



**Obtención y caracterización de un material compuesto de matriz poliéster
reforzado con pulverizado de madera de café**

Rafael Ricardo Quintero Fajardo

Código 20451726983

Universidad Antonio Nariño

Programa Ingeniería Mecánica

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica

Neiva, Huila

Colombia

2022

**Obtención y caracterización de un material compuesto de matriz poliéster
reforzado con pulverizado de madera de café.**

Rafael Ricardo Quintero Fajardo

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:

Ingeniero Mecánico

Director (a):

Ing. Martha Lucia Solano

Línea de Investigación:

Ciencia de los materiales.

Universidad Antonio Nariño

Programa Ingeniería Mecánica

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica

Neiva, Huila

Colombia

2022

NOTA DE ACEPTACIÓN

El trabajo de grado titulado

_____.

Cumple con los requisitos para optar

Al título de _____.

Firma del Tutor

Firma Jurado

Firma Jurado

Neiva, 10 de Mayo de 2022.

Contenido

	Pág.
Resumen	7
Abstract	8
Introducción	9
Formulaciòn del problema	10
Objetivos	11
Justificación	12
Antecedentes	13
	1. 25
1.1	25
1.2	27
1.3	29
1.3.1	30
1.3.2	31
1.4	32
1.4.1	33
1.5	34
1.6	37
1.6.1	37
1.6.2	38
1.6.3	38
1.6.4	39
1.6.5	39
1.6.6	40
	2. 41
2.1	41
2.1.1	42

2.1.2	42
2.1.3	44
2.1.4	44
2.1.5	45
2.1.6	46
2.1.7	53

3. 59

3.1	59
3.1.1	59
3.1.2	59
3.1.3	60
3.1.4	61
3.1.5	62
3.1.6	63
3.1.7	64
3.1.8	66
3.2	67
3.2.1	67
3.2.2	69
3.2.3	70
3.2.4	71
3.2.5	71

4. 72

Anexos 74

4.1	80
Anexo plano de molde	77

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1. 1 <i>Materiales compuestos.</i>	23
Figura 1. 2 <i>Tipos de fibras: Granular, fibra continua, fibra discontinua y fibra capa por capa.</i>	25
Figura 1. 3 <i>Preparación del poliéster. a) mezclado, b) poliéster y catalizador, c) mezclado con los ingredientes para agregar en molde.</i>	26
Figura 1. 4 <i>Materiales compuestos.</i>	29
Figura 2. 1 <i>Fotografías de la evidencia para obtener el pulverizado de café.</i>	35
Figura 2. 2 <i>Modelo de plaqueta intermedia.</i>	37
Figura 2. 3 <i>Modelo de plaqueta base.</i>	37
Figura 2. 4 <i>Modelo de plaqueta superior.</i>	38
Figura 2. 5 <i>Corte y limpieza de plaquetas.</i>	38
Figura 2. 6 <i>Pesado de mezclas para probetas de tracción.</i>	41
Figura 2. 7 <i>Aplicación de cera Glass.</i>	41
Figura 2. 8 <i>Llenado y elaboración de probetas de tracción.</i>	42
Figura 2. 9 <i>Probetas discontinuas.</i>	43
Figura 2. 10 <i>Nueva mezcla para probetas de tracción.</i>	43
Figura 2. 11 <i>Curado de probetas de tracción.</i>	44
Figura 2. 12 <i>Extracción de probetas de plaquetas.</i>	44
Figura 2. 13 <i>Pulido de probetas.</i>	45
Figura 2. 14 <i>Mezcla para probetas de flexión.</i>	45
Figura 2. 15 <i>Extracción de probetas de flexión.</i>	46
Figura 2. 16 <i>Marcado de probetas.</i>	47
Figura 2. 17 <i>Aprobación de pruebas y uso de equipos en flexión.</i>	48
Figura 2. 18 <i>Aprobación de pruebas y uso de equipos en tracción.</i>	49
Figura 2. 19 <i>Marcado y puesta de probetas de tracción.</i>	50
Figura 2. 20 <i>Resultado final de probetas a tracción.</i>	50
Figura 2. 21 <i>Ubicación de probetas para prueba de flexión.</i>	51
Figura 2. 22 <i>Resultados de prueba a flexión.</i>	52

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 2. 1 Proporción para primera prueba tracción	39
Tabla 2. 2 Proporción para última prueba tracción	40
Tabla 2. 3 Proporción para última prueba flexión	40
Tabla 3- 1 Resultado de probeta CME-22-085-1	54
Tabla 3.2 Resultado de probeta CME-22-085-2	55
Tabla 3.3 Resultado de probeta CME-22-085-3	56
Tabla 3- 4 Resultado de probeta CME-22-086-1	57
Tabla 3- 5 Resultado promedio del diámetro para cálculo de esfuerzo a flexión 086-1	58
Tabla 3- 6 Resultado de probeta CME-22-086-2	59
Tabla 3- 7 Resultado promedio del diámetro para cálculo de esfuerzo a flexión 086- 2	59
Tabla 3- 8 Resultado de probeta CME-22-086-3	60
Tabla 3- 9 Resultado promedio del diámetro para cálculo de esfuerzo a flexión 086- 3	61
Tabla 3- 10 Análisis y comparación de compuestos por tracción	62
Tabla 3- 11 Análisis y comparación de compuestos por flexión	63
Tabla 3- 12 Análisis y comparación de los módulos elásticos (Módulo E)	64

Lista de Símbolos y Abreviaturas

Símbolos con letras latinas

Símbolo	Término	Unidad SI
<i>Mpa</i>	Mega pascal	$\frac{N^2}{mm^2}$
<i>Ancho</i>	Longitud lineal	<i>mm</i>
<i>Espesor</i>	Longitud lineal	mm
<i>Área</i>	Área transversal	mm ²
<i>Diámetro</i>	Longitud lineal	mm

Dedicatoria

Este proyecto de investigación está dedicado a mis padres, quienes desde siempre han apoyado mis proyectos personales y profesionales, a mi madre por ser incondicional, a mi padre por sus esfuerzos por darnos siempre lo mejor, mis logros son de ustedes, gracias infinitas.

Agradecimientos

Quiero agradecer enormemente a Dios y a mi familia, por el apoyo que siempre me han brindado, por ayudarme a cumplir cada uno de los propósitos personales y profesionales, no ha sido fácil, pero con su aporte todo ha sido posible.

Agradezco a los docentes Martha Lucia Solano, Karel Arencibia y Yeison Montealegre por su apoyo incondicional a lo largo del desarrollo de este proyecto, pues como tutores y gracias a su amplio conocimiento han contribuido enormemente a mi enriquecimiento personal y profesional.

Igualmente quiero agradecer a mis compañeros y amigos, por su apoyo, su gentileza y aportes que me han brindado, no solo durante este semestre donde todos nos hemos enfocado en desarrollar nuestro proyecto, sino también a lo largo de la carrera.

Finalmente agradezco a la Universidad Antonio Nariño, por haberme permitido hacer parte de la institución y haber prestado sus instalaciones y talento humano para que pudiera formarme como Ingeniero Mecánico y alcanzar uno más de mis logros.

Resumen

Se obtuvo y caracterizó un material compuesto a partir de la matriz de poliéster y el refuerzo con pulverizado de madera de café; motivado por una necesidad de aprovechar los desechos de madera de café, que llegan a los 338`086.000 kilos en el departamento del Huila.

