



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

**TRABAJO EXPERIMENTAL PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERO MECÁNICO**

TEMA:

“CARACTERIZACIÓN MECÁNICA Y NUMÉRICA DEL MATERIAL HÍBRIDO
DE MATRIZ EPOXI REFORZADA CON TEJIDO PLANO DE FIBRA VEGETAL
(ALGODÓN) Y FIBRA NATURAL (FIBRA DE CABUYA).”

AUTOR: Segundo Santiago Pacha Guashco

TUTOR: Ing. Mg. Juan Paredes

AMBATO- ECUADOR

2016

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de tutor del Trabajo experimental, previo a la obtención del título de Ingeniero Mecánico, con el tema “CARACTERIZACIÓN MECÁNICA Y NUMÉRICA DEL MATERIAL HÍBRIDO DE MATRIZ EPOXI REFORZADA CON TEJIDO PLANO DE FIBRA VEGETAL (ALGODÓN) Y FIBRA NATURAL (FIBRA DE CABUYA)”, elaborado por el Sr. Segundo Santiago Pacha Guashco, portador de la cédula de ciudadanía: 1804978383, egresado de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Carrera de Ingeniería Mecánica.

Certifico:

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

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

TUTOR

AUTORÍA DEL TRABAJO

Yo, Segundo Santiago Pacha Guashco, con C.I. # 180497838-3 declaro que las actividades y tareas para la obtención de resultados en el presente Trabajo de Investigación previo a la obtención del Título de Ingeniero Mecánico con el Tema “CARACTERIZACIÓN MECÁNICA Y NUMÉRICA DEL MATERIAL HÍBRIDO DE MATRIZ EPOXI REFORZADA CON TEJIDO PLANO DE FIBRA VEGETAL (ALGODÓN) Y FIBRA NATURAL (FIBRA DE CABUYA)”, es exclusivamente auténticos personales y son de absoluta responsabilidad del autor, a excepción de las fuentes bibliográficas que se encuentra citadas en el trabajo de investigación.

Ambato, Octubre de 2016

Segundo Santiago Pacha Guashco

C.I. 180497838-3

TUTOR

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.

Segundo Santiago Pacha Guashco

C.I. 180497838-3

TUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del tribunal de grado aprueban el informe del trabajo experimental realizado por el estudiante Segundo Santiago Pacha Guashco de la carrera de Ingeniería Mecánica bajo el tema: “CARACTERIZACIÓN MECÁNICA Y NUMÉRICA DEL MATERIAL HÍBRIDO DE MATRIZ EPOXI REFORZADA CON TEJIDO PLANO DE FIBRA VEGETAL (ALGODÓN) Y FIBRA NATURAL (FIBRA DE CABUYA)”

Ambato, Enero del 2017

Para constancia firman:

Ing. Mg. Diego Núñez

Ing. Mg. Henry Vaca

DEDICATORIA

A mi familia en especial a mis padres; Segundo Manuel Pacha y María Manuela Guashco; quienes con amor y dedicación me supieron guiar en todo momento, con sus ejemplos de superación y lucha, siendo el soporte fundamental para llegar alcanzar mis metas propuestas que son más fáciles de cumplir gracias a su apoyo incondicional a lo largo de la vida.

AGRADECIMIENTO

A Dios por darme la vida y las oportunidades que día a día me permite seguirme formando como persona y como profesional, con su bendición me permite vivir momentos buenos y malos junto a mi familia guiándonos el sendero correcto.

A mis queridos padres quienes me brindan su apoyo incondicional en todo momento quien me ha forjado de la manera más adecuada con sus ejemplos de lucha y sacrificio compartiendo las experiencias vividas día a día

A los ingenieros de la facultad de ingeniería civil y mecánica en especial al Ing. Mg. Juan Gilberto Paredes Salinas por compartir sus conocimientos, por su paciencia y disposición para guiarme en la realización del estudio.

A todos los amigos de la facultad y fuera de ellas quienes me supieron ayudar moralmente a lo largo de la carrera.

TABLA DE CONTENIDO

PÁGINAS PRELIMINARES

| | |
|--|------|
| PORTADA..... | I |
| CERTIFICACIÓN DEL TUTOR | II |
| AUTORÍA DEL TRABAJO | III |
| DERECHOS DEL AUTOR | IV |
| APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO | V |
| DEDICATORIA | VI |
| AGRADECIMIENTO | VII |
| TABLA DE CONTENIDO..... | VIII |
| ÍNDICE DE FIGURAS..... | XIV |
| ÍNDICE DE TABLAS | XVI |
| ÍNDICE DE FICHAS..... | XVII |
| RESUMEN EJECUTIVO | XIX |
| EXECUTIVE SUMMARY..... | XX |
| CAPÍTULO I..... | 2 |
| 1.1 TEMA DEL TRABAJO EXPERIMENTAL..... | 2 |
| 1.2 ANTECEDENTES..... | 2 |
| 1.3 JUSTIFICACIÓN | 3 |
| 1.4 OBJETIVOS | 4 |
| 1.4.1 OBJETIVO GENERAL:..... | 4 |
| 1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:..... | 4 |
| CAPÍTULO II | 5 |
| 2.1 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA..... | 5 |
| 2.1.1 INGENIERÍA DE LOS MATERIALES | 5 |
| 2.1.2 MATERIALES COMPUESTOS | 6 |

| | |
|---|----|
| 2.1.2.1 Definición..... | 6 |
| 2.1.2.2 Clasificación de los materiales compuestos..... | 7 |
| 2.1.3 MATERIAL HÍBRIDO | 7 |
| 2.1.3.1 Definición..... | 7 |
| 2.1.3.2 Componentes de un material híbrido | 8 |
| a) Matriz..... | 8 |
| b) Matriz polimérica..... | 9 |
| c) Resina epóxica | 9 |
| d) Refuerzo..... | 11 |
| e) Refuerzo con fibras | 12 |
| 2.1.3.3 Reglas de mezcla en el compuesto reforzado con fibra..... | 15 |
| 2.1.3.4 Influencia de la orientación y cantidad de fibra..... | 16 |
| 2.1.3.5 Tejido de las fibras | 16 |
| a) Tejido plano | 16 |
| 2.1.3.5 Tipo de estratificación..... | 17 |
| 2.1.4 RESISTENCIA DE MATERIALES..... | 17 |
| 2.1.5 ENSAYO DE MATERIALES | 17 |
| 2.1.5.1 Ensayos de tracción..... | 18 |
| a) Esfuerzo máximo a tracción..... | 18 |
| b) Porcentaje de deformación | 19 |
| c) Módulo de elasticidad | 19 |
| d) Norma basada para el ensayo de tracción..... | 19 |
| 2.1.5.2 Ensayo de flexión..... | 20 |
| a) Esfuerzo máximo a flexión | 20 |
| b) Módulo de flexión..... | 21 |
| c) Norma basada para el ensayo de flexión..... | 21 |
| 2.1.5.3 Ensayo de impacto | 21 |

| | |
|---|----|
| a) Resistencia al impacto Izod..... | 22 |
| b) Ensayo de impacto por caída de dardo | 22 |
| 2.1.6 PROPIEDADES MECÁNICAS | 23 |
| 2.1.6.1 Definición..... | 23 |
| 2.1.6.2 Propiedades mecánicas de material compuesto reforzado con fibra..... | 23 |
| 2.1.6.3 Propiedades mecánicas en la zona de la intercara refuerzo-matriz..... | 23 |
| 2.1.6.4 Propiedades mecánicas de fibras vegetales..... | 24 |
| 2.1.7 ANÁLISIS POR ELEMENTOS FINITOS..... | 25 |
| 2.1.7.1 Proceso para el cálculo por elementos finitos. | 25 |
| 2.1.7.2 Aplicación de software para el análisis por elementos finitos. | 26 |
| 2.2 HIPÓTESIS..... | 26 |
| 2.3 SEÑALAMIENTO DE LAS VARIABLES DE LAS HIPÓTESIS | 26 |
| 2.3.1 VARIABLE INDEPENDIENTE..... | 26 |
| 2.3.2 VARIABLE DEPENDIENTE | 26 |
| 2.3.3 TERMINO DE RELACIÓN | 26 |
| CAPÍTULO III..... | 27 |
| 3.1 NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN | 27 |
| 3.1.1 EXPLORATORIO | 27 |
| 3.1.2 DESCRIPTIVA..... | 27 |
| 3.1.3 EXPLICATIVA | 27 |
| 3.1.4 CORRELACIONAL..... | 27 |
| 3.2 POBLACIÓN Y MUESTRA..... | 27 |
| 3.2.1 POBLACIÓN..... | 27 |
| 3.2.2 MUESTRA..... | 28 |
| 3.3 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES | 30 |
| 3.3.1 VARIABLE INDEPENDIENTE..... | 30 |
| 3.3.2 VARIABLE DEPENDIENTE | 31 |

| | |
|--|----|
| 3.4 PLAN DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN | 32 |
| 3.5 PLAN PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS..... | 33 |
| 3.5.1 REVISIÓN DE DATOS | 33 |
| 3.5.2 TABULACIÓN DE DATOS | 33 |
| 3.5.3 ANÁLISIS DE DATOS..... | 33 |
| 3.5.4 PRESENTACIÓN DE INFORMACIÓN | 33 |
| 3.5.5 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS | 33 |
| CAPÍTULO IV..... | 34 |
| 4.1 DETERMINACIÓN DEL PROCESO DE OBTENCIÓN DE LAS PROBETAS EXPERIMENTALES | 34 |
| 4.1.1 ADQUISICIÓN DE MATERIA PRIMA | 36 |
| 4.1.2 DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE FIBRA DE CABUYA Y ALGODÓN | 37 |
| 4.1.3 DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL MOLDE (BAJO NORMA) | 39 |
| 4.1.3.1 Diseño geométrico del molde | 39 |
| 4.1.3.2 Volumen total requerido en el molde..... | 40 |
| 4.1.3.3 Elaboración de los planos de construcción del molde | 41 |
| 4.1.3.4 Especificación del material de los componentes del molde..... | 41 |
| 4.1.3.5 Construcción del molde..... | 42 |
| 4.1.3.6 Control de calidad del molde | 43 |
| 4.1.4 CÁLCULO DE FRACCIONES VOLUMÉTRICAS | 44 |
| 4.1.4.1 Probetas preliminares con fibras individuales..... | 45 |
| 4.1.5 FRACCIONES VOLUMÉTRICAS UTILIZADOS..... | 48 |
| 4.1.5.1 Cálculo para la fracción volumétrica del 65% resina epoxi (matriz), fibras de cabuya 30% y algodón 2-8% (refuerzo)..... | 49 |
| 4.1.5.2 Cálculo para la fracción volumétrica del 70% resina epoxi (matriz), fibras de cabuya 25% y algodón 2-8% (refuerzo)..... | 51 |

| | |
|--|----|
| 4.1.5.3 Cálculo para la fracción volumétrica del 75% resina epoxi (matriz), fibras de cabuya 20% y algodón 2-8% (refuerzo)..... | 54 |
| 4.1.6 TEJIDO PLANO ENTRE LAS FIBRAS DE ALGODÓN Y CABUYA ... | 57 |
| 4.1.7 ÁNGULOS DE TEJIDO PLANO | 58 |
| 4.1.7.1 Cabuya 0°, algodón 90° | 58 |
| a) Tejido para la fracción volumétrica del 65% matriz, fibras de cabuya 30% y algodón 2-8%..... | 59 |
| b) Tejido para la fracción volumétrica del 70% matriz, fibras de cabuya 25% y algodón 2-8%..... | 60 |
| c) Tejido para la fracción volumétrica del 75% matriz, fibras de cabuya 20% y algodón 2-8%..... | 62 |
| 4.1.7.2 Cabuya 45°, algodón 135° | 64 |
| a) Tejido para la fracción volumétrica del 65% matriz, fibras de cabuya 30% y algodón 2-8%..... | 64 |
| b) Tejido para la fracción volumétrica del 70% matriz, fibras de cabuya 25% y algodón 2-8%..... | 65 |
| c) Tejido para la fracción volumétrica del 75% matriz, fibras de cabuya 20% y algodón 2-8%..... | 66 |
| 4.1.8 ELABORACIÓN DE PROBETAS DE MATERIAL HÍBRIDO (RESINA EPOXI + FIBRA DE ALGODÓN + FIBRA DE CABUYA) MEDIANTE ESTRATIFICACIÓN A COMPRESIÓN..... | 67 |
| Tabla de proceso de moldeo de las probetas | 67 |
| 4.1.9 CONTROL DE LAS DIMENSIONES ESPECIFICADAS DE LAS PROBETAS | 70 |
| Corte del material..... | 70 |
| a) Corte de probetas a tracción..... | 70 |
| b) Corte de probetas a flexión..... | 71 |
| c) Corte de probetas a impacto..... | 72 |
| c) Densidad del material compuesto | 72 |

| | |
|---|-----|
| 4.1.10 ENSAYOS DE LAS PROBETAS DEL MATERIAL HÍBRIDO..... | 73 |
| 4.1.10.1 Ensayo a tracción | 73 |
| 4.1.10.2 Ensayo bajo la norma ASTM D3039M-00 | 74 |
| 4.1.10.3 Ensayo a flexión..... | 76 |
| 4.1.10.4 Ensayo bajo la norma ASTM D7264M-07 | 76 |
| 4.1.10.5 Ensayo a impacto | 77 |
| 4.1.10.6 Ensayo bajo la norma ASTM D5628-10..... | 77 |
| 4.1.11 RECOLECCIÓN DE DATOS | 78 |
| 4.1.11.1 Tabulación de datos de las probetas a ensayo de tracción | 78 |
| 4.1.11.2 Tabulación de datos de las probetas a ensayo de flexión..... | 91 |
| 4.1.11.3 Tabulación de datos de las probetas a ensayo de impacto | 103 |
| 4.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS | 110 |
| 4.2.1 Evaluación del grupo de material que presente mejores propiedades mecánicas a tracción, flexión e impacto. | 110 |
| 4.2.2 Simulación del material por método de elementos finitos. | 112 |
| 4.2.2.1 Simulación del grupo de material que presente mejores propiedades mecánicas a tracción. | 112 |
| 4.2.2.2 Calidad de malla..... | 113 |
| 4.2.2.3 Resultados obtenidos de la simulación | 114 |
| 4.2.2.4 Comparación de los resultados obtenidos del ensayo real y simulado | 115 |
| 4.2.3 Interpretación de datos | 116 |
| 4.3 VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS..... | 118 |
| CAPÍTULO V | 119 |
| 5.1 CONCLUSIONES | 119 |
| 5.2 RECOMENDACIONES | 120 |
| BIBLIOGRAFÍA | 122 |
| ANEXOS | 125 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Fig. 1 Categoría básica de los materiales y el material compuesto. | 5 |
| Fig. 2 Diagrama de propiedades mecánicas de matriz y refuerzo. | 6 |
| Fig. 3 Clasificación del material compuesto por tipo de refuerzo | 7 |
| Fig. 4 Componentes de un material compuesto. | 8 |
| Fig. 5 Cadenas estructurales de matriz termoestable | 9 |
| Fig. 6 Estructura química del grupo epoxi..... | 10 |
| Fig. 7 Tipos de refuerzos | 11 |
| Fig. 8 Refuerzo de alambres, fibras y whiskers. | 12 |
| Fig. 9 Fibras Vegetales | 12 |
| Fig. 10 Usos de la cabuya. | 13 |
| Fig. 11 a) Planta de cabuya b) Fibra de cabuya | 13 |
| Fig. 12 Usos de la cabuya. | 14 |
| Fig. 13 Orientación de fibra. a) Continua y alineada, b) discontinua y alineada, c) discontinua al azar..... | 16 |
| Fig. 14 Diseño esquemático de un tejido | 16 |
| Fig. 15 Esquema básico de tejido plano..... | 17 |
| Fig. 16 Moldeo por compresión..... | 17 |
| Fig. 17 Máquina universal MTE-50 | 18 |
| Fig. 18 Esquema de una probeta para ensayo a tracción | 20 |
| Fig. 19 Configuración de carga a flexión en tres puntos | 21 |
| Fig. 20 Configuración de carga a flexión en tres puntos | 22 |
| Fig. 21 Máquina de impacto por caída de dardo..... | 23 |
| Fig. 22 Conjunto de elementos finitos. | 25 |
| Fig. 23 Diagrama de caracterización del material híbrido..... | 36 |
| Fig. 24 Resina epoxi y endurecedor..... | 37 |
| Fig. 25 Fibra de algodón y cabuya..... | 37 |
| Fig. 26 Determinación de la densidad..... | 38 |
| Fig. 27 Diagrama del proceso de construcción del molde. | 39 |
| Fig. 28 Distribución de las probetas para el diseño del molde. | 40 |
| Fig. 29 Componentes del molde | 41 |

| | |
|--|----|
| Fig. 30 Construcción de la base del molde | 42 |
| Fig. 31 Construcción del marco del molde | 42 |
| Fig. 32 Acople de la base con el marco del molde | 43 |
| Fig. 33 Acople la tapa del molde | 43 |
| Fig. 34 Elementos del molde | 43 |
| Fig. 35 (a) Desmolde (b) Modelo control de calidad finalizado..... | 44 |
| Fig. 36 Molde para probetas preliminares | 44 |
| Fig. 37 Probeta de fibra de cabuya | 46 |
| Fig. 38 Probeta de fibra de algodón..... | 48 |
| Fig. 39 Telar para tejido de fibras..... | 57 |
| Fig. 40 Tejido plano de 30% de cabuya 0° y 5% algodón 90°..... | 59 |
| Fig. 41 Tejido plano de 22,50% de cabuya 0° y 7,50% algodón 90°..... | 61 |
| Fig. 42 Tejido plano de 17,50% de cabuya 0° y 7,50% algodón 90°..... | 64 |
| Fig. 43 Tejido plano de 30% de cabuya 45 ° y 5% algodón 135°..... | 65 |
| Fig. 44 Tejido plano de 22,50% de cabuya 45° y 7,50% algodón 135°..... | 65 |
| Fig. 45 Tejido plano de 22,50% de cabuya 45° y 7,50% algodón 135°..... | 66 |
| Fig. 46 Aplicación de la cera desmoldante en el área de moldeo y marco..... | 67 |
| Fig. 47 Tejido de cabuya 0° y algodón 90°..... | 67 |
| Fig. 48 Tejido de cabuya 45° y algodón 135°..... | 68 |
| Fig. 49 Medición de la matriz..... | 68 |
| Fig. 50 Medición de endurecedor..... | 68 |
| Fig. 51 Mezcla entre la matriz y endurecedor..... | 68 |
| Fig. 52 Vertido de la capa de matriz preparado..... | 69 |
| Fig. 53 Adición de la capa de tejido plano en el molde..... | 69 |
| Fig. 54 Vertido de la matriz hasta llenar el molde..... | 69 |
| Fig. 55 Sellado del molde..... | 69 |
| Fig. 56 Desmolde del material híbrido..... | 70 |
| Fig. 57 Corte de probetas..... | 70 |
| Fig. 58 Verificación del largo..... | 71 |
| Fig. 59 Verificación del ancho..... | 71 |
| Fig. 60 Verificación del espesor..... | 71 |
| Fig. 61 Verificación del largo..... | 72 |
| Fig. 62 Verificación del ancho..... | 72 |

| | |
|--|-----|
| Fig. 63 Verificación del espesor | 72 |
| Fig. 64 Verificación del largo | 72 |
| Fig. 65 Verificación del ancho..... | 72 |
| Fig. 66 Verificación del espesor | 72 |
| Fig. 67 Ensayo a tracción de material híbrido | 74 |
| Fig. 68 Control de las dimensiones de sobremonta de agarre | 74 |
| Fig. 69 Probetas para el ensayo de tracción con códigos..... | 75 |
| Fig. 70 Probetas para el ensayo de flexión con códigos | 76 |
| Fig. 71 Probetas para el ensayo de impacto con códigos..... | 77 |
| Fig. 72 Modelado digital de probeta de ensayo a tracción | 112 |
| Fig. 73 Mallado del modelo digital..... | 113 |
| Fig. 74 Relación del aspecto del modelo | 113 |
| Fig. 75 Parámetros utilizados en la interpretación de resultados..... | 117 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1 Características de los diferentes tipos de resina..... | 10 |
| Tabla 2 Propiedades de resinas termoestables | 11 |
| Tabla 3 Componentes químicos de la fibra de algodón | 13 |
| Tabla 4 Composición química de la fibra de cabuya | 14 |
| Tabla 5 Características mecánicas de fibras naturales | 15 |
| Tabla 6 Propiedades mecánicas de fibras..... | 24 |
| Tabla 7 Fracción volumétrica, capas y orientación del material híbrido | 28 |
| Tabla 8 Muestra para cada tipo de ensayos..... | 29 |
| Tabla 9 Variable independiente..... | 30 |
| Tabla 10 Variable dependiente..... | 31 |
| Tabla 11 Plan de recolección de información | 32 |
| Tabla 12 Densidad de las fibras de algodón y cabuya | 38 |
| Tabla 13 Proceso para la construcción del molde..... | 42 |
| Tabla 14 Número de fibras de cabuya utilizados para las probetas preliminares | 47 |
| Tabla 15 Número de fibras de cabuya utilizados para las probetas preliminares | 57 |
| Tabla 16 Parámetros del tejido 30% de cabuya 0° y 5% algodón 90°..... | 60 |
| Tabla 17 Parámetros del tejido 22,50% de cabuya 0° y 7,50% algodón 90° | 62 |
| Tabla 18 Parámetros del tejido 17,50% de cabuya 0° y 7,50% algodón 90° | 64 |

| | |
|---|-----|
| Tabla 19 Parámetros del tejido 30% de cabuya 45 ° y 5% algodón 135° | 65 |
| Tabla 20 Parámetros del tejido 22,50% de cabuya 45° y 7,50% algodón 135° | 66 |
| Tabla 21 Parámetros del tejido 22,50% de cabuya 45° y 7,50% algodón 135° | 66 |
| Tabla 22 Proceso de moldeado de probetas. | 67 |
| Tabla 23 Características de probetas a tracción | 71 |
| Tabla 24 Características de probetas a flexión..... | 71 |
| Tabla 25 Características de probetas a impacto | 72 |
| Tabla 26 Comparación de resultado real y simulado | 115 |

ÍNDICE DE FICHAS

| | |
|--|----|
| Ficha técnica 1: Recolección de datos del material híbrido a ensayo de tracción FC17,5%0° - FA7,5%90° | 79 |
| Ficha técnica 2: Recolección de datos del material híbrido a ensayo de tracción FC22,5% 0°- FA7,5%90° | 81 |
| Ficha técnica 3: Recolección de datos del material híbrido a ensayo de tracción FC30%0° - FA5%90° | 83 |
| Ficha técnica 4: Recolección de datos del material híbrido a ensayo de tracción FC17,5%45° - FA7,5%135°b | 85 |
| Ficha técnica 5: Recolección de datos del material híbrido a ensayo de tracción FC22,5%45° - FA7,5%135° | 87 |
| Ficha técnica 6: Recolección de datos del material híbrido a ensayo de tracción FC30%45° - FA5%135° | 89 |
| Ficha técnica 7: Recolección de datos del material híbrido a ensayo de flexión FC17,5% 0°- FA7,5%90 | 91 |
| Ficha técnica 8: Recolección de datos del material híbrido a ensayo de flexión FC22,5%0° - FA7,5%90° | 93 |
| Ficha técnica 9: Recolección de datos del material híbrido a ensayo de flexión FC30%0° - FA5%90° | 95 |
| Ficha técnica 10: Recolección de datos del material híbrido a ensayo de flexión FC17,5%45° - FA7,5%135° | 97 |
| Ficha técnica 11: Recolección de datos del material híbrido a ensayo de flexión FC22,5% 45°- FA7,5%135° | 99 |

| | |
|---|-----|
| Ficha técnica 12: Recolección de datos del material híbrido a ensayo de flexión FC30%45° - FA5%135° | 100 |
| Ficha técnica 13: Recolección de datos del material híbrido a ensayo de impacto FC17,5%0° - FA7,5%90° | 104 |
| Ficha técnica 14: Recolección de datos del material híbrido a ensayo de impacto FC22,5%0° - FA7,5%90° | 105 |
| Ficha técnica 15: Recolección de datos del material híbrido a ensayo de impacto FC30%0° - FA5%90° | 106 |
| Ficha técnica 16: Recolección de datos del material híbrido a ensayo de impacto FC17,5%45° - FA7,5%135° | 107 |
| Ficha técnica 17: Recolección de datos del material híbrido a ensayo de impacto FC22,5%45° - FA7,5%135° | 108 |
| Ficha técnica 18: Recolección de datos del material híbrido a ensayo de impacto FC30%45° - FA5%135° | 109 |
| Ficha técnica 19: Evaluación del grupo que presente mejores propiedades mecánicas a tracción. | 110 |
| Ficha técnica 20: Evaluación del grupo que presente mejores propiedades mecánicas a tracción. | 114 |
| Ficha técnica 21: Interpretación de resultados de las propiedades mecánicas a tracción, flexión e impacto. | 116 |

RESUMEN EJECUTIVO

CARACTERIZACIÓN MECÁNICA Y NUMÉRICA DEL MATERIAL HÍBRIDO DE MATRIZ EPOXI REFORZADA CON TEJIDO PLANO DE FIBRA VEGETAL (ALGODÓN) Y FIBRA NATURAL (FIBRA DE CABUYA).

Autor: Segundo Pacha

Tutor: Ing. Mg. Juan Paredes

El trabajo experimental fue basada en la caracterización mecánica del material híbrido de matriz de resina epóxica reforzado con capas de tejido plano entre las fibra de algodón y fibra de cabuya con orientaciones diferentes y distintas fracciones volumétricas, el estudio surgió porque en la actualidad la ingeniería de materiales presenta grandes beneficios por el desarrollo tecnológico y científico, lo que permitió establecer estudio de nuevos materiales con propiedades mecánicas iguales o mejores de los materiales tradicionales que se utilizan en la industria, y de esta manera reemplazar los materiales habituales por nuevos materiales con las ventajas en el peso y costo, con el grupo de probetas con mejores características mecánicas a tracción se realizó una simulación por el método de elementos finitos mediante un software el mismo que se validó con ensayo real y se calculó el porcentaje de error que existieron entre los resultados obtenidos.

Los ensayos se realizó bajo normas (tracción-ASTM D3039, flexión-ASTM D 7264 impacto-ASTM D5628) de esta manera se estableció el grupo de probetas con mejores propiedades mecánicas de los casos estudiados.

Con los datos del ensayo real y los análisis correspondientes se estableció el material con mejores propiedades mecánicas al ser sometidos a los ensayos de tracción, flexión e impacto fue el caso 1 y el caso 2, el caso 1 conformó de 75% de resina epóxica como matriz, como refuerzos 3 capas de tejido plano entre las fibras de algodón con la cantidad de 7,50% en ángulo de 90° y la fibra de cabuya con el 17,50% en ángulo de 0° mientras que el caso 2 conformó de 70% de resina epóxica como matriz, como refuerzo 3 capas de tejido plano entre las fibras de algodón con la cantidad 7,50% en ángulo de 90° y la fibra de cabuya con el 22,50% en ángulo de 0°, la estratificación de todas las probetas fue a compresión.

EXECUTIVE SUMMARY

MECHANICAL AND NUMERICAL CHARACTERIZATION OF THE HYBRID MATERIAL OF EPOXY MATRIX REINFORCED WITH FABRIC PLANE OF VEGETABLE FIBER (COTTON) AND NATURAL FIBER (FIBER OF CABUYA).

Autor: Segundo Pacha

Tutor: Ing. Mg. Juan Paredes

The experimental work was based on the mechanical characterization of the hybrid matrix material of reinforced epoxy resin with layers of flat tissue between the fibers of cotton and fiber of cabuya with different orientations and different volumetric fractions, the study arose because at the present time the engineering of Materials presents great benefits for the technological and scientific development, which allowed to establish study of new materials with equal or better mechanical properties of the traditional materials that are used in the industry, and in this way replace the usual materials with new materials with the advantages In the weight and cost, with the group of specimens with better mechanical tensile characteristics was carried out a simulation by the method of finite elements using a software the same that was validated with real test and the percentage of error that existed between the results Obtained.

The tests were performed under standards (traction-ASTM D3039, flexion-ASTM D 7264 impact-ASTM D5628) in this way was established the group of specimens with better mechanical properties of the cases studied. With the data of the real test and the corresponding analyzes, the material with better mechanical properties was established when subjected to the tests of tensile, flexion and impact was case 1 and case 2, case 1 conformed of 75% of epoxy resin as Matrix, as reinforcements 3 layers of flat tissue between the cotton fibers with the amount of 7.50% in angle of 90 ° and the fiber of cabuya with 17.50% in angle of 0 ° while the case 2 conformed of 70% Of epoxy resin as a matrix, as reinforcement 3 layers of flat tissue between the cotton fibers with the amount 7.50% in angle of 90 ° and the fiber of cabuya with 22.50% in angle of 0 °, the stratification of all the Specimens was compressed.

CAPÍTULO I

ANTECEDENTES

1.1 TEMA DEL TRABAJO EXPERIMENTAL

CARACTERIZACIÓN MECÁNICA Y NUMÉRICA DEL MATERIAL HÍBRIDO DE MATRIZ EPOXI REFORZADA CON TEJIDO PLANO DE FIBRA VEGETAL (ALGODÓN) Y FIBRA NATURAL (FIBRA DE CABUYA)

1.2 ANTECEDENTES

El estudio de los recursos para reemplazar los materiales comunes que son utilizados en la industria se han desarrollado en gran porcentaje por el avance científico y tecnológico [1].

Los estudios previos relacionados con los materiales son los siguientes:

Alex David Jácome León en su estudio para obtener el título de Ingeniero Mecánico con el tema “Estudio de la configuración de fibras del material compuesto de matriz epoxi reforzada con fibra de piña y su incidencia en las propiedades mecánicas en la fabricación de butacas deportivas” presentada en la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la U.T.A, concluyó que: “El material compuesto (resina epoxi + fibra de piña), que mejor propiedades presento es el compuesto por fibra larga longitudinal, con fracción volumétrica de 30% de material de refuerzo (fibra de piña) y 70% de matriz (resina epoxi), brindando de esta forma propiedades aceptables para ser utilizado como un material alternativo para la fabricación de butacas deportivas” [1]. El factor importante de este tema fue los análisis que realizo con las diferentes porcentajes de cada componente que conformo el material.

Juan Gilberto Paredes Salinas en otro estudio previo a la obtención del grado académico de Magister en Diseño Mecánico con el tema “Estudio de Polímeros Híbridos Estratificados de Matriz Poliéster reforzada con Fibra de Vidrio y Cabuya como Material Alternativo y su incidencia en las propiedades mecánicas en Guardachoques para Buses.” Presentada en Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica

de Centro de Estudios de Posgrados de la U.T.A, concluyó que: El material híbrido de configuración Fibra Larga al 30% y en un orden de capas (FV+FC+FV) presento el mejor comportamiento del análisis de combinaciones de propiedades mecánicas, siendo este el potencial material híbrido alternativo que presenta esta investigación para la fabricación de un guardachoque para bus [2].

Otro de los temas que tenían relación al estudio fue el de Napoleón Andrés Tamayo Duque con el estudio realizado previo a la obtención del título del Ingeniero Mecánico con el tema “Obtención y caracterización de materiales compuestos de matriz poliéster reforzados con fibra de cabuya mediante estratificación” realizada en la Facultad de Ingeniería Mecánica de la Escuela Politécnica Nacional, concluyó que: Las fracciones volumétricas máximas aceptables para la formulación del material compuesto de cabuya-poliéster desde el punto de vista de la mojabilidad de la fibra con la matriz y tolerancia en el dimensionamiento normalizado, fueron de 0.34 para las probetas de ensayos a tracción, 0.30 para las probetas de ensayos a flexión, y 0.26 para las probetas de ensayos de impacto [3].

Para el tema del trabajo experimental que tuvo relación fue el paper de José Luis Dávila, con el estudio de Materiales compuestos de matriz poliéster reforzados con fibras naturales y sintéticas realizado en el Departamento de Materiales de la Escuela Politécnica Nacional, concluyó que: La incorporación de fibras de refuerzo a las matrices poliméricas permitió un incremento de las propiedades mecánicas a tracción, flexión e impacto. Este incremento dependió de las fracciones volumétricas empleadas, la configuración y tipo del refuerzo, entre otros [4].

1.3 JUSTIFICACIÓN

En la actualidad la ciencia y tecnología en los materiales utilizados en las industrias ha avanzado, por ende la aplicación de los materiales metálicos ha reducido en el sector industrial, siendo remplazados por materiales tales como polímeros, cerámicos, aleaciones, compuestos, etc. Esto debido a las mejores propiedades que presenta en las diferentes aplicaciones, el costo inferior con relación con los metales, el peso mucho menor y lo más importante es la reducción del impacto ambiental [4].

El estudio de las características mecánicas del material híbrido de matriz de resina epóxica reforzado con fibras de algodón y fibra de cabuya y someter a ensayos de

tracción, flexión e impacto surge debido a que en Ecuador existe gran cantidad de especies de plantas vasculares, de las cuales se extraen las fibras para utilizar como refuerzo en los materiales compuestos, denominados híbridos los materiales que se obtienen al utilizar dos o más clases de fibras diferentes ya sea sintético o natural, este estudio tiene como finalidad adquirir un material con propiedades mecánicas aceptables y con propiedades mejores que de las individuales de cada material.

El estudio del material antes mencionado es factible realizar ya que se cuenta con requerimientos necesarios para su ejecución, se cuenta con citas bibliográficas, y el personal calificado con conocimiento y experiencia en el tema, los ensayos que sean posibles se realizarán en el laboratorio de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, mientras que las que no sean posibles en la institución antes mencionada se realizará en el Centro de Fomento Metalmeccánico y Carrocero de Ambato, aplicando los conocimientos adquiridos durante la Carrera de Ingeniería Mecánica.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 OBJETIVO GENERAL:

- Determinar las propiedades mecánicas del material híbrido de matriz epoxi reforzada con tejido plano de fibra vegetal (algodón) y fibra natural (fibra de cabuya)

1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Determinar los parámetros de conformado del material híbrido y sus componentes.
- Analizar la fracción volumétrica y orientación de los materiales utilizados.
- Establecer el proceso de obtención de probetas y el moldeo correspondiente.
- Determinar las propiedades mecánicas mediante ensayos a tracción, flexión e impacto bajo normas ASTM.
- Determinar el mejor comportamiento de las posibles combinaciones y la validación numérica mediante método de elementos finitos del ensayo a Tracción.

CAPÍTULO II

FUNDAMENTACIÓN

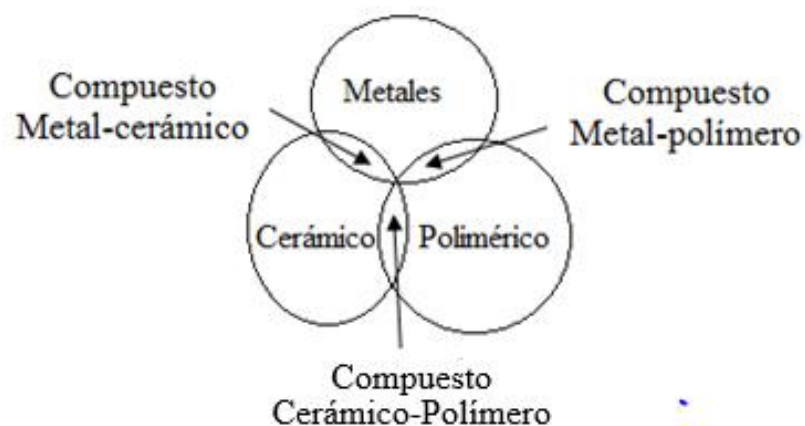
2.1 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1.1 INGENIERÍA DE LOS MATERIALES

La ciencia de materiales es un campo amplio que investiga y estudia las propiedades físicas de los materiales para las diferentes aplicaciones de la ingeniería. En la actualidad el avance y transformación de la tecnología depende de la ingeniería de materiales.

La ingeniería de los materiales es la relación de mecánica con la fabricación es decir relación propiedades- estructura, se dedica al diseño de estructuras y componentes de un material para adquirir conjuntos de propiedades predeterminadas, para desarrollar productos con mejores propiedades a los materiales clásicos. [5]

Los materiales de ingeniería se clasifican en tres categorías como: a) materiales metálicos, b) productos cerámicos, c) materiales poliméricos; cada material tiene propiedades mecánicas, físicas y químicas muy diferentes que afectan los procesos de manufacturas en la obtención de productos terminados. Otra categoría al combinar los materiales antes mencionados es el: d) material compuesto [6], en la Fig.1 presenta las combinaciones de los materiales.



*Fig. 1 Categoría básica de los materiales y el material compuesto.
(Fuente: [7])*

2.1.2 MATERIALES COMPUESTOS

2.1.2.1 Definición

Material compuesto es la combinación de dos o más materiales de diferentes formas, composiciones y función, con la finalidad de adquirir un material original, con propiedades únicas y mejores que la de sus constituyentes individuales [6].

Características que debe cumplir un material compuesto:

- Debe constar de dos o más materiales químicamente diferente y mecánicamente separable.
- Debe ser elaborada al combinar los materiales constituyentes, de tal forma que la dispersión de un material en el otro se realice de manera controlada para adquirir unas propiedades óptimas.
- Las propiedades del compuesto deben ser mejores a las de los componentes individuales, y posiblemente únicas en algún aspecto específico.

Los factores que implican en las propiedades mecánicas del material compuesto son:

- a) Las propiedades de la matriz y refuerzo.
- b) El contenido de refuerzo
- c) La orientación del refuerzo
- d) Proceso de producción del material compuesto.

Los factores mencionados dependen en la calidad del material compuesto ya que inciden directamente para su proceso de obtención, en la Fig. 2 presenta el diagrama de las propiedades mecánicas de la matriz, del refuerzo y del material compuesto.

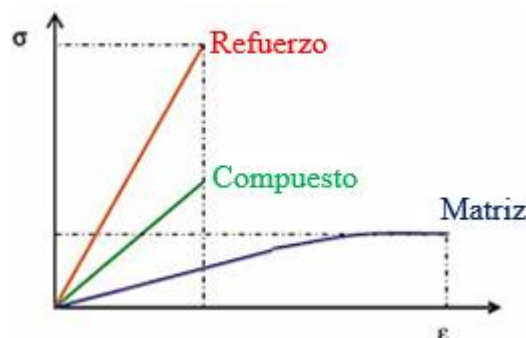


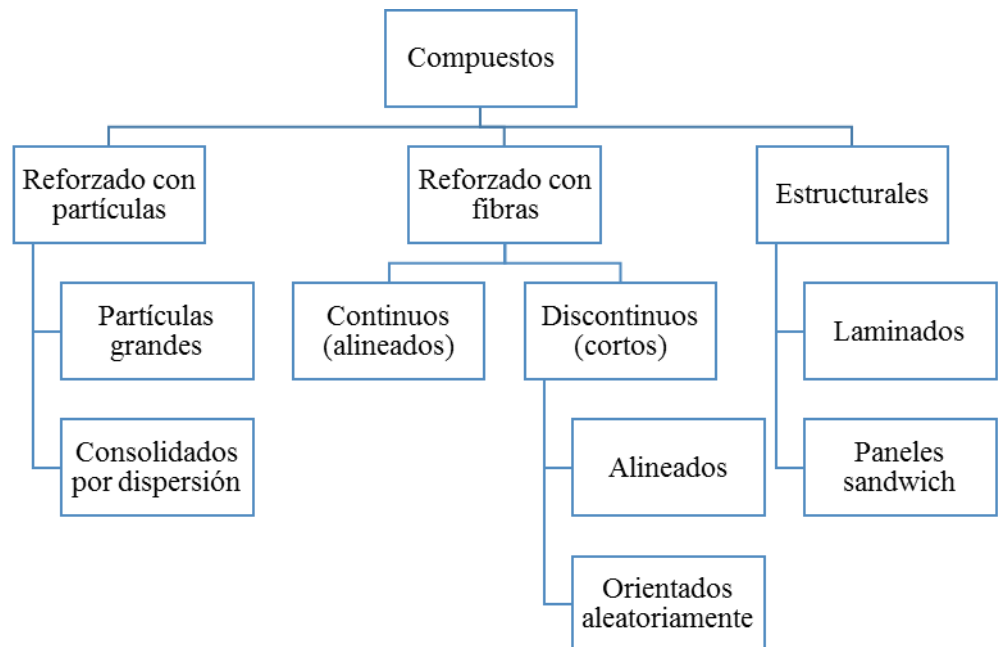
Fig. 2 Diagrama de propiedades mecánicas de matriz y refuerzo.
(Fuente: [7])

2.1.2.2 Clasificación de los materiales compuestos

Los materiales compuestos del sector industrial dependen de dos aspectos en su clasificación: el tipo de matriz y tipo de refuerzo.

- a) Según el tipo de matriz
 - Matriz metálica
 - Matriz cerámica
 - Matriz polimérica
- b) Según el tipo de refuerzo

La clasificación de los materiales compuestos según el tipo de refuerzo se observa en la Fig. 3 [8].



*Fig. 3 Clasificación del material compuesto por tipo de refuerzo
(Fuente: [8])*

2.1.3 MATERIAL HÍBRIDO

2.1.3.1 Definición

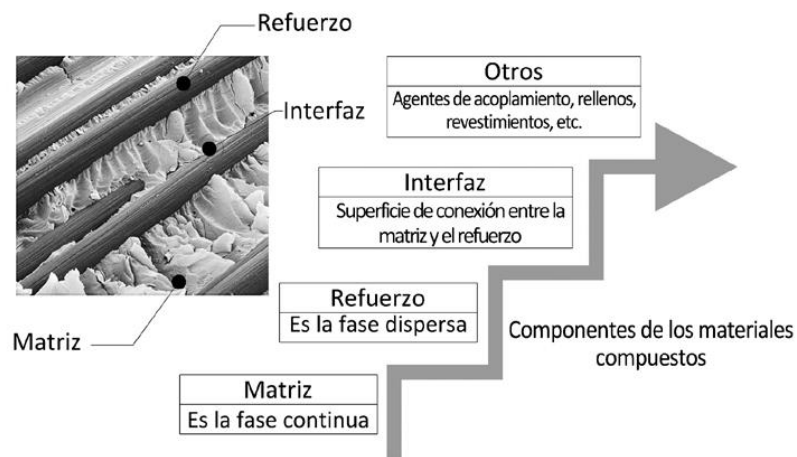
Un material híbrido es un material compuesto de al menos dos tipos de fracciones o unidades de diferente naturaleza, siendo normalmente, una orgánica y otra inorgánica, las cuales se combinan a escala nanométrica, material híbrido es un material reforzado con más de un tipo de refuerzo estas pueden ser sintéticas o naturales [10].

La combinación de materiales de distinta naturaleza da lugar a los llamados Materiales Híbridos, con propiedades muy superiores a la de sus constituyentes. Se organizan en

niveles discretos, dando lugar a materiales con una estructura jerárquica a escala molecular, nanoscópica, microscópica y macroscópica [2].

2.1.3.2 Componentes de un material híbrido

Las fases de un material compuesto son: una continua denominada matriz y otra dispersa denominada refuerzo. La fase de matriz y la fase de refuerzo se encuentran separadas por la interfase como se puede observar en la Fig. 4 [5].



*Fig. 4 Componentes de un material compuesto.
(Fuente: [2])*

a) Matriz

La matriz es la fase continua de un material compuesto la que se encarga de englobar y sostener a los elementos utilizados como refuerzo permitiendo la continuidad al material.

Las funciones que debe cumplir la matriz son:

- a) Aglutinar los refuerzos.
- b) Transferir las cargas aplicadas sobre la matriz hacia los refuerzos.
- c) Protegerlas superficies de los refuerzos de la abrasión mecánica.
- d) Proveer al refuerzo de una barrera contra los efectos del medio ambiente.
- e) Proveer un soporte lateral a los refuerzos con fibras contra un pandeo al aplicar cargas de compresión.

El material de la matriz influye en las propiedades físicas, químicas, eléctricas, como también depende del tipo de refuerzo y la configuración que se utilice.

b) Matriz polimérica

Los polímeros tienen las estructuras internas más complejas en relación con los metales o cerámicos, son materiales que se procesan fácilmente y el costo es mucho menor que los aceros. Los polímeros se obtienen por dos métodos: polimerización por condensación y por adición [11].

La matriz polimérica se puede reforzar con dos tipos de fibras ya sea natural o sintética. Existen diferentes tipos de matrices poliméricas como:

- Matriz termoplástica
- Matriz elastómera
- Matriz termoestable

Las matrices termoestables son materiales que no cambian de estado al adicionar calor es decir no se funden al incrementar la temperatura solo se degrada por lo que no se puede reprocesar, tienen una estructura de red tridimensional con múltiples enlaces entrecruzados. Como ejemplo de estas matrices son: resina epóxica, poliéster y fenólica en la Fig. 5 se puede apreciar la estructura de la matriz termoestable [11].



*Fig. 5 Cadenas estructurales de matriz termoestable
(Fuente: [12])*

c) Resina epóxica

La resina epóxica es un polímero de matriz termoestable que tiene una composición química de un átomo de oxígeno y dos átomos de carbono, el peso molecular de este líquido orgánico es bajo, para modificar las características de la resina se utilizan aditivos como: diluyentes para disminuir la viscosidad, para hacer flexible se utiliza agentes de flexibilización, para que el proceso de curado sea rápido se añade acelerador, en la Fig. 6 muestra la estructura química del grupo epoxi [11].

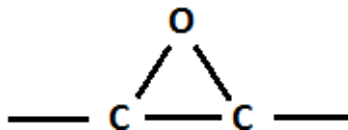


Fig. 6 Estructura química del grupo epoxi
(Fuente: [13])

Características de la resina epóxica

La resina epóxica es un producto que cuenta con las siguientes características:

- El costo es elevado.
- La humectación y la adherencia con fibras son óptimas.
- Buena resistencia mecánica.
- El aislamiento eléctrico es aceptable.
- Buena resistencia a la humedad y ataque con fluidos corrosivos
- Trabaja a temperaturas elevadas y otras características se lo puede apreciar en el anexo 1 [11].

En la tabla 1 se detallan las características de las diferentes clases de resina.

Tabla 1 Características de los diferentes tipos de resina

| Propiedades | Matriz | | | | |
|---------------------------------|---|------------------------|--------------------|---------------------------------|--------------------|
| | Poliéster insaturado UP | Resina epoxi | Resina fenólica | Resina vinilester | Resina poliamida |
| Densidad $\frac{gr}{cm^3}$ | 1,17-1,26 | 1,17-1,25 | 1-1,30 | 1,17-1,25 | 1,27-1,42 |
| Alargamiento a la rotura (%) | <3 | 6-8 | <3 | 3,50-7 | 6-10 |
| Fluencia | Muy baja | | | | |
| Temperatura de moldeo | Temperatura ambiente hasta 180° | Temperatura hasta 170° | 150-190 | Temperatura ambiente hasta 175° | 350 |
| Temperatura de reblandecimiento | 80-160 | 80-130 | 100-150 | 100-150 | 260 |
| Calor de reacción | Reacción exotérmica dependiente de la geometría pieza | | | | |
| Contracción del fraguado (%) | 1,80-2,40 | 1-3 | 0,50-1 | 0,10-1 | 0,50-0,70 |
| Contracción posterior (%) | Hasta 3 | Ninguna | Hasta 0,4 | Hasta 1 | Ninguna |
| Tiempo de almacenamiento | Temp. Amb. 6 meses | Bajas Temp. 6 meses | Temp. Amb. 6 meses | Temp. Amb. 6 meses | Temp. Amb. 6 meses |

(Fuente: [11])

Aplicación de la resina epóxica

La utilización de la resina epóxica depende del peso molecular, las aplicaciones son:

- Pinturas y acabados.
- En el sector industrial de la construcción se utiliza para unir bloques y como argamasa para edificios, de la misma manera como unión entre hormigones, morteros, juntas, membranas, anclajes, pinturas y reparación estructural.
- Materiales compuestos
- Sistemas eléctricos y electrónicos
- Consumo y aplicaciones náuticas, y en partes estructurales en aeronaves.
- Industria [5].

En la tabla 2 presenta las propiedades de resinas termoestables

Tabla 2 Propiedades de resinas termoestables

| Propiedades de las resinas termoestables | | | |
|---|--|---------------------------|----------------------------------|
| Resina | Densidad $\frac{gr}{cm^3}$ | Módulo de tracción | Resistencia a la tracción |
| Fenólica | 1,20 – 1,40 | 2,70 – 4,10 | 35 – 60 |
| Poliéster | 1,20 – 1,40 | 1,60 – 4,10 | 35 – 95 |

(Fuente: [13])

d) Refuerzo

La fase de refuerzo debe cumplir las funciones como: mejorar las características del matriz, soportar carga y aportar propiedades mecánicas como la conductividad, eléctrica, aislamiento, estabilidad térmica [6].

En la Fig. 7 se puede observar los tipos de refuerzo

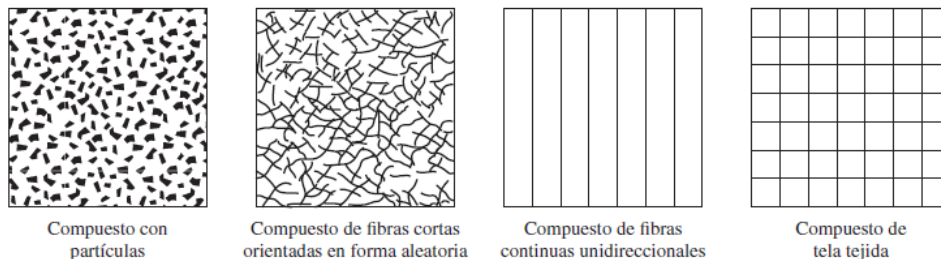
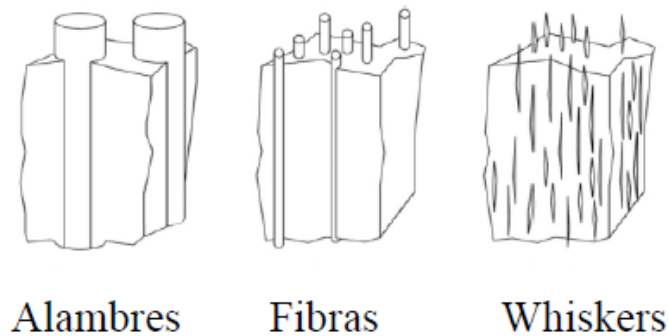


Fig. 7 Tipos de refuerzos
(Fuente: [9])

e) Refuerzo con fibras

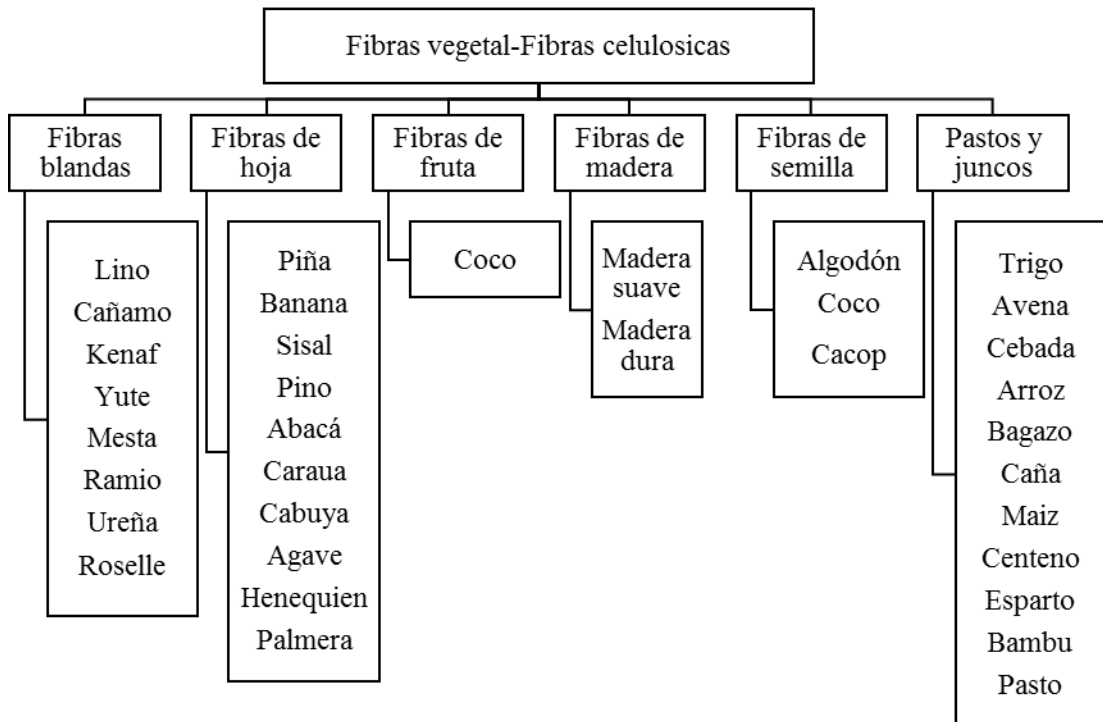
En un material compuesto reforzado con fibra definen en gran cantidad las características mecánicas como la resistencia y la rigidez. Las fibras son de materiales metálicas, cerámicas, fibras inorgánicas como las de carbono o vidrio, sintéticas como las arámidas también existen fibras de origen natural [14].

Según el diámetro y las características las fibras se clasifican en: alambres, fibras y whiskers como se aprecia en a Fig. 8



*Fig. 8 Refuerzo de alambres, fibras y whiskers.
(Fuente: [6])*

Las principales fibras vegetales utilizadas como refuerzo indican en la Fig. 9:



*Fig. 9 Fibras Vegetales
(Fuente: [15])*

- **Fibra de algodón**

La fibra de algodón tiene aspectos muy importantes para sus aplicaciones como; fibras muy blandas, aislantes, resistentes a la rotura y al desgarrar por tracción, dan buen resultado al blanqueo y teñido [14].

En la Fig. 10 presenta la fibra de algodón.



*Fig. 10 Usos de la cabuya.
(Fuente: [14])*

La composición química de fibra de algodón presenta en la tabla 3.

