



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

**“TRAZABILIDAD DE MATERIALES BIODEGRADABLES CON
FIBRA DE YUTE MEDIANTE INFUSIÓN EN APLICACIONES DE
CONSTRUCCIÓN Y MANTENIMIENTO”**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto de investigación

Presentado para optar el grado académico de:

INGENIERO EN MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

AUTOR:

RONNIE ALEXANDER CEVALLOS BEDÓN

Riobamba – Ecuador

2022



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

**“TRAZABILIDAD DE MATERIALES BIODEGRADABLES CON
FIBRA DE YUTE MEDIANTE INFUSIÓN EN APLICACIONES DE
CONSTRUCCIÓN Y MANTENIMIENTO”**

Trabajo de Integración curricular

Tipo: Proyecto de investigación

Presentado para optar el grado académico de:

INGENIERO EN MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

AUTOR: RONNIE ALEXANDER CEVALLOS BEDÓN

DIRECTOR: Ing. EDISSON FERNANDO CALDERÓN FREIRE

Riobamba – Ecuador

2022


© 2022, **Ronnie Alexander Cevallos Bedón**

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, Ronnie Alexander Cevallos Bedón, declaro que el presente trabajo de integración curricular es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de integración curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.



Riobamba, 18 de febrero de 2022



Ronnie Alexander Cevallos Bedón
C.I: 180512174-4

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

El Tribunal del Trabajo de integración curricular certifica que: El trabajo de integración curricular: Tipo: Proyecto de investigación, **“TRAZABILIDAD DE MATERIALES BIODEGRADABLES CON FIBRA DE YUTE MEDIANTE INFUSIÓN EN APLICACIONES DE CONSTRUCCIÓN Y MANTENIMIENTO”**, realizado por el señor: **RONNIE ALEXANDER CEVALLOS BEDÓN**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del trabajo de integración curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

| | FIRMA | FECHA |
|---|--|--------------|
| Ing. Marco Antonio Ordóñez Viñán PRESIDENTE DEL TRIBUNAL |  MARCO ANTONIO ORDONEZ VINAN | 2022-02-18 |
| Ing. Edison Fernando Calderón Freire DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR |  Firmado electrónicamente por: EDISSON FERNANDO CALDERON FREIRE | 2022-02-18 |
| Ing. Félix Antonio García Mora MIEMBRO DEL TRIBUNAL |  Firmado electrónicamente por: FÉLIX ANTONIO GARCÍA MORA | 2022-02-18 |

DEDICATORIA

De manera especial a mis padres por su arduo sacrificio y esfuerzo, por brindarme su incondicional amor y apoyo; a mi hermana por creer en mis capacidades, quien con sus palabras de aliento no me dejaba decaer para seguir adelante en cada momento, pues ellos siempre serán la principal motivación de mi vida. Me formaron con virtudes, responsabilidades y con la libertad de perseguir mis sueños. A mis abuelos y familia su apoyo a sido fundamental en mi vida.

Ronnie

AGRADECIMIENTO

En primera instancia agradezco a Dios por las bendiciones que me brinda día a día. A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por permitirme formar parte de tan prestigiosa institución, así como también a los diferentes docentes quienes impartieron todos sus conocimientos durante mi vida académica, en especial a mi director y asesor del proyecto quienes comparten su tiempo y conocimiento científico durante todo el desarrollo del trabajo de integración curricular.

Ronnie

TABLA DE CONTENIDO

| | |
|-------------------------|------|
| ÍNDICE DE TABLAS..... | ix |
| ÍNDICE DE FIGURAS..... | x |
| ÍNDICE DE GRÁFICOS..... | xii |
| ÍNDICE DE ANEXOS..... | xiii |
| RESUMEN..... | xiv |
| SUMMARY..... | xv |
| INTRODUCCIÓN..... | 1 |

CAPÍTULO I

| | |
|---|----------|
| 1. Marco teórico referencial..... | 2 |
| 1.1. Antecedentes de investigación..... | 2 |
| 1.2. Planteamiento del problema..... | 3 |
| <i>1.2.1. Formulación del problema.....</i> | <i>3</i> |
| <i>1.2.2. Sistematización del problema.....</i> | <i>3</i> |
| <i>1.2.3. Delimitación del problema.....</i> | <i>4</i> |
| 1.3. Justificación..... | 4 |
| 1.4. Objetivos..... | 4 |
| <i>1.4.1. Objetivo general.....</i> | <i>4</i> |
| <i>1.4.2. Objetivos específicos.....</i> | <i>4</i> |
| 1.5. Hipótesis..... | 5 |
| <i>1.5.1. Variable dependiente.....</i> | <i>5</i> |
| <i>1.5.2. Variables independientes.....</i> | <i>5</i> |
| 1.6. Fundamentación teórica..... | 5 |
| <i>1.6.1. Fibra de yute.....</i> | <i>5</i> |
| <i>1.6.1.1. Cultivo de yute.....</i> | <i>6</i> |
| <i>1.6.1.2. Adquisición de la fibra y la tela de yute.....</i> | <i>6</i> |
| <i>1.6.1.3. Propiedades de la fibra de yute.....</i> | <i>6</i> |
| <i>1.6.2. Resinas.....</i> | <i>7</i> |
| <i>1.6.2.1. Resinas sintéticas.....</i> | <i>8</i> |
| <i>1.6.2.2. Resina biodegradable.....</i> | <i>8</i> |
| <i>1.6.2.3. Degradación de las resinas poliéster y Epoxi.....</i> | <i>9</i> |
| <i>1.6.3. Materiales compuestos.....</i> | <i>9</i> |

| | | |
|---------------|--|----|
| 1.6.3.1. | <i>Refuerzo o material de refuerzo</i> | 10 |
| 1.6.3.2. | <i>La matriz</i> | 10 |
| 1.6.3.3. | <i>Orientación de las fibras</i> | 10 |
| 1.6.4. | <i>Métodos de fabricación de materiales compuestos</i> | 11 |
| 1.6.4.1. | <i>Moldeo por infusión</i> | 13 |
| 1.6.4.2. | <i>Comparación de los procesos de infusión de resina asistida por vacío.</i> | 16 |
| 1.6.5. | <i>Ensayos destructivos mecánicos de los materiales compuestos</i> | 17 |
| 1.6.5.1. | <i>Esfuerzo y deformación</i> | 17 |
| 1.6.5.2. | <i>Máquina universal</i> | 19 |
| 1.6.5.3. | <i>Ensayo de tracción ASTM D638</i> | 20 |
| 1.6.5.4. | <i>Ensayo de flexión ASTM D790</i> | 21 |
| 1.6.5.5. | <i>Ensayo de Impacto ASTM D5628</i> | 22 |
| 1.6.6. | <i>Caracterización de compuestos a base de resina poliéster</i> | 23 |
| 1.6.6.1. | <i>Efecto del tamaño de partículas de refuerzo sobre las propiedades mecánicas.</i> | 23 |
| 1.6.7. | <i>Ensayos previos cualitativos</i> | 24 |
| 1.6.7.1. | <i>Tiempo de polimerización de las resinas</i> | 24 |
| 1.6.7.2. | <i>Medición del gramaje</i> | 26 |
| 1.6.8. | <i>Construcción y mantenimiento</i> | 26 |
| 1.6.8.1. | <i>Fallos en los materiales de construcción</i> | 27 |
| 1.6.8.2. | <i>Fibras como refuerzo en la mampostería</i> | 28 |
| 1.6.8.3. | <i>Costos de mantenimiento</i> | 29 |
| 1.6.9. | <i>Publicaciones</i> | 30 |

CAPÍTULO II

| | | |
|-------------|---|----|
| 2. | TRAZABILIDAD DEL MATERIAL CON FIBRA DE YUTE | 32 |
| 2.1. | Materiales para la fabricación del material compuesto con fibra de yute | 32 |
| 2.1.1. | <i>Material fungible</i> | 32 |
| 2.1.2. | <i>Fibra natural de yute</i> | 34 |
| 2.1.3. | <i>Resinas</i> | 34 |
| 2.1.4. | <i>Mano de obra</i> | 34 |
| 2.2. | Reconocimiento del tiempo de curado de las resinas. | 35 |
| 2.2.1. | <i>Curado de resina EPOX-21</i> | 35 |
| 2.2.1.1. | <i>Procedimiento de medición del tiempo de curado de la resina EPOX-21</i> | 36 |
| 2.2.2. | <i>Curado de resina poliéster</i> | 38 |
| 2.2.2.1. | <i>Procedimiento de medición del tiempo de curado de la resina poliéster cobaltad</i> | 38 |

| | | |
|----------|--|----|
| 2.2.3. | <i>Curado de resina SUPER SAP CLF Laminating System</i> | 40 |
| 2.2.3.1. | <i>Procedimiento de medición del tiempo de curado de la resina SUPER SAP</i> | 41 |
| 2.2.4. | <i>Obtención de valores de temperatura</i> | 43 |
| 2.3. | Metodología de fabricación de la placa composite | 45 |
| 2.3.1. | <i>Disposición de la fibra de yute</i> | 45 |
| 2.3.2. | <i>Acondicionamiento de la superficie de operación</i> | 46 |
| 2.3.3. | <i>Colocación de la fibra de yute</i> | 47 |
| 2.3.4. | <i>Colocación de ductos de vacío</i> | 48 |
| 2.3.5. | <i>Sellado del conjunto</i> | 49 |
| 2.3.6. | <i>Canalización</i> | 50 |
| 2.3.7. | <i>Infusionado de resina</i> | 50 |

CAPÍTULO III

| | | |
|----------|---|----|
| 3. | RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 52 |
| 3.1. | Comportamiento exotérmico de resinas | 52 |
| 3.1.1. | <i>Curva exotérmica EPOX-21</i> | 52 |
| 3.1.2. | <i>Curva exotérmica resina SUPER SAP CLF Laminating System</i> | 53 |
| 3.1.3. | <i>Curva exotérmica resina poliéster cobaltada</i> | 53 |
| 3.2. | Cuantía de resina poliéster cobaltada | 54 |
| 3.3. | Placa de material compuesto de fibra de yute | 57 |
| 3.4. | Caracterización de materiales compuestos con fibra de yute | 58 |
| 3.4.1. | <i>Método de flexión</i> | 58 |
| 3.4.1.1. | <i>Cálculo del módulo de elasticidad</i> | 60 |
| 3.4.2. | <i>Ensayo a tracción de probetas</i> | 62 |
| 3.5. | Características de materiales compuestos en la mampostería estructural | 65 |
| 3.6. | Características de maderas para la construcción | 65 |
| 3.7. | Discusión de resultados | 66 |
| | CONCLUSIONES | 69 |
| | RECOMENDACIONES | 71 |
| | BIBLIOGRAFÍA | |
| | ANEXOS | |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1-1: Comparativa entre fibras naturales y las fibras sintéticas | 6 |
| Tabla 2-1: Composición de la fibra natural de Yute..... | 7 |
| Tabla 3-1: Propiedades de la fibra natural de Yute | 7 |
| Tabla 4-1: Propiedades y aplicaciones de diferentes resinas industriales | 8 |
| Tabla 5-1: Características mecánicas resina SUPER SAP ® CLR | 9 |
| Tabla 6-1: Propiedades de fibras en la fabricación de materiales compuestos | 10 |
| Tabla 7-1: Dimensiones de la muestra para espesor..... | 21 |
| Tabla 8-1: Dimensiones para materiales moldeados | 22 |
| Tabla 9-1: Tamaño mínimo de la muestra..... | 23 |
| Tabla 10-1: Análisis de energía y emisiones de CO2 | 27 |
| Tabla 11-1: Causas de fallo en diferentes materiales de construcción..... | 28 |
| Tabla 12-1: Costos de materia prima..... | 29 |
| Tabla 1-2: Coste de materiales fungibles | 32 |
| Tabla 2-2: Costo de la fibra natural de yute | 34 |
| Tabla 3-2: Costo de resinas | 34 |
| Tabla 4-2: Costo de operación laser | 34 |
| Tabla 5-2: Características resina EPOX-21 | 36 |
| Tabla 6-2: Propiedades mecánicas de resina poliéster..... | 38 |
| Tabla 7-2: Características resina SUPER SAP | 41 |
| Tabla 1-3: Características de la placa de fibra de yute | 57 |
| Tabla 2-3: Características de las probetas con diferentes capas..... | 58 |
| Tabla 3-3: Valores obtenidos del ensayo de flexión de probeta | 59 |
| Tabla 4-3: Características mecánicas de probetas unidireccionales..... | 63 |
| Tabla 5-3: Características mecánicas de probetas con orientación mixta | 64 |
| Tabla 6-3: Propiedades de materiales de uso en la mampostería..... | 65 |
| Tabla 7-3: Características de la madera de eucalipto..... | 66 |
| Tabla 8-3: Propiedades mecánicas de la madera MDF..... | 66 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1-1: Fibra unidireccional..... | 11 |
| Figura 2-1: Capas cruzadas 0°/45°/90° | 11 |
| Figura 3-1: Esquema de funcionamiento del método de infusión de resina. | 13 |
| Figura 4-1: Tejido peel ply | 14 |
| Figura 5-1: Bolsa de vacío | 14 |
| Figura 6-1: Tacky tape..... | 14 |
| Figura 7-1: Malla de distribución..... | 15 |
| Figura 8-1: Canal de vacío..... | 15 |
| Figura 9-1: Trampa de resina | 15 |
| Figura 10-1: Bomba de vacío..... | 16 |
| Figura 11-1: Estructura de la máquina universal..... | 19 |
| Figura 12-1: Aditamentos de una máquina universal | 20 |
| Figura 13-1: Muestras tipo I, II, III y V | 20 |
| Figura 14-1: Flexión de tres puntos para ASTM D790 | 21 |
| Figura 15-1: Impactómetro de caída libre al dardo | 22 |
| Figura 16-1: Representación de las etapas de gel..... | 25 |
| Figura 17-1: Colocación del FRCM..... | 28 |
| Figura 18-1: Muros reforzados de lino y PBO | 29 |
| Figura 1-2: Resina EPOX-21 | 35 |
| Figura 2-2: Balanza calibrada | 36 |
| Figura 3-2: Adición del componente A..... | 37 |
| Figura 4-2: Adición del componente B y mezcla..... | 37 |
| Figura 5-2: Resina poliéster | 38 |
| Figura 6-2: Peso calibrado | 39 |
| Figura 7-2: 50g de resina | 39 |
| Figura 8-2: 2g de Meck..... | 40 |
| Figura 9-2: Mixtura..... | 40 |
| Figura 10-2: Resina SUPER SAP | 42 |
| Figura 11-2: 50g del componente A..... | 42 |
| Figura 12-2: 27g de Endurecedor..... | 43 |
| Figura 13-2: Mezcla..... | 43 |
| Figura 14-2: Cámara termográfica | 44 |
| Figura 15-2: Temperaturas captadas de las resinas | 44 |

| | |
|---|----|
| Figura 16-2: Tejido de fibra de yute..... | 45 |
| Figura 17-2: Preparación y corte del tejido de yute..... | 46 |
| Figura 18-2: Recorte de tejido de yute en orientación $90^{\circ}/45^{\circ}/-45^{\circ}/90^{\circ}/0^{\circ}$ | 46 |
| Figura 19-2: Cera desmoldante para preparación superficial | 47 |
| Figura 20-2: Colocación de gelcoat en la superficie | 47 |
| Figura 21-2: Superposición de capas de tejido..... | 48 |
| Figura 22-2: Colocación de tejido pelable sobre la fibra de yute | 48 |
| Figura 23-2: Colocación de tacky tape y canales de vacío | 49 |
| Figura 24-2: Canal de entrada de resina..... | 49 |
| Figura 25-2: Colocación de bolsa de vacío para sellado | 50 |
| Figura 26-2: Canales de entrada de resina..... | 50 |
| Figura 27-2: Placa infusionada y canales bloqueados | 51 |
| Figura 1-3: Dimensiones de la placa a infundir | 54 |
| Figura 2-3: Aspecto visual del material compuesto de fibra de yute..... | 57 |
| Figura 3-3: Probetas de fibra de yute | 58 |
| Figura 4-3: Ensayo cantiléver | 58 |
| Figura 5-3: Ensayo a tracción de las probetas de fibra de yute | 62 |

ÍNDICE DE GRÁFICOS

| | |
|---|----|
| Gráfico 1-1: Porcentaje de refuerzo en procesos de fabricación..... | 12 |
| Gráfico 2-1: Presiones de laminado en vacío | 17 |
| Gráfico 3-1: Diagrama esfuerzo-deformación..... | 18 |
| Gráfico 4-1: Dureza versus fracción de peso de partículas..... | 24 |
| Gráfico 5-1: Curva exotérmica característica de una resina | 26 |
| Gráfico 6-1: Documentos publicados relacionados a materiales compuestos..... | 30 |
| Gráfico 1-3: Curva exotérmica EPOX-21 | 52 |
| Gráfico 2-3: Curva exotérmica característica de una resina | 53 |
| Gráfico 3-3: Curva exotérmica característica de una resina | 54 |
| Gráfico 4-3: Relación esfuerzo-deformación de las probetas unidireccional..... | 63 |
| Gráfico 5-3: Relación esfuerzo-deformación de las probetas en orientación mixta..... | 64 |
| Gráfico 6-3: Compilación de valores del módulo de Young obtenidos | 67 |
| Gráfico 7-3: Comparativa de valores de resistencia a la tracción | 67 |

ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A:** Valores obtenidos de fuerza y deformación ensayo a tracción probeta 1 unidireccional.
- ANEXO B:** Valores obtenidos de fuerza y deformación ensayo a tracción probeta 2 unidireccional.
- ANEXO C:** Valores obtenidos de fuerza y deformación ensayo a tracción probeta 3 unidireccional.
- ANEXO D:** Valores obtenidos de fuerza y deformación ensayo a tracción probeta 4 unidireccional.
- ANEXO E:** Valores obtenidos de fuerza y deformación ensayo a tracción probeta 5 unidireccional.
- ANEXO F:** Valores obtenidos de fuerza y deformación ensayo a tracción probeta 1 mixta.
- ANEXO G:** Valores obtenidos de fuerza y deformación ensayo a tracción probeta 2 mixta.
- ANEXO H:** Valores obtenidos de fuerza y deformación ensayo a tracción probeta 3 mixta.
- ANEXO I:** Valores obtenidos de fuerza y deformación ensayo a tracción probeta 4 mixta.
- ANEXO J:** Valores obtenidos de fuerza y deformación ensayo a tracción probeta 5 mixta.

RESUMEN

El presente proyecto investigativo tuvo como objetivo trazar el proceso de materiales biodegradables con fibra de yute mediante infusión en aplicaciones de construcción y mantenimiento. Para la investigación se comenzó con el análisis del estado del arte, luego se prosiguió con la adquisición de todos los materiales fungibles y equipos necesarios para la ejecución del moldeo por infusión de resina con los costos respectivos; además se evaluó el tiempo de gelificación de cada resina incluyendo el cálculo de sustancia resina que necesita el moldeo dependiendo la cantidad de tejidos sobrepuestos para la fabricación de la placa de material compuesto. Una vez que se culminó la infusión y que la placa se hallaba totalmente polimerizada se ejecutó el corte de probetas con láser en forma simétrica con el ancho y longitud establecida por la norma ASTM D 3039 para efectuarse los ensayos mecánicos destructivos y no destructivos. Se realizó dos métodos de ensayos mecánicos, la primera es la flexión con carga puntual en los extremos de las probetas unidireccionales con una, tres y cinco capas de tejido para determinar el módulo de Young de cada una, como segundo método se ejecutó el ensayo a tracción de cinco probetas en sentido unidireccional y cinco en orientación mixta ambas con cinco capas de tejido sobrepuestos. Los resultados de los ensayos proporcionaron valores promedio de elasticidad de 2,59 GPa y de resistencia a la tracción de 4,21 MPa validando la hipótesis de estudio planteada. Se concluyó que la orientación de tejido $90^{\circ}/45^{\circ}/-45^{\circ}/90^{\circ}/0^{\circ}$ debilita el material por distribución anisotrópica de cargas, también que el nuevo material compuesto biodegradable con fibra de yute puede ser aplicado en la mampostería y en el mantenimiento de muros estructurales agrietados. Se recomienda continuar con investigaciones de este campo para ser aplicado en varios ámbitos de la ingeniería.

Palabras clave: <MATERIAL COMPUESTO>, <MAMPOSTERÍA>, <RESINA>, <POLIMERIZACIÓN>, <TEJIDO DE YUTE>, <ORIENTACIÓN DE LAS FIBRAS>, <MÓDULO DE YOUNG>, <RESISTENCIA A LA TRACCIÓN>.



Firmado electrónicamente por:
HOLGER GERMAN
RAMOS UVIDIA

0469-DBRA-UPT-2022


2022-03-14

SUMMARY

This research project had as an aim to examine the infusion process of biodegradable materials with jute fiber to produce biodegradable materials used in construction and maintenance. Initially, the research included a review of the state of the art, followed by the acquisition of all consumable materials and equipment that would be needed for the resin infusion molding technique, along with their respective costs. In addition, the gelation times of each resin were evaluated, as well as determining the amount of resin that was necessary for preparing the composite plates based on the quantities of superimposed materials. Once the infusion was complete and the plate had polymerized, the cutting specimens with laser were executed symmetrically with the width and length based on the ASTM D 3039 standard so destructive and non-destructive tests could be performed. Two methods of mechanical tests were applied. First, the point load bending with one, three, and five layers of fabric to determine Young's modulus of each specimen. Besides, as the second method attraction of five specimens in a one-directional direction and five in a mixed-orientation with five overlapping layers of fabric each. According to the results, the elasticity was 2.59 GPa and the tensile strength was 4.21 MPa, validating the hypothesis of the study. It was concluded that the fabric orientation $90^\circ/45^\circ/- 45^\circ/90^\circ/0^\circ$ weakens the material by anisotropic load distribution, also that the new biodegradable composite material with jute fiber can be applied in masonry and in maintenance of cracked structural walls. It is recommended to continue with the investigations of this field to be applied in various fields of engineering.

Keywords: <COMPOSITE MATERIAL>, <MASONRY>, <RESIN>, <POLYMERIZATION>, <JUTE FABRIC>, <FIBER ORIENTATION>, <YOUNG MODULE>, <TENSILE STRENGTH>.

SANDRA
PAULINA
PORRAS
PUMALEMA



Firmado digitalmente por
SANDRA PAULINA
PORRAS PUMALEMA
Fecha: 2022.03.16
11:33:35 -05'00'

INTRODUCCIÓN

Los materiales de composición natural con fibra de yute aparecen como un desafío importante para sustituir la fabricación de materiales sintéticos ya que presentan como principal inconveniente la contaminación que genera. Con la aplicación de la fibra natural de yute se busca aprovechar los recursos y características de éste, formando materiales compuestos donde se estudiará propiedades tales como la resistencia a la tracción del nuevo elemento conformado por fibra de yute.

No obstante, se conoce que las fibras naturales poseen características inferiores a la de los materiales sintéticos, por lo que se quiere mejorar la estructura del nuevo elemento compuesto para comprobar si la hipótesis planteada es veraz o ficticia. Varios estudios actuales de fibra de yute infieren que puede llegar a ser una alternativa para suplir fibras sintéticas, y a su vez reducir el impacto en el medio ambiente de las industrias por el desarrollo de sus actividades. En la construcción y el mantenimiento durante actividades de reparación y toma de decisiones aparecen dilemas como adquisición de materia prima de calidad en precios asequibles, por lo que con el fin de encontrar un material sustituto el proyecto de investigación busca un nuevo procedimiento de fabricación de materiales compuestos a base de infusión con fibra de yute que pueda cubrir las necesidades en la conservación de construcciones.

En este proceso de fabricación se utiliza elementos amigables al medio como el yute y la resina biodegradable, esta mezcla es excelente para trabajos prolongados y sobre todo bueno para laminado de moldeo en vacío que es altamente adhesivo. Al tener el nuevo material compuesto se lleva a cabo ensayos mecánicos de resistencia, mediante sometimiento a varios esfuerzos para conocer las propiedades mecánicas al igual que su microestructura; el trabajo de investigación contiene fundamentos teóricos de diversos artículos y justificaciones de descubridores científicos, que van desde conceptos claves del trabajo hasta la trazabilidad desde el punto de vista del autor, manifestando la experiencia paso a paso durante el proceso comparando propiedades del nuevo material conformado con otros materiales similares, que finalmente analiza la aplicación de los resultados en la ingeniería de mantenimiento y construcción.

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

1.1. Antecedentes de investigación

Los avances tecnológicos en la industria traen consigo algunas afecciones al planeta, que a lo largo del tiempo han perjudicado el medio. El mantenimiento de sistemas desperfectos con problemas de reemplazo se han expandido en varias áreas particularmente en ingeniería mecánica, eléctrica y civil, existen varios artículos de investigación relacionados al mantenimiento y su aportación al medio, pero también hay documentos que abarcan problemas del mantenimiento y operación de estructuras, para eso la evolución de la industria busca una solución amigable con el planeta, este trabajo tiene la finalidad de presentar una posible solución a las demandas del mantenimiento en la construcción, supliendo materiales sintéticos por fibras naturales y cumplir con la demanda industrial que:

Las últimas regulaciones gubernamentales establecen que para el año 2020, todos los edificios nuevos deberán tener una huella de emisiones cercana a cero, y contribuir activamente al objetivo de descarbonización del 80% para el año 2050. Los edificios deberán estar mejor aislados, obtener su calefacción a partir de fuentes bajas en carbono y ser construidos a partir de materias primas de origen sostenible (Santillán Ninel, 2020, p. 9–10).

Por aquella regulación y el aumento de contaminación industrial se busca una nueva innovación, un proceso novedoso y sostenible es sustituir las fibras sintéticas por fibras naturales como el yute y que sea considerado como un refuerzo de materiales de construcción confiable a lo largo del tiempo. Desde hace siglos los oriundos de la sierra ecuatoriana utilizan la fibra de yute para formar sacos utilizados como accesorio de almacenamiento y carga por las comunidades indígenas, este elemento reciclado y reutilizable está entre las fibras menos costosas del mercado por esto un objetivo es estudiar la influencia de materiales compuestos biodegradables como aporte en componentes de construcción y mantenimiento de equipos de oficina, el comportamiento mecánico como flexión y compresión del nuevo material conformado ayuda en la comparativa de costos, propiedades físicas y beneficios en relación a otros polímeros sintéticos, pero principalmente se da a conocer el proceso de realización de la trazabilidad, ya que en Ecuador no se ha encontrado esta innovación y que a un futuro pueda ser aplicado en diferentes ámbitos industriales.

1.2. Planteamiento del problema

El impacto en los últimos años de las industrias contra el medio ambiente para el desarrollo de actividades de construcción se incrementa y no se busca manera de reducirla, la escasa innovación de ideas para solucionar y hacer caer en conciencia de la contaminación industrial, la búsqueda de materiales naturales como alternativa de uso y mantenimiento civil, hace de todo esto un problema. El uso de fibras naturales en países desarrollados sigue siendo limitado, ya que no se ha aceptado plenamente como alternativa a las fibras sintéticas (Santillán Ninel, 2020, p. 9).

En la industria de la construcción y mantenimiento tradicionalmente, se usa aislantes costosos que empleaban materiales no biodegradables, como fibra de vidrio, espumas poliméricas termoestables y telas de relleno (Velásquez Restrepo, Peláez Arroyave y Vásquez Giraldo, 2016, p. 7), estos elementos mencionados anteriormente dificultan la toma de decisiones en la rentabilidad del mantenimiento en aplicaciones de construcción. Aunque pueda hallarse estudios de los beneficios de fibras naturales en aplicaciones de nuevos diseños no son utilizadas porque no describen las propiedades y no reproducen un proceso de infusión en vacío para la fabricación de laminados exactamente a base de yute para aplicaciones de construcción. Un dato relevante de la problemática es que las empresas de fabricación de materiales sintéticos producen lotes continuos con capacidades entre 10000 hasta unas 300000 toneladas por año (López Juan Carlos, 2009, p. 1) , por ende, la relevancia de solucionar ese problema y de encontrar materiales alternativos amigables con el medio.

1.2.1. Formulación del problema

¿Cómo la trazabilidad de materiales biodegradables con fibra de yute mediante infusión aportará en aplicaciones de mantenimiento y construcción?

1.2.2. Sistematización del problema

¿Qué se va a lograr mediante el método de infusión de materiales compuestos con fibra de yute?

¿Cuáles son las diferentes características mecánicas del material compuesto de fibra de yute?

¿De qué manera contribuye la trazabilidad de materiales biodegradables con fibra de yute en las actividades de mantenimiento y control?

1.2.3. Delimitación del problema

El trabajo de investigación se ejecutó netamente con el uso de fibras de yute y resina biodegradable para la fabricación del material compuesto, para posteriormente aplicar ensayos mecánicos evaluando las características del material obtenido. Se enfoca en dar a conocer la trazabilidad de materiales biodegradables con fibra de yute mediante infusión, y su aportación según datos encontrados en aplicaciones de mantenimiento y construcción.

1.3. Justificación

La escasez de recursos no renovables a nivel mundial y la incumbencia de revertir este problema, se ha visto en la obligación de inquirir en materiales de construcción centrados en fibras de yute. La utilización de materia natural en la producción de biomateriales se manifiesta como el elemento indispensable para equilibrar las problemáticas como: reducción de la contaminación por la gran demanda de fibras sintéticas, que a su vez garanticen de manera sostenible y económica la utilización de materiales naturales; por otra parte que las tomas de decisiones de los encargados del mantenimiento de oficinas y otras áreas siempre respondan de manera rentable a las actividades, como dato relevante es dar a conocer el procedimiento paso a paso con beneficios y problemas generados durante la elaboración de la investigación, que a su vez aporte en las industrias de Ecuador y puedan poner en práctica en algún instante el método de infusión para construcción de nuevos materiales aprovechando los recursos nacionales. Con este prólogo, el trabajo de integración curricular aspira contribuir en una nueva alternativa constructiva a base de la fibra de yute, donde el costo se vea reducido y que no afecte a la calidad en aplicaciones de construcción y que de igual manera sea amigable con el ambiente.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Trazar el proceso de materiales biodegradables con fibra de yute mediante infusión en aplicaciones de construcción y mantenimiento.

1.4.2. Objetivos específicos

Investigar el estado del arte de la fibra natural de yute simultáneamente con métodos y procedimientos para la ejecución de conformado

Determinar el proceso de conformado de la placa de material compuesto constituido por fibra natural de yute y resina.

Realizar la caracterización del material mediante ensayos mecánicos

Desarrollar la trazabilidad completa del material compuesto de fibra de yute y distinguir la relación que tiene en la construcción y mantenimiento.

1.5. Hipótesis

Las características mecánicas del material compuesto mediante infusión dependen del espesor de la fibra de yute, es decir a mayor cantidad de tejidos de yute mejores características.

1.5.1. Variable dependiente

Características mecánicas: Módulo de Young, Resistencia a la tracción, punto de rotura.

1.5.2. Variables independientes

Espesor de la fibra de yute

1.6. Fundamentación teórica

1.6.1. Fibra de yute

Durante la revolución Industrial, el yute reemplazó por un largo tiempo a las fibras de cáñamo en la arpillera, algunas ventajas sobresalientes son sus propiedades aislantes y antiestáticas, así como su baja conductividad térmica y moderada retención térmica (© FAO, 2017, p. 1). En Ecuador el yute es utilizado para la producción de costales que frecuentemente se usan y permiten el transporte de materia prima, siendo un producto agrícola de mucha importancia, ya que es una fibra de las más comunes de obtener en los países de tercer mundo.

El yute es uno de los principales competidores de la fibra sintética encontrándose hoy en día como una de las fibras menos costosas que existen en el mercado, teniendo así varias aplicaciones en materiales decorativos y mobiliarios (Ramón Augusto 2017, p. 1–3).

Para tener una idea clara de las cualidades de cada fibra a continuación en la Tabla 1-1 se presenta una comparativa entre las fibras artificiales las más empleadas en la industria, y las fibras naturales que poco a poco están sustituyendo a las fibras sintéticas tradicionales.