Partiendo de una metodología experimental, se preparó la madera de café con su debido secado, extracción de viruta, y tamizado. Se realizó un mezclado a una temperatura de 18 °C con las siguientes cantidades 16 g pulverizado, 108 g poliéster ,10 gotas de catalizador en las probetas de flexión. se usó 54 g poliéster y 9 g pulverizado para las probetas de tracción.

Los resultados obtenidos de laboratorio y el uso de máquina universal BESMAK, BMT -E-Series; arrojaron un valor por flexión de 23,28 Mpa realizado con la norma ASTM 790-17. y a tracción un valor de 19,71 Mpa con la norma ASTM D638.

PALABRAS CLAVE: Compuesto, tracción, flexión, polvo de madera de café

Abstract

A biocomposite material was obtained and characterized from the polyester matrix and the reinforcement with pulverized coffee wood; motivated by a need to take advantage of the coffee wood waste, which reaches 338`086.000 kilos in the department of Huila.

Starting from an experimental methodology, the coffee wood was prepared with its due drying, chip extraction, and sieving. A mixing was carried out at a temperature of 18 °C with the following quantities: 16 g pulverized, 108 g polyester, 10 drops of catalyst in the flexural specimens. 54 g polyester and 9 g pulverized were used for the tensile specimens.

The results obtained from the laboratory and the use of the universal machine BESMAK, BMT -E- Series; yielded a flexural value of 23,28 Mpa performed with the ASTM 790-17 standard and a tensile value of 19.71 Mpa with the ASTM D638 standard.

KEY WORDS: Composite, tensile, flexure, coffee wood powder.

Introducción

Actualmente nivel nacional la siembra de café se ha incrementado por el valor que tiene su fruto, aumentado la siembra durante los últimos años a 19,3 millones de sacos de café (Federación Nacional de Cafe, 2020) y se ha generado de igual forma los desechos luego de cosechas o temporadas de recolección del grano, en el cual se procede a la tala de los árboles de café, y se genera la soca cafetera. Esta soca cafetera se entiende para los caficultores como una temporada de pérdida económica, ya que se debe contratar personal para cortar los árboles y luego trasladarlos para la quema. Para evitar las pérdidas económicas en la temporada de la soca cafetera; la empresa Colombiana Monarca por parte del gerente Henry Alonso Madrid creó un modelo de negocio que permite aprovechar la madera en proyectos urbanísticos para cocinas, muebles y sillas. Esta madera, se consideró tan resistente como un roble fino o pino (Tiempo, 2017).

Con el siguiente proyecto y conociendo el valor que tiene la madera de café, se obtuvo un compuesto con matriz de poliéster con refuerzo de pulverizado de madera de café, para determinar su esfuerzo ultimo a tracción y flexión empleando normatividad en los equipos universales como el BMT -E- SERIES.

Con el fin de conocer y explicar la terminología en cuanto al compuesto polimérico, se hace una descripción desde la matriz y tipos de refuerzos en el capítulo 2.

El desarrollo de la investigación y metodología experimental aplicada, se explica en el capítulo 3, dando a conocer cómo se obtuvo el material pulverizado de la madera de café, cómo se llegó a una mezcla de fácil manipulación para depositarse en las probetas de tracción y flexión, permitiendo ser aprobadas por el laboratorio de materiales Sena Bogotá y realizar los ensayos pertinentes.

Como último capítulo se realizó el análisis y comparación de resultados con otros compuestos poliméricos elaborados con refuerzos orgánicos, considerando el esfuerzo máximo a tracción y flexión.

Formulación del problema

Descripción del problema

En el departamento del Huila al año 2020 ha llegado a sembrar un total de 144.895 hectáreas de café; de la cual se siembra la variedad Castillo, correspondiéndole un total de 24.149 hectáreas («Café de Huila», s. f.), cada hectárea se tiene un promedio de 4000 a 5000 plantas (*cafe.docx*, s. f.), logrando un peso por cada árbol de café luego de cortado 3 a 3.5 Kilos. Esta cantidad de árboles sembrados en 24.149 hectáreas y 4000 plantas por hectárea y adicionando el peso en kilo, ocasionando la generación de desecho:

$$Desechos(Kilos) = 24149 * 4000 * 3.5 \text{ Kilos} = 338'086.000 \text{ Kilos}$$

Con dichos datos se puede decir que se lograría una totalidad de desechos en todo el departamento de 338'086.000 Kilos de madera de café. Por lo tanto, está causando problemas ambientales, ya que estos son incinerados y algunos son aprovechados en pocas cantidades en la finca para uso de las hornillas, el exceso de residuos generados está provocando una consecuencia ambiental, en cuanto contaminación del suelo, quemas descontroladas, acumulación de biomasa sobre afluentes y aguas subterráneas según lo afirmó Oliveira Jofran (de Oliveira et al., 2013).

Otra causa que genera la problemática, se debe a que los árboles de café deben ser cortados desde el tallo principal a una altura de 20 cm (Rendón, 2014), proceso que se llama zoqueo; con el fin de retoñar y volver a cargar el fruto de café para un posterior crecimiento del árbol y brindar de nuevo cosecha del grano de café. Para los dueños de los cafetales, se desconoce

en no saber que hacer de nuevo con la madera que se corta, llegando nuevamente a una consecuencia ambiental, y para el dueño en gastos operativos por realizar dicho trabajo del zoqueo.

Otra problemática, que existe por la falta de compuestos orgánicos y desconocimiento de materias primas como el residuo de la madera de café, se debe a que actualmente se requieren de nuevos materiales para la industria, en donde por falta de compuestos con refuerzo orgánicos, se causa la explotación de materiales metálicos y se tenga como consecuencia impactos ambientales por deforestación y contaminación.

Problema

Existe desconocimiento en la reutilización de polvo de madera de café, para la creación de nuevos compuestos.

Hipótesis

Se tiene como hipótesis para el desarrollo del proyecto, que al implementar el pulverizado de café como refuerzo en una matriz de poliéster se genera un compuesto con nuevas propiedades mecánicas en tracción y flexión. Además, se crea un nuevo material biodegradable.

Objetivos

Objetivo general

Obtener y caracterizar un material compuesto de matriz poliéster reforzado con pulverizado de madera de café.

Objetivos específicos

Seleccionar un método para pulverizar la madera de café para elaborar el material compuesto

Elaborar las probetas para tracción y flexión por medio de normatividad existente.

Caracterizar las propiedades mecánicas del material compuesto de refuerzo de pulverizado con una matriz poliéster obtenidos de los ensayos tracción y flexión.

Justificación

Por medio del desarrolló de este proyecto se desarrolla un aporte académico por parte de la Universidad Antonio Nariño sede Buganviles, Neiva; se fundamenta en obtener y caracterizar las propiedades mecánicas de un compuesto generado del pulverizado de madera de café y una matriz polimérica, logrando como resultado una participación efectiva de la materia resistencia de materiales, procesos de manufactura, en donde se investiga y estudia como un material de origen natural puede unirse a través de una matriz; dando como resultado un nuevo material con propiedades mecánicas novedosas.