Tabla 3 Componentes químicos de la fibra de algodón

| COMPONENTE | TOTAL DE FIBRA (%) |
|-------------------|--------------------|
| Celulosa | 88 – 96 |
| Agua | 6 – 8 |
| Sales mineral | 0,70 – 1,60 |
| Proteínas | 1,10 – 1,90 |
| Pectinas | 0,70 – 1,20 |
| Ceras | 0,40 – 1 |
| Pigmentos – motas | 0,50 – 1 |

(Fuente: [16])

- **Fibra de cabuya**

La cabuya es una planta rustico con origen en América Trópica, esta planta es utilizado en diferentes áreas en la Fig. 11 se puede observar la cabuya y la fibra de la misma.



*Fig. 11 a) Planta de cabuya b) Fibra de cabuya
(Fuente: Autor)*

En el Fig. 12 presenta las principales aplicaciones de la cabuya.

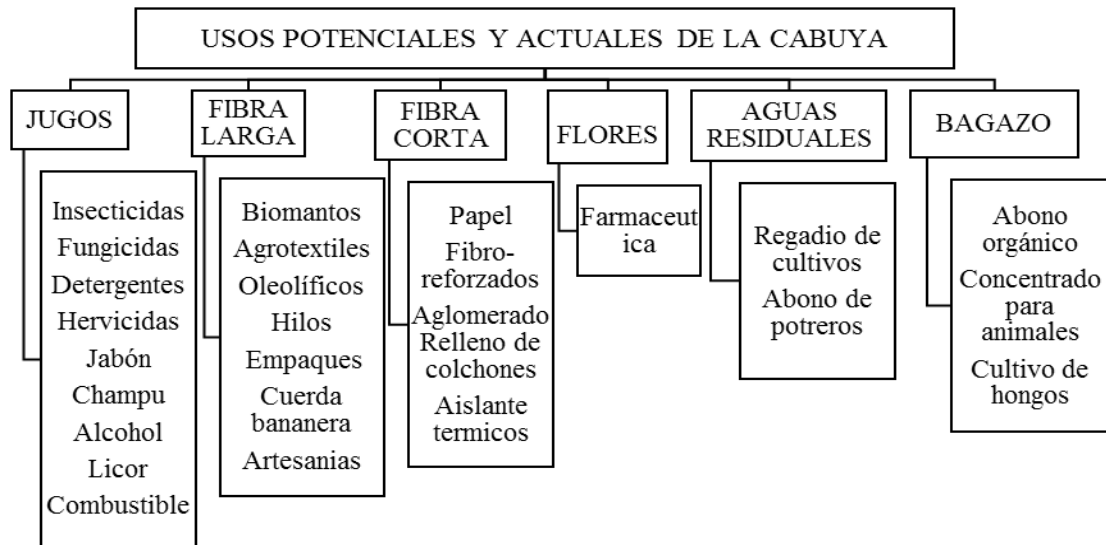


Fig. 12 Usos de la cabuya.
(Fuente: [17])

Características de la fibra de cabuya

La fibra de cabuya pertenece al grupo de fibras duras debido a que las hojas constituyen de fibras elementales o fibrillas unido por una goma o cemento vegetal que proporciona rigidez y aspereza. Los ejes fibrosos dan resistencia y rigidez a las hojas y son un pilar de sustentación para los vasos conductores de sabia, por están funciones mecánicas cumplidas son llamadas fibras estructurales.

Al realizar un corte transversal se observa que los ejes de fibra en la periferia, en la base son más numerosas que en el centro y los extremos [17].

Composición química de la fibra de cabuya

En la tabla 4 se enuncia los componentes químicos con las que cuenta la fibra de cabuya.

Tabla 4 Composición química de la fibra de cabuya

| COMPONENTE | POR CIENTO |
|-------------------------|-------------|
| Humedad, ceras y grasas | 1,90 |
| Cenizas | 0,70 |
| Pentosanos | 10,50 |
| Celulosa | 73,80 |
| Lignina | 11,30 |
| TOTAL | 98,2 |

(Fuente: [17])

Características mecánicas de diferentes fibras naturales

En la tabla 5 presenta las características de varias fibras naturales.

Tabla 5 Características mecánicas de fibras naturales

| Fibra | Densidad $\frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$ | Resistencia a la tracción (MPa) | Módulo de elasticidad (GPa) | Elongación a la fractura (%) | Absorción de la humedad (%) |
|---------|---|---------------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------|
| Cabuya | 1,30 | 305,15 | 7,50 | 4,96 | ----- |
| Yute | 1,30 | 393-773 | 26,50 | 1,50-1,80 | 12 |
| Coco | 1,20 | 175-220 | 4-6 | 15-30 | 10 |
| Abacá | 1,30 | 400-1289 | 45 | 2,70 | 8-10 |
| Sisal | 1,50 | 511-635 | 9,40-22 | 2-2,50 | ----- |
| Algodón | 1,50 | 393-773 | 27,60 | 7-8 | 8-25 |
| Ramio | 1,50 | 400-938 | 61,40-128 | 3,60-3,80 | 12-17 |
| Lino | 1,50 | 345-1035 | 27,60 | 2,70-3,20 | 7 |
| Cáñamo | 1,40 | 690 | 35 | 1,60 | 8 |

(Fuente: [3])

2.1.3.3 Reglas de mezcla en el compuesto reforzado con fibra.

En los materiales compuestos reforzados con fibra la regla de mezcla define ciertas características como la densidad.

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

Dónde: ρ_c es la densidad del material compuesto, las fracciones volumétricas de los constituyentes son representados por f_m y f_f , los subíndices m y f son la matriz y la fibra.

Nota: $f_m = 1 - f_f$ [6] Ec. [2]

Volumen requerido

$$V_{\text{requerido}} = \text{lado 1} * \text{lado 2} * \text{espesor}$$

Determinación de la masa del material

$$m = \rho * v \quad \text{Ec. [3]}$$

Dónde: v es el volumen, m es la masa del material y ρ es la densidad del material [11].

2.1.3.4 Influencia de la orientación y cantidad de fibra

La cantidad de fibra utilizada y su orientación es un factor muy significativo que influye en las propiedades mecánicas del material compuesto, existen dos posibilidades de alineación de la fibra, la primera en dirección paralela al eje longitudinal de las fibras pueden ser continuas y discontinuas, mientras que la segunda posibilidad es alineación al azar. En la Fig. 13 se observa las posibles alineaciones de un material compuesto reforzado con fibras [5].

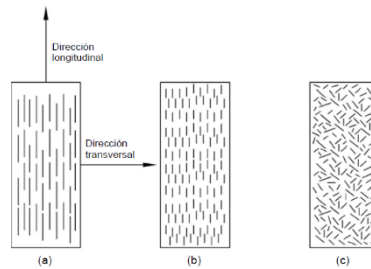


Fig. 13 Orientación de fibra. a) Continua y alineada, b) discontinua y alineada, c) discontinua al azar (Fuente: [5])

2.1.3.5 Tejido de las fibras

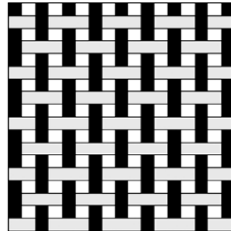
El principio de los tejidos es entrelazar los filamentos fijos longitudinalmente, llamados urdimbre, con filamentos horizontales denominados trama, cruzando las tramas por encima y por debajo de los hilos de urdimbre en distintas configuraciones como se muestra en la Fig. 14 [6].



Fig. 14 Diseño esquemático de un tejido (Fuente: [6])

a) Tejido plano

El tejido plano forma de filamentos intercalados donde las fibras denominadas trama pasan de manera regular y uniforme por encima y por debajo de la urdimbre, en la Fig. 15 se puede observar es esquema básico del tejido plano [6].



*Fig. 15 Esquema básico de tejido plano
(Fuente: [6])*

2.1.3.5 Tipo de estratificación

Existen diferentes tipos de estratificación como el moldeo por compresión que proviene del estampado de placas metálicas, los moldes utilizados son el macho y la hembra para aplicar una presión requerida con facilidad. Este tipo de moldeo se aplica para matrices termoplásticas y termoestables que consiste en intercambiar fases de matriz y refuerzo en un molde que se pueda prensar con facilidad. Para los materiales termoplásticos se toma en cuenta tres etapas para moldeo por compresión: el precalentamiento, moldeo y enfriado en la Fig. 16 se puede apreciar moldeo por compresión de preimpregnado de fibra de carbono [6].



*Fig. 16 Moldeo por compresión
(Fuente: [6])*

2.1.4 RESISTENCIA DE MATERIALES

La resistencia de materiales es la disciplina que se encarga del estudio de cuerpos elásticos deformables con análisis particulares y simplificados según las condiciones de trabajo y la geometría que presente es decir estudia las propiedades internas y las deformaciones ocasionadas que se produce al ser aplicadas cargas externas lo que puede causar falla del material [18].

2.1.5 ENSAYO DE MATERIALES

Toda clase de materiales permite evaluar sus propiedades mecánicas para su caracterización mediante ensayos. Para realizar el ensayo se utiliza una cantidad de

muestra de cierto material y hacer cierta cantidad de pruebas para garantizar el comportamiento del mismo. Para que los resultados sean válidos los ensayos mecánicos se lo realiza con equipos adecuados y simuladas, el procedimiento se debe realizar utilizando normas que existen para la caracterización mecánica. Existen instituciones normalizadores como ASTM, ASME, ISO, UNE, ICONTEC, INEN, etc. han creado normas para diferentes aplicaciones en estas también incluyen las caracterizaciones mecánicas [6].

Existen diferentes tipos de ensayo de las cuales para el objetivo de estudio se considera tres tipos de ensayo como: ensayo a tracción, flexión e impacto.

2.1.5.1 Ensayos de tracción

Para el ensayo de tracción se utiliza la maquina universal como se muestra en la Fig. 17, un cuerpo es sometido a tracción cuando sobre el actúa dos fuerzas iguales pero en sentido contrario, perpendicular a la sección transversal de la probeta. La probeta se deforma hasta su rotura al ser aplicada una fuerza uniaxial a lo largo del eje principal y aumenta de manera gradual [21].



*Fig. 17 Maquina universal MTE-50
(Fuente: Autor)*

En el ensayo de tracción se puede obtener propiedades como; el esfuerzo máximo a tracción, porcentaje de deformación, módulo de elasticidad.

a) Esfuerzo máximo a tracción

El esfuerzo máximo se obtiene de la fuerza más alta aplicada al cuerpo en ensayo denominada resistencia a la tensión, que este el esfuerzo máximo sobre la curva

esfuerzo-deformación ingenieril. Los materiales dúctiles, la deformación no se mantiene uniforme. En cierto instante, una región se deforma más que otra y se genera una reducción local de importancia en la sección recta la ecuación con la que se calcula es la siguiente:

$$\sigma_{max} = \frac{F}{A} \quad \text{Ec. [4]}$$

Dónde: σ_{max} es el esfuerzo máximo (MPa), F es la carga máxima para producir fractura (N), A es la área de la sección transversal de la probeta (mm^2) [19].

b) Porcentaje de deformación

El porcentaje de deformación tiene relación con la longitud total del objeto, y se analiza la deformación unitaria, ε , obtenida al dividir la diferencia de longitud entre la longitud del inicial. La elongación es el tanto por ciento de deformación que se obtiene al multiplicar la deformación unitaria por 100, como se puede observar en las siguientes

ecuaciones:

$$\varepsilon = \frac{l_f - l_i}{l_i} \quad \text{Ec. [5]}$$

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

Dónde: ε es la elongación, l_f es la longitud final (mm), l_i es la longitud inicial (mm) [19].

c) Módulo de elasticidad

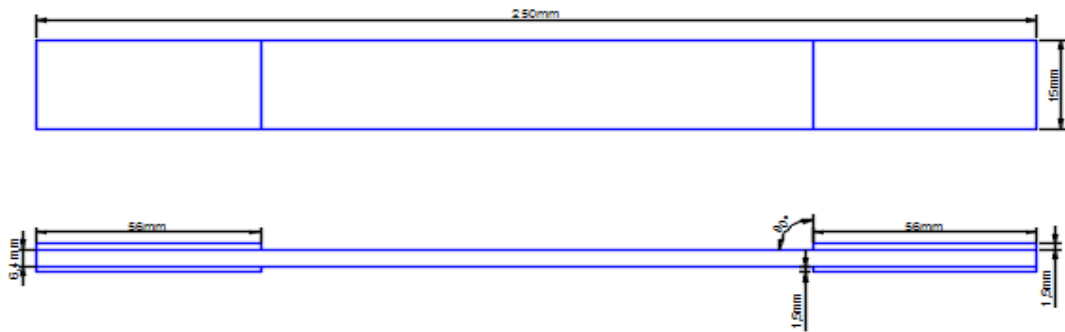
El módulo elástico es la deformación elástico de un cuerpo, que es denominado también como módulo de Young que se puede calcular con la siguiente ecuación:

$$E = \frac{\sigma_{max}}{\varepsilon} \quad \text{Ec. [6]}$$

Dónde: E es el módulo de Young, σ_{max} es el esfuerzo máximo, ε es la elongación [20].

d) Norma basada para el ensayo de tracción

Para realizar el ensayo de tracción de los materiales compuestos se realiza bajo las regulaciones de la norma ASTM D3039/D3039M-00, para garantizar la sujeción de la probeta y tener un deslizamiento mínimo se utiliza mordazas las dimensiones presenta en la Fig. 18 [6].



*Fig. 18 Esquema de una probeta para ensayo a tracción
(Fuente: Autor)*

2.1.5.2 Ensayo de flexión

Un cuerpo es sometido a flexión cuando actúa sobre ella dos cargas iguales con una separación y otra fuerza actúa en sentido contrario en el centro del cuerpo [21].

La superficie de la probeta es un factor muy importante ya que las propiedades de flexión cambian en función de la superficie debido a que las caras no son muy simétricas, otro factor es el espesor de la probeta, condiciones ambientales en el que se ejecutan las pruebas, velocidad de aplicación de esfuerzo [6]. Las propiedades que se determina con el ensayo a flexión son; el esfuerzo máximo a tensión, módulo de flexión.

a) Esfuerzo máximo a flexión

La falla es ocasionada a un esfuerzo menor después de que el encuellamiento ha reducido el área de la sección transversal que soporta la carga. En los materiales de poca ductilidad la falla se genera a la carga máxima, donde la resistencia a la tensión la resistencia a la ruptura son iguales. En materiales muy frágiles, el esfuerzo de cedencia, la resistencia a la tensión y el punto de ruptura tienen un mismo valor.

$$\sigma_{max f} = \frac{3PL}{2bh^2} \quad \text{Ec. [7]}$$

Donde: $\sigma_{max f}$ es el esfuerzo máximo producido en la superficie exterior (MPa), P es la fuerza aplicada (N), L es la longitud entre apoyos (mm), b es el ancho de la probeta (mm), h es el espesor de la probeta (mm) [1].

b) Módulo de flexión

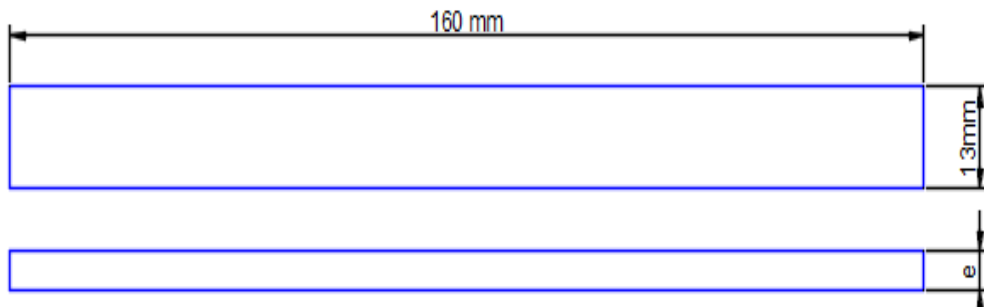
El módulo de flexión o módulo de elasticidad en flexión permite medir la rigidez especialmente en los materiales plásticos, se calcula en la región elástica de la curva esfuerzo vs deflexión, con la siguiente ecuación [22].

$$Ef = \frac{L^3 P}{4bh^3 \delta} \quad \text{Ec. [8]}$$

Dónde: Ef es el módulo de elasticidad, L es la longitud entre apoyos (mm), P es la fuerza aplicada (N), b es el ancho de la probeta (mm), h es el espesor de la probeta (mm), δ es la deflexión de la probeta al aplicar una fuerza (mm)

c) Norma basada para el ensayo de flexión

El ensayo a flexión de un material compuesto se realiza bajo la norma ASTM D7264/D7264M-07, el procedimiento es un sistema de carga en tres puntos utilizando una carga central en una viga con apoyos simples, las dimensiones presenta en la Fig. 19 [6].



*Fig. 19 Configuración de carga a flexión en tres puntos
(Fuente: Autor)*

2.1.5.3 Ensayo de impacto

Para realizar un ensayo de impacto se aplica una fuerza externa a una probeta o un cuerpo, denominado carga de impacto [9].

Las propiedades que se adquieren del ensayo de impacto es la resistencia máxima al impacto conocido también como energía máxima a ruptura, esta propiedad se puede calcular con la siguiente ecuación:

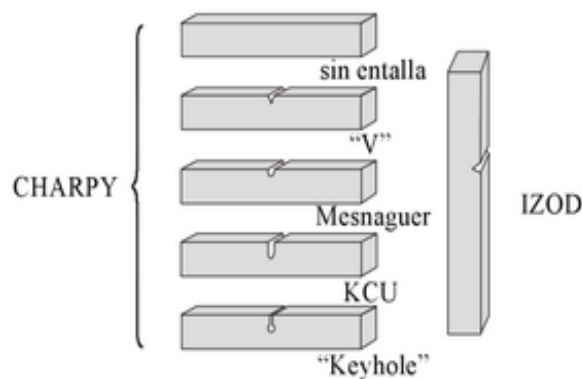
$$MEF = hwf \quad \text{Ec. [9]}$$

Dónde: MEF es la resistencia máxima al impacto, h es la altura máxima de ruptura (mm), w es la masa máxima de ruptura (kg), f es el factor de conversión con un valor de $9,80665 \times 10^{-3}$ si h está en mm y w en kg. [6]

La resistencia al impacto es una medida de energía necesaria para romper una probeta, denominado tenacidad a la resistencia de un material al impacto.

a) Resistencia al impacto Izod

Para realizar los ensayos se utiliza probetas con geometrías y dimensiones bajo ciertas normas industriales el ensayo más utilizado es el Charpy, ensayo de impacto Izod es una de los ensayos de Charpy da una medida de energía necesaria para romper una probeta mediante un péndulo, para romper la probeta el factor muy importante es la altura y el peso del péndulo, el ensayo Izod se realiza para comparar muestras de un mismo polímero pero no tiene índices fiables de tenacidad, resistencia al impacto, y resistencia a la abrasión, este tipo de ensayo se realiza bajo las normas ASTM D256 en la Fig. 20 presenta los diferentes tipos de ensayo a impacto.[23].



*Fig. 20 Configuración de carga a flexión en tres puntos
(Fuente: [24])*

b) Ensayo de impacto por caída de dardo

Este ensayo se emplea para medir la energía que se requiere para dañar una película por el impacto de un dardo en caída libre, la energía se expresa en términos de peso de un dardo en caída libre, para el ensayo se utiliza las normas ASTM D5628-10.

Se debe considerar como energía de impacto la energía que produzca fallas en al menos 50% de la probeta, el mismo criterio es para definir la altura y el peso del dardo, en la Fig. 21 se puede observar la máquina de ensayo de impacto por caída de dardo [6].



*Fig. 21 Máquina de impacto por caída de dardo
(Fuente: [6])*

2.1.6 PROPIEDADES MECÁNICAS

2.1.6.1 Definición

La propiedad mecánica determina el comportamiento de cierto material cuando son aplicadas fuerzas mecánicas, estas propiedades son factores importantes para el diseño debido a que el funcionamiento y desempeño de los productos depende de la capacidad para resistir deformaciones al aplicar fuerzas o cargas en su servicio, el objetivo de cierto producto es resistir esfuerzos aplicados sin deformaciones significativas en su geometría [25].

2.1.6.2 Propiedades mecánicas de material compuesto reforzado con fibra

La mecánica de los materiales es la ciencia que estudia, estructuras ingenieriles que son sometidos a cargas mecánicas y térmicas lo que están expuestos a esfuerzos y deformaciones, por estas características se asume que los materiales son homogéneos e isotrópicos, es decir, sus propiedades no cambian con el cambio de la dirección de la aplicación de las cargas. Sin embargo, el comportamiento es diferente en un material con algún tipo de refuerzo por tal motivo en los materiales compuestos son importantes las proporciones, su distribución, entre otros. De esta manera es posible definir las propiedades de un material compuesto para poder asignarle aplicaciones adecuadas.

Los materiales compuestos reforzados con fibras generalmente manifiestan anisotropía es decir las propiedades son variados en dependencia del eje geométrico, para obtener isotropía en las propiedades de un material compuestos ya sea reforzado con fibras o partículas deben estar orientar en forma aleatoria [6].

2.1.6.3 Propiedades mecánicas en la zona de la intercara refuerzo-matriz

En los materiales compuestos la zona de intercara es determinante ya que tiene alta influencia en las propiedades mecánicas del material, existen discontinuidades, físicas,

químicas en las zonas de unión denominado intercara, por lo que en esta zona la matriz debe mojar al refuerzo, por ende es recomendable utilizar agentes de unión o enlace para mejorar la mojabilidad y aumentar la superficie de intercara ya que es recomendable tener tamaños relativamente grande de la intercara, para adquirir propiedades aceptables en material compuesto la carga aplicada debe transferirse en una manera adecuada desde la matriz hacia los refuerzos por medio de la interfaz [6].

2.1.6.4 Propiedades mecánicas de fibras vegetales

En la actualidad las fibras vegetales han tenido crecimiento interesante como elementos de refuerzo para los polímeros termoplásticos, por el costo bajo, resistencia mecánica alta, baja densidad y alta resistencia a la abrasión.

La introducción de fibras vegetales mejora notablemente las prestaciones mecánicas en los materiales poliméricos. Las estructuras de las fibras vegetales son la fibrilla celulosa a lo largo de las paredes que se encuentran densamente pobladas formando capas cruzadas, en la siguiente tabla se puede observar las propiedades físicas de ciertos materiales [27].

Al utilizar fibras como refuerzo es importante tomar en cuenta varios parámetros importantes que determinarán la facilidad de su producción y el rendimiento que estas presentan, en la tabla 6 presentan propiedades mecánicas de algunas fibras utilizadas como refuerzo.

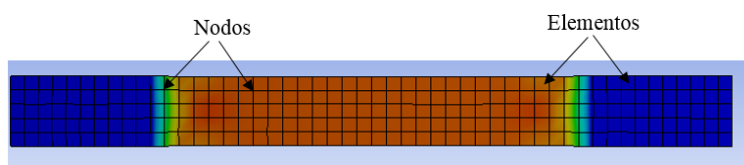
Tabla 6 Propiedades mecánicas de fibras

| Fibra | Densidad $\frac{gr}{cm^3}$ | M. de Young | R. tracción(MPa) | Deformación máx. (%) |
|---------|----------------------------|-------------|------------------|----------------------|
| Vidrio | 2,50 | 80 | 3,90 | 5,20 |
| Carbono | 1,75 | 150 | 5,50 | 1,20 |
| Lino | 1,40 | 70 | 0,85 | 1,40 |
| Cáñamo | 1,48 | 70 | 0,80 | 1,60 |
| Yute | 1,46 | 20 | 0,50 | 1,80 |
| Coco | 1,25 | 6 | 0,25 | 20 |
| Algodón | 1,50 | 11 | 0,45 | 4 |
| Kenaf | 1,50 | 53 | 0,90 | 1,60 |

(Fuente: [27])

2.1.7 ANÁLISIS POR ELEMENTOS FINITOS

El método de elementos finitos o método numérico en la actualidad se utiliza para la solución de problemas ingenieriles complejos e imposibles de resolver por métodos matemáticos tradicionales, dicho método divide un medio continuo en partes finitas denominadas elementos y su comportamiento físico es definido mediante parámetros establecidos en la serie de puntos característicos llamado nodos es decir se discretiza el modelo de estudio como se observa en la Fig. 22 [28].



*Fig. 22 Conjunto de elementos finitos.
(Fuente: Autor)*

El método de elementos finitos por su facilidad de solución tiene amplias gamas de aplicaciones como en: ingeniería estructural, resistencia de materiales, fluidos, campos eléctricos, electromagnetismo, conducción de calor, propagación de ondas entre otras [29].

2.1.7.1 Proceso para el cálculo por elementos finitos.

Los módulos generales de un software para la solución de problemas por el método de elementos finitos se dividen en tres fases de trabajo:

- 1) **Pre- procesado:** En esta etapa se prepara el problema de estudio se realiza las siguientes actividades: dibujar el modelo en software, establecer el tipo de elemento de acuerdo a los cálculos que se desea realizar, seleccionar el tipo de material a utilizar de la librería del software o establecer por el usuario, aplicar el material seleccionado a cada elemento del modelo, mallado del modelo, aplicar condiciones de borde y frontera al modelo.
- 2) **Solución:** en esta etapa el software resuelve el modelo establecido mediante el método de elementos finitos de tal manera genera resultados del objeto estudiado lo que realiza las siguientes actividades: establecer el tipo de análisis a realizar (estado transitorio, régimen armónico, estático, etc.), definir los parámetros del análisis (tiempo, cantidad de iteraciones, etc.), el software realiza las operaciones y genera resultados.

- 3) **Post procesado:** La fase de post procesado permite apreciar los resultados mediante graficas en escala de colores y resultados numéricos que genera el modelo de estudio

2.1.7.2 Aplicación de software para el análisis por elementos finitos.

En la actualidad existen gran variedad de softwares para resolver problemas por el método de elementos finitos entre los que podemos mencionar: Abaqus, DYNA 3D, MADYMO, Advance Design, ANSA, ANSYS, LS-DYNA, Autodesk Simulation, etc.

2.2 HIPÓTESIS

La caracterización de diferentes orientaciones de los refuerzos como tejido plano entre las fibras de algodón y cabuya en el material híbrido de matriz epoxi mejorará las propiedades mecánicas.

2.3 SEÑALAMIENTO DE LAS VARIABLES DE LAS HIPÓTESIS

2.3.1 VARIABLE INDEPENDIENTE

MATERIAL HÍBRIDO DE MATRIZ EPOXI REFORZADO CON FIBRAS DE ALGODÓN Y CABUYA.

2.3.2 VARIABLE DEPENDIENTE

PROPIEDADES MECÁNICA

2.3.3 TERMINO DE RELACIÓN

MEJORARÁ

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1 NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN

3.1.1 EXPLORATORIO

En el presente proyecto se utilizó el nivel de investigación exploratorio para determinar y establecer las fracciones volumétricas de cada constituyente mediante cálculos y evaluar la influencia del tejido plano de fibras naturales en las propiedades mecánicas del material híbrido mediante los ensayos.

3.1.2 DESCRIPTIVA

Se aplicó esta la investigación para describir y establecer las propiedades mecánicas que presentó el material híbrido utilizando fichas técnicas, luego de realizó los ensayos de tracción, flexión e impacto de cada uno de las probetas utilizadas.

3.1.3 EXPLICATIVA

Se utilizó este tipo de investigación para dar una explicación fácil y comprensible de los resultados obtenidos y sus respectivos parámetros que intervinieron en el desarrollo de las probetas como también las ventajas y desventajas que presente el material objeto de estudio, estas explicaciones se realizaron mediante gráficas y tablas.

3.1.4 CORRELACIONAL

Se adoptó el nivel de investigación correlacional para validar el modelo de elementos finitos con el ensayo real de la probeta a tracción con la mejor característica mecánica, esta validación se realizó con el porcentaje de error que existió entre los resultados.

3.2 POBLACIÓN Y MUESTRA

3.2.1 POBLACIÓN

La población para el trabajo de investigación fueron una serie de probetas de material híbrido (Resina Epoxi + Fibra de Algodón + Fibra de Cabuya) matriz resina epóxica

reforzado con fibras de tejido plano entre el algodón y cabuya, dichas probetas tuvieron diferentes capas de fibras tejidas con ángulos diferentes entre las fibras, el proceso de estratificación para las probetas fue a compresión, los ensayos realizados fueron; tracción, flexión e impacto dichos ensayos se realizó bajo las normas ASTM, en la tabla 7 presenta las características para el conformado del material.

Tabla 7 Fracción volumétrica, capas y orientación del material híbrido

| Fracción volumétrica | Capas | Orientación de refuerzos | |
|----------------------|---------|--------------------------|------|
| | | FA | FC |
| Tipo (a) | (1-2-3) | 0° | 90° |
| | | 45° | 135° |
| | | Capas combinadas | |
| Tipo (b) | (1-2-3) | 0° | 90° |
| | | 45° | 135° |
| | | Capas combinadas | |
| Tipo (c) | (1-2-3) | 0° | 90° |
| | | 45° | 135° |
| | | Capas combinadas | |

(Fuente: Autor)

Nota: orientación de refuerzos

- **FA:** Fibra de Algodón
- **FC:** Fibra de Cabuya

Las fracciones volumétricas

- **Tipo (a):** 65% resina epoxi, 30% fibra de cabuya, 2-8% fibra de algodón
- **Tipo (b):** 70% resina epoxi, 25% fibra de cabuya, 2-8% fibra de algodón
- **Tipo (c):** 75% resina epoxi, 20% fibra de cabuya, 2-8% fibra de algodón

3.2.2 MUESTRA

Para trabajo experimental se consideró como muestra 5 probetas de tracción de cada tipo de fracción volumétrico con sus respectivos ángulos de tejidos y considerando 2 más por alguna anomalía, de la misma manera para el ensayo de flexión se consideró 7 probetas para cada caso, mientras que para el ensayo de impacto se realizaron 9 probetas de cada caso, las probetas para cada tipo de ensayos se realizó tomando en cuenta las dimensiones que presentan las normas ASTM, en la tabla 8 presenta las muestras de las probetas realizadas.

Tabla 8 Muestra para cada tipo de ensayos

| Fracción volumétrica | Capas | Orientación | | Probetas para ensayos mecánicos | | |
|----------------------|-------|-------------|------|---------------------------------|-----------------------|-----------------------|
| | | FA | FC | Tracción ASTM-D3039 | Flexión ASTM-D7264 | Impacto ASTM-D5628 |
| Tipo (a) | 1-2,3 | 0° | 90° | 7 | 7 | 9 |
| | | 45° | 135° | 7 | 7 | 9 |
| Tipo (b) | 1-2-3 | 0° | 90° | 7 | 7 | 9 |
| | | 45° | 135° | 7 | 7 | 9 |
| Tipo (c) | 1-2-3 | 0° | 90° | 7 | 7 | 9 |
| | | 45° | 135° | 7 | 7 | 9 |

(Fuente: Autor)

3.3 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

3.3.1 VARIABLE INDEPENDIENTE

Material híbrido de matriz epoxi reforzado con fibras de algodón y cabuya presenta en la tabla 9.

Tabla 9 Variable independiente

| Conceptualización | Categoría | Indicadores | Índice | | | Técnicas e Instrumentación |
|--|------------------|--------------------------|------------------------|-----------------|------------------|--|
| Material híbrido es un material reforzado con más de un tipo de refuerzo estas pueden ser sintéticas o naturales | Material híbrido | Fracción volumétrica | Resina epoxi | Fibra de cabuya | Fibra de algodón | Observación directa Ficha de datos Bibliográfica Libreta de notas Norma ASTM |
| | | | 65% | 30% | 2-8% | |
| | | | 70% | 25% | 2-8% | |
| | | 75% | 20% | 2-8% | | |
| | | Orientación de refuerzos | 0° - 90° 45° - 135° | | | |
| | | Número de capas | 1 – 3 Capas | | | |

(Fuente: Autor)

3.3.2 VARIABLE DEPENDIENTE

Propiedades mecánicas indica en la tabla 10.

Tabla 10 Variable dependiente

| Conceptualización | Categoría | Indicadores | Índice | Técnicas e instrumentación |
|--|-----------|--|---|---|
| Comportamiento mecánico del material al aplicar fuerzas o cargas que son evaluadas mediante ensayos específicos bajo normas y especificaciones de las dimensiones de las probetas. | Tracción | Resistencia a la tracción Módulo de elasticidad | ¿Cuál será la resiste a tracción? ¿Cuál será el módulo de elasticidad? | Observación directa Ficha de toma de datos de los ensayos Formato para toma de datos de los ensayos |
| | Flexión | Esfuerzo de flexión Módulo de flexión | ¿Cuál será el esfuerzo a flexión? ¿Cuál será el módulo de flexión? | Bibliográfica |
| | Impacto | Resistencia al impacto | Energía de impacto(1,50 – 3) (MFE=hwf) [J] | |

(Fuente: Autor)

3.4 PLAN DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

En la tabla 11 presenta el plan de recolección de información.

Tabla 11 Plan de recolección de información

| Plan de recolección de información | |
|---|--|
| ¿Qué? | La adquisición de datos de las propiedades mecánicas (Tracción, Flexión, Impacto) de las probetas del material híbrido de matriz epoxi reforzado con fibras de algodón y de cabuya |
| ¿Para qué? | Se realizó para conocer las propiedades mecánicas del material de acuerdo a las orientaciones de las fibras establecidas de esta forma adquirir la orientación que presente mejores propiedades mecánicas. |
| ¿Quién? | El presente estudio fue realizado por el investigador (Segundo Pacha) |
| ¿A quiénes? | Los datos se adquirieron de los ensayos de las probetas realizadas para cada tipo de ensayos destructivos. |
| ¿Cómo? | Se realizó mediante fichas técnicas, registros material bibliográfico y aplicando las normas mencionadas anteriormente. |
| ¿Con que? | Para adquirir los datos se utilizó las fichas de toma de datos para cada tipo de ensayo |
| ¿Cuándo? | Se realizará en el año 2016 |
| ¿Cuántas veces? | Se realizó 5 ensayos de tracción, 5 de flexión y 8 de impacto de todos los casos establecidos. |
| ¿Dónde? | El trabajo de investigación se realizó en la Universidad Técnica de Ambato en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica campus Huachi Chico |

(Fuente: Autor)

3.5 PLAN PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS

Los datos adquiridos en el presente trabajo de investigación fueron procesados y analizados de la siguiente manera:

3.5.1 REVISIÓN DE DATOS

Con los datos que se adquirió en los ensayos se procedió a revisar que todos tengan concordancia, que los datos estén ordenados de cada tipo de ensayo.

3.5.2 TABULACIÓN DE DATOS

Para analizar los diferentes datos obtenidos se procedió a tabular y se realizó una tabulación computarizada.

3.5.3 ANÁLISIS DE DATOS

En el análisis de datos se tomó en cuenta la probeta ensayada con sus valores resultantes ya que permitió seleccionar la probeta con las mejores propiedades mecánicas.

3.5.4 PRESENTACIÓN DE INFORMACIÓN

Con los datos tabulados, la información fue representada mediante gráficos para facilitar el entendimiento.

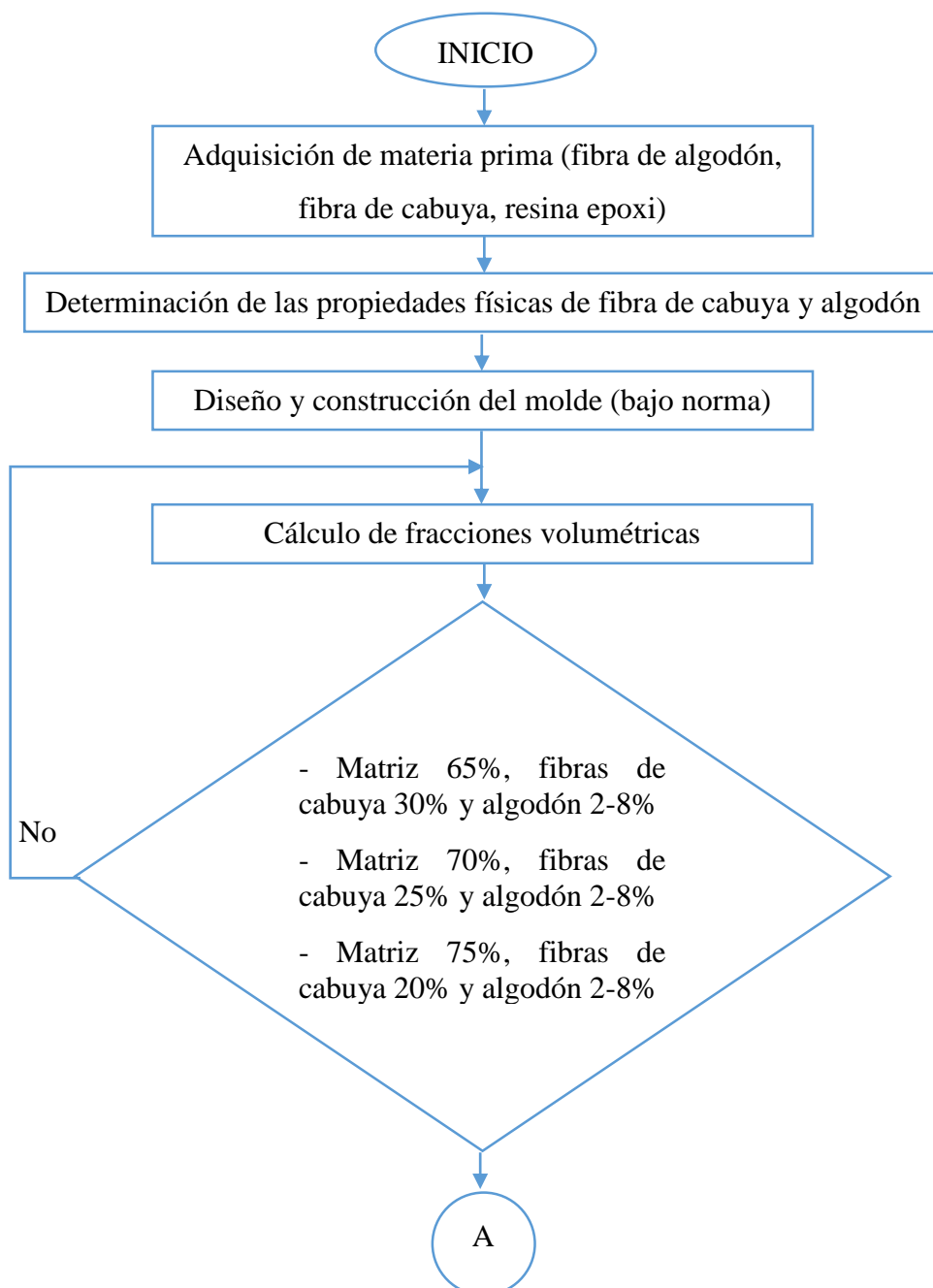
3.5.5 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

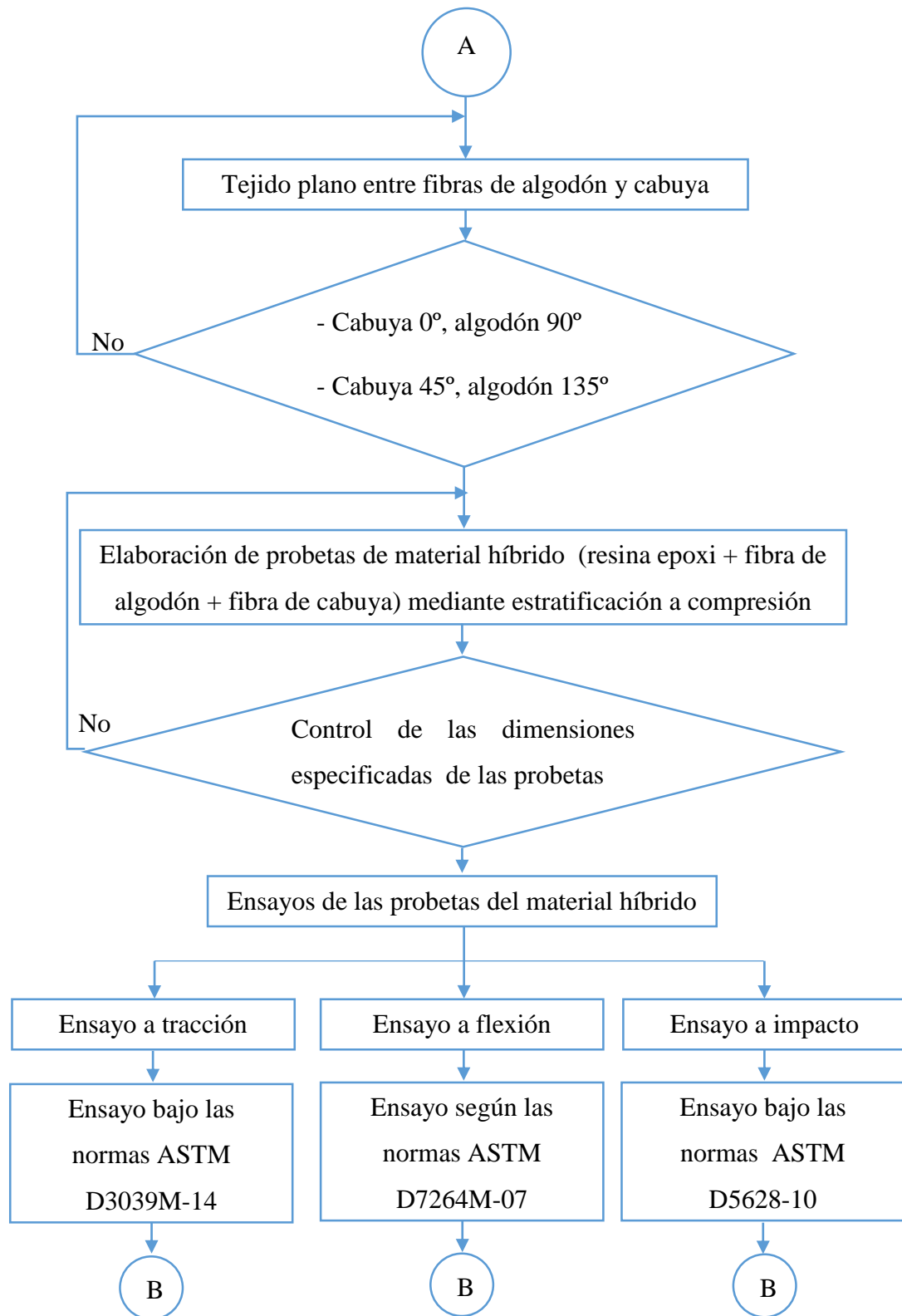
Con el análisis realizado, los resultados fueron interpretados mediante tablas y seleccionando las probetas que presente mejores propiedades mecánicas.

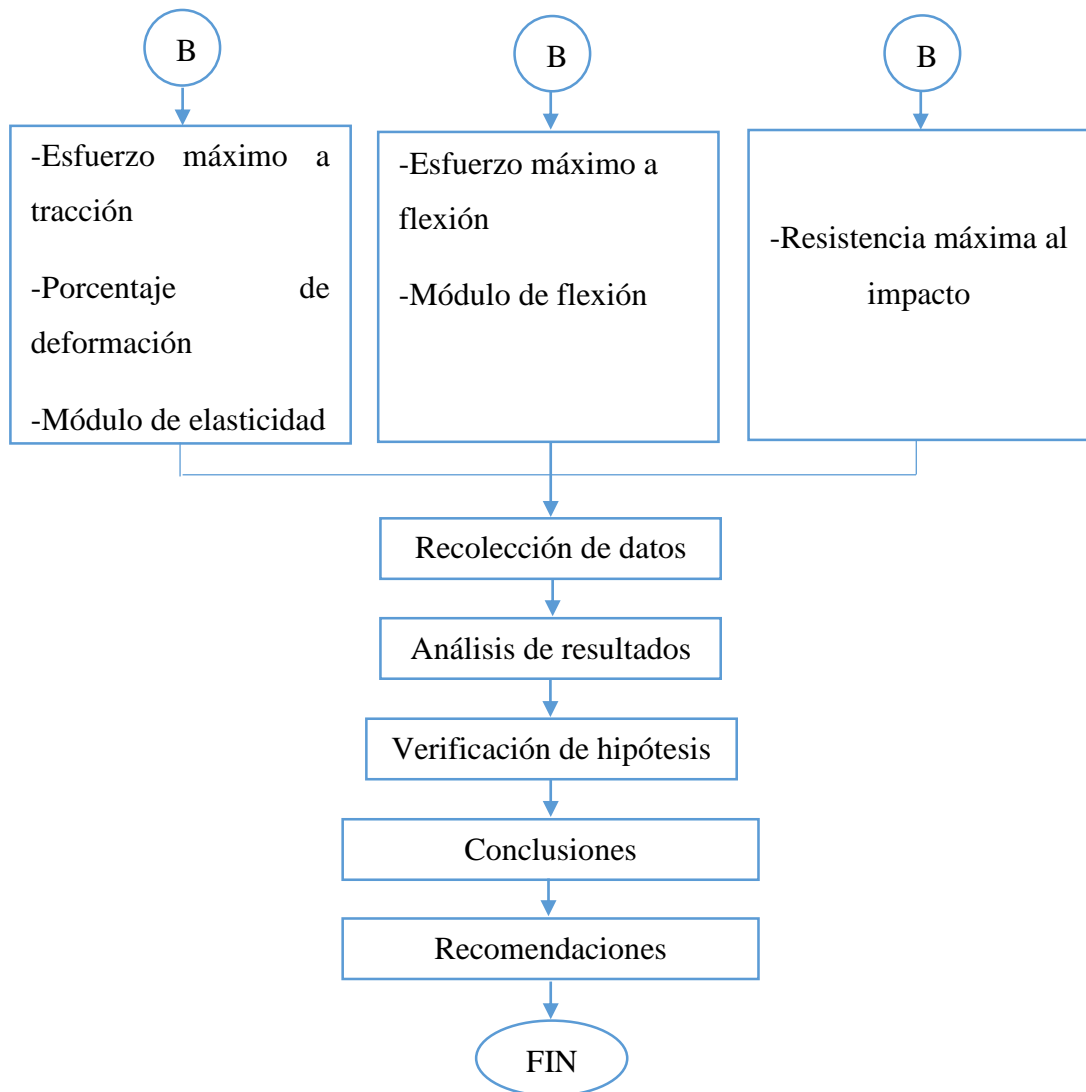
CAPÍTULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1 DETERMINACIÓN DEL PROCESO DE OBTENCIÓN DE LAS PROBETAS EXPERIMENTALES







*Fig. 23 Diagrama de caracterización del material híbrido
(Fuente: Autor)*

4.1.1 ADQUISICIÓN DE MATERIA PRIMA

Las materias primas para el desarrollo del tema de trabajo experimental fueron: la resina epoxi, la fibra de algodón y la fibra de cabuya.

La resina epoxi se adquirió en QUIVENSA que está situado en la ciudadela el recreo del cantón Ambato de la provincia de Tungurahua, en la Fig. 24 se observa la resina epóxica y el endurecedor.



Fig. 24 Resina epoxi y endurecedor
(Fuente: Autor)

La fibra de cabuya y la fibra de algodón se adquirió en el Rosario de la parroquia de Salasaca del cantón Pelileo de la provincia de Tungurahua, estos materiales facilitó un artesano del sector antes mencionado que se dedica a realizar tapices de fibra de algodón y lana que son tejidos en los telares.



Fig. 25 Fibra de algodón y cabuya
(Fuente: Autor)

4.1.2 DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE FIBRA DE CABUYA Y ALGODÓN

La propiedades adquiridas de las fibras de algodón y cabuya fue la densidad, esta propiedad fue adquirido mediante un experimento con método gravitatorio.

Se tomó 3 muestras de diferentes cantidades de cada tipo de fibra, en seis vasos de precipitación se colocó resina epoxi en volúmenes iguales, se añadió las fibras antes mencionados en el vaso de precipitación con resina y existió un incremento de volumen es decir la diferencia de volumen (volumen de resina sin añadir la fibra y el volumen final luego de añadir las fibras) con los datos adquiridos se calcula la densidad de cada una de las fibras aplicando la Ec. [3].

$$\text{Densidad} = \frac{\text{masa}}{\text{volumen}}$$

Los resultados obtenidos de cada tipo de muestra se observa en la tabla 12.

Tabla 12 Densidad de las fibras de algodón y cabuya

| DENSIDADES DE LAS FIBRAS DE ALGODÓN Y CABUYA EN RESINA EPOXI A TEMPERATURA AMBIENTE | | | | | |
|--|-----------------|-------------------------------|--------------|------------------------------|---|
| FIBRA DE ALGODÓN | | | | | |
| Muestra | Masa (g) | Volumen cm³ | | | Densidad $\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$ |
| | | Inicial | Final | ΔV | |
| 1 | 2 | 100 | 102,67 | 2,67 | 0,75 |
| 2 | 2,50 | 100 | 102,33 | 2,33 | 1,07 |
| 3 | 3 | 100 | 101,17 | 1,17 | 2,57 |
| Densidad promedio | | | | | 1,46 |
| FIBRA DE CABUYA | | | | | |
| 1 | 2 | 100 | 101,33 | 1,33 | 1,50 |
| 2 | 2,50 | 100 | 102 | 2 | 1,25 |
| 3 | 3 | 100 | 105,33 | 2,67 | 1,12 |
| Densidad promedio | | | | | 1,29 |

(Fuente: Autor)

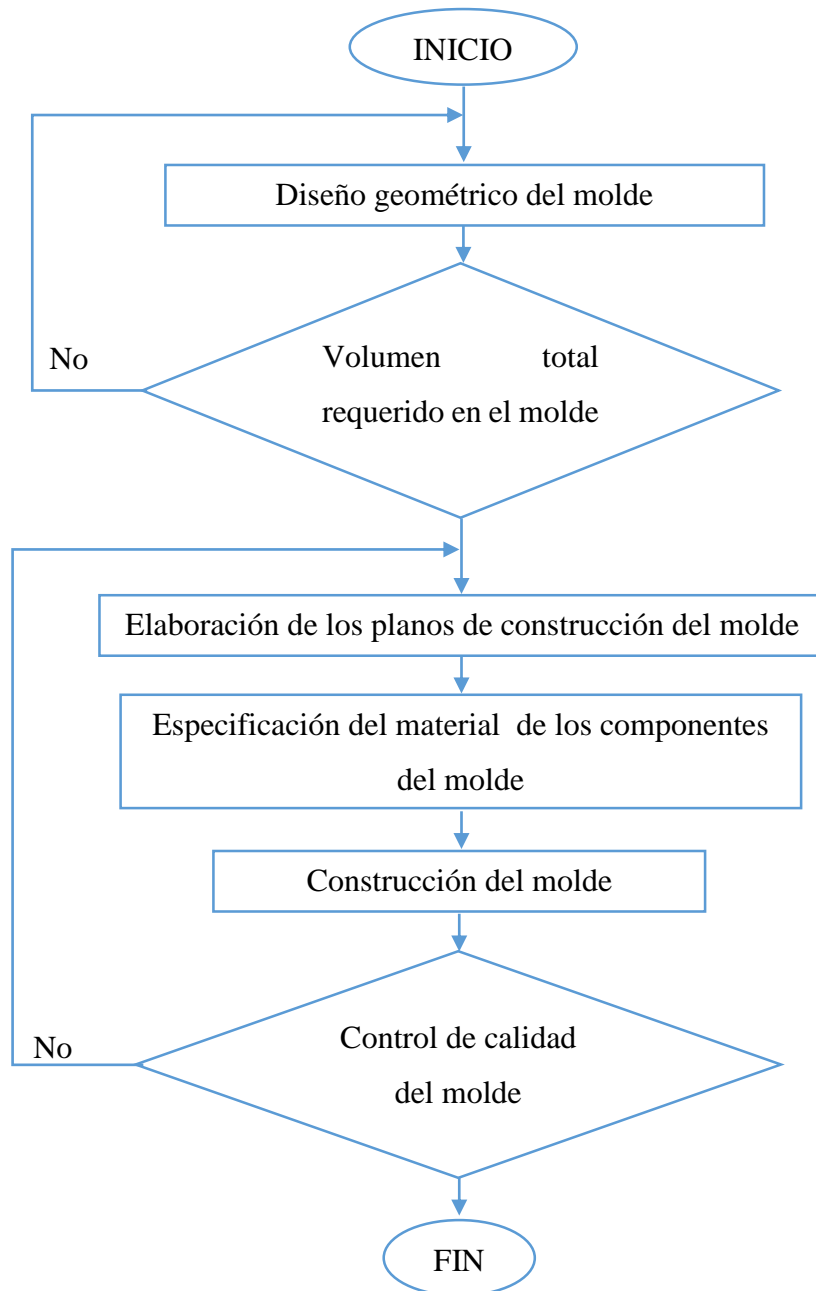
Las densidades obtenidas experimentalmente de las fibras se realizaron a temperatura ambiente obteniendo una densidad promedio de la fibra de algodón de $1,46 \cong 1,50 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$ mientras que la densidad de la fibra de cabuya fue de $1,29 \cong 1,30 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$ los valores de las densidades de las fibras están en los rangos que presentan en fuentes bibliográficas, estos valores presentan en la Tabla 5 del capítulo II.



Fig. 26 Determinación de la densidad
(Fuente: Autor)

4.1.3 DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL MOLDE (BAJO NORMA)

El diseño y construcción del molde se realizó orientando en el siguiente diagrama:

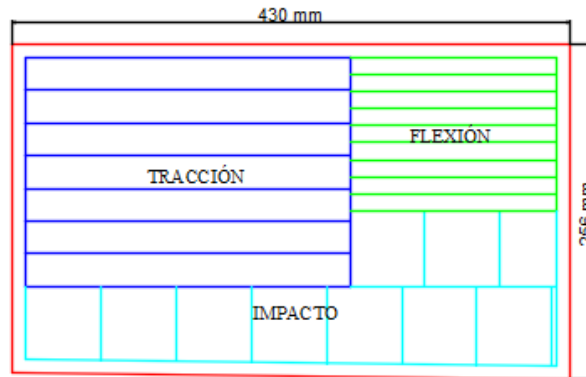


*Fig. 27 Diagrama del proceso de construcción del molde.
(Fuente: Autor)*

4.1.3.1 Diseño geométrico del molde

El diseño del molde se realizó tomando en cuenta el número de probetas a moldear, la norma (adjunto anexo 1) indica que se debe realizar mínimo 5 probetas para ensayos de tracción, de la misma manera mínimo 5 probetas para ensayos a flexión, en este caso está diseñado para 7 probetas de tracción, 7 de flexión y 9 probetas para el ensayo

de impacto, en el diseño se excedió con 2 probetas de tracción y 2 de flexión de cada caso por seguridad si algunas de las probetas presenten fallas de moldeo, el área de trabajo para el moldeo se puede observar en la Fig. 28



*Fig. 28 Distribución de las probetas para el diseño del molde.
(Fuente: Autor)*

Para el diseño propuesto se tomó en cuenta que las fibras del tejido tengan la misma orientación para todas las probetas a ensayar. Las dimensiones de las probetas fueron basadas bajo las normas ASTM para cada tipo de ensayo como:

- La dimensión de la probeta para el ensayo de tracción bajo las normas ASTM D3039M- 00 es de 250mm*25mm.
- Las probetas para el ensayo de flexión tienen las dimensiones de 160mm*13mm, esto se realizó bajo las normas ASTM D7264M-07
- Para las probetas del ensayo de impacto se basó en la norma ASTM 5628-10 que indica las dimensiones de 58mm*58mm.