Tabla 1-1: Comparativa entre fibras naturales y las fibras sintéticas

| Cualidades | Fibras naturales (FN) | Fibra sintética |
|------------------------|------------------------------|------------------------|
| Densidad | Baja | Doble que las FN |
| Costo | Bajo | Mayor que las FN |
| Renovable | Si | No |
| Reciclable | Si | No |
| Consumo de energía | Bajo | Alto |
| Abrasión a máquinas | No | Si |
| Riesgo a la inhalación | No | Si |
| Eliminación | Biodegradable | No Biodegradable |

Fuente:(V.H. Guerrero et al, 2011, citados en Wanbua, 2003, p. 86)

Realizado por: Cevallos R. 2022

1.6.1.1. Cultivo de yute

La fibra de yute es 100 % biodegradable y reciclable, alrededor de una hectárea de yute consume cerca de 15 toneladas de dióxido de carbono, esta fibra natural generalmente florece en regiones bajas tropicales con una humedad entre 60 y 90 %, por ende es un cultivo seco que el uso de fertilizantes y plaguicidas se utiliza en bajas cantidades (© FAO 2017, p. 1).

1.6.1.2. Adquisición de la fibra y la tela de yute

La fibra y tela de yute se puede localizar en distintas distribuidoras y almacenes de textiles, en Ecuador se adquiere fácilmente en las provincias de Pichincha, Tungurahua, Guayas, Carchi, e Imbabura las cuales se adquieren de diferentes dimensiones y colores.

1.6.1.3. Propiedades de la fibra de yute

Las fibras vegetales están compuestas de células largas y delgadas de esclerénquima, que aportan con la tarea de brindar soporte, dureza y rigidez a los tejidos vegetales (V.H. Guerrero and et al, 2011, p. 80). Absolutamente todas las fibras vegetales presentan propiedades químicas y mecánicas por naturaleza, las características mecánicas consubstancial a su índole aportan a la matriz resistencia a esfuerzos como tracción, flexión, compresión e impacto.

La información de la composición natural de la fibra de yute se muestra en la Tabla 2-1, y las características físicas se indica en la Tabla 3-1. Un dato característico del yute es que es largo,

blando y brillante con una longitud de 1 a 4 metros y con diámetro entre 17 a 20 micras (© FAO, 2017, p. 1).

Tabla 2-1: Composición de la fibra natural de Yute

| Componentes de la fibra de Yute | Porcentaje (%) |
|--|-----------------------|
| Celulosa | 64,4 |
| Hemi-celulosa | 12 |
| Pectina | 0,2 |
| Lignina | 11,8 |
| Sustancias solubles en agua | 1,1 |
| Cera | 0,5 |
| Agua | 10 |

Fuente:(Beltrán Reyna et al. 2015)

Realizado por: Cevallos R. 2022

Tabla 3-1: Propiedades de la fibra natural de Yute

| Fibra | Módulo de Young (GPa) | Resistencia en tracción (MPa) | Densidad específica | Espesor (mm) |
|--------------|------------------------------|--------------------------------------|----------------------------|---------------------|
| Yute | 38 | 393 | 1,3 | 0,45 |

Fuente:(Beltrán Reyna et al. 2015)

Realizado por: Cevallos R. 2022

1.6.2. Resinas

La resina es una sustancia de consistencia pastosa o sólida, insoluble en el agua, pero soluble en alcohol, cetonas, ésteres, algunos hidrocarburos y aceites esenciales (Vásconez Eleana, 2019, p. 21). El problema del petróleo al ser un recurso no renovable y las nuevas políticas de suplir productos derivados de éste, desde el punto de vista ecológico los materiales poliméricos a base de aceite vegetal, que se convierte en el elemento idóneo para suplantar las resinas a base de materiales sintéticos y reducir el impacto ambiental industrial. Entonces, la resina biodegradable juega un papel importante dentro de la investigación, hay que entender que la resina biodegradable se forma de aceites vegetales que contienen ácidos grasos insaturados utilizados en polimerizaciones de base biológica (Park, Jin y Lee 2007, p. 1).

Existen dos tipos de resina para la aplicación en la formación de compuestos, las resinas sintéticas están comprendidos por materiales químicos con mejores características físicas (Vásconez Eleana, 2019, p. 22), en cambio las resinas biodegradables aparecen en el mercado como nuevo elemento para reemplazar la resina anterior mencionada, estas resinas poseen bacterias que contribuye con la degradación del material.

1.6.2.1. Resinas sintéticas

En la Tabla 4-1 se indica características y propiedades relevantes de las resinas sintéticas comúnmente utilizadas.

Las resinas sintéticas son el resultado de la mezcla de resinas naturales más componentes procesados, entre los cuales está el carbón de piedra, el petróleo y el gas natural que como resultado de las tres materias primas se obtiene esta gama de resinas sintéticas (Rojas Teodomira 2016, p. 24).

Tabla 4-1: Propiedades y aplicaciones de diferentes resinas industriales

| Resina | Carga rotura (MPa) | Módulo de elasticidad (GPa) | Densidad (Mg/m ³) | Aplicaciones |
|-----------|--------------------|-----------------------------|-------------------------------|---|
| Fenólicos | 34 - 62 | 2.8 - 9 | 1.27 | Adhesión Revestimiento Laminados |
| Epoxis | 28 - 103 | 0 - 6 | 1.25 | Adhesivos Moldeados Matriz para laminados |

Fuente:(UPV, 2022)

Realizado por: Cevallos R. 2022

1.6.2.2. Resina biodegradable

Un polímero biodegradable es aquel que puede ser degradado completamente por el medio ambiente, reduciendo el impacto que estos materiales producen (Viteri Aitziber 2018, p. 7). La resina biodegradable para la investigación es un recurso importante y por medio de la trazabilidad se redacta si es fácil conseguirla en el Ecuador.

Se subdividen en cuatro polímeros biodegradables de acuerdo con (Viteri Aitziber, 2018, pp. 7–8):

- Polímeros de origen natural: Se extraen de animales marinos, vegetales y bacterias
- Polímeros naturales modificados: Se modifica su origen dando resultado como ejemplo el acetato de celulosa
- Polímeros combinados: Formados por polímeros naturales y sintéticos, su combinación es un 70% natural y 30% sintético que aporta la capacidad de controlar la velocidad de degradación de éste.

En el presente proyecto se opta la utilización de resina biodegradable, utilizándose como matriz del material compuesto SUPER SAP ® CLR, sus propiedades están detalladas a continuación en la Tabla 5-1.

Tabla 5-1: Características mecánicas resina SUPER SAP ® CLR

| Datos mecánicos | CLS Lento |
|---|------------------------|
| Módulo de tracción (ASTM D638) | 468,000 psi (3.2 GPa) |
| Resistencia a la tracción (ASTM D638) | 9,800 psi (67.6 MPa) |
| Elongación (ASTM D638) | 6% |
| Módulo de flexión (ASTM D790) | 430,000 psi (2.9 GPa) |
| Resistencia a la flexión (ASTM D790) | 14,580 psi (100.5 MPa) |
| Resistencia a la compresión (ASTM D695) | 12,520 psi (86.3 MPa) |

Fuente: (© Entropy Resins, 2021)

Realizado por: Cevallos R. 2022

1.6.2.3. Degradación de las resinas poliéster y Epoxi

La degradación de los elementos es importante para reducir contaminación existente en el planeta, las resinas por naturaleza no se degradan con facilidad y se tardan un largo tiempo en disminuir sus propiedades.

Para degradar los materiales fabricados con resinas es necesario que sea sometido a tratamientos en condiciones de temperatura superiores a las ambientales. La resina poliéster y epoxi en el estudio de materiales reforzados la degradación se identificó a partir de los 350°C añadiendo fenol en 0,088% al peso (Sokoli et al., 2016, p. 9).

Los materiales compuestos al tener un aspecto visual inconforme y una vez finalizado el periodo de utilización debe ser llevado al proceso de degradación a las temperaturas establecidas.

1.6.3. Materiales compuestos

Los materiales compuestos es el resultado perceptible de la unión de diversos elementos que su interfaz es reconocible. Debido a ello, son heterogéneos es decir sus propiedades no son las mismas en todo su volumen (Stupenengo Franco, 2011, p. 7). Para comprender el proceso de fabricación de materiales compuestos, se explica interrogantes relacionadas a las componentes

matriz y refuerzo. A continuación, se muestra la Tabla 6-1, donde se observa las propiedades de fibras utilizadas en la fabricación de materiales compuestos.

Tabla 6-1: Propiedades de fibras en la fabricación de materiales compuestos

| Fibra | Módulo de tracción (GPa) | Tensión de tracción (GPa) | Densidad (g/cm³) |
|-----------------------------|---------------------------------|----------------------------------|------------------------------------|
| E-glass | 72 | 3.5 | 2.54 |
| S-glass | 86 | 4.6 | 2.48 |
| Carbono de alto módulo | 390 | 2.1 | 1.90 |
| Carbono de alta resistencia | 240 | 2.9 | 1.77 |
| Kevlar - 49 | 130 | 2.8 | 1.45 |
| Kevlar - 29 | 60 | 2.8 | 1.44 |

Fuente:(Gómez Víctor 2017)

Realizado por: Cevallos R. 2022

1.6.3.1. Refuerzo o material de refuerzo

El refuerzo se utiliza para incrementar la resistencia y rigidez mecánica, para conferir al compuesto alguna propiedad que la matriz no posee (Kirschenbaum Juan Manuel, 2011, p. 9). Ahora bien, el refuerzo en este caso es la fibra natural de yute en el que se hace evaluaciones cualitativas, añadiendo espesor donde se elige valores de modo que sus propiedades sean adecuadas para la aplicación en el mantenimiento y construcción.

1.6.3.2. La matriz

La matriz en este caso de estudio es la resina biodegradable, entonces se puede definir a la matriz como el proceso posterior al refuerzo, donde el esfuerzo absorbe toda la resina en su composición que originará las siguientes funciones principales según (Kirschenbaum Juan Manuel, 2011, p. 7–8):

- Definir las propiedades físicas y químicas.
- Transmitir las cargas al refuerzo y protegerlo brindando cohesión.

1.6.3.3. Orientación de las fibras

La orientación de las fibras de refuerzo tiene un rol importante para que la matriz pueda inserir con facilidad o dificultad, infiriendo en el resultado del material compuesto causando características pobres. Existen dos configuraciones comúnmente utilizadas las cuales son:

- **Unidireccionales:** Las configuraciones de fibras largas en orientación unidireccional producen propiedades anisotrópicas, estas fibras se denominan frecuentemente como capas de 0° indicando que todas están alineadas en la dirección del esfuerzo aplicado (Stupenengo Franco, 2011, p. 18).

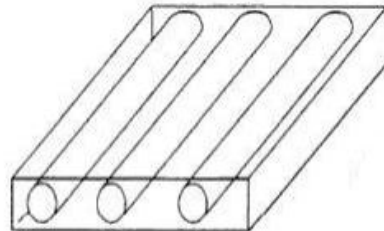


Figura 1-1: Fibra unidireccional

Fuente:(Berninches Marina, 2017)

- **Fibras largas con orientación aleatoria:** La configuración aleatoria de fibras largas y continuas son arreglos ortogonales con capas de $0^\circ/90^\circ$, esto genera buenas resistencias en dos direcciones perpendiculares, disposiciones complejas como $0^\circ/45^\circ/90^\circ$ proporcionan refuerzos en varias direcciones (Stupenengo Franco, 2011, p. 18).

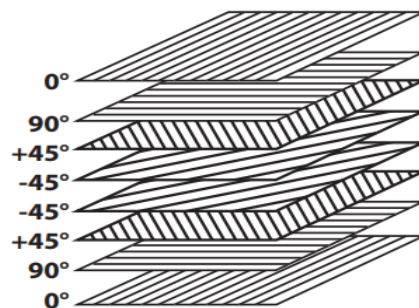


Figura 2-1: Capas cruzadas $0^\circ/45^\circ/90^\circ$

Fuente:(Stupenengo Franco, 2011)

- **Fibra corta:** Al emplear fibras cortas como refuerzo de los materiales, la longitud de éstas influye en las propiedades del material. Los materiales compuestos reforzados con fibras tienen naturaleza anisótropa, ofreciendo excelentes propiedades en la dirección de las fibras (Ingemeccánica, 2022).

1.6.4. Métodos de fabricación de materiales compuestos

Los métodos de fabricación de materiales compuestos fueron desarrollados en la década de 1940 para su aplicación militar y de posguerra, que con el tiempo hubo avances significativos

con la llegada de resinas y refuerzo (Thiesen Anselmo, 2016, p. 26). Ahora bien, estos métodos son fases sistemáticas de modo ordenado que indican las acciones que se deben ejecutar, así como también detallan la necesidad de equipos y herramientas para fabricar los productos compuestos. A continuación, en el Gráfico 1-1 se observa el porcentaje de refuerzo que posee cada método de moldeo en la fabricación de materiales compuestos

La fabricación de materiales compuestos reforzados con fibra comenzó a utilizarse en la construcción debido a las propiedades que presenta, esto hace que el uso de las fibras pueda resultar potencialmente beneficioso frente a materiales tradicionales como el hormigón, acero o en algunos casos algunos tipos de maderas de construcción (Villalón Diego et al, 2016: pp. 1–2).

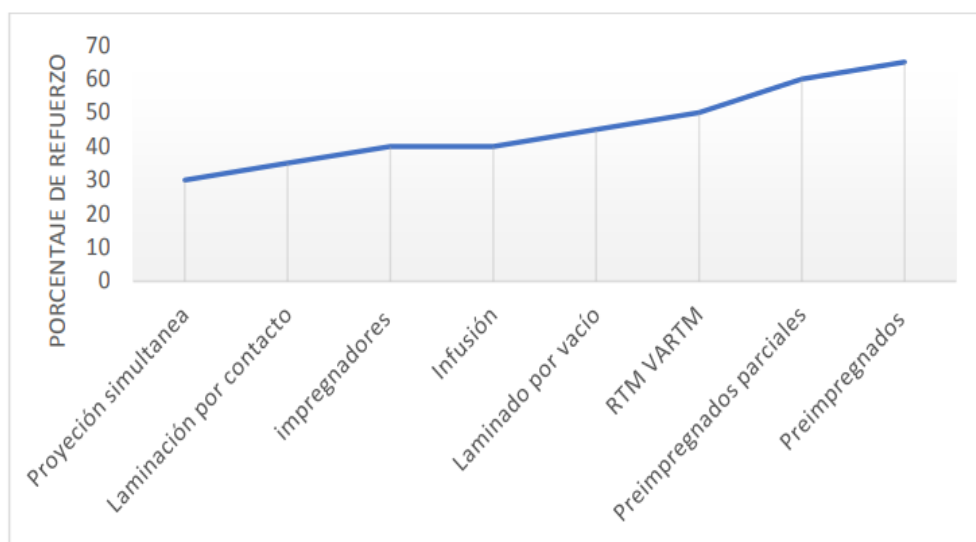


Gráfico 1-1: Porcentaje de refuerzo en procesos de fabricación

Fuente:(Vallori Joan, 2018)

En el gráfico anterior se observa que el eje de las ordenadas denominado porcentaje de refuerzo hace relación a la cantidad de fibras sintéticas utilizadas para cada proceso de moldeo, por lo cual el moldeo por infusión realizado en el presente proyecto se encuentra en una escala menor a la del 50%, esto en los costos de fabricación resulta ser un beneficio para el procedimiento ya que se economiza materiales de fabricación.

Hay que destacar que las propiedades obtenidas del material compuesto no solo van a depender de las características individuales de la matriz y del refuerzo, sino que también va a estar condicionado del método por el cual se diseñan y procesan los materiales (Kirschenbaum Juan Manuel, 2011, p. 21).

1.6.4.1. Moldeo por infusión

El método de infusión por resina es un método de moldeo abierto, esta técnica disminuye la emisión de estireno que es perjudicial para la salud y también es un proceso de manufactura de costos bajos (Alcudia-Zacarías et al. 2015, p. 3).

- Procedimiento

El sistema está sujeto a presión de vacío por medio de una bolsa para extraer el aire atrapado entre las fibras de yute; una vez compactado el laminado se da paso a la resina catalizada a través de mangueras repartidas por todo el molde (Proyecto Menorquín Yacht, 2008, p. 52). La resina durante su paso impregna las láminas hasta llegar a su punto de saturación, posteriormente empieza entrar a la trampa de resina a través de la manguera de salida, y con esto se termina el proceso de infusión (Alcudia-Zacarías et al. 2015, p. 3).

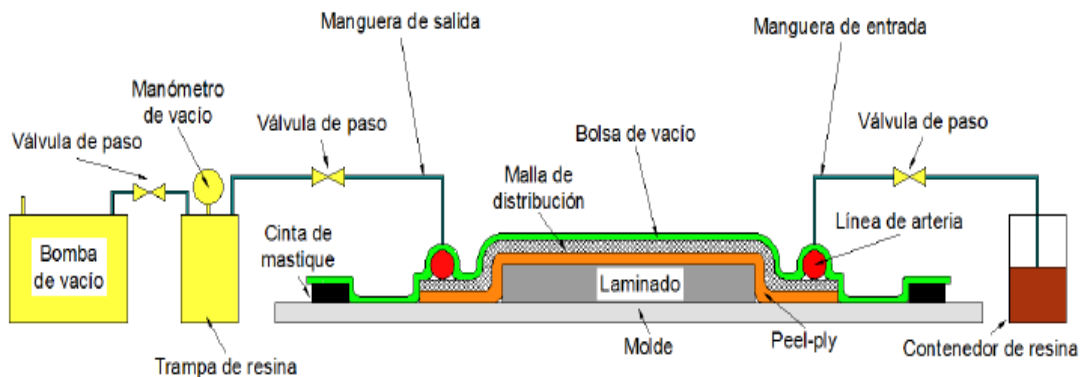


Figura 3-1: Esquema de funcionamiento del método de infusión de resina.

Fuente: (Alcudia-Zacarías et al. 2015)

El vacío requerido para el moldeo se puede obtener de bombas de vacío ya sea de paletas flexibles o de anillo líquido, también otra alternativa son los eyectores debido a que los niveles de vacío necesarios no son elevados generalmente rondan entre los 0,5–0,8 bares (Proyecto Menorquín Yacht, 2008, p. 53).

- Materiales y equipos requeridos para el método de infusión

El proceso de infusión a diferencia de otros métodos requiere de pocos materiales para la ejecución entre los cuales se describen a continuación.

Tejidos pelables (Peel plies): El peel ply actúa como barrera removible de exceso y sobre el cual la resina no se aglutina (Proyecto Menorquín Yacht 2008, p. 54).



Figura 4-1: Tejido peel ply

Fuente: (© Fondear 2022)

Film de Nylon transparente para bolsa de vacío: Es resistente al estireno y otros agentes químicos, además es transparente para permitir controlar en todo momento el flujo y ratificación de la repartición de la resina (Proyecto Menorquín Yacht 2008, p. 54).



Figura 5-1: Bolsa de vacío

Fuente: (© Airtech International, 2022)

Masillas de cierre (Tacky tape): Sirve de junta estanca entre la bolsa y el molde, es resistente para contener la resina y a su vez se extrae fácilmente a la finalización del proceso (Proyecto Menorquín Yacht, 2008, p. 54).



Figura 6-1: Tacky tape

Fuente: (© The Home Improvement Outlet 2022)

Malla de reparto de resina: Permiten que la resina circule a través de los laminados secos colocados en el molde, de forma que se consiga una impregnación rápida y efectiva de los mismos (© Castro Composites, 2020) .

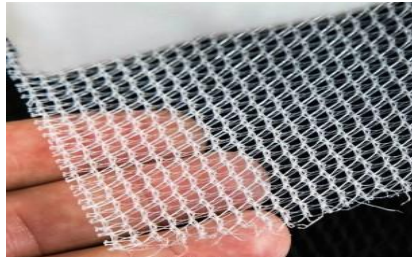


Figura 7-1: Malla de distribución

Fuente: (© Castro Composites 2020)

Canal de vacío espiral: Cuando la resina llega a la espiral es detenida mientras que el vacío actúa sobre la misma eliminando únicamente el aire. De esta forma se evita que la resina pase a la línea de vacío y pueda llegar a la bomba de vacío o al cubo de evacuación (© Castro Composites, 2020).



Figura 8-1: Canal de vacío

Fuente: (© Castro Composites, 2020)

Trampa de resina: Recolecta el exceso de resina que haya sido succionada hacia afuera del sistema de la bolsa de vacío, y de esa manera evita que ocurra daños a la bomba (Arruti R., 2016, p. 5).



Figura 9-1: Trampa de resina

Fuente: (© TF3P 2022)

Bomba de vacío: Extrae gases y es capaz de mantener la máxima presión de vacío a pesar de filtraciones de aire que se presentan en el sistema (Arruti R., 2016, p. 5). El factor de servicio es de suma importancia en las bombas ya que algunas resinas tienen un tiempo de curado lento y en el proceso de infusión la bomba de vacío debe estar encendida hasta alcanzar el punto de gelificación.



Figura 10-1: Bomba de vacío

Fuente: (©Mundo Herramientas 2022)

- Aplicaciones

El método de moldeo por infusión abarca varias aplicaciones que a continuación según (© BFG INTERNATIONAL 2017) el moldeo es utilizado generalmente en:

- Marina: Cascos, cubiertas, estructuras de refuerzo, radares, antenas.
- Aeroespacial: Paneles interiores, conos de nariz de avión, asientos.
- Edificación y construcción: Puentes, radiotelescopios, revestimientos, piscinas.
- Energía eólica: Palas de turbinas, góndolas, nacelas, conos de hélices.

1.6.4.2. Comparación de los procesos de infusión de resina asistida por vacío.

Los métodos utilizados actualmente de infusión de resina proporcionan una comparación de niveles en circunstancias idénticas, existen seis métodos de infusión los cuales están VARTM, SCRIMP, CAPRI, DBVI, VAP y PI. Cada proceso presenta diferencias en el tiempo de infusión, la presión y uso de laminado (Allen et al., 2019, p. 4)

El método de infusión de resina es un proceso que varía en costos y complejidad dependiendo del tipo de técnica que sea aplicada. En la gráfica a continuación presentada se analiza uno de los requerimientos mínimos que la infusión necesita para la fabricación de material compuesto desde el moldeo más complejo hasta el más simple.

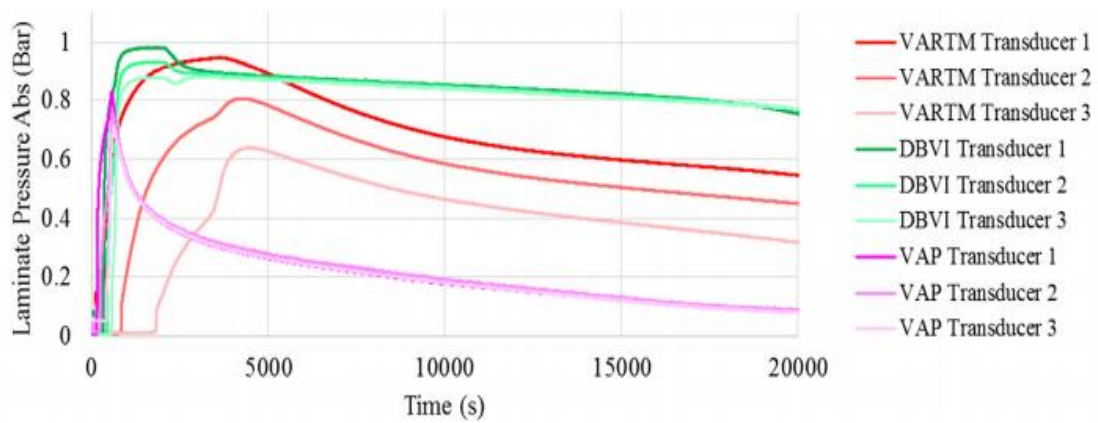


Gráfico 2-1: Presiones de laminado en vacío

Fuente:(Allen et al., 2019)

En el Gráfico 2-1 se observa las presiones que requieren los diferentes procesos de infusión de resina con su respectivo tiempo de llenado, el método de VAP para la fabricación de la placa composite la presión requerida está por debajo de un bar la cual es beneficiosa, aunque también los resultados finales varían en cada tipo de moldeo con referencia al espesor y acabado. Se puede considerar como un método económico y que puede competir con los diferentes tipos de moldeo presentando características competitivas en la fabricación de materiales composites reduciendo el consumo energético y costos extras que presentan.

1.6.5. Ensayos destructivos mecánicos de los materiales compuestos

Los materiales compuestos para ser aplicados en diferentes campos de la ingeniería necesitan poseer características mecánicas sobresalientes. Las propiedades mecánicas como elasticidad, plasticidad, maleabilidad, ductilidad, dureza, tenacidad y fragilidad cuando se realiza ensayos destructivos generan valores numéricos que describen dichas propiedades (González María, 2017, p. 14) .

1.6.5.1. Esfuerzo y deformación

El comportamiento mecánico de cualquier material que se requiera analizar posee relación entre esfuerzo y la deformación, el esfuerzo en la ciencia de materiales es la fuerza sujeta a cada unidad de área, mientras que la deformación es la alteración que sufre el material al estar sometido a varios esfuerzos. Si una fuerza es estática o cambia de forma relativamente lenta con el tiempo y es aplicada uniformemente sobre una sección del material, el comportamiento mecánico del material puede ser estimado mediante un ensayo esfuerzo-deformación (González María 2017, p. 17).

Dependiendo de la máquina universal juntamente con el software automáticamente se genera el diagrama esfuerzo-deformación al final del ensayo obteniendo los valores necesarios, en casos de que la máquina solo registre la fuerza aplicada se puede calcular el esfuerzo mediante la siguiente ecuación (González María, 2017, p. 17):

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (1)$$

Donde:

σ = Esfuerzo

F= Fuerza (N)

A = unidad de área (m²)

Y así mismo utilizando el módulo de elasticidad del material y la ley de Hooke se calcula la deformación (González María 2017, p. 17). A continuación, en el Gráfico 3-1 se observa la curva esfuerzo-deformación, donde el eje de las abscisas pertenece a la deformación unitaria mientras que el eje de las ordenadas corresponde al esfuerzo unitario.

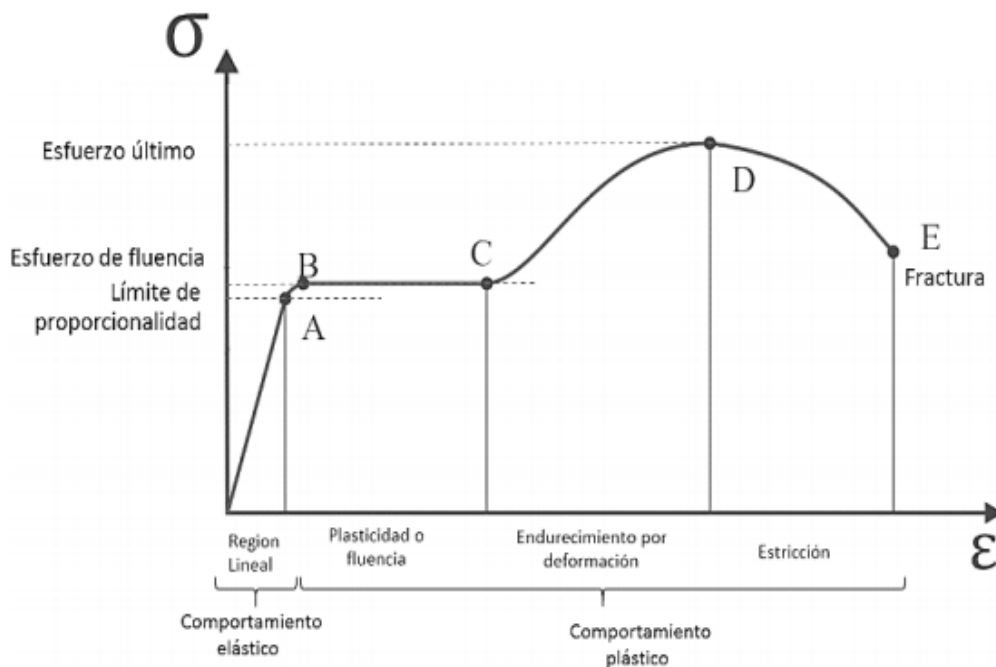


Gráfico 3-1: Diagrama esfuerzo-deformación

Fuente: (González María, 2017)

El diagrama esfuerzo-deformación facilita la distinción de un material ensayado, generalmente para obtener el esquema se realiza una prueba de tensión.

1.6.5.2. Máquina universal

La máquina universal cuantifica numéricamente las propiedades mecánicas de los materiales, posee la capacidad de realizar diversos ensayos mecánicos (González María, 2017, p. 15). Una máquina universal es semejante a una prensa, con facultades de someter diferentes materiales a ensayos de tracción, compresión o flexión que según (© Servosis 2019) mide propiedades tales como:

- Esfuerzo
- Elasticidad
- Alargamiento
- Dureza

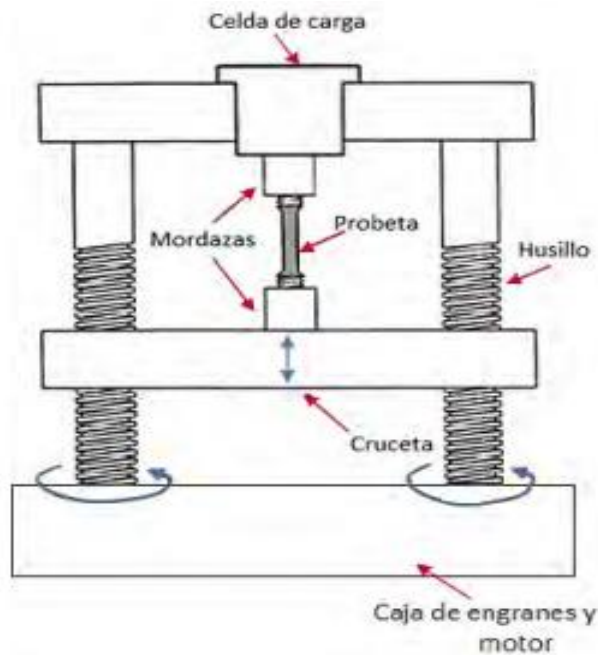


Figura 11-1: Estructura de la máquina universal

Fuente: (González María 2017)

Las máquinas universales se clasifican en hidráulicas y electromecánicas, las electromecánicas pueden aplicar una fuerza de hasta $0.135 \cdot 10^6$ lbf, mientras que las hidráulicas aplican fuerzas hasta $1 \cdot 10^6$ lbf (González María 2017, p. 15). A la máquina universal se le añade mordazas y soportes de apoyo dependiendo del tipo de ensayo que se requiera realizar como se observa en la siguiente Figura 12-1. Para analizar materiales composites es necesario que las cargas de las máquinas no sean muy elevadas ya que los resultados de las pruebas generan datos desconfiables.

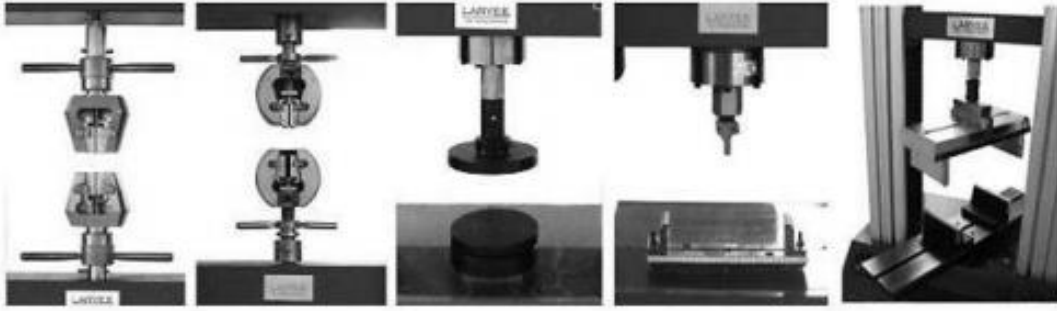


Figura 12-1: Aditamentos de una máquina universal

Fuente: (González María 2017)

La utilización de ensayos destructivos desarrolla un rol importante para evaluar las propiedades mecánicas de los materiales compuestos, tal así que institutos normalizadores como ASTM, ASME, ISO, UNE, ICONTEC, INEN, etc, han generado gran cantidad de normas para diferentes propósitos, entre los que se incluye la caracterización mecánica (Espinoza Gabriel y Hidalgo Jorge, 2016, p. 50).

