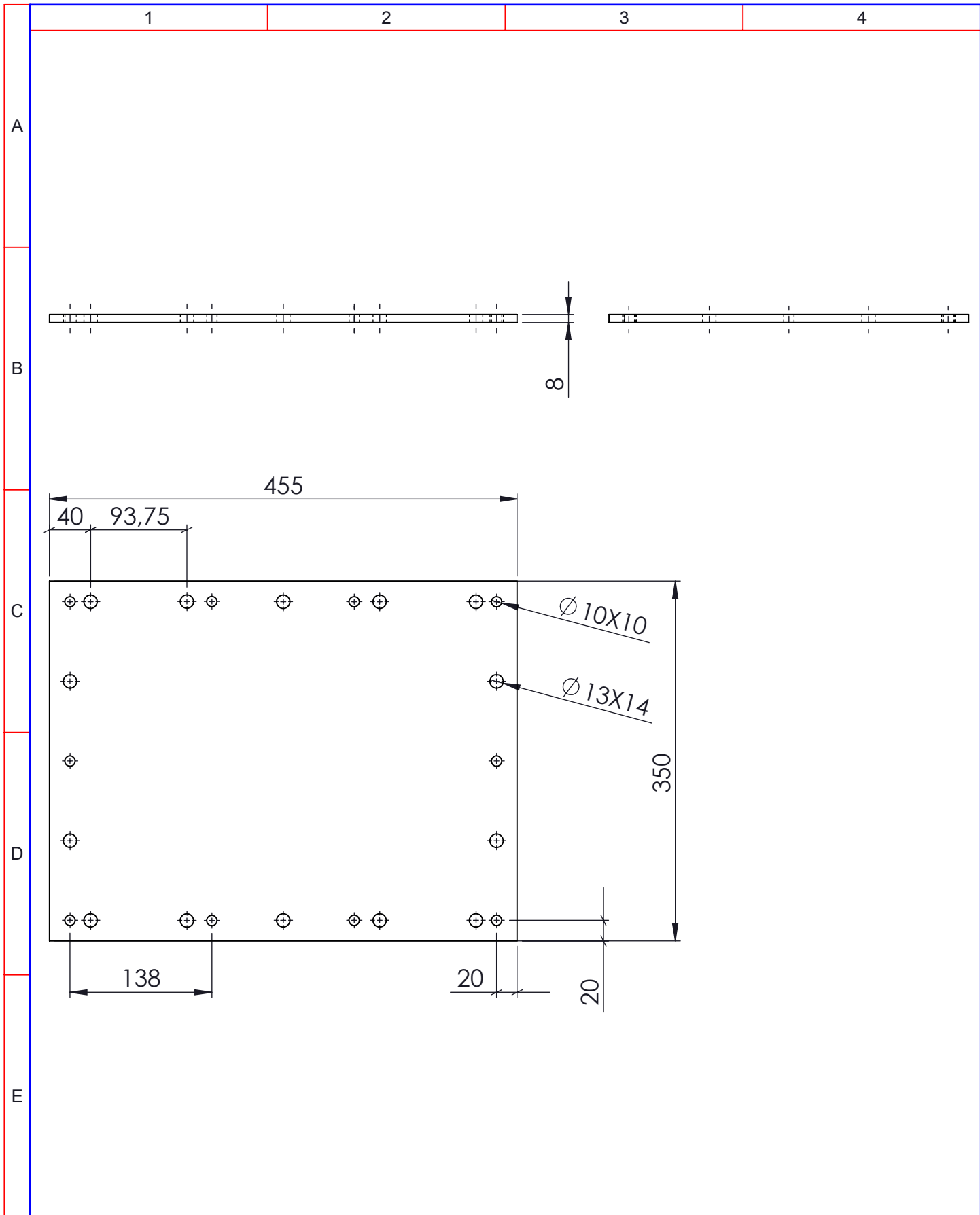
Probeta	FMax N	FYield N	FRot N
1	59,42	6,04	42,13
2	58,75	4,53	58,75
3	54,05	4,20	54,05
4	56,06	4,53	56,06
5	73,52	5,71	73,52
Media	60,360	5,002	56,902
Desv. Std	7,664	0,817	11,254
Coef. V.	0,127	0,163	0,198
+3 Sigma	83,353	7,452	90,665