Además, el proyecto se identifica como una oportunidad para brindar un nuevo conocimiento de aplicaciones de la madera de café; materializado como pulverizado. Demostrándose por medio normatividades de ensayos de compresión, tensión y flexión los esfuerzos a los cuales puede llegar el pulverizado de café como compuesto.

Desde un punto de vista ambiental, la utilización del pulverizado de madera de café ayuda indirectamente a la huella de carbono que se origina en el departamento del Huila. Permitiendo la reutilización de un desperdicio que se aumenta en cada fecha de corte.

Al obtener un compuesto de pulverizado de madera de café y ser evaluados por medio de ensayos de tracción y flexión, permitirá obtener tablas y datos que se podrán interpretar y usar en aplicaciones de diseño de estructuras basados en materiales compuestos orgánicos.

Antecedentes

Realizando una búsqueda de antecedentes en el campo de los compuestos, se evidenció que la Universidad Antonio Nariño ha realizado avances en estudios sobre este tema, dentro de las investigaciones encontradas se destacan las siguientes:

En el año 2017, los estudiantes Montealegre y Trujillo realizaron la tesis **“Obtención y caracterización de un material compuesto de matriz poliéster reforzado con fibras de guadua”**, el estudio se fundamentó debido a que la guadua en el departamento del Huila se está produciendo en un total de 1600 hectárea, dándose un manejo inadecuado como materia prima, de donde parte como objetivo la caracterización mecánica, por medio de la metodología experimental, llegando por medio ensayos mecánicos a un módulo de Young con 62,7 Gpa,, una tracción de 121, 89 89N/mm², incluyendo a un material compuesto en el cual se tuvo en cuenta las fibras de guadua como factor determinante(Montealegre, 2017).

En el mismo año, 2017, los estudiantes Vega y Villegas; realizaron la tesis **“Elaboración de un material bio-compuesto a partir de la fibra del pseudotallo de banano”**, este estudio se elaboró un bio compuesto híbrido de la fibra de banano y la fibra de vidrio MAT , se realizó debido a aumento de inadecuado de desechos del plátano; en donde se propone como objetivo el desarrollo de un material compuesto con base de pseudotallo del banano. Para la elaboración del proyecto se empleó una metodología experimental, llegando a conseguir un bio-compuesto híbrido, con características similares al caucho y el icopor, arrojando resultados positivos como una alternativa para empaques de embalaje. El resultado que se dio de la caracterización mecánica de la fibra de banano bajo el ensayo de flexión fue de 26,55 Mpa y se concluye con un material que tiene un comportamiento similar al caucho y el icopor. (Vega & Villegas, 2017).

Durante el mismo año (2017) los estudiantes Trujillo y Tenjo; diseñaron un bio-compuesto denominado “**Diseño y caracterización de un bio-compuesto a partir de la cascarilla del café**”, la investigación se realizó para disminuir el impacto generado por desperdicios de café y su aprovechamiento mínimo. Se parte de un objetivo el cual es el diseñar un compuesto a partir de la cascarilla de café, empleando una metodología experimental, se llegó a unos resultados por ensayo a tracción de esfuerzo de 8 Mpa, flexión de 33,62 Mpa y módulo de Young 2,2480 Gpa, como conclusión se llegó a un análisis morfológico a las fracturas obtenidas en el ensayo mecánico y el deshilachado de la fibra (Tenjo & Trujillo, 2017).

En el año 2018, por parte de los estudiantes Herrera y Parra con la “Caracterización de propiedades mecánicas en materiales bio-compuestos a base de cascarilla de arroz mediante procesos de infusión a vacío”, se usó cascarilla de arroz, en donde se tiene como objetivo la caracterización de las propiedades mecánicas por medio de la técnica de infusión al vacío, partiendo de una metodología experimental aplicada, se llegó un biocompuesto por medio ensayos de tracción a un esfuerzo máximo de 12,2 Mpa (material frágil), y por compresión se llegó a un esfuerzo máximo de 90,02 Mpa (material que demuestra alta dureza), concluyendo que para aplicar vacío como técnica para crear las probetas, se debe aumentar los CFM de la bomba para agregar más porcentaje de cascarilla.(Herrera & Parra, 2018).

En el año 2018, Liévano y Guarnizo, por medio del estudio “Caracterización de propiedades mecánicas de un material bio-compuesto: Matriz (almidón de yuca) y refuerzo (Fibra de fique); zona Huila”, se diseñó un biocompuesto bajo una metodología experimental, en donde por medio de varias proporciones para determinar el más indicado, Con la investigación se buscó determinar la interfaz de ambos materiales adecuada para la

investigación, logrando resultados promedios a tracción de esfuerzos máximos de 0,943Mpa y una deformación del 4,79%. Se concluye que el biocompuesto se usará para embalaje en viveros, bolsas, platos desechables; dicho material se comprobó con las bolsas convencionales logrando doblar su capacidad de carga en 6,5 Kg. (Liévano & Guarnizo, 2018).

Por otro lado, fuera del departamento se encontraron los siguientes antecedentes:

En el año 1999, la investigación realizada por Aristizábal y Oliveros en la publicación de la revista Cenicafé, con el proyecto denominado **“Propiedades físico-mecánicas del árbol de café y su relación con la mecanización de la cosecha”**. Se realizó para conocer algunas propiedades al árbol de café, principalmente al tallo; empleando modelamientos como una viga en voladizo empotrada al suelo según la investigación realizada. Consecuentemente, al hallar la constante elástica se consideró el tallo como una viga empotrada al suelo. Como resultado el módulo elástico del tallo de café está entre los valores de 2,2 a 9,6 Gpa; considerándose como un material poco rígido y muy flexible.

En el año 2010, el investigador Linero Arturo escribió el proyecto “Compuesto de fibra de fique reforzado con resina epódica”, como objetivo es desarrollar un compuesto de fibra natural con una metodología experimental, Como resultado se tiene un esfuerzo por flexión de 2,3 Mpa para la resina epóxica, y el compuesto de fibra con epóxica de 2,45Mpa, un módulo elástico de 1,23 Gpa para la resina epóxica y 0,63 Gpa para la resina epóxica reforzada. Concluyendo que este tipo de compuesto se comporta de manera frágil y estallan cuando alcanzan su límite de rotura (Linero, 2010).

Para el año 2014, Pérez Alberto, realizó un estudio sobre la “evaluación del comportamiento mecánico de los materiales compuestos a base de fibra de fique y fibras sintéticas “, con un

objetivo de estudio de evaluar propiedades mecánicas como flexión y tracción del compuesto fundamentado en una metodología experimental (Gracia, 2014). Como resultado se llegó a un esfuerzo por tracción de 24,9 Mpa, por flexión un valor de 53,17 Mpa y módulo elástico de 1.8 Gpa. Como conclusión se tiene que entre las capas láminas de fique y resina se da una mayor elasticidad de las probetas a flexión. Se concluye que este material se puede usar para conformar columnas por su alto valor de resistencia de esfuerzos a flexión.