1.6.5.3. Ensayo de tracción ASTM D638

El ensayo de tracción es uno de los ensayos mecánicos más utilizado, consiste en su deformación hasta la rotura de la probeta, mediante la aplicación de una fuerza uniaxial a lo largo del eje principal y que aumenta de manera gradual (Espinoza Gabriel and Hidalgo Jorge 2016, p. 51). Para materiales compuestos reforzados con fibras, el ensayo a tracción se lleva a cabo bajo las condiciones de la norma ASTM D638-14 (Espinoza Gabriel and Hidalgo Jorge 2016, p. 51). Todos los materiales compuestos reforzados, incluyendo los laminados altamente ortotrópicos, deben utilizar las muestras de tipo I (©MTS 2016, p. 2), sus valores se indican en la Tabla 7-1.

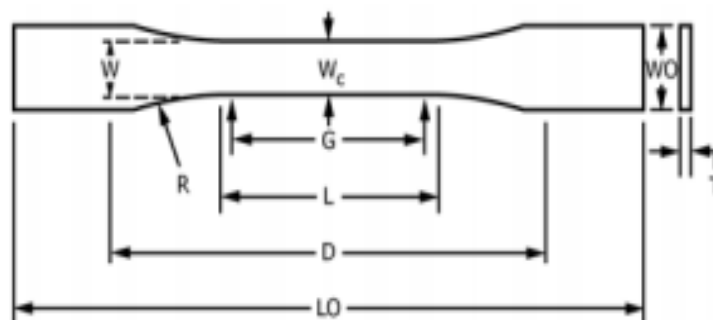


Figura 13-1: Muestras tipo I, II, III y V

Fuente: (ASTM INTERNATIONAL 2014)

Tabla 7-1: Dimensiones de la muestra para espesor.

| Dimensiones | Tipo I |
|-------------------------------------|-----------|
| | mm (in) |
| W - ancho de sección estrecha | 13 (0.50) |
| L - Longitud de la sección estrecha | 57 (2.25) |
| WO – Ancho total | 19 (0.75) |
| LO – Longitud total | 165 (6.5) |
| G – Longitud calibrada | 50 (2.00) |
| D – Distancia entre puntos | 115 (6.5) |
| R – Radio de filete | 76 (3.00) |

Fuente: (ASTM INTERNATIONAL, 2014)

Realizado por: Cevallos R. 2022

1.6.5.4. Ensayo de flexión ASTM D790

Este ensayo mide la resistencia a la flexión del material y su capacidad de soportar cargas que se aplican en su eje longitudinal, sometido a una combinación de esfuerzos como tracción, compresión y cortante al aplicar la carga de flexión (Ortiz José 2018, p. 37).

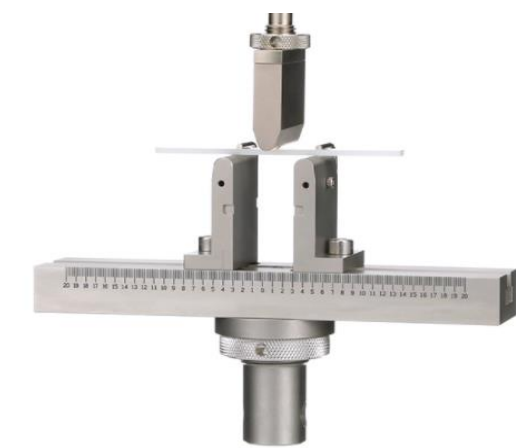


Figura 14-1: Flexión de tres puntos para ASTM D790

Fuente: (©Metalinspec, 2020)

La norma ASTM D790 utiliza probetas con forma de barras rectangulares, para materiales moldeados se utiliza el procedimiento A, el cual consta de un sistema de carga de tres puntos y la condición de distancia aplicando la siguiente ecuación (Ortiz José 2018, p. 66).

$$d=e_{\text{prom}} \times 16 \quad (2)$$

Donde:

d = distancia entre apoyos (mm)

e_{prom} = espesor promedio de las probetas (mm)

Las muestras ASTM D790 dependen del material, pero para materiales moldeados se utilizan las siguientes dimensiones mostradas a continuación:

Tabla 8-1: Dimensiones para materiales moldeados

| Material | Dimensiones (mm) | | |
|----------------------|------------------|-------|---------|
| | Profundidad | Ancho | Espesor |
| Materiales moldeados | 3.2 | 12.7 | 127 |

Fuente: (©Metalinspec, 2020)

Realizado por: Cevallos R. 2022

1.6.5.5. Ensayo de Impacto ASTM D5628

Este ensayo determina la energía de falla del material, donde se presentan fisuras por caída del dardo en la probeta. La probeta de material compuesto es colocada en la máquina, se deja caer el dardo teniendo en cuenta que no debe existir rebote es decir que el dardo no golpee dos veces la probeta, si existe fisura se considera una falla a la probeta que debe ser detectado a simple vista, hay que considerar que la energía de impacto será aquella necesaria para producir fallas en al menos 50% de las probetas (Balladares Morayma de los Ángeles 2017, p. 44). El ensayo se realiza en la máquina impactómetro de caída libre al dardo, generalmente laboratorios de instituciones del país no poseen estas máquinas y optan por otros ensayos parecidos.



Figura 15-1: Impactómetro de caída libre al dardo

Fuente: (TECHLAB SYSTEMS, 2022)

Para la realización de probetas se utiliza la geometría FB de la norma ASTM D5628, que es adecuado para investigación y desarrollo debido a que el área de prueba requerida es más

pequeña (ASTM INTERNATIONAL, 2001, p. 2), las medidas mínimas necesarias se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 9-1: Tamaño mínimo de la muestra

| Geometría | Diámetro de la muestra | Muestra cuadrada |
|-----------|------------------------|------------------------------|
| | mm (in) | mm (in) |
| FA | 89 (3.5) | 89 por 89 (3.5 por 3.5) |
| FB | 51 (2) | 51 por 51 (2 por 2) |
| FC | 140 (5.5) | 140 por 140 (5.5 por 5.5) |
| FD | 89 (3.5) | 89 por 89 (3.5 por 3.5) |
| FE | 58 (2.3) | 58 por 58 (2.3 por 2.3) |

Fuente: (ASTM INTERNATIONAL, 2001)

Realizado por: Cevallos R. 2022

1.6.6. Caracterización de compuestos a base de resina poliéster

Investigaciones realizan pruebas de las características mecánicas de la matriz de los compuestos para observar si las propiedades mejoran o caso contrario afectase al material. Al añadir fibra de banano mejoraron las propiedades de los compuestos y de la matriz las propiedades de tracción resultaron ser el doble, es decir solo la matriz es de 20 MPa y con la fibra es de 40 MPa (Hossain et al., 2020, p. 86)

En los compuestos reforzados con estera de fibra de vidrio con técnica de laminado manual se realiza varias pruebas. Por lo tanto en los ensayos sin fibra de vidrio la resina polimérica obtuvo un valor de 18 MPa, al realizarse el ensayo con contenido de fibra del 5% de estera de vidrio el valor alcanza un máximo de 70% (Islam et al., 2019, p. 3).

1.6.6.1. Efecto del tamaño de partículas de refuerzo sobre las propiedades mecánicas.

La influencia de las partículas de carbón vegetal de madera dura influye en algunas propiedades mecánicas y morfológicas de la superficie de los compuestos de matriz poliéster (Akaluzia et al. 2022, p. 38).

Los resultados de la investigación muestran que los compuestos reforzados con matriz poliéster con partículas de mayor tamaño alrededor de 300 micrómetros absorben energía de alto impacto

antes de su fractura, en cambio los compuestos con partículas diminutas entre los 75-250 micrómetros registran valores de alta dureza.

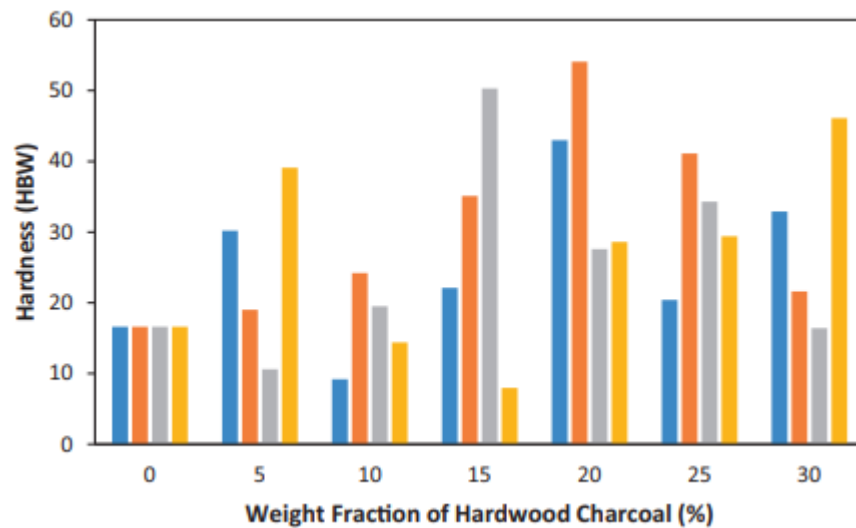


Gráfico 4-1: Dureza versus fracción de peso de partículas

Fuente: (Akaluzia et al., 2022)

El diagrama de barras posee cuatro colores que indican los tamaños de las partículas que van en el orden 75-150-250 y 300 micrómetros. Donde el valor máximo de dureza es de 54,1 HBW para la partícula de 150 micrómetros, lo que indica que a mayor tamaño de partícula y aumentando el refuerzo de los materiales compuestos se puede incrementar la dureza del material.

1.6.7. Ensayos previos cualitativos

1.6.7.1. Tiempo de polimerización de las resinas

La polimerización o también llamado curado de la resina es el aumento del tamaño de sus moléculas a través de procesos de alargamiento, ramificación y entrecruzamiento de las cadenas hidrocarbonadas para formar una red tridimensional de elevado peso molecular (Alonso María 2002, p. 71).

El proceso de curado posee varias etapas, en primer lugar el formulado A y B deben ser mezclados en la mayoría de las veces con relación de 2:1 o lo que estipule el fabricante; en esta fase la mezcla de polímeros al momento del enlace empieza la acción del calor, sus cadenas lineales empiezan a crecer y a ramificarse simultáneamente (Alonso María 2002, p. 73).

Conforme la reacción sigue avanzando, se produce la gelificación donde el peso molecular aumenta rápidamente continuando a la condensación de cadenas entre sí. Finalmente se produce el entrecruzamiento completo o la etapa final donde se endurece la resina obteniendo el polímero termoestable (Alonso María 2002, p. 74).

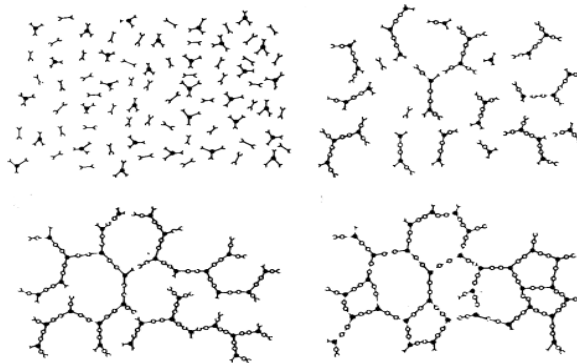


Figura 16-1: Representación de las etapas de gel

Fuente: (Alonso María, 2002)

Durante el proceso de curado de una resina termoestable también puede ocurrir otro fenómeno llamado vitrificación. En esa manifestación el material pasa de un estado líquido o de gel elástico a uno vítreo, ocurre cuando la temperatura de transición vítrea del material se hace igual a la de curado. Esta transformación es reversible y el termoestable puede desvitrificarse si es calentado, con lo que la reacción puede continuar (Pérez Carlos, 2016, p. 24) .

Para entender el proceso según (Pérez Carlos 2016, p. 24) se resume de la siguiente manera las cuales son:

- **Tiempo de trabajo:** En el momento que se añade catalizador a la resina empieza la primera fase del proceso de curado. Esta fase es donde se distribuye la resina en el molde durante el proceso de laminado de la pieza, ya que la resina aun no presenta dificultades para fluir. A medida que pasa el tiempo la viscosidad va aumentando hasta llegar el llamado punto de gel, que es el punto en el que la resina se transforma en un gel que imposibilita seguir impregnando el molde.
- **Fase de endurecimiento:** Una vez pasado el punto de gel la mezcla empieza a endurecerse desprendiendo calor de forma exotérmica hasta llegar a la temperatura máxima.
- **Curado final:** Una vez que alcanza la temperatura máxima, ésta empieza a descender hasta llegar a la temperatura ambiente donde se encuentra la mezcla ya como un sólido.

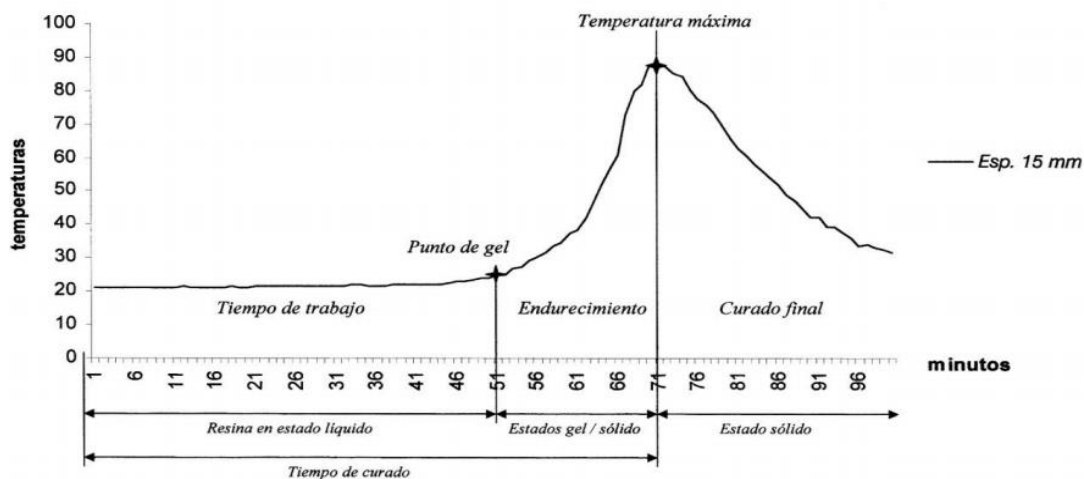


Gráfico 5-1: Curva exotérmica característica de una resina

Fuente: (Pérez Carlos citados en Alejandro Basednjak, 2016)

En el Gráfico 5-1 se observa las etapas y la forma de curva del tiempo de curado de una resina la cual el tiempo de gel es de suma importancia para el moldeo de infusión, dependiendo del tipo de resina la forma y las temperaturas varían.

1.6.7.2. Medición del gramaje

El gramaje mide el grosor del tejido, es decir, el espesor o peso en gramos del tejido que depende del número de hilos, el tramado y urdimbre de la capa de tejido por metro cuadrado (© SLOWFASHIONNEXT 2017).

Para calcular el tejido es necesario tener una balanza digital y seguir los pasos según (©El Taller de Tote, 2019) indicados a continuación:

- Se selecciona una muestra del tejido que mida 1m x 1m.
- Se coloca la muestra en la balanza, en el caso 1m x 1m se obtiene directamente el grosor en g/m^2 .
- Si las medidas son diferentes a 1m^2 , entonces se debe multiplicar las medidas por el peso que se haya obtenido.

1.6.8. Construcción y mantenimiento

Las construcciones se han convertido en un grave problema ambiental, debido a la exigencia de recursos naturales y la producción masiva de residuos de gran volumen que requiere un manejo especial (Hernández María et al. 2022, p. 4).

En la construcción usual la mayoría de los materiales utilizados poseen altos costes medioambientales debido a que requieren un alto consumo energético para su extracción, transporte y transformación (Hernández María, Jiménez Sebastián and Sánchez Juan 2022, p. 5). Frente a esto el material compuesto de fibra natural de yute se manifiesta como una disyuntiva para la construcción y mantenimiento.

Tabla 10-1: Análisis de energía y emisiones de CO₂

| Material | Energía incorporada (MJ/kg) | Emisiones (CO₂/kg) |
|-----------------------|------------------------------------|--------------------------------------|
| Adobe | 0,4 | 0,16 |
| Hormigón armado | 0,5 | 0,1 |
| Hormigón convencional | 1,3 | 0,2 |
| Ladrillo | 2,3 | 0,2 |
| Hormigón Ligero | 5,3 | 0,5 |
| Piedra | 5,9 | 0,25 |
| Cerámica | 11,1 | 0,6 |
| Madera | 15 | 1,4 |
| Acero | 35 | 2,8 |
| Plásticos | 79 | 11,7 |
| Cristal | 349,9 | 21,8 |

Fuente: (Pesántez José y Benalcázar Daniel, 2020, p. 45)

Realizado por: Cevallos R. 2022

En la Tabla 10-1 anteriormente citada se observa la energía necesaria para hacer un kilogramo de producto de los diferentes materiales, al igual que las emisiones al ambiente del peso del carbono en el CO₂. El mantenimiento desarrolla un rol importante en cuanto se refiere a la construcción, el costo de mantenimiento complejo de elementos fundamentales en la construcción varía del 25 al 30% del costo total de edificaciones (Cruz Miranda, 2011, p. 1).

1.6.8.1. Fallos en los materiales de construcción

La mampostería es un sistema tradicional de construcción que consiste en erigir muros y parámetros para diversos fines, mediante la colocación manual de los elementos o los materiales que los componen denominados mampuestos (Cementos Cibao 2018, p. 1).

Se pueden distinguir tres tipos de fallos según (Mercedes Enrique, 2019, p. 27) los cuales son:

- Fallo por fricción-cortante: El fallo ocurre para esfuerzos de compresión bajos y se produce por la unión libre débil de las interfaces mortero-unidad.

- Fallo por tensión diagonal para esfuerzos de compresión moderados, donde las grietas se distribuyen en forma de “X” atravesando las unidades.
- El fallo por flexión: La resistencia a flexión crece más rápidamente con el incremento de la carga axial de compresión en el caso de la resistencia a cortante, el fallo depende mucho de la altura de muro.

Los materiales de estructuras o equipos de oficina poseen varias causas de fallos que van desde el diseño hasta la selección de los materiales que se puede observar en la siguiente Tabla

Tabla 11-1: Causas de fallo en diferentes materiales de construcción

| Causa de fallo | Madera (%) | Acero (%) | Hormigón (%) |
|-----------------------------|------------|-----------|--------------|
| Diseño/Planificación | 53 | 35 | 40 |
| Proceso de construcción | 27 | 25 | 40 |
| Mantenimiento/Reutilización | | 35 | |
| Material/Fabricación | 11 | | |
| Otros | 9 | 5 | 20 |

Fuente: (GO2WOOD 2017)

Realizado por: Cevallos R. 2022

Como se observa la madera como material causa un fallo del 11%, por ende, la fibra de yute como material compuesto pretende ser una alternativa para la fabricación de mobiliarios de oficina, fachadas decorativas, cubiertas, como refuerzo en la mampostería y por qué no en la ingeniería civil para la fabricación de tableros DuraSpan.

1.6.8.2. Fibras como refuerzo en la mampostería

Los materiales poliméricos reforzados con fibra FRCM es una opción de material compuesto formado por un tejido en forma de cuadrículas embebido en una matriz orgánica de mortero (Mercedes Enrique 2019, p. 29).



Figura 17-1: Colocación del FRCM

Fuente: (Mercedes Enrique, 2019)

A pesar de las altas propiedades mecánicas que presentan las fibras sintéticas en comparación a las fibras vegetales, se realiza un estudio donde se compara el comportamiento a carga excéntrica de muros de mampostería reforzados con FRCM de fibras de lino con muros reforzados con PBO. Los resultados del FRCM de fibras de lino fueron capaces de liberar la tensión almacenada mediante formación de fisuras impidiendo el desprendimiento (Mercedes Enrique, 2019, p. 35).



Figura 18-1: Muros reforzados de lino y PBO

Fuente: (Mercedes Enrique 2019)

El objetivo para el mantenimiento frente a las ventajas presentadas de la fibra de yute que son económicas para la adquisición y sostenibles a lo largo del tiempo es que se pueda utilizar en diversos campos de la construcción, para que futuros investigadores se interesen en la aplicación de estas alternativas en el medio de construcción y se realicen pruebas que verifiquen si es factible la utilización a futuro de la fibra de yute en reemplazo de otras fibras sintéticas.

1.6.8.3. Costos de mantenimiento

Tabla 12-1: Costos de materia prima

| Descripción | Cantidad | Valor (USD) |
|---|-------------------------|-------------|
| Costo de fibra de vidrio e= 0.008 plg | 0,882579 m ² | 14,85 |
| Costo de fibra de carbono e= 0.017 plg | 1,16129m ² | 65,83 |
| Costo de kevlar e= 0.01 plg | 1,16129m ² | 37,75 |
| Costo de resina | ¼ galón | 30,19 |
| Costo de endurecedor | ½ pinta | 11,83 |

Fuente: (CIDFAE 2022, p. 152)

Realizado por: Cevallos R. 2022

El coste de las reparaciones en el mantenimiento es de suma importancia ya que se trata de que exista rentabilidad sin agotar la mayoría de los recursos posibles, la fibra sintética tiene un precio en el mercado que varía dependiendo del país y otras características propias del material. Las fibras naturales en comparación a las sintéticas se benefician de tener un precio económico, por lo cual a continuación en la tabla 12-1 se indica el valor monetario que poseen algunas fibras, hay que resaltar que el precio de la materia prima influye en el mantenimiento y a eso se le debe sumar otros costos directos e indirectos para la reparación.

1.6.9. Publicaciones

El estado del conocimiento consta de temas fundamentales basados en materiales compuestos, fibras naturales, elementos para el conformado, caracterización de materiales y temas relacionados que son base del entendimiento hacia el lector sobre el tema a desarrollar

Los artículos científicos publicados son amplios en conocimiento que permiten la filtración de información en diferentes áreas abriendo paso a nuevas investigaciones. El estudio de fibras sintéticas está presente desde varios años atrás hasta la actualidad, pero a lo largo de la historia se generan ideas y cuestiones acerca a la utilización de materiales naturales amigables al medio aplicando métodos de fabricación diferentes e innovadores. El proyecto de investigación fija como objetivo dar el seguimiento a la serie de procedimientos que se realiza durante la fabricación de materiales con fibra de yute con resinas biodegradables, además de permitir conocer que aporte brinda al sector de la construcción.

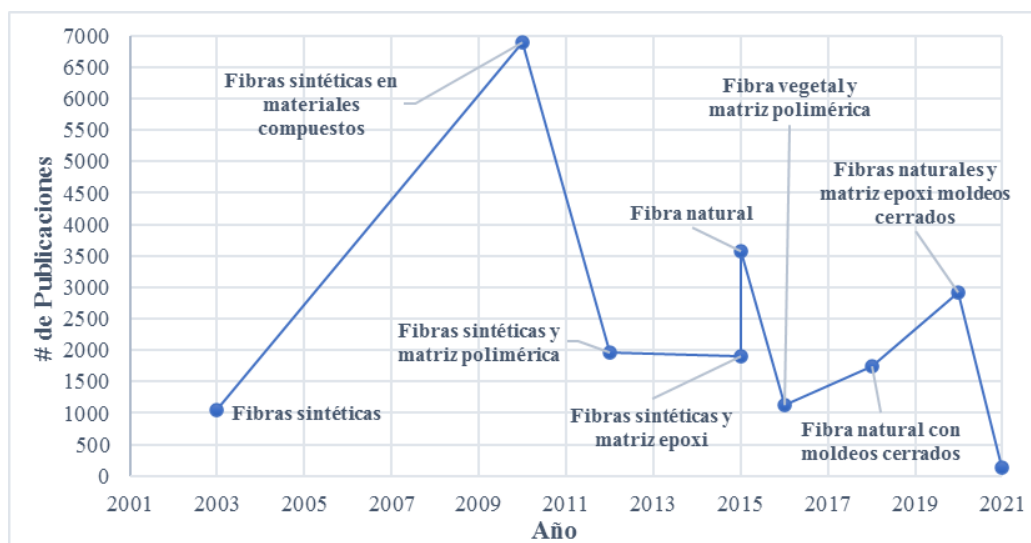


Gráfico 6-1: Documentos publicados relacionados a materiales compuestos

Realizado por: Cevallos R. 2022

En el Gráfico 6-1 desde el año 2003 el estudio de fibras sintéticas comienza con un número aproximado de 1000 publicaciones detallando características y futuras utilidades, desde ese año las publicaciones tienden a un incremento aplicado a materiales compuestos teniendo alrededor de 7690 publicaciones.

Desde el 2015 varias marcas de resinas epóxicas entran al estudio de materiales compuestos sintéticos, en ese mismo año aparecen varias publicaciones del uso y acoplamiento de fibras de base natural para varios sectores. Conforme avanza el tiempo entre el 2017 y 2018 los métodos de fabricación van aumentando, pero con incógnitas generadas; para el año 2020 se observa alrededor de 1700 publicaciones de celulosas como yute, plátano, coco, lino con resina epóxica, pero con moldeos nuevos o tradicionales que requieren la utilización de materia prima y equipos sumamente costosos, en el año 2022 estudios de materiales compuestos naturales con moldeos innovadores de alto costo ronda por las 192 publicaciones. La finalidad de la investigación es dar a conocer un moldeo novedoso con costo considerable y la aplicación de materiales compuestos amigables con el planeta para el sector de la construcción, descomponiendo etapas del proceso, problemáticas y demás características que sirvan de guía en un nuevo ciclo de investigación.

CAPÍTULO II

2. TRAZABILIDAD DEL MATERIAL COMPUESTO CON FIBRA DE YUTE

2.1. Materiales para la fabricación del material compuesto con fibra de yute

Para la fabricación de probetas de material compuesto con fibra de yute se utiliza una lista de materiales descritos a continuación, todos estos insumos se pueden conseguir en el Ecuador generalmente en almacenes ferreteros o de pintura, aunque existe empresas dedicadas a los materiales compuestos que se pueden localizar con mayor facilidad en las ciudades de Ambato, Quito y Guayaquil.

2.1.1. *Material fungible*

Para la fabricación de placas con materiales de fibra natural es indispensable la utilización de material fungible que se detalla el costo y la cantidad de material utilizado.

Tabla 1-2: Coste de materiales fungibles


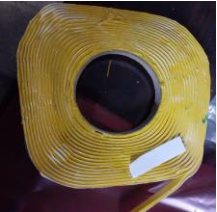



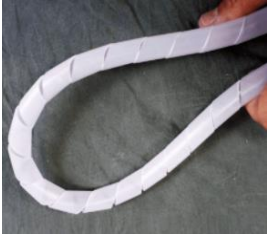

| Designación | Fotografía | Cantidad (m) | Costo (USD/m) | Total (USD) |
|------------------------------------|---|--------------|---------------|-------------|
| Bolsa de vacío 50 micrones de 80cm |  | 2 | 9 | 18 |
| Masilla de cierre LSM7000 |  | 12,5 | 1,60 | 20 |
| Tejidos pelables PA80 ancho 0,5m |  | 2 | 2,50 | 5 |

Tabla. (Continúa): Coste de materiales fungibles

| | | | | |
|--|---|-----------------------|------------------------|--------------------|
| Malla de distribución ancho 145 cm |  | 2 | 2,50 | 5 |
| Rollo de cinta de sujeción doble cara de 2,54 cm |  | 33 | 0,80 | 26,40 |
| Canal vacío espiral diámetro de 14mm |  | 3 | 8,20 | 24,60 |
| Designación | Fotografía | Cantidad (UND) | Costo (USD/UND) | Total (USD) |
| Tubo T Polietileno ½ in |  | 6 | 0,80 | 4,80 |
| Codo Polietileno ½ in |  | 6 | 0,44 | 2,64 |
| | | | Total | 106,44 |

Realizado por: Cevallos R. 2022

2.1.2. Fibra natural de yute

La fibra natural de yute se extrae de las plantas científicamente dichas *corchorus olitorius* es eco amigable con el medio ambiente a continuación se indica el costo de la tela de fibra natural de yute que se encuentra en el Ecuador.

Tabla 2-2: Costo de la fibra natural de yute

| Proveedor | Descripción | Cantidad (m ²) | Precio (USD/m ²) | Total (USD) |
|------------|-------------------------------------|----------------------------|------------------------------|-------------|
| Distritega | Rollo de fibra de yute 50m - h 1,6m | 5 | 4 | 20 |

Realizado por: Cevallos R. 2022

2.1.3. Resinas

Para la elaboración del material compuesto de fibra de yute se hacen pruebas con diferentes resinas las cuales están especificadas en la Tabla 15-2, a las resinas se les realiza un ensayo del tiempo de curado para saber cuál es la más óptima.

Tabla 3-2: Costo de resinas

| Descripción | Contenido | Cantidad (g) | Precio (USD/g) | IVA 12% | Total (USD) |
|------------------|---------------------|--------------|----------------|---------|---------------|
| WESCO EPOX-21 | Parte A | 680 | 24,47 | 2,94 | 27,41 |
| | Parte B | 340 | | | |
| Resina poliéster | Poliéster cobaltada | 1000 | 2,84 | 0,34 | 4,65 |
| | Meck peróxido | 70 | 1,32 | 0,15 | |
| SUPERSAP CLF | Resina | 680 | 70 | 8,40 | 78,40 |
| | Endurecedor | 340 | | | |
| Total | | | | | 110,46 |

Realizado por: Cevallos R. 2022

2.1.4. Mano de obra

Tabla 4-2: Costo de operación laser

| Operación | Tiempo (h) | Costo (USD) |
|--|------------|-------------|
| Corte laser de 10 probetas de cinco capas sobrepuestas | 2 | 7,50 |

Realizado por: Cevallos R. 2022

La mano de obra exterior que se utiliza en las operaciones de corte de la placa conformada de fibra de yute en medidas de probetas establecidas por ASTM D 3039-14 tiene un coste que se especifica en la Tabla 16-2.

Todos los costes están apoyados a partir de valores de facturas emitidas previas al proceso de fabricación del material compuesto con fibra de yute, y aportan como un punto de referencia para la construcción de diferentes probetas con diferente fibra natural.

Los precios de los materiales dependen del establecimiento, proveedores y calidad del producto. Con relación a los costos de resinas en el Ecuador, la más fácil de adquirir es la resina poliéster que se encuentra en grandes cantidades y a un costo accesible al consumidor, en cambio, las resinas epóxicas en el país se las encuentra de un solo tipo que son para colado y el precio aumenta considerablemente dependiendo de la cantidad, por último, la resina SUPERSAP es sumamente dificultosa de obtener y su precio es costoso en la región. Con las pruebas realizadas a las resinas se constata si el uso para el moldeo por infusión de resina resulta útil.

2.2. Reconocimiento del tiempo de curado de las resinas.

El tiempo de gelificación de la resina es un aspecto relevante en el moldeo por infusión con bolsa de vacío, ya que al utilizar una bomba de vacío esta no debe estar tanto tiempo en servicio y compactando al material por un largo período de tiempo. Entonces el tiempo de gelificación ocasiona que el material se mantenga de forma compacta y sin burbujas de aire, entonces la bomba puede dejar de operar permitiendo que se produzca el curado total de la resina.

2.2.1. Curado de resina EPOX-21



Figura 1-2: Resina EPOX-21

Realizado por: Cevallos R. 2022

La primera prueba se realiza con resina epóxica EPOX-21, se obtiene con facilidad en el país y solo es utilizada para moldeos de colado el contenido es de 1 kg, en esta prueba se mide cual es el tiempo de gelificación y se establece si es recomendada para el proceso de infusión.

La resina EPOX-21 consta de la formulación A que es la resina y el componente B es el endurecedor. La mezcla se realiza por peso 2:1 es decir dos partes del componente A y una parte del componente B, las características se aprecian en la Tabla 17-2.