ANEXO 6: Planos

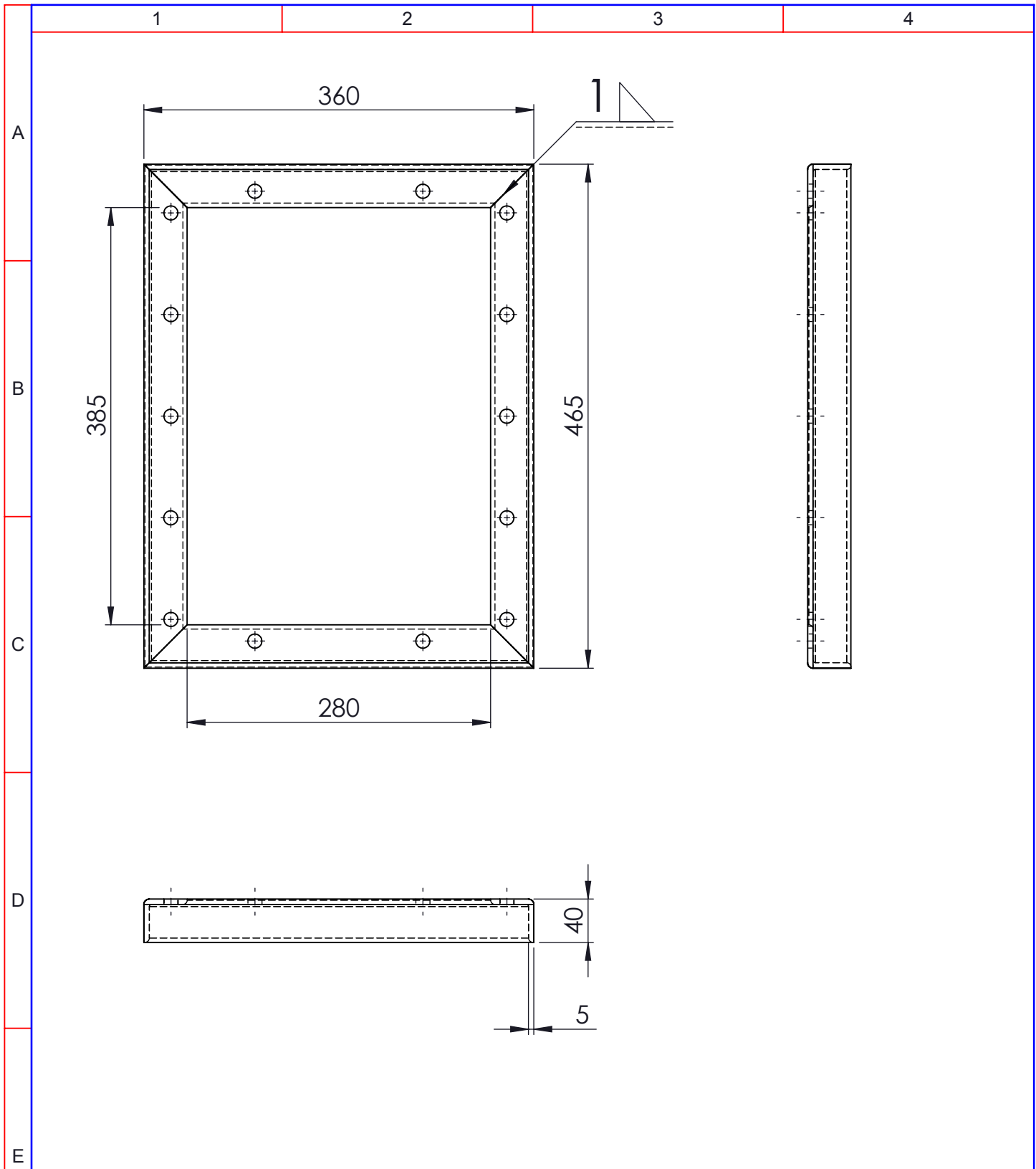


N.º DE ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	PESO Kg	CANTIDAD
1	Base del molde	ASTM A-36	9.83	1
2	Tapa de molde	ASTM A-36	12.35	1
3	Perno cabeza hexagonal 1/2"X 1-1/2"	Acero medio al carbono templado	1.75	14
4	Rosca hexagonal M12	Acero medio al carbono templado	0.54	14
5	Angulo de 40X40X5	ASTM A-36	4.36	1

				Tolerancia	(Peso)	Materiales:		
				±0,1	28,83 kg	Varios		
				Fecha	Nombre	Denominación:	Escala:	
				Dibujó: 02/01/17	Gabriela Iza			
				Revisó: 04/01/17	Gabriela Iza			
				Aprobó: 04/01/17	Ing. Juan P.	Número del dibujo: 01 de 04	1:5	
				UTA Ing. Mecánica				
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	(Sustitución)				