Como antecedentes a nivel nacional se tienen los siguientes:

Con el año 2005, Duarte Chaparro por medio de la Universidad de los Andes (Duarte, 2015), hizo el proyecto “estudio y caracterización de PVC reforzado con fibra lignocelulosica”, en donde seleccionó y evaluó como objetivo varios materiales a usar como refuerzo, un proyecto que aportará a la producción de compuestos poliméricos reforzados, aprovechando desechos vegetales como la palma africana, banano y café. La metodología de tipo investigativa y experimental se realizó por secciones: Primera etapa: tamizado, purificado y secado del cisco. Segunda etapa: Impregnación del cisco con el agente de acople. Tercera etapa: Mezcla de agente y cisco, molienda, y luego moldeo en probetas. Cuarta etapa: realización de ensayos a tensión e impacto. Los resultados que obtuvieron de las pruebas son: Resistencia a la tensión de 35 a 48 Mpa, módulo elástico de 3,5 a 4,9 Gpa. Concluyendo que al realizar una mezcla con 50% de refuerzo incrementa la rigidez del compuesto.

En el año 2019, en Duitama, el investigador Pedraza Cristy, hizo el estudio de “Caracterización de la fibra del pseudotallo de plátano como refuerzo y desarrollo de un material compuesto para fabricación de tejas”. Con el fin de disminuir desperdicios generados de la calceta de plátano. Como objetivo de la caracterización mecánica y los métodos planeados de obtener la fibra de la calceta de plátano se usó una metodología

empleada, se basa en teocio- experimental. Como resultado de la probeta a flexión del tejido trenzado, arrojó un valor de 1,067Mpa y a compresión de 11,68 Mpa. Se concluye que es un material liviano para usarse como tejas (abril, 2019).

En el año 2007, El autor Mejía Jesús por medio de la Universidad de los Andes realizó la investigación de maestría “Refinamiento y funcionalización de fibras naturales en el desarrollo de un material compuesto de matriz PVC reforzado con fibras lignocelulósicas” (Mejía, 2007,). En la investigación realizada se usó el PVC como matriz, debido a su versatilidad en la familia de los plásticos, obtener productos rígidos y flexibles. Productos que son representativos en las áreas de la construcción, medicina, empaques y electricidad (Mejía, 2012, p. 28). Como objetivo de la investigación fue el refinamiento y funcionalización de fibras naturales usando como metodología la experimentación; seguido de una caracterización de la fibra, tratamiento de fibra y procesamiento. Como resultado se llegó a unas propiedades mecánicas de las fibras para el cisco de café: Módulo elástico 0,65 -1,25 Gpa, Resistencia al a tensión 70 -89Mpa (Mejía, 2012, p. 65). Se concluye que al usar un tratamiento alcalino en las fibras se mejora el módulo elástico.

Como antecedentes a nivel internacional se tienen los siguientes:

Para el año 2017, Mei Innocentini Lucia, elaboró en su trabajo de maestría llamado “Caracterización de un polímero biodegradable compuesto utilizando Poli (ϵ -calacactona) y borra de café”, estudio que tiene como objetivo crear compuesto biodegradable con el medio ambiente y que actúe con la temperatura superior a los 10°C. La metodología empleada fue de tipo experimentación, en el cual se usó borra de café, Poli (PCL- P- 767, y soja epoxidada para lograr una degradación (Resiflex K-10). Se llegó a un esfuerzo de tracción de 21,95

Mpa, módulo elástico 153 Mpa y de porcentaje en alargamiento a la ruptura de un 142 %. Concluyendo que usar un biodegradable permite la aparición de hongos y degradación durante los días 45 a 60 días luego de estar en la intemperie (Mei & Innocentini-Mei, 2017).

En el año 2020, por parte del investigador Washington Cavalcanti y Oliveira Leandro de la Universidad UFMG Universidad Federal de Minas Gerais, se realizó un estudio sobre **“Producción, caracterización química y mecánica de un compuesto a partir de residuos de madera de construcción civil con resina epoxi y aceites vegetales.”** (Cavalcanti et al., 2020). El objetivo es crear un compuesto para aprovechar los residuos generados de la construcción civil. El proyecto basado en la gran cantidad de residuos generados de madera, que alcanza un valor del 66% de toda la madera extraída de Brasil hasta el año 2011, no ha tenido un uso adecuado. La metodología empleada al desarrollo del proyecto fue de tipo experimental (Cavalcanti et al., 2020, p. 3). Los resultados obtenidos del proyecto emplearon la norma de ASTM D368 para las probetas, para los ensayos de tracción y flexión con la norma ASTM D3039. Dando como resultados por tensión 18,415 MPa y por flexión 18,274Mpa. En donde el autor recomendó el uso del 20 % de refuerzo con madera.

1. Marco teórico

Para dar a conocer un poco sobre la temática del proyecto, se explica por medio del marco teórico, por medio de sustento, basados en artículos científicos en relación con los materiales poliméricos, compuestos poliméricos, matriz en compuesto poliméricos y refuerzos usados en compuestos poliméricos.

1.1 Materiales poliméricos

Existe competencia entre los compuestos de matriz polimérica con los componentes metálicos existentes en automóviles que hacen más del 3/4 del peso que tiene el automóvil, materiales como el acero, el aluminio, magnesio y cobre. El 9% aproximadamente de la masa son plásticos. En la industria automotriz el uso de estos materiales es mayor, pero, en comparación a el uso en las industrias aeroespaciales estos son de bajo valor y la proporción de aplicación de estos polímeros para cada vehículo es pequeña (Yang et al., 2012). Estos materiales poliméricos son utilizados cada vez más para aplicaciones avanzadas que tienen altos estándares de calidad, como lo son la industria aeroespacial. En donde la ruta de procesamiento de fabricación, el proceso de curado es lo más crítico, ya que durante este proceso pueden surgir varios defectos, dentro de estos está la degradación de la resina, el crecimiento del vacío, el desarrollo de tensión residual y la distorsión; por tanto, existe la necesidad de utilizar instrumentos para el control del proceso de fabricación de piezas de plástico que refuerzos de fibra.

Al poder monitorear el curado según el autor Carlone (Carlone et al., 2018), los materiales poliméricos se mide la temperatura dentro del laminado o por métodos directos, partiendo de diferentes propiedades que tiene la resina durante el proceso de curado. Además, se

monitorea a los sistemas de detección de propagación de ondas elásticas, detección dieléctrica y sistema microelectromecánico.

Por otra parte, los compuestos poliméricos de fibras de carbono ya sean en fibras continuas y discontinuas, nanofibras y nanotubos de carbono en tema de propiedades mecánicas y el coeficiente de expansión térmica, estos comportamientos se destacan para el rendimiento estructural; también en cuanto a las fibras de carbono continuas estas son de importancia debido a sus propiedades mecánicas ya que se utilizan ampliamente en aplicaciones estructurales (Chung, 2017b). En relación a los compuestos multiescalar, estos involucran fibras de carbono continuas y rellenos discontinuos a nanoescala, son atractivos en relación con propiedades de espesor pasante. Dentro de las propiedades mecánicas están las propiedades estáticas y dinámicas, con las dinámicas hay relación con el comportamiento viscoelástico y propiedades de fatiga. Según el autor Deborah; estos compuestos poliméricos tienen dominancia entre materiales de compuestos avanzados ya que tienen facilidad de fabricación en comparación a los compuestos de matriz de carbono, de cerámica y metálica (Chung, 2017a).