Tabla 5-2: Características resina EPOX-21

| | |
|-------------------------------------|--------------------|
| Vida de la mezcla | 90-60 min a 25°C |
| Tiempo de curado | 8-12 horas a 25°C |
| Tiempo de secado | 24-28 horas a 25°C |
| Espesor máximo de aplicación | 4 cm |

Fuente: (WESCO 2022)

Realizado por: Cevallos R. 2022

2.2.1.1. Procedimiento de medición del tiempo de curado de la resina EPOX-21

El primer ensayo previo de resina se determina si la resina EPOX-21 cumple con los requisitos adecuados para realizar el moldeo por infusión, para la cual se efectúa los siguientes pasos:

- Se cambia la unidad de medida a gramos de la balanza, consecutivamente se coloca el recipiente en la balanza digital y se pone en cero el valor del envase



Figura 2-2: Balanza calibrada

Realizado por: Cevallos R. 2022

- Como la relación de mezcla de la resina EPOX-21 es de 2:1, primero se coloca 100 g del componente A en el envase



Figura 3-2: Adición del componente A

Realizado por: Cevallos R. 2022

- En el mismo recipiente se coloca 50 g del componente B y se agita la mezcla por tres minutos



Figura 4-2: Adición del componente B y mezcla

Realizado por: Cevallos R. 2022

Para graficar la curva exotérmica se utiliza la cámara termográfica para captar la temperatura con saltos de tiempo en minutos, al momento de observar un incremento de temperatura considerable con la cámara termográfica y visualmente la mezcla se vuelva más densa en ese

instante el compuesto está entrando en un estado de gelificación de resina que en el apartado de resultados se especifica de mejor manera.

2.2.2. Curado de resina poliéster

Como segunda prueba de tiempo de curado se utiliza la resina poliéster que a diferencia de las otras resinas esta posee una reacción exotérmica alta, se puede comprar en cualquier almacén que se dedique a la comercialización de productos afines a la construcción con un precio sumamente económico. En la Tabla 18-2 se indican las características usuales de la resina poliéster



Figura 5-2: Resina poliéster

Realizado por: Cevallos R. 2022

Tabla 6-2: Propiedades mecánicas de resina poliéster

| Propiedad | Valor |
|---------------------------|---------|
| Resistencia a la tracción | 70 MPa |
| Módulo de elasticidad | 4.3 GPa |
| Alargamiento a la rotura | 2% |
| Resistencia a la flexión | 110 MPa |

Fuente: (Regarsa 2022)

Realizado por: Cevallos R. 2022

2.2.2.1. Procedimiento de medición del tiempo de curado de la resina poliéster cobaltada

El ensayo contribuye en determinar si es factible la utilización de la resina poliéster cobaltada, y también si dicha resina cumple con los tiempos de a curado adecuados para la realización del

moldeo por infusión con bolsa de vacío, a lo que se debe realizar la siguiente secuencia de pasos para la medición del tiempo:

- Colocar el recipiente en la balanza digital y poner en cero el valor del peso del envase



Figura 6-2: Peso calibrado

Realizado por: Cevallos R. 2022

- Para realizar la mezcla es pesar 50 gramos de resina poliéster cobaltada en el primer envase



Figura 7-2: 50g de resina

Realizado por: Cevallos R. 2022

- En otro recipiente o en el mismo se le añade el 4% de hexano peróxido del peso agregado de resina poliéster para la cual se realiza un cálculo básico. Una vez realizado los cálculos da como resultado 2 gramos de hexano peróxido que se le debe añadir a la muestra de 50 gramos.

$$\text{Mek} = 50 \text{ g} \times \frac{4}{100} \quad (3)$$

Mek=50 g x 0,004

Mek= 2 g



Figura 8-2: 2g de Meck

Realizado por: Cevallos R. 2022

- Se revuelve la mezcla hasta que adapte un color durazno, después se toma las medidas de temperatura cada cinco minutos hasta que alcance su gelificación



Figura 9-2: Mixtura

Realizado por: Cevallos R. 2022

2.2.3. Curado de resina SUPER SAP CLF Laminating System

La resina SUPER SAP es la mejor que se puede encontrar debido a las características que poseen en relación con las resinas epóxicas, pero existen varios inconvenientes para adquirirlos en el Ecuador. Las características de la resina SUPER SAP se muestran en la Tabla 19-2.

Conforme indagaciones personales al momento de buscar todos los materiales necesarios para la fabricación de la matriz termoestable, para la compra de la resina SUPER SAP surgieron los siguientes problemas:

- La resina SUPER SAP no existe en stock en el país.
- La empresa fabricante de la resina no realiza envíos al Ecuador debido a las autorizaciones que posee el país con respecto a la importación de sustancias.
- La persona particular que desee importar el producto debe solicitar un permiso de importación al ARCSA, pero primero se envía una muestra a la entidad para el análisis y aprobación de importación, pero con retrasos logísticos de dos a tres meses.
- En el caso de poseer la aprobación de la entidad, la agencia o persona encargada de traer el producto no se responsabiliza si las restricciones aeroportuarias se despojan del mismo.
- Empresas particulares dedicadas a soluciones de ingeniería a nivel industrial llevan a cabo las importaciones, pero en cantidades voluminosas donde el container este completamente lleno.

Todas esas dificultades aparecieron en el instante de adquirir la resina SUPER SAP, conforme a largas indagaciones para obtener la resina epóxica, en la ciudad de Ambato se localiza una empresa dedicada al apoyo en las investigaciones de CIDFAE, que dispone en barriles las cantidades de resinas poliéster, viniléster y epóxica, que al dialogar con el gerente se alcanza a hacer la compra de 1 kg de resina SUPER SAP CLF para laminados.

Tabla 7-2: Características resina SUPER SAP

| | |
|-----------------------------|---------------|
| Módulo de tracción | 3.0 GPa |
| Fuerza de tensión | 65.5 MPa |
| Elongación | 5% |
| Módulo de flexión | 3.0 GPa |
| Fuerza de flexión | 93.1 MPa |
| Fuerza de compresión | 78.1 MPa |
| Curado completo | 7 días a 25°C |

Fuente: (© Gougeon Brothers, 2022)

Realizado por: Cevallos R. 2022

2.2.3.1. Procedimiento de medición del tiempo de curado de la resina SUPER SAP

Para determinar si es viable la utilización de la resina SUPER SAP CLF Laminating System se mide el tiempo en el que inicia el punto gel hasta completar el curado, para eso se realiza el siguiente procedimiento:

- Se identifica cual es la resina y el endurecedor, en este caso el envase A es la resina y B el endurecedor ya que fue pesado desde barriles para su venta.



Figura 10-2: Resina SUPER SAP

Realizado por: Cevallos R. 2022

- En la balanza digital seleccionar como unidad de medida el gramo
- Pesar el envase y el valor que salga volverlo cero con el botón Z/T de la balanza digital para añadir el peso correcto de la resina
- La mezcla de la resina que indica la ficha técnica es de relación 2:1, entonces primero hay que colocar en el recipiente 50 gramos del contenido A



Figura 11-2: 50g del componente A

Realizado por: Cevallos R. 2022

- Para continuar como siguiente paso en el mismo envase añadir 27 gramos de contenido B o conocido como endurecedor. Entonces como suma de las dos mezclas se tiene un peso de 77 gramos.



Figura 12-2: 27g de Endurecedor

Realizado por: Cevallos R. 2022

- Para finalizar, revolver la mezcla hasta que visiblemente no exista gran cantidad de burbujas, por último, con la cámara termográfica apuntar el tiempo y temperatura que genera la mixtura de resina.



Figura 13-2: Mezcla

Realizado por: Cevallos R. 2022

2.2.4. Obtención de valores de temperatura

La obtención de los valores de temperatura facilita la realización de las gráficas exotérmicas de las resinas empleadas en la investigación, para conseguir las valorizaciones en grados centígrados se maneja la cámara termográfica SATIR HotFind-VR equipo proporcionado por la facultad de mecánica de la institución. Las curvas exotérmicas están expuestas en el apartado de resultados del estudio.



Figura 14-2: Cámara termográfica

Realizado por: Cevallos R. 2022

La cámara termográfica captura datos dependiendo el tipo de ajuste que reciba, vale decir que acá se mide a un metro de distancia del objetivo con lapsos de tiempo diferentes para cada resina, en otras palabras, para la resina EPOX-21 después de las pruebas ejecutadas resulta ser la más extensa en curarse, entonces se emplea saltos de tiempos de una a dos horas para evaluar su temperatura.

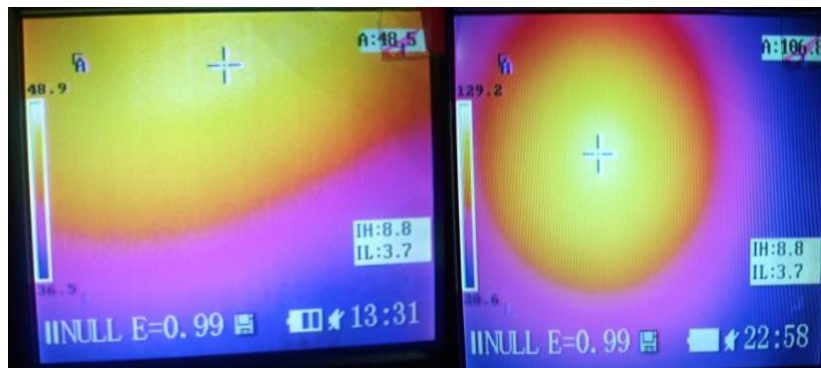


Figura 15-2: Temperaturas captadas de las resinas

Realizado por: Cevallos R. 2022

La temperatura máxima que presenta la resina EPOX-21 en el transcurso del tiempo de curado es de 48,5°C que resulta una temperatura bastante buena evitando que se genere algunos riesgo pero por otro lado resulta que el tiempo empleado para la curacion es demasiado extenso para realizar el moldeo por infusion.

En consecuencia del tiempo alargado que tiene la resina EPOX-21 seguidamente se evalúa la resina SUPER SAP CLF, del mismo modo se opera la cámara termográfica en intervalos de tiempo de quince minutos hasta llegar a la gelificación sobre todo hay que menorar dicho intervalo en el momento que su temperatura empieza a elevarse rápidamente, se obtiene como temperatura máxima 170,4°C.

La resina SUPER SAP tiene un período de endurecimiento de dos horas que del mismo modo es una duración prolongada, como último se valora la resina poliéster cobaltada aquí se repite todos los procedimientos aunque resulta que el tiempo de curado es acelerado por esta razón el período de tiempo para evaluar la temperatura es de cinco hasta dos minutos y alcanza una temperatura máxima de 140,2°C. Todas las curvas exotérmicas son diferentes dependiendo del tipo de resina, pero poseen formas semejantes que en la sección de resultados se comprende de mejor manera.

2.3. Metodología de fabricación de la placa composite

Se fabrica una placa con dos disposiciones para luego recortar probetas rectangulares de 25x250 mm para ensayos de tracción de modo que no se necesita molde, únicamente se utiliza una superficie lisa sin rugosidad que en este caso particular se emplea el uso de una placa de vidrio de 5 mm de espesor para el moldeo por infusión.

A continuación, se describe el proceso que se lleva a cabo para la fabricación de los composites por medio de infusión de resina con bolsa de vacío

2.3.1. Disposición de la fibra de yute

En el inicio del proceso de infusión se prepara las capas del tejido de yute en dos disposiciones unidireccional y simétrico a 45°. Para ello se coloca el material sobre la mesa de trabajo y se recortan las diferentes capas con las siguientes dimensiones:



Figura 16-2: Tejido de fibra de yute

Realizado por: Cevallos R. 2022

- Para los tejidos unidireccionales se deben recortar cinco capas de 30x25 cm y que la orientación de la fibra de yute se encuentre unidireccional es decir las cinco capas en la misma dirección

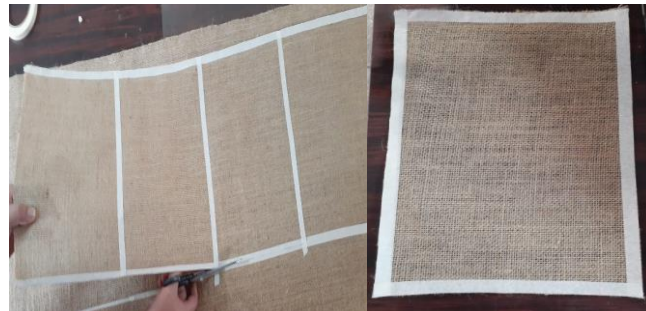


Figura 17-2: Preparación y corte del tejido de yute

Realizado por: Cevallos R. 2022

- Para las muestras simétricas a 45° se recorta cinco capas de 30x25 cm con diferente disposición, dicho de otra manera, la orientación que se debe recortar es primero dos capas en disposición a 90°, una capa a 45°, una capa a -45° y una capa a 0° que deben ir sobrepuestas una a continuación de otra



Figura 18-2: Recorte de tejido de yute en orientación 90°/45°/-45°/90°/0°

Realizado por: Cevallos R. 2022

2.3.2. *Acondicionamiento de la superficie de operación*

El lugar donde se va a realizar la infusión debe cumplir especificaciones como planicidad y que esté exento de suciedad, así que la placa de vidrio utilizada para el proceso de infusión cumple con estas caracterizaciones ya que se realizan placas rectangulares. El vidrio se adquiere con facilidad en todas las ciudades a un costo asequible dependiendo de las dimensiones; las medidas para el moldeo por infusión en este caso de estudio son de 50x50 cm con un espesor de 5mm.

Para poder desmoldar con facilidad las placas fabricadas del vidrio es necesario usar cera desmoldante y cubrir todo el espacio del vidrio con dicha cera, se debe colocar cinco capas de cera.



Figura 19-2: Cera desmoldante para preparación superficial

Realizado por: Cevallos R. 2022

Las ceras son antiadherentes si su aplicación es la adecuada, para permitirse tener un acabado sobresaliente se le coloca gelcoat sobre las capas de cera desmoldante para otorgar alta calidad a la superficie del material composite.

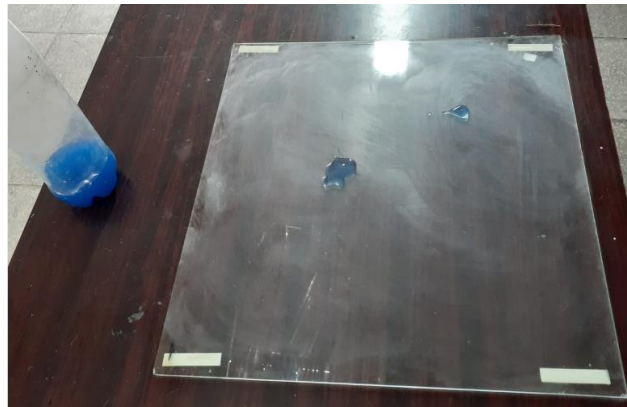


Figura 20-2: Colocación de gelcoat en la superficie

Realizado por: Cevallos R. 2022

2.3.3. *Colocación de la fibra de yute*

La técnica de moldeo por infusión comienza con la colocación de las capas del tejido de yute en la superficie de vidrio, antes bien se recorta la fibra con las dimensiones y orientaciones adecuadas. Por consiguiente, se tiene dos orientaciones de la fibra de yute en el lado izquierdo la fibra en sentido unidireccional y por el otro costado se tiene la orientación sobre puesta de capas en el sentido $90^{\circ}/45^{\circ}/-45^{\circ}/0^{\circ}/90^{\circ}$.



Figura 21-2: Superposición de capas de tejido

Realizado por: Cevallos R. 2022

De igual modo encima de la fibra de yute se acomoda una capa de tejido pelable o conocido como peel ply, con el motivo de que al momento de realizar la infusión la bolsa de vacío no quede adherida a las placas del material de fibra de yute una vez que la placa esté curada. Hay que especificar que el tejido pelable debe cubrir y sobresalir de los bordes en uno centímetros de la fibra de yute

De la misma manera se coloca la malla de distribución, se pone después del tejido pelable con el fin de que la resina circule por todos los espacios a través del tejido de yute obteniendo así una mejor impregnación.



Figura 22-2: Colocación de tejido pelable sobre la fibra de yute

Realizado por: Cevallos R. 2022

2.3.4. Colocación de ductos de vacío

Primeramente, en el contorno del vidrio se coloca la masilla de cierre o tacky tape que permitirá que no exista entradas ni salidas de aire. Alrededor de las capas de tejido se coloca en la

superficie de vidrio un tubo helicoidal de polietileno con una unión tipo T, es la principal salida hacia la bomba de vacío.



Figura 23-2: Colocación de tacky tape y canales de vacío

Realizado por: Cevallos R. 2022

Como se observa en la imagen anterior en el lado derecho, en el medio de los tejidos se coloca una red de infusión que al momento del ingreso de resina poliéster se encarga de dispersar toda la resina por toda la superficie. Como último se coloca el canal de infusión de entrada con el objetivo de ingresar toda la resina requerida para el moldeo, el canal va en disposición deseada relacionando el tamaño del elemento a infundir.



Figura 24-2: Canal de entrada de resina

Realizado por: Cevallos R. 2022

2.3.5. *Sellado del conjunto*

Una vez montado todos los elementos necesarios para la infusión, se cubre todo el conjunto con una bolsa de vacío unida a la masilla de cierre.

Hay que tomar en cuenta que siempre se debe dejar la bolsa con exceso para evitar la rotura por tensiones de la lámina de plástico, también se realiza pliegues o denominados pinzas para evitar la ruptura y asegurar que no exista fugas en el sellado.



Figura 25-2: Colocación de bolsa de vacío para sellado

Realizado por: Cevallos R. 2022

2.3.6. *Canalización*

Una vez extraído el aire del molde como penúltimo paso, se ejecuta el montaje de la tubería para la entrada de resina con tubo y llaves de paso asegurado con tacky tape alrededor para un sellado hermético y confiable. Para el canal de succión se empalma a un recipiente para la contención de la resina sobrante y otro canal que va hacia a la bomba de vacío.

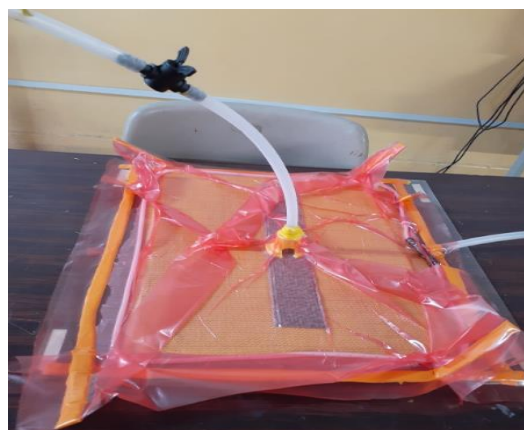


Figura 26-2: Canales de entrada de resina

Realizado por: Cevallos R. 2022

2.3.7. *Infusionado de resina*

Para finalizar el moldeo se realiza la infusión de resina, previamente se calcula la cantidad necesaria de resina para el proceso relacionando el gramaje del tejido de yute. Se mezcla la

resina y catalizador en un recipiente hasta que desaparezcan las líneas formadas a causa de la mixtura, se procede a la infusión introduciendo el canal de llenado en el recipiente y abriendo la válvula de paso para la entrada de resina.

Para concluir la infusión de resina se cierra la válvula de paso y se apaga la bomba de vacío colocando en las tuberías pinzas u obstruyendo el ingreso de aire y resina para que el material composite tenga un curado total.



Figura 27-2: Placa infundida y canales bloqueados

Realizado por: Cevallos R. 2022

Finalmente, la placa de material compuesto es desmoldeada, la placa es llevada a ser cortada con láser con las dimensiones 25x250 mm. Los resultados se presentan en el capítulo correspondiente con su respectivo análisis.

CAPÍTULO III

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los datos y resultados expuestos a continuación se sustentan a partir de ensayos y son demostrados respectivamente. Para empezar, se indica el comportamiento exotérmico que presenta cada resina y cuál es la que mejor se ajusta al moldeo por infusión, así como también los datos obtenidos al realizar la fabricación de la placa de material compuesto, el siguiente apartado muestra los valores del módulo de elasticidad mediante prueba no destructiva de la probeta con una y tres capas de fibra de yute. Finalmente se presentan los valores de módulo de elasticidad encontrados mediante ensayos a tracción.

3.1. Comportamiento exotérmico de resinas

Las curvas exotérmicas de cada resina indica los valores de temperaturas captadas desde el inicio de la mezcla entre resina y endurecedor hasta completar la solidificación, esta prueba se realiza antes de empezar con el moldeo por infusión. La prueba de tiempo de curado para todas las resinas se lo realiza a 25°C temperatura ambiente.

3.1.1. Curva exotérmica EPOX-21

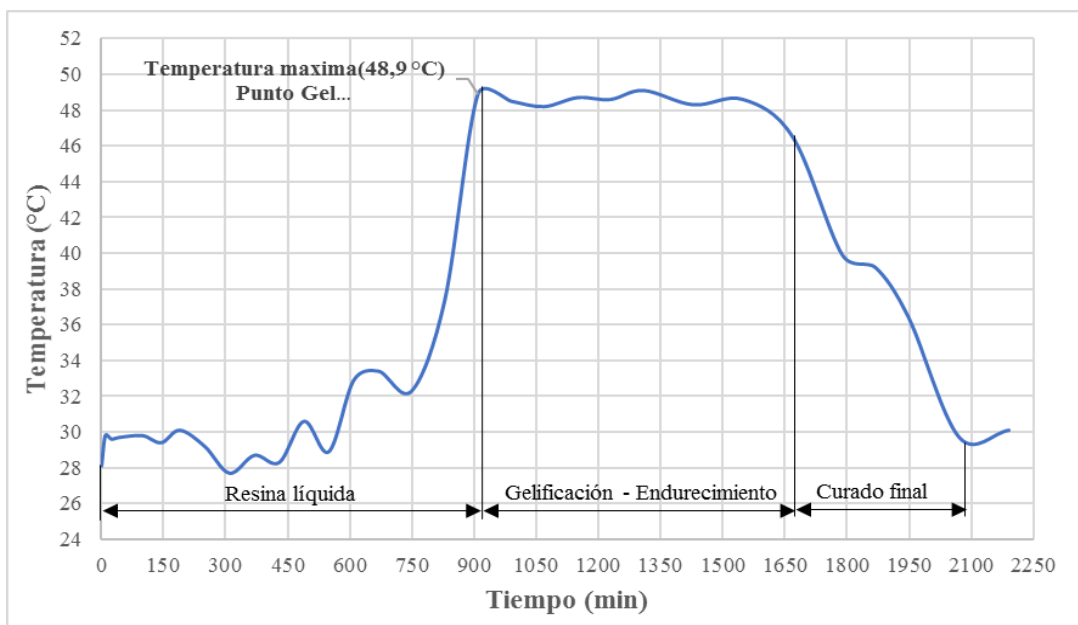


Gráfico 1-3: Curva exotérmica EPOX-21

Realizado por: Cevallos R. 2022

En el gráfico 7-3 se observa que el tiempo de gelificación de la resina EPOX-21 inicia a las 15 horas después de realizarse la mixtura entre componente A y B de relación 100:50 desprendiendo una temperatura máxima de 48,9°C la cual no es muy elevada y reduce el riesgo de algún altercado, pero su endurecimiento es demasiado lento empezando un curado trece horas después de su punto gel.

3.1.2. Curva exotérmica resina SUPER SAP CLF Laminating System

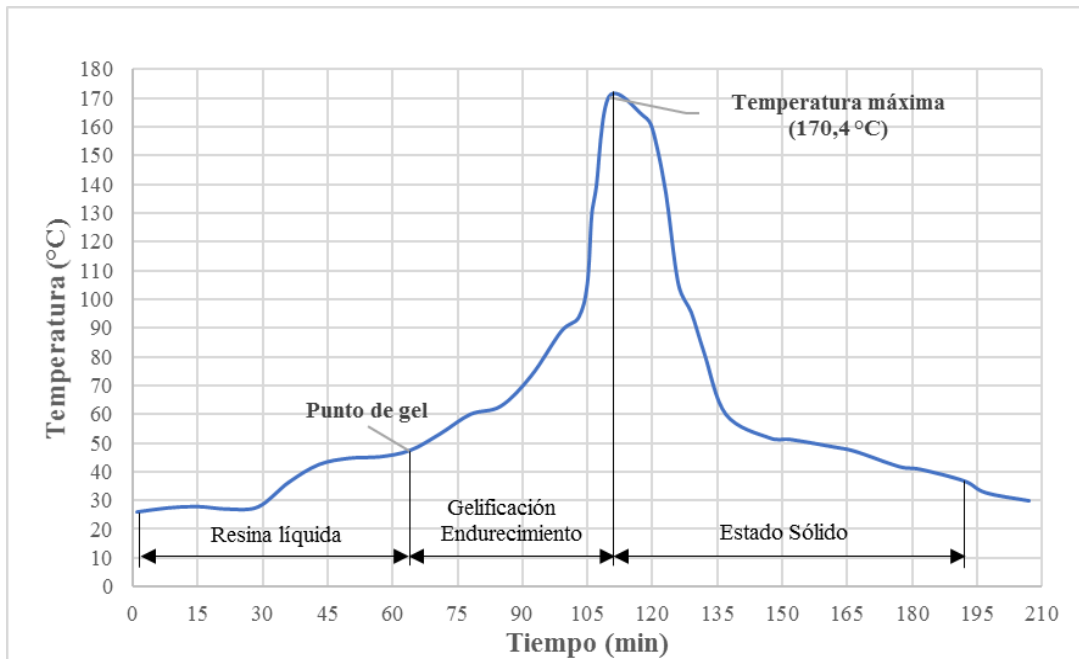


Gráfico 2-3: Curva exotérmica característica de una resina

Realizado por: Cevallos R. 2022

La curva indica un comportamiento exotérmico elevado de 170,4°C, el inicio de la gelificación empieza alrededor de los 60 minutos y a partir de ahí la temperatura va en picada hasta un punto en donde la resina adapta una forma sólida, el tiempo de curado termina a los 195 minutos pero se recomienda dejar 24 horas más para finalizar su secado. La relación de mezcla para este caso es de 50 gramos de resina y 27 gramos de endurecedor.

3.1.3. Curva exotérmica resina poliéster cobaltada

La última curva analizada es la resina poliéster cobaltada ésta se observa en la Gráfica 9-3, presenta un tiempo de inicio de gel a los 12 minutos de realizar la mezcla de 50 gramos de resina y 2 gramos de hexano peróxido soltando energía calórica máxima de 140,2°C, empezando un curado a los 18 minutos después de su estado de endurecimiento.

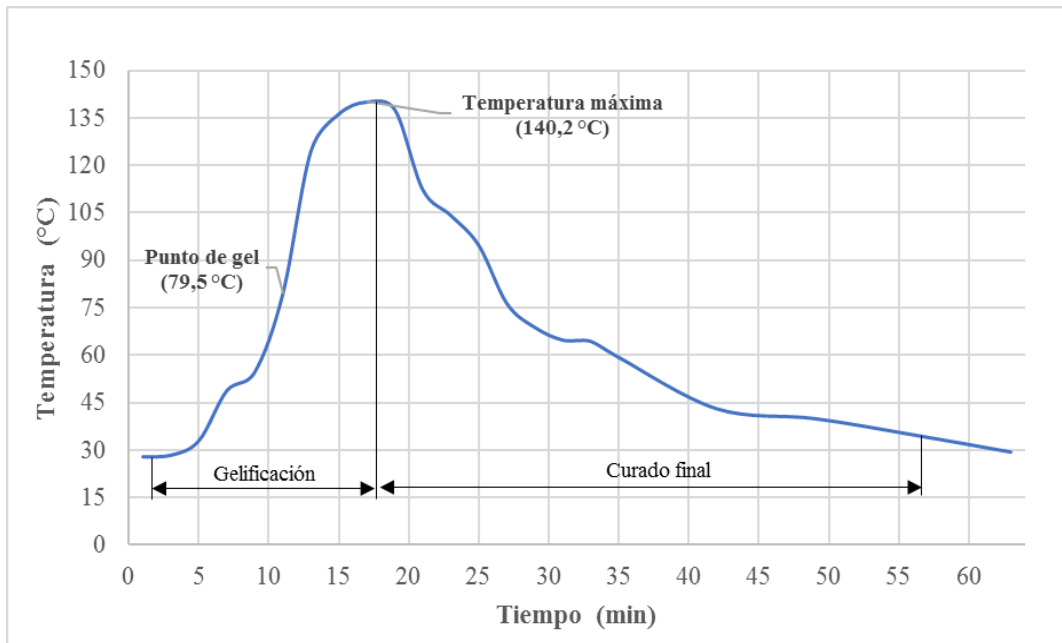


Gráfico 3-3: Curva exotérmica característica de una resina

Realizado por: Cevallos R. 2022

Las curvas analizadas facilitan la selección de resina relacionando el tiempo de curado y la sencillez de adquisición en el país, el más adecuado para el moldeo por infusión resulta ser la resina poliéster cobaltada con un tiempo de gelificación de 12 minutos la cual es aceptable ya que genera la estabilidad y compactación del material composite, además la bomba de vacío puede dejar de operar evitando sobrecalentamiento del motor y reduciendo el consumo energético.

3.2. Cuantía de resina poliéster cobaltada

La cantidad de resina que necesita el proceso de infusión se calcula mediante el volumen de la fibra y la densidad de la resina, por lo tanto, se realiza los siguientes cálculos.

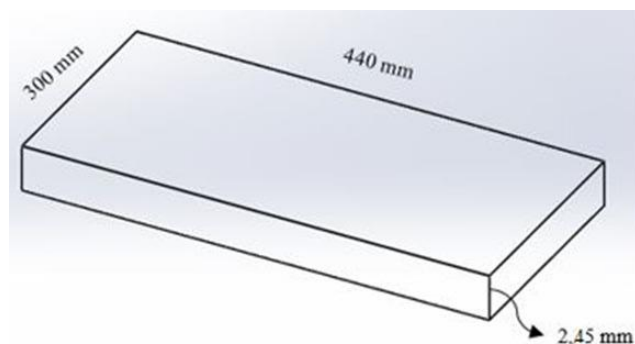


Figura 1-3: Dimensiones de la placa a infundir

Realizado por: Cevallos R. 2022

El espesor de la fibra de yute según (Beltrán Reyna et al. 2015, p. 2) es de 0,45 mm, para la cual en la fabricación de la placa compuesta su espesor debe estar multiplicado por el número de capas.

$$e = 0,45 \text{ mm} * 5$$

$$e = 2,45 \text{ mm}$$

Las dimensiones de la placa son:

$$b=440 \text{ mm}=44 \text{ cm}$$

$$a=300 \text{ mm}=30 \text{ cm}$$

$$e = 2,45 \text{ mm} = 0,245 \text{ cm}$$

Se calcula el volumen

$$V = b * a * e \quad (4)$$

$$V = (44 \text{ cm} * 30 \text{ cm} * 0,245 \text{ cm})$$

$$V = 323,4 \text{ cm}^3$$

Se calcula el peso que requiere el moldeo por infusión, la densidad de la resina viene dada por la ficha técnica del fabricante. El resultado se multiplica por 1,5 que son las pérdidas que se genera en los canales de circulación de resina.

$$\rho_r = \frac{m}{v} \quad (5)$$

$$m = \rho_r * V$$

$$m = (1,2 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}) * (323,4 \text{ cm}^3)$$

$$m = 388 \text{ g}$$

$$m = 388 \text{ g} * 1,5$$

$$m = 582 \text{ g} = 0,58 \text{ kg}$$

La cantidad de resina poliéster que requiere el moldeo por infusión con cinco capas de fibra de yute es alrededor de 0,58 kg. De igual manera se realiza el mismo procedimiento para encontrar la cantidad requerida de resina para diferentes capas de tejido.

- Cantidad de resina requerida para una capa de fibra de yute

$$b=440 \text{ mm}=44 \text{ cm}$$

$$a=300 \text{ mm}=30 \text{ cm}$$

$$e=0,45 \text{ mm}=0,045 \text{ cm}$$

El volumen

$$V = b * a * e$$

$$V = (44 \text{ cm} * 30 \text{ cm} * 0,045 \text{ cm})$$

$$V = 59,4 \text{ cm}^3$$

Cantidad de resina

$$m = \rho_r * V$$

$$m = (1,2 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}) * (59,4 \text{ cm}^3)$$

$$m = 71,28 \text{ g}$$

$$m = 71,28 \text{ g} * 1,5$$

$$m = 106,92 \text{ g} = 0,106 \text{ kg}$$

- Cantidad de resina requerida para tres capas de fibra de yute

$$b=440 \text{ mm}=44 \text{ cm}$$

$$a=300 \text{ mm}=30 \text{ cm}$$

$$e = 1,35 \text{ mm}=0,135 \text{ cm}$$

El volumen

$$V = b * a * e$$

$$V = (44 \text{ cm} * 30 \text{ cm} * 0,135 \text{ cm})$$

$$V = 178,2 \text{ cm}^3$$

Cantidad de resina

$$m = \rho_r * V$$

$$m = (1,2 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}) * (178,2 \text{ cm}^3)$$

$$m = 213,84 \text{ g}$$

$$m = 213,84 \text{ g} * 1,5$$

$$m = 320,76 \text{ g} = 0,32 \text{ kg}$$

3.3. Placa de material compuesto de fibra de yute

La placa es fabricada a temperatura ambiente con resina poliéster cobaltada que está dividida en dos laminados con diferente orientación de fibra.