El área del trabajo del molde fue de 430mm*256mm como se puede observar en la Fig. 28, para facilitar el moldeo el espesor es la misma para todas las probetas, es decir para los tres tipos de ensayos el espesor fue de 3mm, para adquirir probetas de dimensiones exactas y por el corte que se realiza el área de trabajo está sobredimensionado con 10mm a cada uno de sus lados.

4.1.3.2 Volumen total requerido en el molde

El volumen que fue necesario para realizar el moldeo se obtuvo aplicando la siguiente

ecuación: $V_{\text{requerido}}=l*a*e$ Ec.

[10]

Dónde: $V_{\text{requerido}} = \text{volumen total}$

l= largo del área de trabajo

a=ancho del área de trabajo

e= espesor de las probetas

Aplicando la Ec. [10] se obtuvo que el volumen total de la cámara para el moldeo de las probetas fue:

$$V_{\text{requerido}} = 430\text{mm} \cdot 256\text{mm} \cdot 3\text{mm}$$

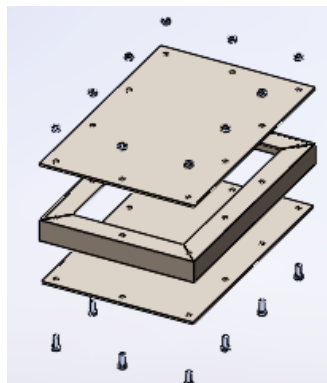
$$V_{\text{requerido}} = 330240 \text{ mm}^3$$

$$V_{\text{requerido}} = 330,24 \text{ cm}^3$$

4.1.3.3 Elaboración de los planos de construcción del molde

El plano de los componentes del molde se realizó con la ayuda de un software; el molde propuesto consta de las partes principales que se puede observar en la Fig. 29 (planos adjunto en el anexo 6):

- Base del molde
- Marco del molde,
- Tapa



*Fig. 29 Componentes del molde
(Fuente: Autor)*

4.1.3.4 Especificación del material de los componentes del molde



En la construcción de los componentes del molde se utilizó acero estructural A 36 debido a que presentan buenas propiedades al momento de aplicar la presión del moldeo de los componentes del material híbrido.




Para el acople entre el macho y hembra del molde se utilizó pernos de acero de 1*1/2 plg de rosca gruesa con sus respectivos tuercas.

4.1.3.5 Construcción del molde

Con los materiales y los parámetros definidos en el diseño se procedió a construir cada uno de los elementos que conforma el molde y posterior a eso se realizó el ensamble, en la tabla 13 presenta el dicho proceso.

Tabla 13 Proceso para la construcción del molde.

| PROCESO PARA LA CONSTRUCCION DEL MOLDE | |
|---|---|
| <p>Objetivo: Definir el proceso apropiado para la construcción del molde.</p> <p>Alcance: El siguiente proceso se utiliza para construir el molde de acuerdo diseño que presenta en la sección 4.1.3.3</p> | |
| <p>a) Construcción de la base</p> <p>En la construcción de la base del molde se utilizó una plancha de acero negro A 36 con las dimensiones especificadas en el plano de construcción (524mm*350mm*6mm).</p> <p>A lo largo y ancho de la plancha se realizó orificios para soldar los pernos de 1*1/2 plg que se utilizó para acoplar los elementos del molde como se indica en el plano.</p> |  <p><i>Fig. 30 Construcción de la base del molde (Fuente: Autor)</i></p> |
| <p>b) Construcción del marco</p> <p>Para la construcción del marco se utilizó ángulo estructural A 36 de 50*50*3mm, las dimensiones fue de 530*356mm, de la misma manera a lo largo y ancho del marco se realizó orificios con dimensiones indicadas para el ensamble correspondiente, la parte interna del marco fue fundamental debido a que fue el área del moldeo de las probetas por dicha razón fue importante no tener ningún tipo de imperfección para obtener probetas con acabados superficial de buena calidad.</p> |  <p><i>Fig. 31 Construcción del marco del molde (Fuente: Autor)</i></p> |

| | |
|--|---|
| <p>Se colocó la base en la parte interna del marco como se indica en la Fig. 32</p> |  <p><i>Fig. 32 Acople de la base con el marco del molde</i> (Fuente: Autor)</p> |
| <p>c) Construcción de la tapa</p> <p>La tapa se construyó con una plancha de acero negro A 36 de 6mm de espesor con la dimensión de 530*356mm, se realizó perforaciones a lo largo y ancho de la plancha como se indica en el plano, la función de la tapa fue generar presión en el área de trabajo, el molde está realizado para obtener la presión adecuado al momento del moldeo y obtener probetas de buena calidad en la Fig. 33 se puede observar la tapa del molde.</p> |  <p><i>Fig. 33 Acople la tapa del molde</i> (Fuente: Autor)</p> |
| <p>d) Ensamble del molde</p> <p>Una vez construida se procedió a ensamblar todos los componentes para realizar un control de calidad del molde, en la Fig. 34 se puede apreciar los componentes ensamblados para el moldeo correspondiente.</p> |  <p><i>Fig. 34 Elementos del molde</i> (Fuente: Autor)</p> |

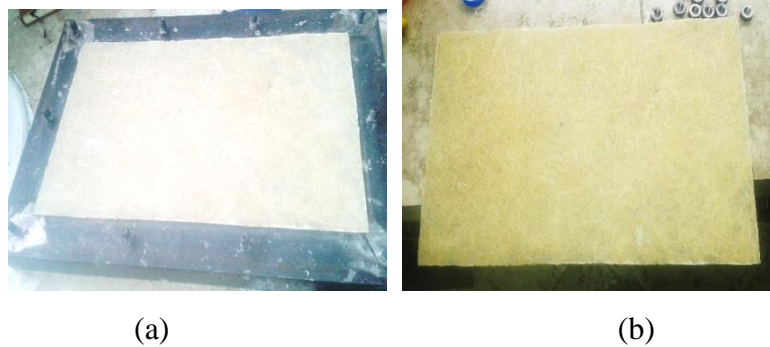
(Fuente: Autor)

4.1.3.6 Control de calidad del molde

Para el control de calidad del molde se realizó probetas con fracción volumétrica de la matriz (resina epoxi) de 70%, se utilizó el 30% fibras cortas como refuerzo (fibra de cabuya) con una longitud de 10 mm con la configuración al azar.

La probeta moldeada fue aceptable debido a que no presentó ningún tipo de imperfecciones en la modelo moldeado, las dimensiones de la probeta realizadas tuvo

las dimensiones diseñados cumpliendo las expectativas deseadas previo al moldeo y el área modelado no presentó poros u otros tipos de fallas que ocasione problemas al realizar los ensayos correspondientes, en la Fig. 35 se puede observar el modelado.



*Fig. 35 (a) Desmolde (b) Modelo control de calidad finalizado
(Fuente: Autor)*

4.1.4 CÁLCULO DE FRACCIONES VOLUMÉTRICAS

Las fracciones volumétricas que se utilizó en el trabajo de investigación fueron:

- 65% resina epoxi (matriz), fibras de cabuya 30% y algodón 2-8% (refuerzo)
- 70% resina epoxi (matriz), fibras de cabuya 25% y algodón 2-8% (refuerzo)
- 75% resina epoxi (matriz), fibras de cabuya 20% y algodón 2-8% (refuerzo)

Previo al cálculo de las fracciones volumétricas utilizadas en el trabajo de investigación para conocer la masa exacta de las fibras de cabuya como del algodón en las probetas para ensayos de tracción, flexión e impacto, se realizó cálculos y probetas preliminares con la fracción volumétrica de 70% resina epoxi (matriz), fibras de cabuya 25% y algodón 2-8% (refuerzo), dichas probetas de realizó en un molde de madera con las siguientes dimensiones; largo de 96.5 mm, ancho de 50mm con un espesor de 10mm como se muestra en la Fig. 36



*Fig. 36 Molde para probetas preliminares
(Fuente: Autor)*

4.1.4.1 Probetas preliminares con fibras individuales

Las probetas preliminares se realizaron de matriz de resina epoxi reforzado con fibras de cabuya y algodón individualmente como se presenta a continuación.

Datos conocidos:

$$\rho_{\text{algodón}} = 1,50 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

$$\rho_{\text{cabuya}} = 1,30 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

$$\rho_{\text{resina}} = 0,96 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

Fibra de cabuya

Las probetas preliminares se realizaron de fibras largas de cabuya, para obtener el volumen total del molde se utilizó la Ec. [10].

Volumen total del molde

$$V_T = 9,65 \text{cm} * 5 \text{cm} * 1 \text{cm}$$

$$V_T = 48,25 \text{ cm}^3$$

Volumen de la matriz (70%)

$$V_m = 33,78 \text{cm}^3$$

Volumen de refuerzo (30%)

$$V_r = 14,47 \text{ cm}^3$$

La masa del refuerzo se calculó utilizando la Ec. [3]

Masa de refuerzo

$$m = 1,30 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} * 14,47 \text{ cm}^3$$

$$m = 18,81 \text{g}$$

La masa real de la fibra de cabuya utilizada para realizar esta probeta fue el 1/3 (6,27g) de la masa calculado debido a que con esa cantidad se llenó el molde, mientras tanto el endurecedor se utilizó en relación de 1:5 del volumen de la matriz en este caso fue 6,75 cm³ la probeta se puede observar en la Fig. 37



*Fig. 37 Probeta de fibra de cabuya
(Fuente: Autor)*

Densidad de la probeta de cabuya

La densidad de la probeta de fibra de cabuya se calculó con la Ec. [1]

Calculada

$$\rho_c = 70\% \left(0,96 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}\right) + 30\% \left(1,30 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}\right)$$

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

Experimental

Datos: masa de la probeta 47,40 g

Variación del volumen= 44cm³

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

$$\rho_c = \frac{47,40 \text{ g}}{44 \text{ cm}^3}$$

$$\rho_c = 1,07 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

Orientación y cantidad de fibras

Las fibras de cabuya tuvo la orientación de 0° es decir se coloca horizontalmente con una longitud de 96,50 mm de largo, con los experimentos realizados se obtuvo que 73 fibras de cabuya pesó 0,10g mientras que los 6,27g de cabuya contiene aproximadamente 4577 fibras de 96,50 mm los que fueron utilizados en las probetas preliminares esto se presenta en la tabla 14.

Tabla 14 Número de fibras de cabuya utilizados para las probetas preliminares

| # de fibras | Longitud(mm) | Masa |
|-------------|--------------|-------|
| 73 | 96,50 | 0,10g |
| 4577 | 96,50 | 6,27g |

(Fuente: Autor)

Fibra de algodón

Para realizar las probetas preliminares de fibra de algodón se utilizó fibras cortas, el volumen total del molde se calculó con la Ec. [10] y el molde tiene las mismas dimensiones de las probetas preliminares de fibra de cabuya.

Volumen total del molde

$$V_T = 9,65\text{cm} * 5\text{cm} * 1\text{cm}$$

$$V_T = 48,25 \text{ cm}^3$$

Volumen de la matriz (70%)

$$V_m = 33,78\text{cm}^3$$

Volumen de refuerzo (30%)

$$V_r = 14,47 \text{ cm}^3$$

Para el cálculo de la masa de refuerzo se utilizó la Ec. [3]

Masa de refuerzo

$$m = 1,50 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} * 14,47 \text{ cm}^3$$

$$m = 21,70\text{g}$$

La masa real de la fibra de algodón utilizada para realizar esta probeta fue el 1/3 (7,23g) ya que con esta cantidad de algodón se llena el molde, se utilizó la fibra corta de 10mm de algodón para realizar probetas preliminares y el endurecedor se utilizó en la proporción de 1:5 del volumen de la matriz es decir en este caso fue 6,70 cm³ la probeta se puede observar en la figura 38.



*Fig. 38 Probeta de fibra de algodón
(Fuente: Autor)*

Densidad de la probeta de cabuya

La densidad de la probeta preliminar con la fibra de algodón se calculó con la Ec. [1]

Calculada

$$\rho_c = 70\% \left(0,96 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}\right) + 30\% \left(1,50 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}\right)$$

$$\rho_c = 1,12 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

Experimental

Datos: masa de la probeta 46,40 g

Variación del volumen= 41 cm³

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

$$\rho_c = \frac{46,40 \text{ g}}{41 \text{ cm}^3}$$

$$\rho_c = 1,13 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

Con los experimentos realizados se concluyó que la masa real de los refuerzos (cabuya y algodón) utilizados es el 1/3 de la masa calculada.

4.1.5 FRACCIONES VOLUMÉTRICAS UTILIZADOS

Los cálculos de las fracciones volumétricas que se utilizó en el presente trabajo de investigación fueron las siguientes:

4.1.5.1 Cálculo para la fracción volumétrica del 65% resina epoxi (matriz), fibras de cabuya 30% y algodón 2-8% (refuerzo).

Como se puede apreciar en la sección 4.1.3.2 el volumen total requerido en el molde para realizar probetas de cada tipo es de $V_{\text{requerido}} = 330,24 \text{ cm}^3$, es el 100% del volumen y se procedió a calcular el volumen la matriz (resina epoxi) como también de los refuerzos (fibras de algodón y cabuya) que se utilizó para la elaboración del materia híbrido.

Datos conocidos:

$$\text{Densidades} \quad \rho_{\text{algodón}} = 1,50 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

$$\rho_{\text{cabuya}} = 1,30 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

$$\rho_{\text{resina}} = 0,96 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

$$\text{Fracciones volumétricas} \quad f_m = 65\%$$

$$f_f = 30\% \text{ cabuya, } 2-8\% \text{ algodón}$$

a) Determinación del volumen de la matriz

Del volumen total obtenido se calculó el volumen de la matriz como del refuerzo de acuerdo a las fracciones volumétricas.

$$V_{\text{requerido}} = 330,24 \text{ cm}^3$$

$$f_m = 65\%$$

$$\begin{array}{l} 330,24 \text{ cm}^3 \quad \longrightarrow \quad 100\% \\ \text{Volumen de la matriz} \quad \longrightarrow \quad 65\% \end{array}$$

$$\text{Volumen de la matriz} = \frac{330,24 \text{ cm}^3 * 0,65}{1}$$

$$\text{Volumen de la matriz} = 214,66 \text{ cm}^3$$

En el moldeo de las probetas el volumen de resina epoxi requerida fue de $214,66 \text{ cm}^3$, mientras que el endurecedor de la resina se utilizó en la proporción de 1:5 en este caso el volumen necesario del endurecedor fue de $42,93 \text{ cm}^3$.

b) Determinación de la masa de refuerzo (fibras de algodón y cabuya)

Con los datos de fracción volumétrica y el volumen total del molde se calculó los volúmenes requeridas de cada una de las fibras.

Fibra de cabuya

$$V_{\text{requerido}} = 330,24 \text{ cm}^3$$

$$f_{fc} = 30\%$$

$$\begin{array}{l} 330,24 \text{ cm}^3 \longrightarrow 100\% \\ \text{Volumen de la matriz} \longrightarrow 30\% \end{array}$$

$$\text{Volumen de fibra de cabuya} = \frac{330,24 \text{ cm}^3 * 0,30}{1}$$

$$\text{Volumen de fibra de cabuya} = 99,07 \text{ cm}^3$$

Fibra de algodón

$$V_{\text{requerido}} = 330,24 \text{ cm}^3$$

$$f_{fa} = 5\%$$

$$\begin{array}{l} 330,24 \text{ cm}^3 \longrightarrow 100\% \\ \text{Volumen de la matriz} \longrightarrow 5\% \end{array}$$

$$\text{Volumen de fibra de algodón} = \frac{330,24 \text{ cm}^3 * 0,05}{1}$$

$$\text{Volumen de fibra de algodón} = 16,51 \text{ cm}^3$$

Con los volúmenes de cada una de las fibras calculadas se procedió a determinar la masa de cada tipo de refuerzo aplicando la Ec. [3]

Fibra de cabuya

Volumen de fibra de cabuya $99,07 \text{ cm}^3$.

Densidad de la fibra de cabuya es $1,3 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$

$$m = \rho * v$$

$$m = 1,3 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} * 99,07 \text{cm}^3$$

$$m = 128,8 \text{g}/3$$

$$m = 42,9 \text{g}$$

Fibra de algodón

Volumen de fibra de algodón $16,51 \text{cm}^3$.

Densidad de la fibra de algodón es $1,5 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$

$$m = \rho * v$$

$$m = 1,5 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} * 16,51 \text{cm}^3$$

$$m = 24,77 \text{g}/3$$

$$m = 8,26 \text{g}$$

Con los cálculos realizados se concluyó que para el volumen total del molde $330,24 \text{cm}^3$, el volumen de la matriz resina epoxi fue $214,66 \text{cm}^3$ [65%] mientras que el endurecedor se utilizó en la proporción de 1 a 5 es decir el volumen fue de $42,93 \text{cm}^3$, de la misma manera como se menciona en la sección 4.1.4.1 la masa real de los refuerzos que se utilizó es el 1/3 de la masa calculada, la fibra de cabuya es de 30% de lo cual se obtuvo la masa de cabuya de $128,80 \text{g}$ ($42,90 \text{g}$), con la fracción volumétrica del 5% de fibra de algodón se obtuvo la masa de $24,77 \text{g}$ ($8,26 \text{g}$), la masa total de las fibras que se utiliza para esta fracción volumétrica fue $51,16 \text{g}$.

4.1.5.2 Cálculo para la fracción volumétrica del 70% resina epoxi (matriz), fibras de cabuya 25% y algodón 2-8% (refuerzo).

Como se indica en la sección anterior el volumen total requerido para el moldeo de las probetas fue de $V_{\text{requerido}} = 330,24 \text{cm}^3$, dicha cantidad es el 100% del volumen y por ende se calculó el volumen la matriz (resina epoxi) y el volumen de cada refuerzo (fibras de algodón y cabuya) que se utiliza para la elaboración del materia híbrido.

Datos conocidos:

Densidades $\rho_{\text{algodón}} = 1,5 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$

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

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

Fracciones volumétricas $f_m=70\%$

$f_f=25\%$ cabuya, 2-8% algodón

a) Determinación del volumen de la matriz

El volumen de la matriz (resina epóxica) se obtuvo al calcular el 70% del volumen requerido como se indica a continuación.

$$V_{\text{requerido}} = 330,24 \text{ cm}^3$$

$$f_m=70\%$$

$$\begin{array}{l} 330,24 \text{ cm}^3 \quad \longrightarrow \quad 100\% \\ \text{Volumen de la matriz} \quad \longrightarrow \quad 70\% \end{array}$$

$$\text{Volumen de la matriz} = \frac{330,24 \text{ cm}^3 * 0,70}{1}$$

$$\text{Volumen de la matriz} = 231,16 \text{ cm}^3$$

El volumen de la matriz (resina epóxica) requerida para el moldeo fue de $231,16 \text{ cm}^3$ y el volumen del endurecedor utilizado fue $46,23 \text{ cm}^3$ en proporción de 1:5

b) Determinación de la masa de refuerzo (fibras de algodón y cabuya)

El volumen de los refuerzos se calculó a partir de volumen total requerido y la fracción volumétrica a trabajar como se indica a continuación.

Fibra de cabuya

$$V_{\text{requerido}} = 330,24 \text{ cm}^3$$

$$f_{fc} = 25\%$$

$$\begin{array}{l} 330,24 \text{ cm}^3 \quad \longrightarrow \quad 100\% \\ \text{Volumen de la matriz} \quad \longrightarrow \quad 25\% \end{array}$$

$$\text{Volumen de fibra de cabuya} = \frac{330,24 \text{ cm}^3 * 0,25}{1}$$

$$\text{Volumen de fibra de cabuya} = 82,56 \text{ cm}^3$$

Fibra de algodón

$$V_{\text{requerido}} = 330,24 \text{ cm}^3$$

$$f_c = 5\%$$

$$\begin{array}{l} 330,24 \text{ cm}^3 \longrightarrow 100\% \\ \text{Volumen de la matriz} \longrightarrow 5\% \end{array}$$

$$\text{Volumen de fibra de algodón} = \frac{330,24 \text{ cm}^3 * 0,05}{1}$$

$$\text{Volumen de fibra de algodón} = 16,51 \text{ cm}^3$$

Con los volúmenes de cada una de las fibras calculadas se procedió a determinar la masa de cada tipo de refuerzo con la Ec. [3]

Fibra de cabuya

Volumen de fibra de cabuya $82,56 \text{ cm}^3$.

Densidad de la fibra de cabuya es $1,3 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$

$$m = 1,3 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} * 82,56 \text{ cm}^3$$

$$m = 107,33 \text{ g}$$

$$m = 35,78 \text{ g}$$

Fibra de algodón

Volumen de fibra de algodón $16,51 \text{ cm}^3$.

Densidad de la fibra de algodón es $1,5 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$

$$m = \rho * v$$

$$m = 1,5 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} * 16,51 \text{ cm}^3$$

$$m=24,77g$$

$$m=8,26g$$

El volumen total requerido fue de $330,24 \text{ cm}^3$, el volumen de la matriz para la fracción volumétrica de 70 % fue $231,16 \text{ cm}^3$ mientras que el volumen del endurecedor fue $46,23 \text{ cm}^3$ en la proporción de 1:5, la masa de la fibra de cabuya para el 25% de la fracción volumétrica fue $107,33g$ ($35,78g$) del que se utilizó el $1/3$, de la misma manera la masa de fibra de algodón que equivale el 5% fue $24,77g$ ($8,26g$) que también se utilizó el $1/3$ de lo calculado.

4.1.5.3 Cálculo para la fracción volumétrica del 75% resina epoxi (matriz), fibras de cabuya 20% y algodón 2-8% (refuerzo).

El volumen total requerido es $V_{\text{requerido}}= 330,24 \text{ cm}^3$ equivalente al 100%, del que se calculó el volumen de la matriz y el volumen de los refuerzos según la fracción volumétrica utilizada.

Datos conocidos:

Densidades $\rho_{\text{algodón}} = 1,5 \frac{g}{\text{cm}^3}$

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

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

Fracciones volumétricas $f_m=75\%$

$$f_f=20\% \text{ cabuya, } 2-8\% \text{ algodón}$$

a) Determinación del volumen de la matriz

La matriz (resina epóxica) utilizado para este caso fue 75% como se indica en los siguientes cálculos.

$$V_{\text{requerido}}= 330,24 \text{ cm}^3$$

$$f_m=75\%$$

$$330,24 \text{ cm}^3 \longrightarrow 100\%$$

Volumen de la matriz \longrightarrow 75%

$$\text{Volumen de la matriz} = \frac{330,24\text{cm}^3 * 0,75}{1}$$

$$\text{Volumen de la matriz} = 247,68\text{cm}^3$$

Para esta fracción volumétrica el volumen de la matriz fue $247,68\text{ cm}^3$ y el volumen del endurecedor $49,54\text{cm}^3$ en la proporción 1:5

b) Determinación de la masa de refuerzo (fibras de algodón y cabuya)

Con el dato de volumen total obtenido se calculó el volumen de los refuerzos (cabuya y algodón) para esta fracción volumétrica.

Fibra de cabuya

$$V_{\text{requerido}} = 330,24\text{ cm}^3$$

$$f_{\text{fc}} = 20\%$$

$330,24\text{ cm}^3$ \longrightarrow 100%

Volumen de la matriz \longrightarrow 20%

$$\text{Volumen de fibra de cabuya} = \frac{330,24\text{ cm}^3 * 0,20}{1}$$

$$\text{Volumen de fibra de cabuya} = 66,05\text{cm}^3$$

Fibra de algodón

$$V_{\text{requerido}} = 330,24\text{ cm}^3$$

$$f_{\text{fc}} = 5\%$$

$330,24\text{ cm}^3$ \longrightarrow 100%

Volumen de la matriz \longrightarrow 5%

$$\text{Volumen de fibra de algodón} = \frac{330,24\text{ cm}^3 * 0,05}{1}$$

$$\text{Volumen de fibra de algodón} = 16,51\text{cm}^3$$

Con los volúmenes de cada una de las fibras calculadas se determinó la masa de cada una de ellas aplicando la Ec. [3]

Fibra de cabuya

Volumen de fibra de cabuya $66,05\text{cm}^3$.

Densidad de la fibra de cabuya es $1,3\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$

$$m=\rho*v$$

$$m=1,3\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}*66,05\text{cm}^3$$

$$m= 85,86\text{g}/3$$

$$m=28,62\text{g}$$

Fibra de algodón

Volumen de fibra de algodón $16,51\text{cm}^3$.

Densidad de la fibra de algodón es $1,5\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$

$$m=\rho*v$$

$$m= 1,5\frac{\text{g}}{\text{cm}^3} * 16,51\text{cm}^3$$

$$m=24,77\text{g}/3$$

$$m=8,26\text{g}$$

El volumen total del molde fue $330,24\text{ cm}^3$, el volumen de la resina epóxica fue $247,68\text{cm}^3$ equivalente al 75%, mientras que el volumen del endurecedor en proporción de 1:5 fue $49,54\text{cm}^3$, la masa que equivale el 25% de la fibra de cabuya fue $107,33\text{g}$ ($35,78\text{g}$) la misma que se utilizó el 1/3 de lo calculado, mientras que el 5% de masa de la fibra de algodón fue $24,77\text{g}$ ($8,26\text{g}$) que también se utilizó el 1/3 de lo calculado.

En la tabla 15 indica el resumen de las cantidades calculadas de cada componente según la fracción volumétrica.

Tabla 15 Número de fibras de cabuya utilizados para las probetas preliminares

| Resumen de cantidades de cada componente del material | | | | | | | | |
|--|--------|-------------------------------|-----------------|-------------|-------------|------------------|-------------|-------------|
| # Caso | Matriz | | Fibra de cabuya | | | Fibra de algodón | | |
| | % | Volumen (cm ³) | % | Orientación | Masa (g) | % | Orientación | Masa (g) |
| 1 | 65 | 214,66 | 30 | 0° | 42,90 | 5 | 90° | 8,26 |
| 2 | 70 | 231,16 | 25 | 0° | 35,78 | 5 | 90° | 8,26 |
| 3 | 75 | 247,68 | 20 | 0° | 28,62 | 5 | 90° | 8,26 |
| 4 | 65 | 214,66 | 30 | 45° | 42,90 | 5 | 135° | 8,26 |
| 5 | 70 | 231,16 | 25 | 45° | 35,78 | 5 | 135° | 8,26 |
| 6 | 75 | 247,68 | 20 | 45° | 28,62 | 5 | 135° | 8,26 |

(Fuente: Autor)

4.1.6 TEJIDO PLANO ENTRE LAS FIBRAS DE ALGODÓN Y CABUYA

El tejido se realizó en la parroquia Salasaca del cantón Ambato de la provincia de Tungurahua, para realizar el tejido se utilizó un telar manual que facilitó cruzar las fibras de cabuya por encima y por debajo de las fibras de algodón, las fibras de algodón están fijos en el telar a una distancia uniforme de 2mm y no se los pudo modificar, de la misma manera se trabajó con fibra de cabuya escarmenado y secado, con los cálculos realizados se obtuvo el número de fibras que se utiliza para cada fila en la Fig.39 se observa el telar manual.



Fig. 39 Telar para tejido de fibras
(Fuente: Autor)

4.1.7 ÁNGULOS DE TEJIDO PLANO

Para el tejido plano entre las fibras de algodón y cabuya se utiliza los siguientes ángulos.

4.1.7.1 Cabuya 0°, algodón 90°

En el tejido plano la orientación de la fibra de cabuya fue de 0°, la masa calculada como se indica en la sección 4.1.5 fue distribuido en todo el ancho del molde con una separación aceptable para que sumerja en la resina epóxica.

Como se mencionó en la sección 4.1.6 la fibra de algodón tuvo una separación uniforme de 2mm colocado en ángulo de 90°, por lo que se dividió el largo del área de trabajo del molde para 2 de tal forma se obtuvo el número de fibras utilizados, 430mm tiene el largo del molde como se indica en la sección 4.1.3.1 dicho valor dividiendo para 2 se obtuvo 215 este valor indica el número de fibras de algodón que tiene el molde dicho valor se multiplica por el ancho del molde para encontrar la longitud total de fibra de algodón que contiene el molde.

Longitud total de fibra de algodón = $215 * 25,6\text{cm}$

Longitud total de fibra de algodón = 5504cm

Experimentalmente se obtuvo que 100cm de fibra de algodón pesa 0,07g, con este dato se calculó la masa que tiene la longitud total de la fibra.

$$\begin{array}{l} 100\text{cm} \longrightarrow 0,08\text{g} \\ 5504\text{cm} \longrightarrow x \end{array}$$

$$x = \frac{5504\text{cm} * 0,075\text{g}}{100\text{cm}}$$

$$x = 4,13\text{g}$$

Con el cálculo realizado se concluyó que cada capa de tejido plano tiene 4,13g es decir $\frac{1}{2}$ de la masa total de fibra de algodón, esta cantidad equivale el 2,50% de la masa de algodón y dicha cantidad fue constante ya que la fibra esta fijo en el telar y no se pudo modificar la distancia entre fibras.

La cantidad de cada tipo de fibra que se utilizó en el tejido plano dependió de la fracción volumétrica como se indica a continuación.

a) Tejido para la fracción volumétrica del 65% matriz, fibras de cabuya 30% y algodón 2-8%.

Como se indica en la sección 4.1.5.1 literal b la masa total para el tejido en esta fracción volumétrica fue de 51,16g de la cual la masa de la fibra de algodón fue de 8,26g equivalente el 5% mientras que la masa de la fibra de cabuya fue de 42,90g equivalente el 30%.

En la sección 4.1.7.1 indica que cada capa de tejido tiene el 2,50% de fibra de algodón, para esta fracción volumétrica se trabajó con 2 capas lo que permitió cumplir con el 5% de la fibra de algodón.

En la sección 4.1.5.1 indica que la masa de cabuya para esta fracción volumétrica fue de 42,90g, se realizó probetas de dos capas de tejido por lo que $\frac{1}{2}$ de la masa de esta fibra se distribuye para todo el área de moldeo.

Mediante trabajo experimental se obtuvo que 20 fibras de 430mm (largo del molde) pesa 0,12g con este dato se distribuye el $\frac{1}{2}$ (21,45g equivale el 15%) de la fibra de cabuya para el área de trabajo (430*256mm), se colocó 20 fibras por cada fila en todo en ancho del molde obteniendo 175 filas con una separación de 1,46mm para realiza cada capa de tejido plano como se indica en la Fig. 40.



*Fig. 40 Tejido plano de 30% de cabuya 0° y 5% algodón 90°.
(Fuente: Autor)*

En la tabla 16 presenta el resumen de las cantidades de cada fibra para realizar el tejido.

Tabla 16 Parámetros del tejido 30% de cabuya 0° y 5% algodón 90°.

| Resumen de parámetros de tejido de (430*256)mm | | |
|--|---------------|----------------|
| Cuantificación | Fibra | |
| | cabuya x capa | algodón x capa |
| % de fracción volumétrica | 15% | 2,50% |
| Cantidad | 21,45g | 4,13g |
| Orientación | 0° | 90° |
| # de capas | 2 | 2 |
| # de fibras por fila | 20 | 1 |
| Dimensiones | 430mm | 256mm |
| Espacio entre fibras | 1,46mm | 2mm |
| Filas | 175 | 215 |
| Espesor promedio del tejido | 0,60mm | |

(Fuente: Autor)

b) Tejido para la fracción volumétrica del 70% matriz, fibras de cabuya 25% y algodón 2-8%.

La masa de la fibra de algodón por cada capa para todas las fracción volumétrica fue de 4,13g como se menciona en la sección 4.1.7.1 que equivale el 2,50%, para realizar las probetas de esta fracción volumétrica se trabajó con tres capas de tejido es decir con el 7,50% (12,39g) de fibra de algodón.

La masa para esta fracción volumétrica indica en la sección 4.1.5.2 literal b pero se recalculó con la fracción volumétrica exacta de la fibra de algodón ya que no se pudo modificar, para este caso la matriz fue de 70%, la fibra de algodón de 7,50% y la fibra de cabuya se calculó al 22,50% como se indica a continuación.

Fibra de algodón

$$\begin{array}{l}
 330,24 \text{ cm}^3 \quad \longrightarrow \quad 100\% \\
 \text{Volumen de la matriz} \quad \longrightarrow \quad 7,50\%
 \end{array}$$

$$\text{Volumen de fibra de algodón} = \frac{330,24 \text{ cm}^3 * 0,075}{1}$$

$$\text{Volumen de fibra de algodón} = 24,77 \text{ cm}^3$$

$$m = \rho * v$$

$$m = 1,5 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} * 24,77 \text{ cm}^3$$

$$m = 37,16\text{g}/3$$

$$m = 12,39\text{g}$$

La masa real de la fibra de algodón que se utilizó para el tejido en esta fracción volumétrica fue el 1/3 de la masa calculada siendo 12,39g equivalente a 7,50% el mismo que se dividió para 3 por el número de capas que se realizó obteniendo 4,13g (2,5%) por capa.

Fibra de cabuya

$$\begin{array}{l} 330,24 \text{ cm}^3 \longrightarrow 100\% \\ \text{Volumen de la matriz} \longrightarrow 22,50\% \end{array}$$

$$\text{Volumen de fibra de cabuya} = \frac{330,24 \text{ cm}^3 * 0,225}{1}$$

$$\text{Volumen de fibra de cabuya} = 74,30\text{cm}^3$$

$$m = \rho * v$$

$$m = 1,3 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} * 74,30\text{cm}^3$$

$$m = 96,59\text{g}/3$$

$$m = 32,19\text{g}$$

La masa real de la fibra de cabuya fue 32,19g el 1/3 de la masa calculada, de la misma manera se dividió para 3 por el número de capas obteniendo 10,73g por capa (7,50%).

Mediante trabajo experimental se obtuvo que 16 fibras de 430mm (largo del molde) pesa 0,09g la masa calculada para cada capa se distribuyó para el área del molde obteniendo 109 filas de 16 fibras por fila con una separación entre fibras de 2,30mm y se lo puede apreciar en la Fig. 41.



Fig. 41 Tejido plano de 22,50% de cabuya 0° y 7,50% algodón 90°.
(Fuente: Autor)

En la tabla 17 presenta los parámetros para el tejido entre fibras de cabuya y algodón.

Tabla 17 Parámetros del tejido 22,50% de cabuya 0° y 7,50% algodón 90°

| Resumen de parámetros de tejido de (430*256)mm | | |
|---|----------------------|-----------------------|
| Cuantificación | Fibra | |
| | cabuya x capa | algodón x capa |
| % de fracción volumétrica | 7,50% | 2,50% |
| Cantidad | 10,73g | 4,13g |
| Orientación | 0° | 90° |
| # de capas | 3 | 3 |
| # de fibras por fila | 16 | 1 |
| Dimensiones | 430mm | 256mm |
| Espacio entre fibras | 2,30mm | 2mm |
| Filas | 109 | 215 |
| Espesor promedio del tejido | 0,54mm | |

(Fuente: Autor)

c) Tejido para la fracción volumétrica del 75% matriz, fibras de cabuya 20% y algodón 2-8%.

Como se mencionó en los cálculos de las fracciones volumétricas anteriores la masa de la fibra de algodón por cada capa fue 4,13g para todos los casos equivalente el 2,50%, para realizar las probetas de esta fracción volumétrica se trabajó con tres capas de tejido es decir con el 7,50% (12,39g) de fibra de algodón.

El cálculo de la masa para esta fracción volumétrica indica en la sección 4.1.5.3 literal b pero se realizó el recálculo con las fracciones volumétricas exactas de las fibras de algodón ya que no se pudo modificar, en este caso la matriz fue de 75%, la fibra de algodón de 7,50% y la fibra de cabuya se recalcula al 17,50% como se indica a continuación.

Fibra de algodón

$$\begin{array}{l}
 330,24 \text{ cm}^3 \quad \longrightarrow \quad 100\% \\
 \text{Volumen de la matriz} \quad \longrightarrow \quad 7,50\%
 \end{array}$$

$$\text{Volumen de fibra de algodón} = \frac{330,24 \text{ cm}^3 * 0,075}{1}$$

$$\text{Volumen de fibra de algodón} = 24,77 \text{ cm}^3$$

$$m = \rho * v$$

$$m = 1,5 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} * 24,77 \text{cm}^3$$

$$m = 37,16 \text{g}/3$$

$$m = 12,39 \text{g}$$

La masa real de la fibra de algodón que se utilizó para esta fracción volumétrica fue el 1/3 de la masa calculada siendo 12,39g equivalente a 7,50% el mismo que se dividió para 3 por el número de capas realizadas obteniendo 4,13 g (2,50%) por capa.

Fibra de cabuya

$$\begin{array}{l} 330,24 \text{ cm}^3 \quad \longrightarrow \quad 100\% \\ \text{Volumen de la matriz} \quad \longrightarrow \quad 17,50\% \end{array}$$

$$\text{Volumen de fibra de cabuya} = \frac{330,24 \text{ cm}^3 * 0,175}{1}$$

$$\text{Volumen de fibra de cabuya} = 57,79 \text{cm}^3$$

$$m = \rho * v$$

$$m = 1,3 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} * 57,79 \text{cm}^3$$

$$m = 75,12 \text{g}/3$$

$$m = 25,04 \text{g}$$

La masa real de la fibra de cabuya utilizada fue el 1/3 de lo calculado siendo 25,04g el mismo que se dividió para 3 por el número de capas realizadas obteniendo 8,35 g (5,83%) por capa.

Mediante trabajo experimental se obtuvo que 12 fibras de 430mm (largo del molde) pesa 0,07g, el 1/3 de la masa total se distribuye en el área de moldeo, obteniendo 114 filas de 12 fibras por fila con una separación entre fibras de 2,20mm los tejidos se puede apreciar en la Fig. 42.



Fig. 42 Tejido plano de 17,50% de cabuya 0° y 7,50% algodón 90°.
(Fuente: Autor)

En la tabla 18 presenta los parámetros para el tejido entre fibras de cabuya y algodón.

Tabla 18 Parámetros del tejido 17,50% de cabuya 0° y 7,50% algodón 90°

| Resumen de parámetros de tejido (430*256)mm | | |
|--|----------------------|-----------------------|
| Cuantificación | Fibra | |
| | cabuya x capa | algodón x capa |
| % de fracción volumétrica | 5,83 % | 2,50% |
| Cantidad | 8,35g | 4,13g |
| Orientación | 0° | 90° |
| # de capas | 3 | 3 |
| # de fibras por fila | 12 | 1 |
| Dimensiones | 430mm | 256mm |
| Espacio entre fibras | 2,20mm | 2mm |
| Filas | 114 | 215 |
| Espesor promedio del tejido | 0,46mm | |

(Fuente: Autor)

4.1.7.2 Cabuya 45°, algodón 135°

Para este caso de tejido plano la orientación de las fibras de cabuya fue de 45° y de algodón es de 135°, los parámetros utilizados para este tipo de tejido fueron los mismos que se utilizó para los tejidos de los casos anteriores ya que se utiliza las mismas fracciones volumétricas de las fibras y de la matriz.

a) Tejido para la fracción volumétrica del 65% matriz, fibras de cabuya 30% y algodón 2-8%.

El número de fibras, las fracciones volumétricas, las distancias entre fibras fueron los mismos del tejido de la sección 4.1.7.1 literal a, para obtener el tejido de 430*256mm con los ángulos mencionados se realizó el tejido de 485*485mm, de este tejido se cortó con las dimensiones del área del trabajo del molde, en la Fig. 43 presenta el tejido plano.



Fig. 43 Tejido plano de 30% de cabuya 45 ° y 5% algodón 135°
(Fuente: Autor)

En la tabla 19 indica las cantidades que se utiliza de las fibras del tejido.

Tabla 19 Parámetros del tejido 30% de cabuya 45 ° y 5% algodón 135°

| Resumen de parámetros de tejido de (430*256)mm | | |
|---|----------------------|-----------------------|
| Cuantificación | Fibra | |
| | cabuya x capa | algodón x capa |
| % de fracción volumétrica | 15% | 2,50% |
| Cantidad | 21,45g | 4,13g |
| Orientación | 45° | 135° |
| # de capas | 2 | 2 |
| # de fibras por fila | 20 | 1 |
| Dimensiones | 485mm | 485mm |
| Espacio entre fibras | 1,46mm | 2mm |
| Filas | 175 | 215 |
| Espesor promedio | 0,60mm | |

(Fuente: Autor)

b) Tejido para la fracción volumétrica del 70% matriz, fibras de cabuya 25% y algodón 2-8%.

Para este caso de tejido se utilizó los mismos parámetros de la sección 4.1.7.1 literal b con los ángulos indicados para este caso, las dimensiones del tejido fue de 485*485mm y posteriormente se cortó con la dimensión del área del molde, en la Fig. 44 se observa el corte del tejido.



Fig. 44 Tejido plano de 22,50% de cabuya 45° y 7,50% algodón 135°.
(Fuente: Autor)

En la tabla 20 presenta los parámetros para el tejido entre fibras de cabuya y algodón.

Tabla 20 Parámetros del tejido 22,50% de cabuya 45° y 7,50% algodón 135°

| Resumen de parámetros de tejido de (430*256)mm | | |
|---|----------------------|-----------------------|
| Cuantificación | Fibra | |
| | cabuya x capa | algodón x capa |
| % de fracción volumétrica | 7,50% | 2,50% |
| Cantidad | 10,73g | 4,13g |
| Orientación | 45° | 135° |
| # de capas | 3 | 3 |
| # de fibras por fila | 16 | 1 |
| Dimensiones | 485mm | 485mm |
| Espacio entre fibras | 2,30mm | 2mm |
| Filas | 109 | 215 |
| Espesor promedio del tejido | 0,54mm | |

(Fuente: Autor)

c) Tejido para la fracción volumétrica del 75% matriz, fibras de cabuya 20% y algodón 2-8%.

Los parametros que se utilizo para este caso es el mismo de la seccion 4.1.7.1 literal c, para obtener el tejido con las dimenciones del area de moldeo se realizo un tejido de 485*485mm y posteriormente se corto con las dimensiones del molde como se indica en la Fig. 45



Fig. 45 Tejido plano de 22,50% de cabuya 45° y 7,50% algodón 135°.

(Fuente: Autor)

En la tabla 21 presenta los parámetros para el tejido entre fibras de cabuya y algodón.

Tabla 21 Parámetros del tejido 22,50% de cabuya 45° y 7,50% algodón 135°.

| Resumen de parámetros de tejido de (430*256)mm | | |
|---|----------------------|-----------------------|
| Cuantificación | Fibra | |
| | cabuya x capa | algodón x capa |
| % de fracción volumétrica | 5,83 % | 2,50% |
| Cantidad | 8,35g | 4,13g |
| Orientación | 0° | 90° |
| # de capas | 3 | 3 |
| # de fibras por fila | 12 | 1 |
| Dimensiones | 485mm | 485mm |
| Espacio entre fibras | 2,20mm | 2mm |
| Filas | 114 | 215 |

| | |
|-----------------------------|--------|
| Espesor promedio del tejido | 0,46mm |
|-----------------------------|--------|



(Fuente: Autor)5




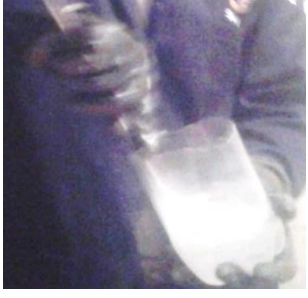
4.1.8 ELABORACIÓN DE PROBETAS DE MATERIAL HÍBRIDO (RESINA EPOXI + FIBRA DE ALGODÓN + FIBRA DE CABUYA) MEDIANTE ESTRATIFICACIÓN A COMPRESIÓN

Con las fracciones volumétricas definidas, la cantidad exacta de la matriz (resina epóxica) y el tejido plano (fibra de algodón y cabuya) establecido y el molde construido con dimensiones establecidos, se procedió a realizar el moldeo de las probetas.

Tabla de proceso de moldeo de las probetas

Tabla 22 Proceso de moldeo de probetas.

| PROCESO PARA EL MOLDEO DE LAS PROBETAS | |
|---|---|
| <p>Objetivo: Definir un proceso adecuado para el moldeo de las probetas del material híbrido.</p> <p>Alcance: El siguiente proceso se utilizara únicamente para realizar probetas de matriz de resina epóxica reforzado con tejido plano entre fibras de algodón y cabuya con fracciones volumétricas indicadas en la sección 4.1.5</p> | |
| <p>a) Preparación del molde</p> <p>Se realizó la limpieza del área del moldeo para que esté libre de impurezas de tal manera obtener probetas de buena calidad sin desperfecciones, posterior a la limpieza se aplicó capas de cera desmoldante en el área del moldeo, en el marco y la tapa del molde para evitar la adherencia de la resina epóxica en el molde.</p> |  <p><i>Fig. 46 Aplicación de la cera desmoldante en el área de moldeo y marco</i> (Fuente: Autor)</p> |
| <p>b) Preparación del tejido plano</p> <p>Los tejidos deben cumplir con los parámetros establecidos como: las dimensiones y los ángulos, dichos</p> |  <p><i>Fig. 47 Tejido de cabuya 0° y algodón 90°</i> (Fuente: Autor)</p> |

| | |
|---|---|
| <p>tejidos deben estar libre de impurezas y secos.</p> |  <p><i>Fig. 48 Tejido de cabuya 45° y algodón 135° (Fuente: Autor)</i></p> |
| <p>c) Preparación de la matriz (resina epóxica)</p> <p>La matriz (resina epóxica) se preparó con el endurecedor en la relación e 1:5, a continuación se presenta los volúmenes de la resina epóxica como del endurecedor para cada caso.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Para la fracción volumétrica de 65% el volumen de la matriz fue de 214,66cm³ y endurecedor 42,93cm³. • Para la fracción volumétrica de 70% el volumen de la matriz fue de 231,16cm³ y endurecedor 46,23cm³. • Para la fracción volumétrica de 75% el volumen de la matriz fue de 247,68cm³ y endurecedor 49,54cm³ |  <p><i>Fig. 49 Medición de la matriz (Fuente: Autor)</i></p>  <p><i>Fig. 50 Medición de endurecedor (Fuente: Autor)</i></p>  <p><i>Fig. 51 Mezcla entre la matriz y endurecedor (Fuente: Autor)</i></p> |
| <p>d) Conformado del material híbrido</p> <p>Se vertió una capa de la matriz preparada en todo el área de moldeo, posteriormente se colocó una capa de</p> | |

tejido, se colocó otra capa de la matriz, posteriormente se colocó otra capa de tejido así sucesivamente dependiendo del número de capas, cuando el molde estuvo completamente lleno se procedió al sellado del molde colocando la tapa y aplicando una presión por medio de los pernos hacia la tapa de tal manera se obtuvo probetas con buen acabado superficial



*Fig. 52 Vertido de la capa de matriz preparado
(Fuente: Autor)*



*Fig. 53 Adición de la capa de tejido plano en el molde
(Fuente: Autor)*



*Fig. 54 Vertido de la matriz hasta llenar el molde
(Fuente: Autor)*



*Fig. 55 Sellado del molde
(Fuente: Autor)*

e) Desmolde de probetas

El desmolde del material se realizó después de un lapso de tiempo de 24

horas como lo indica el (anexo1 ficha resina epoxi) tiempo recomendado para el secado de la resina a temperatura ambiente, una vez seca la matriz se retiró la tapa y se levantó las probetas con una espátula lo que facilitó el desmolde, posterior al desmolde se verificó las imperfecciones en la probeta.



Fig. 56 Desmolde del material híbrido
(Fuente: Autor)

Nota: El proceso establecido se utilizó para realizar las probetas de todos los 6 casos y para los tres tipos de ensayos (tracción, flexión e impacto) y la estratificación fue a compresión para todas las probetas.

(Fuente: Autor)

4.1.9 CONTROL DE LAS DIMENSIONES ESPECIFICADAS DE LAS PROBETAS

Corte del material

El corte de las probetas se realizó mediante un láser con las dimensiones que indica la norma para cada tipo de ensayo (tracción, flexión, impacto), en la Fig. 57 se observa el corte de las probetas.



Fig. 57 Corte de probetas
(Fuente: Autor)

a) Corte de probetas a tracción

El corte de las probetas para los 6 casos se realizó según la norma de tracción ASTM D3039M-00 las dimensiones de las probetas se indica en la Tabla 23.

Tabla 23 Características de probetas a tracción

| Caso | Config. refuerzos | Fracción volumétrica | | | Orientación | | # de capas | # de probetas | Dimensión (mm) |
|--------------------------|-------------------|----------------------|-------|------|-------------|------|------------|---------------|----------------|
| | | RE | FC | FA | FC | FA | | | |
| 1 | Tejido plano | 75% | 17,5% | 7,5% | 0° | 90° | 3 | 7 | 250*25*3 |
| 2 | | 70% | 22,5% | 7,5% | 0° | 90° | 3 | 7 | 250*25*3 |
| 3 | | 65% | 30% | 5% | 0° | 90° | 2 | 7 | 250*25*3 |
| 4 | | 75% | 17,5% | 7,5% | 45° | 135° | 3 | 7 | 250*25*3 |
| 5 | | 70% | 22,5% | 7,5% | 45° | 135° | 3 | 7 | 250*25*3 |
| 6 | | 65% | 30% | 5% | 45° | 135° | 2 | 7 | 250*25*3 |
| TOTAL DE PROBETAS | | | | | | | | 42 | |




Fig. 58 Verificación del largo
(Fuente: Autor)

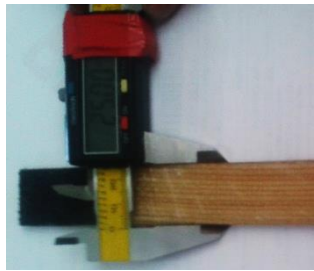


Fig. 59 Verificación del ancho
(Fuente: Autor)




Fig. 60 Verificación del espesor
(Fuente: Autor)

(Fuente: Autor)

Los siguientes códigos son:

RE: resina epóxica (Matriz)

FC: fibra de cabuya (Refuerzo)

FA: fibra de algodón (Refuerzo)

b) Corte de probetas a flexión

Las dimensiones para las probetas de ensayo a flexión indica la norma ASTM D7264M-07, las características de las probetas indica la Tabla 24.

Tabla 24 Características de probetas a flexión


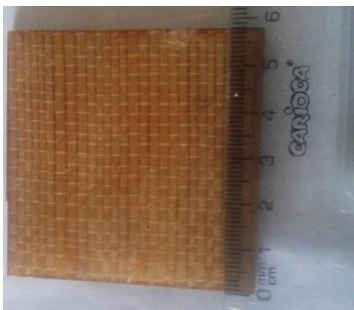

| Caso | Config. refuerzos | Fracción volumétrica | | | Orientación | | # de capas | # de probetas | Dimensión (mm) |
|------|-------------------|----------------------|-------|------|-------------|------|------------|---------------|----------------|
| | | RE | FC | FA | FC | FA | | | |
| 1 | Tejido plano | 75% | 17,5% | 7,5% | 0° | 90° | 3 | 7 | 160*13*3 |
| 2 | | 70% | 22,5% | 7,5% | 0° | 90° | 3 | 7 | 160*13*3 |
| 3 | | 65% | 30% | 5% | 0° | 90° | 2 | 7 | 160*13*3 |
| 4 | | 75% | 17,5% | 7,5% | 45° | 135° | 3 | 7 | 160*13*3 |
| 5 | | 70% | 22,5% | 7,5% | 45° | 135° | 3 | 7 | 160*13*3 |
| 6 | | 65% | 30% | 5% | 45° | 135° | 2 | 7 | 160*13*3 |

| TOTAL DE PROBETAS | | 42 |
|---|--|---|
|  |  |  |
| Fig. 61 Verificación del largo (Fuente: Autor) | Fig. 62 Verificación del ancho (Fuente: Autor) | Fig. 63 Verificación del espesor (Fuente: Autor) |

c) Corte de probetas a impacto

De acuerdo a la norma ASTM D5628-10 las dimensiones para el ensayo de impacto se indica en la Tabla 25.

Tabla 25 Características de probetas a impacto

| Caso | Config. refuerzos | Fracción volumétrica | | | Orientación | | # de capas | # de probetas | Dimensión (mm) |
|---|-------------------|--|-------|------|---|------|------------|---------------|----------------|
| | | RE | FC | FA | FC | FA | | | |
| 1 | Tejido plano | 75% | 17,5% | 7,5% | 0° | 90° | 3 | 9 | 58*58*3 |
| 2 | | 70% | 22,5% | 7,5% | 0° | 90° | 3 | 9 | 58*58*3 |
| 3 | | 65% | 30% | 5% | 0° | 90° | 2 | 9 | 58*58*3 |
| 4 | | 75% | 17,5% | 7,5% | 45° | 135° | 3 | 9 | 58*58*3 |
| 5 | | 70% | 22,5% | 7,5% | 45° | 135° | 3 | 9 | 58*58*3 |
| 6 | | 65% | 30% | 5% | 45° | 135° | 2 | 9 | 58*58*3 |
| TOTAL DE PROBETAS | | | | | | | | 54 | |
|  | |  | | |  | | | | |
| Fig. 64 Verificación del largo (Fuente: Autor) | | Fig. 65 Verificación del ancho (Fuente: Autor) | | | Fig. 66 Verificación del espesor (Fuente: Autor) | | | | |

(Fuente: Autor)

c) Densidad del material compuesto

Como se indica en la sección 4.1.4.1 para el cálculo de la densidad del material se utilizó Ec. [1].

$$\rho_H = f_m \rho_m + f_{fc} \rho_{fc} + f_{fa} \rho_{fa}$$

$$\rho_H = 75\% \left(0,96 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}\right) + 17,5\% \left(1,30 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}\right) + 7,5\% \left(1,50 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}\right)$$

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

$$\rho_H = f_m \rho_m + f_{fC} \rho_{fC} + f_{fA} \rho_{fA}$$

$$\rho_H = 70\% \left(0,96 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}\right) + 22,5\% \left(1,30 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}\right) + 7,5\% \left(1,50 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}\right)$$

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

Calculando con dos fracciones volumétricas se obtuvo y se corroboró que la densidad del material híbrido es $1,06 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$.