En los materiales poliméricos, existe un tipo de modelo planteado de moldeo por transferencia de resina; en donde los autores (Hamidi & Altan, 2018), se afirman “Que es una alternativa llamativa, variable y rentable para el procesamiento para la fabricación de compuestos de matriz polimérica estructural”, sin embargo, existe defectos inducidos por el proceso ya que los microvoloides o los puntos secos no resueltos limitan a menudo el uso amplio de las piezas RTM (Moldeo de transferencia por resina) en las aplicaciones de alto rendimiento y misión crítica.

Finalizando sobre los materiales poliméricos; se puede decir que han venido desplazando a otros materiales en su utilización en muchas aplicaciones porque han demostrado ser útiles, la falta de conocimiento de los mismos ha limitado su uso. Para el autor (Kumar Sharma et al., 2022); estos materiales compuestos han superado la mayoría de las limitaciones de polímeros, a medida que pasa el tiempo el uso de estos ha aumentado ya que tienen una resistencia y módulo específico mucho mejor que sus equivalentes metálicos.

1.2 Materiales compuestos

A los materiales formados por dos o más materiales se les conoce compuestos, con la combinación de varios materiales estos permanecen distintos e identificables. Los compuestos tienen como propósito permitir que nuevos materiales tengan resistencia de ambos materiales y que cubran las debilidades de los materiales originales (Park & Seo, 2011). En la industria aeroespacial en la década de 1970 inició la aplicación de materiales compuestos, hoy día se utilizan estos materiales compuestos considerablemente en variedad de estructuras de ingeniería, entre ellas incluidas naves espaciales de equipos deportivos, barcos, aviones, automóviles, puentes y edificios. El uso de estos en distintas áreas se debe a sus características en cuanto a resistencia a la densidad y dureza. Es tanta la importancia que han venido tomando estos materiales que grandes industrias como la automotriz han reemplazado piezas metálicas de autos por otras compuestas debido a sus características y grandes capacidades (Sajan & Philip Selvaraj, 2021).

Dado que un compuesto es un material estructural con propiedades químicas o físicas que se combinan a nivel macroscópico y además no son solubles entre sí, sus componentes son fase matriz y fase de refuerzo; para el material de fase de refuerzo esta está en forma de

partículas, escamas o fibra; en cambio para los de matriz estos son generalmente continuos. Dentro de las ventajas Shajan y Philip (Sajan & Philip Selvaraj, 2021, p. 2) se afirmó, que entre los materiales compuestos y los convencionales es que son ligeros en peso, rigidez y resistencia óptima, resistencia a la fatiga es más alta que el metal, también la resistencia a la corrosión y en cuanto a la consolidación de las piezas debido a que tiene menores costos generales en el sistema, la expansión térmica y la conductividad eléctrica son menores ante el metal, entre otros.

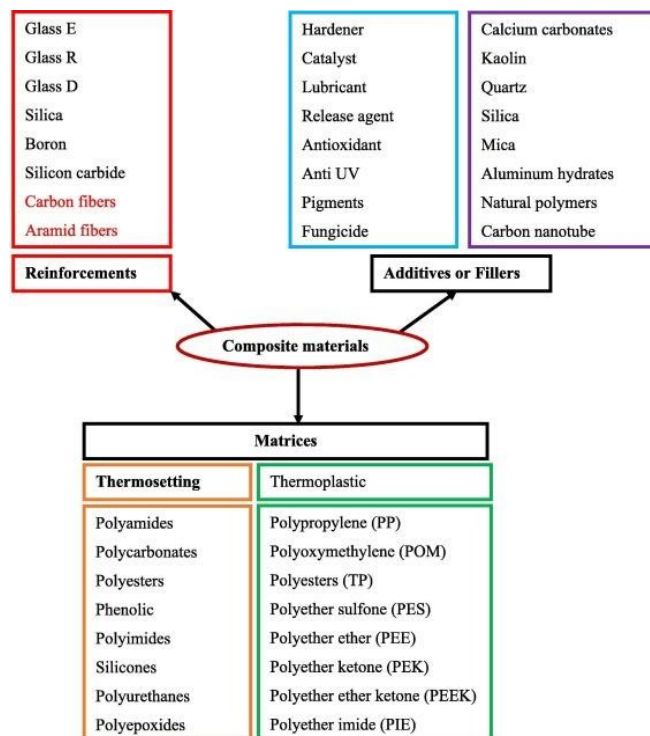
Cuando se habla de materiales compuestos estos se utilizan para describir nuevos tipos de materiales que se forman combinando dos o más materiales que tengan características diferentes de los que están hechos. La combinación de diferentes materiales arroja como resultado que un material compuesto tenga estructuras de dos fases (Kumar Sharma et al., 2022). En donde según el autor Hatti (Hatti et al., 2022), el material compuesto mejora la eficiencia de la construcción al cumplir su función de reforzar las fibras de una matriz polimérica, a lo que se llega a una nueva estructura llamada compuesto híbrido, que contiene amplia gama de propiedades de material.

Al ser los compuestos poliméricos, materiales con un refuerzo donde el polímero actúa como una resina de matriz, esta penetra en los haces de refuerzo y se une al refuerzo. Estos materiales compuestos de polímeros se utilizan principalmente en aplicaciones automotrices y aeroespaciales., los compuestos de polímeros automotrices, el más común de los cuales está la resina polimérica de poliéster; estos polímeros normalmente se mezclan con fibras de vidrio y cuentan con características particulares, que incluyen tiempos de ciclo menores a dos minutos temperaturas de 60-70 ° en uso de servicio y uso de materiales de fibra de vidrio y resina de bajo costo (Greene, 2021).

1.3 La matriz

En el siguiente esquema de la figura 1.1 se pueden apreciar los componentes principales de la formulación de materiales compuestos por matrices, fibras o aditivos o rellenos.

Figura 1.1 *materiales compuestos.*



Fuente: Tomada de (Hsissou et al., 2021, p. 2).

En la figura 1.1, la matriz a usar en el desarrollo del proyecto, es de tipo termoplástico y de termo endurecible, ya que se empleó el poliéster como elemento para la matriz (Hsissou et al., 2021). Las matrices poliméricas utilizadas en materiales compuestos son comúnmente sistemas termoestables o termoplásticos, en relación a los polímeros termoestables estos se formulan a partir de una resina, un agente curado y un catalizador. Se utiliza también un disolvente en la reducción de la viscosidad y mejorar la impregnación de la fibra (Hsissou et al., 2021, p. 2). Para la relación de las propiedades mecánicas y físicas de las redes termoestables dependen de la densidad de enlace cruzado alcanzada. Las matrices

termoplásticas están compuestas por cadenas moleculares que están unidas entre sí por interacciones débiles. Cuando estas matrices poliméricas son utilizadas en la ingeniería son basadas en sistemas termoestables, ya que tienen buena estabilidad térmica, resistencia química, bajas propiedades de fluencia, relajación y mejor capacidad para impregnar los refuerzos de fibra en comparación a las matrices termoplásticas.

Dependiendo del tipo de aplicación y la agresividad del entorno circundante se seleccionan los poliésteres insaturados, vinil ésteres o epoxis para la matriz termoestable. Tradicionalmente las resinas de poliéster se utilizan con fibras de vidrio para con ello producir elementos compuestos estructurales de bajo costo. Las resinas consisten en cadenas de poliéster insaturado que tienen bajo peso molecular disueltas con estireno, la polimerización del estireno permite formar enlaces cruzados a través de sitios insaturados de las cadenas de poliéster, dado que estas reacciones son altamente exotérmicas y genera calor excesivo que puede dañar el laminado final; también puede ocasionar contracción sustancial, la producción de vapores tóxicos y sensibilidad a la hidrólisis cuando hay exposición a ambientes alcalinos(Uhrich & Abdelhamid, 2016).