Por un lado, están cinco capas de tejido de yute sobrepuestas en orientación unidireccional, en el otro costado de la placa la fibra posee el siguiente sentido $90^\circ/45^\circ/-45^\circ/0^\circ/90^\circ$. La placa permaneció sin hurgar durante 48 horas después de que la resina llegó a su punto de gelificación, desde el nivel experimental la fabricación de la placa de fibra de yute no presentó inconvenientes exponiendo las siguientes características.

Tabla 1-3: Características de la placa de fibra de yute

| Placa | |
|---|---------------------|
| Espesor (mm) | 4,42 |
| Dimensiones (mm) | 450 x 310 |
| Peso (g) | 574 |
| Gramaje experimental ($\frac{\text{g}}{\text{cm}^2}$) | 25×10^{-3} |

Realizado por: Cevallos R. 2022



Figura 2-3: Aspecto visual del material compuesto de fibra de yute

Realizado por: Cevallos R. 2022

3.4. Caracterización de materiales compuestos con fibra de yute

Para los ensayos destructivos y no destructivos del nuevo material compuesto con fibra de yute se realizan probetas equilibradas y simétricas, en la Tabla 21-3 se indican las características que presenta cada probeta antes de ser sometidas al ensayo. En total son diez probetas fabricadas donde se procede a realizar ensayos de deflexión con las probetas conformadas de una y tres capas de tejido de yute, además con las probetas de cinco capas de fibra se ejecuta ensayos a tracción.

Tabla 2-3: Características de las probetas con diferentes capas

| Características | 1 capa | 3 capas | 5 capas | 5 capas |
|------------------|----------------|----------------|----------------|----------|
| Espesor (mm) | 1,70 | 3,85 | 4,40 | 4,70 |
| Dimensiones (mm) | 25 x 250 | 25 x 250 | 25 x 250 | 25 x 250 |
| Peso (g) | 9 | 28 | 28 | 28 |
| Orientación | Unidireccional | Unidireccional | Unidireccional | Mixta |

Realizado por: Cevallos R. 2022



Figura 3-3: Probetas de fibra de yute

Realizado por: Cevallos R. 2022

3.4.1. Método de flexión

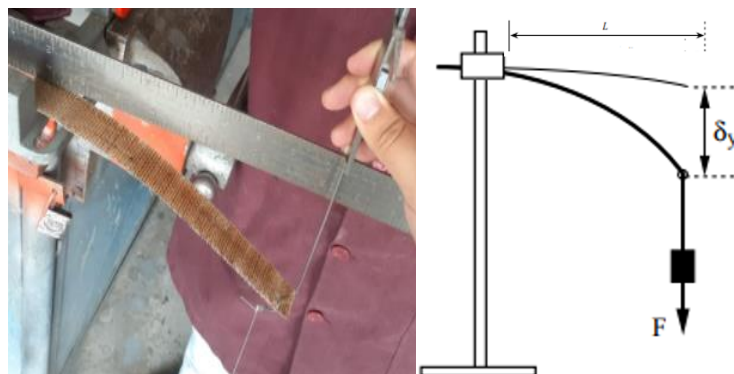


Figura 4-3: Ensayo cantiléver

Realizado por: Cevallos R. 2022

El ensayo consiste en colocar la probeta en voladizo con una carga puntual en un extremo hasta que se pueda encontrar el desplazamiento total del extremo libre, que facilita en la obtención de datos y poder calcular el módulo de elasticidad que posee la probeta, además se verifica si las diferentes capas de fibra de yute ocasionan una variación del módulo de Young.

El ensayo es muy intuitivo y no posee mayor complejidad, los datos obtenidos del material compuesto con fibra de yute se presenta a continuación:

Tabla 3-3: Valores obtenidos del ensayo de flexión de probeta

| Una capa de tejido de yute | | |
|--------------------------------------|----------------|-----------------------|
| Denominación | Símbolo | Valor |
| Base (m) | b | 0,025 |
| Altura (m) | h | $1,7 \times 10^{-3}$ |
| Longitud (m) | L | 0,223 |
| Masa (kg) | m | 0,051 |
| Fuerza (N) | F | 0,50 |
| Deformación (m) | δ_y | 0,0809 |
| Tres capas de tejido de yute | | |
| Denominación | Símbolo | Valor |
| Base (m) | b | 0,025 |
| Altura (m) | h | $3,85 \times 10^{-3}$ |
| Longitud (m) | L | 0,225 |
| Masa (kg) | m | 0,51 |
| Fuerza (N) | F | 5 |
| Deformación (m) | δ_y | 0,0673 |
| Cinco capas de tejido de yute | | |
| Denominación | Símbolo | Valor |
| Base (m) | b | 0,025 |
| Altura (m) | h | $4,4 \times 10^{-3}$ |
| Longitud (m) | L | 0,22 |
| Masa (kg) | m | 0,73 |
| Fuerza (N) | F | 6,82 |
| Deformación (m) | δ_y | 0,0528 |

Realizado por: Cevallos R. 2022

3.4.1.1. Cálculo del módulo de elasticidad

Para empezar, se encuentra el momento de inercia de la probeta relacionando espesor y ancho del material compuesto con una capa y tres capas de fibra de yute en orientación unidireccional.

- Momento de inercia del material compuesto con una capa de tejido

$$I = \frac{1}{12}bh^3 \quad (6)$$
$$I = \frac{1}{12} * (0,025) * (1,7 \times 10^{-3})^3$$
$$I = 1,02 \times 10^{-11} \text{m}^4$$

- Momento de inercia del material compuesto con tres capas de tejido

$$I = \frac{1}{12}bh^3$$
$$I = \frac{1}{12} * (0,025) * (3,85 \times 10^{-3})^3$$
$$I = 1,18 \times 10^{-10} \text{m}^4$$

- Momento de inercia del material compuesto con cinco capas de tejido

$$I = \frac{1}{12}bh^3$$
$$I = \frac{1}{12} * (0,025) * (4,4 \times 10^{-3})^3$$
$$I = 1,77 \times 10^{-10} \text{m}^4$$

Una vez encontrado el momento de inercia de cada probeta se procede al cálculo del módulo de elasticidad la cual se debe despejar de la siguiente ecuación.

$$\delta = \frac{PL^3}{3EI} \quad (7)$$

Donde:

δ : Deformación unitaria

P: Carga puntual o fuerza en el extremo de la probeta

L: Longitud de la probeta

E: Módulo de elasticidad o módulo de Young

I: Momento de inercia

De la ecuación (7) se despeja el módulo de elasticidad y luego se procede a reemplazar cada valor respectivamente con los que están establecidos en la Tabla 22-3.

$$E = \frac{P L^3}{3\delta I}$$

- Módulo de Young del material compuesto con una capa de tejido.

$$E = \frac{P L^3}{3\delta I}$$
$$E = \frac{(0,5 \text{ N}) \cdot (0,223 \text{ m})^3}{3 \cdot (0,0809 \text{ m}) \cdot (1,02 \times 10^{-11} \text{ m}^4)}$$
$$E = \frac{5,54 \times 10^{-3} \text{ Nm}^3}{2,48 \times 10^{-12} \text{ m}^5}$$
$$E = 2,23 \times 10^9 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$
$$E = 2,23 \text{ GPa}$$

- Módulo de Young del material compuesto con tres capas de tejido.

$$E = \frac{P L^3}{3\delta I}$$
$$E = \frac{(5 \text{ N}) \cdot (0,225 \text{ m})^3}{3 \cdot (0,0673 \text{ m}) \cdot (1,18 \times 10^{-10} \text{ m}^4)}$$
$$E = \frac{56,95 \times 10^{-3} \text{ Nm}^3}{2,38 \times 10^{-11} \text{ m}^5}$$
$$E = 2,39 \times 10^9 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$
$$E = 2,39 \text{ GPa}$$

- Módulo de Young del material compuesto con cinco capas de tejido.

$$E = \frac{P L^3}{3\delta I}$$

$$E = \frac{(6,82 \text{ N}) \cdot (0,22 \text{ m})^3}{3 \cdot (0,0528 \text{ m}) \cdot (1,77 \times 10^{-10} \text{ m}^4)}$$

$$E = \frac{72,61 \times 10^{-3} \text{ Nm}^3}{2,80 \times 10^{-11} \text{ m}^5}$$

$$E = 2,59 \times 10^9 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

$$E = 2,59 \text{ GPa}$$

3.4.2. *Ensayo a tracción de probetas*

Las probetas son sometidas a cargas de esfuerzo axial de tracción para medir ciertas características mecánicas que componen el nuevo material composite. Mediante el ensayo se puede obtener los valores del módulo elástico, punto de fluencia, resistencia a la tracción y punto de rotura del nuevo material que proporciona valores para realizar las discusiones posteriores.

Primero se ensayan las cinco probetas de 25x250 mm con orientación de tejido unidireccional, la cual presenta las siguientes características mecánicas con sus correspondientes curvas de Esfuerzo–Deformación. Intencionadamente en el ensayo se realiza un preparado antideslizamiento en los extremos de las probetas ya que la superficie es demasiado lisa, el preparado reduce el deslizamiento de las probetas con las mordazas de la máquina esto se logra aplicando Primer-206 G+P y Sika Flex 252i



Figura 5-3: Ensayo a tracción de las probetas de fibra de yute

Realizado por: Cevallos R. 2022

La curva esfuerzo-deformación del nuevo material composite indica el comportamiento que presenta el material bajo carga, esto contribuye de tal manera que se pueda comprobar si la

hipótesis planteada al inicio pueda ser veraz, relacionando la orientación de la fibra de yute y si ésta influye en la resistencia del material. De la curva se puede obtener varias características mecánicas que presenta el nuevo material, en las tablas correspondientes se observa de forma resumida los resultados del ensayo a tracción de las probetas de material compuesto con fibra de yute en las orientaciones correspondientes.

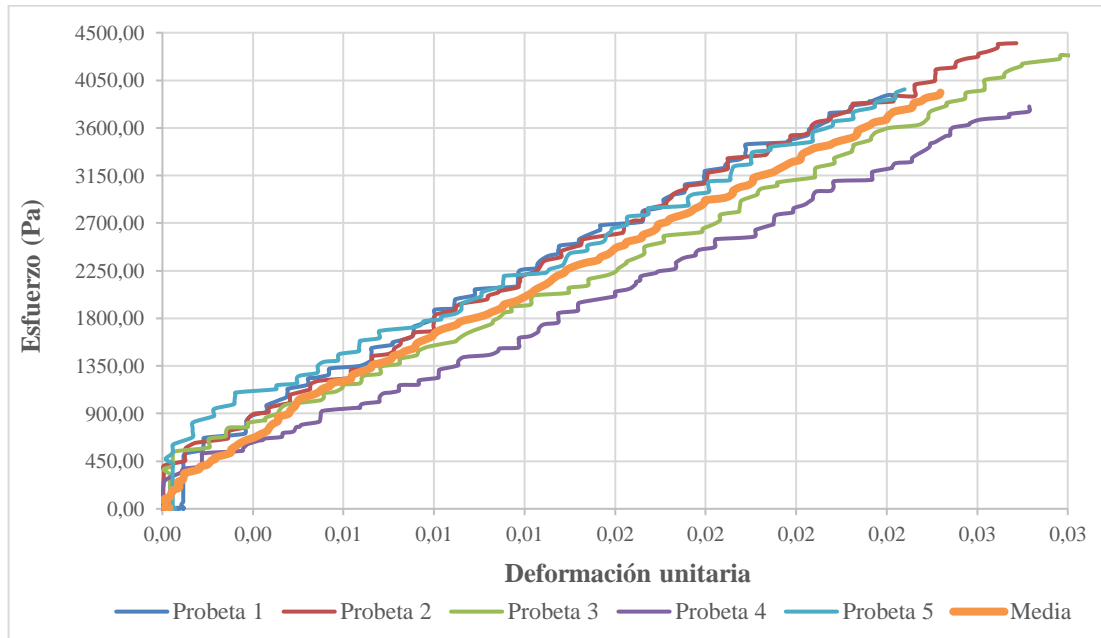


Gráfico 4-3: Relación esfuerzo-deformación de las probetas en orientación unidireccional

Realizado por: Cevallos R. 2022

Mediante el ensayo el material composite presentó las siguientes características mecánicas las cuales se indican a continuación:

Tabla 4-3: Características mecánicas de probetas unidireccionales

| | Probeta #1 | Probeta #2 | Probeta #3 | Probeta #4 | Probeta #5 | Media |
|--|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|----------------------------|--------------|
| Módulo elástico (GPa) | 0,64 | 0,76 | 1,34 | 5,73 | 4,86 | 2,67 |
| Punto de fluencia (MPa) | 0,46 | 0,35 | 0,46 | 0,23 | 0,37 | 0,37 |
| Resistencia a la tracción (MPa) | 3,91 | 4,40 | 4,40 | 3,80 | 4,52 | 4,21 |
| | | | | | Desviación Estándar | 135,7 |
| | | | | | Correlación | 0,99 |
| | | | | | Error típico | 10,22 |

Realizado por: Cevallos R. 2022

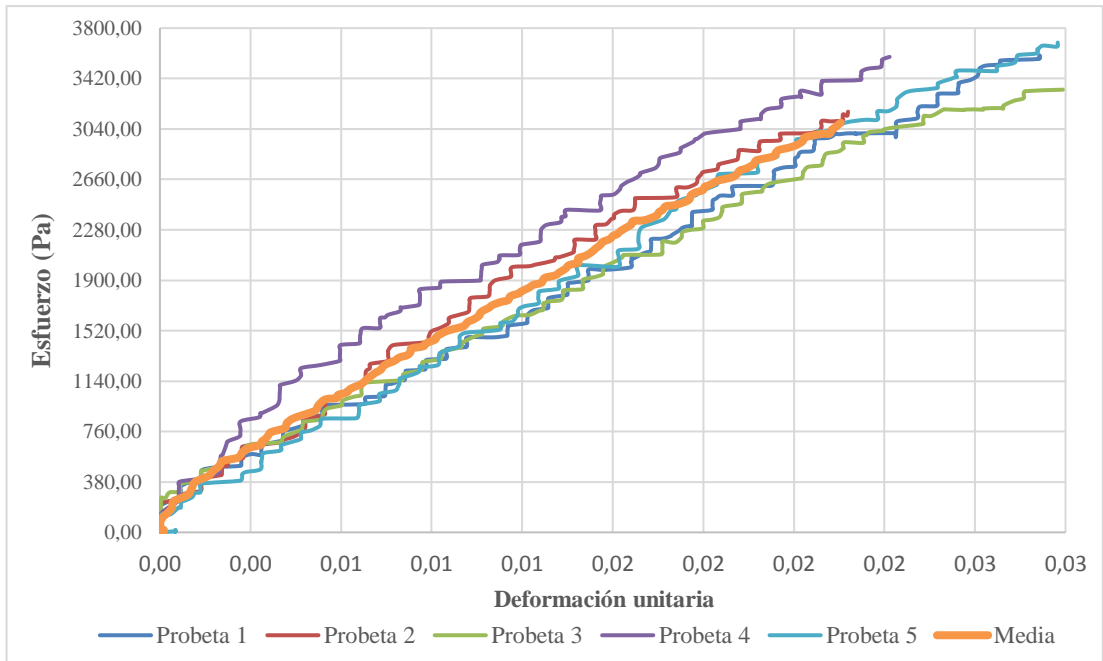


Gráfico 5-3: Relación esfuerzo-deformación de las probetas en orientación mixta

Realizado por: Cevallos R. 2022

El ensayo de las probetas con orientación mixta presentó las siguientes características mecánicas.

Tabla 5-3: Características mecánicas de probetas con orientación mixta

| | Probeta #1 | Probeta #2 | Probeta #3 | Probeta #4 | Probeta #5 | Media |
|--|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|----------------------------|--------------|
| Módulo elástico (GPa) | 7,71 | 2,85 | 1,46 | 0,58 | 0,38 | 2,59 |
| Punto de fluencia (MPa) | 0,16 | 0,22 | 0,25 | 0,38 | 0,33 | 0,27 |
| Resistencia a la tracción (MPa) | 3,57 | 3,17 | 3,33 | 3,58 | 3,66 | 3,46 |
| | | | | | Desviación Estándar | 1005,7 |
| | | | | | Correlación | 0,99 |
| | | | | | Error típico | 0,0005 |

Realizado por: Cevallos R. 2022

Los valores obtenidos del módulo de elasticidad varían de forma gradual con respecto al método de flexión. Esta variación se debe a que la máquina universal donde se desarrolló los ensayos aplica grandes cargas generalmente para materiales metálicos, otro fenómeno que afecta es el deslizamiento entre probeta y mordaza, que, aunque se aplicó productos para reducir el mismo aun así se visualizaba exiguamente resbalamiento de probetas.

Para encontrar el error relativo de los ensayos resulta dificultoso, debido a que al realizar el método de mínimos cuadrados la gráfica no es lineal y genera una variabilidad de datos fuera de la media aritmética lo que obliga a evaluar la incertidumbre de cada ensayo para poder obtener un nivel de confianza del 95%.

3.5. Características de materiales compuestos en el uso y mantenimiento de mampostería estructural

Los polímeros reforzados con diferentes matrices y redes sintéticas influyen potencialmente en el comportamiento estructural en la mampostería. Generalmente se utilizan polímeros reforzados con fibra de vidrio por sus características resistentes incluyendo el bajo peso, los materiales compuestos se usan como elemento de aporte en la construcción de edificaciones o parámetros a fines y en el mantenimiento son empleados en la reparación de muros agrietados.

Tabla 6-3: Propiedades de materiales de uso en la mampostería

| Fibra | Resistencia a la tracción (MPa) | Punto de rotura (MPa) |
|----------------|--|------------------------------|
| Vidrio | 0,53 | 0,42 |
| Bálsamo | 0,39 | 0,31 |
| Cáñamo | 0,77 | 0,62 |

Fuente: (Vilardi Alessandra, 2016)

Realizado por: Cevallos R. 2022

3.6. Características de maderas para la construcción

En el presente siglo por la contaminación es necesario la reutilización de maderas y observar que características presenta para la fabricación de equipos de oficina incluyendo estructuras de madera para construcción de casas.

Una investigación llevo a cabo varios ensayos mecánicos entre los cuales constan el ensayo a tracción de la madera de eucalipto con probetas con dimensiones 200x5 mm la cual genero los siguientes valores.

Tabla 7-3: Características de la madera de eucalipto

| Probeta | Resistencia a la tracción (MPa) | Media (MPa) |
|----------------|--|--------------------|
| 1 | 65,44 | 65.5 |
| 2 | 63,13 | |
| 3 | 57.08 | |
| 4 | 61.89 | |
| 5 | 69.14 | |

Fuente:(Raposo et al., 2017)

Realizado por: Cevallos R. 2022

Para equipos de oficina se utiliza MDF, la fibra de madera posee las características mecánicas para realizar la comparativa con el nuevo material composite con probetas ensayadas de 37,63x15,21 mm.

Tabla 8-3: Propiedades mecánicas de la madera MDF

| Madera | Resistencia a la Tracción (MPa) | Módulo de elasticidad (GPa) |
|---------------|--|------------------------------------|
| MDF | 17,64 | 2,14 |

Fuente:(Mariano Martínez-Espinosa, et al., 2002)

Realizado por: Cevallos R. 2022

3.7. Discusión de resultados

Los ensayos destructivos de las probetas se produjeron con una máquina seteada en un rango de 0 a 1250 kgf, hay que resaltar que la máquina universal es de 100000 kgf por ende los resultados de los ensayos de probetas unidireccionales tienen una dispersión de datos alta y el error que se produce ronda el 10% pero se acerca a los valores obtenidos con el ensayo a cantiléver. En los ensayos de probetas con orientación mixta el error se halla por el 1% lo cual es demasiado bueno, esto es producido por el tiempo de secado que tuvo el Sika Flex debido a que se estableció un tiempo de 10 a 12 minutos de endurecimiento una vez que la probeta estaba montada en las mordazas.

La hipótesis inicial planteada resulta ser verdadera esto se evidencia en los valores obtenidos del módulo de elasticidad mediante los ensayos destructivos y no destructivos realizados. En el Gráfico 12-3 se evidencia que al aumentar capas de tejido de yute el material tiende a incrementar su rigidez con un módulo de Young que ronda los 2,67 GPa por lo tanto las características mecánicas van a ampliarse dependiendo del número de capas de tejido.

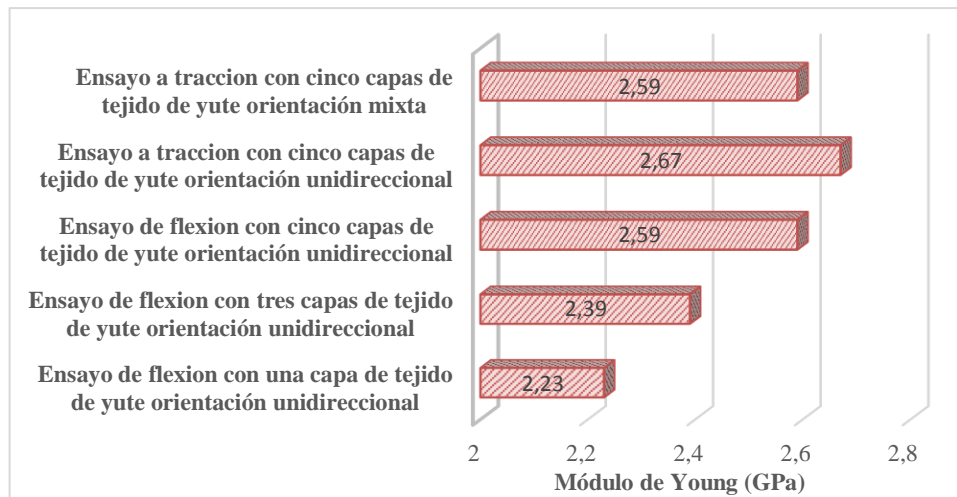


Gráfico 6-3: Compilación de valores del módulo de Young obtenidos

Realizado por: Cevallos R. 2022

El efecto de la orientación de la fibra de yute también es un aspecto que interviene en las características del material, el material composite con fibras unidireccionales es más rígido y contiene elevada resistencia a la tracción a diferencia de las fibras en orientación mixta, lo que significa que la configuración $90^{\circ}/45^{\circ}/-45^{\circ}/90^{\circ}/0^{\circ}$ está debilitando al material debido a que los esfuerzos están distribuidos de forma aleatoria.

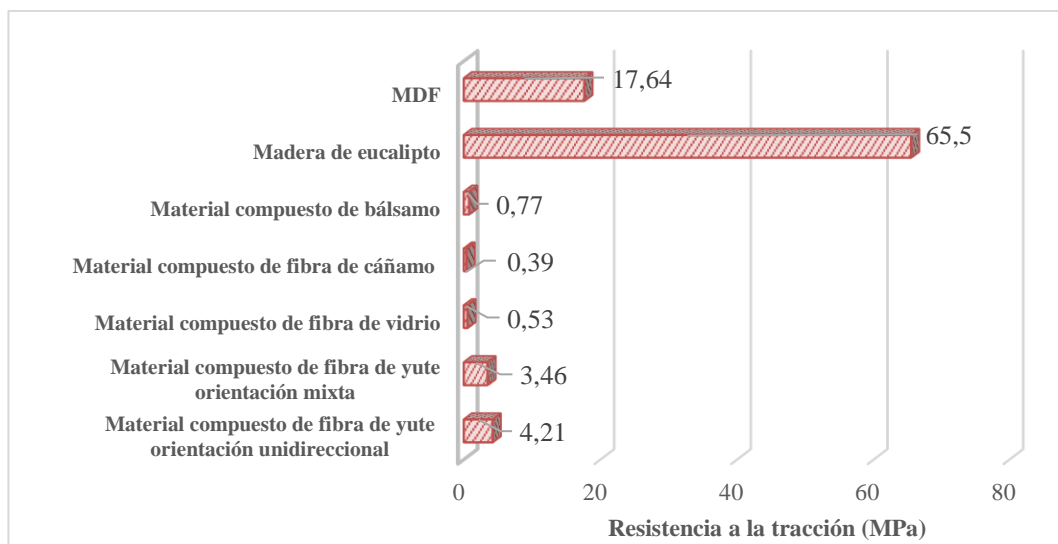


Gráfico 7-3: Comparativa de valores de resistencia a la tracción

Realizado por: Cevallos R. 2022

Las cargas en el material compuesto con fibra de yute con orientación unidireccional poseen mejores características debido a que las cargas están distribuidas de manera homogénea y lo que se busca en un material es que sea isotrópico; en cambio la configuración mixta en este caso de estudio reduce la resistencia del material compuesto, de modo que si en algún instante se aplica

una fuerza perpendicular opuesta a las del sentido del tejido el material soporta menor cantidad de fuerza debido a que el material es anisotrópico.

Para la construcción y mantenimiento la utilización de materiales compuestos biodegradables empieza a ser una opción de reemplazo con los materiales sintéticos, actualmente en la mampostería se utiliza materiales compuestos como refuerzo en la construcción de muros y estructuras que generalmente están fabricados con fibra de vidrio y recientemente para ser amigable con el medio el cáñamo.

El nuevo material compuesto de fibra de yute sirve como aliviador de estructura, en el Gráfico 13-3 se observa la resistencia a la tracción que contiene cada material utilizado en la construcción, el nuevo material compuesto de fibra de yute puede ser utilizado como refuerzo en la mampostería con una resistencia de 4,21 MPa lo que genera un soporte extra en caso de sismos, también se puede optar para la reparación de muros como unión de grietas.

En el caso de la fabricación de equipos de oficina según datos analizados, el nuevo material compuesto no posee una resistencia tan alta como la de la madera convencional; por lo tanto, no es factible la fabricación de muebles de oficina, aunque se puede realizar una estructura tipo sándwich con el nuevo material composite y observar el comportamiento de éste.

CONCLUSIONES

Se logró dar a conocer la evolución que tiene la construcción de la placa conformada mediante el proceso de infusión donde se integran materiales amigables con el medio ambiente como el yute y una resina termoplástica.

Se determinó que la resina biodegradable es difícil de conseguir en el país, debido a factores económicos y trabas burocráticas impuestas por las distintas entidades. Los materiales fungibles se pueden mercar, pero hay que establecer contacto directo con empresas dedicadas a la fabricación materiales compuestos y una búsqueda exhaustiva en almacenes de construcción.

Se evidenció que las propiedades que presenta tanto la matriz como el refuerzo poseen propiedades mecánicas distintas y el resultado de la combinación de estos dos elementos crean otro material con características mecánicas diferentes evidenciados en el módulo de elasticidad.

Se comprobó que a mayor espesor del material compuesto mejores características mecánicas es decir que se puede sobreponer más capas de yute para aumentar resistencia del material dependiendo de la aplicación, pero debe ser en orientación unidireccional ya que en sentido $90^{\circ}/45^{\circ}/-45^{\circ}/90^{\circ}/0$ el material disminuye en propiedades.

El moldeo por infusión es novedoso y no se ejecuta de manera tradicional en el país a excepción de algunas empresas que lo aplican en otros campos, la infusión evita tener espacios huecos y aire atrapado entre el tejido de yute y la resina teniendo como resultado una notable compactación.

El nuevo material compuesto de fibra natural de yute es una alternativa para el ambiente que también permite reducir costos de fabricación con respecto al de los materiales sintéticos, aparte presenta un acabado y aspecto visual mucho mejor que el método manual que es realizado con frecuencia en el país.

La nueva placa de material compuesto aporta como refuerzo en la mampostería tanto en el mantenimiento como en la construcción, se puede utilizar la conformación de una hasta cinco capas de tejido dependiendo de la necesidad de la estructura, aunque no se puede decir lo mismo para la fabricación de equipos de oficina. Es posible que si se realiza una estructura tipo sándwich de la placa del nuevo material composite se pueda fabricar muebles para oficina o de

otros ámbitos, ya que los valores obtenidos del proyecto generan un apoyo para proseguir con la investigación relacionada a este campo de estudio.

RECOMENDACIONES

Buscar en el Ecuador resinas de preferencia epóxicas que dispongan de un tiempo de gelificación no mayor a 60 minutos.

Probar una orientación mixta de tejido de yute distinta a $90^{\circ}/45^{\circ}/-45^{\circ}/90^{\circ}/0$ para observar que cambio genera en las propiedades del material.

Realizar ensayos destructivos con una máquina universal netamente de polímeros que no aplique cargas excesivas.

Encontrar otros productos o ideas para reducir el deslizamiento de las probetas entre mordazas para que al momento de realizarse el ensayo se reduzca el error de los valores reflejados.

BIBLIOGRAFÍA

AIRTECH INTERNATIONAL. *Bolsa de vacío - Econolon* [blog]. [Consulta: 29 junio 2022].

Disponible en: <https://www.nauticexpo.es/prod/airtech-international/product-29154-187810.html>.

AKALUZIA R.O., EDOZIUNO F.O., ADEDIRAN A.A., ODONI B.U., EDIBO S.; &

OLAYANJU T.M.A. “Evaluation of the effect of reinforcement particle sizes on the impact and hardness properties of hardwood charcoal particulate-polyester resin composites”. *Materials Today: Proceedings*, 2020, vol. 38, pp. 570–577. [Consulta: 9 agosto 2022]. ISSN 2214-7853. DOI 10.1016/J.MATPR.2020.02.980. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214785320317739>.

ALCUDIA-ZACARÍAS E., PAZ J., ABÚNDEZ-PLIEGO A., BENJAMÍN G.,

GONZÁLEZ M. & ALBERTO H. “Influencia del método de infusión de resina en las propiedades de un compuesto laminado polimérico”. *XXI Congreso Internacional Anual de la SOMIM*, 2015, (México), vol. 1, pp. 730-738 [Consulta: 9 julio 2022]. ISSN 2448-5551. Disponible en:

<https://www.researchgate.net/publication/312577825> **Influencia del metodo de infu sion de resina en las propiedades de un compuesto laminado polimerico**

ALLEN T., BATTLE M., BICKERTON S. & VAN OOSTEROM S. “An objective

comparison of common vacuum assisted resin infusion processes. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*”. *Journal of Social Sciences*, 2019, vol. 125, pp. 1–15. [Consulta: 9 agosto 2022]. ISSN 1359-835X. DOI 10.1016/J.COMPOSITESA.2019.105528. Disponible en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1359835X19302775>.

ALONSO MARÍA. “*Formulación y curado de resinas fenol-formaldehído tipo “resol” con*

sustitución parcial del fenol por lignosulfonatos modificado”, [en línea]. Madrid, 2002 [Consulta: 7 julio 2022]. Disponible en:

<https://eprints.ucm.es/id/eprint/4634/1/T26211.pdf>.

ANSELMO THIESEN. “*estudio comparativo de laminados en plástico reforzado con fibra de*

vidrio obtenidos a través de dos procesos spray-up y hand lay-up”. [en línea]. Joinville, 2016. [Consulta: 13 junio 2022]. Disponible en:

<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/171727/ANSELMO%20THIESEN%20JR%20-%20TCC.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

ARRUTI R. “La técnica de bolsa de vacío en cámara de vacío para la fabricación de materiales compuestos de matriz epoxi”. *Revista Ingeniería UC*. 2016, vol. 23, pp. 22–29. [Consulta: 10 junio 2022]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/707/70745478004.pdf>

ASTM D 5628. Standard Test Method for Impact Resistance of Flat, Rigid Plastic Specimens by Means of a Falling Dart (Tup or Falling Mass).

ASTM D 638. Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics.

BALLADARES MORAYMA DE LOS ÁNGELES. Aplicabilidad de un material compuesto con matriz polimérica reforzado con fibras de planta de mora (*rubus glaucus*) en partes interiores de carrocerías de la industria carrocera de Tungurahua. [en línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería) Universidad Técnica de Ambato, Civil y mecánica, (Ambato-Ecuador). 2017. pp. 1-190 S.l.: [Consulta: 4 julio 2022]. Disponible en: <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/26391>.