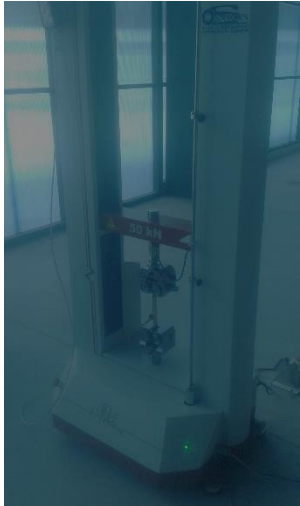
4.1.10 ENSAYOS DE LAS PROBETAS DEL MATERIAL HÍBRIDO

Los ensayos realizados para la obtención de las propiedades mecánicas del material en estudio fueron los ensayos de tracción, flexión e impacto, dichos ensayos se realizó aplicando normas definidos para cada tipo de ensayos.

Los ensayos de tracción como de flexión se realizó en el Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero del Gobierno Provincial de Tungurahua que está ubicada en la ciudad de Ambato, para realizar los ensayos mencionados se utilizó la Maquina Universal para Ensayos Electromecánicas MTE-10/50, mientras que los ensayos de impacto se realizó en el laboratorio de área de materiales de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato campus Huachi.

4.1.10.1 Ensayo a tracción

Para el ensayo de tracción se realizó 7 probetas de cada caso cumpliendo con los parámetros que indica la norma (dimensiones de las probetas) de las cuales se realizó el ensayo de 6 probetas (5 validas cantidad mínima que indica la norma), en la Fig. 67 indica la maquina universal de ensayo de tracción y flexión de las probetas.



*Fig. 67 Ensayo a tracción de material híbrido
(Fuente: Autor)*

4.1.10.2 Ensayo bajo la norma ASTM D3039M-00

En cada extremo de las probetas de ensayo de tracción se colocó una sobremonta de agarre (lija) con la longitud y espesor que indica la norma (56mm y espesor de 1,50mm) como se indica en la Fig. 68, la función de la sobremonta fue mantener sin resbalar la probeta al momento de realizar los ensayos.



*Fig. 68 Control de las dimensiones de sobremonta de agarre
(Fuente: Autor)*

Nota: Cabe indicar que la pega para la sobremonta utilizada en primera instancia no soportó al momento de realizar los ensayos se despegaba de las probetas por lo que se procedió a cambiar el tipo de pegamento.

Los códigos escritos en cada una de las probetas fueron de acuerdo a los parámetros de los componentes del material híbrido uno de los códigos fue:

T-TP3CFC17.5%0°FA7.5%90°-1

Donde cada uno de los códigos son:

T-: Ensayo de tracción

TP: Tejido plano

3C: número de capas de tejido

FC17,5%0°: Fracción volumétrica de la fibra de cabuya y ángulo de la misma.

FA7,5%90°: Fracción volumétrica de la fibra de algodón y ángulo del mismo.

1: Número de probetas

Nota: Los cambios realizados en los códigos de las probetas fueron el código del tipo de ensayo (T: tracción, F: flexión, I: impacto), el número de capas de tejido (2C: dos capas y 3C: tres capas), la fracción volumétrica de cada caso, el ángulo de las fibras de tejido (FC: 0° y 90°, FA: 45° y 135°) y el último dígito indicó el número de las probetas que existieron para cada caso de ensayo (1 hasta 6) en la Fig. 69 se observa las probetas de tracción.



Fig. 69 Probetas para el ensayo de tracción con códigos
(Fuente: Autor)

Con el ensayo de tracción se obtuvieron propiedades como:

a) Esfuerzo máximo a tracción

La Ec. [4] se utilizó para obtener el esfuerzo máximo a tracción el mismo que encuentra en la sección 2.1.5.1 literal a.

b) Porcentaje de deformación

Las características del porcentaje de deformación de las probetas en el ensayo de tracción indican en la sección 2.1.5.1 literal b, y se utilizó la Ec. [5] para su cálculo.

c) Módulo de elasticidad

La fórmula que permite calcular el módulo de elasticidad es la Ec. [6] y su característica indica en la sección 2.1.5.1 literal c.

4.1.10.3 Ensayo a flexión

Para el ensayo de flexión se realizó 7 probetas de cada caso cumpliendo con los parámetros que indica la norma (dimensiones de las probetas) de las cuales se ensayó 6 probetas (5 validas cantidad mínima que indica la norma).

4.1.10.4 Ensayo bajo la norma ASTM D7264M-07

Los códigos para las probetas fueron de acuerdo a las cuantificaciones de los componentes del material híbrido como se indica en la Fig. 70, el significado fue indicado en la sección 4.1.9.2 uno de los códigos para el ensayo de flexión fue:

F-TP3CFC17,5%0°FA7,5%90°-1

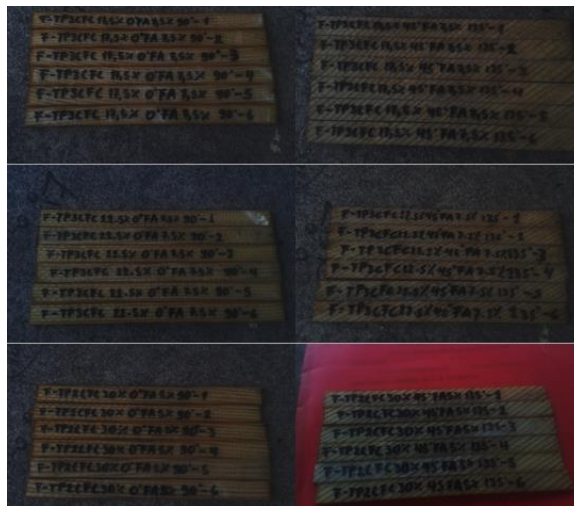


Fig. 70 Probetas para el ensayo de flexión con códigos
(Fuente: Autor)

Realizando el ensayo de flexión se obtuvo propiedades como:

a) Esfuerzo máximo a flexión

La definición de dicha propiedad mecánica indica en la sección 2.1.5.2 literal a, para su cálculo se utilizó la Ec. [7].

b) Módulo de flexión

La fórmula que permite obtener esta propiedad es la Ec. [8] y su característica indica en la sección 2.1.5.2 literal b.

4.1.10.5 Ensayo a impacto

Las probetas para el ensayo de impacto deben cumplir los parámetros que indica la norma (dimensiones de las probetas), el número de probetas de cada caso que se realizó para el ensayo de impacto fueron 9.

4.1.10.6 Ensayo bajo la norma ASTM D5628-10

Los códigos para las probetas fueron de acuerdo a las cuantificaciones de cada uno de los componentes del material híbrido como se observa en la Fig. 71, el significado indica en la sección 4.1.9.2 uno de los códigos de las probetas de ensayo a impacto fue:

I-TP3CFC17.5%0°FA7.5%90°-1



Fig. 71 Probetas para el ensayo de impacto con códigos

(Fuente: Autor)

El ensayo de impacto permitió obtener propiedades del material como:

a) Resistencia máxima al impacto

Las características de esta propiedad mecánica se encuentran en la sección 2.1.5.3 y la fórmula que permite calcular dicha propiedad es la Ec. [9]




4.1.11 RECOLECCIÓN DE DATOS

La recolección de datos de todas las probetas con las condiciones determinadas se realizó mediante los ensayos antes mencionados (tracción, flexión, impacto), para la obtención de los datos se utilizó fichas técnicas propios del autor en función de los parámetros y necesidades establecidas en el estudio, con los datos obtenidos se realizó la tabulación de los mismos.

4.1.11.1 Tabulación de datos de las probetas a ensayo de tracción

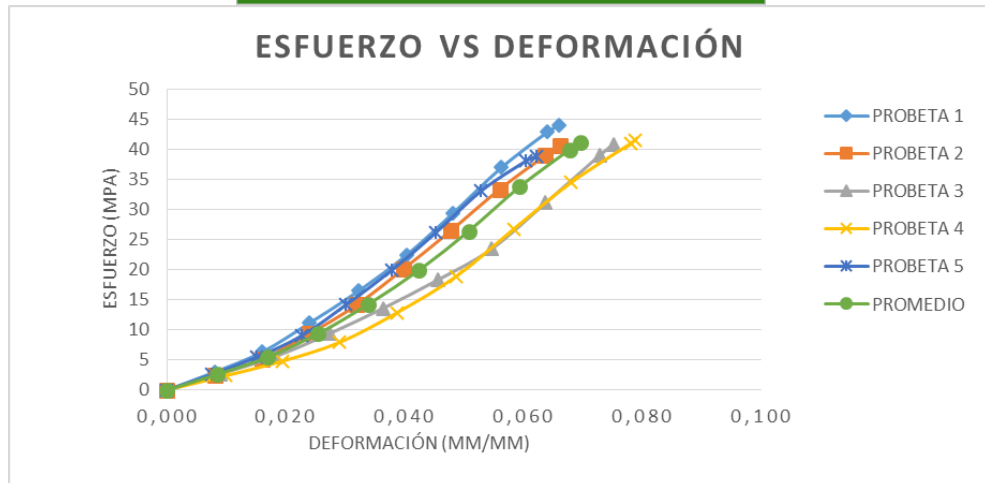
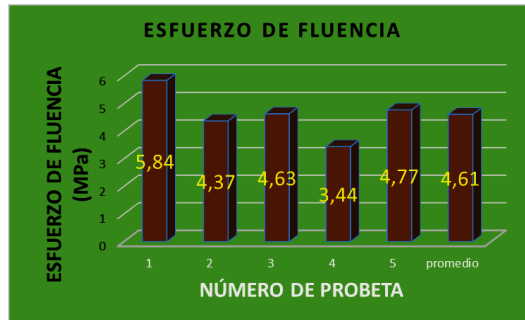
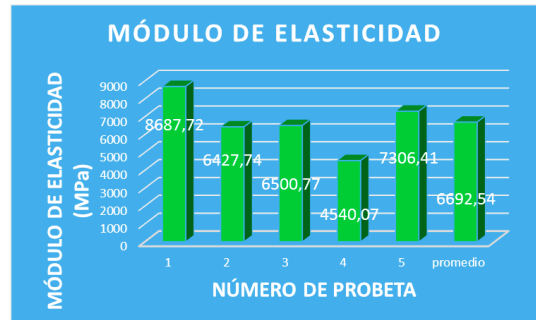
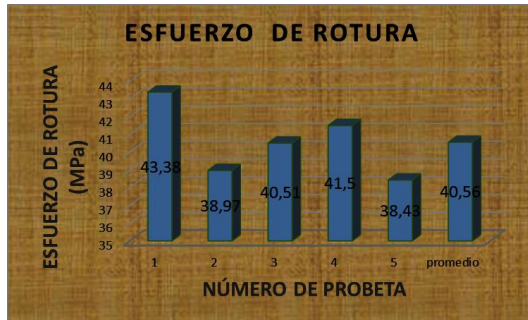
En las siguientes fichas técnicas se observa los resultados de las probetas sometidas a ensayos de tracción bajo la norma ASTM D3039M-00, con los que se realizó la tabulación de dichos valores.

Ficha técnica 1: Recolección de datos del material híbrido a ensayo de tracción FC17,5%0° - FA7,5%90°

|  | UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA | |  | | | |
|---|---|-----------------------------------|---|-----------------------------|-----------------|---------------|
| | | | | REG:TMH-01 | | |
| FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS Y EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN MATERIAL HÍBRIDO (Resina Epóxica + Fibra de algodón + Fibra de Cabuya) | | | | | | |
| Fecha: | 18-octubre-2016 | Ciudad: | Ambato | | | |
| Tipo de ensayo: | TRACCIÓN | Norma: | ASTM D3039 | | | |
| Laboratorio: | Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero | | | | | |
| Máquina: | Máquina Universal de Ensayos Electromecánicas MTE-10/50 | | | | | |
| Matriz: | Resina Epóxica | Fracción volumétrica | 75% | | | |
| Refuerzos: | Fibra de algodón | Fracción volumétrica | 7,5% | | | |
| | Fibra de cabuya | Fracción volumétrica | 17,5% | | | |
| Configuración de las fibras: | Tejido plano | Número de capas de tejido: | 3 | | | |
| Orientación FC: | 0° | Orientación FA: | 90° | | | |
| Estratificación: | Compresión | Número de probetas: | 6 (5 Válidas) | | | |
| Dimensiones: | 250*25*3,54 Espesor promedio (mm) | | | | | |
| DATOS Y RESULTADOS DEL ENSAYO A TRACCIÓN BAJO LA NORMA ASTM D3039M-00 | | | | | | |
| Probeta N. | Carga máxima (N) | Esfuerzo de fluencia (MPa) | Esfuerzo de rotura (MPa) | Módulo de elasticidad (MPa) | % de elongación | Tipo de falla |
| 1 | 3746,12 | 5,84 | 43,38 | 8687,72 | 3,65 | LAT |
| 2 | 3522,87 | 4,37 | 38,97 | 6427,74 | 3,66 | LAT |
| 3 | 3650,78 | 4,63 | 40,51 | 6500,77 | 4,14 | LIT |
| 4 | 3644,40 | 3,44 | 41,50 | 4540,07 | 4,36 | AGM |
| 5 | 3455,57 | 4,77 | 38,43 | 7306,41 | 3,43 | LIT |
| Promedio | 3603,95 | 4,61 | 40,56 | 6692,54 | 3,85 | - |
| Desviación estándar | 114,71 | 0,86 | 1,99 | 1508,11 | 0,39 | - |
| Fotos de las probetas sometidas al ensayo | | | | | | |
|  | | | | | | |

| | | | |
|-----------------------|--------------------|----------------------|-----------------------|
| Elaborado por: | Sr. Segundo Pacha | Aprobado por: | Ing. Mg. Juan Paredes |
| Revisado por: | Ing. Esteban López | Validado por: | Ing. Mg. Juan Paredes |

Gráfica de resultados



Observación

- Las dos primeras probetas del primer caso presentaron falla lateral en el área de la parte superior del agarre.
- Las probetas tres y cinco presentaron falla lateral dentro del agarre.
- La cuarta probeta de este caso presentó falla angular en la mitad de la probeta.
- Presentaron buena adherencia de la matriz-refuerzo.
- Se realizó ensayos de 6 probetas de las cuales 5 son válidas.




Evaluación

- El espesor promedio del grupo de probetas del primer caso fue de 3,54mm.
- El promedio del módulo de elasticidad para este caso fue de 6692,54 MPa.

(Fuente: Autor)

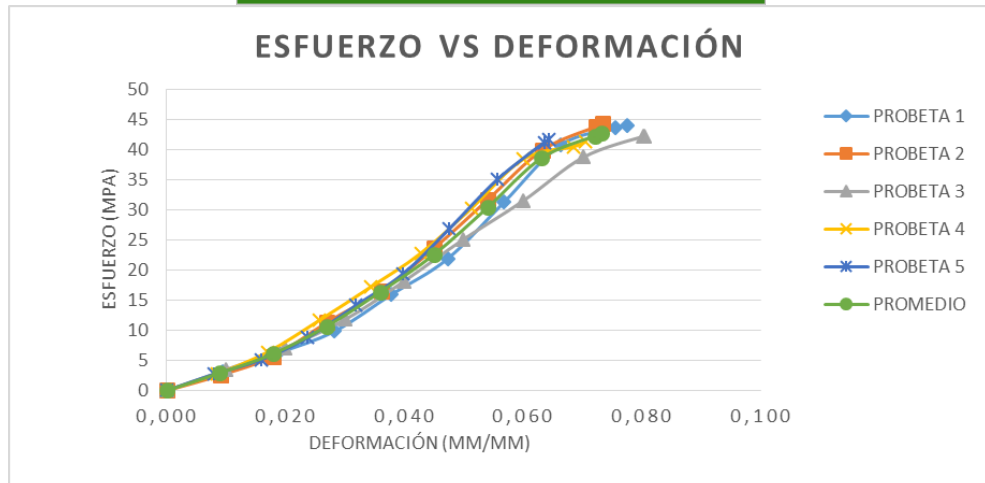
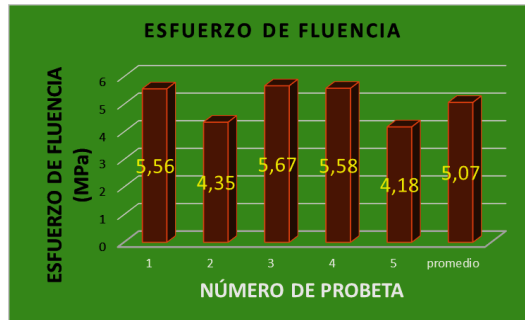
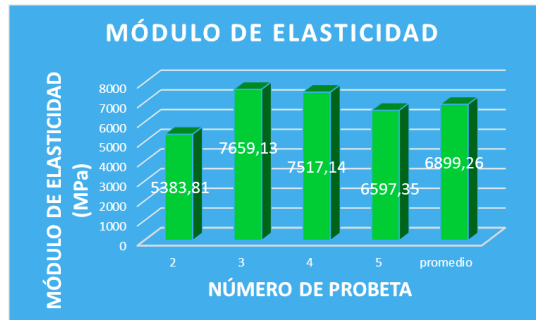
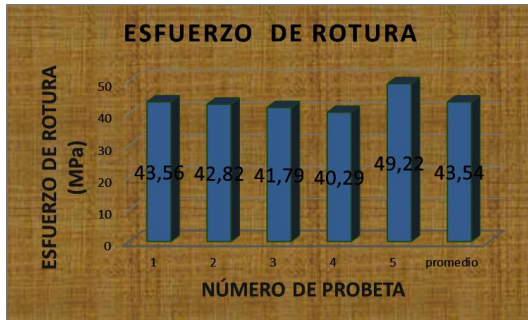
| | | | |
|-----------------------|--------------------|----------------------|-----------------------|
| Elaborado por: | Sr. Segundo Pacha | Aprobado por: | Ing. Mg. Juan Paredes |
| Revisado por: | Ing. Esteban López | Validado por: | Ing. Mg. Juan Paredes |

Ficha técnica 2: Recolección de datos del material híbrido a ensayo de tracción FC22,5% 0°- FA7,5%90°

|  | UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA |  | REG:TMH-02 | | | |
|---|---|---|--------------------------|-----------------------------|-----------------|---------------|
| FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS Y EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN MATERIAL HÍBRIDO (Resina Epóxica + Fibra de algodón + Fibra de Cabuya) | | | | | | |
| Fecha: | 18-octubre-2016 | Ciudad: | Ambato | | | |
| Tipo de ensayo: | TRACCIÓN | Norma: | ASTM D3039 | | | |
| Laboratorio: | Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero | | | | | |
| Máquina: | Máquina Universal de Ensayos Electromecánicas MTE-10/50 | | | | | |
| Matriz: | Resina Epóxica | Fracción volumétrica | 70% | | | |
| Refuerzos: | Fibra de algodón | Fracción volumétrica | 7,5% | | | |
| | Fibra de cabuya | Fracción volumétrica | 22,5% | | | |
| Configuración de las fibras: | Tejido plano | Número de capas de tejido: | 3 | | | |
| Orientación FC: | 0° | Orientación FA: | 90° | | | |
| Estratificación: | Compresión | Número de probetas: | 6 (5 Válidas) | | | |
| Dimensiones: | 250*25*3,02Espesor promedio (mm) | | | | | |
| DATOS Y RESULTADOS DEL ENSAYO A TRACCIÓN BAJO LA NORMA ASTM D3039M-00 | | | | | | |
| Probeta N. | Carga máxima (N) | Esfuerzo de fluencia (MPa) | Esfuerzo de rotura (MPa) | Módulo de elasticidad (MPa) | % de elongación | Tipo de falla |
| 1 | 3187,34 | 5,56 | 43,56 | 7338,89 | 4,33 | LAT |
| 2 | 3427,87 | 4,35 | 42,82 | 5383,81 | 4,08 | LAT |
| 3 | 3180,29 | 5,67 | 41,79 | 7659,13 | 4,42 | LAT |
| 4 | 3150,41 | 5,58 | 40,29 | 7517,14 | 3,85 | LAT |
| 5 | 3044,83 | 4,18 | 49,22 | 6597,35 | 3,58 | LAT |
| Promedio | 3198,15 | 5,07 | 43,54 | 6899,26 | 4,05 | - |
| Desviación estándar | 140,53 | 0,74 | 3,41 | 940,77 | 0,35 | - |
| Fotos de las probetas sometidas al ensayo | | | | | | |
|  | | | | | | |

| | | | |
|-----------------------|--------------------|----------------------|-----------------------|
| Elaborado por: | Sr. Segundo Pacha | Aprobado por: | Ing. Mg. Juan Paredes |
| Revisado por: | Ing. Esteban López | Validado por: | Ing. Mg. Juan Paredes |

Gráfica de resultados



Observación

- Todas las probetas del segundo caso presentaron falla lateral en la parte superior del agarre.
- La matriz y el refuerzo presentó buena adherencia.
- De las 6 probetas ensayas 5 son válidas.




Evaluación

- El espesor promedio para las probetas del segundo caso fue 3,02mm.
- El promedio del módulo de elasticidad para este caso fue de 6899,26 MPa.

(Fuente: Autor)

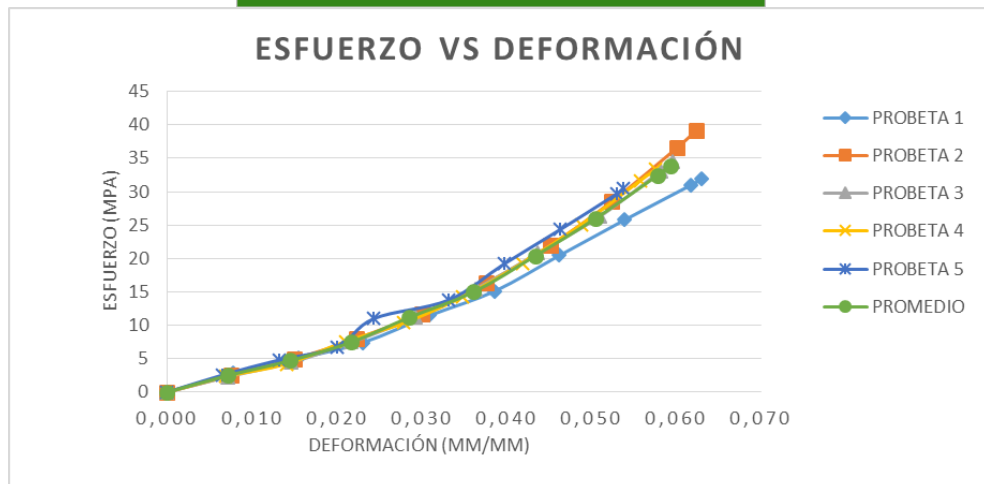
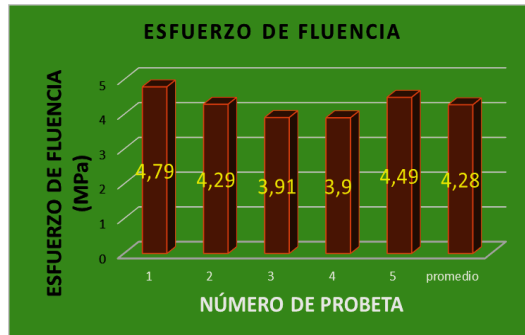
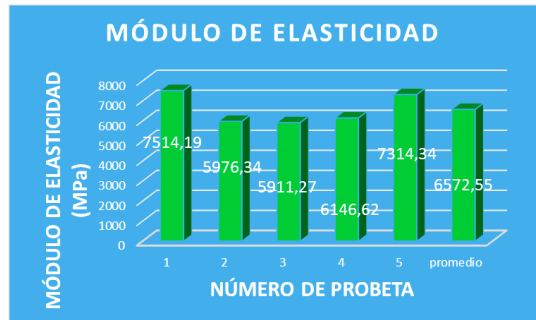
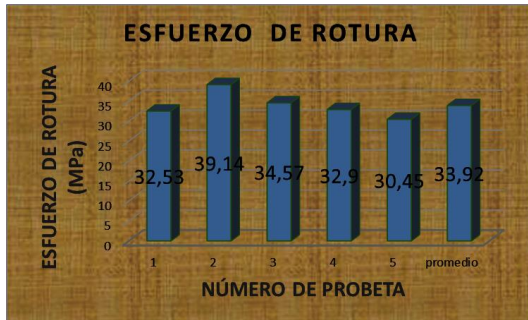
| | | | |
|-----------------------|--------------------|----------------------|-----------------------|
| Elaborado por: | Sr. Segundo Pacha | Aprobado por: | Ing. Mg. Juan Paredes |
| Revisado por: | Ing. Esteban López | Validado por: | Ing. Mg. Juan Paredes |

Ficha técnica 3: Recolección de datos del material híbrido a ensayo de tracción FC30%0° - FA5%90°

|  | UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA |  | REG:TMH-03 | | | |
|---|---|---|--------------------------|-----------------------------|-----------------|---------------|
| FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS Y EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN MATERIAL HÍBRIDO (Resina Epóxica + Fibra de algodón + Fibra de Cabuya) | | | | | | |
| Fecha: | 18-octubre-2016 | Ciudad: | Ambato | | | |
| Tipo de ensayo: | TRACCIÓN | Norma: | ASTM D3039 | | | |
| Laboratorio: | Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero | | | | | |
| Máquina: | Máquina Universal de Ensayos Electromecánicas MTE-10/50 | | | | | |
| Matriz: | Resina Epóxica | Fracción volumétrica | 65% | | | |
| Refuerzos: | Fibra de algodón | Fracción volumétrica | 5% | | | |
| | Fibra de cabuya | Fracción volumétrica | 30% | | | |
| Configuración de las fibras: | Tejido plano | Número de capas de tejido: | 2 | | | |
| Orientación FC: | 0° | Orientación FA: | 90° | | | |
| Estratificación: | Compresión | Número de probetas: | 6 (5 Válidas) | | | |
| Dimensiones: | 250*25*3,28Espesor promedio (mm) | | | | | |
| DATOS Y RESULTADOS DEL ENSAYO A TRACCIÓN BAJO LA NORMA ASTM D3039M-00 | | | | | | |
| Probeta N. | Carga máxima (N) | Esfuerzo de fluencia (MPa) | Esfuerzo de rotura (MPa) | Módulo de elasticidad (MPa) | % de elongación | Tipo de falla |
| 1 | 2684,96 | 4,79 | 32,53 | 7514,19 | 2,59 | LAT |
| 2 | 3175,92 | 4,29 | 39,14 | 5976,34 | 2,44 | LAT |
| 3 | 2826,29 | 3,91 | 34,57 | 5911,27 | 5,61 | LAT |
| 4 | 2685,29 | 3,90 | 32,90 | 6146,62 | 3,30 | LAT |
| 5 | 2498,31 | 4,49 | 30,45 | 7314,34 | 1,58 | LIT |
| Promedio | 2774,15 | 4,28 | 33,92 | 6572,55 | 3,10 | - |
| Desviación estándar | 253,02 | 0,38 | 3,27 | 776,39 | 1,53 | - |
| Fotos de las probetas sometidas al ensayo | | | | | | |
|  | | | | | | |

| | | | |
|-----------------------|--------------------|----------------------|-----------------------|
| Elaborado por: | Sr. Segundo Pacha | Aprobado por: | Ing. Mg. Juan Paredes |
| Revisado por: | Ing. Esteban López | Validado por: | Ing. Mg. Juan Paredes |

Gráfica de resultados



Observación

- Las cuatro primeras probetas del tercer caso presentaron falla lateral en la parte superior del agarre.
- La quinta probeta presentó falla lateral dentro del agarre.
- La adherencia que presentó entre la matriz y refuerzo fue buena.
- Se analizó 6 probetas de las cuales 5 son válidas.




Evaluación

- Para el tercer caso el promedio del espesor de las probetas fue de 3,28mm.
- El promedio del módulo de elasticidad para este caso fue de 6572,55 MPa.

(Fuente: Autor)

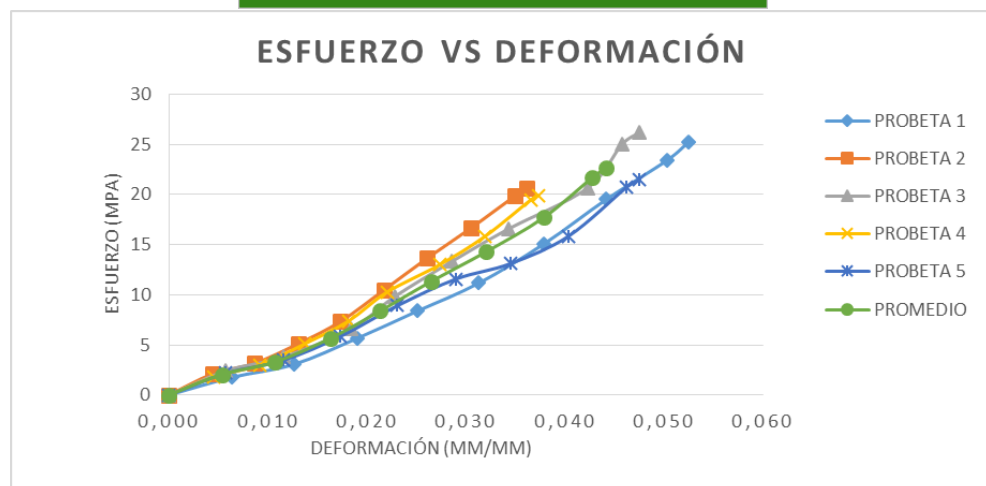
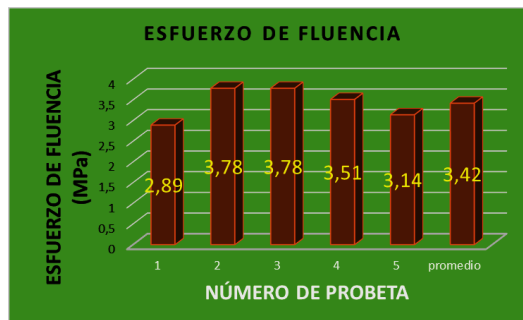
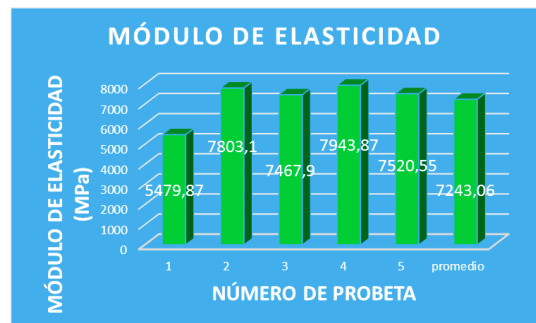
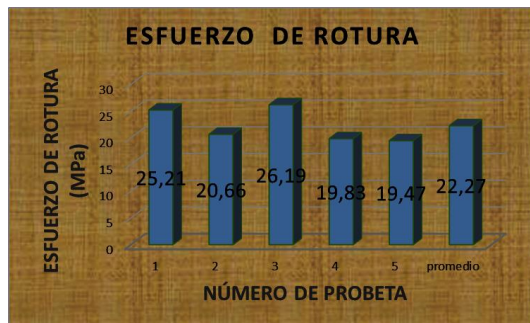
| | | | |
|-----------------------|--------------------|----------------------|-----------------------|
| Elaborado por: | Sr. Segundo Pacha | Aprobado por: | Ing. Mg. Juan Paredes |
| Revisado por: | Ing. Esteban López | Validado por: | Ing. Mg. Juan Paredes |

Ficha técnica 4: Recolección de datos del material híbrido a ensayo de tracción FC17,5%45° - FA7,5%135°b

|  | UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA | |  | REG:TMH-04 | | |
|--|---|-----------------------------------|---|-----------------------------|-----------------|---------------|
| | FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS Y EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN MATERIAL HÍBRIDO (Resina Epóxica + Fibra de algodón + Fibra de Cabuya) | | | | | |
| Fecha: | 18-octubre-2016 | Ciudad: | Ambato | | | |
| Tipo de ensayo: | TRACCIÓN | Norma: | ASTM D3039 | | | |
| Laboratorio: | Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero | | | | | |
| Máquina: | Máquina Universal de Ensayos Electromecánicas MTE-10/50 | | | | | |
| Matriz: | Resina Epóxica | Fracción volumétrica | 75% | | | |
| Refuerzos: | Fibra de algodón | Fracción volumétrica | 7,5% | | | |
| | Fibra de cabuya | Fracción volumétrica | 17,5% | | | |
| Configuración de las fibras: | Tejido plano | Número de capas de tejido: | 3 | | | |
| Orientación FC: | 45° | Orientación FA: | 135° | | | |
| Estratificación: | Compresión | Número de probetas: | 6 (5 Válidas) | | | |
| Dimensiones: | 250*25*3,36Espesor promedio (mm) | | | | | |
| DATOS Y RESULTADOS DEL ENSAYO A TRACCIÓN BAJO LA NORMA ASTM D3039M-00 | | | | | | |
| Probeta N. | Carga máxima (N) | Esfuerzo de fluencia (MPa) | Esfuerzo de rotura (MPa) | Módulo de elasticidad (MPa) | % de elongación | Tipo de falla |
| 1 | 2160,42 | 2,89 | 25,21 | 5479,87 | 2,90 | LAT |
| 2 | 1729,88 | 3,78 | 20,66 | 7803,10 | 2,00 | LAT |
| 3 | 2177,37 | 3,78 | 26,19 | 7467,90 | 2,62 | AGM |
| 4 | 1732,73 | 3,51 | 19,83 | 7943,87 | 2,05 | LAT |
| 5 | 1669,79 | 3,14 | 19,47 | 7520,55 | 2,63 | LAT |
| Promedio | 1894,04 | 3,42 | 22,27 | 7243,06 | 2,44 | - |
| Desviación estándar | 252,24 | 0,40 | 3,18 | 1005,13 | 0,40 | - |
| Fotos de las probetas sometidas al ensayo | | | | | | |
|  | | | | | | |

| | | | |
|-----------------------|--------------------|----------------------|-----------------------|
| Elaborado por: | Sr. Segundo Pacha | Aprobado por: | Ing. Mg. Juan Paredes |
| Revisado por: | Ing. Esteban López | Validado por: | Ing. Mg. Juan Paredes |

Gráfica de resultados



Observación

- La primera, segunda, cuarta y quinta probeta del cuarto caso presentaron falla lateral en la parte superior del agarre.
- La tercera especie presentó una falla angular en la mitad de la probeta.
- Se observó una buena adherencia entre la matriz y refuerzo.
- Validos 5 probetas de las 6 analizadas.




Evaluación

- El espesor promedio de las probetas del cuarto caso fue de 3,36mm.
- El promedio del módulo de elasticidad para este caso fue de 7243,06 MPa.

(Fuente: Autor)

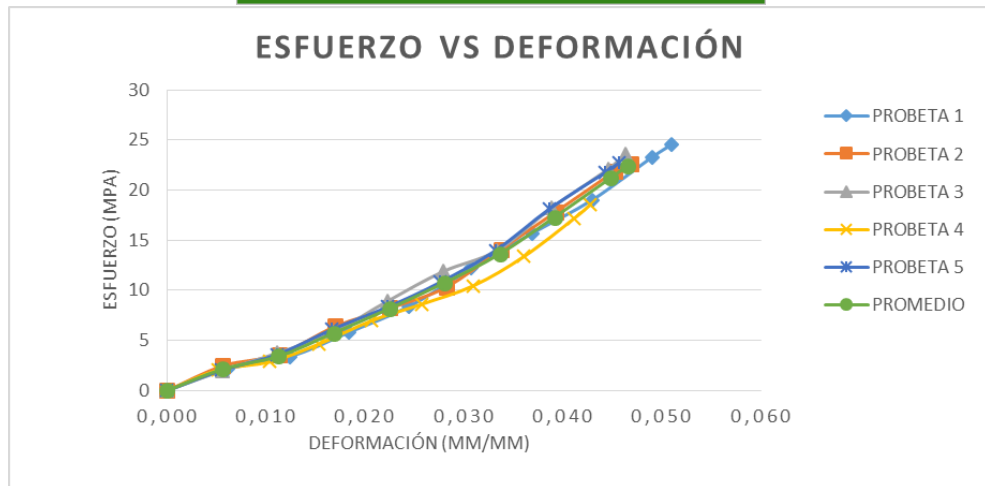
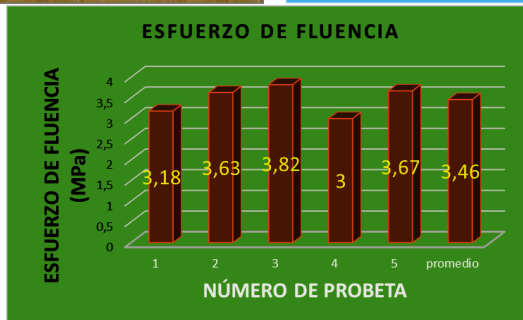
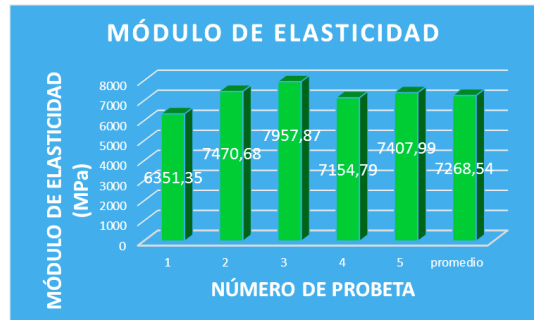
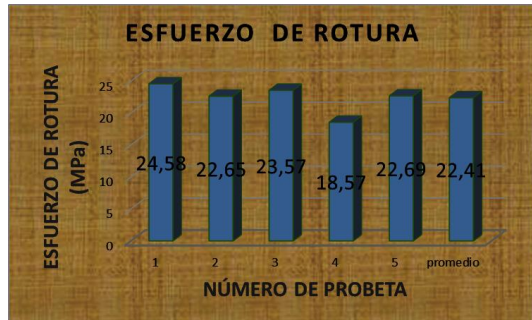
| | | | |
|-----------------------|--------------------|----------------------|-----------------------|
| Elaborado por: | Sr. Segundo Pacha | Aprobado por: | Ing. Mg. Juan Paredes |
| Revisado por: | Ing. Esteban López | Validado por: | Ing. Mg. Juan Paredes |

Ficha técnica 5: Recolección de datos del material híbrido a ensayo de tracción FC22,5%45° - FA7,5%135°

| | | | | | | |
|---|---|---|---------------------------------|------------------------------------|------------------------|----------------------|
|  | UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA |  | | | | |
| | | REG:TMH-05 | | | | |
| FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS Y EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN MATERIAL HÍBRIDO (Resina Epóxica + Fibra de algodón + Fibra de Cabuya) | | | | | | |
| Fecha: | 18-octubre-2016 | Ciudad: | Ambato | | | |
| Tipo de ensayo: | TRACCIÓN | Norma: | ASTM D3039 | | | |
| Laboratorio: | Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero | | | | | |
| Máquina: | Máquina Universal de Ensayos Electromecánicas MTE-10/50 | | | | | |
| Matriz: | Resina Epóxica | Fracción volumétrica | 70% | | | |
| Refuerzos: | Fibra de algodón | Fracción volumétrica | 7,5% | | | |
| | Fibra de cabuya | Fracción volumétrica | 22,5% | | | |
| Configuración de las fibras: | Tejido plano | Número de capas de tejido: | 3 | | | |
| Orientación FC: | 45° | Orientación FA: | 135° | | | |
| Estratificación: | Compresión | Número de probetas: | 6 (5 Válidas) | | | |
| Dimensiones: | 250*25*3,24Espesor promedio (mm) | | | | | |
| DATOS Y RESULTADOS DEL ENSAYO A TRACCIÓN BAJO LA NORMA ASTM D3039M-00 | | | | | | |
| Probeta N. | Carga máxima (N) | Esfuerzo de fluencia (MPa) | Esfuerzo de rotura (MPa) | Módulo de elasticidad (MPa) | % de elongación | Tipo de falla |
| 1 | 1924,09 | 3,18 | 24,58 | 6351,35 | 2,80 | LAT |
| 2 | 1840,66 | 3,63 | 22,65 | 7470,68 | 2,58 | LAT |
| 3 | 1863,49 | 3,82 | 23,57 | 7957,87 | 2,54 | LAT |
| 4 | 1501,10 | 3,00 | 18,57 | 7154,79 | 2,35 | LAT |
| 5 | 1893,54 | 3,67 | 22,69 | 7407,99 | 2,51 | LAT |
| Promedio | 1804,58 | 3,46 | 22,41 | 7268,54 | 2,56 | - |
| Desviación estándar | 172,53 | 0,35 | 2,29 | 589,42 | 0,16 | - |
| Fotos de las probetas sometidas al ensayo | | | | | | |
|  | | | | | | |

| | | | |
|-----------------------|--------------------|----------------------|-----------------------|
| Elaborado por: | Sr. Segundo Pacha | Aprobado por: | Ing. Mg. Juan Paredes |
| Revisado por: | Ing. Esteban López | Validado por: | Ing. Mg. Juan Paredes |

Gráfica de resultados



Observación

- En el quinto caso las probetas presentaron falla lateral en la parte superior del agarre.
- La matriz y el refuerzo presentó buena adherencia.
- Se analizaron 6 probetas de este caso 5 validas.




Evaluación

- Para el quinto caso el espesor promedio de las probetas fue de 3,24mm
- El promedio del módulo de elasticidad para este caso fue de 7268,54 MPa.

(Fuente: Autor)

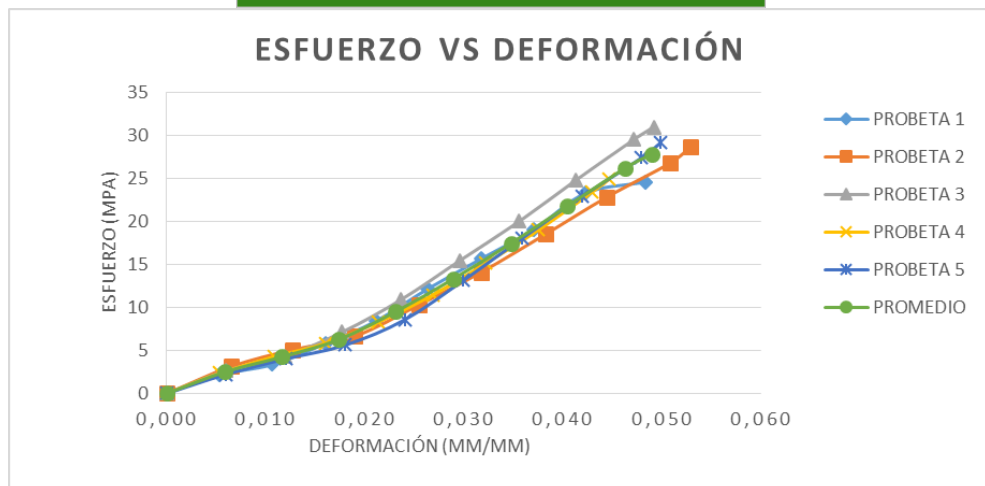
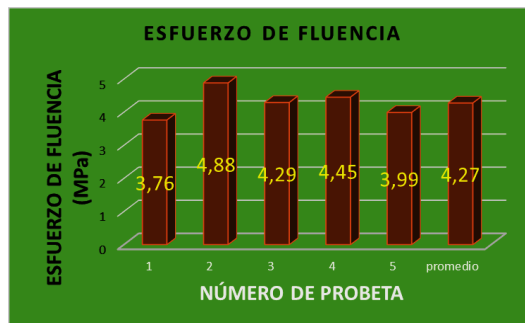
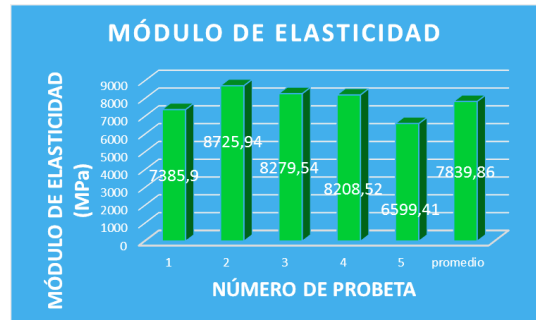
| | | | |
|-----------------------|--------------------|----------------------|-----------------------|
| Elaborado por: | Sr. Segundo Pacha | Aprobado por: | Ing. Mg. Juan Paredes |
| Revisado por: | Ing. Esteban López | Validado por: | Ing. Mg. Juan Paredes |

Ficha técnica 6: Recolección de datos del material híbrido a ensayo de tracción FC30%45° - FA5%135°

|  | UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA |  | REG:TMH-06 | | | |
|---|---|---|--------------------------|-----------------------------|-----------------|---------------|
| FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS Y EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN MATERIAL HÍBRIDO (Resina Epóxica + Fibra de algodón + Fibra de Cabuya) | | | | | | |
| Fecha: | 18-octubre-2016 | Ciudad: | Ambato | | | |
| Tipo de ensayo: | TRACCIÓN | Norma: | ASTM D3039 | | | |
| Laboratorio: | Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero | | | | | |
| Máquina: | Máquina Universal de Ensayos Electromecánicas MTE-10/50 | | | | | |
| Matriz: | Resina Epóxica | Fracción volumétrica | 65% | | | |
| Refuerzos: | Fibra de algodón | Fracción volumétrica | 5% | | | |
| | Fibra de cabuya | Fracción volumétrica | 30% | | | |
| Configuración de las fibras: | Tejido plano | Número de capas de tejido: | 2 | | | |
| Orientación FC: | 45° | Orientación FA: | 135° | | | |
| Estratificación: | Compresión | Número de probetas: | 6 (5 Válidas) | | | |
| Dimensiones: | 250*25*3,01Espesor promedio (mm) | | | | | |
| DATOS Y RESULTADOS DEL ENSAYO A TRACCIÓN BAJO LA NORMA ASTM D3039M-00 | | | | | | |
| Probeta N. | Carga máxima (N) | Esfuerzo de fluencia (MPa) | Esfuerzo de rotura (MPa) | Módulo de elasticidad (MPa) | % de elongación | Tipo de falla |
| 1 | 1940,37 | 3,76 | 25,47 | 7385,90 | 2,43 | LAT |
| 2 | 2114,93 | 4,88 | 28,71 | 8725,94 | 2,91 | LAT |
| 3 | 2276,24 | 4,29 | 30,96 | 8279,54 | 2,71 | AGM |
| 4 | 1906,29 | 4,45 | 24,92 | 8208,52 | 2,46 | LAT |
| 5 | 2152,70 | 3,99 | 29,13 | 6599,41 | 2,75 | LIT |
| Promedio | 2078,11 | 4,27 | 27,84 | 7839,86 | 2,65 | - |
| Desviación estándar | 153,84 | 0,43 | 2,56 | 845,45 | 0,20 | - |
| Fotos de las probetas sometidas al ensayo | | | | | | |
|  | | | | | | |

| | | | |
|-----------------------|--------------------|----------------------|-----------------------|
| Elaborado por: | Sr. Segundo Pacha | Aprobado por: | Ing. Mg. Juan Paredes |
| Revisado por: | Ing. Esteban López | Validado por: | Ing. Mg. Juan Paredes |

Gráfica de resultados



Observación

- La primera, segunda y cuarta probeta del sexto caso presentó falla lateral en la parte superior del agarre.
- La tercera probeta presentó falla angular en la mitad de la probeta.
- La quinta probeta de este caso presentó falla lateral dentro del agarre.
- La adherencia que presentó la matriz y refuerzo fue buena.
- Fueron válidas 5 probetas de las 6 analizadas.

Evaluación

- El espesor promedio de las probetas del sexto caso fue de 3,01mm.
- El promedio del módulo de elasticidad para este caso fue de 7839,86 MPa.

(Fuente: Autor)

| | | | |
|-----------------------|--------------------|----------------------|-----------------------|
| Elaborado por: | Sr. Segundo Pacha | Aprobado por: | Ing. Mg. Juan Paredes |
| Revisado por: | Ing. Esteban López | Validado por: | Ing. Mg. Juan Paredes |

4.1.11.2 Tabulación de datos de las probetas a ensayo de flexión

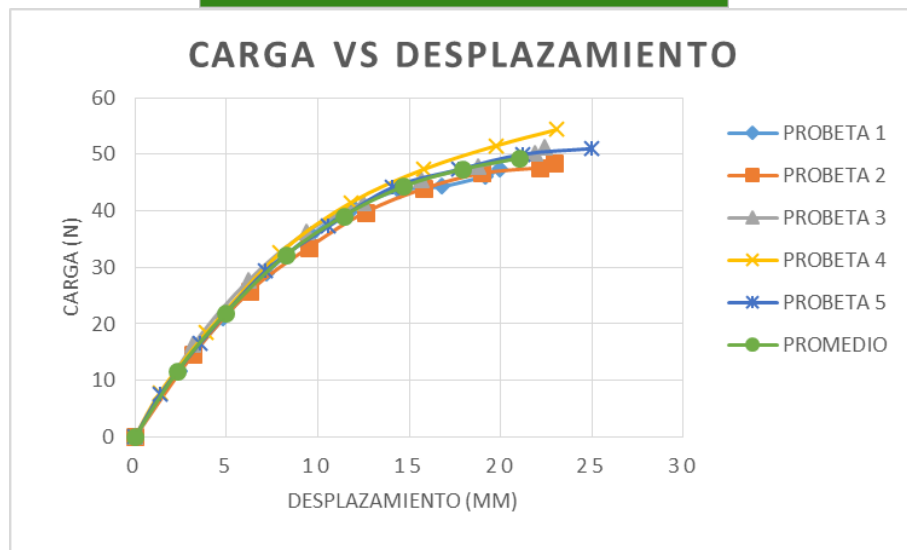
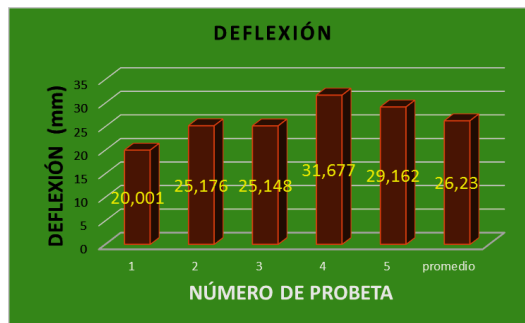
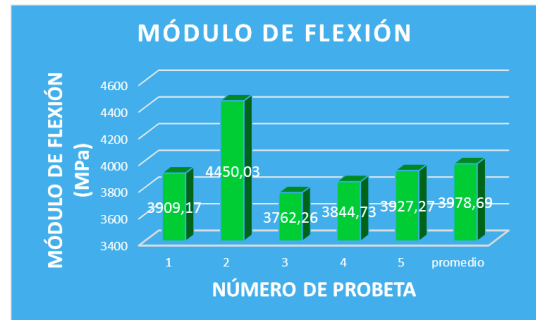
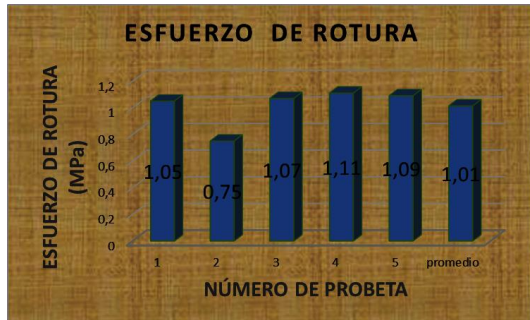
En las siguientes fichas técnicas se observa los resultados obtenidos de las probetas sometidas a ensayo de flexión bajo la norma D7264M-07, posteriormente se realizó la tabulación de dichos valores.

Ficha técnica 7: Recolección de datos del material híbrido a ensayo de flexión FC17,5% 0°- FA7,5%90

| | | | | | |
|---|---|---|--------------------------------|-----------------------|----------------------|
|  | UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA |  | REG:FMH-01 | | |
| FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS Y EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN MATERIAL HÍBRIDO (Resina Epóxica + Fibra de algodón + Fibra de Cabuya) | | | | | |
| Fecha: | 20-octubre-2016 | Ciudad: | Ambato | | |
| Tipo de ensayo: | FLEXIÓN | Norma: | ASTM D7264 | | |
| Laboratorio: | Centro de Fomento Productivo Metalmeccánico Carrocero | | | | |
| Máquina: | Máquina Universal de Ensayos Electromecánicas MTE-10/50 | | | | |
| Matriz: | Resina Epóxica | Fracción volumétrica | 75% | | |
| Refuerzos: | Fibra de algodón | Fracción volumétrica | 7,5% | | |
| | Fibra de cabuya | Fracción volumétrica | 17,5% | | |
| Configuración de las fibras: | Tejido plano | Número de capas de tejido: | 3 | | |
| Orientación FC: | 0° | Orientación FA: | 90° | | |
| Estratificación: | Compresión | Número de probetas: | 6 (5 Válidas) | | |
| Dimensiones: | 160*13*3,52 Espesor promedio (mm) | | | | |
| DATOS Y RESULTADOS DEL ENSAYO A FLEXIÓN BAJO LA NORMA ASTM 7264M-07 | | | | | |
| Probeta N. | Carga máxima (N) | Esfuerzo de rotura (MPa) | Módulo de flexión (MPa) | Deflexión (mm) | Tipo de falla |
| 1 | 47,33 | 1,05 | 3909,17 | 20,001 | OAB |
| 2 | 48,51 | 0,75 | 4450,03 | 25,176 | OAB |
| 3 | 51,19 | 1,07 | 3762,26 | 25,148 | OAB |
| 4 | 54,38 | 1,11 | 3844,73 | 31,677 | OAB |
| 5 | 52,03 | 1,09 | 3927,27 | 29,162 | OAB |
| Promedio | 50,69 | 1,01 | 3978,69 | 26,23 | - |
| Desviación estándar | 2,82 | 0,15 | 271,31 | 4,45 | - |
| Fotos de las probetas sometidas al ensayo | | | | | |
|  | | | | | |

| | | | |
|-----------------------|--------------------|----------------------|-----------------------|
| Elaborado por: | Sr. Segundo Pacha | Aprobado por: | Ing. Mg. Juan Paredes |
| Revisado por: | Ing. Esteban López | Validado por: | Ing. Mg. Juan Paredes |

Gráfica de resultados



Observación

- Las probetas del primer caso según la norma presentó otro tipo de falla en la parte interna de la punta de la carga.
- La matriz y refuerzo presentó buena adherencia.
- Se ensayó 6 probetas de las cuales 5 fueron válidas.