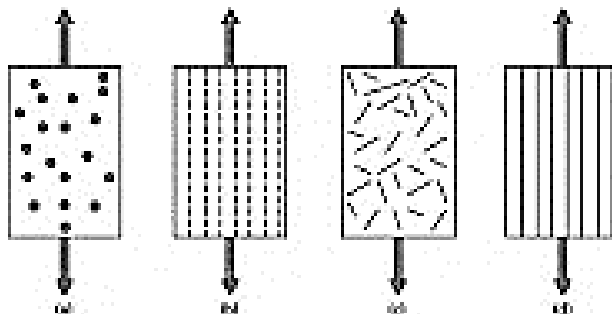
1.3.1 La degradación de la matriz polimérica

Esta proporciona una barrera química ante los efectos corrosivos de la humedad, los álcalis y los ácidos minerales, que le permite extender su vida útil en comparación con fibras disueltas. Dentro de las fallas en la matriz polimérica se encuentran: Agrietamiento por estrés ambiental, la intemperie y ataque químico. Este proceso según el autor (Muhamad et al., 2019); en particular depende de si la matriz es termoplástica o termoestable y también de la naturaleza de la condición de exposición. La degradación depende también del tipo de la matriz polimérica, la matriz metálica y la matriz cerámica que conforman la fase continua

del material compuesto, de este material de la matriz se cumple una variedad de funciones como la seguridad, la protección del refuerzo y distribución del peso.

Estas matrices tienen una rigidez mucho menor en comparación con los refuerzos, su rendimiento mecánico depende de diferentes factores, como los son la longitud de la fibra, su orientación y forma (Bai, 2013); la forma circular es la más habitual ya que se facilita más producirla y se puede apreciar en la siguiente figura 1.2:

Figura 1. 2 tipos de fibras: *Granular, fibra continua, fibra discontinua y fibra capa por capa.*



Fuente: tomado de (Bai, 2013).

En la figura a, se plantea un matriz con refuerzo pulverizado, en la matriz b filamentos en una zona dirección, en la matriz c se acomodan fibras de manera discontinua y en la matriz d, se ubica el refuerzo en forma de sándwich.

1.3.2 Preparación de la matriz con poliéster y endurecedor

La matriz se empleó resina epoxi y su endurecedor, esta mezcla provoca una reacción química entre los dos componentes transformándose de estado líquido a sólido, para que la mezcla se debe medir con precisión, en un recipiente adecuado y mezclar a fondo es primordial para que la resina cure correctamente (Todor et al., 2021). La matriz de resina

mantiene todo el material unido para transferir las cargas mecánicas a través de las fibras de refuerzo al resto de la estructura, además la resina protege el compuesto del impacto, la abrasión, corrosión, factores ambientales y manejo descuidado. Estas mezclas deben de ser muy precisas y al mezclar debe hacerse hasta que esta quede suave como se muestra en la figura 1.3:

Figura 1.3 *preparación del poliéster. a) mezclado, b) poliéster y catalizador, c) mezclado con los ingredientes para agregar en molde.*



Fuente: Tomado de (Todor et al., 2021).

1.4 El refuerzo

El refuerzo en un compuesto de matriz polimérica, a diferencia de un compuesto de matriz cerámica, se utiliza para agregar resistencia y rigidez a la matriz, en lugar de solo mejorar la tenacidad a la fractura. Las cargas mecánicas que experimenta una estructura en servicio se sostienen mediante el refuerzo en un compuesto. Una variedad de refuerzos normalmente utilizados incluye: Partículas, bigotes, fibras y textiles, por otro lado, puede reducir los costos de fabricación y servicio. Es posible combinar los beneficios de los polímeros con la alta resistencia de la fase reforzada en materiales compuestos poliméricos. El material de refuerzo es un potenciador del rendimiento. A la vez, el uso de refuerzos son las más comúnmente utilizadas, de más rápida expansión y la clase más grande de materiales

compuestos. En una descripción simple, un material compuesto de matriz polimérica tiene una matriz polimérica y está reforzado con componentes adicionales (Kumar Sharma et al., 2022).

El material reforzado es uno de los dos componentes del material compuesto, la resistencia al desgaste, al calor, la conductividad térmica y resistencia a altas temperaturas del material son unas de las preocupaciones de importancia en la ingeniería. Normalmente la matriz está hecha de materiales de aleación de aluminio como el cobre, el aluminio y otros metales. Adicionar estos materiales continuos reforzados con fibra puede aumentar positivamente la resistencia de los compuestos de matriz metálica.

Los compuestos de matriz polimérica reforzada con fibra según el autor (Kumar Sharma et al., 2022), también pueden fortalecerse a través de la incorporación de fibras en la matriz; materiales como el vidrio, el carbono, lo orgánico y otras fibras pueden ser empleados y estos; además de ser resistentes a la tracción, resisten temperaturas elevadas y proporcionan buen aislamiento eléctrico.

1.4.1 Los refuerzos en forma de fibra natural

Se ha tratado, en las últimas década el uso de fibras que no se aprovechan o existen en abundancia como son las fibras naturales, las animales, minerales y vegetales dependen de su origen, la mayoría de las formas naturales son fibras vegetales como fibras de bast (el yute, el cáñamo, el lino, el kenaf y el ramio); de hoja (fibras de sisal, pila, abacá y plátano); de frutas/semillas (fibra de coco, kapok, coco y algodón) y de hierba/caña (el bambú, la hierba de interruptor y Miscanthus)(Pawar & Joshi, 2022). Estas fibras son utilizadas en todo momento para la fortificación de compuestos poliméricos.

Estas fibras naturales utilizadas como refuerzo han arrojado resultados favorables y de alto rendimiento en compuestos de polímeros (Venkategowda et al., 2022) . Un análisis mecánico utiliza datos de fuerza y deformación para la evaluación de los cambios de rigidez en un material expuesto a diferentes temperaturas.

1.5 Refuerzo con material pulverizado

Los materiales reforzados con pulverizado son compuestos reforzados con partículas, dentro de estos materiales compuestos, estas partículas de material duro y frágil están dispersas de manera discreta y uniforme éstas rodeadas de una matriz más blanda y dúctil. En cuanto a la naturaleza de estas partículas y su tamaño que influyen en las propiedades del compuesto, estos se clasifican en compuestos endurecidos por dispersión y compuestos con partículas propiamente dichas. Los compuestos endurecidos por dispersión tienen un tamaño muy pequeño, debido a que estas partículas dificultan el movimiento de las dislocaciones, esto produce un efecto de endurecimiento que es notorio en el material con pequeñas cantidades (Upv, 2018). Las propiedades de los compuestos pulverizados pueden ser optimizados cuando se considere que: La fase dispersa que es un óxido duro y estable, debe ser un obstáculo efectivo para el deslizamiento. El material disperso debe tener un tamaño, distribución, forma y cantidad óptimos. El material disperso también debe tener baja solubilidad en el material que lo refuerza, no deben existir reacciones químicas, como sucede en la alúmina de acuerdo al aluminio que lo refuerza. De igual manera cuando se debe lograr una buena unión material dispersante – matriz, una correcta interfase entre refuerzo y material, a lo que se llega con una pequeña solubilidad. Estos compuestos reforzados con partículas tienen propiedades isotrópicas cuando hay uniformidad en el reforzante distribuido en la matriz. Las partículas adicionadas a la matriz no deben reaccionar

químicamente con ella en general por ello se busca que este tenga solubilidad en la matriz para lograr una dispersión homogénea (Upv, 2018). Los materiales pulverizados están dentro de las familias de los compuestos según la figura 4:

Figura 1. 4 *materiales compuestos.*



Fuente: Tomado de (FPInstitut, 2017).