BELTRÁN REYNA, ROBERTO F., PINO TARRAGÓ, JULIO C., HERNÁNDEZ OCHOA, DANIEL R. & OTERO DIÉGUEZ. “Fabricación de ayudas técnicas para discapacitados empleando materiales compuestos con refuerzos de fibra de yute”. [en línea]. 2015, pp. 1-5 [Consulta: 8 junio 2022]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/295688923_FABRICACION_DE_AYUDAS_TECNICAS_PARA_DISCAPACITADOS_EMPLEANDO_MATERIALES_COM_PUESTOS_CON_REFUERZOS_DE_FIBRA_DE_YUTE.

BERNINCHES MARINA. Diseño, cálculo y fabricación de una estructura central de satélite en material compuesto. (Trabajo de titulación) (Grado de ingeniería). Universidad Carlos III de Madrid, 2017 pp. 1–110. [Consulta: 15 junio 2022]. Disponible en: https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/27315/TFG_Marina_Berninches_Pintado.pdf

BFG INTERNATIONAL. *Infusión al vacío - Arquitectura BFG*. [blog]. [Consulta: 27 junio 2022]. Disponible en: <http://www.bfgarchitecture.com/pt/vacuum-infusion>.

CASTRO COMPOSITES. *Mallas de distribución.* [blog]. [Consulta: 8 julio 2022]. Disponible en: <https://www.castrocompositesshop.com/es/59-mallas-de-distribucion>

CEMENTOS CIBAO. *Mampostería y sus usos en la construcción.* [blog]. [Consulta: 10 julio 2022]. Disponible en: <https://www.cementoscibao.com/mamposteria-usos-en-la-construccion/>.

CIDFAE. *Materiales compuestos de uso frecuente en la aviación.* [blog]. [Consulta: 11 julio 2022]. Disponible en: <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/724/1/T-ESPE-012485.pdf>.

CRUZ MIRANDA. *Mantenimiento de obras EcuRed.* [blog]. [Consulta: 10 julio 2022]. Disponible en: https://www.ecured.cu/Mantenimiento_de_obras.

EL TALLER DE TOTE. *¿Qué es el gramaje de la tela?* [blog]. [Consulta: 7 julio 2022]. Disponible en: <https://tallerdeltotebag.es/blog/tote-bag/que-es-el-gramaje-en-telas/>.

ESPINOZA GABRIEL & HIDALGO JORGE, 2016. *Caracterización de materiales compuestos para la aplicación en la carrocería del vehículo monoplace tipo fórmula SAE.* (Trabajo de titulación) (Ingeniería). Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca-Ecuador. 2016, pp. 1-184: [Consulta: 3 julio 2022]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/12033>.

FAO. *Fibras del futuro: Yute.* [blog]. [Consulta: 12 junio 2022]. Disponible en: <http://www.fao.org/economic/futurefibres/fibres/jute/es/>.

FONDEAR, S.L. *Epoxi Peel ply, el tejido Peel Ply nos ayudará a manejar trabajos de epoxi.* [blog]. [Consulta: 29 junio 2022]. Disponible en: http://www.fondear.org/infonautic/Equipo_y_Usos/Bricolaje/Epoxi/Epoxi-Peel-Ply.asp.

FRANCO STUPENENGO, 2011. *Materiales y materias primas.* [en línea]. Ciudad Autónoma de Buenos Aires: [Consulta: 11 junio 2022]. Disponible en: <http://www.inet.edu.ar/wp-content/uploads/2012/11/materiales-compuestos.pdf>.

GO2WOOD. *Por qué se caen las estructuras de madera.* [blog]. [Consulta: 10 julio 2022].
Disponible en: <https://maderaestructural.wordpress.com/2017/11/18/por-que-se-caen-las-estructuras-de-madera/>.

GÓMEZ VICTOR. Caracterización mecánica de materiales compuestos manufacturados fuera de autoclave [en línea] (Trabajo de titulación). (Maestría) México, 2017. pp. 1-95. [Consulta: 15 junio 2022]. Disponible en: <https://cidesi.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1024/187/1/M-VAGC-2017.pdf>.

GONZÁLEZ MARÍA. 2017. Análisis de fractura en ensayos de compresión para materiales compuestos utilizando pruebas ópticas no destructivas [en línea] (Trabajo de titulación) (Maestría). Centro de investigaciones en óptica, Guanajuato, 2017. pp. 1-80 [Consulta: 2 julio 2022]. Disponible en: <https://cio.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1002/360/1/17276.pdf>.

GOUGEON BROTHERS. *Optically Brightened Laminating System* [blog]. [Consulta: 28 julio 2022]. Disponible en: <https://entropyresins.com/app/uploads/sites/2/2020/01/BRT-TDS-20200615-New-1.pdf>.

HERNÁNDEZ MARÍA, JIMÉNEZ SEBASTIÁN & SÁNCHEZ JUAN. “Materiales alternativos como oportunidad de reducción de impactos ambientales en el sector construcción”. *Tecnología en marcha* [en línea], 2022 pp. 1–8. [Consulta: 10 julio 2022]. Disponible en: https://revistas.tec.ac.cr/index.php/tec_marcha/article/view/4831/5421.

HOSSAIN, MOBARAK, RONY, SULTANA S., MAHMUD, M. & AHMED S. “Fabrication and Characterization of Banana Fiber Reinforced Unsaturated Polyester Resin Based Composites”. *Nano Hybrids and Composites* [en línea], 2022, vol. 29, pp. 84–92. [Consulta: 31 julio 2022]. ISSN 2297-3400. DOI 10.4028/WWW.SCIENTIFIC.NET/NHC.29.84. Disponible en: <https://www.scientific.net/NHC.29.84>.

INGEMECÁNICA. *Materiales Compuestos.* [blog]. [Consulta: 8 julio 2022]. Disponible en: <https://ingemecanica.com/tutorialesemanal/tutorialn114.html>.

ISLAM Md., AR-RASHID H., ISLAM F., KARMAKER N., KOLY F.A., MAHMUD J., KEYA K.N. & KHAN R.A. “Fabrication and Characterization of E-Glass Fiber Reinforced Unsaturated Polyester Resin Based Composite Materials”. *Nano Hybrids and Composites* [en línea], 2019 vol. 24, pp. 1–7. [Consulta: 31 julio 2022]. ISSN 2297-3400. DOI 10.4028/WWW.SCIENTIFIC.NET/NHC.24.1. Disponible en: <https://www.scientific.net/NHC.24.1>.

JUAN CARLOS PALACIOS LÓPEZ. *Producción de Polímeros Documento BREF*. [en línea]. España, 2009: [Consulta: 13 junio 2022]. **Disponible en:** <https://prtr-es.es/Data/images/PRODUCCI%C3%93N-DE-POL%C3%8DMEROS-1BDCAAEE0950F2E40.pdf>

MARIANO MARTÍNEZ-ESPINOSA, CARLITO CALIL JR. & JULIANO FIORELLI. “Resistencia mecánica de los tableros de densidad media: parte 1: resistencia a la tracción paralela a la superficie maderas”. *Ciencia y tecnología* [en línea], 2002 vol. 4, no. 2, pp. 179–185. [Consulta: 18 agosto 2022]. ISSN 0718-221X. DOI 10.4067/S0718-221X2002000200008. Disponible en: https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-221X2002000200008.

MERCEDES ENRIQUE. Análisis del comportamiento frente acciones cíclicas de muros de mampostería reforzados con materiales compuestos de matriz inorgánica y tejidos de fibras vegetales (Trabajo de titulación) (Doctorado) [en línea]. Universidad Politécnica de Cataluña, 2019, pp. 1-213 [Consulta: 10 julio 2022]. Disponible en: <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/170439?show=full>.

METALINSPEC. *Cómo realizar una prueba de flexión en plásticos según ASTM D790* [blog]. [Consulta: 3 julio 2022]. Disponible en: <https://www.blog.metalinspec.com.mx/post/como-realizar-una-prueba-de-flexion-en-plasticos-segun-astm-d790>.

MTS. *ASTM D638 Propiedades de tensión de materiales plásticos* [blog]. [Consulta: 3 Julio 2022]. Disponible en: https://corp.mts.com/cs/groups/public/documents/library/mts_4016222~1.pdf.

MUNDO HERRAMIENTAS. *Mejores Bombas de Vacío* [blog]. [Consulta: 29 junio 2022].
Disponibile en: <https://www.mundoherramienta.net/herramienta-electrica/bomba-vacio/>.

NINEL SANTILLÁN. Utilización de fibras naturales para el desarrollo de morteros reforzados con fibras. (Trabajo de titulación) (Máster) [en línea]. UPC BARCELONATEACH, 2020, pp. 1–72. [Consulta: 8 junio 2022]. Disponible en: https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/192804/Santill%C3%A1nN_TFM.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

ORTIZ JOSÉ 2018. Caracterización de las partes termoformadas y su incidencia en las propiedades mecánicas para la fabricación de guardachoques con polipropileno de alto impacto en la empresa carroceras construcciones mecánicas Albán en la ciudad de Latacunga (Trabajo de titulación) (Ingeniería) [en línea]. UTA, 2018, pp. 1-184. [Consulta: 3 julio 2022]. Disponible en: <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/27906>.

PARK S.J., JIN, F.L. & LEE, J.R. “Effect of biodegradable epoxidized castor oil on physicochemical and mechanical properties of epoxy resins”. *Macromolecular Chemistry and Physics* [en línea], 2007, vol. 205, no. 15, pp. 2048–2054. [Consulta: 13 junio 2022]. ISSN 10221352. DOI 10.1002/macp.200400214. Disponible en: <https://sci-hub.se/https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/macp.200400214>.

PÉREZ CARLOS. *Naval Composites: Los materiales compuestos y la industria naval* (Trabajo de titulación) (Ingeniería) [en línea]. Barcelona, 2016, pp. 1-97. [Consulta: 8 julio 2022].
Disponibile en: https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/88326/111451_FNB%20-%20Naval%20Composites%20-%20Los%20materiales%20compuestos%20y%20la%20industria%20naval.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

PESÁNTEZ JOSÉ & BENALCÁZAR DANIEL. *Diseño interior en edificaciones públicas a partir del uso de sistemas con características sustentables* (Trabajo de titulación) (Diseño) [en línea]. Ecuador, 2020, pp. 1-141 [Consulta: 10 julio 2022]. Disponible en: <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/9911>.

PROYECTO MENORQUÍN YACHT. *Métodos de producción y construcción de barcos.* [en línea], 2008, pp. 1–76. [Consulta: 27 June 2022]. Disponible en: <https://repositorio.upct.es/bitstream/handle/10317/34/11-Metodos%20de%20construcci%F3n.pdf?sequence=13>.

RAMÓN AUGUSTO. Influencia de la fibra de yute en el diseño de hormigones para resistencia a la compresión de 21 a 35 MPa con agregados de la cantera de Pifo Quito, julio del 2017. (Trabajo de titulación) (Ingeniería) [en línea]. Universidad Politécnica Salesiana. 2017, pp. 1-16. [Consulta: 12 junio 2022]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/14412/1/UPS%20-%20ST003145.pdf>.

RAPOSO P.C., CORREIA A.F.O., SOUSA DINIS, SALAVESSA E., REIS CRISTINA, OLIVEIRA CARLOS & DE JESUS ABÍLIO. “Mechanical Properties of Wood Construction Materials from a Building from the 19th Century. *Procedia Structural Integrity*” Sciencedirect [en línea], 2017, vol. 5, pp. 1097–1101. [Consulta: 18 agosto 2022]. ISSN 2452-3216. DOI 10.1016/J.PROSTR.2017.07.087. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2452321617301981>.

REGARSA. *Ficha técnica Resina de poliéster.* [blog]. [Consulta: 25 julio 2022]. Disponible en: www.regarsa.com-regarsa@regarsa.com.

ROJAS TEODOMIRA. Los insumos y/o materia prima en resinas y fibras industriales (Trabajo de titulación) (Artes industriales) [en línea]. Universidad Nacional de Educación Enrique Guzmán y Valle, Lima – Perú, 2016, pp. 1-107 [Consulta: 15 junio 2022]. Disponible en: <https://repositorio.une.edu.pe/bitstream/handle/UNE/3088/MONOGRAF%C3%8DA%20-%20CELESTINO%20ROJAS.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

SERVOSIS. *Máquina universal de ensayos, ¿qué es y por qué se llama así?* [blog]. [Consulta: 4 julio 2022]. Disponible en: <https://www.servosis.com/noticias/maquina-universal-de-ensayos-que-es-y-por-que-se-llama-asi-26>.

SLOWFASHIONNEXT. *Propiedades del tejido para construir mi producto I* [blog]. [Consulta: 7 julio 2022]. Disponible en: <https://www.slowfashionnext.com/blog/propiedades-del-tejido-construir-producto-i/>.

SOKOLI H.U., SIMONSEN M.E., NIELSEN R.P., HENRIKSEN J., MADSEN M.L., PEDERSEN, N.H. & SØGAARD E.G. “Characterization of the Liquid Products from Hydrolyzed Epoxy and Polyester Resin Composites Using Solid-Phase Microextraction and Recovery of the Monomer Phthalic Acid”. *Industrial and Engineering Chemistry Research* [en línea], 2016 vol. 55, no. 34, pp. 9118–9128. [Consulta: 13 agosto 2022]. DOI 10.1021/ACS.IECR.6B02111. Disponible en: <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acs.iecr.6b02111>.

TECHLAB SYSTEMS S.L. *Impactómetro de caída libre al dardo mod. BMC-B1*. [blog] [Consulta: 4 julio 2022]. Disponible en: https://www.metrotec.es/wp-content/uploads/sites/30/2013/12/BMCB1_Impactometro_al_Dardo_Films_Caida_Libre.pdf.

TF3P. *Trampa de resina pequeña para Infusión RB91 - Materiales compuestos* [blog]. [Consulta: 29 junio 2022]. Disponible en: <https://tf3p.com/tienda/equipos-de-vacio/trampa-de-resina-pequena-para-infusion-RB91/>.

THE HOME IMPROVEMENT OUTLET. *Tacky Tape* [blog]. [Consulta: 29 junio 2022]. Disponible en: <https://www.hioutlet.com/pd/tacky-tape-butyl-3-8x3-32x45/2911>.

VALLORI JOAN. Fabricación y caracterización mecánica de biocomposites reforzados con lino y madera. aplicación práctica en un mini aerogenerador eólico. (Trabajo de titulación) (Máster) [en línea]. Universidad del País Vasco, 2018, pp. 1-70 [Consulta: 16 junio 2022]. Disponible en: <https://addi.ehu.es/bitstream/handle/10810/27818/TFM%20Joan%20Vallori.pdf?sequence=2&isAllowed=y>.

VÁSCONEZ ELEANA. Tipos de resinas sintéticas para la aplicación en obra artística de autor. (Trabajo de titulación) (Licenciatura) [en línea]. UCE, Quito-Ecuador, 2019, pp. 1-104. [Consulta: 14 junio 2022]. Disponible en: <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/19550/1/T-UCE-0002-ART-046.pdf>.

VELÁSQUEZ S.M., PELAÉZ G.J. & GIRALDO D.H. “Uso de fibras vegetales en materiales compuestos de matriz polimérica: una revisión con miras a su aplicación en el diseño de nuevos productos” *Informador Técnico* [en línea], 2016 vol. 80, no. 1, pp. 77. [Consulta: 7 junio 2022]. ISSN 0122-056X. DOI 10.23850/22565035.324. Disponible en:

<https://www.researchgate.net/publication/315908487> Uso de fibras vegetales en materiales compuestos de matriz polimerica una revision con miras a su aplicacion en el diseno de nuevos productos

GUERRERO V.H, DÁVILA J.L & GALEAS S. “Nuevos materiales: aplicaciones estructurales e industriales”. [en línea]. Quito-Ecuador, 2011, pp. 1-369. [Consulta: 14 junio 2022]. ISBN 9789978383209. Disponible en: **<https://www.researchgate.net/publication/315908487> Uso de fibras vegetales en materiales compuestos de matriz polimerica una revision con miras a su aplicacion en el diseno de nuevos productos**

VILARDI ALESSANDRA. “Comparison between synthetic fiber networks and hemp fiber networks for the reinforcement of masonry walls”. Edificación [en línea], 2016, vol. 2, no. 3, pp. 26–32. [Consulta: 15 agosto 2022]. ISSN 2444-1309. Disponible en: **http://polired.upm.es/index.php/anales_de_edificacion/article/view/3469**.

VILLALÓN DIEGO, JIMÉNEZ GUTIÉRREZ, IRIARTE ARTEAGA & LÓPEZ HOMBRADOS. “Utilización de materiales compuestos en la construcción de nuevos puentes”. Actas de las II; [en línea], 2016, pp. 1-10 [Consulta: 8 julio 2022]. ISBN 978-84-7292-367-6. Disponible en: **https://digital.csic.es/bitstream/10261/6313/1/IIJC_Diego.pdf**.

VITERI AITZIBER. Polímeros biodegradables. Importancia y potenciales aplicaciones. (Trabajo de titulación) (Máster) [en línea]. 2018, pp. 1-48 [Consulta: 15 June 2022]. Disponible en: **http://e-spacio.uned.es/fez/eserv/bibliuned:master-Ciencias-CyTQ-Alabeaga/Labeaga_Viteri_Aitziber_TFM.pdf**

WESCO. *Dura QUARZ - Resina Epóxica.* [blog]. [Consulta: 18 julio 2022]. Disponible en: **https://www.pintulac.com.ec/media/catalog/fichas_tecnicas/Ficha-Tecnica-WESCO-Dura-Quarz-EPOX-21-V-4.pdf**.

ANEXOS

ANEXO A: VALORES OBTENIDOS DE FUERZA Y DEFORMACIÓN ENSAYO A TRACCIÓN PROBETA 1 UNIDIRECCIONAL

| DEFORMACIÓN (mm) | FUERZA (kg) |
|-------------------------|--------------------|
| 5,06E-05 | 1,69704 |
| 0,00205471 | 0 |
| 0,0413724 | 0,84852 |
| 0,0456981 | 0 |
| 0,0737834 | 0,84852 |
| 0,0744038 | 0,84852 |
| 0,0744038 | 0,42426 |
| 0,0744038 | 0,84852 |
| 0,0744038 | 0 |
| 0,0744038 | 1,69704 |
| 0,0744038 | 1,27278 |
| 0,0301224 | 0,84852 |
| 0,0301224 | 1,27278 |
| 0,0301224 | 0 |
| 0,0301224 | 0,84852 |
| 0,0238191 | 0,42426 |
| 0,0238191 | 0,42426 |
| 0,0238191 | 0 |
| 0,0238191 | 0,42426 |
| 0,0218047 | 0,84852 |
| 0,0218047 | 0,42426 |
| 0,0218047 | 0 |
| 0,0112117 | 0,42426 |
| 0,0112117 | 0,84852 |
| 0,0112117 | 0,84852 |
| 0,00155249 | 0,84852 |
| 0,000832858 | 0,42426 |
| 0,000832858 | 0,42426 |
| 0,000832858 | 0 |
| 0,000832858 | 0 |
| 0,000832858 | 0,84852 |
| 0,000832858 | 0,42426 |
| 0,000619655 | 0 |
| 0,0143824 | 0,42426 |
| 0,0153778 | 0,84852 |
| 0,0153778 | 0,42426 |
| 0,0153778 | 1,69704 |
| 0,0153778 | 0,84852 |
| 0,0153778 | 0,84852 |
| 9,09E-05 | 0,42426 |
| 9,09E-05 | 0,84852 |
| 0,0012238 | 1,69704 |
| 0,0012238 | 1,27278 |
| 0,0012238 | 0 |
| 0,0012238 | 0 |
| 0,0012238 | 0,84852 |
| 0,000473784 | 0,42426 |

| | |
|-------------|---------|
| 0,000473784 | 1,69704 |
| 0,0618797 | 0,42426 |
| 0,0675051 | 1,69704 |
| 0,0675051 | 4,66686 |
| 0,0736751 | 7,21242 |
| 0,0736751 | 11,0308 |
| 0,0738251 | 15,6976 |
| 0,0738251 | 22,91 |
| 0,0738251 | 27,1526 |
| 0,0738251 | 31,8195 |
| 0,0745667 | 37,7591 |
| 0,0745667 | 43,6988 |
| 0,0748864 | 51,3355 |
| 0,0805942 | 57,2751 |
| 0,141306 | 61,0934 |
| 0,145366 | 65,7603 |
| 0,147212 | 70,4272 |
| 0,148132 | 73,8212 |
| 0,291024 | 78,0638 |
| 0,293777 | 84,0035 |
| 0,297195 | 85,7005 |
| 0,297464 | 89,5189 |
| 0,298512 | 92,0644 |
| 0,319417 | 97,1555 |
| 0,368802 | 100,974 |
| 0,369252 | 105,641 |
| 0,369573 | 107,762 |
| 0,395313 | 110,732 |
| 0,416215 | 113,277 |
| 0,441641 | 116,247 |
| 0,442425 | 118,793 |
| 0,444294 | 122,611 |
| 0,444294 | 124,732 |
| 0,515936 | 128,975 |
| 0,516693 | 132,793 |
| 0,517693 | 135,763 |
| 0,540913 | 136,187 |
| 0,588285 | 139,157 |
| 0,590855 | 142,127 |
| 0,59326 | 145,945 |
| 0,697833 | 148,491 |
| 0,738549 | 153,582 |
| 0,740521 | 153,158 |
| 0,740754 | 157,825 |
| 0,740787 | 160,37 |
| 0,74204 | 163,34 |
| 0,74204 | 167,158 |
| 0,815612 | 170,553 |
| 0,816297 | 173,098 |
| 0,87419 | 177,341 |
| 0,889236 | 180,735 |
| 0,890553 | 183,28 |

| | |
|----------|---------|
| 0,89116 | 187,947 |
| 0,891524 | 189,644 |
| 0,947923 | 195,16 |
| 0,962048 | 198,129 |
| 0,965757 | 201,948 |
| 0,966151 | 207,039 |
| 1,03422 | 208,312 |
| 1,03486 | 211,706 |
| 1,03636 | 215,1 |
| 1,04013 | 218,07 |
| 1,10551 | 221,888 |
| 1,108 | 225,282 |
| 1,10949 | 228,252 |
| 1,25741 | 231,222 |
| 1,25991 | 235,04 |
| 1,26072 | 238,858 |
| 1,26105 | 241,828 |
| 1,2693 | 248,192 |
| 1,32585 | 249,889 |
| 1,32977 | 250,738 |
| 1,32985 | 254,556 |
| 1,34329 | 258,799 |
| 1,36962 | 263,041 |
| 1,40138 | 265,162 |
| 1,40296 | 268,557 |
| 1,40569 | 270,678 |
| 1,40853 | 273,648 |
| 1,47554 | 276,193 |
| 1,4769 | 280,012 |
| 1,50168 | 283,83 |
| 1,55133 | 289,77 |
| 1,55267 | 289,77 |
| 1,55281 | 293,164 |
| 1,55281 | 294,861 |
| 1,69904 | 298,255 |
| 1,70394 | 302,497 |
| 1,70419 | 309,71 |
| 1,74456 | 311,831 |
| 1,7763 | 313,952 |
| 1,77675 | 316,498 |
| 1,77687 | 319,468 |
| 1,77713 | 321,589 |
| 1,80974 | 326,256 |
| 1,84936 | 328,802 |
| 1,85132 | 331,347 |
| 1,85218 | 334,741 |
| 1,85405 | 337,287 |
| 1,91823 | 339,832 |
| 1,91941 | 345,348 |
| 1,92127 | 346,62 |
| 1,92255 | 350,015 |
| 1,92324 | 351,287 |

| | |
|---------|---------|
| 1,9943 | 354,681 |
| 1,99519 | 357,227 |
| 2,01131 | 361,47 |
| 2,04513 | 363,167 |
| 2,06551 | 366,561 |
| 2,06661 | 369,955 |
| 2,06881 | 372,076 |
| 2,06897 | 374,622 |
| 2,06897 | 378,864 |
| 2,21584 | 380,985 |
| 2,21779 | 382,683 |
| 2,2371 | 384,38 |
| 2,28171 | 387,774 |
| 2,29064 | 389,046 |
| 2,29225 | 392,441 |
| 2,29396 | 394,986 |
| 2,31699 | 397,107 |
| 2,34951 | 401,774 |
| 2,36249 | 403,471 |
| 2,36304 | 406,865 |
| 2,36567 | 409,835 |
| 2,3661 | 411,532 |
| 2,43708 | 412,805 |
| 2,43889 | 414,926 |
| 2,44319 | 418,745 |
| 2,50555 | 421,714 |
| 2,50642 | 423,836 |
| 2,51028 | 423,411 |
| 2,56696 | 429,775 |
| 2,59401 | 430,2 |
| 2,655 | 326,256 |
| 2,65733 | 184,553 |
| 2,70033 | 97,1555 |
| 2,7351 | 61,0934 |
| 2,7351 | 19,516 |
| 2,73556 | 10,1822 |
| 2,75782 | 1,27278 |
| 2,75894 | 4,2426 |
| 2,80088 | 11,0308 |
| 2,80372 | 14,4248 |
| 2,80795 | 18,2432 |
| 2,86327 | 20,3645 |
| 2,87941 | 22,4858 |
| 2,88018 | 22,0615 |
| 2,91852 | 23,7586 |
| 2,95014 | 23,3343 |
| 2,95014 | 25,8799 |
| 2,95014 | 25,4556 |
| 2,95212 | 25,4556 |
| 2,95336 | 26,3041 |
| 2,95336 | 23,7586 |
| 2,95336 | 26,3041 |

| | |
|---------|---------|
| 2,95336 | 25,4556 |
| 2,95336 | 25,0313 |
| 2,95212 | 24,6071 |
| 2,95212 | 25,8799 |
| 2,95194 | 24,6071 |
| 2,88351 | 24,1828 |
| 2,88351 | 26,7284 |

ANEXO B: VALORES OBTENIDOS DE FUERZA Y DEFORMACIÓN ENSAYO A TRACCIÓN PROBETA 2 UNIDIRECCIONAL

| DEFORMACIÓN (mm) | FUERZA (kg) |
|-------------------------|--------------------|
| 0 | 1,69704 |
| 0 | 0,84852 |
| 0 | 0 |
| 0,00471676 | 0,84852 |
| 0,00471676 | 0,84852 |
| 0,00471676 | 2,1213 |
| 0,00471676 | 2,96982 |
| 0,00471676 | 2,54556 |
| 0,00471676 | 4,2426 |
| 0,00471676 | 6,3639 |
| 0,00471676 | 8,06094 |
| 0,00471676 | 12,7278 |
| 0,00350055 | 15,6976 |
| 0,00350055 | 21,213 |
| 0,00395631 | 24,6071 |
| 0,00395631 | 30,971 |
| 0,0049258 | 33,5165 |
| 0,00519895 | 39,0319 |
| 0,00647226 | 44,9716 |
| 0,0798265 | 49,6384 |
| 0,0798265 | 52,184 |
| 0,0798769 | 56,0023 |
| 0,0805357 | 59,8207 |
| 0,0827481 | 63,2147 |
| 0,101589 | 66,6088 |
| 0,120021 | 68,7301 |
| 0,231533 | 72,9727 |
| 0,232396 | 75,9425 |
| 0,23843 | 81,0337 |
| 0,283938 | 84,0035 |
| 0,30119 | 86,1248 |
| 0,302714 | 93,3372 |
| 0,303318 | 93,7615 |
| 0,325299 | 98,8526 |
| 0,37467 | 100,125 |
| 0,375656 | 103,944 |
| 0,38187 | 105,641 |
| 0,420113 | 108,186 |
| 0,450651 | 110,308 |
| 0,452337 | 113,702 |
| 0,452757 | 117,52 |
| 0,453687 | 118,793 |
| 0,522232 | 123,884 |
| 0,523735 | 125,157 |
| 0,524589 | 127,702 |
| 0,527757 | 130,248 |
| 0,558091 | 133,218 |

| | |
|----------|---------|
| 0,668443 | 136,187 |
| 0,668906 | 140,43 |
| 0,670241 | 144,248 |
| 0,743092 | 145,097 |
| 0,743205 | 148,915 |
| 0,744321 | 153,582 |
| 0,744321 | 155,279 |
| 0,744554 | 158,673 |
| 0,798178 | 160,795 |
| 0,819075 | 163,764 |
| 0,822158 | 166,734 |
| 0,843484 | 170,977 |
| 0,84646 | 174,795 |
| 0,858861 | 176,492 |
| 0,887134 | 179,462 |
| 0,892202 | 183,28 |
| 0,961098 | 184,977 |
| 0,961153 | 189,22 |
| 0,9613 | 192,19 |
| 0,963972 | 195,16 |
| 0,963972 | 199,826 |
| 0,973424 | 202,372 |
| 1,03817 | 206,615 |
| 1,03934 | 210,009 |
| 1,06219 | 213,403 |
| 1,15039 | 217,645 |
| 1,15445 | 221,464 |
| 1,19105 | 224,858 |
| 1,19204 | 226,131 |
| 1,26184 | 230,373 |
| 1,26283 | 233,343 |
| 1,26852 | 236,313 |
| 1,26857 | 239,707 |
| 1,28362 | 243,101 |
| 1,32364 | 246,495 |
| 1,33806 | 251,162 |
| 1,34226 | 253,283 |
| 1,35644 | 257,95 |
| 1,41355 | 261,768 |
| 1,41431 | 264,738 |
| 1,41545 | 268,132 |
| 1,46686 | 272,799 |
| 1,48318 | 274,072 |
| 1,48673 | 277,042 |
| 1,48875 | 280,012 |
| 1,5743 | 284,254 |
| 1,63087 | 286,8 |
| 1,63561 | 289,345 |
| 1,637 | 291,891 |
| 1,63735 | 294,861 |
| 1,67017 | 299,528 |
| 1,69848 | 299,952 |

| | |
|---------|---------|
| 1,70918 | 305,043 |
| 1,71399 | 308,013 |
| 1,71453 | 310,558 |
| 1,73757 | 313,104 |
| 1,78362 | 316,074 |
| 1,78823 | 319,468 |
| 1,80615 | 324,135 |
| 1,80815 | 326,68 |
| 1,82977 | 330,074 |
| 1,85724 | 332,62 |
| 1,85969 | 335,59 |
| 1,92007 | 338,135 |
| 1,92859 | 340,681 |
| 1,93184 | 345,348 |
| 1,93261 | 346,196 |
| 1,93291 | 349,166 |
| 2,00226 | 352,984 |
| 2,00382 | 356,803 |
| 2,00466 | 357,227 |
| 2,00466 | 362,742 |
| 2,00466 | 364,439 |
| 2,13714 | 367,833 |
| 2,14593 | 370,379 |
| 2,14904 | 372,076 |
| 2,15003 | 375,47 |
| 2,15003 | 378,44 |
| 2,21833 | 380,137 |
| 2,22563 | 382,258 |
| 2,22652 | 385,652 |
| 2,22859 | 388,198 |
| 2,27377 | 389,046 |
| 2,29996 | 392,865 |
| 2,30138 | 394,986 |
| 2,30185 | 398,38 |
| 2,32122 | 402,198 |
| 2,36764 | 404,744 |
| 2,37051 | 408,138 |
| 2,37425 | 408,138 |
| 2,42271 | 412,381 |
| 2,4339 | 414,078 |
| 2,44451 | 416,623 |
| 2,44689 | 420,017 |
| 2,44808 | 421,29 |
| 2,59086 | 423,411 |
| 2,59234 | 425,533 |
| 2,5946 | 429,351 |
| 2,66644 | 428,927 |
| 2,66644 | 435,715 |
| 2,66701 | 436,988 |
| 2,66703 | 438,685 |
| 2,66873 | 441,23 |
| 2,73731 | 444,624 |

| | |
|---------|---------|
| 2,73964 | 447,594 |
| 2,74025 | 451,413 |
| 2,74206 | 452,685 |
| 2,74409 | 456,928 |
| 2,81036 | 459,049 |
| 2,81133 | 461,171 |
| 2,81276 | 462,868 |
| 2,8167 | 464,989 |
| 2,84878 | 467,959 |
| 2,89129 | 470,08 |
| 2,89365 | 473,05 |
| 2,92744 | 475,595 |
| 2,95961 | 478,99 |
| 2,9624 | 481,535 |
| 2,96328 | 483,232 |
| 3,02782 | 484,081 |
| 3,10603 | 410,259 |
| 3,11061 | 215,1 |
| 3,11075 | 122,611 |
| 3,16259 | 66,1846 |
| 3,18023 | 31,8195 |
| 3,18111 | 12,3035 |
| 3,20492 | 1,69704 |
| 3,25332 | 11,455 |
| 3,25352 | 15,6976 |
| 3,25544 | 20,7887 |
| 3,25741 | 22,91 |
| 3,27964 | 25,0313 |
| 3,32654 | 26,3041 |
| 3,32706 | 25,8799 |
| 3,3275 | 27,1526 |
| 3,3275 | 28,4254 |
| 3,37733 | 28,4254 |
| 3,39659 | 28,0012 |
| 3,3987 | 27,5769 |
| 3,39891 | 28,4254 |
| 3,39916 | 27,5769 |
| 3,545 | 29,6982 |
| 3,54697 | 28,4254 |
| 3,54962 | 25,0313 |
| 3,61141 | 26,3041 |
| 3,61141 | 28,4254 |
| 3,61141 | 27,1526 |
| 3,61141 | 28,0012 |
| 3,61141 | 28,4254 |
| 3,61141 | 29,2739 |
| 3,61141 | 28,8497 |
| 3,61141 | 28,8497 |
| 3,61141 | 28,4254 |
| 3,62088 | 28,8497 |