Evaluación

- Para el primer caso el espesor promedio de las probetas a flexión fue de 3,52mm.
- El promedio del módulo de flexión fue de 3978,69MPa.
- La deflexión promedio de este grupo de probetas fue de 26,23mm.

(Fuente: Autor)

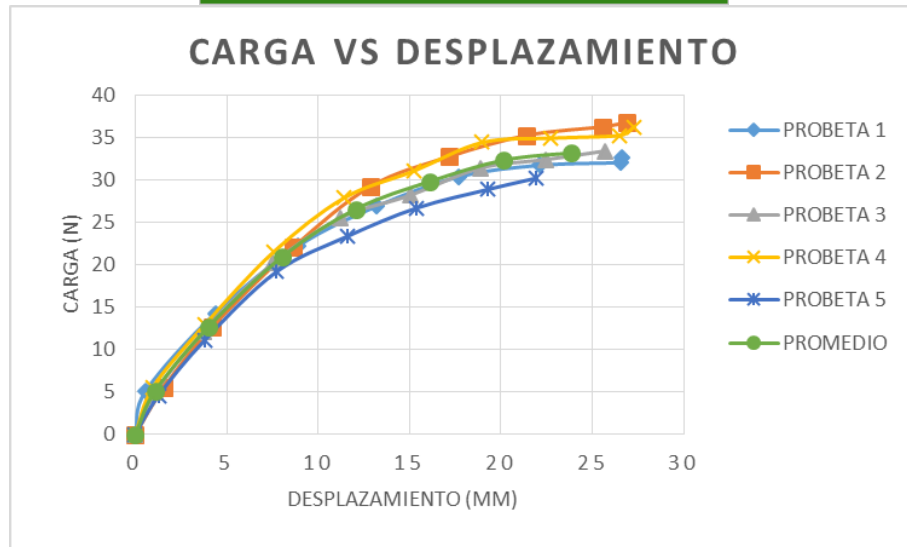
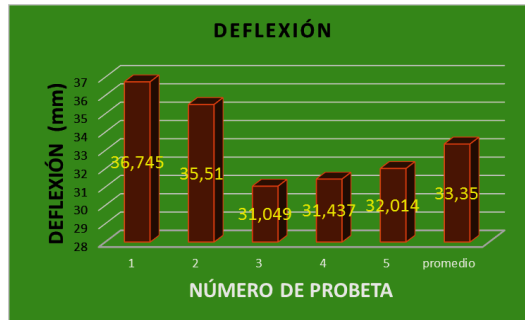
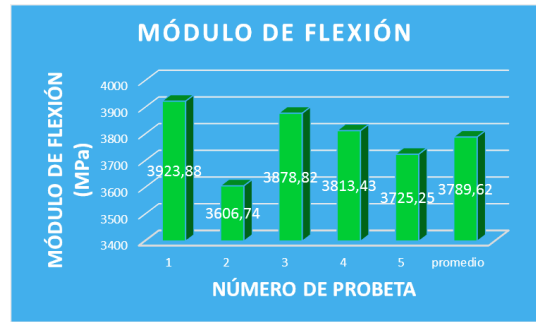
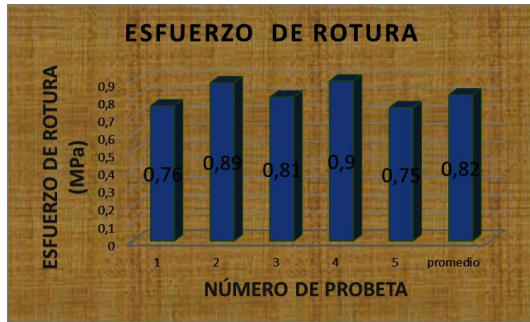
| | | | |
|-----------------------|--------------------|----------------------|-----------------------|
| Elaborado por: | Sr. Segundo Pacha | Aprobado por: | Ing. Mg. Juan Paredes |
| Revisado por: | Ing. Esteban López | Validado por: | Ing. Mg. Juan Paredes |

Ficha técnica 8: Recolección de datos del material híbrido a ensayo de flexión FC22,5%0° - FA7,5%90°

| | | | | | |
|---|---|---|--------------------------------|-----------------------|----------------------|
|  | UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA |  | | | |
| | | REG:FMH-02 | | | |
| FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS Y EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN MATERIAL HÍBRIDO (Resina Epóxica + Fibra de algodón + Fibra de Cabuya) | | | | | |
| Fecha: | 20-octubre-2016 | Ciudad: | Ambato | | |
| Tipo de ensayo: | FLEXIÓN | Norma: | ASTM D7264 | | |
| Laboratorio: | Centro de Fomento Productivo Metalmeccánico Carrocero | | | | |
| Máquina: | Máquina Universal de Ensayos Electromecánicas MTE-10/50 | | | | |
| Matriz: | Resina Epóxica | Fracción volumétrica | 70% | | |
| Refuerzos: | Fibra de algodón | Fracción volumétrica | 7,5% | | |
| | Fibra de cabuya | Fracción volumétrica | 22,5% | | |
| Configuración de las fibras: | Tejido plano | Número de capas de tejido: | 3 | | |
| Orientación FC: | 0° | Orientación FA: | 90° | | |
| Estratificación: | Compresión | Número de probetas: | 6 (5 Válidas) | | |
| Dimensiones: | 160*13*3,05 Espesor promedio (mm) | | | | |
| DATOS Y RESULTADOS DEL ENSAYO A FLEXIÓN BAJO LA NORMA ASTM 7264M-07 | | | | | |
| Probeta N. | Carga máxima (N) | Esfuerzo de rotura (MPa) | Módulo de flexión (MPa) | Deflexión (mm) | Tipo de falla |
| 1 | 32,56 | 0,76 | 3923,88 | 36,745 | OAB |
| 2 | 36,76 | 0,89 | 3606,74 | 35,510 | OAB |
| 3 | 33,40 | 0,81 | 3878,82 | 31,049 | OAB |
| 4 | 36,26 | 0,9 | 3813,43 | 31,437 | OAB |
| 5 | 30,21 | 0,75 | 3725,25 | 32,014 | OAB |
| Promedio | 33,84 | 0,82 | 3789,62 | 33,35 | - |
| Desviación estándar | 2,71 | 0,07 | 126,63 | 2,59 | - |
| Fotos de las probetas sometidas al ensayo | | | | | |
|  | | | | | |

| | | | |
|-----------------------|--------------------|----------------------|-----------------------|
| Elaborado por: | Sr. Segundo Pacha | Aprobado por: | Ing. Mg. Juan Paredes |
| Revisado por: | Ing. Esteban López | Validado por: | Ing. Mg. Juan Paredes |

Gráfica de resultados



Observación

- Las probetas del segundo caso según la norma presentó otro tipo de falla en la parte interna de la punta de la carga.
- La adherencia que presentó entre la matriz y el refuerzo es buena.
- De las 6 probetas analizadas 5 fueron válidas.




Evaluación

- El espesor promedio para el grupo de probetas del segundo caso fue de 3,05mm.
- El módulo de flexión promedio fue 3789,62 MPa.
- El promedio de la deflexión para este grupo fue de 33,35mm.

(Fuente: Autor)

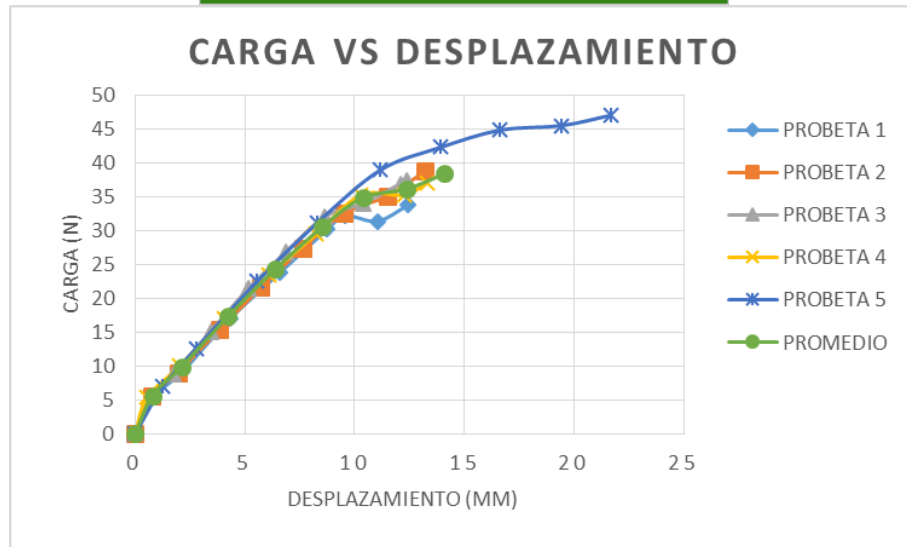
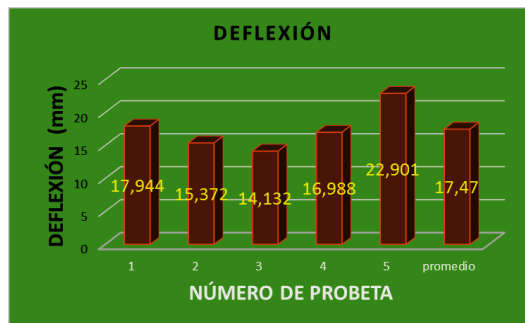
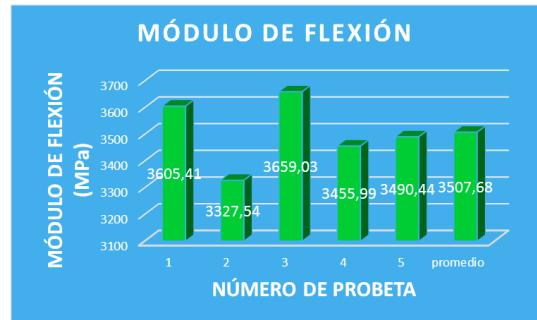
| | | | |
|-----------------------|--------------------|----------------------|-----------------------|
| Elaborado por: | Sr. Segundo Pacha | Aprobado por: | Ing. Mg. Juan Paredes |
| Revisado por: | Ing. Esteban López | Validado por: | Ing. Mg. Juan Paredes |

Ficha técnica 9: Recolección de datos del material híbrido a ensayo de flexión FC30%0° - FA5%90°

| | | | | | |
|---|---|---|--------------------------------|-----------------------|----------------------|
|  | UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA |  | REG:FMH-03 | | |
| FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS Y EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN MATERIAL HÍBRIDO (Resina Epóxica + Fibra de algodón + Fibra de Cabuya) | | | | | |
| Fecha: | 20-octubre-2016 | Ciudad: | Ambato | | |
| Tipo de ensayo: | FLEXIÓN | Norma: | ASTM D7264 | | |
| Laboratorio: | Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero | | | | |
| Máquina: | Máquina Universal de Ensayos Electromecánicas MTE-10/50 | | | | |
| Matriz: | Resina Epóxica | Fracción volumétrica | 65% | | |
| Refuerzos: | Fibra de algodón | Fracción volumétrica | 5% | | |
| | Fibra de cabuya | Fracción volumétrica | 30% | | |
| Configuración de las fibras: | Tejido plano | Número de capas de tejido: | 2 | | |
| Orientación FC: | 0° | Orientación FA: | 90° | | |
| Estratificación: | Compresión | Número de probetas: | 6 (5 Válidas) | | |
| Dimensiones: | 160*13*3,39 Espesor promedio (mm) | | | | |
| DATOS Y RESULTADOS DEL ENSAYO A FLEXIÓN BAJO LA NORMA ASTM 7264M-07 | | | | | |
| Probeta N. | Carga máxima (N) | Esfuerzo de rotura (MPa) | Módulo de flexión (MPa) | Deflexión (mm) | Tipo de falla |
| 1 | 33,74 | 0,68 | 3605,41 | 17,944 | OAB |
| 2 | 38,77 | 0,73 | 3327,54 | 15,372 | OAB |
| 3 | 37,43 | 0,80 | 3659,03 | 14,132 | OAB |
| 4 | 37,10 | 0,63 | 3455,99 | 16,988 | OAB |
| 5 | 47,00 | 0,99 | 3490,44 | 22,901 | OAB |
| Promedio | 38,81 | 0,77 | 3507,68 | 17,47 | - |
| Desviación estándar | 4,94 | 0,14 | 130,27 | 3,37 | - |
| Fotos de las probetas sometidas al ensayo | | | | | |
|  | | | | | |

| | | | |
|-----------------------|--------------------|----------------------|-----------------------|
| Elaborado por: | Sr. Segundo Pacha | Aprobado por: | Ing. Mg. Juan Paredes |
| Revisado por: | Ing. Esteban López | Validado por: | Ing. Mg. Juan Paredes |

Gráfica de resultados



Observación

- Las probetas del tercer caso según la norma presentó otro tipo de falla en la parte interna de la punta de la carga.
- La matriz y el refuerzo presentaron buena adherencia.
- Se analizaron 6 probetas de las cuales 5 fueron válidas.




Evaluación

- El grupo del tercer caso tuvo un espesor promedio de 3,39mm.
- El promedio del módulo de flexión de este grupo fue de 3507,68MPa.
- La deflexión promedio que presentó fue de 17,47mm.

(Fuente: Autor)

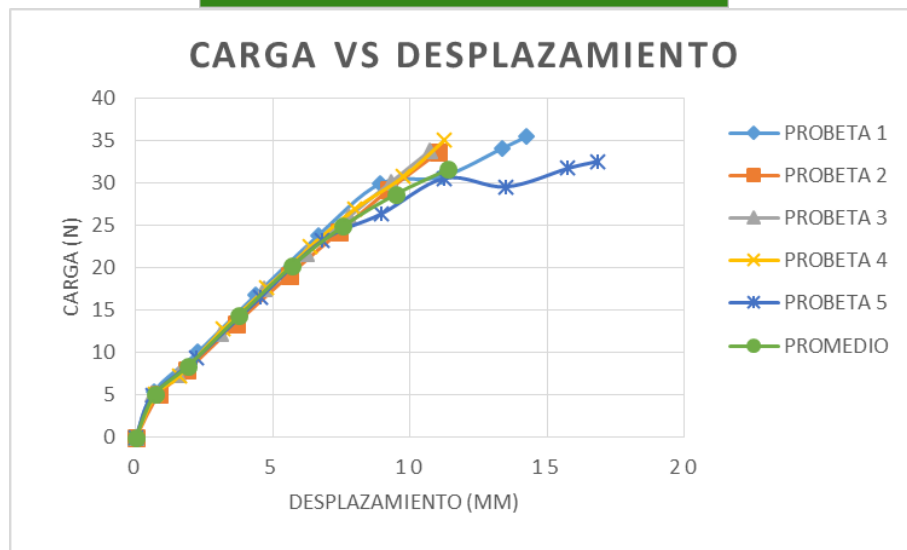
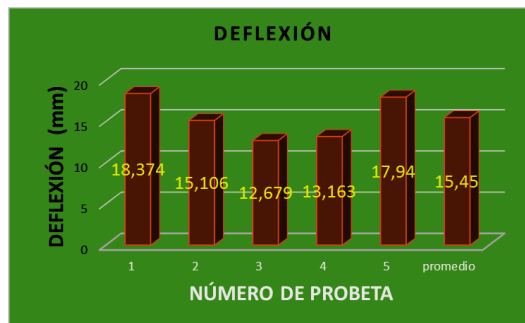
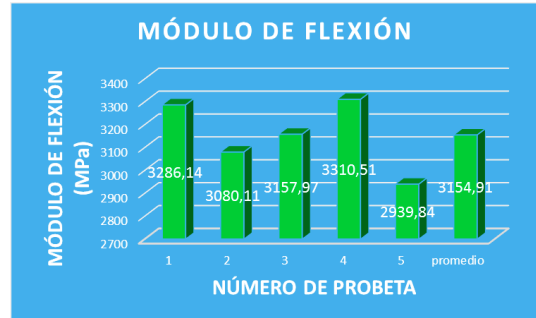
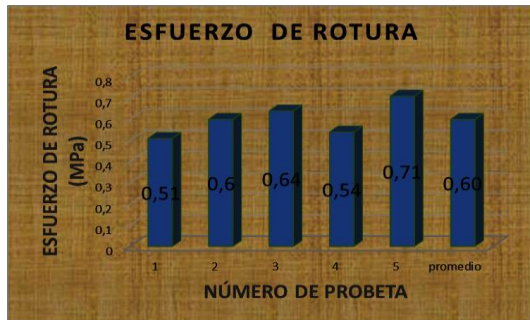
| | | | |
|-----------------------|--------------------|----------------------|-----------------------|
| Elaborado por: | Sr. Segundo Pacha | Aprobado por: | Ing. Mg. Juan Paredes |
| Revisado por: | Ing. Esteban López | Validado por: | Ing. Mg. Juan Paredes |

Ficha técnica 10: Recolección de datos del material híbrido a ensayo de flexión FC17,5%45° - FA7,5%135°

| | | | | | |
|---|---|---|--------------------------------|-----------------------|----------------------|
|  | UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA |  | | | |
| | | REG:FMH-04 | | | |
| FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS Y EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN MATERIAL HÍBRIDO (Resina Epóxica + Fibra de algodón + Fibra de Cabuya) | | | | | |
| Fecha: | 20-octubre-2016 | Ciudad: | Ambato | | |
| Tipo de ensayo: | FLEXIÓN | Norma: | ASTM D7264 | | |
| Laboratorio: | Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero | | | | |
| Máquina: | Máquina Universal de Ensayos Electromecánicas MTE-10/50 | | | | |
| Matriz: | Resina Epóxica | Fracción volumétrica | 75% | | |
| Refuerzos: | Fibra de algodón | Fracción volumétrica | 7,5% | | |
| | Fibra de cabuya | Fracción volumétrica | 17,5% | | |
| Configuración de las fibras: | Tejido plano | Número de capas de tejido: | 3 | | |
| Orientación FC: | 45° | Orientación FA: | 135° | | |
| Estratificación: | Compresión | Número de probetas: | 6 (5 Válidas) | | |
| Dimensiones: | 160*13*3,41 Espesor promedio (mm) | | | | |
| DATOS Y RESULTADOS DEL ENSAYO A FLEXIÓN BAJO LA NORMA ASTM 7264M-07 | | | | | |
| Probeta N. | Carga máxima (N) | Esfuerzo de rotura (MPa) | Módulo de flexión (MPa) | Deflexión (mm) | Tipo de falla |
| 1 | 35,42 | 0,51 | 3286,14 | 18,374 | OAB |
| 2 | 33,57 | 0,60 | 3080,11 | 15,106 | OAB |
| 3 | 33,74 | 0,64 | 3157,97 | 12,679 | OAB |
| 4 | 35,08 | 0,54 | 3310,51 | 13,163 | OAB |
| 5 | 32,56 | 0,71 | 2939,84 | 17,940 | OAB |
| Promedio | 34,07 | 0,60 | 3154,91 | 15,45 | - |
| Desviación estándar | 1,17 | 0,08 | 152,72 | 2,64 | - |
| Fotos de las probetas sometidas al ensayo | | | | | |
|  | | | | | |

| | | | |
|-----------------------|--------------------|----------------------|-----------------------|
| Elaborado por: | Sr. Segundo Pacha | Aprobado por: | Ing. Mg. Juan Paredes |
| Revisado por: | Ing. Esteban López | Validado por: | Ing. Mg. Juan Paredes |

Gráfica de resultados



Observación

- En el cuarto caso las probetas según la norma presentó otro tipo de falla en la parte interna de la punta de la carga.
- La adherencia que presentó la matriz con el refuerzo fue buena.
- Fueron válidas 5 probetas de las 6 analizadas.

Evaluación

- El espesor promedio del cuarto grupo de probetas fue de 3.41mm.
- El módulo de flexión promedio para este grupo fue 3507,68MPa.
- El promedio de la deflexión fue de 17,47mm.

(Fuente: Autor)

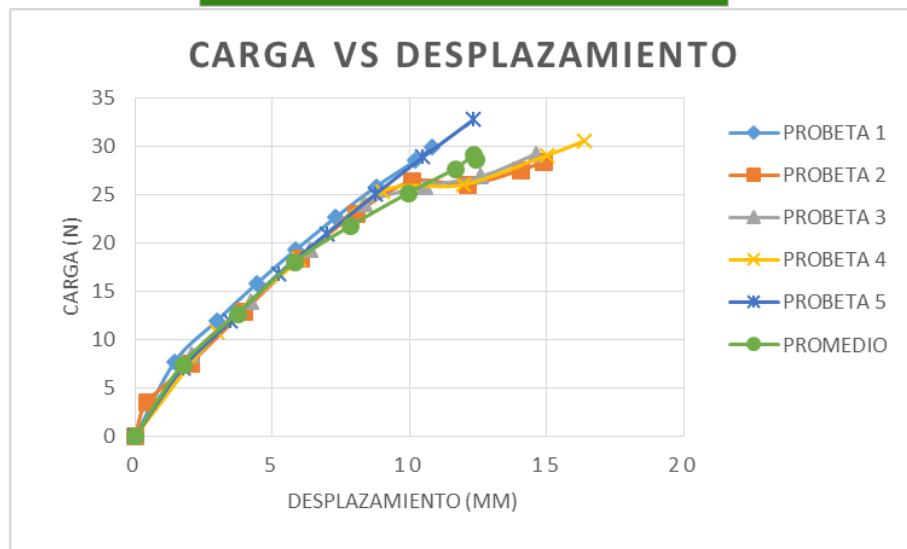
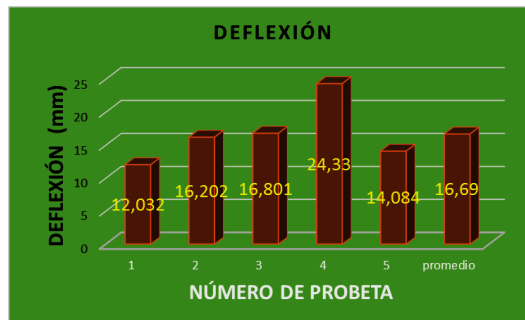
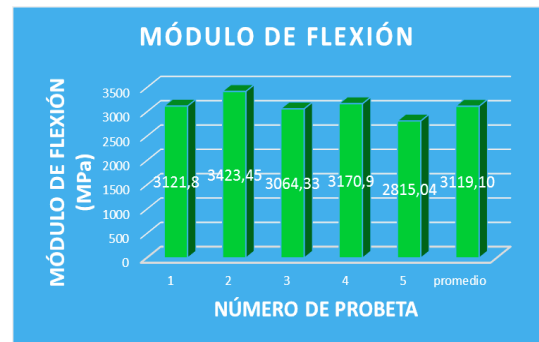
| | | | |
|-----------------------|--------------------|----------------------|-----------------------|
| Elaborado por: | Sr. Segundo Pacha | Aprobado por: | Ing. Mg. Juan Paredes |
| Revisado por: | Ing. Esteban López | Validado por: | Ing. Mg. Juan Paredes |

Ficha técnica 11: Recolección de datos del material híbrido a ensayo de flexión FC22,5% 45°- FA7,5%135°

| | | | | | |
|---|---|---|--------------------------------|-----------------------|----------------------|
|  | UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA |  | | | |
| | | REG:FMH-05 | | | |
| FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS Y EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN MATERIAL HÍBRIDO (Resina Epóxica + Fibra de algodón + Fibra de Cabuya) | | | | | |
| Fecha: | 20-octubre-2016 | Ciudad: | Ambato | | |
| Tipo de ensayo: | FLEXIÓN | Norma: | ASTM D7264 | | |
| Laboratorio: | Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero | | | | |
| Máquina: | Máquina Universal de Ensayos Electromecánicas MTE-10/50 | | | | |
| Matriz: | Resina Epóxica | Fracción volumétrica | 70% | | |
| Refuerzos: | Fibra de algodón | Fracción volumétrica | 7,5% | | |
| | Fibra de cabuya | Fracción volumétrica | 22,5% | | |
| Configuración de las fibras: | Tejido plano | Número de capas de tejido: | 3 | | |
| Orientación FC: | 45° | Orientación FA: | 135° | | |
| Estratificación: | Compresión | Número de probetas: | 6 (5 Válidas) | | |
| Dimensiones: | 160*13*3,24 Espesor promedio (mm) | | | | |
| DATOS Y RESULTADOS DEL ENSAYO A FLEXIÓN BAJO LA NORMA ASTM 7264M-07 | | | | | |
| Probeta N. | Carga máxima (N) | Esfuerzo de rotura (MPa) | Módulo de flexión (MPa) | Deflexión (mm) | Tipo de falla |
| 1 | 29,88 | 0,63 | 3121,80 | 12,032 | OAB |
| 2 | 28,37 | 0,59 | 3423,45 | 16,202 | OAB |
| 3 | 29,21 | 0,71 | 3064,33 | 16,801 | OAB |
| 4 | 30,55 | 0,56 | 3170,90 | 24,330 | OAB |
| 5 | 32,73 | 0,58 | 2815,04 | 14,084 | OAB |
| Promedio | 30,15 | 0,61 | 3119,10 | 16,69 | - |
| Desviación estándar | 1,65 | 0,06 | 218,39 | 4,67 | - |
| Fotos de las probetas sometidas al ensayo | | | | | |
|  | | | | | |

| | | | |
|-----------------------|--------------------|----------------------|-----------------------|
| Elaborado por: | Sr. Segundo Pacha | Aprobado por: | Ing. Mg. Juan Paredes |
| Revisado por: | Ing. Esteban López | Validado por: | Ing. Mg. Juan Paredes |

Gráfica de resultados



Observación

- El grupo de probetas del quinto caso según la norma presentó otro tipo de falla en la parte interna de la punta de la carga.
- La matriz y el refuerzo presentaron buena adherencia.
- Se analizaron 6 probetas y 5 fueron válidas.

Evaluación

- El quinto grupo tuvo un espesor promedio de 3,24mm.
- El promedio del módulo de flexión fue de 3119,10MPa.
- La deflexión promedio que presentó el grupo de probetas fue de 16,69mm.

(Fuente: Autor)

Ficha técnica 12: Recolección de datos del material híbrido a ensayo de flexión FC30%45° - FA5%135°

| | | | |
|-----------------------|--------------------|----------------------|-----------------------|
| Elaborado por: | Sr. Segundo Pacha | Aprobado por: | Ing. Mg. Juan Paredes |
| Revisado por: | Ing. Esteban López | Validado por: | Ing. Mg. Juan Paredes |



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



REG:FMH-06

FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS Y EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN MATERIAL HÍBRIDO (Resina Epóxica + Fibra de algodón + Fibra de Cabuya)

| | | | |
|-------------------------------------|---|-----------------------------------|---------------|
| Fecha: | 20-octubre-2016 | Ciudad: | Ambato |
| Tipo de ensayo: | FLEXIÓN | Norma: | ASTM D7264 |
| Laboratorio: | Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero | | |
| Máquina: | Máquina Universal de Ensayos Electromecánicas MTE-10/50 | | |
| Matriz: | Resina Epóxica | Fracción volumétrica | 65% |
| Refuerzos: | Fibra de algodón | Fracción volumétrica | 5% |
| | Fibra de cabuya | Fracción volumétrica | 30% |
| Configuración de las fibras: | Tejido plano | Número de capas de tejido: | 2 |
| Orientación FC: | 45° | Orientación FA: | 135° |
| Estratificación: | Compresión | Número de probetas: | 6 (5 Válidas) |
| Dimensiones: | 160*13*3,23Espesor promedio (mm) | | |

DATOS Y RESULTADOS DEL ENSAYO A FLEXIÓN BAJO LA NORMA ASTM 7264M-07

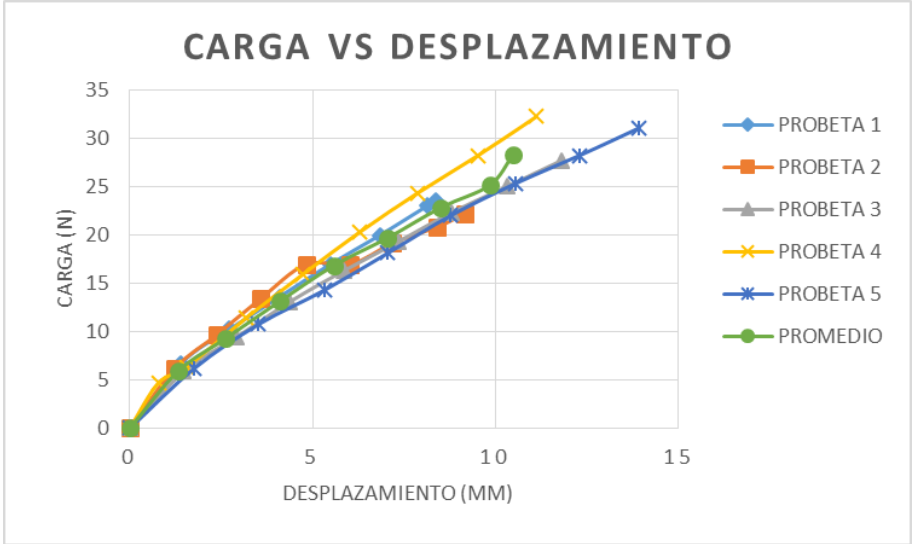
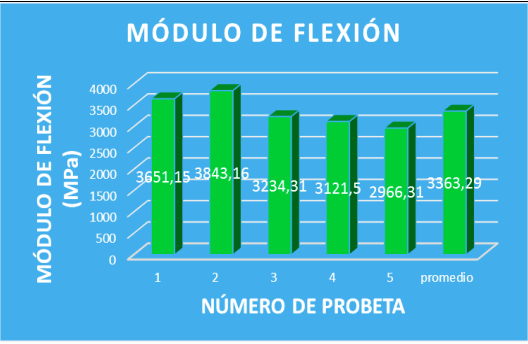
| Probeta N. | Carga máxima (N) | Esfuerzo de rotura (MPa) | Módulo de flexión (MPa) | Deflexión (mm) | Tipo de falla |
|----------------------------|------------------|--------------------------|-------------------------|----------------|---------------|
| 1 | 23,50 | 0,50 | 3651,15 | 11,168 | OAB |
| 2 | 22,16 | 0,50 | 3843,16 | 9,613 | OAB |
| 3 | 27,70 | 0,69 | 3234,31 | 11,898 | OAB |
| 4 | 32,23 | 0,09 | 3121,50 | 13,180 | OAB |
| 5 | 31,05 | 0,79 | 2966,31 | 14,053 | OAB |
| Promedio | 27,33 | 0,51 | 3363,29 | 11,98 | - |
| Desviación estándar | 4,45 | 0,27 | 369,40 | 1,73 | - |

Fotos de las probetas sometidas al ensayo



Gráfica de resultados

| | | | |
|-----------------------|--------------------|----------------------|-----------------------|
| Elaborado por: | Sr. Segundo Pacha | Aprobado por: | Ing. Mg. Juan Paredes |
| Revisado por: | Ing. Esteban López | Validado por: | Ing. Mg. Juan Paredes |



Observación

- El sexto grupo de probetas según la norma presentó otro tipo de falla en la parte interna de la punta de la carga.
- La adherencia que presentó entre la matriz y la fibra fue buena.
- De las 6 probetas analizadas 5 fueron válidas.

Evaluación

- El espesor promedio del sexto y último grupo fue de 3,23mm.
- El módulo de flexión promedio que presentó este grupo fue de 3363,29 MPa.
- El promedio de la deflexión que fue de 11,98mm.

(Fuente: Autor)

| | | | |
|-----------------------|--------------------|----------------------|-----------------------|
| Elaborado por: | Sr. Segundo Pacha | Aprobado por: | Ing. Mg. Juan Paredes |
| Revisado por: | Ing. Esteban López | Validado por: | Ing. Mg. Juan Paredes |




4.1.11.3 Tabulación de datos de las probetas a ensayo de impacto

Se analizaron 8 probetas de cada caso del material híbrido para realizar una comparación entre cada uno de ellos y obtuvo el mejor comportamiento para este tipo de ensayo, se sometió al ensayo por caída de dardo desde las diferentes alturas hasta que el material se rompa de tal forma se determinó la altura máxima de ruptura mediante la Ec. [9] los parámetros de la masa de dardo, factor de conversión indica en la sección 2.1.5.3.

En la siguiente ficha técnica que se realizó al criterio del autor según los parámetros y necesidades presentes en el estudio indica la tabulación y análisis de los resultados de las probetas del material híbrido sometidos a este tipo de ensayo.



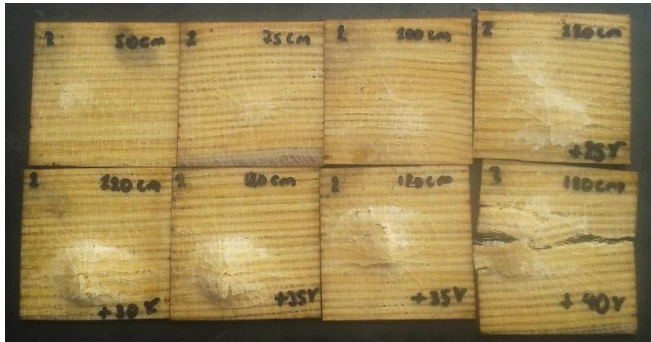
| | | | |
|-----------------------|-----------------------|----------------------|-----------------------|
| Elaborado por: | Sr. Segundo Pacha | Aprobado por: | Ing. Mg. Juan Paredes |
| Revisado por: | Ing. Mg. Juan Paredes | Validado por: | Ing. Mg. Juan Paredes |

Ficha técnica 13: Recolección de datos del material híbrido a ensayo de impacto FC17,5%0° - FA7,5%90°

| | | | |
|--|---|---|-----------------------|
|  | UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA |  | REG:IMH-01 |
| FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS Y EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN MATERIAL HÍBRIDO (Resina Epóxica + Fibra de algodón + Fibra de Cabuya) | | | |
| Fecha: | 21-octubre -2016 | Ciudad: | Ambato |
| Tipo de ensayo: | IMPACTO | Norma: | ASTM D5628 |
| Laboratorio: | Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero | | |
| Máquina: | Máquina Universal de Ensayos Electromecánicas MTE-10/50 | | |
| Matriz: | Resina Epóxica | Fracción volumétrica | 75% |
| Refuerzos: | Fibra de algodón | Fracción volumétrica | 7,5% |
| | Fibra de cabuya | Fracción volumétrica | 17,5% |
| Configuración de las fibras: | Tejido plano | Número de capas de tejido: | 3 |
| Orientación FC: | 0° | Orientación FA: | 90° |
| Estratificación: | Compresión | Número de probetas: | 8 |
| Dimensiones: | 58*58*Espesor promedio (mm) | Geometría/ Diámetro / Masa de dardo: | FE / 40mm / 0,2293 kg |
| DATOS Y RESULTADOS DEL ENSAYO A IMPACTO BAJO LA NORMA ASTM 5628-10 | | | |
| Probeta N.- | Altura de lanzamiento de falla (mm) | Resistencia Máxima al Impacto MEF=hwf [J] | |
| 1 | 1000 | 2,25 | |
| Fotos de las probetas sometidas al ensayo | | | |
|  | | | |
| Observación | | Evaluación | |
| <ul style="list-style-type: none"> En el primer caso presentaron fracturas en la parte central de las probetas. La falla inició en la matriz mientras que las fibras no se rompieron. Para obtener la altura de lanzamiento que falle el material se analizó 8 probetas de cada caso. | | <ul style="list-style-type: none"> El espesor promedio del primer grupo de probetas de impacto fue de 3,35mm. La altura de lanzamiento en la que falló el material de este grupo fue de 1000mm. | |

(Fuente: Autor)



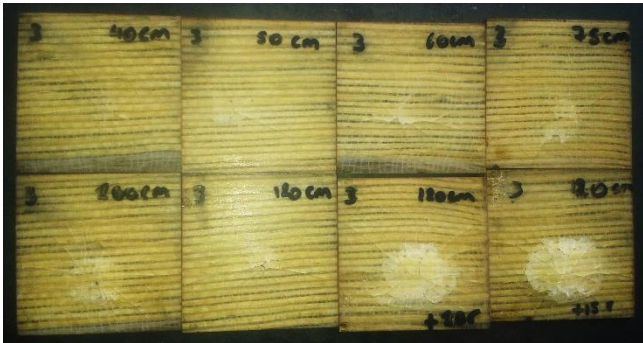
| | | | |
|-----------------------|-----------------------|----------------------|-----------------------|
| Elaborado por: | Sr. Segundo Pacha | Aprobado por: | Ing. Mg. Juan Paredes |
| Revisado por: | Ing. Mg. Juan Paredes | Validado por: | Ing. Mg. Juan Paredes |

| | | | |
|--|---|--|-----------------------|
|  | UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA |  | REG:IMH-02 |
| FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS Y EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN MATERIAL HÍBRIDO (Resina Epóxica + Fibra de algodón + Fibra de Cabuya) | | | |
| Fecha: | 21-octubre-2016 | Ciudad: | Ambato |
| Tipo de ensayo: | IMPACTO | Norma: | ASTM D5628 |
| Laboratorio: | Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero | | |
| Máquina: | Máquina Universal de Ensayos Electromecánicas MTE-10/50 | | |
| Matriz: | Resina Epóxica | Fracción volumétrica | 70% |
| Refuerzos: | Fibra de algodón | Fracción volumétrica | 7,5% |
| | Fibra de cabuya | Fracción volumétrica | 22,5% |
| Configuración de las fibras: | Tejido plano | Número de capas de tejido: | 3 |
| Orientación FC: | 0° | Orientación FA: | 90° |
| Estratificación: | Compresión | Número de probetas: | 8 |
| Dimensiones: | 58*58*Espesor promedio (mm) | Geometría/ Diámetro / Masa de dardo: | FE / 40mm / 0,2293 kg |
| DATOS Y RESULTADOS DEL ENSAYO A IMPACTO BAJO LA NORMA ASTM 5628-10 | | | |
| Probeta N.- | Altura de lanzamiento de falla (mm) | Resistencia Máxima al Impacto MEF=hwf [J] | |
| 1 | 1000 | 2,25 | |
| Fotos de las probetas sometidas al ensayo | | | |
|  | | | |
| Observación | | Evaluación | |
| <ul style="list-style-type: none"> La probeta se fracturó totalmente en la orientación de la fibra de cabuya. Las fibras no se rompieron mientras que la matriz se fracturo. Se analizaron 8 probetas para obtener la altura de lanzamiento en que el material falla. | | <ul style="list-style-type: none"> En este grupo de probetas presentó el espesor promedio de 3,25mm. El material falló a una altura de 1000mm. | |

(Fuente: Autor)



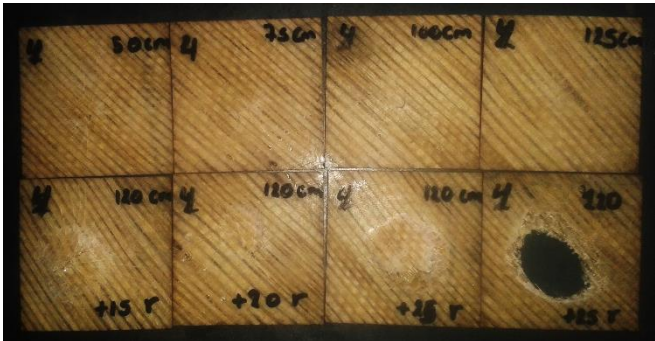
| | | | |
|-----------------------|-----------------------|----------------------|-----------------------|
| Elaborado por: | Sr. Segundo Pacha | Aprobado por: | Ing. Mg. Juan Paredes |
| Revisado por: | Ing. Mg. Juan Paredes | Validado por: | Ing. Mg. Juan Paredes |

Ficha técnica 15: Recolección de datos del material híbrido a ensayo de impacto FC30%0° - FA5%90°

| | | | |
|--|---|---|-----------------------|
|  | UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA |  | REG:IMH-03 |
| FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS Y EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN MATERIAL HÍBRIDO (Resina Epóxica + Fibra de algodón + Fibra de Cabuya) | | | |
| Fecha: | 21-octubre-2016 | Ciudad: | Ambato |
| Tipo de ensayo: | IMPACTO | Norma: | ASTM D5628 |
| Laboratorio: | Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero | | |
| Máquina: | Máquina Universal de Ensayos Electromecánicas MTE-10/50 | | |
| Matriz: | Resina Epóxica | Fracción volumétrica | 65% |
| Refuerzos: | Fibra de algodón | Fracción volumétrica | 5% |
| | Fibra de cabuya | Fracción volumétrica | 30% |
| Configuración de las fibras: | Tejido plano | Número de capas de tejido: | 2 |
| Orientación FC: | 0° | Orientación FA: | 90° |
| Estratificación: | Compresión | Número de probetas: | 8 |
| Dimensiones: | 58*58*Espesor promedio (mm) | Geometría/ Diámetro / Masa de dardo: | FE / 40mm / 0,2293 kg |
| DATOS Y RESULTADOS DEL ENSAYO A IMPACTO BAJO LA NORMA ASTM 5628-10 | | | |
| Probeta N.- | Altura de lanzamiento de falla (mm) | Resistencia Máxima al Impacto MEF=hwf [J] | |
| 1 | 1200 | 1,69 | |
| Fotos de las probetas sometidas al ensayo | | | |
|  | | | |
| Observación | | Evaluación | |
| <ul style="list-style-type: none"> En el tercer caso presentaron fracturas en la parte central de las probetas. Se fracturó la matriz mientras que los refuerzos no se rompieron. Para obtener la altura en que el material fallo se analizaron 8 probetas. | | <ul style="list-style-type: none"> El espesor promedio de este grupo de probetas fue de 3,18mm. La altura en que el material falló fue de 1200mm. | |




(Fuente: Autor)

| | | | |
|-----------------------|-----------------------|----------------------|-----------------------|
| Elaborado por: | Sr. Segundo Pacha | Aprobado por: | Ing. Mg. Juan Paredes |
| Revisado por: | Ing. Mg. Juan Paredes | Validado por: | Ing. Mg. Juan Paredes |

| | | | |
|---|---|---|-----------------------|
|  | UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA |  | REG:IMH-04 |
| FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS Y EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN MATERIAL HÍBRIDO (Resina Epóxica + Fibra de algodón + Fibra de Cabuya) | | | |
| Fecha: | 21-octubre-2016 | Ciudad: | Ambato |
| Tipo de ensayo: | IMPACTO | Norma: | ASTM D5628 |
| Laboratorio: | Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero | | |
| Máquina: | Máquina Universal de Ensayos Electromecánicas MTE-10/50 | | |
| Matriz: | Resina Epóxica | Fracción volumétrica | 75% |
| Refuerzos: | Fibra de algodón | Fracción volumétrica | 7,5% |
| | Fibra de cabuya | Fracción volumétrica | 17,5% |
| Configuración de las fibras: | Tejido plano | Número de capas de tejido: | 3 |
| Orientación FC: | 45° | Orientación FA: | 135° |
| Estratificación: | Compresión | Número de probetas: | 8 |
| Dimensiones: | 58*58*Espesor promedio (mm) | Geometría/ Diámetro / Masa de dardo: | FE / 40mm / 0,2293 kg |
| DATOS Y RESULTADOS DEL ENSAYO A IMPACTO BAJO LA NORMA ASTM 5628-10 | | | |
| Probeta N.- | Altura de lanzamiento de falla (mm) | Resistencia Máxima al Impacto MEF=hwf [J] | |
| 1 | 750 | 1,69 | |
| Fotos de las probetas sometidas al ensayo | | | |
|  | | | |
| Observación | | Evaluación | |
| <ul style="list-style-type: none"> Las probetas del cuarto caso presentaron fracturas en la parte central. El material se fracturó totalmente en el área que tiene contacto con el dardo. Se analizaron 8 probetas para obtener la altura en la que falla el material. | | <ul style="list-style-type: none"> En el cuarto grupo el espesor promedio que presentó las probetas fue de 3,32mm. El material falló a una altura de 750mm. | |

(Fuente: Autor)




| | | | |
|-----------------------|-----------------------|----------------------|-----------------------|
| Elaborado por: | Sr. Segundo Pacha | Aprobado por: | Ing. Mg. Juan Paredes |
| Revisado por: | Ing. Mg. Juan Paredes | Validado por: | Ing. Mg. Juan Paredes |

| | | | |
|---|---|--|-----------------------|
|  | UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA |  | REG:IMH-05 |
| FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS Y EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN MATERIAL HÍBRIDO (Resina Epóxica + Fibra de algodón + Fibra de Cabuya) | | | |
| Fecha: | 21-octubre-2016 | Ciudad: | Ambato |
| Tipo de ensayo: | IMPACTO | Norma: | ASTM D5628 |
| Laboratorio: | Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero | | |
| Máquina: | Máquina Universal de Ensayos Electromecánicas MTE-10/50 | | |
| Matriz: | Resina Epóxica | Fracción volumétrica | 70% |
| Refuerzos: | Fibra de algodón | Fracción volumétrica | 7,5% |
| | Fibra de cabuya | Fracción volumétrica | 22,5% |
| Configuración de las fibras: | Tejido plano | Número de capas de tejido: | 3 |
| Orientación FC: | 45° | Orientación FA: | 135° |
| Estratificación: | Compresión | Número de probetas: | 8 |
| Dimensiones: | 58*58*Espesor promedio (mm) | Geometría/ Diámetro / Masa de dardo: | FE / 40mm / 0,2293 kg |
| DATOS Y RESULTADOS DEL ENSAYO A IMPACTO BAJO LA NORMA ASTM 5628-10 | | | |
| Probeta N.- | Altura de lanzamiento de falla (mm) | Resistencia Máxima al Impacto MEF=hwf [J] | |
| 1 | 1200 | 2,7 | |
| Fotos de las probetas sometidas al ensayo | | | |
|  | | | |
| Observación | | Evaluación | |
| <ul style="list-style-type: none"> En el quinto grupo las probetas presentaron fracturas en la parte central. La matriz se fracturó mientras que los refuerzos no se rompieron. La altura en la que falló se obtuvo analizando 8 probetas. | | <ul style="list-style-type: none"> El espesor promedio que tuvo las probetas de quinto grupo fue de 3,28mm. La altura en la que falló el material fue de 1200mm. | |

(Fuente: Autor)

| | | | |
|-----------------------|-----------------------|----------------------|-----------------------|
| Elaborado por: | Sr. Segundo Pacha | Aprobado por: | Ing. Mg. Juan Paredes |
| Revisado por: | Ing. Mg. Juan Paredes | Validado por: | Ing. Mg. Juan Paredes |

Ficha técnica 18: Recolección de datos del material híbrido a ensayo de impacto FC30%45° - FA5%135°

| | | | |
|--|--|---|-----------------------|
|  | UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA |  | REG:IMH-06 |
| FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS Y EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN MATERIAL HÍBRIDO (Resina Epóxica + Fibra de algodón + Fibra de Cabuya) | | | |
| Fecha: | 21-octubre-2016 | Ciudad: | Ambato |
| Tipo de ensayo: | IMPACTO | Norma: | ASTM D5628 |
| Laboratorio: | Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero | | |
| Máquina: | Máquina Universal de Ensayos Electromecánicas MTE-10/50 | | |
| Matriz: | Resina Epóxica | Fracción volumétrica | 65% |
| Refuerzos: | Fibra de algodón | Fracción volumétrica | 5% |
| | Fibra de cabuya | Fracción volumétrica | 30% |
| Configuración de las fibras: | Tejido plano | Número de capas de tejido: | 2 |
| Orientación FC: | 45° | Orientación FA: | 135° |
| Estratificación: | Compresión | Número de probetas: | 8 |
| Dimensiones: | 58*58*Espesor promedio (mm) | Geometría/ Diámetro / Masa de dardo: | FE / 40mm / 0,2293 kg |
| DATOS Y RESULTADOS DEL ENSAYO A IMPACTO BAJO LA NORMA ASTM 5628-10 | | | |
| Probeta N.- | Altura de lanzamiento de falla (mm) | Resistencia Máxima al Impacto MEF=hwf [J] | |
| 1 | 750 | 1,69 | |
| Fotos de las probetas sometidas al ensayo | | | |
|  | | | |
| Observación | | Evaluación | |
| <ul style="list-style-type: none"> La fractura completa que presentó el sexto grupo de probetas fue en el área que tuvo contacto con el dardo. La matriz y el refuerzo presentaron una buena adherencia. Se analizaron 8 probetas de este grupo para obtener la altura en la que falló el material. | | <ul style="list-style-type: none"> En el sexto y último grupo el espesor promedio que presentó las probetas fue de 3,06mm. El material falló a una altura de 750mm. | |

(Fuente: Autor)



| | | | |
|-----------------------|-----------------------|----------------------|-----------------------|
| Elaborado por: | Sr. Segundo Pacha | Aprobado por: | Ing. Mg. Juan Paredes |
| Revisado por: | Ing. Mg. Juan Paredes | Validado por: | Ing. Mg. Juan Paredes |

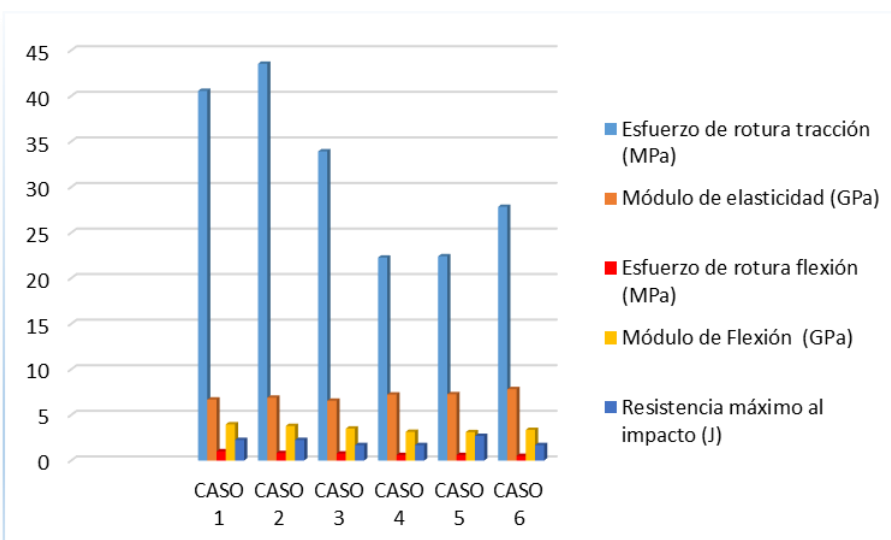
4.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS

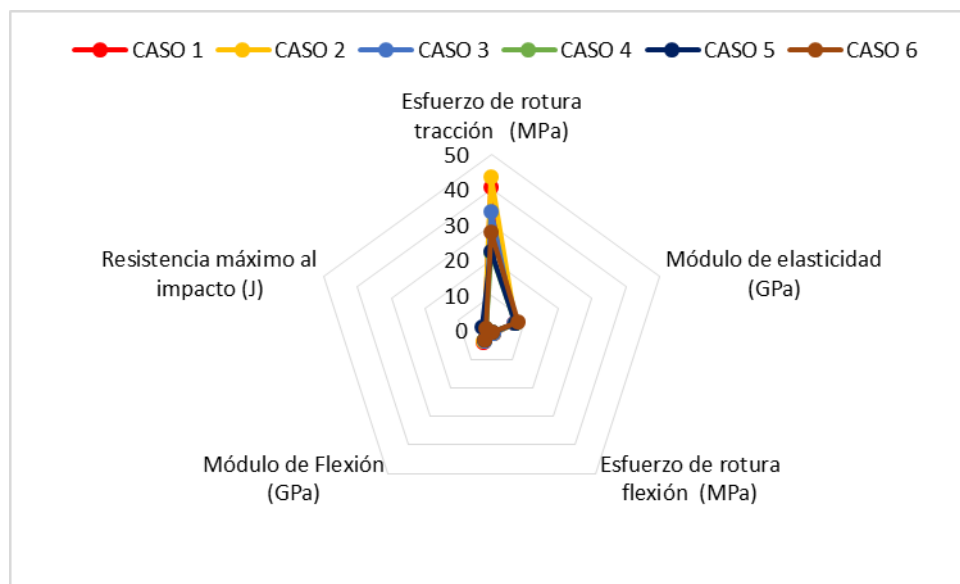
Para analizar las propiedades mecánicas obtenidas del material se realizó una evaluación de los resultados de cada ensayo (tracción, flexión e impacto) de todos los grupos del material híbrido tomando en cuenta la orientación de las fibras, la fracción volumétrica y otros factores establecidos al momento de su elaboración, las propiedades del material que se tomó en cuenta para el análisis de los tres tipos de ensayo indica en la ficha 19.

4.2.1 Evaluación del grupo de material que presente mejores propiedades mecánicas a tracción, flexión e impacto.

Ficha técnica 19: Evaluación del grupo que presente mejores propiedades mecánicas a tracción.

|  | UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA |  REG: Evaluación 1 | | | |
|--|---|---|--------------------------|-------------------------|-----------------------------------|
| FICHA DE EVALUACIÓN DE RESULTADOS PROMEDIO DE PROBETAS DEL MATERIAL HÍBRIDO (Resina Epóxica + Fibra de algodón + Fibra de Cabuya) | | | | | |
| Ensayo | Tracción | | Flexión | | Impacto |
| Caso # | Esfuerzo de rotura (MPa) | Módulo de elasticidad (GPa) | Esfuerzo de rotura (MPa) | Módulo de flexión (GPa) | Resistencia máximo al impacto (J) |
| 1 | 40,56 | 6,69 | 1,01 | 3,98 | 2,25 |
| 2 | 43,54 | 6,89 | 0,82 | 3,78 | 2,25 |
| 3 | 33,92 | 6,57 | 0,77 | 3,50 | 1,69 |
| 3 | 22,27 | 7,24 | 0,60 | 3,15 | 1,69 |
| 5 | 22,41 | 7,26 | 0,61 | 3,11 | 2,7 |
| 6 | 27,84 | 7,83 | 0,51 | 3,36 | 1,69 |





Nota: los componentes que conforman cada uno de los casos se define a continuación.