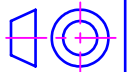


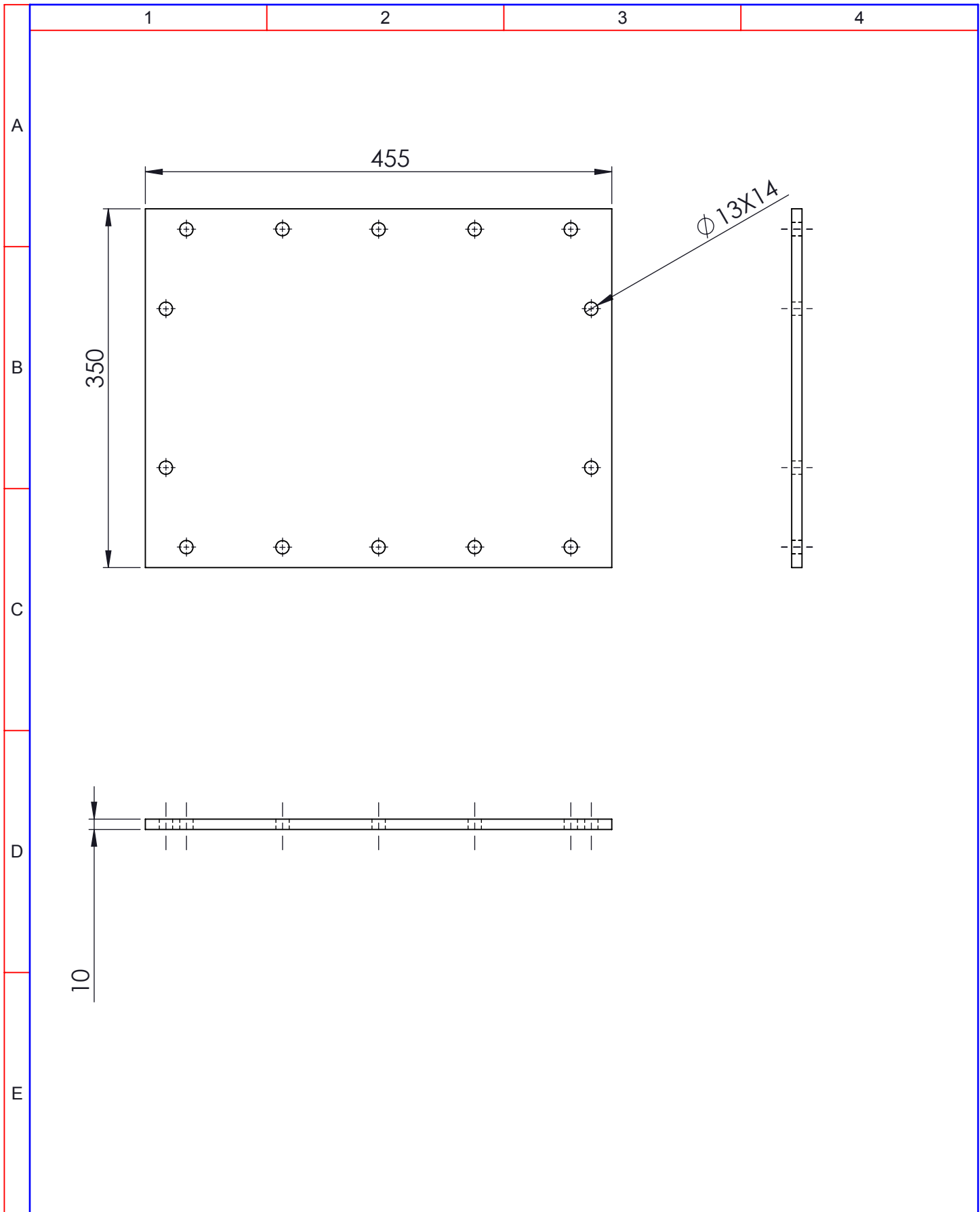
				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				±0,1	9.83 kg	Acero ASTM A36	
				Fecha	Nombre	Denominación:	Escala:
				Dibujó: 04/01/17	Gabriela Iza		
				Revisó: 04/01/17	Ing. Juan P.		
				Aprobó: 04/01/17	Ing. Juan P.	Base del molde	1:5
				UTA Ing. Mecánica			
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	



N.º DE ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	PESO Kg	CANTIDAD
1	Angulo 40X40X5	ASTM A-36	4.56	1.65 m

				Tolerancia	(Peso)	Materiales:			
				±0,1	4,36 kg	Acero ASTM A36			
				Fecha	Nombre	Denominación:	Escala:		
				Dibujó: 02/01/17	Gabriela Iza			Marco del molde	1:5
				Revisó: 04/01/17	Gabriela Iza				
				Aprobó: 04/01/17	Ing. Juan P.	Número del dibujo: 03 de 04			
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	UTA Ing. Mecánica		(Sustitución)			





				Tolerancia	(Peso)	Materiales:			
				±0,1	12,35 kg	Acero ASTM A36			
				Fecha	Nombre	Denominación:	Escala:		
				Dibujó: 02/01/17	Gabriela Iza			Tapa de molde	1:5
				Revisó: 04/01/17	Gabriela Iza				
				Aprobó: 04/01/17	Ing. Juan P.	Número del dibujo: 04 de 04			
				UTA Ing. Mecánica		(Sustitución)			
Edición	Modificación	Fecha	Nombre						