ANEXO C: VALORES OBTENIDOS DE FUERZA Y DEFORMACIÓN ENSAYO A TRACCIÓN PROBETA 3 UNIDIRECCIONAL

| DEFORMACIÓN (mm) | FUERZA (kg) |
|-------------------------|--------------------|
| 0 | 0,42426 |
| 0,0314868 | 0,84852 |
| 0,0314868 | 1,27278 |
| 0,0314868 | 2,54556 |
| 0,0314868 | 0,84852 |
| 0,0314868 | 1,69704 |
| 0,0314868 | 2,96982 |
| 0,0314868 | 2,96982 |
| 0,0314868 | 0,42426 |
| 0,0271394 | 1,69704 |
| 0,0271394 | 1,69704 |
| 0,0271394 | 1,27278 |
| 0,0249251 | 0,84852 |
| 0,00513404 | 0 |
| 0,00513404 | 1,69704 |
| 0,00513404 | 0,42426 |
| 0,00513404 | 0,84852 |
| 0,00513404 | 1,69704 |
| 0,00513404 | 2,54556 |
| 0,00513404 | 0,84852 |
| 0,00513404 | 1,69704 |
| 0,00663024 | 2,54556 |
| 0,0196624 | 5,93964 |
| 0,0295291 | 9,33372 |
| 0,0295291 | 16,5461 |
| 0,0295291 | 22,0615 |
| 0,0295291 | 28,0012 |
| 0,0295291 | 35,6378 |
| 0,00487658 | 41,1532 |
| 0,0396349 | 44,5473 |
| 0,040479 | 51,3355 |
| 0,0409102 | 55,5781 |
| 0,0417027 | 59,3964 |
| 0,182528 | 63,639 |
| 0,182969 | 67,4573 |
| 0,183559 | 72,9727 |
| 0,24544 | 75,094 |
| 0,248114 | 79,3366 |
| 0,259642 | 84,4277 |
| 0,332481 | 84,852 |
| 0,332861 | 88,2461 |
| 0,334998 | 89,5189 |
| 0,400339 | 92,0644 |
| 0,402747 | 91,6402 |
| 0,403386 | 94,61 |
| 0,452977 | 99,2768 |
| 0,454104 | 100,974 |

| | |
|----------|---------|
| 0,468729 | 106,065 |
| 0,489142 | 108,611 |
| 0,61788 | 112,853 |
| 0,631648 | 115,823 |
| 0,631651 | 120,066 |
| 0,675605 | 121,763 |
| 0,704777 | 126,005 |
| 0,705366 | 128,975 |
| 0,770456 | 130,248 |
| 0,778685 | 133,218 |
| 0,779825 | 136,612 |
| 0,793462 | 138,733 |
| 0,851108 | 140,43 |
| 0,85233 | 145,097 |
| 0,85394 | 148,067 |
| 0,926284 | 150,612 |
| 0,927 | 154,006 |
| 0,929361 | 156,128 |
| 0,99322 | 159,522 |
| 0,99947 | 162,492 |
| 1,00325 | 164,613 |
| 1,04364 | 168,855 |
| 1,14668 | 173,947 |
| 1,14977 | 174,795 |
| 1,16082 | 177,341 |
| 1,18501 | 181,583 |
| 1,22078 | 185,826 |
| 1,22593 | 186,25 |
| 1,26649 | 190,068 |
| 1,28964 | 192,614 |
| 1,2941 | 195,584 |
| 1,31728 | 198,978 |
| 1,33934 | 204,069 |
| 1,36568 | 205,342 |
| 1,36598 | 210,009 |
| 1,43875 | 212,13 |
| 1,44132 | 217,645 |
| 1,44312 | 218,494 |
| 1,45175 | 221,888 |
| 1,58752 | 224,434 |
| 1,58824 | 227,403 |
| 1,58999 | 229,949 |
| 1,66266 | 232,07 |
| 1,66526 | 236,737 |
| 1,66717 | 238,858 |
| 1,73545 | 242,677 |
| 1,76965 | 246,071 |
| 1,7849 | 250,313 |
| 1,81477 | 255,405 |
| 1,81532 | 257,102 |
| 1,84821 | 260,496 |
| 1,88244 | 264,738 |

| | |
|---------|---------|
| 1,88405 | 268,981 |
| 1,8874 | 272,799 |
| 1,95965 | 277,466 |
| 1,96063 | 280,436 |
| 1,96191 | 283,83 |
| 2,10845 | 287,648 |
| 2,11165 | 291,042 |
| 2,14682 | 294,861 |
| 2,17259 | 298,255 |
| 2,18132 | 300,8 |
| 2,18211 | 305,891 |
| 2,25441 | 308,861 |
| 2,25562 | 310,134 |
| 2,25914 | 316,498 |
| 2,26562 | 320,741 |
| 2,32633 | 326,68 |
| 2,32768 | 329,226 |
| 2,34341 | 333,044 |
| 2,4049 | 336,014 |
| 2,40539 | 339,408 |
| 2,55097 | 344,499 |
| 2,55143 | 345,772 |
| 2,5515 | 350,863 |
| 2,55568 | 354,681 |
| 2,62617 | 358,924 |
| 2,6277 | 361,894 |
| 2,62785 | 364,864 |
| 2,69509 | 371,227 |
| 2,69729 | 373,773 |
| 2,70214 | 376,319 |
| 2,70272 | 378,44 |
| 2,76866 | 383,531 |
| 2,77131 | 386,501 |
| 2,78806 | 391,168 |
| 2,81316 | 393,713 |
| 2,84779 | 396,259 |
| 2,95768 | 399,229 |
| 2,99371 | 406,017 |
| 2,99519 | 407,29 |
| 2,99654 | 411,108 |
| 3,00971 | 414,078 |
| 3,06633 | 419,169 |
| 3,06717 | 422,139 |
| 3,13566 | 425,957 |
| 3,13994 | 428,078 |
| 3,14346 | 432,745 |
| 3,21273 | 435,291 |
| 3,21484 | 438,261 |
| 3,21543 | 441,23 |
| 3,21569 | 445,897 |
| 3,28992 | 448,867 |
| 3,29063 | 451,413 |

| | |
|---------|---------|
| 3,30056 | 454,382 |
| 3,32954 | 457,777 |
| 3,35953 | 460,322 |
| 3,3635 | 462,868 |
| 3,50501 | 467,535 |
| 3,51081 | 468,807 |
| 3,51298 | 471,777 |
| 3,55327 | 471,353 |
| 3,58876 | 473,05 |
| 3,59045 | 477,717 |
| 3,59328 | 480,262 |
| 3,65608 | 484,505 |
| 3,7127 | 381,834 |
| 3,73062 | 209,16 |
| 3,73381 | 125,581 |
| 3,73446 | 74,2455 |
| 3,78764 | 42,8503 |
| 3,80309 | 24,1828 |
| 3,80558 | 10,1822 |
| 3,84029 | 4,2426 |
| 3,9465 | 2,1213 |
| 3,94952 | 5,51538 |
| 3,94961 | 6,78816 |
| 3,96665 | 9,75798 |
| 4,02515 | 9,75798 |
| 4,02665 | 11,0308 |
| 4,096 | 11,0308 |
| 4,09766 | 11,8793 |
| 4,12332 | 10,1822 |
| 4,17136 | 11,0308 |
| 4,17435 | 10,6065 |
| 4,17704 | 11,0308 |
| 4,2439 | 14,0006 |
| 4,24453 | 11,8793 |
| 4,2457 | 12,7278 |

ANEXO D: VALORES OBTENIDOS DE FUERZA Y DEFORMACIÓN ENSAYO A TRACCIÓN PROBETA 4 UNIDIRECCIONAL

| DEFORMACIÓN (mm) | FUERZA (kg) |
|-------------------------|--------------------|
| 0,000264159 | 2,54556 |
| 0,000264159 | 1,69704 |
| 0,000264159 | 2,1213 |
| 0,000264159 | 1,27278 |
| 0,000264159 | 2,54556 |
| 0,000264159 | 0,84852 |
| 0,000767302 | 0,42426 |
| 0,000907842 | 0 |
| 0,0013227 | 0,84852 |
| 0,00182261 | 1,27278 |
| 0,0021499 | 0,84852 |
| 0,0021499 | 1,27278 |
| 0,0021499 | 2,96982 |
| 0,0021499 | 4,2426 |
| 0,00182261 | 4,2426 |
| 0,00182261 | 2,96982 |
| 0,00182261 | 3,39408 |
| 0,00182261 | 4,2426 |
| 0,00118475 | 3,81834 |
| 0,00113752 | 5,93964 |
| 0,00113752 | 5,09112 |
| 0,000433924 | 7,63668 |
| 0,000433924 | 3,39408 |
| 0,000433924 | 5,09112 |
| 0,000433924 | 2,54556 |
| 0,000433924 | 4,66686 |
| 0,000433924 | 6,78816 |
| 0,000463136 | 10,1822 |
| 0,000463136 | 17,3947 |
| 0,00110998 | 20,3645 |
| 0,00436753 | 25,4556 |
| 0,00444449 | 27,5769 |
| 0,019024 | 31,3952 |
| 0,0493343 | 35,2136 |
| 0,0714954 | 38,1834 |
| 0,0788984 | 41,5775 |
| 0,146998 | 44,123 |
| 0,147925 | 48,7899 |
| 0,148197 | 53,881 |
| 0,148573 | 54,7295 |
| 0,150106 | 57,6994 |
| 0,299921 | 60,2449 |
| 0,30106 | 62,3662 |
| 0,31254 | 65,7603 |
| 0,312605 | 66,6088 |
| 0,360429 | 70,8514 |
| 0,375353 | 71,2757 |

| | |
|----------|---------|
| 0,38173 | 72,9727 |
| 0,446237 | 74,6698 |
| 0,449298 | 76,7911 |
| 0,451969 | 78,9124 |
| 0,489304 | 80,1851 |
| 0,500691 | 84,852 |
| 0,514064 | 85,2763 |
| 0,521315 | 87,3976 |
| 0,586102 | 90,3674 |
| 0,590759 | 93,3372 |
| 0,591857 | 93,7615 |
| 0,592891 | 97,1555 |
| 0,599909 | 101,822 |
| 0,739483 | 105,216 |
| 0,73966 | 104,792 |
| 0,747862 | 109,035 |
| 0,812349 | 111,156 |
| 0,812937 | 112,005 |
| 0,814134 | 116,672 |
| 0,828253 | 120,066 |
| 0,855792 | 120,914 |
| 0,885067 | 122,611 |
| 0,885822 | 124,732 |
| 0,888793 | 128,551 |
| 0,958373 | 128,975 |
| 0,96018 | 131,096 |
| 0,961133 | 133,642 |
| 1,03262 | 136,187 |
| 1,03443 | 137,885 |
| 1,03503 | 142,976 |
| 1,0373 | 144,673 |
| 1,05636 | 145,945 |
| 1,10679 | 148,915 |
| 1,10706 | 151,461 |
| 1,11016 | 154,431 |
| 1,13002 | 157,825 |
| 1,22246 | 159,946 |
| 1,25656 | 163,764 |
| 1,26238 | 166,734 |
| 1,33288 | 167,583 |
| 1,33373 | 172,674 |
| 1,33551 | 173,947 |
| 1,33631 | 177,765 |
| 1,37686 | 179,462 |
| 1,40592 | 183,705 |
| 1,40899 | 186,25 |
| 1,4094 | 187,523 |
| 1,42856 | 191,766 |
| 1,48033 | 193,463 |
| 1,4823 | 198,129 |
| 1,48274 | 200,251 |
| 1,4839 | 203,645 |

| | |
|---------|---------|
| 1,5545 | 205,766 |
| 1,55613 | 208,736 |
| 1,55622 | 210,857 |
| 1,56037 | 214,251 |
| 1,66382 | 219,342 |
| 1,69479 | 221,039 |
| 1,69558 | 223,585 |
| 1,69564 | 225,706 |
| 1,74808 | 228,676 |
| 1,77289 | 233,767 |
| 1,77364 | 235,889 |
| 1,78938 | 237,586 |
| 1,79176 | 241,828 |
| 1,84851 | 245,222 |
| 1,85643 | 246,919 |
| 1,91898 | 249,465 |
| 1,92332 | 254,556 |
| 1,92347 | 256,253 |
| 1,95307 | 260,92 |
| 1,99601 | 263,465 |
| 1,99632 | 266,011 |
| 2,01174 | 269,405 |
| 2,06725 | 271,951 |
| 2,06834 | 277,042 |
| 2,06965 | 279,587 |
| 2,0717 | 280,436 |
| 2,21648 | 282,981 |
| 2,2195 | 288,921 |
| 2,22171 | 290,194 |
| 2,28814 | 295,709 |
| 2,28849 | 295,709 |
| 2,28979 | 299,528 |
| 2,29803 | 305,467 |
| 2,36001 | 308,013 |
| 2,36193 | 310,134 |
| 2,36425 | 312,68 |
| 2,40336 | 316,074 |
| 2,42228 | 319,468 |
| 2,43496 | 322,013 |
| 2,43744 | 326,256 |
| 2,45023 | 330,074 |
| 2,50202 | 330,499 |
| 2,51249 | 333,468 |
| 2,5134 | 336,014 |
| 2,51549 | 340,681 |
| 2,65616 | 341,954 |
| 2,65701 | 345,348 |
| 2,65774 | 347,469 |
| 2,65894 | 350,439 |
| 2,73097 | 354,257 |
| 2,7332 | 355,53 |
| 2,74556 | 359,348 |

| | |
|---------|---------|
| 2,80402 | 360,621 |
| 2,80617 | 364,015 |
| 2,80906 | 365,288 |
| 2,82789 | 368,682 |
| 2,85568 | 372,925 |
| 2,87229 | 376,319 |
| 2,87584 | 379,713 |
| 2,89449 | 381,41 |
| 2,93171 | 387,349 |
| 2,9488 | 388,198 |
| 2,95019 | 391,592 |
| 2,95159 | 394,562 |
| 2,96324 | 396,683 |
| 3,01997 | 399,229 |
| 3,02313 | 400,926 |
| 3,06438 | 404,744 |
| 3,16945 | 407,29 |
| 3,16972 | 410,259 |
| 3,19984 | 411,532 |
| 3,24513 | 413,229 |
| 3,24582 | 418,32 |
| 3,24722 | 420,442 |
| 3,24789 | 326,68 |
| 3,27016 | 163,764 |
| 3,31811 | 82,7307 |
| 3,32053 | 34,7893 |
| 3,36728 | 7,63668 |
| 3,39584 | 9,33372 |
| 3,3966 | 20,7887 |
| 3,39989 | 28,0012 |
| 3,46758 | 33,5165 |
| 3,46887 | 35,6378 |
| 3,46889 | 39,0319 |
| 3,56713 | 39,4562 |
| 3,61721 | 40,729 |
| 3,61758 | 41,5775 |
| 3,61764 | 43,2745 |

ANEXO E: VALORES OBTENIDOS DE FUERZA Y DEFORMACIÓN ENSAYO A TRACCIÓN PROBETA 5 UNIDIRECCIONAL

| DEFORMACIÓN (mm) | FUERZA (kg) |
|-------------------------|--------------------|
| 0,0448238 | 1,27278 |
| 0,0448238 | 2,54556 |
| 0,0448238 | 0,84852 |
| 0,0448238 | 0,42426 |
| 0,0118962 | 1,27278 |
| 0 | 2,1213 |
| 0 | 1,69704 |
| 0 | 2,1213 |
| 0 | 2,1213 |
| 0,000923955 | 0,84852 |
| 0,000923955 | 1,27278 |
| 0,00415544 | 1,27278 |
| 0,00415544 | 1,69704 |
| 0,03018 | 2,54556 |
| 0,03018 | 0,84852 |
| 0,03018 | 0,42426 |
| 0,00415544 | 0,84852 |
| 0,00415544 | 1,69704 |
| 0,00415544 | 0,84852 |
| 0,00415544 | 0,84852 |
| 0,0328818 | 2,54556 |
| 0,0328818 | 1,69704 |
| 0,0340429 | 2,54556 |
| 0,0340429 | 0,84852 |
| 0,0348474 | 0,84852 |
| 0,0349785 | 0,42426 |
| 0,0349785 | 0,84852 |
| 0,0349785 | 1,69704 |
| 0,0352105 | 1,27278 |
| 0,0352105 | 0,42426 |
| 0,0361472 | 2,54556 |
| 0,0361472 | 2,1213 |
| 0,0361472 | 1,27278 |
| 0,0361472 | 1,69704 |
| 0,036245 | 0,84852 |
| 0,036245 | 0,42426 |
| 0,036245 | 2,1213 |
| 0,036245 | 2,54556 |
| 0,036245 | 2,96982 |
| 0,036245 | 3,39408 |
| 0,0368126 | 3,81834 |
| 0,0368126 | 8,06094 |
| 0,0368126 | 11,0308 |
| 0,0368126 | 16,1219 |
| 0,0368126 | 22,0615 |
| 0,0368126 | 27,5769 |
| 0,0368126 | 33,0923 |

| | |
|-----------|---------|
| 0,0367729 | 41,1532 |
| 0,0361024 | 47,0929 |
| 0,011465 | 51,7597 |
| 0,0360376 | 57,6994 |
| 0,0372627 | 62,3662 |
| 0,0394444 | 67,0331 |
| 0,107123 | 74,2455 |
| 0,108144 | 79,7609 |
| 0,108146 | 84,4277 |
| 0,11 | 89,9431 |
| 0,184016 | 96,307 |
| 0,184203 | 98,8526 |
| 0,185354 | 103,944 |
| 0,255455 | 108,611 |
| 0,257938 | 111,58 |
| 0,259335 | 115,823 |
| 0,261282 | 118,369 |
| 0,261601 | 120,914 |
| 0,407357 | 124,308 |
| 0,407979 | 126,005 |
| 0,409778 | 128,551 |
| 0,48015 | 130,248 |
| 0,480838 | 134,066 |
| 0,483127 | 137,036 |
| 0,496108 | 138,733 |
| 0,553367 | 141,279 |
| 0,555882 | 145,945 |
| 0,556775 | 148,915 |
| 0,577981 | 152,734 |
| 0,62751 | 154,006 |
| 0,62978 | 155,703 |
| 0,632495 | 160,795 |
| 0,702324 | 163,764 |
| 0,703229 | 167,158 |
| 0,704492 | 169,28 |
| 0,7059 | 173,098 |
| 0,708275 | 174,795 |
| 0,775838 | 177,341 |
| 0,776812 | 181,159 |
| 0,77726 | 184,977 |
| 0,901841 | 188,796 |
| 0,925929 | 191,341 |
| 0,937434 | 195,16 |
| 0,997146 | 196,857 |
| 0,9978 | 199,826 |
| 1,04791 | 202,796 |
| 1,06872 | 206,615 |
| 1,07031 | 209,584 |
| 1,07092 | 212,979 |
| 1,07309 | 213,827 |
| 1,12236 | 218,918 |
| 1,142 | 221,039 |

| | |
|---------|---------|
| 1,14443 | 225,282 |
| 1,21683 | 231,222 |
| 1,21922 | 232,07 |
| 1,21932 | 235,889 |
| 1,22171 | 240,555 |
| 1,22296 | 242,252 |
| 1,36932 | 245,222 |
| 1,3853 | 249,041 |
| 1,42983 | 252,859 |
| 1,44102 | 257,526 |
| 1,44346 | 259,223 |
| 1,44901 | 262,617 |
| 1,46267 | 266,011 |
| 1,51873 | 268,557 |
| 1,52236 | 274,072 |
| 1,5729 | 277,042 |
| 1,58505 | 280,012 |
| 1,58797 | 284,254 |
| 1,60595 | 288,497 |
| 1,60988 | 291,467 |
| 1,66312 | 295,285 |
| 1,66335 | 299,103 |
| 1,66595 | 303,77 |
| 1,73694 | 305,891 |
| 1,73738 | 310,558 |
| 1,73887 | 312,68 |
| 1,88077 | 315,225 |
| 1,88079 | 319,044 |
| 1,88151 | 323,71 |
| 1,90172 | 327,104 |
| 1,95402 | 329,226 |
| 1,95436 | 334,317 |
| 1,95688 | 340,257 |
| 2,03031 | 341,529 |
| 2,0318 | 344,923 |
| 2,03383 | 347,469 |
| 2,0391 | 352,56 |
| 2,04775 | 356,378 |
| 2,10526 | 358,5 |
| 2,1059 | 362,742 |
| 2,10797 | 366,561 |
| 2,1126 | 370,803 |
| 2,17585 | 372,925 |
| 2,17611 | 376,319 |
| 2,27407 | 379,713 |
| 2,3255 | 381,834 |
| 2,32632 | 385,228 |
| 2,32688 | 388,198 |
| 2,32788 | 391,592 |
| 2,36697 | 394,986 |
| 2,39877 | 398,38 |
| 2,40298 | 402,623 |

| | |
|---------|---------|
| 2,47098 | 405,168 |
| 2,471 | 408,987 |
| 2,47283 | 411,956 |
| 2,48244 | 413,653 |
| 2,54796 | 417,472 |
| 2,54804 | 420,866 |
| 2,55998 | 423,411 |
| 2,62145 | 426,381 |
| 2,62239 | 428,927 |
| 2,62573 | 432,745 |
| 2,65603 | 436,139 |
| 2,69089 | 439,958 |
| 2,69188 | 442,503 |
| 2,6933 | 445,049 |
| 2,69585 | 448,443 |
| 2,83695 | 451,837 |
| 2,83758 | 453,958 |
| 2,83854 | 458,201 |
| 2,85865 | 459,898 |
| 2,90776 | 463,716 |
| 2,9104 | 468,383 |
| 2,91223 | 471,777 |
| 2,98511 | 474,747 |
| 2,98542 | 476,02 |
| 2,9861 | 479,838 |
| 3,05699 | 483,232 |
| 3,05903 | 485,778 |
| 3,05952 | 489,172 |
| 3,06048 | 491,717 |
| 3,10789 | 494,687 |
| 3,13307 | 497,233 |
| 3,13481 | 501,475 |
| 3,19292 | 439,109 |
| 3,23488 | 209,584 |
| 3,28246 | 108,611 |
| 3,28362 | 51,7597 |
| 3,2873 | 15,6976 |
| 3,32881 | 3,39408 |
| 3,35632 | 16,9704 |
| 3,35759 | 25,4556 |
| 3,37983 | 30,1225 |
| 3,42937 | 31,8195 |
| 3,43347 | 36,9106 |
| 3,49618 | 36,0621 |
| 3,50351 | 37,7591 |
| 3,50353 | 38,1834 |
| 3,50382 | 37,3349 |
| 3,5183 | 39,0319 |
| 3,55765 | 39,8804 |
| 3,57724 | 39,8804 |
| 3,58026 | 39,8804 |
| 3,72201 | 37,3349 |

| | |
|---------|---------|
| 3,72658 | 39,0319 |
| 3,75899 | 38,6077 |
| 3,7865 | 38,1834 |
| 3,79036 | 40,3047 |
| 3,79826 | 39,8804 |
| 3,79867 | 39,0319 |
| 3,79912 | 38,6077 |
| 3,87067 | 38,1834 |
| 3,8726 | 40,3047 |
| 3,8764 | 38,1834 |
| 3,93862 | 39,8804 |
| 3,94405 | 39,0319 |
| 4,00422 | 38,6077 |
| 4,01185 | 40,3047 |

ANEXO F: VALORES OBTENIDOS DE FUERZA Y DEFORMACIÓN ENSAYO A TRACCIÓN PROBETA 1 MIXTA

| DEFORMACIÓN (mm) | FUERZA (kg) |
|-------------------------|--------------------|
| 0 | 1,27278 |
| 0 | 1,27278 |
| 0 | 2,1213 |
| 0,0101554 | 2,1213 |
| 0,0101554 | 0,84852 |
| 0,0101554 | 0,42426 |
| 0,0101554 | 1,27278 |
| 0,0101554 | 0,84852 |
| 0,0101554 | 1,27278 |
| 0,0101554 | 0 |
| 0,000678076 | 1,69704 |
| 0,000611514 | 5,93964 |
| 0,000611514 | 7,63668 |
| 0,000611514 | 8,4852 |
| 0,000611514 | 11,0308 |
| 0,000782103 | 14,4248 |
| 0,000782103 | 15,2734 |
| 0,00212592 | 17,8189 |
| 0,00245022 | 22,0615 |
| 0,0297337 | 25,4556 |
| 0,0430931 | 26,3041 |
| 0,0727667 | 28,8497 |
| 0,0742888 | 30,971 |
| 0,0756729 | 33,5165 |
| 0,0757405 | 34,3651 |
| 0,0759934 | 38,1834 |
| 0,10341 | 41,1532 |
| 0,146865 | 41,5775 |
| 0,14928 | 44,9716 |
| 0,150008 | 47,5171 |
| 0,150198 | 48,3656 |
| 0,152362 | 51,7597 |
| 0,200439 | 53,881 |
| 0,291569 | 55,1538 |
| 0,293815 | 56,8508 |
| 0,293935 | 58,9721 |
| 0,295468 | 62,3662 |
| 0,331965 | 64,9118 |
| 0,364858 | 64,0633 |
| 0,365738 | 67,8816 |
| 0,367867 | 70,8514 |
| 0,368229 | 72,5485 |
| 0,440649 | 75,9425 |
| 0,442981 | 76,7911 |
| 0,443974 | 77,6396 |
| 0,444698 | 82,3064 |
| 0,445166 | 84,852 |

| | |
|----------|---------|
| 0,455017 | 84,4277 |
| 0,513747 | 88,2461 |
| 0,516604 | 89,9431 |
| 0,516604 | 89,5189 |
| 0,516941 | 93,3372 |
| 0,517591 | 93,3372 |
| 0,521127 | 95,4585 |
| 0,58535 | 97,1555 |
| 0,5864 | 100,55 |
| 0,5864 | 100,125 |
| 0,586914 | 103,519 |
| 0,586914 | 105,216 |
| 0,589801 | 105,641 |
| 0,739154 | 106,489 |
| 0,740032 | 110,308 |
| 0,741335 | 111,156 |
| 0,742891 | 112,005 |
| 0,81008 | 112,853 |
| 0,813729 | 115,823 |
| 0,81458 | 119,217 |
| 0,815504 | 121,763 |
| 0,816597 | 122,611 |
| 0,842685 | 123,46 |
| 0,870599 | 126,429 |
| 0,883253 | 126,005 |
| 0,885526 | 129,399 |
| 0,887253 | 133,642 |
| 0,887878 | 134,066 |
| 0,956208 | 134,915 |
| 0,960223 | 136,612 |
| 0,962249 | 138,309 |
| 0,962307 | 139,582 |
| 0,962748 | 142,976 |
| 1,03267 | 143,824 |
| 1,0345 | 145,945 |
| 1,03499 | 145,521 |
| 1,03516 | 147,642 |
| 1,03516 | 151,885 |
| 1,10637 | 153,582 |
| 1,10675 | 154,431 |
| 1,10862 | 154,855 |
| 1,10944 | 156,552 |
| 1,10985 | 161,643 |
| 1,20116 | 161,643 |
| 1,25413 | 162,916 |
| 1,25501 | 163,34 |
| 1,25501 | 168,007 |
| 1,25616 | 168,431 |
| 1,25616 | 170,128 |
| 1,25736 | 171,401 |
| 1,32491 | 173,522 |
| 1,3262 | 176,068 |

| | |
|---------|---------|
| 1,32867 | 179,886 |
| 1,32877 | 180,735 |
| 1,3492 | 184,129 |
| 1,40082 | 185,826 |
| 1,40225 | 187,523 |
| 1,4024 | 191,341 |
| 1,40424 | 194,311 |
| 1,47139 | 196,857 |
| 1,47139 | 197,281 |
| 1,47241 | 199,402 |
| 1,47281 | 202,796 |
| 1,4734 | 204,069 |
| 1,4734 | 206,615 |
| 1,48899 | 207,039 |
| 1,54643 | 208,736 |
| 1,54667 | 211,281 |
| 1,54807 | 213,403 |
| 1,54987 | 218,07 |
| 1,60903 | 217,645 |
| 1,70039 | 219,767 |
| 1,70067 | 224,009 |
| 1,70319 | 224,009 |
| 1,7032 | 228,676 |
| 1,70815 | 226,979 |
| 1,74956 | 231,646 |
| 1,77069 | 232,919 |
| 1,77358 | 236,737 |
| 1,77395 | 238,01 |
| 1,77403 | 240,131 |
| 1,77472 | 243,101 |
| 1,81629 | 243,525 |
| 1,84546 | 245,647 |
| 1,84829 | 246,495 |
| 1,87018 | 249,465 |
| 1,89031 | 252,859 |
| 1,92047 | 254,132 |
| 1,92047 | 253,707 |
| 1,92118 | 259,223 |
| 1,92125 | 262,617 |
| 1,92135 | 264,314 |
| 1,92406 | 265,587 |
| 1,99356 | 267,284 |
| 1,99484 | 270,678 |
| 1,9958 | 272,799 |
| 1,99662 | 275,345 |
| 2,00764 | 276,618 |
| 2,02503 | 279,163 |
| 2,06708 | 279,163 |
| 2,06821 | 282,981 |
| 2,06966 | 286,8 |
| 2,20581 | 287,224 |
| 2,21456 | 288,497 |

| | |
|---------|---------|
| 2,21667 | 291,891 |
| 2,21681 | 295,285 |
| 2,21833 | 296,558 |
| 2,21843 | 299,952 |
| 2,25279 | 302,497 |
| 2,29304 | 303,346 |
| 2,29317 | 306,74 |
| 2,29359 | 310,134 |
| 2,30292 | 311,407 |
| 2,31392 | 315,225 |
| 2,35692 | 316,074 |
| 2,36172 | 320,316 |
| 2,36386 | 320,741 |
| 2,365 | 323,286 |
| 2,36621 | 326,256 |
| 2,41478 | 327,104 |
| 2,43768 | 330,074 |
| 2,43829 | 313,952 |
| 2,43889 | 299,952 |
| 2,44221 | 294,436 |
| 2,45265 | 291,042 |
| 2,48038 | 292,739 |
| 2,50965 | 295,709 |
| 2,5099 | 299,528 |
| 2,51407 | 300,8 |
| 2,51481 | 305,043 |
| 2,52162 | 312,68 |
| 2,65413 | 313,952 |
| 2,6561 | 319,468 |
| 2,65683 | 327,529 |
| 2,65821 | 328,377 |
| 2,65914 | 332,62 |
| 2,66081 | 335,59 |
| 2,66209 | 340,681 |
| 2,73403 | 343,226 |
| 2,73513 | 347,893 |
| 2,73533 | 348,742 |
| 2,74532 | 352,984 |
| 2,80433 | 353,409 |
| 2,80721 | 357,227 |
| 2,80769 | 361,045 |
| 2,81027 | 363,591 |
| 2,88079 | 364,015 |
| 2,8809 | 366,985 |
| 2,88408 | 370,379 |
| 2,88443 | 372,5 |
| 2,90326 | 373,773 |
| 2,92694 | 375,046 |
| 2,95087 | 378,016 |
| 2,95421 | 379,288 |
| 2,95741 | 381,834 |
| 2,95927 | 383,107 |

| | |
|---------|---------|
| 2,96017 | 384,804 |
| 2,98178 | 386,925 |
| 3,03063 | 387,774 |
| 3,03478 | 389,046 |
| 3,03533 | 391,168 |
| 3,1747 | 392,44 |
| 3,17609 | 394,138 |
| 3,17641 | 395,41 |
| 3,17658 | 393,289 |
| 3,17859 | 276,618 |
| 3,19136 | 173,522 |
| 3,24605 | 111,58 |
| 3,24651 | 73,397 |
| 3,24991 | 48,3656 |
| 3,25279 | 29,6982 |
| 3,27179 | 17,8189 |
| 3,30288 | 10,1822 |
| 3,3227 | 4,66686 |
| 3,32454 | 3,39408 |
| 3,32454 | 1,69704 |
| 3,32462 | 2,54556 |
| 3,32496 | 3,39408 |
| 3,32986 | 3,39408 |
| 3,39537 | 4,66686 |
| 3,39578 | 3,39408 |
| 3,39669 | 5,09112 |
| 3,39669 | 4,66686 |
| 3,39669 | 5,93964 |
| 3,39669 | 6,78816 |
| 3,39669 | 4,66686 |
| 3,39669 | 6,78816 |
| 3,39669 | 6,3639 |
| 3,39623 | 5,51538 |
| 3,39623 | 6,78816 |
| 3,39623 | 4,66686 |
| 3,39623 | 7,63668 |
| 3,39621 | 5,93964 |
| 3,39564 | 5,93964 |