Caso 1.- 75% Matriz, Tejido entre 17,5% Fibra de Cabuya 0° y 7,5% Fibra de Algodón 90°

Caso 2.- 70% Matriz, Tejido entre 22,5% Fibra de Cabuya 0° y 7,5% Fibra de Algodón 90°

Caso 3.- 65% Matriz, Tejido entre 30% Fibra de Cabuya 0° y 5% Fibra de Algodón 90°

Caso 4.- 75% Matriz, Tejido entre 17,5% Fibra de Cabuya 45° y 7,5% Fibra de Algodón 135°

Caso 5.- 70% Matriz, Tejido entre 22,5% Fibra de Cabuya 45° y 7,5% Fibra de Algodón 135°

Caso 6.- 65% Matriz, Tejido entre 30% Fibra de Cabuya 45° y 5% Fibra de Algodón 135°

Evaluación

Con los resultado del ensayo de tracción se realizó las gráficas donde se puede apreciar las características que presentaron el material híbrido en cuanto a esfuerzo de rotura es el segundo caso que conformó de 70% de matriz, con tejido plano de 7,5% de fibra de algodón en ángulo de 0° y 22,5 % de fibra de cabuya en ángulo de 90°, con 3 capas de tejido obteniendo el espesor promedio de las probetas de 3,02mm, mientras que el módulo de elasticidad fue el sexto y último caso que se conformó de 65% de matriz, con tejido plano de 5% de fibra de algodón en ángulo de 45° y 30% de fibra de cabuya en ángulo de 135°, con 2 capas de tejido obteniendo el espesor promedio de las probetas de 3,01mm

Con los resultados obtenidos de ensayo de flexión se realizaron las gráficas donde se puede apreciar que las mejores características que presentó el material híbrido en cuanto a esfuerzo de rotura y el módulo de flexión al ser sometido a ensayo de flexión fue el primer caso, que se conformó de 75% de matriz, con tejido plano de 7,5% de fibra de algodón en ángulo de 0° y 17,5 % de fibra de cabuya en ángulo de 90°, con 3 capas de tejido obteniendo el espesor promedio de las probetas de 3,52mm.

Con los resultado obtenidos de ensayo de impacto se realizó las gráficas donde se puede apreciar que las mejores características en cuanto a resistencia máximo al impacto fue el quinto caso, conformado de 70% de matriz, con tejido plano de 7,5% de fibra de algodón en ángulo de 45° y 22,5 % de fibra de cabuya en ángulo de 135°, con 3 capas de tejido obteniendo el espesor promedio de las probetas de 3,24mm.

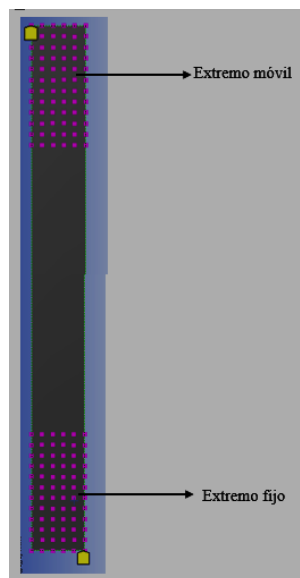
(Fuente: Autor)

4.2.2 Simulación del material por método de elementos finitos.

Para realizar el análisis del material por el método de elementos finitos fue necesario establecer el modelo del material, por lo que fue importante utilizar los mismos parámetros definidos en los ensayos reales debido a que existen varios modelos para análisis por el método mencionado para definir las características del material se utilizó como preprocesador el ACP (Pre), el mismo se utilizó para establecer las características de la matriz y los refuerzos con los respectivos ángulos, el número de capas de los refuerzos y su espesor.

4.2.2.1 Simulación del grupo de material que presente mejores propiedades mecánicas a tracción.

Con los resultados obtenidos y sus respectivos análisis se obtuvo que el grupo de probetas que presentó las mejores características en cuanto a esfuerzo de rotura fue el caso 2 el mismo que fue modelado y simulado en un software por elementos finitos con los valores promedios de los ensayos reales. Para la simulación de las probetas se generó un modelo computacional con las dimensiones reales y parámetros del entorno que tuvo las probetas de tracción de este grupo, es decir un extremo se fijó y en el otro extremo móvil se aplicó la carga de tracción (se colocó los desplazamientos nodales) como se observa la Fig. 72, el material se definió como material ortótropo debido a que tienen diferentes propiedades en cada uno de sus ejes.



*Fig. 72 Modelado digital de probeta de ensayo a tracción
(Fuente: Autor)*

4.2.2.2 Calidad de malla

Al existir varios tipos de mallado (unidimensional, bidimensional, tridimensional) para aplicar en los modelos según el análisis que se estén realizando, en este caso se utilizó el elementos bidimensional (también conocido como elemento plano o superficial) con elementos cuadriláteros de tipo Shell, este tipo de elementos tienen seis grados de libertad y resisten a cargas axiales y de flexión, para este tipo de mallado fue necesario establecer el espesor de los nodos, en el modelo se obtuvo 306 nodos y 250 elementos en la Fig. 73 se observa el mallado del modelo digital.

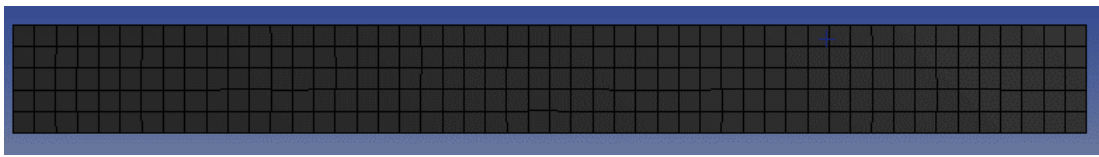


Fig. 73 Mallado del modelo digital.
(Fuente: Autor)

Para la evaluación de la calidad del mallado del modelo se utilizó el parámetro de la relación de aspecto (*Aspect Ratio*) de los elementos, este parámetro es utilizado para evaluar la calidad de malla en los elementos bidimensionales que se obtiene al dividir el lado de mayor dimensión para el lado de la menor dimensión, en los mallados de los modelos es recomendado que la relación de aspecto este entre 1 y 5, la relación de aspecto de los elementos del modelo digital que se analizó esta entre 1 y 1,026 por lo que el mallado fue aceptable por lo que los valores de la relación de aspecto estuvo en el rango recomendado en la Fig. 74 indica la gráfica de relación de aspecto del modelo.

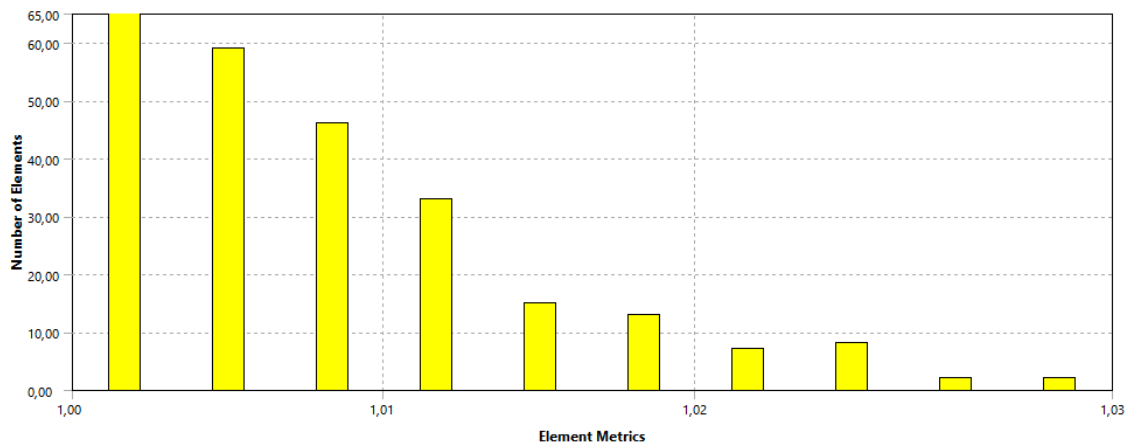


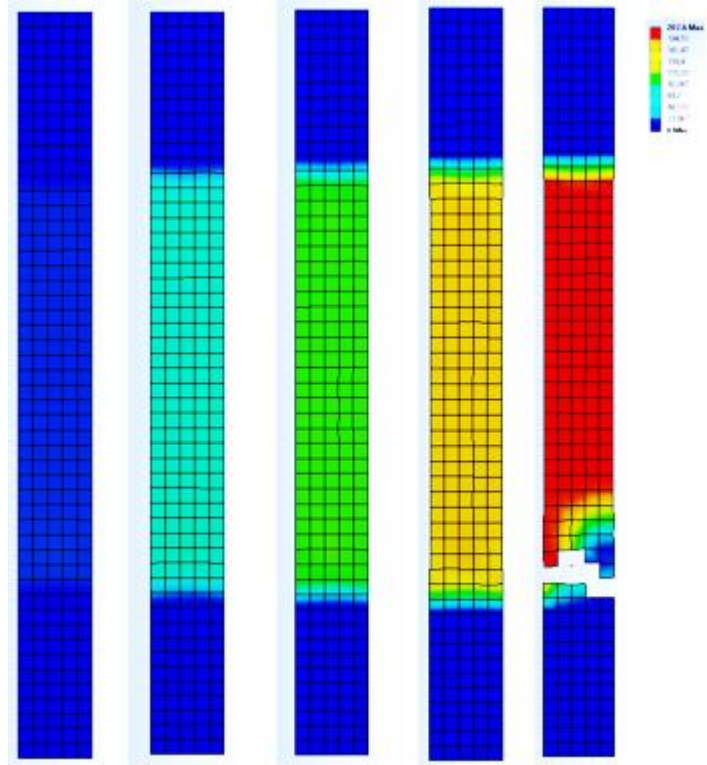


Fig. 74 Relación del aspecto del modelo
(Fuente: Autor)

4.2.2.3 Resultados obtenidos de la simulación

En la ficha técnica 20 presenta los resultados que se generó al simular la probeta de tracción los valores promedios del grupo 2.

Ficha técnica 20: Evaluación del grupo que presente mejores propiedades mecánicas a tracción.

| | | | |
|---|--|--------------------------------|---|
|  | UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA | |  REG: Simulación 1 |
| | SIMULACIÓN DE PROBETAS SOMETIDAS A ENSAYO DE TRACCIÓN | | |
| Caso Nº- | 2 | Muestra: | Probeta de 250*25mm |
| Fecha de ejecución | 16/11/2012 | Realizado por: | Segundo Pacha |
| | | Revisado por: | Ing. Mg. Juan Paredes |
| Número de elementos: | 250 | Numero de nodos: | 306 |
| Tiempo de procesamiento: | 3 horas | Numero de procesadores: | 8 |
| RESULTADO DE LOS ENSAYOS | | | |
|  | | | |
| RESULTADOS OBTENIDOS | | | |
| Esfuerzo mínimo: | 0 MPa | Deformación inicial: | 0 mm |
| Esfuerzo máximo: | 50,36 MPa | Deformación final: | 10,10mm |

(Fuente: Autor)

4.2.2.4 Comparación de los resultados obtenidos del ensayo real y simulado

Con los resultados obtenidos de los ensayos reales como de lo simulado se realizó una comparación de tal manera se determinó el porcentaje de error que existió entre los valores obtenidos, en la tabla 26 se muestra la comparación de los resultados.

Tabla 26 Comparación de resultado real y simulado

| RESULTADOS REALES | | RESULTADO SIMULADO | | ERROR (%) |
|----------------------------|-----------------------|----------------------------|-----------------------|------------------|
| Desplazamiento (mm) | Esfuerzo (MPa) | Desplazamiento (mm) | Esfuerzo (MPa) | |
| 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0 | 0,00% |
| 1,24 | 2,92 | 1,24 | 2,75 | 5,88% |
| 2,47 | 6,09 | 2,47 | 7,87 | 29,15% |
| 3,72 | 10,69 | 3,72 | 10,77 | 0,73% |
| 4,97 | 16,41 | 4,97 | 19,35 | 17,93 % |
| 6,20 | 22,55 | 6,20 | 23,20 | 2,86% |
| 7,44 | 30,34 | 7,44 | 31,48 | 3,76% |
| 8,70 | 38,58 | 8,70 | 41,80 | 8,35% |
| 9,94 | 42,26 | 9,94 | 48,32 | 14,35% |
| 10,10 | 42,69 | 10,10 | 50,36 | 17,97% |
| ERROR PROMEDIO | | | | 9,92% |

(Fuente: Autor)

4.2.3 Interpretación de datos

Para realizar la interpretación de los resultados obtenidos de los ensayos realizados se utilizó la ficha 21 con sus ponderaciones respectivas.

Ficha técnica 21: Interpretación de resultados de las propiedades mecánicas a tracción, flexión e impacto.

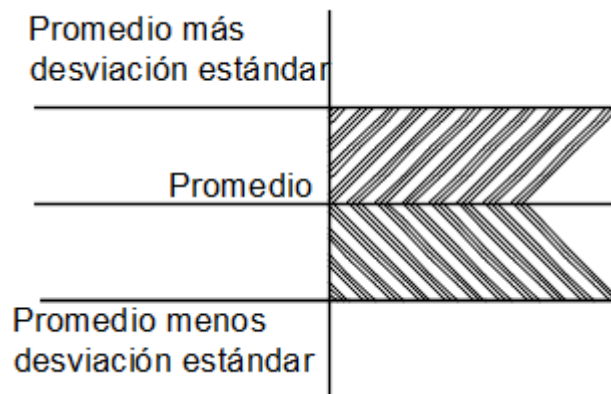
| Material | TRACCIÓN | | | | | | FLEXIÓN | | | | IMPACTO | | Acepta o no acepta (sobre 10) |
|-------------|-----------------------|----------|--------------------------|----------|-----------------------------|----------|--------------------------|----------|-------------------------|----------|-----------------------------------|----------|-------------------------------|
| | Espesor promedio (mm) | Δ | Esfuerzo de rotura (MPa) | Δ | Módulo de elasticidad (MPa) | Δ | Esfuerzo de rotura (MPa) | Δ | Módulo de flexión (MPa) | Δ | Resistencia máximo al impacto (J) | Δ | |
| Caso 1 | 3,51 | 0,41 | 40,56 | 8,80 | 6692,54 | 393,43 | 1,01 | 0,29 | 3987,69 | 500,64 | 2,25 | 0,21 | 9,17 |
| Caso 2 | 3,13 | 0,03 | 43,54 | 11,78 | 6899,26 | 186,71 | 0,82 | 0,10 | 3789,62 | 302,57 | 2,25 | 0,21 | 9,17 |
| Caso 3 | 3,21 | 0,11 | 33,92 | 2,16 | 6572,55 | 513,42 | 0,77 | 0,05 | 3507,68 | 20,63 | 1,69 | 0,36 | 7,5 |
| Caso 4 | 3,27 | 0,17 | 22,27 | 9,49 | 7243,06 | 157,09 | 0,60 | 0,12 | 3154,91 | 332,14 | 1,69 | 0,36 | 5,83 |
| Caso 5 | 3,28 | 0,18 | 22,41 | 9,35 | 7268,54 | 182,57 | 0,61 | 0,11 | 3119,10 | 367,95 | 2,7 | 0,66 | 5,83 |
| Caso 6 | 3,10 | 0 | 27,84 | 3,92 | 7839,86 | 753,89 | 0,51 | 0,21 | 3363,29 | 123,76 | 1,69 | 0,36 | 5,83 |
| Parámetros | 3,10 | | 31,76 | | 7085,97 | | 0,72 | | 3487,05 | | 2,05 | | |
| D. estándar | 0,19 | | 9,10 | | 464,67 | | 0,18 | | 347,46 | | 0,42 | | |

Los valores para la ponderación son:

| | | |
|------------------------|--|----|
| Aceptable | | 10 |
| Medianamente aceptable | | 5 |
| No aceptable | | 0 |

Para establecer el material que brinde mejores características mecánicas se analizó todas las probetas ensayadas, para lo cual se escogió el valor promedio de cada propiedad y su desviación estándar, y se aceptó el caso con mayor puntaje de entre todos los casos estudiados según la ponderación realizada.

En la interpretación de resultados se utilizó los parámetros como: el valor promedio de las características mecánicas y la desviación estándar



*Fig. 75 Parámetros utilizados en la interpretación de resultados.
(Fuente: Autor)*

En la Fig. 74 se observa los parámetros utilizados para la interpretación de los resultados, si los valores estuvo en el área entre el promedio y promedio más desviación estándar o sobre esta área fue aceptable, si los valores estuvieron en el área entre promedio y promedio menos desviación estándar fue medianamente aceptable mientras que si los valores estén debajo del promedio menos desviación estándar fue no aceptable.

La ficha 21 indica la interpretación de los resultados obtenidos de los ensayos de tracción, flexión e impacto, del mismo que se determinó el material híbrido con las mejores características mecánicas al someter a los tres tipos de ensayo, de esta manera se estableció que el caso 1 y el caso 2 proporcionaron las mejores propiedades mecánicas, tomando en cuenta el espesor de las probetas el caso 2 es la que presentó las mejores propiedades mecánicas la misma que fue conformado de 70% de resina epóxica como matriz, como refuerzo 3 capas de tejido plano entre las fibras de algodón con la cantidad de 7,5% en el ángulo de 90° y el 22,5% de fibra de cabuya en ángulo de 0°, este caso fue aceptado con puntaje mayor, superando a los otros casos analizados, la estratificación de todas las probetas fue a compresión.

4.3 VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS

Una vez realizado los ensayos, la tabulación, la evaluación, la interpretación de datos se procedió a la demostración de la hipótesis planteada en el presente trabajo de investigación, lo cual se realizó estadísticamente y comparativamente. Lo que conlleva a la parte de estadística se utilizó media aritmética y desviación estándar, con el que se realizó gráficas de barras de las diferentes propiedades mecánicas adquiridas en los ensayos reales de tracción, flexión e impacto de tal manera comparar los diagramas de resultados de los diferentes grupos que conformó el material híbrido variando las fracciones volumétricas, el número de capa de tejido y la orientación de la fibras de tejido.

Para obtener el grupo con mejores características mecánicas se realizó una ponderación como se muestra en la ficha 21 la cual indica la interpretación de los resultados obtenidos al ser sometidas a los ensayos de tracción, flexión e impacto, del mismo que se determinó el material híbrido con mejores características mecánicas fue el caso 1 y el caso 2 de los cuales tomando en cuenta el espesor del grupo de probetas el caso 2 fue la que presenta las mejores propiedades mecánicas que se conformó de 70% de resina epóxica como matriz, como refuerzo 3 capas de tejido plano entre las fibras de algodón con la cantidad de 7,5% en el ángulo de 90° y el 22,5% de fibra de cabuya en ángulo de 0°, la estratificación de todas las probetas fue a compresión, este caso fue aceptado con el mayor puntaje superando a los otros casos analizados.

Con esos análisis se comprobó que las orientaciones de los refuerzos conformando el material híbrido de matriz epoxi reforzado con tejido plano de cabuya permitió determinar las propiedades mecánicas, es decir si se cambia el porcentaje y la orientación del tejido entre las fibras de algodón y cabuya (refuerzo) existieron una diferencia en los resultados de las propiedades mecánicas del material híbrido que se fue estudiando.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

Con la recolección y análisis de datos del presente estudio sometido a ensayos de tracción, flexión e impacto para la caracterización mecánica del material híbrido de la matriz de resina epóxica reforzado con tejido plano entre las fibras de cabuya y fibra de algodón con los diferentes fracciones volumétricas y la orientación de las fibras variadas se tuvo las siguientes conclusiones.

- Los parámetros que se determinó para el conformado del material híbrido son las fracciones volumétricas, el número de capas de tejido plano y su orientación entre las fibras de algodón y cabuya, el tipo de estratificación como las normas a aplicar para cada tipo de ensayo.
- Para analizar las fracciones volumétricas se basó en los resultados obtenidos de todos los ensayos reales y se determinó que con la variación de las fracciones volumétricas de la matriz como también las fracciones volumétricas de los refuerzos y sus orientaciones existen variaciones en los resultados de las propiedades mecánicas.
- El proceso para el moldeado de las probetas del material híbrido de matriz de resina epóxica reforzado con tejido plano de fibra de algodón y cabuya se estableció de acuerdo al tipo de estratificación en este caso la estratificación a compresión.
- Con las probetas sometidas a ensayo de tracción bajo la norma ASTM D3039, a ensayo de flexión bajo la norma ASTM D7264 y al ensayo de impacto con la norma ASTM D5628 se determinó las características mecánicas como el esfuerzo de fluencia, esfuerzo de rotura, módulo de elasticidad, módulo de flexión, resistencia máxima al impacto entre otras características del material en estudio.
- Con los resultados obtenidos de las probetas sometidas a ensayo de tracción se estableció que el grupo con las mejores características a esfuerzo de rotura fue el caso 2 que está conformado de 70% de matriz (resina epóxica), como refuerzo se utilizó 3 capas de tejido plano de fibra de cabuya con la cantidad de 22,5% en

ángulo de 0° y 7,5% de fibra de algodón en ángulo de 90°, los valores promedios de las propiedades mecánicas de las probetas del grupo 2 con un espesor de 3,02mm son las siguientes.

- Carga máxima: 3198,15N
 - Esfuerzo de fluencia: 5,07MPa
 - Esfuerzo de rotura: 43,54 MPa
 - Módulo de elasticidad: 6899,26MPa
- Analizando los tres tipos de ensayo realizados se estableció el grupo de probetas con las mejores características mecánicas son el caso 1 y el caso 2 de los cuales tomando en cuenta el espesor del grupo de probetas el caso 2 es la que presenta las mejores propiedades mecánicas la misma que está conformado de 70% de resina epóxica como matriz, como refuerzo 3 capas de tejido plano entre las fibras de algodón con la cantidad de 7,5% en el ángulo de 90° y el 22,5% de fibra de cabuya en ángulo de 0°
 - Se realizó la simulación del grupo de probetas con mejores características a esfuerzo de rotura al ser sometido a ensayo de tracción (caso 2) del cual comparando los resultados obtenidos de los ensayos reales con los resultados de la simulación existe un error promedio de 9,92%

5.2 RECOMENDACIONES

Al finalizar la caracterización mecánica del material en estudio y obtener los resultados deseados se debe tomar en cuenta varias recomendaciones como son:

- Para facilitar el conformado de las probetas se debe diseñar un molde con dimensiones que abarque el número de probetas de tracción, flexión e impacto que indique la norma y posteriormente realizar el corte.
- El área de trabajo del molde debe estar libre de impurezas e imperfecciones para que las probetas tengan un buen acabado superficial, se debe aplicar la cera desmoldante en todo el área de trabajo de tal manera evitar que la resina se adhiera en el molde.
- Para el desmolde de la probeta se debe tomar en cuenta el tiempo de secado que indica el fabricante de la matriz en este caso la resina epóxica.
- Para que las probetas tengan dimensiones homogéneas se debe realizar el corte a laser.

- Para colocar la sobremonta en las probetas de tracción se debe tomar en cuenta que la superficie este limpia y colocar un pegamento en el área que se va a colocar y de esta manera tener buena adherencia de tal forma evitar que se despegue al momento de realizar el ensayo.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] A. D. Jácome, “Estudio de la configuración de fibras del material compuesto de matriz epoxi reforzada con fibra de piña y su incidencia en las propiedades mecánicas en la fabricación de butacas deportivas”, Ing. Tesis, Facultad de Ingeniería Civil Y Mecánica, U.T.A., Ambato, Ecuador, 2015.
- [2] J. G. Paredes, “Estudio de Polímeros Híbridos Estratificados de Matriz Poliéster Reforzada con Fibra de Vidrio y Cabuya como Material Alternativo y su incidencia en las propiedades mecánicas en Guardachoques para Buses”, Mg. Tesis, Centro de estudio Posgrado, Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Ecuador, 2012.
- [3] N. A. Tamayo, “de Obtención y caracterización de materiales compuestos de matriz poliéster reforzados con fibra de cabuya mediante estratificación”, Ing. Tesis, Facultad de Ingeniería Mecánica, Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador, 2012.
- [4] P. Pontón, et al, “Materiales compuestos de matriz poliéster reforzados con fibras naturales y sintéticas”, Paper, Departamento de Materiales, Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador, 2013.
- [5] W. D. Callister, “Introducción a la Ciencia de Ingeniería de los materiales”, Vol. 1. Barcelona-España: Reverte Ed., 2007, pp.2-542
- [6] V. H. Guerrero et al, “Nuevos Materiales Aplicaciones Estructurales e Industriales”, Primera Ed. Quito-Ecuador: Imprefepp Ed., 2011, pp. 2-110.
- [7] Mariano “Tecnología de plásticos, Blog dedicado a los materiales plásticos, características, fabricación, procesos de transformación y reciclado”, p. 1, Jul., 2011.
- [8] A. B. Dietrich, “Materiales Compuestos Procesos de fabricaciones de embarcaciones”, Primera Ed. Barcelona: Quality Impres., 2005, pp. 16.
- [9] R. G. Budynas y J. K. Nisbett, “Diseño de ingeniería mecánica de Shigley”, Octava Ed. México: McGraw-Hill, 2008, pp. 37-56.
- [10] M. T. García, “Materiales híbridos orgánicos - inorgánicos basados en disilanos como unidades estructurales”, PhD. Tesis, Departamento de química, Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, 2012.
- [11] K. K. Chawla, “Composite Materials Science and Engineering”, Tercera Ed. New York: Springer, 2013, pp. 73-80

- [12] J. Jaimes, “Plásticos termoestables reciclables”, 2015, [En línea]. Disponible: <https://ti3-emergente.wikispaces.com/file/view/Plásticos+Termoestables+Reciclables>. [Accedido 8-05-2016]
- [13] W. Manchabajo, “Química pegajosa”, 2014, [En línea]. Disponible: <http://quimicapegajosa.blogspot.com/>. [Accedido 12-05-2016].
- [14] Santiago, “Fibras”, 2008, [En línea]. Disponible en: <http://www.plastiquimica/Fibras>. [Accedido 7-05-2016].
- [15] J. E. Crespo y A.V. Nadal, “Avances en el área de materiales y sus procesos”, Vol. 1. Valencia: 3 ciencias, 2015, p. 22.
- [16] Bistraen, “Fibra de algodón”, 2007, [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/631/>. [Accedido el 11-05-2016]
- [17] M. Martínez, “Cabuya una visión para el futuro textil” UTN-FICA-EITEX, 2006.
- [18] M. R. García et al, “Resistencia de materiales”, Vol. 12. Universit Jaume, 2002.
- [19] D.C. Giancoli, “Física principio con aplicaciones”, Sexta Ed. México: Pearson Ed., 2006, p. 237.
- [20] J. W. Kane y M. M. Sternheim, “Física”, Segunda Ed. Caracas- México: Reverte Ed., 2007, p. 185
- [21] C. L. Gálvez, “Soldadura y calderería”, Primera Ed. Madrid- España: Paraninfo Ed. 2015, pp. 126-127.
- [22] R. L. Mott, “Diseño de elementos de máquinas”, Cuarta Ed. México: Pearson Ed. 2006, p. 37.
- [23] R. B. Seymour, “Introducción a la química de los polímeros”, Segunda Ed. Barcelona –España: Reverte Ed. 2002, p. 136.
- [24] M. N. Salan, “Tecnología de proceso y transformación de materiales”, Primera Ed. Barcelona: Quality Ed. 2005, p. 50.
- [25] D. Hull, “Materiales compuestos”, Primera Ed. Barcelona: Reverte Ed. 2003.
- [26] J. O. Valderrama, “Información tecnológica”, Vol. 9. 1998. p.377
- [27] X. E. Castells “Residuos destinados a la fabricación de materiales densos”, Primera Ed. Madrid: Díaz de santos. 2012, p. 308

- [28] A. Cubillos. “Conceptos básicos del método de elementos finitos”, Universidad de Ibagué, 2004.
- [29] A. Cardona, V. Fachinotti “Introducción al método de los elementos finitos”, Santa Fe, Argentina. 2014.
- [30] S. Pezzotti, F. Antico “Introducción al método de los elementos finitos”, La plata: Universidad Nacional de la Plata, 2007, pág. 5-6.

ANEXOS

ANEXO 1: Ficha técnica de resina epóxica

ANEXO 2: Norma para ensayo de tracción ASTM D30239M-00

ANEXO 3: Norma para ensayo de flexión ASTM D7264M-07

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

ANEXO 5: Informe técnico de los ensayos a tracción y flexión del material híbrido

ANEXO 6: Planos



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.

Inasmuch as PTM&W Industries, Inc. has no control over the use to which others may put material, it does not guarantee that the same results as those described herein will be obtained. The above data was obtained under laboratory conditions, and to the best of our knowledge is accurate. This information is presented in good faith to assist the user in determining whether our products are suitable for his application. No warranty or representation, however is intended or made, nor is protection from any law or patent to be inferred, and all patent rights are reserved. Before using, user shall determine the suitability of the product for his intended use, and user assumes all risk and liability whatsoever in connection therewith. In no event will PTM&W Industries, Inc. be liable for incidental or consequential damages. Buyer's sole and exclusive remedy in such instances shall be limited to replacement of the purchase price.

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

MATERIAL SAFETY DATA SHEET

SECTION I — PRODUCT INFORMATION

AEROPOXY PH3660

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

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

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

CONTAINS: MODIFIED AMINE MIXTURE

HAZARD CLASS.....: 8

UN NUMBER: UN1760

PACKAGING GROUP.....: III

HAZARD LABEL(S): Corrosive

HMIS CODES:

RATINGS:

HEALTH..... = 3 0 = MINIMAL 3 = SERIOUS

FLAMMABILITY = 1 1 = SLIGHT 4 = SEVERE

REACTIVITY..... = 0 2 = MODERATE

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

SECTION II — PRODUCT/COMPOSITION

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

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

SECTION III — HAZARD STATUS

| NO. | CANCER | REPRO-TOX | TARGET ORGANS | ACGIH/TLV | OSHA/PEL |
|-----|--------|-----------|-----------------|-----------------------|-----------------------|
| 1 | NO | NO | SKIN, EYE, LUNG | N.A.mg/M 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** = IMMED. (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.

Designation: D 3039/D 3039M – 00^{ε1}

Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials¹

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

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

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

1. Scope

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

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

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

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:

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

Properties and Equilibrium Conditioning of Polymer Matrix Composite Materials⁴

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

3. Terminology

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

3.2 *Definitions of Terms Specific to This Standard:*

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

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

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

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

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

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

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

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

TABLE 3 Specimen Alignment and Chord Modulus Calculation Strain Ranges

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

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

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

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

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

where:

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

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

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

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

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

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

12. Calculation

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

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

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

where:

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

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

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

where:

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

12.3 Tensile Modulus of Elasticity:

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

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

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

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

where:

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

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

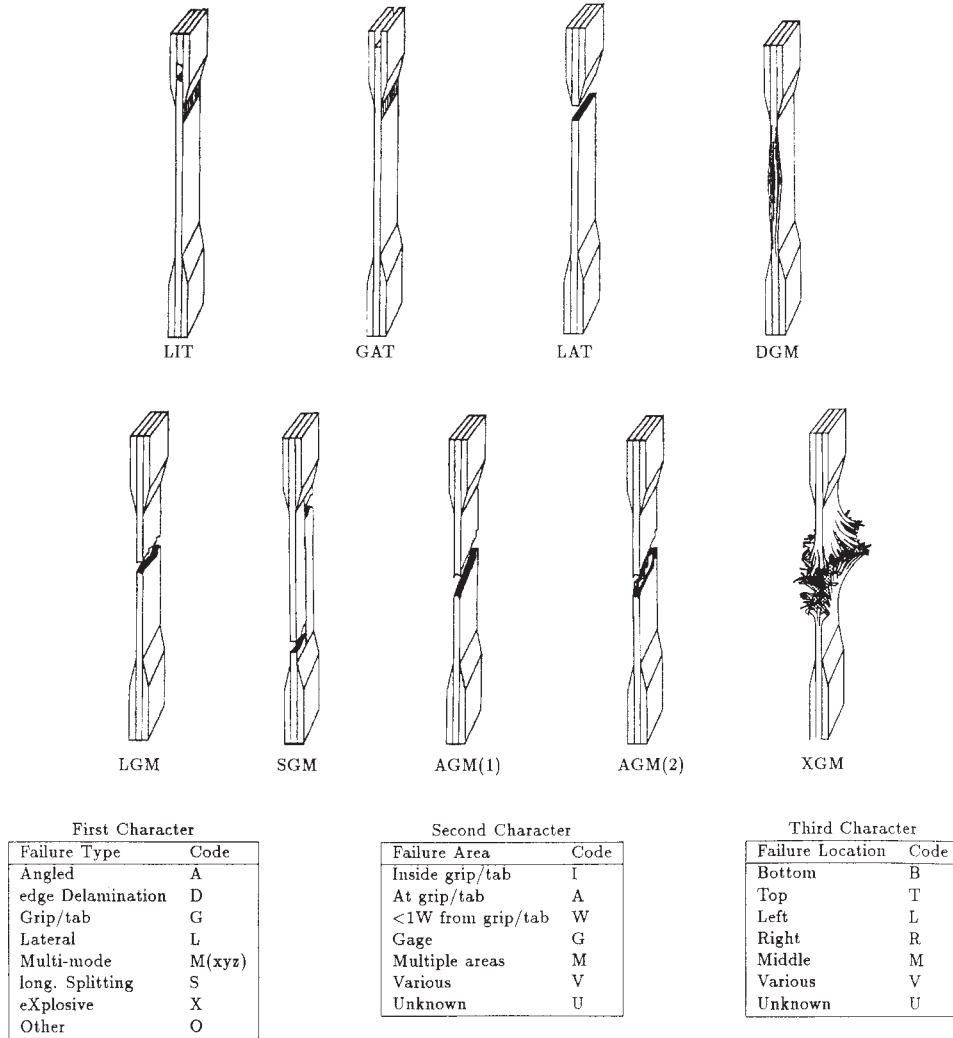


FIG. 4 Tensile Test Failure Codes/Typical Modes

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

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

12.4 Poisson's Ratio:

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

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

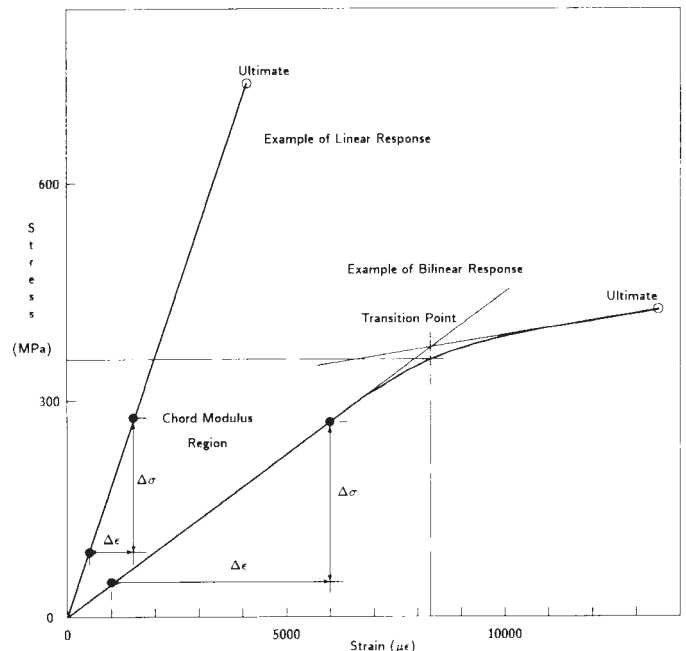


FIG. 5 Typical Tensile Stress-Strain Curves

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

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

where:

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

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

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

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

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

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

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

where:

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

13. Report

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

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

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

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

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

13.1.7 Ply orientation stacking sequence of the laminate.

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

13.1.9 Average ply thickness of the material.

13.1.10 Results of any nondestructive evaluation tests.

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

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

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

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

13.1.15 Dimensions of each test specimen.

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

13.1.17 Relative humidity and temperature of the testing laboratory.

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

13.1.19 Number of specimens tested.

13.1.20 Speed of testing.

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

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

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

13.1.24 Percent bending results for each specimen so evaluated.

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

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



Designation: D 7264/D 7264M – 07

Standard Test Method for Flexural Properties of Polymer Matrix Composite Materials¹

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

1. Scope

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

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

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

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

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

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

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

2. Referenced Documents

2.1 *ASTM Standards:*²

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

Polymer Matrix Composite Materials and Their Laminates

D 3878 Terminology for Composite Materials

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

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

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

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

E 4 Practices for Force Verification of Testing Machines

E 6 Terminology Relating to Methods of Mechanical Testing

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

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

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

E 456 Terminology Relating to Quality and Statistics

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

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

2.2 *Other Documents:*

ANSI Y14.5-1999 Dimensioning and Tolerancing—Includes Inch and Metric³

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

3. Terminology

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

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

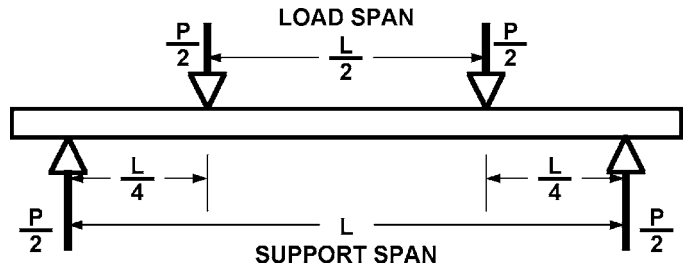


FIG. 2 Procedure B—Loading Diagram

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

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

5. Significance and Use

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

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

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

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

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

6. Interferences

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

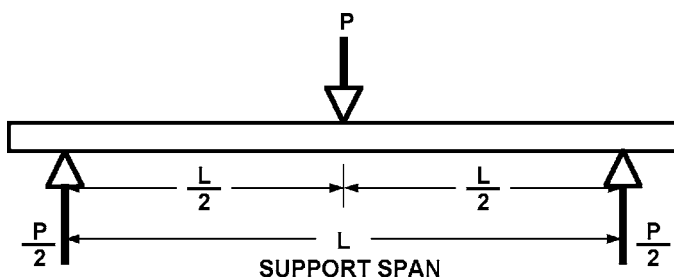


FIG. 1 Procedure A—Loading Diagram

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

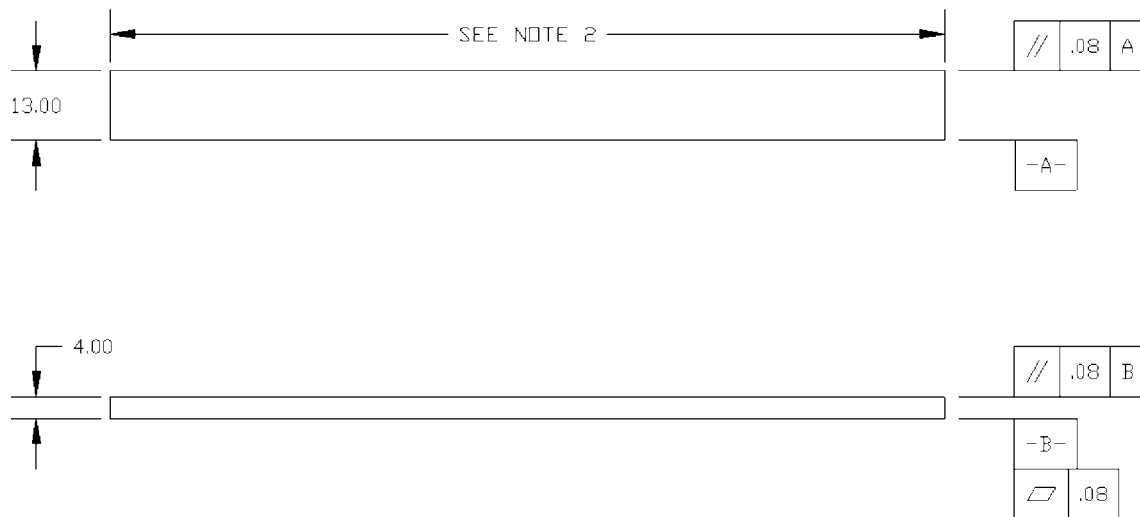
within $\pm 3^\circ\text{C}$ [$\pm 5^\circ\text{F}$] and the required vapor level to within ± 5 % relative humidity.

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)

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



Designation: 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 D5628; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

1. Scope*

1.1 This test method covers the determination of the threshold value of impact-failure energy required to crack or break flat, rigid plastic specimens under various specified conditions of impact of a free-falling dart (tup), based on testing many specimens.

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

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

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

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:²

- D618 Practice for Conditioning Plastics for Testing
- D883 Terminology Relating to Plastics
- D1600 Terminology for Abbreviated Terms Relating to Plastics
- D1709 Test Methods for Impact Resistance of Plastic Film by the Free-Falling Dart Method
- D2444 Test Method for Determination of the Impact Resistance of Thermoplastic Pipe and Fittings by Means of a Tup (Falling Weight)
- D3763 Test Method for High Speed Puncture Properties of Plastics Using Load and Displacement Sensors

D4000 Classification System for Specifying Plastic Materials

D5947 Test Methods for Physical Dimensions of Solid Plastics Specimens

D6779 Classification System for Polyamide Molding and Extrusion Materials (PA)

E691 Practice for Conducting an Interlaboratory Study to Determine the Precision of a Test Method

2.2 ISO Standards:³

ISO 291 Standard Atmospheres for Conditioning and Testing

ISO 6603-1 Plastics—Determination of Multiaxial Impact Behavior of Rigid Plastics—Part 1: Falling Dart Method

3. Terminology

3.1 Definitions:

3.1.1 For definitions of plastic terms used in this test method, see Terminologies D883 and D1600.

3.2 Definitions of Terms Specific to This Standard:

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

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

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

NOTE 2—Cracks usually start at the surface opposite the one that is struck. Occasionally incipient cracking in glass-reinforced products, for example, is difficult to differentiate from the reinforcing fibers. In such cases, a penetrating dye can confirm the onset of crack formation.

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

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

¹ This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee D20 on Plastics and is the direct responsibility of Subcommittee D20.10 on Mechanical Properties.

Current edition approved July 1, 2010. Published July 2010. Originally approved in 1994. Last previous edition approved in 2007 as D5628 - 07. DOI: 10.1520/D5628-10.

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.

*A Summary of Changes section appears at the end of this standard.

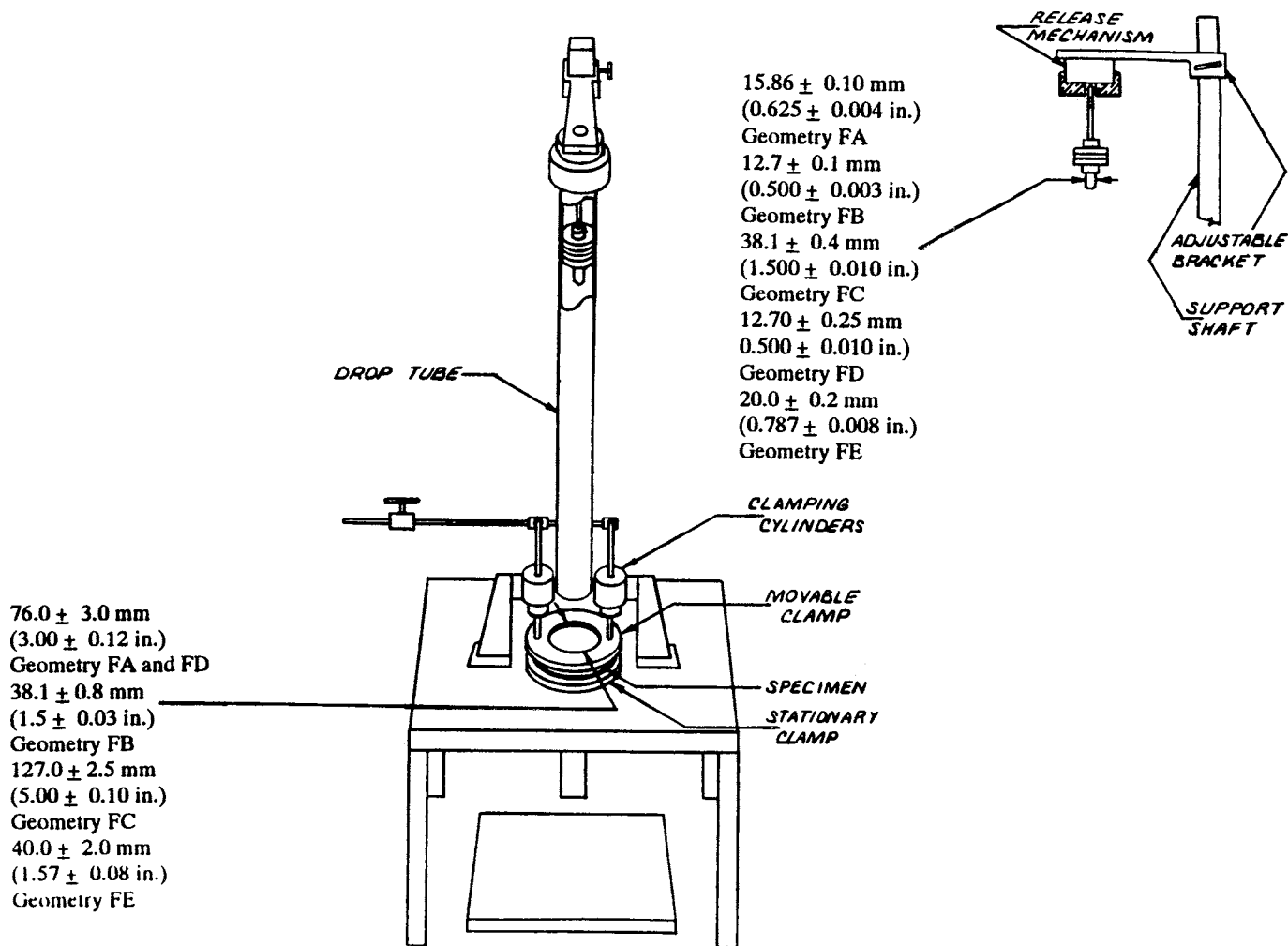


FIG. 2 One Type of Falling Mass Impact Tester

7.1.1 *Specimen Clamp*—For flat specimens, a two-piece annular specimen clamp similar to that shown in Fig. 3 is recommended. For Geometries FA and FD, the inside diameter should be 76.0 ± 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.). 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 are ensured through the use of a tube or cage within which the tup falls. In this event, care should be exercised so that any friction that develops will not reduce the velocity of the tup appreciably.

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

7.2 *Tup*:

7.2.1 The tup used in Geometry FA shall have a 15.86 ± 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 steel shaft about 13 mm (0.5 in.) in diameter shall be attached to the center of the flat surface of the head with its longitudinal

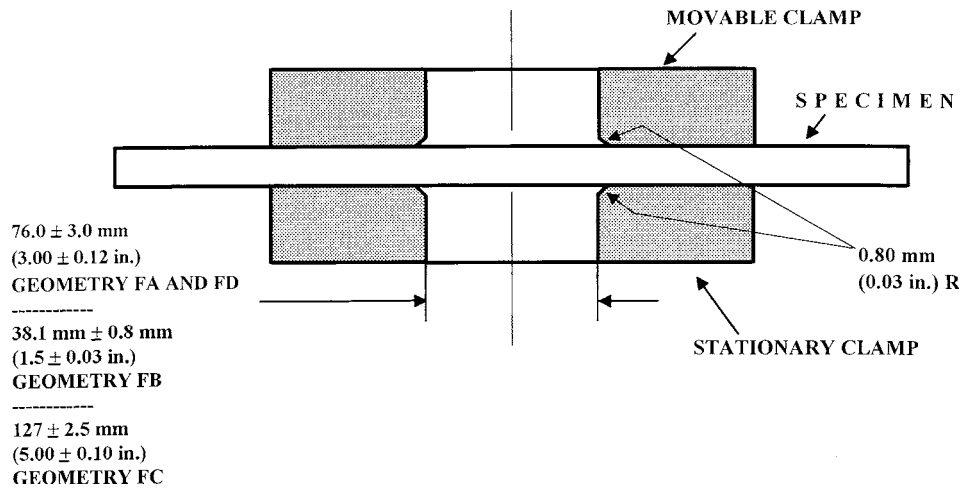


FIG. 3 Support Plate/Specimen/Clamp Configuration for Geometries FA, FB, FC, and FD

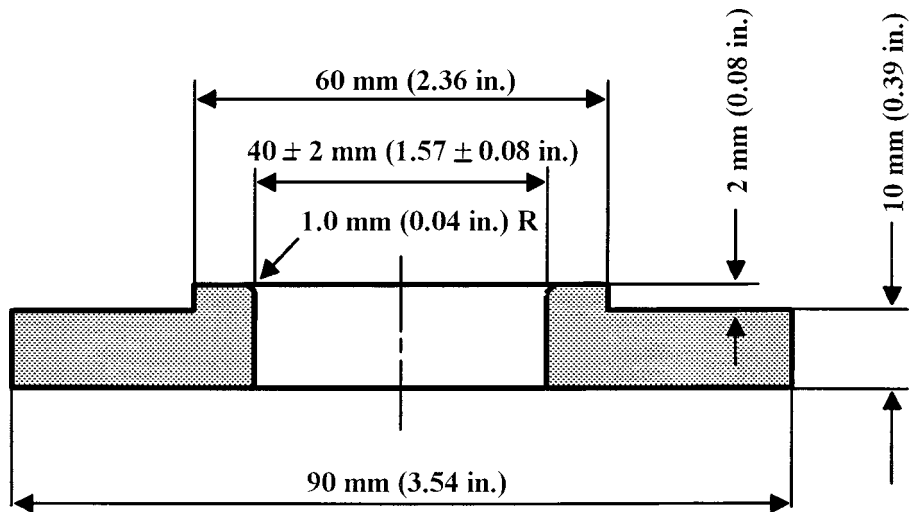


FIG. 4 Test-Specimen Support for Geometry FE

TABLE 1 Tup and Support Ring Dimensions

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

axis at 90° to that surface. The length of the shaft shall be great enough to accommodate the maximum mass (see Fig. 1(c) and Table 1).

7.2.4 The tup used in Geometry FD shall have a 12.70 ± 0.25-mm (0.500 ± 0.010-in.) diameter hemispherical head of tool steel hardened to 54 HRC or harder. A steel shaft about 8

mm (0.31 in.) in diameter shall be attached to the center of the flat surface of the head with its longitudinal axis at 90° to the surface. The length of the shaft shall be great enough to accommodate the maximum mass required (see Fig. 1(d) and Table 1).

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

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

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

measure and record thickness for one specimen when it has been previously demonstrated that the thickness does not vary by more than 5 %.

12.5 Choose a specimen at random from the sample.

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

12.7 Unless otherwise specified, initially position the tup 0.660 ± 0.008 m (26.0 ± 0.3 in.) from the surface of the specimen.

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

NOTE 5—If failures cannot be produced with the maximum available missile mass, the drop height can be increased. The test temperature could be reduced by (a) use of an ice-water mixture, or (b) by air-conditioned environment to provide one of the temperatures given in 3.3 of Test Methods D618. Conversely, if the unloaded tup causes failures when dropped 0.660 m, the drop height can be decreased. A moderate change in dart velocity will not usually affect the mean-failure energy appreciably. Refer to 5.1.

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

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

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

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

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

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

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

12.15 For any specimen that gives a break behavior that appears to be an outlier, the conditions of that impact shall be

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

13. Calculation

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

$$w = w_o + d_w(A/N \pm 0.5) \quad (1)$$

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:

$$s_w = 1.62d_w[B/N - (A/N)^2] + 0.047d_w \quad (3)$$

$$s_h = 1.62d_h[B/N - (A/N)^2] + 0.047d_h \quad (4)$$

where:

s_w = estimated standard deviation, mass, kg

s_h = estimated standard deviation, height, mm, and

Anexo 5. Informe técnico de los ensayos a tracción y flexión del material híbrido



LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES

ENSAYO DE TRACCIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS

Designación del material: Material compuesto híbrido reforzado con fibra de cabuya y algodón.

Método de ensayo: ASTM D3039-2015.

Empresa / Cliente: Sr Segundo Santiago Pacha Guashco.

Fecha de Inicio de Ensayo: 03 de Octubre de 2016.

Fecha de Finalización de Ensayo: 04 de Octubre de 2016.

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

| Nº | Identificación de grupo de muestra | Número de capas | Fracción volumétrica de FC | Orientación de la FC | Fracción volumétrica de FA | Orientación de la FA | Cantidad |
|----|------------------------------------|-----------------|----------------------------|----------------------|----------------------------|----------------------|----------|
| 1 | UTA-ETC 01- S PACHA | 3 | 17,5% | 0° | 7,5% | 90° | 5 |
| 2 | UTA-ETC 02- S PACHA | 3 | 22,5% | 0° | 7,5% | 90° | 5 |
| 3 | UTA-ETC 03- S PACHA | 2 | 30% | 0° | 5% | 90° | 5 |
| 4 | UTA-ETC 04- S PACHA | 3 | 17,5% | 45° | 7,5% | 135° | 5 |
| 5 | UTA-ETC 05- S PACHA | 3 | 22,5% | 45° | 7,5% | 135° | 5 |
| 6 | UTA-ETC 06- S PACHA | 2 | 30% | 45° | 5% | 135° | 5 |

Tejido Plano. Aplica a la fabricación de todas las probetas.

FC: Fibra de cabuya

FA: Fibra de algodón

Nota: Todas las probetas se realizaron bajo el proceso de fabricación de compresión.

| | |
|--|--|
| | |
| Elaborado por: | Aprobado por: |
| Ing. Fernando Galarza Chacón | Ing. Esteban López Espinel |
| Analista Técnico de Pruebas e Inspecciones CFPMC | Director Técnico de Pruebas e Inspecciones CFPMC |

Ambato, 12 de Septiembre de 2016.