Se observó que el particulado, esta dos grupos particulado grande y consolidado por dispersión (FPInstitut, 2017), en cuanto a los materiales compuestos reforzados con fibras suelen ser agentes reforzantes con fibras continuas y discontinuas; la fibra de vidrio, el cuarzo o la fibra de carbono que provee al material resistencia a la tracción, con relación a otro componente llamado matriz, que pueden ser una resina como epoxi o poliéster, este envuelve y liga las fibras, haciendo que se transfiera la carga de las fibras rotas a las intactas y entre las que no están paralelas a las líneas de tensión. Para los materiales compuestos estructurales ellos están formados por compuestos, pero también por materiales sencillos, las propiedades dependen de la geometría y de su diseño. Dentro de estos compuestos y materiales los más abundantes son los laminares que están formados por paneles unidos entre sí por algún tipo de adhesivo, usualmente cada lámina está reforzada con fibras y los paneles de sándwich consisten en dos láminas exteriores de elevada dureza y resistencia que están separadas por un material menos denso y menos resistente (FPInstitut, 2017, p. 3). De

los materiales compuestos estructurales también se puede recalcar que son materiales compuestos combinados homogéneos (Díaz, 2015).

Según la empresa (Composites, 2016), los compuestos reforzados por partículas, estas mismas partículas tienden a restringir el movimiento de la matriz en las proximidades de cada partícula, por lo tanto, esta matriz transfiere parte del esfuerzo aplicado a las partículas, las cuales soportan una parte de la carga. También están los refuerzos discontinuos dentro de los materiales compuestos, se tienen materiales de refuerzo discontinuo en forma de partícula, o en forma de plaqueta; donde en ambos casos sus dimensiones son iguales, y materiales en forma de fibra discontinua o fibra corta, se caracterizan porque tienen una longitud mayor que su sección transversal, este tipo de materiales suelen ser utilizados en aquellas aplicaciones de poca responsabilidad estructural. Se caracterizan las partículas porque con el empleo de estos elementos de refuerzo el aumento de propiedades que se obtiene no es muy elevado, en tanto al comportamiento de este tipo de materiales suele ser isótropo ya que son los materiales menos costosos y de más fácil fabricación entre todos los demás. Estos materiales compuestos pulverizados permiten absorber las tensiones e incrementan la rigidez y la resistencia del conjunto, en ellos se pueden emplear dos tipos de elementos de refuerzos; los discontinuos que son partículas, plaquetas o fibras cortas y continuos que son fibras largas, tejidos o laminados (Gabarro, 2016).

Otra forma de ver el material pulverizado en los compuestos según el autor Marcovich (Marcovich, 2016); es cuando a las partículas de madera se le aplican tratamientos y se modifica la carga a través de mecanismos diferentes; tratamientos químicos en condiciones suaves de reacción donde está a temperatura ambiente y sin catalizador y un tratamiento

químico en condiciones severas de reacción donde la temperatura es alta, pero con pretratamiento alcalino para aumentar el área superficial de las partículas (Robayo, 2021). Cuando se han fabricado compuestos de matriz polimérica reforzados con partículas en diferentes tipos de materiales que han sido combinados como matrices en estos se han utilizado cauchos sintéticos o naturales y plásticos termoplásticos o termofijos, ya que comúnmente se utilizan en avances tecnológicos el material de refuerzo pulverizado combinados se ha empleado partículas de ferritas duras como la de bario, estroncio o de cobalto para equipos de blindaje (Posada et al., 2017).

1.6 Teoría aplicada al compuesto de estudio

1.6.1 Ensayo de tracción

Este tipo de ensayo, consiste en deformar una pieza de material gradualmente, que está sometida a tracción hasta el punto de rotura, con el fin de determinar a partir de los resultados las características propias del material.

La característica del ensayo de tracción radica en el hecho de que permite medir la ductilidad, la resistencia, la plasticidad, el módulo de elasticidad, etc. El valor de la resistencia es utilizado en todo lo que se refiere al diseño. Los datos de la ductilidad, proveen una buena medida de los límites hasta los cuales se puede llegar a deformar el material. Al iniciar el ensayo, el material se deforma elásticamente, esto significa que, si la carga se elimina, la muestra recupera su longitud inicial; siempre y cuando no se exceda el esfuerzo de fluencia. Se dice que el material sobrepasó sublímite elástico cuando la carga es de magnitud suficiente para iniciar una deformación plástica, es decir,

deformación no recuperable. Eso se da cuando los esfuerzos se encuentran en la zona elasto-plástica del material (Gamarra et al., 2019).

Resistencia a la tracción: La fuerza o tensión máxima que un material es capaz de soportar (Logreira et al., 2019).

1.6.2 Norma ASTM D638

Este método de prueba está diseñado para producir datos de propiedades de tracción para el control y especificación de materiales plásticos. Estos datos también son útiles para la caracterización cualitativa y para la investigación y el desarrollo. (Gooch, 2011). Se emplea la ecuación:

$$\text{Esfuerzo} = \frac{F}{a * b}$$

$$F = \text{Carga (N)}$$

$$a = \text{Ancho (mm)}$$

$$b = \text{alto (mm)}$$

1.6.3 Ductilidad

Un material es dúctil cuando se alarga, cede y se fractura; normalmente la sección transversal tiende a reducirse notablemente. Se considera que un material es dúctil cuando su porcentaje de alargamiento es mayor al 5 %. Un material es frágil cuando su alargamiento es menor al 5 %, en donde no exhibe el fenómeno de cedencia.

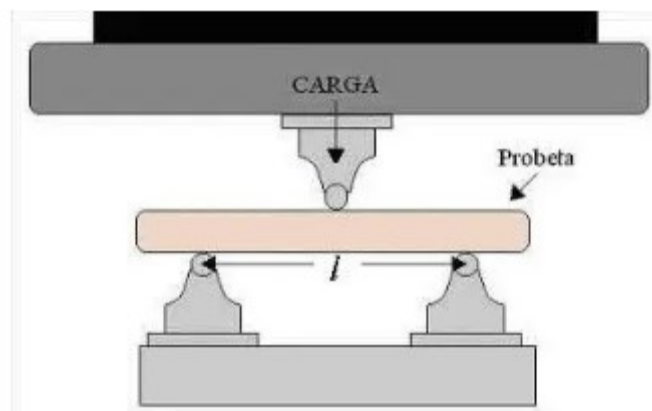
Se usa la ecuación (Mott & Navarro Salas, 2009, p. 61):

$$\text{porcentaje de alargamiento} = ((\text{longitud final} - \text{longitud calibrada}) / \text{longitud calibrada}) * 100\%$$

1.6.4 Ensayo a flexión

Los ensayos de flexión se utilizan principalmente para medir la rigidez y determinar la resistencia del material. Este ensayo es casi tan habitual en materiales poliméricos duros como el ensayo a tracción, y tiene ventajas de simplificar el mecanizado de las probetas y evitar los problemas asociados al empleo de mordazas. El parámetro más importante que se obtiene de un ensayo a flexión es el módulo de elástico o módulo de Young. (Sánchez, 2017, p. 6). El mecanismo usado para el ensayo a flexión se aprecia en la figura.