ANEXO G: VALORES OBTENIDOS DE FUERZA Y DEFORMACIÓN ENSAYO A TRACCIÓN PROBETA 2 MIXTA

| DEFORMACIÓN (mm) | FUERZA (kg) |
|-------------------------|--------------------|
| 0,000766068 | 2,1213 |
| 0,000766068 | 1,69704 |
| 0,000766068 | 2,96982 |
| 0,000766068 | 4,2426 |
| 0,00108273 | 2,1213 |
| 0,00108273 | 1,69704 |
| 0,00108273 | 1,69704 |
| 0,00108273 | 1,27278 |
| 0,00108273 | 2,96982 |
| 0,00108273 | 2,96982 |
| 0,00163553 | 2,54556 |
| 0,00163553 | 1,27278 |
| 0,00163553 | 0,84852 |
| 0,00216473 | 0,42426 |
| 0,00216473 | 2,96982 |
| 0,00216473 | 5,51538 |
| 0,00216473 | 8,06094 |
| 0,00216473 | 12,3035 |
| 0,00216473 | 15,2734 |
| 0,00216473 | 18,2432 |
| 0,00216473 | 18,2432 |
| 0,00216473 | 21,213 |
| 0,00849491 | 24,6071 |
| 0,0671035 | 27,1526 |
| 0,075987 | 28,4254 |
| 0,0774517 | 29,2739 |
| 0,0792306 | 30,971 |
| 0,097134 | 32,668 |
| 0,144992 | 34,3651 |
| 0,14742 | 39,0319 |
| 0,148365 | 40,729 |
| 0,149836 | 42,426 |
| 0,150368 | 44,5473 |
| 0,220834 | 47,5171 |
| 0,221512 | 47,9414 |
| 0,222243 | 51,7597 |
| 0,225123 | 54,7295 |
| 0,243176 | 55,5781 |
| 0,243857 | 59,8207 |
| 0,29489 | 61,0934 |
| 0,296312 | 65,336 |
| 0,296546 | 65,7603 |
| 0,297674 | 71,2757 |
| 0,439305 | 74,6698 |
| 0,440841 | 76,7911 |
| 0,441294 | 76,7911 |
| 0,483571 | 79,7609 |

| | |
|----------|---------|
| 0,517037 | 85,2763 |
| 0,520082 | 86,9733 |
| 0,52073 | 88,6703 |
| 0,522497 | 93,3372 |
| 0,555706 | 95,4585 |
| 0,588954 | 97,5798 |
| 0,58917 | 101,398 |
| 0,590638 | 104,792 |
| 0,592371 | 109,035 |
| 0,603623 | 110,308 |
| 0,648681 | 113,277 |
| 0,663556 | 114,55 |
| 0,665214 | 117,944 |
| 0,665218 | 117,52 |
| 0,731918 | 123,884 |
| 0,735206 | 127,278 |
| 0,735571 | 128,975 |
| 0,737441 | 133,642 |
| 0,751551 | 136,187 |
| 0,752812 | 139,582 |
| 0,81613 | 142,127 |
| 0,816332 | 145,945 |
| 0,816482 | 148,491 |
| 0,817141 | 151,037 |
| 0,835878 | 155,279 |
| 0,960788 | 157,825 |
| 0,960923 | 161,219 |
| 0,963225 | 163,34 |
| 0,972273 | 166,734 |
| 1,00476 | 169,704 |
| 1,0329 | 173,522 |
| 1,03458 | 177,765 |
| 1,06972 | 180,311 |
| 1,10338 | 182,856 |
| 1,10665 | 187,523 |
| 1,10836 | 190,068 |
| 1,11205 | 194,311 |
| 1,17321 | 195,584 |
| 1,17938 | 199,826 |
| 1,18022 | 201,099 |
| 1,18028 | 204,493 |
| 1,1855 | 206,19 |
| 1,20197 | 209,16 |
| 1,25415 | 211,706 |
| 1,25668 | 214,251 |
| 1,25953 | 219,767 |
| 1,32074 | 220,615 |
| 1,34198 | 221,888 |
| 1,40881 | 225,282 |
| 1,41442 | 227,828 |
| 1,43095 | 228,252 |
| 1,47948 | 232,07 |

| | |
|---------|---------|
| 1,48016 | 234,192 |
| 1,48179 | 235,04 |
| 1,4848 | 238,858 |
| 1,48524 | 242,677 |
| 1,55773 | 242,677 |
| 1,55787 | 247,344 |
| 1,55833 | 249,889 |
| 1,55927 | 254,556 |
| 1,59548 | 255,405 |
| 1,6148 | 259,647 |
| 1,62483 | 260,496 |
| 1,62545 | 263,465 |
| 1,65037 | 266,435 |
| 1,69026 | 266,86 |
| 1,69895 | 270,254 |
| 1,69979 | 274,92 |
| 1,70026 | 276,193 |
| 1,70038 | 277,042 |
| 1,84682 | 277,89 |
| 1,84731 | 282,981 |
| 1,84995 | 285,951 |
| 1,88584 | 285,951 |
| 1,91492 | 288,497 |
| 1,9224 | 290,618 |
| 1,92275 | 292,739 |
| 1,92407 | 293,588 |
| 1,93612 | 296,558 |
| 1,9438 | 298,679 |
| 1,99256 | 300,8 |
| 1,99628 | 302,497 |
| 1,9978 | 303,346 |
| 1,99859 | 305,043 |
| 2,02668 | 306,74 |
| 2,06502 | 308,861 |
| 2,06728 | 309,71 |
| 2,07065 | 314,377 |
| 2,07314 | 316,922 |
| 2,14263 | 316,074 |
| 2,14263 | 319,468 |
| 2,14272 | 320,741 |
| 2,14468 | 321,589 |
| 2,14856 | 324,135 |
| 2,21784 | 324,983 |
| 2,21864 | 328,802 |
| 2,21932 | 330,499 |
| 2,32224 | 330,923 |
| 2,35591 | 332,62 |
| 2,36466 | 334,741 |
| 2,36739 | 336,438 |
| 2,36791 | 341,105 |
| 2,40261 | 340,681 |
| 2,4424 | 341,529 |

| | |
|---------|---------|
| 2,44278 | 343,651 |
| 2,44442 | 346,62 |
| 2,45871 | 345,348 |
| 2,46189 | 348,742 |
| 2,50842 | 348,742 |
| 2,50987 | 351,712 |
| 2,51333 | 350,863 |
| 2,51602 | 353,409 |
| 2,58807 | 220,191 |
| 2,58943 | 136,612 |
| 2,59162 | 86,9733 |
| 2,59199 | 56,0023 |
| 2,63629 | 36,4864 |
| 2,66306 | 22,0615 |
| 2,66649 | 11,455 |
| 2,66865 | 3,81834 |
| 2,78358 | 0,42426 |
| 2,80593 | 2,54556 |
| 2,80683 | 4,66686 |
| 2,80764 | 5,93964 |
| 2,8095 | 5,93964 |
| 2,81121 | 8,4852 |
| 2,88057 | 8,4852 |
| 2,88057 | 7,21242 |
| 2,88057 | 9,75798 |
| 2,88057 | 8,06094 |
| 2,88064 | 9,75798 |
| 2,88064 | 9,33372 |
| 2,88152 | 9,33372 |
| 2,88152 | 8,06094 |
| 2,88152 | 9,33372 |
| 2,88152 | 7,63668 |
| 2,88152 | 10,1822 |

ANEXO H: VALORES OBTENIDOS DE FUERZA Y DEFORMACIÓN ENSAYO A TRACCIÓN PROBETA 3 MIXTA

| DEFORMACIÓN (mm) | FUERZA (kg) |
|-------------------------|--------------------|
| 0,000580504 | 0,42426 |
| 0,000580504 | 0,84852 |
| 0,000580504 | 0,42426 |
| 0,000580504 | 0,84852 |
| 0,000580504 | 0,84852 |
| 0,000580504 | 0,42426 |
| 0,00121869 | 0,84852 |
| 0,00188738 | 1,27278 |
| 0,00188738 | 1,27278 |
| 0,0021367 | 1,27278 |
| 0,0021367 | 1,27278 |
| 0,0021367 | 1,69704 |
| 0,0021367 | 0,42426 |
| 0,0021367 | 0,42426 |
| 0,00201916 | 1,69704 |
| 0,00151539 | 0 |
| 0,00151539 | 0,42426 |
| 0,00151539 | 2,1213 |
| 0,00129883 | 1,69704 |
| 0,00129883 | 0,42426 |
| 0,00129883 | 2,1213 |
| 0,00129883 | 3,81834 |
| 0,00129883 | 1,27278 |
| 0,00129883 | 5,51538 |
| 0,00180956 | 5,09112 |
| 0,00180956 | 8,4852 |
| 0,00180956 | 8,4852 |
| 0,00295338 | 12,3035 |
| 0,00295338 | 13,5763 |
| 0,00295338 | 18,6674 |
| 0,00295338 | 22,91 |
| 0,00295338 | 22,4858 |
| 0,00416613 | 25,0313 |
| 0,00484358 | 28,8497 |
| 0,019898 | 28,4254 |
| 0,0351804 | 33,0923 |
| 0,0722618 | 33,5165 |
| 0,0740669 | 36,9106 |
| 0,0758987 | 39,4562 |
| 0,0764367 | 40,729 |
| 0,145471 | 42,8503 |
| 0,149251 | 43,6988 |
| 0,150234 | 48,3656 |
| 0,150803 | 50,0627 |
| 0,151676 | 50,9112 |
| 0,22162 | 54,3053 |
| 0,224613 | 54,7295 |

| | |
|----------|---------|
| 0,225177 | 57,6994 |
| 0,296964 | 62,7905 |
| 0,298546 | 63,2147 |
| 0,300379 | 66,6088 |
| 0,301178 | 68,3059 |
| 0,335006 | 72,9727 |
| 0,449213 | 74,6698 |
| 0,449358 | 75,9425 |
| 0,450237 | 77,6396 |
| 0,462769 | 80,1851 |
| 0,518447 | 84,852 |
| 0,523173 | 86,1248 |
| 0,52449 | 88,6703 |
| 0,526382 | 90,7916 |
| 0,527675 | 91,6402 |
| 0,596988 | 93,7615 |
| 0,597969 | 96,307 |
| 0,602508 | 99,7011 |
| 0,615873 | 102,671 |
| 0,669448 | 105,216 |
| 0,669941 | 106,065 |
| 0,673133 | 109,459 |
| 0,713758 | 112,429 |
| 0,739695 | 113,702 |
| 0,74051 | 117,52 |
| 0,741285 | 119,641 |
| 0,74158 | 120,49 |
| 0,745648 | 123,884 |
| 0,888793 | 126,005 |
| 0,892744 | 126,429 |
| 0,893557 | 130,672 |
| 0,903264 | 131,945 |
| 0,960182 | 134,49 |
| 0,961145 | 137,885 |
| 0,964846 | 138,733 |
| 0,966628 | 141,279 |
| 1,03198 | 143,4 |
| 1,03451 | 144,673 |
| 1,0366 | 146,794 |
| 1,03703 | 149,34 |
| 1,03789 | 150,188 |
| 1,10407 | 153,158 |
| 1,11105 | 155,279 |
| 1,11336 | 157,825 |
| 1,11917 | 158,249 |
| 1,15355 | 162,067 |
| 1,18474 | 164,189 |
| 1,18496 | 164,189 |
| 1,1878 | 168,431 |
| 1,1978 | 169,28 |
| 1,25792 | 170,977 |
| 1,26246 | 174,795 |

| | |
|---------|---------|
| 1,3052 | 179,462 |
| 1,35971 | 180,311 |
| 1,39456 | 183,705 |
| 1,40928 | 184,553 |
| 1,41042 | 190,068 |
| 1,41051 | 189,22 |
| 1,42608 | 191,341 |
| 1,47595 | 192,614 |
| 1,48214 | 197,705 |
| 1,48395 | 197,281 |
| 1,4844 | 200,675 |
| 1,55348 | 201,523 |
| 1,55409 | 204,918 |
| 1,55574 | 206,615 |
| 1,55635 | 209,584 |
| 1,59983 | 211,706 |
| 1,62896 | 213,827 |
| 1,62907 | 215,1 |
| 1,63031 | 218,494 |
| 1,63096 | 220,191 |
| 1,66073 | 223,161 |
| 1,68773 | 226,131 |
| 1,70144 | 228,252 |
| 1,70479 | 229,949 |
| 1,84309 | 230,373 |
| 1,84727 | 234,192 |
| 1,84793 | 238,01 |
| 1,84983 | 241,404 |
| 1,89293 | 240,131 |
| 1,918 | 244,374 |
| 1,91894 | 245,647 |
| 1,92228 | 249,041 |
| 1,95144 | 250,738 |
| 1,99612 | 252,01 |
| 1,99719 | 256,253 |
| 1,99875 | 258,374 |
| 2,02935 | 259,223 |
| 2,05738 | 261,344 |
| 2,06715 | 266,011 |
| 2,06893 | 266,435 |
| 2,07046 | 269,829 |
| 2,13687 | 272,375 |
| 2,13892 | 275,345 |
| 2,1395 | 274,92 |
| 2,14114 | 277,042 |
| 2,14184 | 280,436 |
| 2,19264 | 282,133 |
| 2,21408 | 282,557 |
| 2,21721 | 285,103 |
| 2,2439 | 289,345 |
| 2,35011 | 293,164 |
| 2,36147 | 293,588 |

| | |
|---------|---------|
| 2,36535 | 299,103 |
| 2,36599 | 298,679 |
| 2,38278 | 302,922 |
| 2,43137 | 304,194 |
| 2,43679 | 306,74 |
| 2,43712 | 308,861 |
| 2,44012 | 309,286 |
| 2,45041 | 313,952 |
| 2,49356 | 315,649 |
| 2,51252 | 318,195 |
| 2,5146 | 318,619 |
| 2,51571 | 323,286 |
| 2,58612 | 322,862 |
| 2,58648 | 326,68 |
| 2,58666 | 328,802 |
| 2,5951 | 329,226 |
| 2,60089 | 329,65 |
| 2,60821 | 331,771 |
| 2,66158 | 333,044 |
| 2,66411 | 334,317 |
| 2,72849 | 336,438 |
| 2,8064 | 338,559 |
| 2,80649 | 340,681 |
| 2,8068 | 342,802 |
| 2,80853 | 344,075 |
| 2,81003 | 345,348 |
| 2,83877 | 345,348 |
| 2,88021 | 350,439 |
| 2,88063 | 350,439 |
| 2,88216 | 343,651 |
| 2,88235 | 323,71 |
| 2,9551 | 316,074 |
| 2,95632 | 314,377 |
| 2,95716 | 314,377 |
| 2,99018 | 315,649 |
| 3,02736 | 320,316 |
| 3,02738 | 325,407 |
| 3,02761 | 331,347 |
| 3,0812 | 337,711 |
| 3,09732 | 341,529 |
| 3,10037 | 347,045 |
| 3,10111 | 347,893 |
| 3,10144 | 353,833 |
| 3,13871 | 357,651 |
| 3,17508 | 359,772 |
| 3,17604 | 363,591 |
| 3,1816 | 365,712 |
| 3,32042 | 366,985 |
| 3,32145 | 254,132 |
| 3,32395 | 154,855 |
| 3,32414 | 95,4585 |
| 3,3261 | 57,6994 |

| | |
|---------|---------|
| 3,39628 | 36,4864 |
| 3,39803 | 22,0615 |
| 3,39894 | 11,0308 |
| 3,39965 | 7,21242 |
| 3,40059 | 0,42426 |
| 3,4702 | 2,54556 |
| 3,47106 | 2,1213 |
| 3,4794 | 6,3639 |
| 3,50296 | 6,78816 |
| 3,54321 | 6,3639 |
| 3,54521 | 6,3639 |
| 3,54744 | 7,63668 |
| 3,57843 | 7,63668 |
| 3,61862 | 5,09112 |
| 3,61974 | 6,78816 |

ANEXO I: VALORES OBTENIDOS DE FUERZA Y DEFORMACIÓN ENSAYO A TRACCIÓN PROBETA 4 MIXTA

| DEFORMACIÓN (mm) | FUERZA (kg) |
|-------------------------|--------------------|
| 0,00126653 | 0,84852 |
| 0,00133551 | 0 |
| 0,00203458 | 2,1213 |
| 0,00203458 | 1,27278 |
| 0,00203458 | 1,27278 |
| 0,00203458 | 0,42426 |
| 0,00203458 | 0,42426 |
| 0,0016023 | 2,96982 |
| 0,0016023 | 4,2426 |
| 0,0016023 | 2,54556 |
| 0,0016023 | 0,84852 |
| 0,0016023 | 0,42426 |
| 0,0016023 | 2,54556 |
| 0,0016023 | 0 |
| 0,0016023 | 0,42426 |
| 0,0016023 | 1,69704 |
| 0,0016023 | 5,51538 |
| 0,000427838 | 8,4852 |
| 0,000595092 | 10,6065 |
| 0,00125188 | 12,7278 |
| 0,00131029 | 14,8491 |
| 0,0213015 | 19,0917 |
| 0,0673786 | 25,8799 |
| 0,0693662 | 28,8497 |
| 0,0694251 | 33,9408 |
| 0,0702501 | 38,1834 |
| 0,072165 | 42,0017 |
| 0,159742 | 44,9716 |
| 0,216176 | 49,6384 |
| 0,220046 | 53,4568 |
| 0,220839 | 56,4266 |
| 0,223634 | 63,2147 |
| 0,230884 | 64,4875 |
| 0,243931 | 72,5485 |
| 0,250164 | 75,5183 |
| 0,292387 | 79,3366 |
| 0,29553 | 82,7307 |
| 0,29644 | 85,7005 |
| 0,297338 | 92,0644 |
| 0,365808 | 95,4585 |
| 0,369413 | 98,8526 |
| 0,370312 | 98,4283 |
| 0,427904 | 104,792 |
| 0,438993 | 109,035 |
| 0,439725 | 111,58 |
| 0,440773 | 116,247 |
| 0,441955 | 120,49 |

| | |
|----------|---------|
| 0,44203 | 122,187 |
| 0,497761 | 125,581 |
| 0,517662 | 129,399 |
| 0,519082 | 131,521 |
| 0,519454 | 136,187 |
| 0,5914 | 138,733 |
| 0,661697 | 142,127 |
| 0,661697 | 144,248 |
| 0,662037 | 148,067 |
| 0,662772 | 151,037 |
| 0,664087 | 155,279 |
| 0,732785 | 156,552 |
| 0,735807 | 159,522 |
| 0,735868 | 162,916 |
| 0,737577 | 164,189 |
| 0,746651 | 169,28 |
| 0,807238 | 169,28 |
| 0,809211 | 173,522 |
| 0,810263 | 177,765 |
| 0,82784 | 178,189 |
| 0,838519 | 180,311 |
| 0,882721 | 183,28 |
| 0,884709 | 186,674 |
| 0,888364 | 186,25 |
| 0,951633 | 188,371 |
| 0,95553 | 190,493 |
| 0,956157 | 194,311 |
| 0,956157 | 196,008 |
| 0,956157 | 197,705 |
| 0,956285 | 201,524 |
| 1,0291 | 202,796 |
| 1,03045 | 204,069 |
| 1,03061 | 206,615 |
| 1,0345 | 207,887 |
| 1,17814 | 208,736 |
| 1,17954 | 210,433 |
| 1,18113 | 213,403 |
| 1,18163 | 216,373 |
| 1,18367 | 218,918 |
| 1,18681 | 221,888 |
| 1,23972 | 224,009 |
| 1,24793 | 226,555 |
| 1,24951 | 226,555 |
| 1,24972 | 229,525 |
| 1,3212 | 229,949 |
| 1,32296 | 233,767 |
| 1,32437 | 236,737 |
| 1,32892 | 238,434 |
| 1,39644 | 240,98 |
| 1,3993 | 244,798 |
| 1,39991 | 245,647 |
| 1,40112 | 249,889 |

| | |
|---------|---------|
| 1,4034 | 251,586 |
| 1,42274 | 254,98 |
| 1,47304 | 257,102 |
| 1,47632 | 261,344 |
| 1,49233 | 262,193 |
| 1,49302 | 267,284 |
| 1,61803 | 266,86 |
| 1,61806 | 272,375 |
| 1,61875 | 273,648 |
| 1,62195 | 277,042 |
| 1,62346 | 279,163 |
| 1,66722 | 280,012 |
| 1,69077 | 284,254 |
| 1,69451 | 286,376 |
| 1,69661 | 287,224 |
| 1,71882 | 290,618 |
| 1,74171 | 292,739 |
| 1,76547 | 296,133 |
| 1,7662 | 297,831 |
| 1,81914 | 301,649 |
| 1,83125 | 304,194 |
| 1,83468 | 305,891 |
| 1,83627 | 308,861 |
| 1,83828 | 310,134 |
| 1,8467 | 310,983 |
| 1,91083 | 314,801 |
| 1,9145 | 318,195 |
| 1,91494 | 318,619 |
| 1,96074 | 323,71 |
| 1,96772 | 325,832 |
| 1,97589 | 326,256 |
| 1,98915 | 328,377 |
| 2,00937 | 330,923 |
| 2,1342 | 334,317 |
| 2,1342 | 335,59 |
| 2,13547 | 338,135 |
| 2,13569 | 338,559 |
| 2,13601 | 340,681 |
| 2,20668 | 342,802 |
| 2,20936 | 342,378 |
| 2,21058 | 345,348 |
| 2,21079 | 346,62 |
| 2,21536 | 347,893 |
| 2,23412 | 350,863 |
| 2,28279 | 352,56 |
| 2,2847 | 355,53 |
| 2,28582 | 355,53 |
| 2,28695 | 359,348 |
| 2,35733 | 361,47 |
| 2,35795 | 360,621 |
| 2,35835 | 366,136 |
| 2,4298 | 362,742 |

| | |
|---------|---------|
| 2,43125 | 366,561 |
| 2,43125 | 371,227 |
| 2,43383 | 372,5 |
| 2,43476 | 372,925 |
| 2,43476 | 374,197 |
| 2,57634 | 375,046 |
| 2,57634 | 378,44 |
| 2,5789 | 378,864 |
| 2,57963 | 380,137 |
| 2,58021 | 382,258 |
| 2,60355 | 384,38 |
| 2,65029 | 385,652 |
| 2,65411 | 388,198 |
| 2,65551 | 389,895 |
| 2,65636 | 392,016 |
| 2,68304 | 394,138 |
| 2,72555 | 395,41 |
| 2,72646 | 396,259 |
| 2,72672 | 394,562 |
| 2,74997 | 286,376 |
| 2,80229 | 171,401 |
| 2,80275 | 106,065 |
| 2,80283 | 66,1846 |
| 2,80283 | 41,5775 |
| 2,87193 | 26,7284 |
| 2,87441 | 16,9704 |
| 2,87526 | 8,90946 |
| 2,87715 | 3,81834 |
| 2,87769 | 1,69704 |
| 2,88728 | 0,42426 |
| 3,02379 | 0,42426 |
| 3,02564 | 2,96982 |
| 3,02584 | 0,84852 |
| 3,02672 | 3,81834 |
| 3,05251 | 2,54556 |
| 3,09712 | 2,1213 |
| 3,09945 | 2,96982 |
| 3,10023 | 3,81834 |
| 3,16172 | 2,54556 |

ANEXO J: VALORES OBTENIDOS DE FUERZA Y DEFORMACIÓN ENSAYO A TRACCIÓN PROBETA 5 MIXTA

| DEFORMACIÓN (mm) | FUERZA (kg) |
|-------------------------|--------------------|
| 0,0574518 | 1,69704 |
| 0,0574518 | 0,42426 |
| 0,0574518 | 1,27278 |
| 0,0574518 | 2,1213 |
| 0,0574518 | 0,84852 |
| 0 | 0,42426 |
| 0,000211834 | 0,84852 |
| 0 | 2,54556 |
| 0 | 0 |
| 7,96E-05 | 3,81834 |
| 7,96E-05 | 2,96982 |
| 7,96E-05 | 2,54556 |
| 7,96E-05 | 3,39408 |
| 7,96E-05 | 2,96982 |
| 7,96E-05 | 1,69704 |
| 7,96E-05 | 2,1213 |
| 7,96E-05 | 1,27278 |
| 0,00214306 | 2,1213 |
| 0,00340094 | 3,81834 |
| 0,00340094 | 0,84852 |
| 0,00340094 | 2,1213 |
| 0,00340094 | 0,42426 |
| 0,00340094 | 1,27278 |
| 0,000370654 | 5,09112 |
| 0,00273361 | 5,93964 |
| 0,00273361 | 7,63668 |
| 0,00273361 | 8,90946 |
| 0,00273361 | 13,1521 |
| 0,00415423 | 14,8491 |
| 0,038324 | 14,8491 |
| 0,0703616 | 20,7887 |
| 0,0774078 | 20,3645 |
| 0,0776691 | 24,6071 |
| 0,0780912 | 25,0313 |
| 0,11778 | 28,8497 |
| 0,130344 | 32,668 |
| 0,149913 | 33,0923 |
| 0,150116 | 36,9106 |
| 0,151287 | 40,3047 |
| 0,298198 | 42,8503 |
| 0,305064 | 45,3958 |
| 0,305523 | 48,3656 |
| 0,319477 | 50,0627 |
| 0,372559 | 52,184 |
| 0,375304 | 58,5479 |
| 0,376323 | 58,1236 |
| 0,379313 | 62,3662 |

| | |
|----------|---------|
| 0,384343 | 65,7603 |
| 0,447858 | 67,8816 |
| 0,448278 | 71,6999 |
| 0,45823 | 72,9727 |
| 0,521689 | 77,2153 |
| 0,523225 | 79,7609 |
| 0,524724 | 82,7307 |
| 0,558823 | 84,4277 |
| 0,591145 | 87,8218 |
| 0,596633 | 90,3674 |
| 0,599914 | 94,1857 |
| 0,728818 | 94,61 |
| 0,737533 | 98,0041 |
| 0,738666 | 101,822 |
| 0,742521 | 105,641 |
| 0,813783 | 108,611 |
| 0,814422 | 111,58 |
| 0,815955 | 114,974 |
| 0,87347 | 117,52 |
| 0,884099 | 121,338 |
| 0,888398 | 123,035 |
| 0,889529 | 127,702 |
| 0,891635 | 127,702 |
| 0,958891 | 132,793 |
| 0,96347 | 137,885 |
| 0,970737 | 137,036 |
| 1,03169 | 138,733 |
| 1,03294 | 144,673 |
| 1,0367 | 145,945 |
| 1,03996 | 148,915 |
| 1,10854 | 154,006 |
| 1,11175 | 156,552 |
| 1,11267 | 159,098 |
| 1,1132 | 162,916 |
| 1,13474 | 165,461 |
| 1,26079 | 168,007 |
| 1,2629 | 173,522 |
| 1,30396 | 174,371 |
| 1,32537 | 179,462 |
| 1,3279 | 180,311 |
| 1,33113 | 184,977 |
| 1,35356 | 187,523 |
| 1,40318 | 189,644 |
| 1,4035 | 193,887 |
| 1,40449 | 196,857 |
| 1,40775 | 199,826 |
| 1,47899 | 201,948 |
| 1,47926 | 205,342 |
| 1,48393 | 208,736 |
| 1,55001 | 212,554 |
| 1,55055 | 215,948 |
| 1,55078 | 221,464 |

| | |
|---------|---------|
| 1,70036 | 220,191 |
| 1,70245 | 226,555 |
| 1,70246 | 228,676 |
| 1,70273 | 233,767 |
| 1,77438 | 235,04 |
| 1,77518 | 240,98 |
| 1,77538 | 244,798 |
| 1,77802 | 249,041 |
| 1,79126 | 253,283 |
| 1,84647 | 257,526 |
| 1,87338 | 260,071 |
| 1,89604 | 266,86 |
| 1,90717 | 267,284 |
| 1,91707 | 268,557 |
| 1,922 | 274,496 |
| 1,99084 | 279,587 |
| 1,9935 | 280,436 |
| 1,99535 | 283,83 |
| 1,99581 | 282,133 |
| 2,06572 | 288,073 |
| 2,06768 | 289,77 |
| 2,06863 | 294,861 |
| 2,07577 | 296,982 |
| 2,21569 | 298,255 |
| 2,2157 | 302,922 |
| 2,21584 | 304,619 |
| 2,22199 | 307,588 |
| 2,29022 | 311,407 |
| 2,29022 | 313,104 |
| 2,29265 | 316,922 |
| 2,29569 | 317,771 |
| 2,35932 | 320,741 |
| 2,36156 | 323,71 |
| 2,36299 | 325,832 |
| 2,43965 | 327,953 |
| 2,44082 | 329,65 |
| 2,44298 | 332,62 |
| 2,46454 | 332,196 |
| 2,51398 | 335,59 |
| 2,51483 | 336,438 |
| 2,5467 | 339,832 |
| 2,61415 | 341,954 |
| 2,66153 | 341,954 |
| 2,66231 | 346,196 |
| 2,66399 | 349,166 |
| 2,70181 | 349,166 |
| 2,73118 | 352,56 |
| 2,73374 | 354,681 |
| 2,73596 | 356,803 |
| 2,7361 | 359,348 |
| 2,76162 | 364,015 |
| 2,78161 | 365,712 |

| | |
|---------|---------|
| 2,80742 | 366,561 |
| 2,88381 | 368,258 |
| 2,88595 | 370,379 |
| 2,88808 | 372,5 |
| 2,92885 | 375,47 |
| 2,95551 | 377,591 |
| 2,95677 | 377,167 |
| 2,95711 | 382,683 |
| 3,10393 | 382,258 |
| 3,10572 | 383,531 |
| 3,1077 | 386,501 |
| 3,15493 | 388,198 |
| 3,1717 | 389,471 |
| 3,17747 | 391,592 |
| 3,18035 | 394,986 |
| 3,18777 | 395,835 |
| 3,25411 | 397,107 |
| 3,25486 | 400,501 |
| 3,2569 | 400,077 |
| 3,27574 | 403,471 |
| 3,32795 | 402,623 |
| 3,33097 | 406,017 |
| 3,33326 | 330,499 |
| 3,34509 | 185,402 |
| 3,40206 | 107,338 |
| 3,40211 | 62,3662 |
| 3,40293 | 35,2136 |
| 3,40426 | 18,6674 |
| 3,47383 | 7,21242 |
| 3,47432 | 1,69704 |
| 3,52019 | 4,2426 |
| 3,62346 | 8,06094 |
| 3,62355 | 9,33372 |
| 3,63307 | 11,8793 |
| 3,63514 | 12,3035 |
| 3,692 | 10,6065 |