Nº. Factura. 001-002-000001500





Centro de Fomento Productivo
Metalmeccánico Carracero



Honorable Gobierno
Provincial de Tungurahua

Resultados

| Muestra | Identificación de muestra | Temperatura y humedad | Dimensiones | Carga máxima (N) | Esfuerzo de fluencia (MPa) | Esfuerzo de Rotura (MPa) | Módulo de elasticidad (MPa) | % Elongación (Calculado) | Tipo de falla evaluado |
|---------|---------------------------|-----------------------|----------------|------------------|----------------------------|--------------------------|-----------------------------|--------------------------|------------------------|
| 1 | UTA-ETC 01- S PACHA-1 | 21°C , 57% | a=24,59,e=3,48 | 3746,12 | 5,84 | 43,38 | 106,28 | 3,65 | LAT |
| 2 | UTA-ETC 01- S PACHA-2 | 21°C , 57% | a=24,82,e=3,49 | 3522,87 | 4,37 | 38,97 | 61,44 | 3,66 | LAT |
| 3 | UTA-ETC 01- S PACHA-3 | 21°C , 57% | a=24,81,e=3,60 | 3650,78 | 4,63 | 40,51 | 57,62 | 4,14 | LIT |
| 4 | UTA-ETC 01- S PACHA-4 | 21°C , 57% | a=24,67,e=3,56 | 3644,40 | 3,44 | 41,50 | 28,47 | 4,36 | AGM |
| 5 | UTA-ETC 01- S PACHA-5 | 21°C , 57% | a=24,84,e=3,58 | 3455,57 | 4,77 | 38,43 | 75,05 | 3,43 | LIT |
| 6 | UTA-ETC 02- S PACHA-1 | 21°C , 57% | a=24,86,e=2,91 | 3187,34 | 5,56 | 43,56 | / | 4,33 | LAT |
| 7 | UTA-ETC 02- S PACHA-2 | 21°C , 57% | a=24,80,e=3,12 | 3427,87 | 4,35 | 42,82 | 57,37 | 4,08 | LAT |
| 8 | UTA-ETC 02- S PACHA-3 | 21°C , 57% | a=24,76,e=3,04 | 3180,29 | 5,67 | 41,79 | 77,41 | 4,42 | LAT |
| 9 | UTA-ETC 02- S PACHA-4 | 21°C , 57% | a=24,96,e=3,06 | 3150,41 | 5,58 | 40,29 | 98,98 | 3,85 | LAT |
| 10 | UTA-ETC 02- S PACHA-5 | 21°C , 57% | a=24,66,e=2,97 | 3044,83 | 4,18 | 49,22 | 53,22 | 3,58 | LAT |
| 11 | UTA-ETC 03- S PACHA-1 | 21°C , 58% | a=24,86,e=3,29 | 2684,96 | 4,79 | 32,53 | 66,17 | 2,59 | LAT |
| 12 | UTA-ETC 03- S PACHA-2 | 21°C , 58% | a=24,89,e=3,26 | 3175,92 | 4,29 | 39,14 | 58,88 | 2,44 | LAT |
| 13 | UTA-ETC 03- S PACHA-3 | 21°C , 58% | a=24,85,e=3,29 | 2826,29 | 3,91 | 34,57 | 54,97 | 5,61 | LAT |
| 14 | UTA-ETC 03- S PACHA-4 | 21°C , 58% | a=24,70,e=3,25 | 2685,29 | 3,90 | 32,90 | 56,99 | 3,30 | LAT |
| 15 | UTA-ETC 03- S PACHA-5 | 21°C , 58% | a=24,71,e=3,32 | 2498,31 | 4,49 | 30,45 | 69,92 | 1,58 | LIT |
| 16 | UTA-ETC 04- S PACHA-1 | 15°C , 87% | a=24,91,e=3,44 | 2160,42 | 2,89 | 25,21 | 37,13 | 2,90 | LAT |
| 17 | UTA-ETC 04- S PACHA-2 | 15°C , 87% | a=24,83,e=3,37 | 1729,88 | 3,78 | 20,66 | 67,79 | 2,00 | LAT |
| 18 | UTA-ETC 04- S PACHA-3 | 15°C , 87% | a=25,04,e=3,32 | 2177,37 | 3,78 | 26,19 | 48,04 | 2,62 | AGM |

Código: RG-RM-002
Fecha de Elaboración: 13-06-2016
Fecha de última aprobación: 26-10-2016
Revisión: 3

INFORME DE ENSAYO DE
TRACCIÓN MATERIALES
COMPUESTOS



| Muestra | Identificación de muestra | Temperatura y humedad | Dimensiones | Carga máxima (N) | Esfuerzo de fluencia (MPa) | Esfuerzo de Rotura (MPa) | Módulo de elasticidad (MPa) | % Elongación (Calculado) | Tipo de falla evaluado |
|---------|---------------------------|-----------------------|----------------|------------------|----------------------------|--------------------------|-----------------------------|--------------------------|------------------------|
| 19 | UTA-ETC 04- S PACHA-4 | 15°C , 87% | a=24,83;e=3,51 | 1732,73 | 3,51 | 19,83 | 51,22 | 2,05 | LAT |
| 20 | UTA-ETC 04- S PACHA-5 | 15°C , 87% | a=24,64;e=3,15 | 1669,79 | 3,14 | 19,47 | 37,46 | 2,63 | LAT |
| 21 | UTA-ETC 05- S PACHA-1 | 18°C , 77% | a=24,85;e=3,15 | 1924,09 | 3,18 | 24,58 | 30,80 | 2,80 | LAT |
| 22 | UTA-ETC 05- S PACHA-2 | 18°C , 77% | a=24,63;e=3,30 | 1840,66 | 3,63 | 22,65 | 43,18 | 2,58 | LAT |
| 23 | UTA-ETC 05- S PACHA-3 | 18°C , 77% | a=24,78;e=3,19 | 1863,49 | 3,82 | 23,57 | 56,21 | 2,54 | LAT |
| 24 | UTA-ETC 05- S PACHA-4 | 18°C , 77% | a=24,95;e=3,24 | 1501,10 | 3,00 | 18,57 | 33,21 | 2,35 | LAT |
| 25 | UTA-ETC 05- S PACHA-5 | 18°C , 77% | a=25,06;e=3,33 | 1893,54 | 3,67 | 22,69 | 50,30 | 2,51 | LAT |
| 26 | UTA-ETC 06- S PACHA-1 | 19°C , 76% | a=24,90;e=3,06 | 1940,37 | 3,76 | 25,47 | 55,36 | 2,43 | LAT |
| 27 | UTA-ETC 06- S PACHA-2 | 19°C , 76% | a=24,80;e=2,97 | 2114,93 | 4,88 | 28,71 | 65,54 | 2,91 | LAT |
| 28 | UTA-ETC 06- S PACHA-3 | 19°C , 76% | a=24,67;e=2,98 | 2276,24 | 4,29 | 30,96 | 54,41 | 2,71 | AGM |
| 29 | UTA-ETC 06- S PACHA-4 | 19°C , 76% | a=24,84;e=3,08 | 1906,29 | 4,45 | 24,92 | 78,74 | 2,46 | LAT |
| 30 | UTA-ETC 06- S PACHA-5 | 19°C , 76% | a=24,88;e=2,97 | 2152,70 | 3,99 | 29,13 | 59,55 | 2,75 | LIT |

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 |
|-----------------|------------------|-----------------|
| L | A | T |
| L | I | T |
| A | G | M |

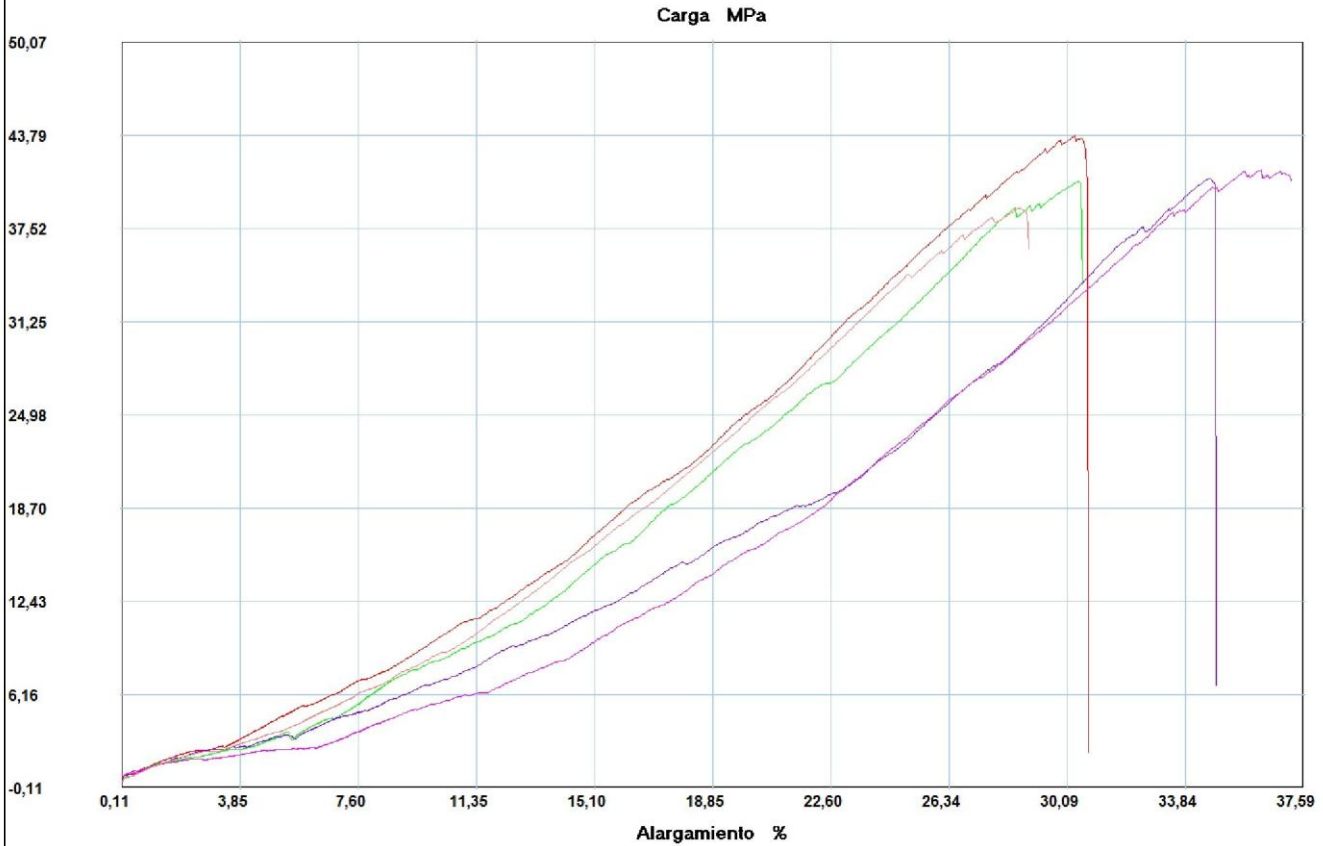
INFORME :
ENSAYO :

ETC 01- S PACHA
TRACCION



Referencia : MATERIAL COMPUESTO
 Cliente :
 Calidad :
 Operario : ING. F GALARZA
 Norma : ASTM D3039
 Fecha : 19/09/2016
 Hora : 16:25:31
 Temperatura : 21
 H.R.% : 57
 Pedido : UTA

M HIBRIDO 17,5% FC Y 7,5%FA 3 CAPAS



| Probeta | FMax N | C.Yield MPa | CRot MPa | MYoung MPa | FYield N |
|------------------|-----------------|----------------|---------------|----------------|----------------|
| 1 | 3746,12 | 5,84 | 43,38 | 106,28 | 499,69 |
| 2 | 3522,87 | 4,37 | 38,97 | 61,44 | 378,17 |
| 3 | 3650,78 | 4,63 | 40,51 | 57,62 | 414,09 |
| 4 | 3644,40 | 3,44 | 41,50 | 28,47 | 303,48 |
| 5 | 3455,57 | 4,77 | 38,43 | 75,05 | 424,33 |
| Media | 3603,948 | 4,608 | 40,557 | 65,771 | 403,952 |
| Desv. Std | 114,708 | 0,862 | 1,996 | 28,301 | 71,490 |
| Coef. V. | 0,032 | 0,187 | 0,049 | 0,430 | 0,177 |
| +3 Sigma | 3948,073 | 7,194 | 46,544 | 150,675 | 618,421 |

INFORME :
ENSAYO :

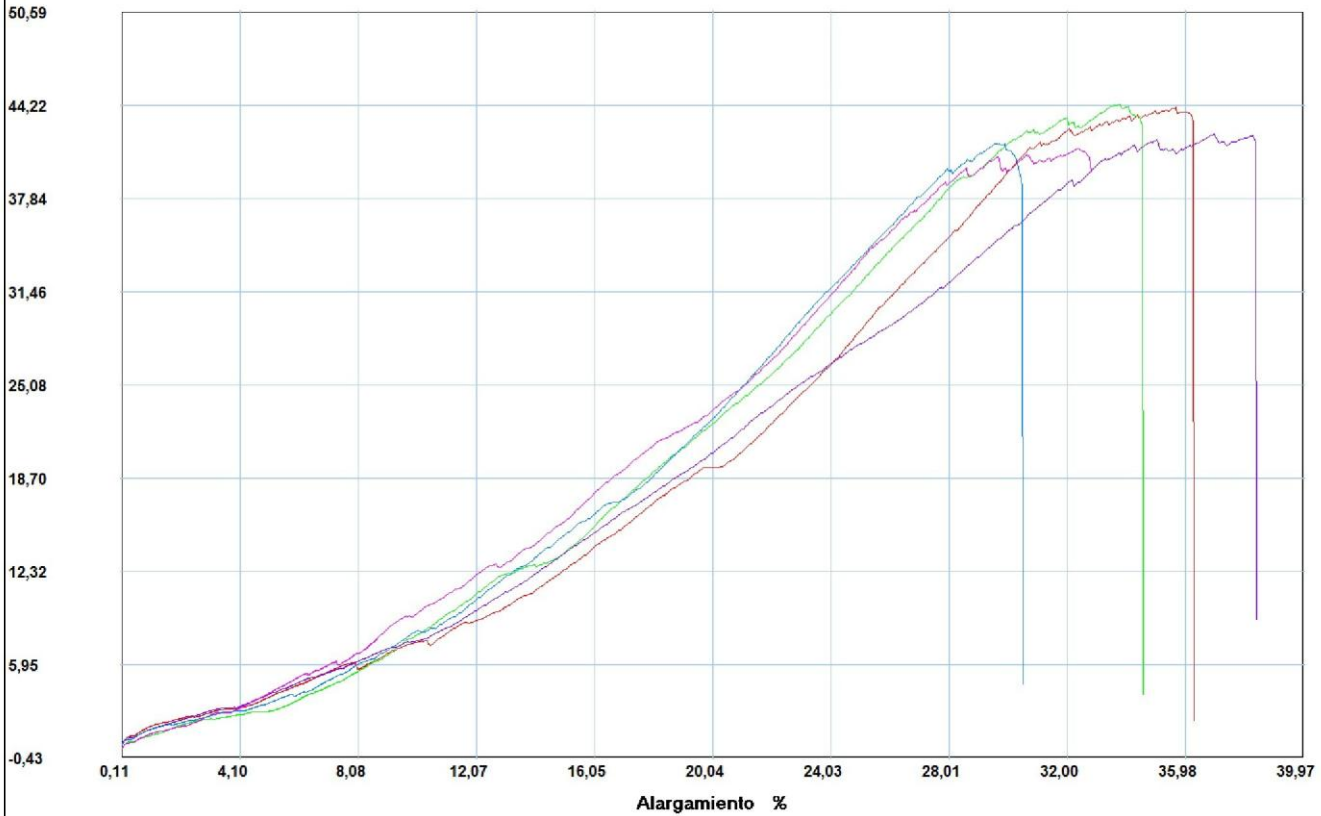
ETC 02 - S PACHA
TRACCION



Referencia : MATERIAL COMPUESTO
 Cliente :
 Calidad :
 Operario : ING. F. GALARZA
 Norma : ASTM D3039
 Fecha : 19/09/2016
 Hora : 16:26:00
 Temperatura : 21
 H.R.% : 57
 Pedido : UTA

M HIBRIDO 22,5% FC Y 7,5% FA 3 CAPAS

Carga MPa



| Probeta | FMax N | C.Yield MPa | CRot MPa | MYoung MPa | FYield N |
|------------------|-----------------|----------------|---------------|----------------|----------------|
| 1 | 3187,34 | 5,55 | 43,56 | 0,00 | 401,17 |
| 2 | 3427,87 | 4,35 | 42,82 | 57,37 | 337,21 |
| 3 | 3180,29 | 5,67 | 41,79 | 77,41 | 426,85 |
| 4 | 3150,41 | 5,58 | 40,29 | 98,99 | 426,34 |
| 5 | 3044,83 | 4,18 | 39,22 | 53,32 | 305,99 |
| Media | 3198,148 | 5,063 | 41,536 | 57,417 | 379,512 |
| Desv. Std | 140,529 | 0,736 | 1,782 | 36,882 | 54,995 |
| Coef. V. | 0,044 | 0,145 | 0,043 | 0,642 | 0,145 |
| +3 Sigma | 3619,734 | 7,270 | 46,880 | 168,062 | 544,497 |

INFORME :
ENSAYO :

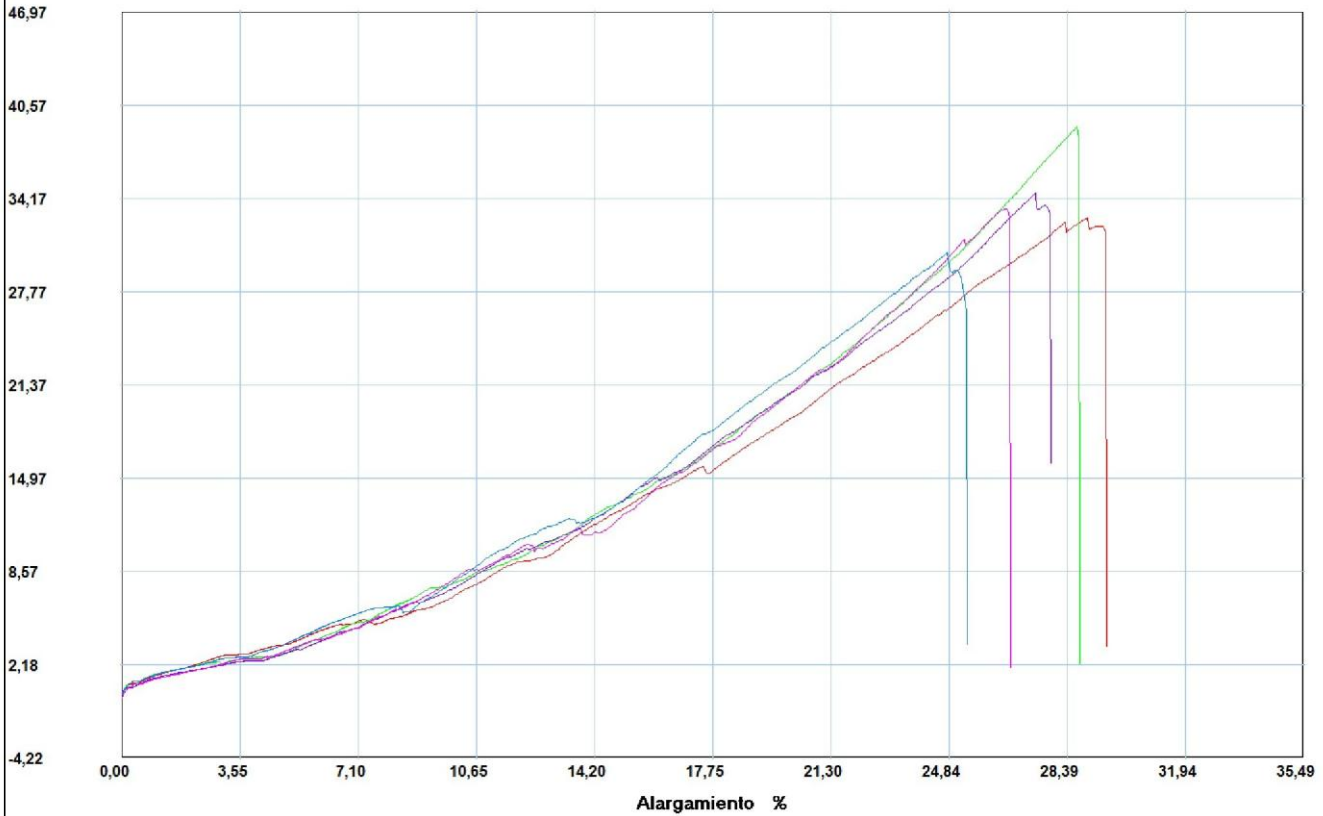
ETC 03 - S PACHA
TRACCION



Referencia : MATERIAL COMPUESTO
 Cliente :
 Calidad :
 Operario : ING. F. GALARZA
 Norma : ASTM D3039
 Fecha : 19/09/2016
 Hora : 16:26:26
 Temperatura : 21
 H.R.% : 58
 Pedido : UTA

M HIBRIDO 30% FC Y 5% FA 2 CAPAS

Carga MPa



| Probeta | FMax N | C.Yield MPa | CRot MPa | MYoung MPa | FYield N |
|------------------|-----------------|----------------|---------------|---------------|----------------|
| 1 | 2684,96 | 4,79 | 32,53 | 66,17 | 392,44 |
| 2 | 3175,92 | 4,29 | 39,14 | 58,88 | 347,96 |
| 3 | 2826,29 | 3,91 | 34,57 | 54,97 | 319,93 |
| 4 | 2685,29 | 3,90 | 32,90 | 56,99 | 313,88 |
| 5 | 2498,31 | 4,49 | 30,45 | 69,92 | 368,43 |
| Media | 2774,154 | 4,276 | 33,919 | 61,385 | 348,528 |
| Desv. Std | 253,020 | 0,381 | 3,266 | 6,376 | 32,951 |
| Coef. V. | 0,091 | 0,089 | 0,096 | 0,104 | 0,095 |
| +3 Sigma | 3533,214 | 5,418 | 43,716 | 80,514 | 447,380 |

INFORME :
ENSAYO :

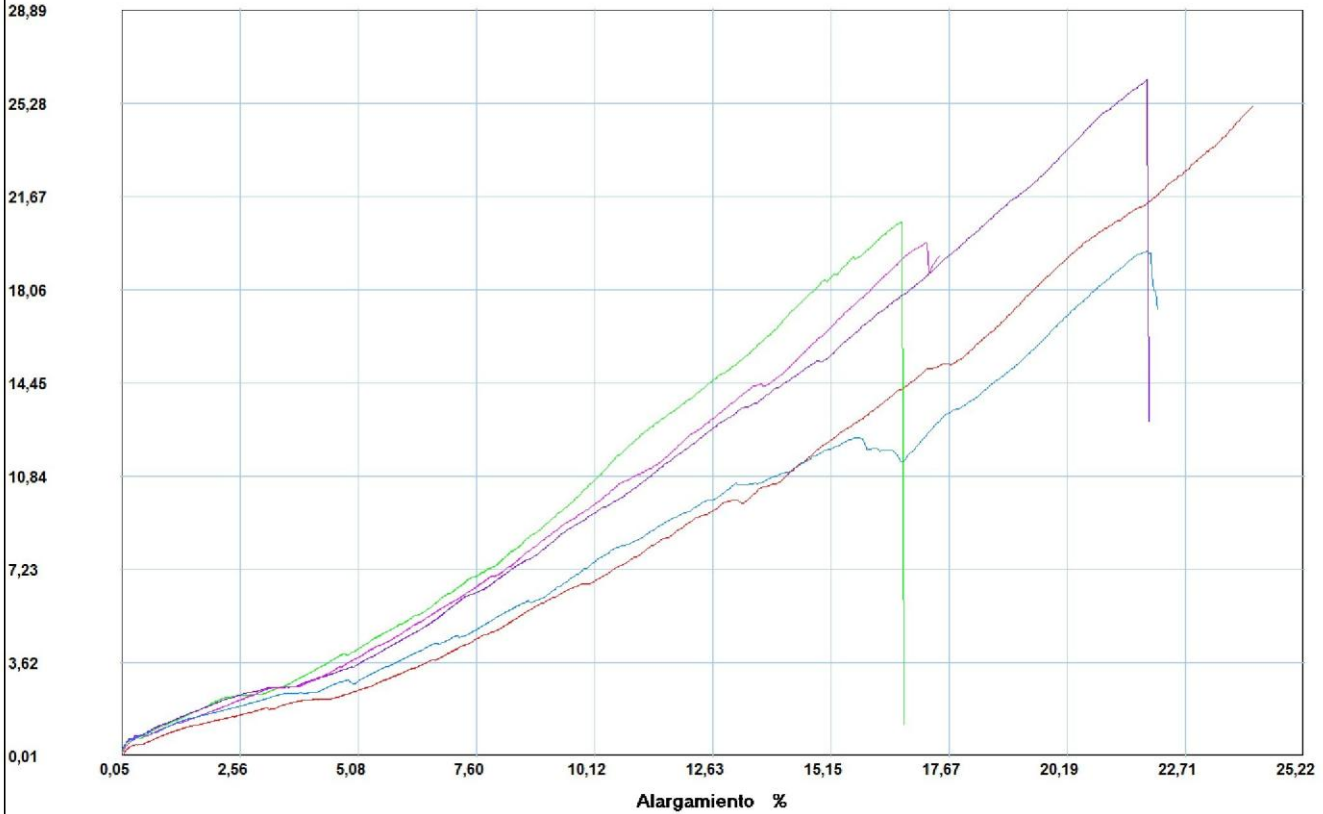
ETC 04 - S PACHA
TRACCION



Referencia : MATERIAL COMPUESTO
 Cliente :
 Calidad :
 Operario : ING. F. GALARZA
 Norma : ASTM D 3039
 Fecha : 19/09/2016
 Hora : 16:26:59
 Temperatura : 15
 H.R.% : 87
 Pedido : UTA

M HIBRIDO 17,5% 45 GRADOS Y 7,5% FA 3 CAPAS

Carga MPa



| Probeta | FMax N | C.Yield MPa | CRot MPa | MYoung MPa | FYield N |
|------------------|-----------------|----------------|---------------|---------------|----------------|
| 1 | 2160,42 | 2,89 | 25,21 | 37,13 | 247,75 |
| 2 | 1729,88 | 3,78 | 20,66 | 67,79 | 316,06 |
| 3 | 2177,37 | 3,78 | 26,19 | 48,04 | 314,72 |
| 4 | 1732,73 | 3,44 | 19,83 | 51,22 | 300,12 |
| 5 | 1669,79 | 3,14 | 19,47 | 37,46 | 268,90 |
| Media | 1894,038 | 3,408 | 22,273 | 48,329 | 289,510 |
| Desv. Std | 252,236 | 0,392 | 3,179 | 12,556 | 30,090 |
| Coef. V. | 0,133 | 0,115 | 0,143 | 0,260 | 0,104 |
| +3 Sigma | 2650,746 | 4,583 | 31,809 | 85,996 | 379,781 |

INFORME :
ENSAYO :

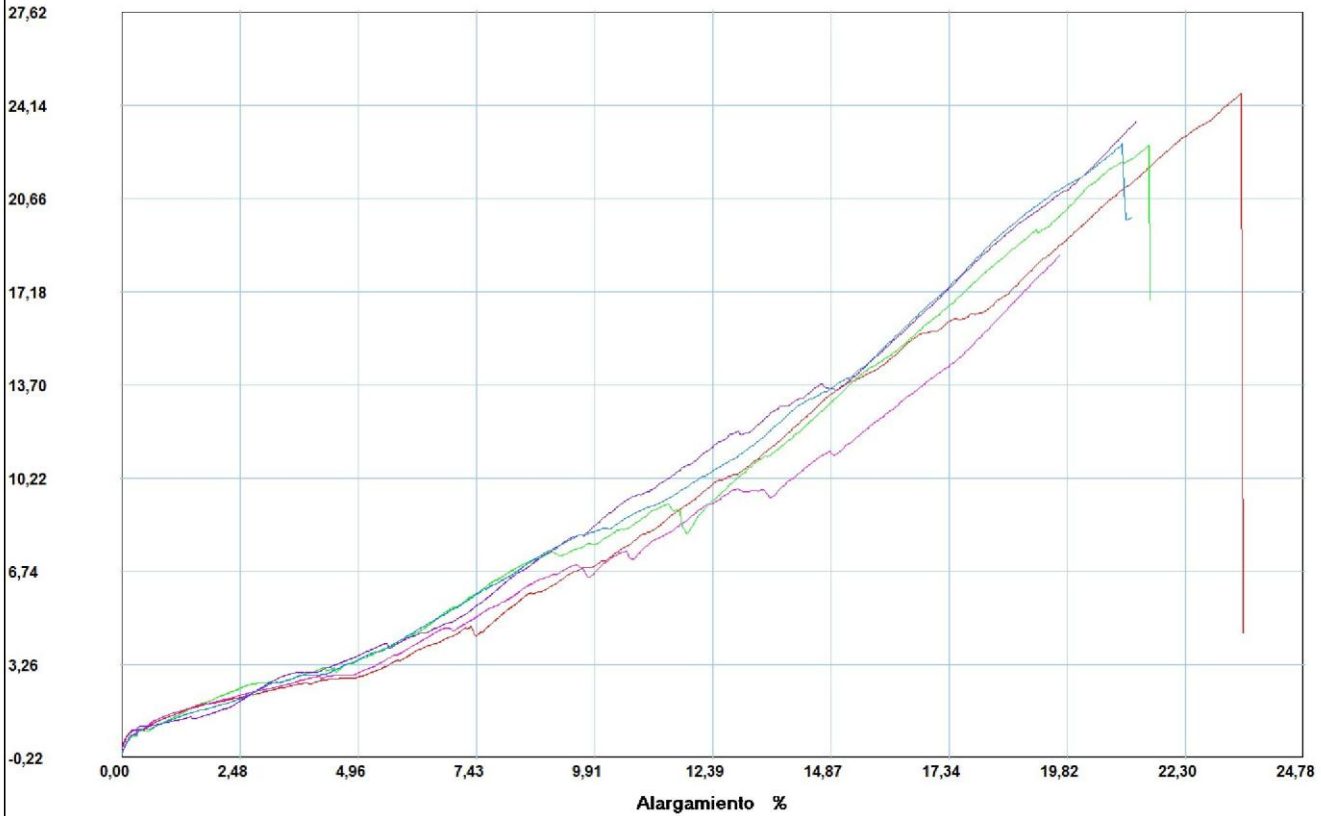
ETC 05 - S PACHA
TRACCION



Referencia : MATERIAL COMPUESTO
 Cliente :
 Calidad :
 Operario : ING. F. GALARZA
 Norma : ASTM D3039
 Fecha : 19/09/2016
 Hora : 16:27:23
 Temperatura : 18
 H.R.% : 77
 Pedido : UTA

M HIBRIDO 22,5% FC 45 GRADOS Y 7;5% FA

Carga MPa



| Probeta | FMax N | C.Yield MPa | CRot MPa | MYoung MPa | FYield N |
|------------------|-----------------|----------------|---------------|---------------|----------------|
| 1 | 1924,09 | 3,18 | 24,58 | 30,80 | 250,10 |
| 2 | 1840,66 | 3,63 | 22,65 | 43,18 | 296,59 |
| 3 | 1863,49 | 3,82 | 23,57 | 56,21 | 301,96 |
| 4 | 1501,10 | 3,00 | 18,57 | 33,21 | 242,71 |
| 5 | 1893,54 | 3,67 | 22,69 | 50,30 | 306,50 |
| Media | 1804,576 | 3,462 | 22,412 | 42,740 | 279,572 |
| Desv. Std | 172,532 | 0,350 | 2,289 | 10,863 | 30,591 |
| Coef. V. | 0,096 | 0,101 | 0,102 | 0,254 | 0,109 |
| +3 Sigma | 2322,171 | 4,512 | 29,278 | 75,330 | 371,346 |

INFORME :
ENSAYO :

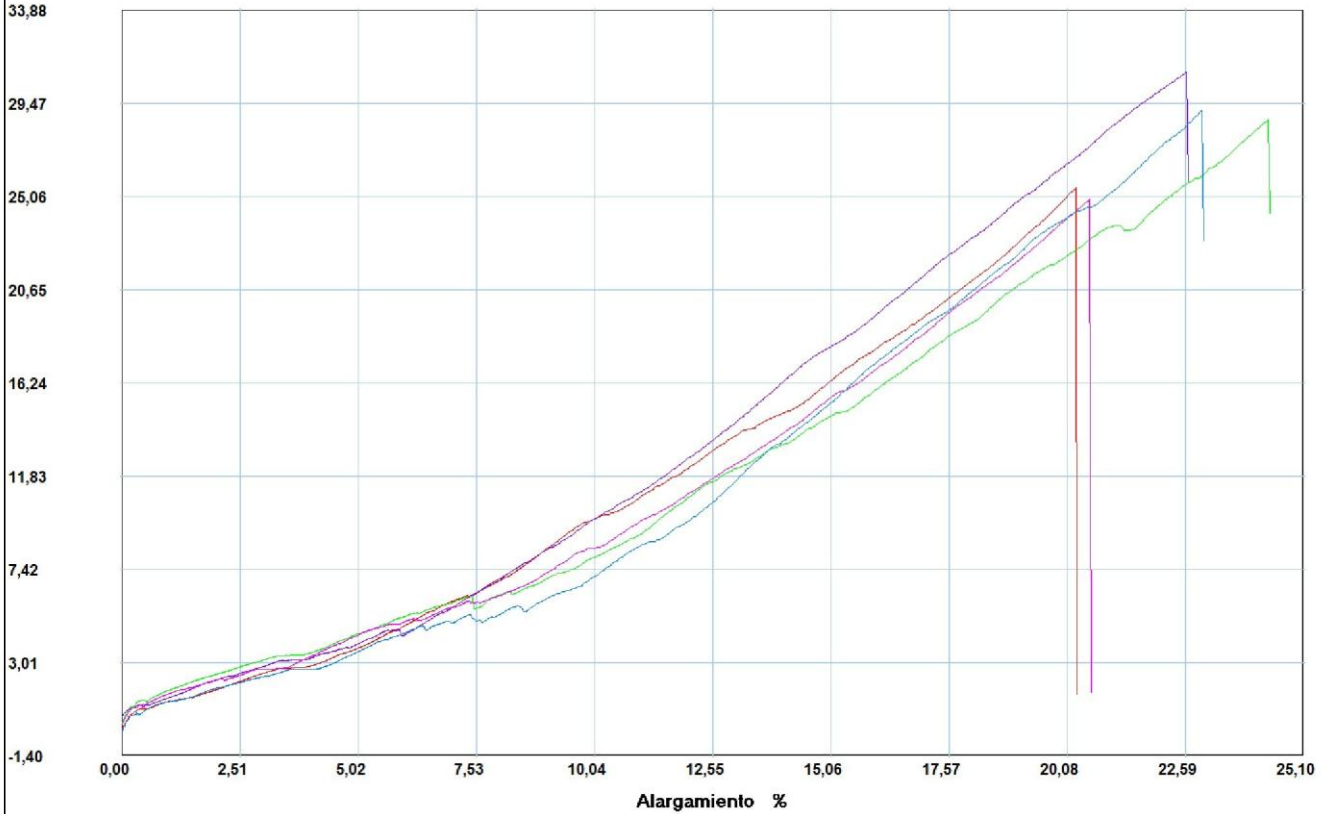
ETC 06 - S PACHA
TRACCION



Referencia : MATERIAL COMPUESTO
 Cliente :
 Calidad :
 Operario : ING. F. GALARZA
 Norma : ASTM D 3039
 Fecha : 19/09/2016
 Hora : 16:27:48
 Temperatura : 19
 H.R.% : 76
 Pedido : UTA

M HIBRIDO 30% FC 45 GRADOS Y 5% FA 2 CAPAS

Carga MPa



| Probeta | FMax N | C.Yield MPa | CRot MPa | MYoung MPa | FYield N |
|------------------|-----------------|----------------|---------------|---------------|----------------|
| 1 | 1940,37 | 3,76 | 25,47 | 55,36 | 287,53 |
| 2 | 2114,93 | 4,88 | 28,71 | 65,54 | 359,20 |
| 3 | 2276,24 | 4,29 | 30,96 | 54,41 | 316,23 |
| 4 | 1906,29 | 4,45 | 24,92 | 78,74 | 340,40 |
| 5 | 2152,70 | 3,99 | 29,13 | 59,55 | 295,08 |
| Media | 2078,106 | 4,275 | 27,838 | 62,722 | 319,688 |
| Desv. Std | 153,842 | 0,428 | 2,567 | 9,974 | 30,174 |
| Coef. V. | 0,074 | 0,100 | 0,092 | 0,159 | 0,094 |
| +3 Sigma | 2539,632 | 5,558 | 35,540 | 92,644 | 410,209 |



Centro de Fomento Productivo
Metalmecánico Carrocero



Honorable Gobierno
Provincial de Tungurahua

HOJA DE ALMACENAMIENTO DE MUESTRAS

| |
|--|
| DATOS DEL CLIENTE |
| Empresa / Cliente: Sr. Segundo Santiago Pacha Guashco. |
| DIRECCIÓN: Parroquia Juan Benigno Vela, Ambato. |
| NÚM. DE CEDULA / RUC: 1804978383 |
| E-MAIL: segundopatch@gmail.com |
| TELÉFONO: 0990808770 |

| |
|---|
| DATOS INFORMATIVOS |
| Laboratorio: Resistencia de Materiales. |
| Designación del material: Material compuesto híbrido reforzado con fibra de cabuya y algodón. |
| Método de ensayo: ASTM D3039-2015. |

| Nº | IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA | FECHA INGRESO | FECHA ELIMINACIÓN | RESPONSABLE | OBSERVACIONES | Evidencias |
|----|------------------------------|---------------|-------------------|-----------------|-----------------------|------------|
| 1 | UTA-ETC 01- S PACHA-1 | 13/09/2016 | | Ing. F. Galarza | Se almacena | |
| 2 | UTA-ETC 01- S PACHA-2 | 13/09/2016 | | Ing. F. Galarza | Se almacena | |
| 3 | UTA-ETC 01- S PACHA-3 | 13/09/2016 | 18/10/2016 | Ing. F. Galarza | Se entrega al cliente | |
| 4 | UTA-ETC 01- S PACHA-4 | 13/09/2016 | 18/10/2016 | Ing. F. Galarza | Se entrega al cliente | |
| 5 | UTA-ETC 01- S PACHA-5 | 13/09/2016 | 18/10/2016 | Ing. F. Galarza | Se entrega al cliente | |

Código: RG-RM-004
Fecha de Elaboración: 06-07-2016
Fecha de última aprobación: 07-07-2016
Revisión: 2

INFORME DE ENSAYO DE
TRACCIÓN MATERIALES
COMPUESTOS



| N° | IDENTIFICACION DE LA MUESTRA | FECHA INGRESO | FECHA ELIMINACION | RESPONSABLE | OBSERVACIONES | Evidencias |
|----|------------------------------|---------------|-------------------|-----------------|-----------------------|------------|
| 6 | UTA-ETC 02- S PACHA-1 | 13/09/2016 | | Ing. F. Galarza | Se almacena | |
| 7 | UTA-ETC 02- S PACHA-2 | 13/09/2016 | | Ing. F. Galarza | Se almacena | |
| 8 | UTA-ETC 02- S PACHA-3 | 13/09/2016 | 18/10/2016 | Ing. F. Galarza | Se entrega al cliente | |
| 9 | UTA-ETC 02- S PACHA-4 | 13/09/2016 | 18/10/2016 | Ing. F. Galarza | Se entrega al cliente | |
| 10 | UTA-ETC 02- S PACHA-5 | 13/09/2016 | 18/10/2016 | Ing. F. Galarza | Se entrega al cliente | |
| 11 | UTA-ETC 03- S PACHA-1 | 13/09/2016 | | Ing. F. Galarza | Se almacena | |
| 12 | UTA-ETC 03- S PACHA-2 | 13/09/2016 | | Ing. F. Galarza | Se almacena | |
| 13 | UTA-ETC 03- S PACHA-3 | 13/09/2016 | 18/10/2016 | Ing. F. Galarza | Se entrega al cliente | |
| 14 | UTA-ETC 03- S PACHA-4 | 13/09/2016 | 18/10/2016 | Ing. F. Galarza | Se entrega al cliente | |
| 15 | UTA-ETC 03- S PACHA-5 | 13/09/2016 | 18/10/2016 | Ing. F. Galarza | Se entrega al cliente | |
| 16 | UTA-ETC 04- S PACHA-1 | 13/09/2016 | | Ing. F. Galarza | Se almacena | |
| 17 | UTA-ETC 04- S PACHA-2 | 13/09/2016 | | Ing. F. Galarza | Se almacena | |
| 18 | UTA-ETC 04- S PACHA-3 | 13/09/2016 | 18/10/2016 | Ing. F. Galarza | Se entrega al cliente | |
| 19 | UTA-ETC 04- S PACHA-4 | 13/09/2016 | 18/10/2016 | Ing. F. Galarza | Se entrega al cliente | |
| 20 | UTA-ETC 04- S PACHA-5 | 13/09/2016 | 18/10/2016 | Ing. F. Galarza | Se entrega al cliente | |
| 21 | UTA-ETC 05- S PACHA-1 | 13/09/2016 | | Ing. F. Galarza | Se almacena | |
| 22 | UTA-ETC 05- S PACHA-2 | 13/09/2016 | | Ing. F. Galarza | Se almacena | |
| 23 | UTA-ETC 05- S PACHA-3 | 13/09/2016 | 18/10/2016 | Ing. F. Galarza | Se entrega al cliente | |
| 24 | UTA-ETC 05- S PACHA-4 | 13/09/2016 | 18/10/2016 | Ing. F. Galarza | Se entrega al cliente | |
| 25 | UTA-ETC 05- S PACHA-5 | 13/09/2016 | 18/10/2016 | Ing. F. Galarza | Se entrega al cliente | |



| N° | IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA | FECHA INGRESO | FECHA ELIMINACIÓN | RESPONSABLE | OBSERVACIONES | Evidencias |
|----|------------------------------|---------------|-------------------|-----------------|-----------------------|------------|
| 26 | UTA-ETC 06- S PACHA-1 | 13/09/2016 | | Ing. F. Galarza | Se almacena | |
| 27 | UTA-ETC 06- S PACHA-2 | 13/09/2016 | | Ing. F. Galarza | Se almacena | |
| 28 | UTA-ETC 06- S PACHA-3 | 13/09/2016 | 18/10/2016 | Ing. F. Galarza | Se entrega al cliente | |
| 29 | UTA-ETC 06- S PACHA-4 | 13/09/2016 | 18/10/2016 | Ing. F. Galarza | Se entrega al cliente | |
| 30 | UTA-ETC 06- S PACHA-5 | 13/09/2016 | 18/10/2016 | Ing. F. Galarza | Se entrega al cliente | |

Las muestras por acuerdo fueron entregadas al cliente en el Laboratorio de Resistencia de Materiales del CFPMC del H.G.P. Tungurahua, el centro no se responsabiliza por el mantenimiento y almacenamiento de las mismas.

| | |
|--|---|
| | |
| Elaborado por: Ing. Fernando Galarza Chacón Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC | Aprobado por: Ing. Esteban López Espinel Director Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC |
| | Cliente |





LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES

ENSAYO DE FLEXIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS

Designación del material: Material compuesto híbrido reforzado con fibra de cabuya y algodón.

Método de ensayo: ASTM D7264-2015.

Empresa / Cliente: Sr Segundo Santiago Pacha Guashco.

Fecha de Inicio de Ensayo: 20 de Septiembre de 2016.

Fecha de Finalización de Ensayo: 26 de Septiembre de 2016.

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



| Nº | Identificación de grupo de muestra | Número de capas | Fracción volumétrica de FC | Orientación de la FC | Fracción volumétrica de FA | Orientación de la FA | Cantidad |
|----|------------------------------------|-----------------|----------------------------|----------------------|----------------------------|----------------------|----------|
| 1 | UTA-EFC 01- S PACHA | 3 | 17,5% | 0° | 7,5% | 90° | 5 |
| 2 | UTA-EFC 02- S PACHA | 3 | 22,5% | 0° | 7,5% | 90° | 5 |
| 3 | UTA-EFC 03- S PACHA | 2 | 30% | 0° | 5% | 90° | 5 |
| 4 | UTA-EFC 04- S PACHA | 3 | 17,5% | 45° | 7,5% | 135° | 5 |
| 5 | UTA-EFC 05- S PACHA | 3 | 22,5% | 45° | 7,5% | 135° | 5 |
| 6 | UTA-EFC 06- S PACHA | 2 | 30% | 45° | 5% | 135° | 5 |

Tejido Plano. Aplica a la fabricación de todas las probetas.

FC: Fibra de cabuya

FA: Fibra de algodón

Nota: Todas las probetas se realizaron bajo el proceso de fabricación de compresión.

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

Ambato, 12 de Septiembre de 2016.

Nº. Factura. 001-002-000001500



Resultados

| Muestra | Identificación de muestra | Temperatura y humedad | Dimensiones | Carga máxima (N) | Esfuerzo de Rotura (MPa) | Módulo de flexión (MPa) | Deflexión (mm) | Tipo de falla evaluado |
|---------|---------------------------|-----------------------|-----------------|------------------|--------------------------|-------------------------|----------------|------------------------|
| 31 | UTA-EFC 01- S PACHA-1 | 18°C, 61% | a=12,77; e=3,53 | 47,33 | 1,05 | 3909,17 | 20,001 | OAB |
| 32 | UTA-EFC 01- S PACHA-2 | 18°C, 61% | a=12,84; e=3,51 | 48,51 | 0,75 | 4450,03 | 25,176 | OAB |
| 33 | UTA-EFC 01- S PACHA-3 | 18°C, 61% | a=12,77; e=3,53 | 51,19 | 1,07 | 3762,26 | 25,148 | OAB |
| 34 | UTA-EFC 01- S PACHA-4 | 18°C, 61% | a=12,71; e=3,52 | 54,38 | 1,11 | 3844,73 | 31,677 | OAB |
| 35 | UTA-EFC 01- S PACHA-5 | 18°C, 61% | a=12,93; e=3,50 | 52,03 | 1,09 | 3927,27 | 29,162 | OAB |
| 6 | UTA-EFC 02- S PACHA-1 | 20°C, 53% | a=12,61; e=3,04 | 32,56 | 0,76 | 3923,88 | 36,745 | OAB |
| 7 | UTA-EFC 02- S PACHA-2 | 20°C, 53% | a=12,67; e=3,05 | 36,76 | 0,89 | 3606,74 | 35,510 | OAB |
| 8 | UTA-EFC 02- S PACHA-3 | 20°C, 53% | a=12,70; e=3,05 | 33,40 | 0,81 | 3878,82 | 31,049 | OAB |
| 9 | UTA-EFC 02- S PACHA-4 | 20°C, 53% | a=12,75; e=3,07 | 36,26 | 0,90 | 3813,43 | 31,437 | OAB |
| 10 | UTA-EFC 02- S PACHA-5 | 20°C, 53% | a=12,09; e=3,06 | 30,21 | 0,75 | 3725,25 | 32,014 | OAB |
| 11 | UTA-EFC 03- S PACHA-1 | 21°C, 52% | a=12,94; e=3,35 | 33,74 | 0,68 | 3605,41 | 17,944 | OAB |
| 12 | UTA-EFC 03- S PACHA-2 | 21°C, 52% | a=12,70; e=3,41 | 38,77 | 0,73 | 3327,54 | 15,372 | OAB |
| 13 | UTA-EFC 03- S PACHA-3 | 21°C, 52% | a=12,77; e=3,40 | 37,43 | 0,80 | 3659,03 | 14,132 | OAB |
| 14 | UTA-EFC 03- S PACHA-4 | 21°C, 52% | a=12,79; e=3,39 | 37,10 | 0,63 | 3455,99 | 16,988 | OAB |
| 15 | UTA-EFC 03- S PACHA-5 | 21°C, 52% | a=12,90; e=3,41 | 47,00 | 0,99 | 3490,44 | 22,901 | OAB |
| 16 | UTA-EFC 04- S PACHA-1 | 21°C, 52% | a=12,86; e=3,41 | 35,42 | 0,51 | 3286,14 | 18,374 | OAB |
| 17 | UTA-EFC 04- S PACHA-2 | 21°C, 52% | a=12,87; e=3,40 | 33,57 | 0,60 | 3080,11 | 15,106 | OAB |
| 18 | UTA-EFC 04- S PACHA-3 | 21°C, 52% | a=12,99; e=3,40 | 33,74 | 0,64 | 3157,97 | 12,679 | OAB |
| 19 | UTA-EFC 04- S PACHA-4 | 21°C, 52% | a=12,74; e=3,41 | 35,08 | 0,54 | 3310,51 | 13,163 | OAB |



Centro de Fomento Productivo
Metalmeccánico Carrocero



Honorable Gobierno
Provincial de Tungurahua

| Muestra | Identificación de muestra | Temperatura y humedad | Dimensiones | Carga máxima (N) | Esfuerzo de Rotura (MPa) | Módulo de flexión (MPa) | Deflexión (mm) | Tipo de falla evaluado |
|---------|---------------------------|-----------------------|------------------|------------------|--------------------------|-------------------------|----------------|------------------------|
| 20 | UTA-EFC 04- S PACHA-5 | 21°C , 52% | a=12,77 ; e=3,43 | 32,56 | 0,71 | 2939,84 | 17,940 | OAB |
| 21 | UTA-EFC 05- S PACHA-1 | 21°C , 54% | a=12,70 ; e=3,21 | 29,88 | 0,63 | 3121,80 | 12,032 | OAB |
| 22 | UTA-EFC 05- S PACHA-2 | 21°C , 54% | a=12,91 ; e=3,22 | 28,37 | 0,59 | 3423,45 | 16,202 | OAB |
| 23 | UTA-EFC 05- S PACHA-3 | 21°C , 54% | a=12,73 ; e=3,24 | 29,21 | 0,71 | 3064,33 | 16,801 | OAB |
| 24 | UTA-EFC 05- S PACHA-4 | 21°C , 54% | a=12,85 ; e=3,23 | 30,55 | 0,56 | 3170,90 | 24,330 | OAB |
| 25 | UTA-EFC 05- S PACHA-5 | 21°C , 54% | a=12,74 ; e=3,31 | 32,73 | 0,58 | 2815,04 | 14,084 | OAB |
| 26 | UTA-EFC 06- S PACHA-1 | 20°C , 55% | a=12,70 ; e=3,20 | 23,50 | 0,50 | 3651,15 | 11,168 | OAB |
| 27 | UTA-EFC 06- S PACHA-2 | 20°C , 55% | a=12,68 ; e=3,38 | 22,16 | 0,50 | 3843,16 | 9,613 | OAB |
| 28 | UTA-EFC 06- S PACHA-3 | 20°C , 55% | a=12,76 ; e=3,15 | 27,70 | 0,69 | 3234,31 | 11,898 | OAB |
| 29 | UTA-EFC 06- S PACHA-4 | 20°C , 55% | a=12,76 ; e=3,33 | 32,23 | 0,09 | 3121,50 | 13,180 | OAB |
| 30 | UTA-EFC 06- S PACHA-5 | 20°C , 55% | a=12,82 ; e=3,08 | 31,05 | 0,79 | 2966,31 | 14,053 | OAB |

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

| Primer caracter | Otro tipo | Segundo caracter | En el punto de carga | Tercer caracter | Fondo |
|-----------------|-----------|------------------|----------------------|-----------------|-------|
| O | | A | B | | |

Código: RG-RM-001
Fecha de Elaboración: 11-05-2016
Fecha de última aprobación: 26-10-2016
Revisión: 3

INFORME DE ENSAYO DE
FLEXIÓN MATERIALES
COMPUESTOS

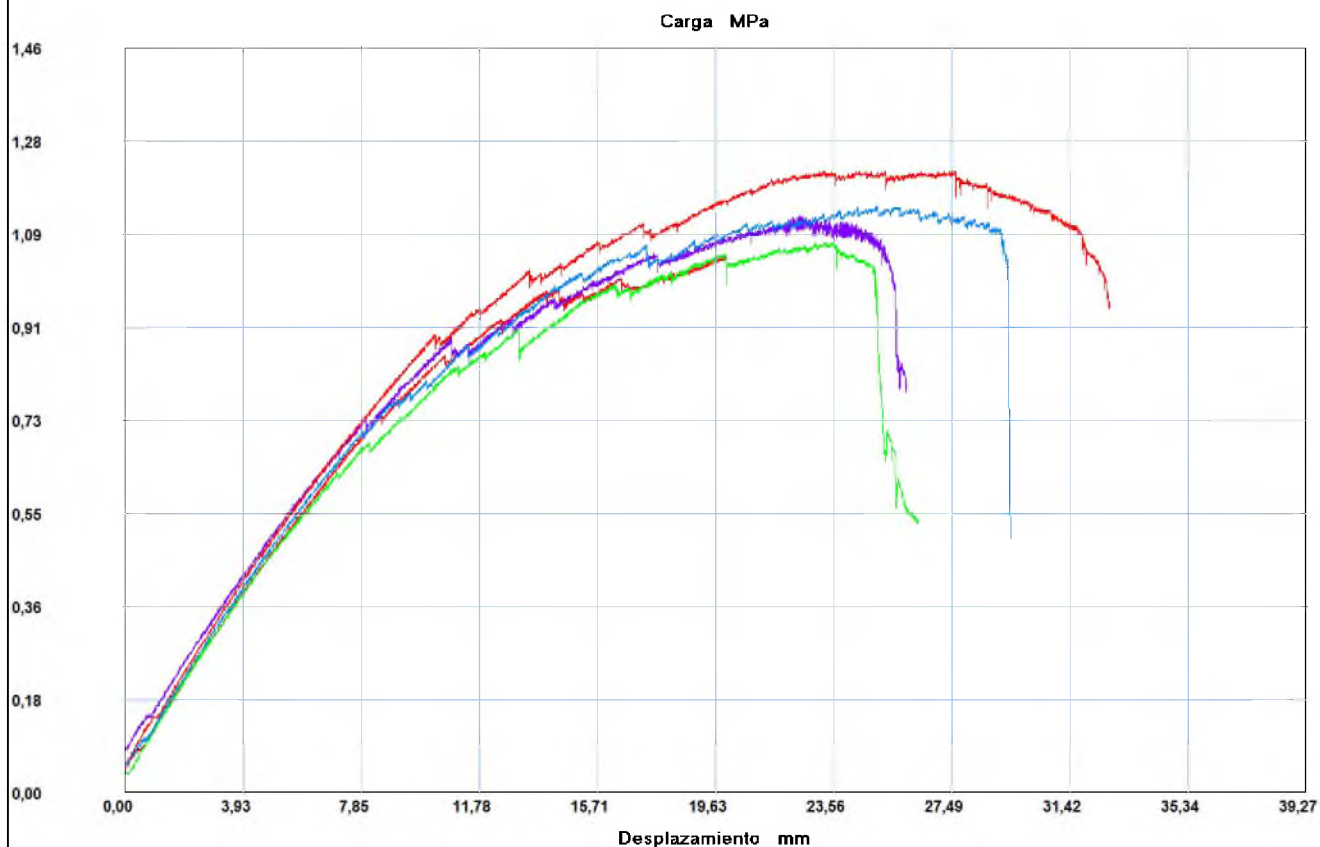
INFORME :
ENSAYO :

EFC 01- S PACHA
FLEXION 3P



Referencia : MATERIAL COMPUESTO
Cliente :
Calidad :
Operario : ING. F. GALARZA
Norma : ASTM D7264
Fecha : 20/09/2016
Hora : 16:26:36
Temperatura : 18
H.R.% : 61
Pedido : UTA

MATERIAL HIBRIDO 17,5% FC Y 7,5% FA 3 CAPAS



| Probeta | FMax N | CRot MPa | ModFlex MPa |
|-----------|-----------|-------------|----------------|
| 1 | 47,33 | 1,05 | 3909,17 |
| 2 | 48,51 | 0,75 | 4450,03 |
| 3 | 51,19 | 1,07 | 3762,26 |
| 4 | 54,38 | 1,11 | 3844,73 |
| 5 | 52,03 | 1,09 | 3927,27 |
| Media | 50,688 | 1,012 | 3978,691 |
| Desv. Std | 2,815 | 0,147 | 271,304 |
| Coef. V. | 0,056 | 0,145 | 0,068 |
| +3 Sigma | 59,134 | 1,452 | 4792,603 |

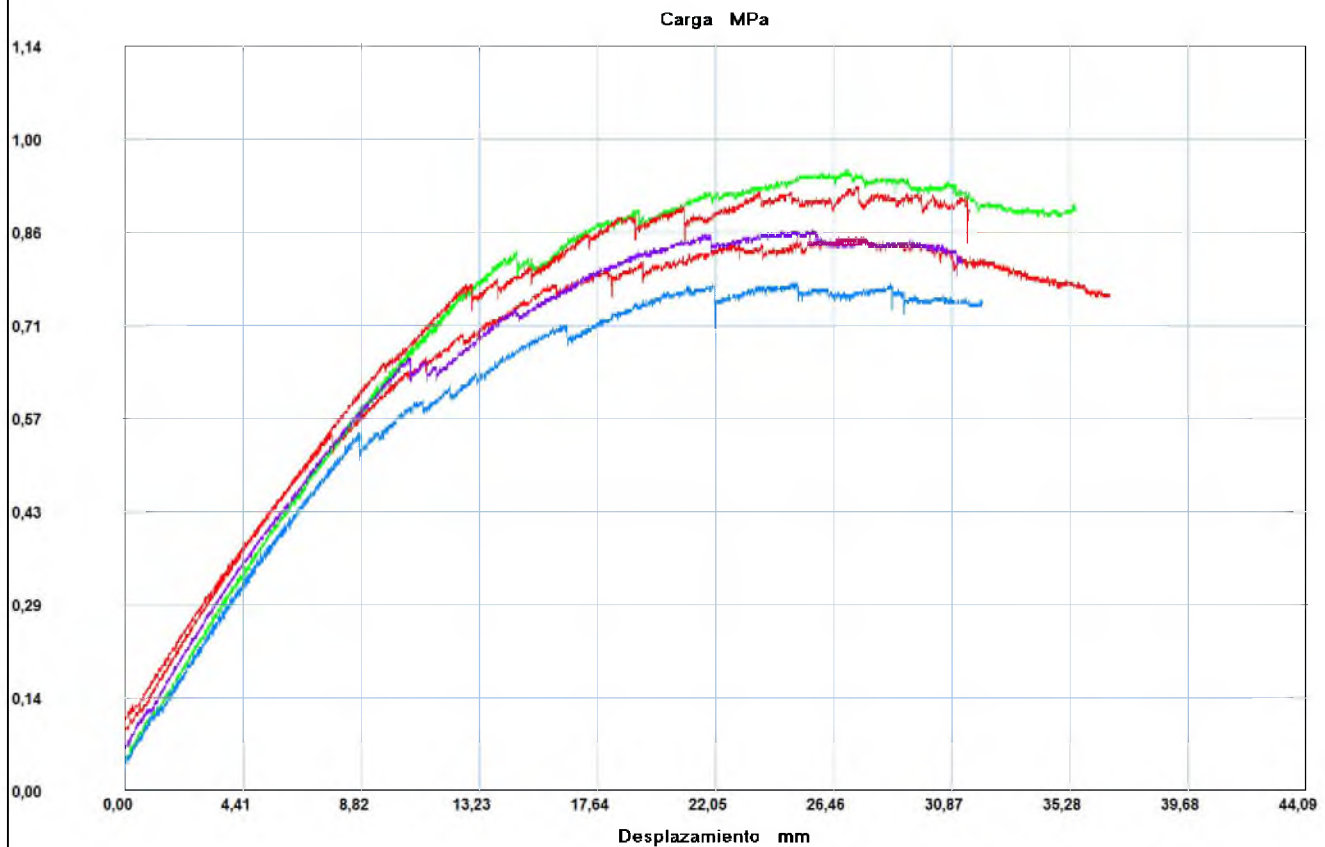
INFORME :
ENSAYO :

EFC 02- S PACHA
FLEXION 3P



Referencia : MATERIAL COMPUESTO
Cliente :
Calidad :
Operario : ING. F. GALARZA
Norma : ASTM D7264
Fecha : 26/09/2016
Hora : 12:25:45
Temperatura : 20
H.R.% : 53
Pedido : UTA

MATERIAL HIBRIDO 22,5% FC Y 7,5% FA 3 CAPAS



| Probeta | FMax N | CRot MPa | ModFlex MPa |
|-----------|-----------|-------------|----------------|
| 1 | 32,56 | 0,76 | 3923,88 |
| 2 | 36,76 | 0,89 | 3606,74 |
| 3 | 33,40 | 0,81 | 3878,82 |
| 4 | 36,26 | 0,90 | 3813,43 |
| 5 | 30,21 | 0,75 | 3725,25 |
| Media | 33,838 | 0,824 | 3789,623 |
| Desv. Std | 2,711 | 0,074 | 126,625 |
| Coef. V. | 0,080 | 0,090 | 0,033 |
| +3 Sigma | 41,970 | 1,046 | 4169,496 |

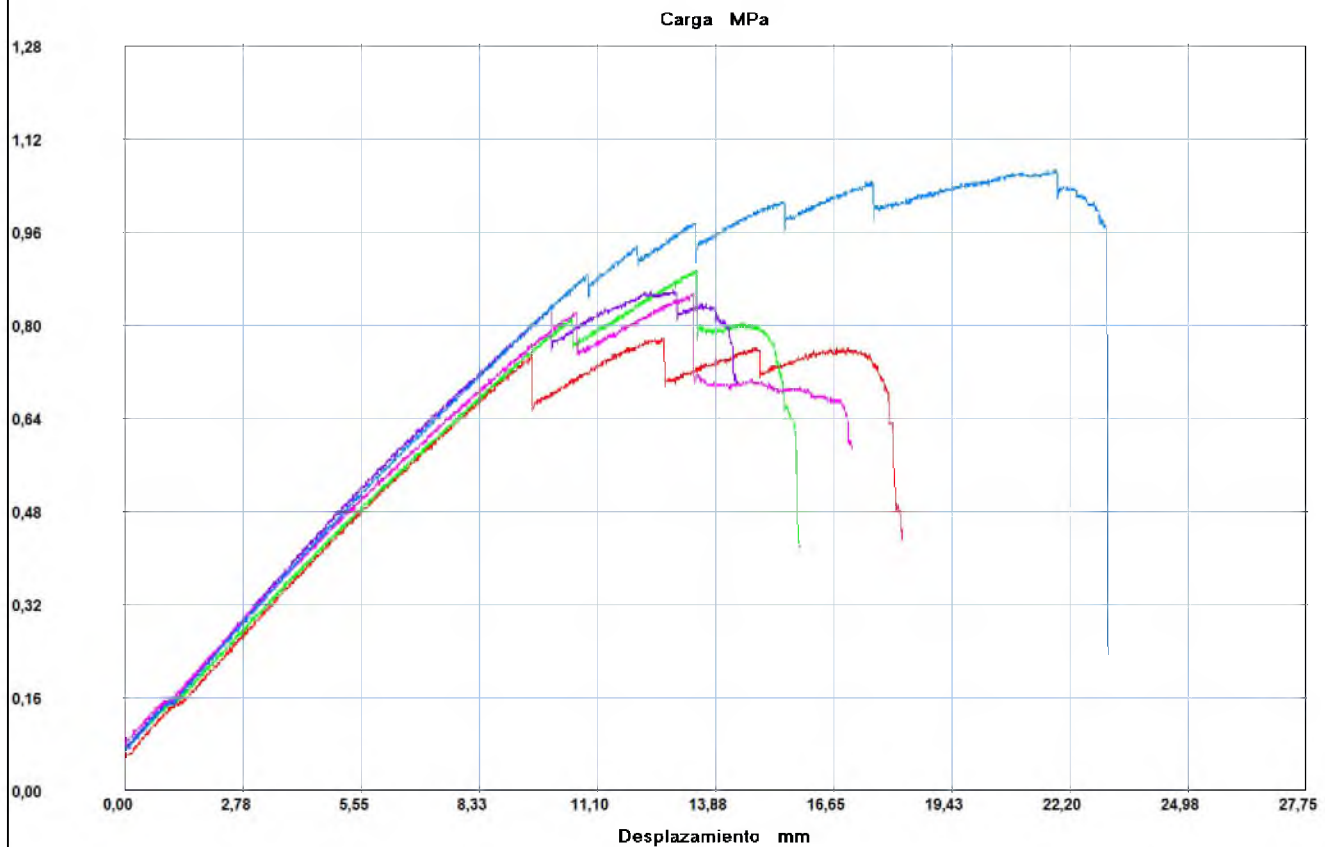
INFORME :
ENSAYO :

EFC 03- S PACHA
FLEXION 3P



Referencia : MATERIAL COMPUESTO
Cliente :
Calidad :
Operario : ING. F. GALARZA
Norma : ASTM D7264
Fecha : 26/09/2016
Hora : 12:26:28
Temperatura : 21
H.R.% : 52
Pedido : UTA

MATERIAL HIBRIDO 30% FC Y 5% FA 2 CAPAS



| Probeta | FMax N | CRot MPa | ModFlex MPa |
|-----------|-----------|-------------|----------------|
| 1 | 33,74 | 0,68 | 3605,41 |
| 2 | 38,77 | 0,73 | 3327,54 |
| 3 | 37,43 | 0,80 | 3659,03 |
| 4 | 37,10 | 0,63 | 3455,99 |
| 5 | 47,00 | 0,99 | 3490,44 |
| Media | 38,808 | 0,764 | 3507,681 |
| Desv. Std | 4,940 | 0,142 | 130,268 |
| Coef. V. | 0,127 | 0,186 | 0,037 |
| +3 Sigma | 53,628 | 1,190 | 3898,485 |

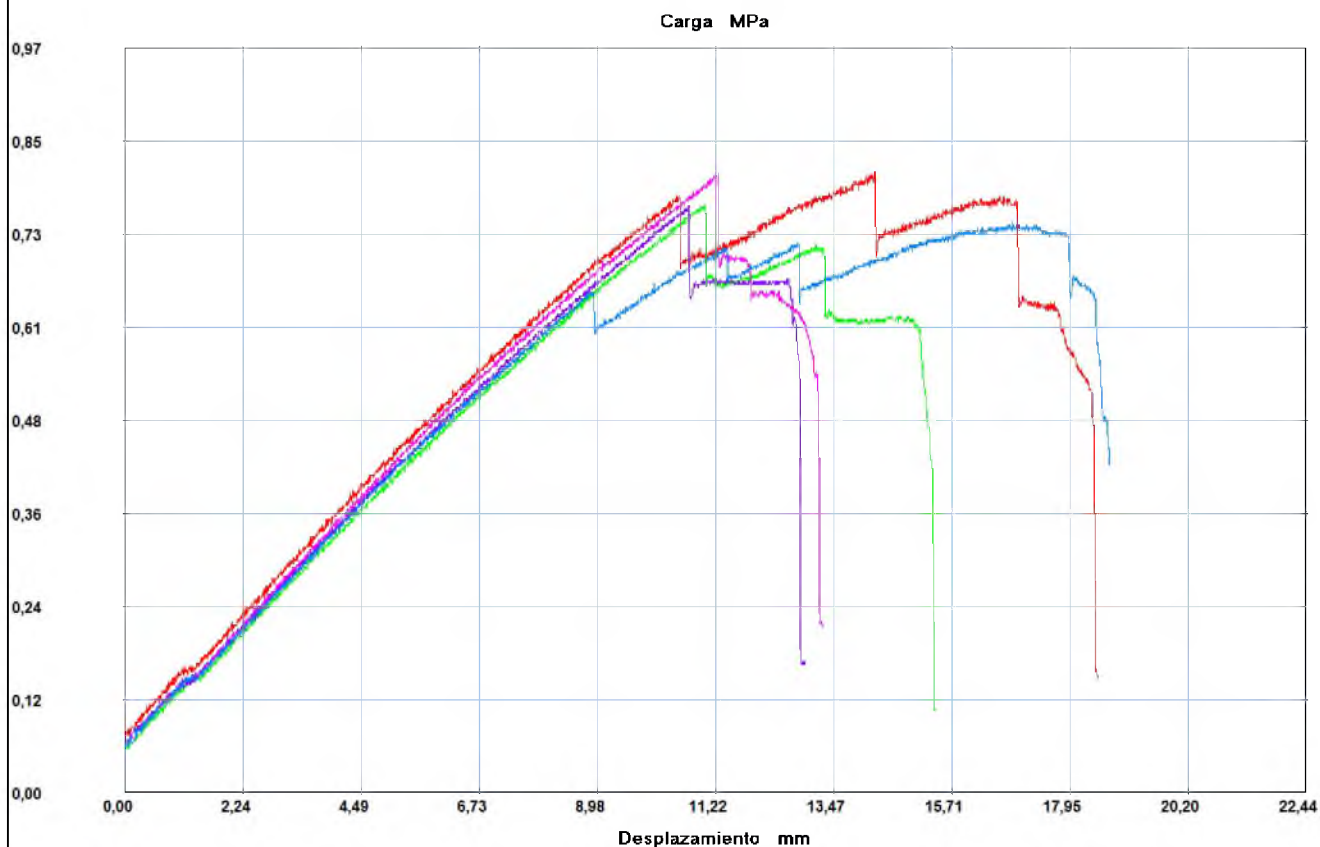
INFORME :
ENSAYO :

EFC 04- S PACHA
FLEXION 3P



Referencia : MATERIAL COMPUESTO
Cliente :
Calidad :
Operario : ING. F. GALARZA
Norma : ASTM D7264
Fecha : 26/09/2016
Hora : 12:27:14
Temperatura : 21
H.R.% : 52
Pedido : UTA

MATERIAL HIBRIDO 17,5% FC 45 GRADOS Y 7,5%



| Probeta | FMax N | CRot MPa | ModFlex MPa |
|-----------|-----------|-------------|----------------|
| 1 | 35,42 | 0,51 | 3286,14 |
| 2 | 33,57 | 0,60 | 3080,11 |
| 3 | 33,74 | 0,64 | 3157,97 |
| 4 | 35,08 | 0,54 | 3310,51 |
| 5 | 32,56 | 0,71 | 2939,84 |
| Media | 34,074 | 0,598 | 3154,913 |
| Desv. Std | 1,171 | 0,082 | 152,717 |
| Coef. V. | 0,034 | 0,137 | 0,048 |
| +3 Sigma | 37,586 | 0,844 | 3613,064 |

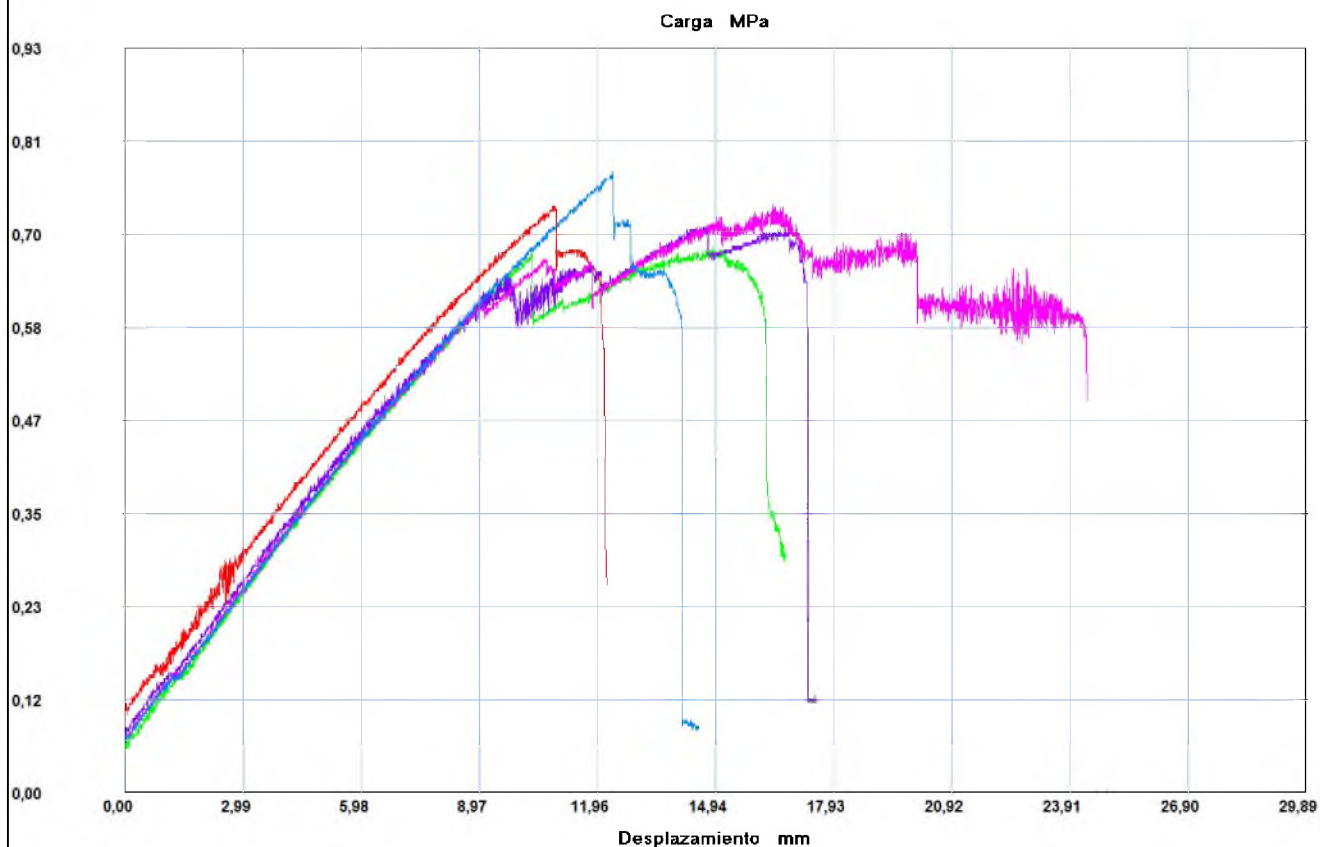
INFORME :
ENSAYO :

EFC 05- S PACHA
FLEXION 3P



Referencia : MATERIAL COMPUESTO
Cliente :
Calidad :
Operario : ING. F. GALARZA
Norma : ASTM D7264
Fecha : 26/09/2016
Hora : 12:27:49
Temperatura : 21
H.R.% : 54
Pedido : UTA

MATERIAL HIBRIDO 22;5% FC 45 GRADOS Y 7,5%



| Probeta | FMax N | CRot MPa | ModFlex MPa |
|-----------|-----------|-------------|----------------|
| 1 | 29,88 | 0,63 | 3121,80 |
| 2 | 28,37 | 0,59 | 3423,45 |
| 3 | 29,21 | 0,71 | 3064,33 |
| 4 | 30,55 | 0,56 | 3170,90 |
| 5 | 32,73 | 0,58 | 2815,04 |
| Media | 30,148 | 0,614 | 3119,105 |
| Desv. Std | 1,654 | 0,059 | 218,389 |
| Coef. V. | 0,055 | 0,096 | 0,070 |
| +3 Sigma | 35,110 | 0,791 | 3774,273 |

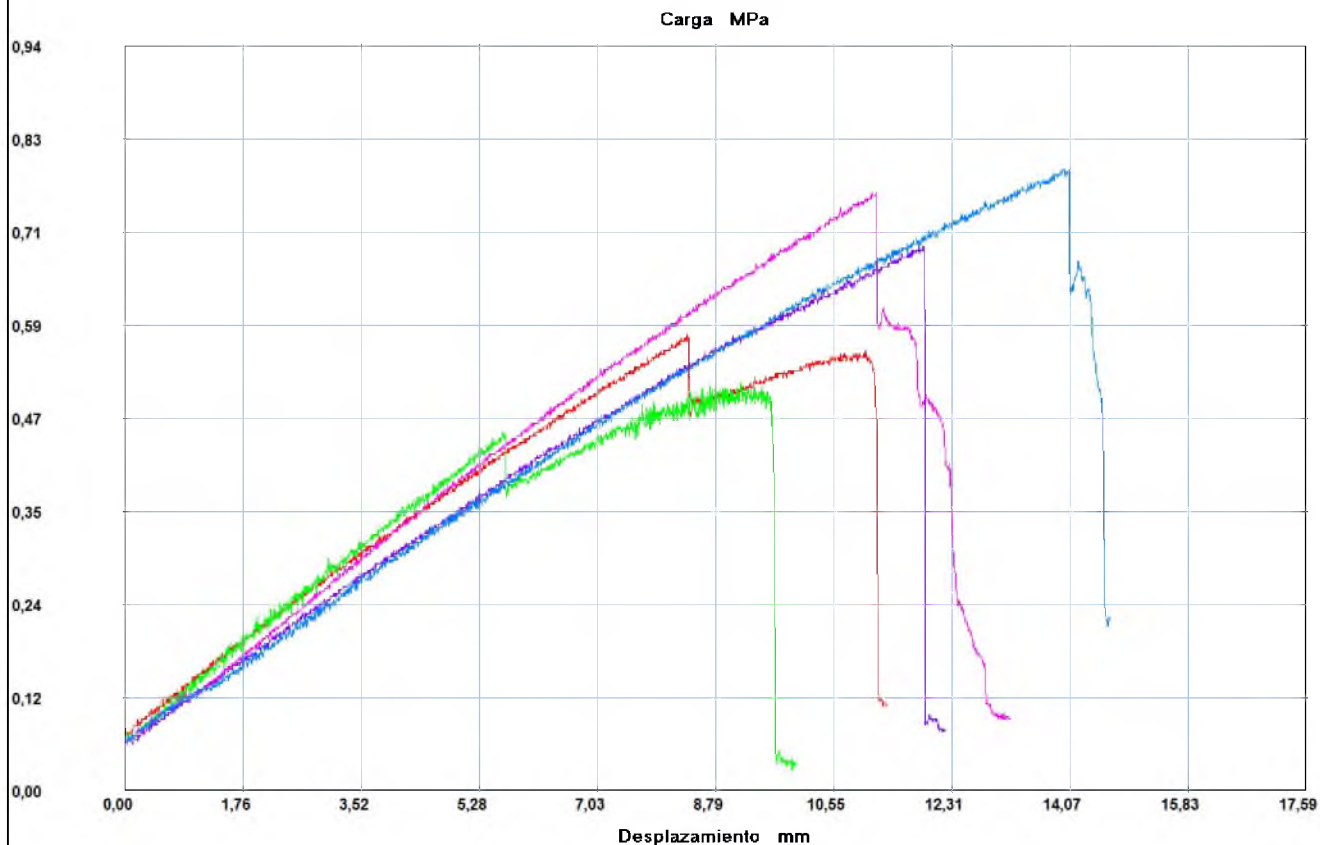
INFORME :
ENSAYO :

EFC 06- S PACHA
FLEXION 3P



Referencia : MATERIAL COMPUESTO
Cliente :
Calidad :
Operario : ING. F. GALARZA
Norma : ASTM D7264
Fecha : 26/09/2016
Hora : 12:28:32
Temperatura : 20
H.R.% : 55
Pedido : UTA

MATERIAL HIBRIDO 30% FC 45 GRADOS Y 5% FA 1



| Probeta | FMax N | CRot MPa | ModFlex MPa |
|-----------|-----------|-------------|----------------|
| 1 | 23,50 | 0,50 | 3651,15 |
| 2 | 22,16 | 0,50 | 3843,16 |
| 3 | 27,70 | 0,69 | 3234,31 |
| 4 | 32,23 | 0,09 | 3121,50 |
| 5 | 31,05 | 0,79 | 2966,31 |
| Media | 27,328 | 0,513 | 3363,287 |
| Desv. Std | 4,455 | 0,267 | 369,399 |
| Coef. V. | 0,163 | 0,520 | 0,110 |
| +3 Sigma | 40,693 | 1,313 | 4471,486 |



Centro de Fomento Productivo
Metalmecánico Carroceros



Honorable Gobierno
Provincial de Tungurahua

HOJA DE ALMACENAMIENTO DE MUESTRAS

DATOS DEL CLIENTE

| | |
|---|----------------------|
| Empresa / Cliente: Sr Segundo Santiago Pacha Guashco. | |
| DIRECCIÓN: Parroquia Juan Benigno Vela, Ambato. | |
| NÚM. DE CEDULA / RUC: 1804978383 | TELÉFONO: 0990808770 |
| E-MAIL: segundopatch@gmail.com | |

DATOS INFORMATIVOS

Laboratorio: Resistencia de Materiales
Designación del material: Material compuesto híbrido reforzado con fibra de cabuya y algodón.
Método de ensayo: ASTM D7264-2015

| Nº | IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA | FECHA INGRESO | FECHA ELIMINACIÓN | RESPONSABLE | OBSERVACIONES | Evidencias |
|----|------------------------------|---------------|-------------------|-----------------|-----------------------|------------|
| 31 | UTA-EFC 01- S PACHA-1 | 12/09/2016 | | Ing. F. Galarza | Se almacena | |
| 32 | UTA-EFC 01- S PACHA-2 | 12/09/2016 | | Ing. F. Galarza | Se almacena | |
| 33 | UTA-EFC 01- S PACHA-3 | 12/09/2016 | 10/10/2016 | Ing. F. Galarza | Se entrega al cliente | |
| 34 | UTA-EFC 01- S PACHA-4 | 12/09/2016 | 10/10/2016 | Ing. F. Galarza | Se entrega al cliente | |
| 35 | UTA-EFC 01- S PACHA-5 | 12/09/2016 | 10/10/2016 | Ing. F. Galarza | Se entrega al cliente | |
| 36 | UTA-EFC 02- S PACHA-1 | 12/09/2016 | | Ing. F. Galarza | Se almacena | |
| 37 | UTA-EFC 02- S PACHA-2 | 12/09/2016 | | Ing. F. Galarza | Se almacena | |
| 38 | UTA-EFC 02- S PACHA-3 | 12/09/2016 | 10/10/2016 | Ing. F. Galarza | Se entrega al cliente | |
| 39 | UTA-EFC 02- S PACHA-4 | 12/09/2016 | 10/10/2016 | Ing. F. Galarza | Se entrega al cliente | |
| 40 | UTA-EFC 02- S PACHA-5 | 12/09/2016 | 10/10/2016 | Ing. F. Galarza | Se entrega al cliente | |

Código: RG-RM-004

Fecha de Elaboración: 06-07-2016

Fecha de última aprobación: 07-07-2016

Revisión: 2

INFORME DE ENSAYO DE
FLEXIÓN MATERIALES
COMPUESTOS



| Nº | IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA | FECHA INGRESO | FECHA ELIMINACIÓN | RESPONSABLE | OBSERVACIONES | Evidencias |
|----|------------------------------|---------------|-------------------|-----------------|-----------------------|------------|
| 41 | UTA-EFC 03- S PACHA-1 | 12/09/2016 | | Ing. F. Galarza | Se almacena | |
| 42 | UTA-EFC 03- S PACHA-2 | 12/09/2016 | | Ing. F. Galarza | Se almacena | |
| 43 | UTA-EFC 03- S PACHA-3 | 12/09/2016 | 10/10/2016 | Ing. F. Galarza | Se entrega al cliente | |
| 44 | UTA-EFC 03- S PACHA-4 | 12/09/2016 | 10/10/2016 | Ing. F. Galarza | Se entrega al cliente | |
| 45 | UTA-EFC 03- S PACHA-5 | 12/09/2016 | 10/10/2016 | Ing. F. Galarza | Se entrega al cliente | |
| 46 | UTA-EFC 04- S PACHA-1 | 12/09/2016 | | Ing. F. Galarza | Se almacena | |
| 47 | UTA-EFC 04- S PACHA-2 | 12/09/2016 | | Ing. F. Galarza | Se almacena | |
| 48 | UTA-EFC 04- S PACHA-3 | 12/09/2016 | 10/10/2016 | Ing. F. Galarza | Se entrega al cliente | |
| 49 | UTA-EFC 04- S PACHA-4 | 12/09/2016 | 10/10/2016 | Ing. F. Galarza | Se entrega al cliente | |
| 50 | UTA-EFC 04- S PACHA-5 | 12/09/2016 | 10/10/2016 | Ing. F. Galarza | Se entrega al cliente | |
| 51 | UTA-EFC 05- S PACHA-1 | 12/09/2016 | | Ing. F. Galarza | Se almacena | |
| 52 | UTA-EFC 05- S PACHA-2 | 12/09/2016 | | Ing. F. Galarza | Se almacena | |
| 53 | UTA-EFC 05- S PACHA-3 | 12/09/2016 | 10/10/2016 | Ing. F. Galarza | Se entrega al cliente | |
| 54 | UTA-EFC 05- S PACHA-4 | 12/09/2016 | 10/10/2016 | Ing. F. Galarza | Se entrega al cliente | |
| 55 | UTA-EFC 05- S PACHA-5 | 12/09/2016 | 10/10/2016 | Ing. F. Galarza | Se entrega al cliente | |
| 56 | UTA-EFC 06- S PACHA-1 | 12/09/2016 | | Ing. F. Galarza | Se almacena | |
| 57 | UTA-EFC 06- S PACHA-2 | 12/09/2016 | | Ing. F. Galarza | Se almacena | |
| 58 | UTA-EFC 06- S PACHA-3 | 12/09/2016 | 10/10/2016 | Ing. F. Galarza | Se entrega al cliente | |
| 59 | UTA-EFC 06- S PACHA-4 | 12/09/2016 | 10/10/2016 | Ing. F. Galarza | Se entrega al cliente | |
| 60 | UTA-EFC 06- S PACHA-5 | 12/09/2016 | 10/10/2016 | Ing. F. Galarza | Se entrega al cliente | |



Centro de Fomento Productivo
Metalmeccánico Carrocero



Honorable Gobierno
Provincial de Tungurahua

Las dos primeras muestras de cada grupo por acuerdo con el cliente se almacenan en el CFPMC. El centro no se responsabiliza por el mantenimiento y almacenamiento de las otras, quedando a responsabilidad del cliente su resguardo.

| | |
|--|---|
| | |
| Elaborado por: Ing. Fernando Galarza Chacón Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC | Aprobado por: Ing. Esteban López Espinel Director Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC |
| | |
| Cliente | |

Código: RG-RM-004

Fecha de Elaboración: 06-07-2016

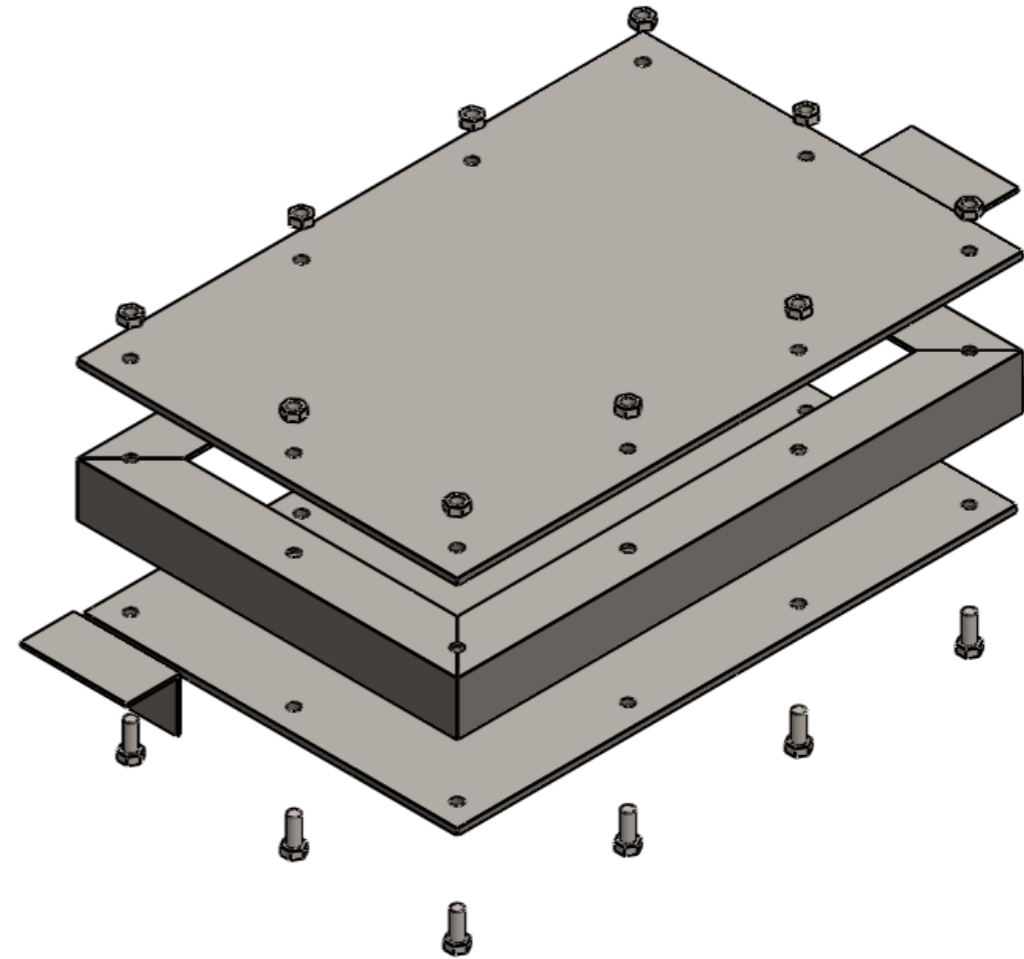
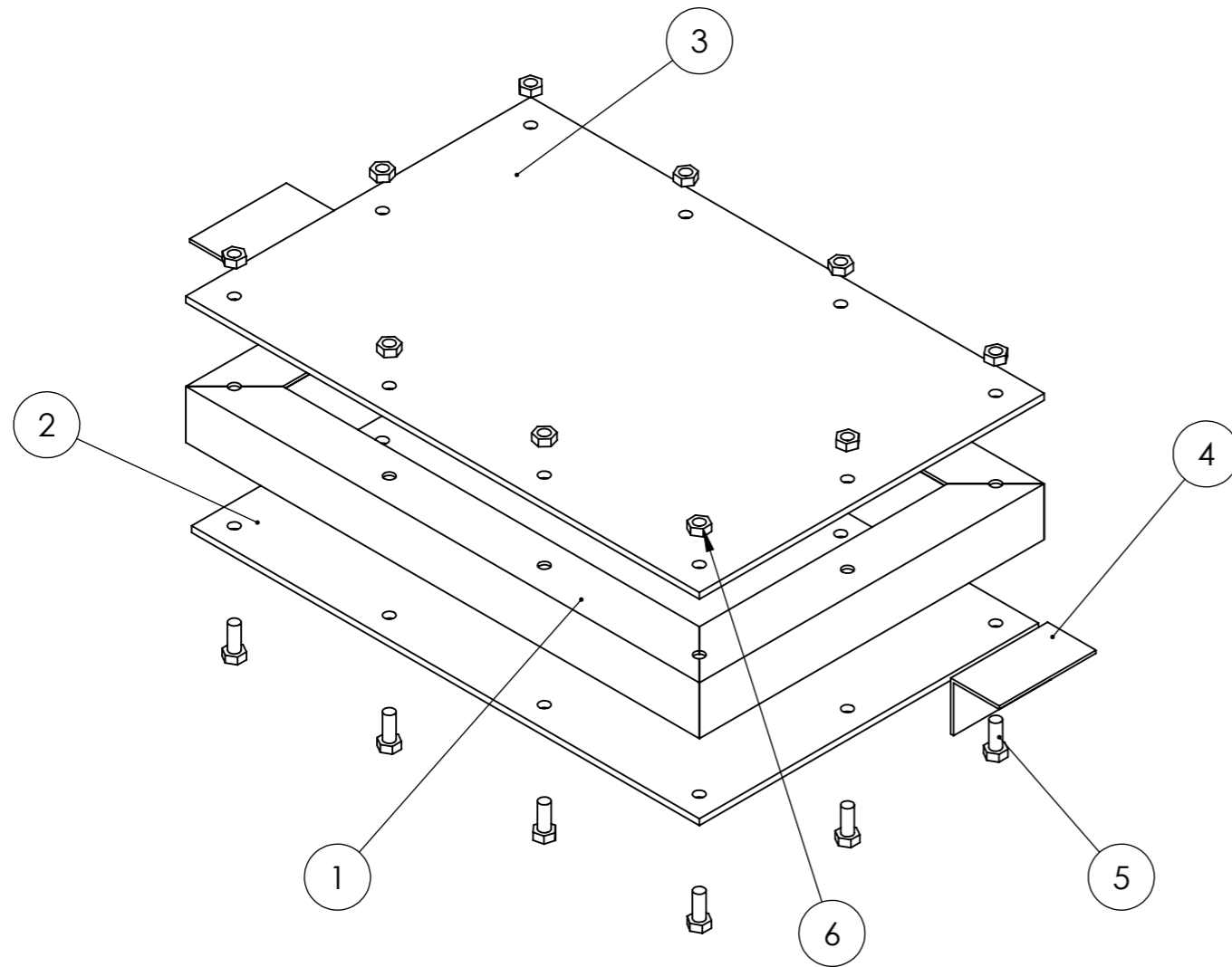
Fecha de última aprobación: 07-07-2016

Revisión: 2

INFORME DE ENSAYO DE
FLEXIÓN MATERIALES
COMPUESTOS

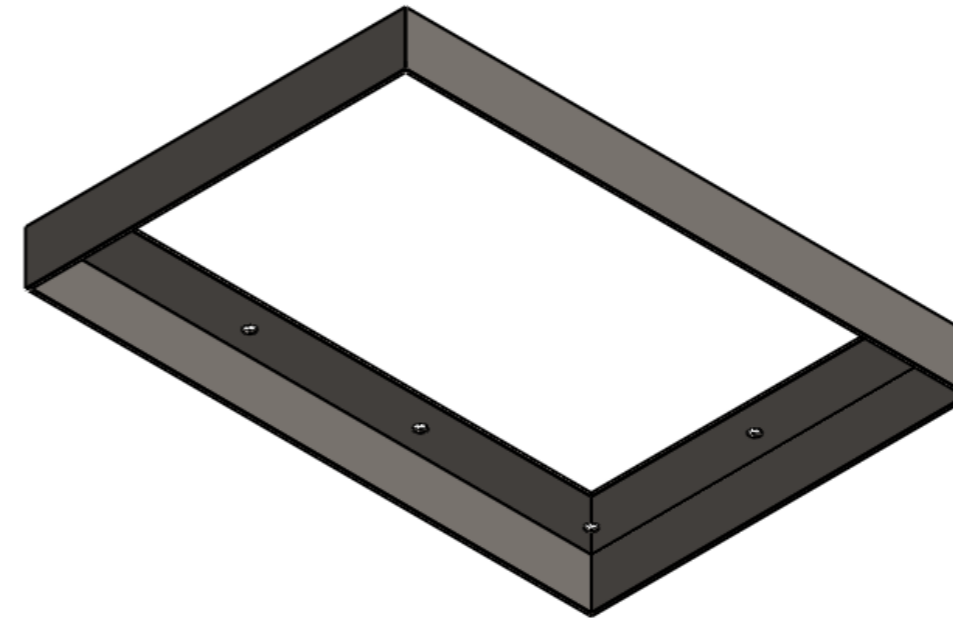
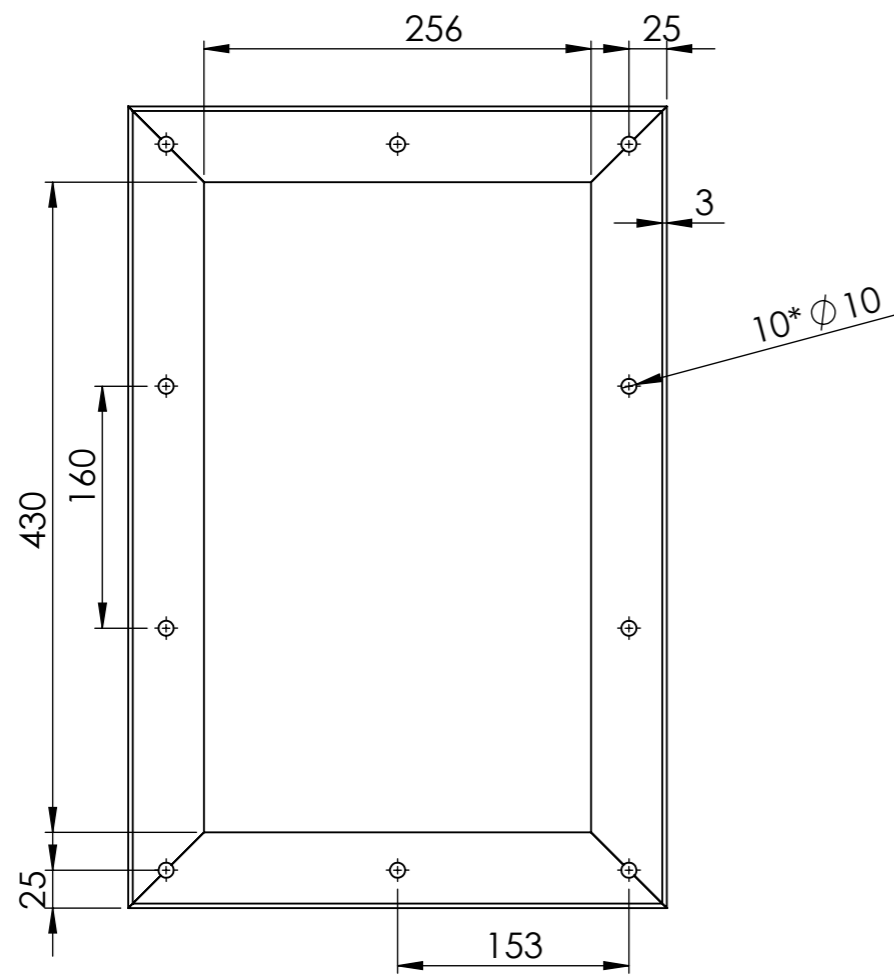
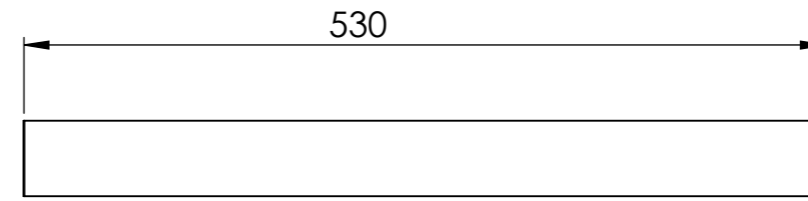
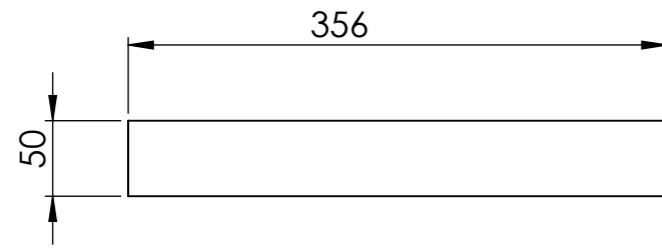
Página 3 de 3

Anexo 6: PLANOS



| N.º DE ELEMENTO | N.º DE PIEZA | MATERIAL | CANTIDAD |
|-----------------|---------------------------------------|------------------------------|----------|
| 6 | Tuerca hexagonal rosca M12 | Acero | 10 |
| 5 | Perno Hexagonal de rosca gruesa 1*1/2 | Acero | 10 |
| 4 | Agarre | Acero ASTM A-36 | 2 |
| 3 | Tapa | Acero ASTM A-36 | 1 |
| 2 | Base | Acero ASTM A-36 | 1 |
| 1 | Marco | Perfil estructural L 2*2*1/8 | 1 |

| | | | | | |
|---------------------|--|----------------------------|--|------------------|--|
| TOLERANCIA: ±1 | | PESO: 18.2 kg | | MATERIAL: VARIOS | |
| FECHA: 23/11/2016 | | NOMBRE: Segundo Pacha | | TÍTULO: MOLDE | |
| REVISO: 25/01/2017 | | Ing. Juan Paredes | | ESCALA: 1:5 | |
| APROBO: 25/01/2017 | | Ing. Juan Paredes | | REGISTRO: | |
| U.T.A. | | N.º DE LAMINA: HOJA 1 DE 5 | | SUSTITUCION: | |
| INGENIERIA MECANICA | | | | | |



| | | | | | | | | |
|----------|---------------|--------|---------|---------------------|-------------------|--------------------|--|-----------|
| | | | | TOLERANCIA: | PESO: | MATERIAL: | | |
| | | | | ±1 | 5.4 kg | Perfil estructural | | |
| | | | | FECHA | NOMBRE | TÍTULO: | | |
| | | | | DIBUJO: 23/11/2016 | Segundo Pacha | MARCO | | |
| | | | | REVISO: 25/01/2017 | Ing. Juan Paredes | | | |
| | | | | APROBO: 25/01/2017 | Ing. Juan Paredes | | | |
| | | | | U.T.A. | | N.º DE LAMINA | | |
| | | | | INGENIERIA MECANICA | | HOJA 2 DE 5 | | |
| EDICIÓN: | MODIFICACION: | FECHA: | NOMBRE: | | | | | REGISTRO: |
| | | | | | | | | |

1 2 3 4

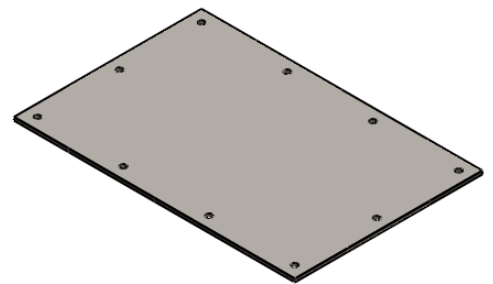
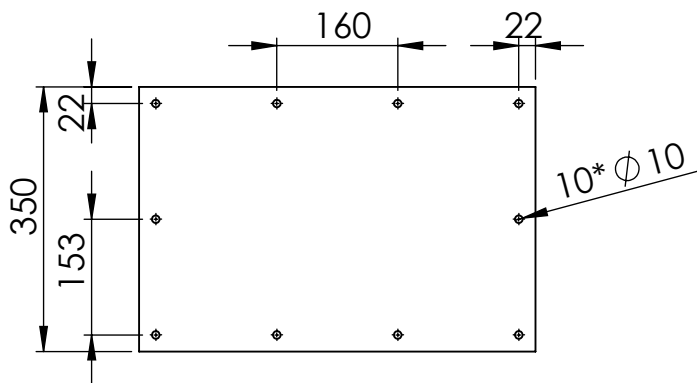
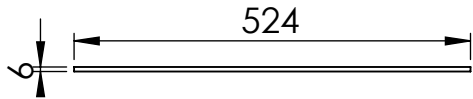
A

B

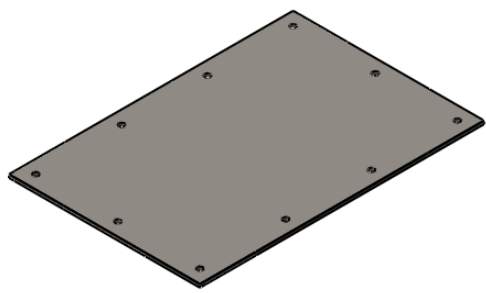
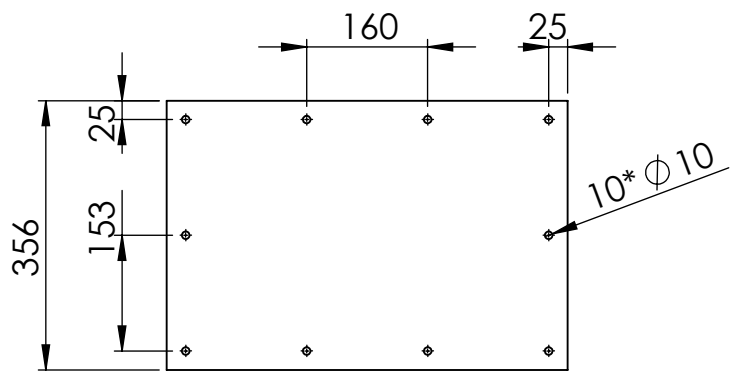
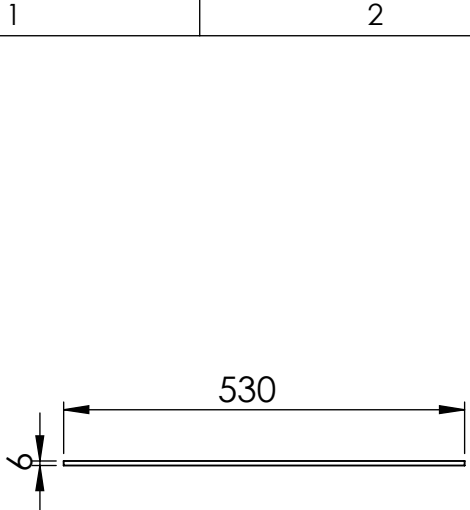
C

D

E



| | | | | | | | |
|----------|---------------|--------|---------|--------------------------------------|-------------------|-------------------------------------|-----------------|
| | | | | TOLERANCIA: ±1 | PESO: 4.3 kg | MATERIAL: Acero ASTM A-36 | |
| | | | | | | TÍTULO: BASE | ESCALA: 1:10 |
| | | | | FECHA | NOMBRE | | |
| | | | | DIBUJO: 23/11/2016 | Segundo Pacha | | |
| | | | | REVISO: 25/01/2017 | Ing. Juan Paredes | | |
| | | | | APROBO: 25/01/2017 | Ing. Juan Paredes | | |
| | | | | U.T.A. INGENIERIA MECANICA | | N.º DE LAMINA HOJA 3 DE 5 | REGISTRO: |
| EDICIÓN: | MODIFICACION: | FECHA: | NOMBRE: | | | SUSTITUCION: | |



A
B
C
D
E

1 2 3 4

| | | | | | | | |
|----------|---------------|--------|---------|-------------------------------|-------------------|------------------------------|-----------------|
| | | | | TOLERANCIA: ±1 | PESO: 5.8 kg | MATERIAL: Acero ASTM A-36 | |
| | | | | | | TÍTULO: TAPA | ESCALA: 1:10 |
| | | | | | | | |
| | | | | DIBUJO: 23/11/2016 | Segundo Pacha | | |
| | | | | REVISO: 25/01/2017 | Ing. Juan Paredes | | |
| | | | | APROBO: 25/01/2017 | Ing. Juan Paredes | | |
| | | | | U.T.A. INGENIERIA MECANICA | | N.º DE LAMINA HOJA 4 DE 5 | REGISTRO: |
| EDICIÓN: | MODIFICACION: | FECHA: | NOMBRE: | | | SUSTITUCION: | |

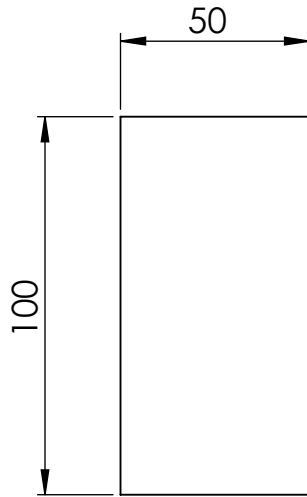
1

2

3

4

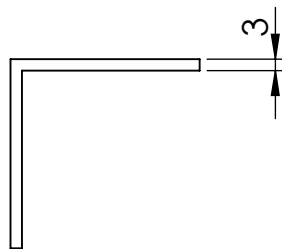
A



B

C

D



E

| | | | | | | | |
|----------|---------------|--------|---------|------------------------|-------------------|-------------------------------------|----------------|
| | | | | TOLERANCIA: ± 1 | PESO: 0.9 kg | MATERIAL: Acero ASTM A-36 | |
| | | | | | | TÍTULO: AGARRE | ESCALA: 1:2 |
| | | | | | | | |
| | | | | DIBUJO: 23/11/2016 | Segundo Pacha | | |
| | | | | REVISO: 25/01/2017 | Ing. Juan Paredes | | |
| | | | | APROBO: 25/01/2017 | Ing. Juan Paredes | | |
| | | | | U.T.A. | | N.º DE LAMINA HOJA 5 DE 5 | REGISTRO: |
| EDICIÓN: | MODIFICACION: | FECHA: | NOMBRE: | | | INGENIERIA MECANICA | |