Figura 1. 5 modelo de ensayo a flexión



Fuente: Ensayos a flexión (Sánchez, 2017, p. 6).

1.6.5 NORMA ASTM D790-17

Aplicando la norma ASTM D790-17, El ensayo a flexión emplea la siguiente ecuación para determinar el esfuerzo máximo:

$$\text{Esfuerzo} = \frac{3FL}{2D^3}$$

$$F = \text{Carga (N)}$$

$$L = \text{Longitud de la barra (mm)}$$

$$D = \text{Diámetro (mm)}$$

Resistencia a la flexión: Fuerza o tensión máxima que aplicado a un cuerpo ejerce una deformación, presentando un alargamiento en una dirección perpendicular a su eje longitudinal (Sánchez, 2017, p. 2).

1.6.6 Obtención de pulverizado de madera

Para obtener el pulverizado de madera, se debe usar máquinas de corte de madera, como la sierra, en donde este genera una cantidad de desechos en polvillo, aserrín, pedazos pequeños de madera. Para lograr separar este polvillo se hace uso de un tamiz, el cual se consigue en diferentes medidas partiendo del tamaño de paso de partículas. (Ortega, 2016).

2. Diseño metodológico

La metodología empleada para el desarrollo del proyecto está basada en el método experimental mixto Deplox, (Hernández et al., 2014), que contempla una parte cualitativa y otra cuantitativa, ya que se debe seleccionar aspectos cualitativos en la selección, corte, convertir la madera a un pulverizado homogéneo, generación de matriz, luego de manera experimental llevar a laboratorio las probetas para realizar su respectivo estudio. Definiéndose por las siguientes actividades: Fase 1. Preparación y selección del método para la pulverización de la madera de café. Fase 2. Fabricación del material compuesto. Fase 3. Analizar las propiedades mecánicas por flexión. Fase 4. Analizar las propiedades mecánicas por tracción. Fase 5. Interpretación de datos.

1.7 Preparación del método para la pulverización de la madera

Partiendo de la selección de unos árboles de café variedad Castillo, se procedió a ubicar árboles que correspondan a una altura que esté en etapa de madurez como se evidencia en la figura 2.1, para obtener varios troncos y realizar un proceso de secado entre 15 a 20 días, sobre estibas y con exposición al sol, y se guardan en la noche para evitar la humedad provocada durante este horario.

Figura 2. 1 fotografías de la evidencia para obtener el pulverizado de café.



Fuente: Elaboración del autor.

En la figura 2.1 la fotografía A1 se procede a cortar el árbol a una distancia mínima de 20 cm ya que esta altura es la definida para el zoqueo o soca, se retiran las extremidades del árbol dejando sólo el tronco con se observa la fotografía A2, se procede a dejar los árboles cortados sobre una superficie vertical para que estos reciban la luz solar y pierdan humedad entre los 15 a 20 días según se observa en la fotografía A3, luego se lleva a un aserradero y se realiza el corte desde un extremo hasta el otro para generar viruta y polvo como se observa en la fotografía A2 este residuo ha pasado por un tamiz de 1.5mm.

Se consideró trabajar con la viruta sobrante de la figura A3, pero esta no permitía agregarse en el molde de tracción y flexión ya que ocasiona burbujas; y no permite el ingreso homogéneo del poliéster sobre la probeta de tracción por el espacio reducido de 3.5 mm en la zona más delgada.

1.7.1 Parámetros normativos y construcción de probetas

Con las normas ASTM D638 para tracción y ASTM -D790-17 para flexión se requiere como parámetros: Tracción: Probeta con longitud máxima y mínimo. Espesor máximo de 3 mm y mínimo de 3.5 mm, la probeta debe ser lo más homogénea posible evitando burbujas en exterior. La probeta debe poseer una forma tipo platina con reducción de su zona central. Flexión: Probeta con geometría cilíndrica radio mínimo de y máximo.

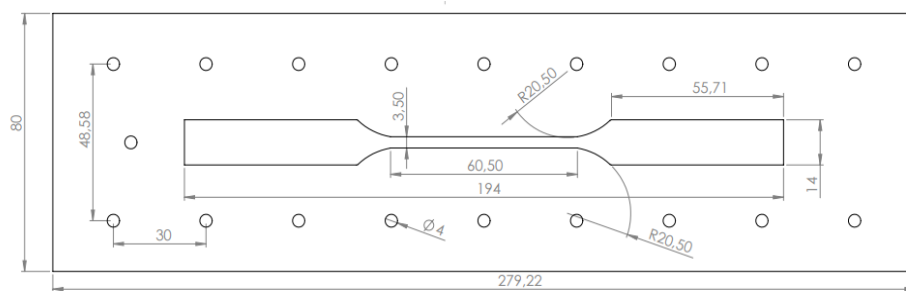
Probeta con longitud máxima de 210 mm y mínima de 200 mm. La probeta debe ser homogénea en toda su longitud, y no presentar material contenido imparcial de la mezcla.

1.7.2 Proceso de creación de molde de tracción.

Para aplicar la norma ASTM D638 se revisó que la aplicación de la mezcla de poliéster y la aplicación del refuerzo en polvo, se debía usar por presión y vertimiento, para lograr los

moldes se usó una cortadora laser, material base el acrílico, plano y tornillos. En la construcción de las molduras se planteó un diseño a tres capas, al lograr separar luego del secado cada una de las piezas y estas no quedaran adheridas por el poliéster. La secuencia planteada es la siguiente: Como base principal para dar la horma de la probeta para tracción se usó la norma con las siguientes medidas agregando un milímetro adicional debido al corte láser.

Figura 2. 2 *modelo de plaqueta intermedia.*

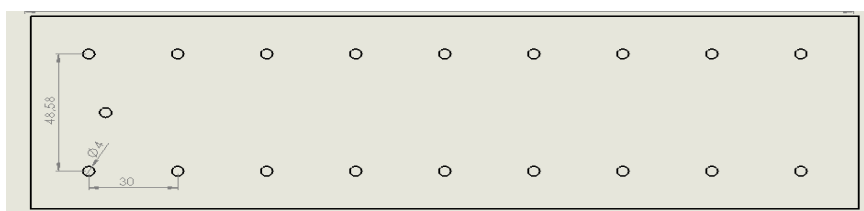


Fuente: Elaboración del autor.

Se plantea en la figura 2.2, un modelo con perforaciones a cada 30 mm con el fin de lograr presión por los tornillos que unen las plaquetas.

Se usa otra pieza con sólo perforaciones para emplearse como base, según la figura 2.3:

Figura 2 3 *Modelo de plaqueta base.*

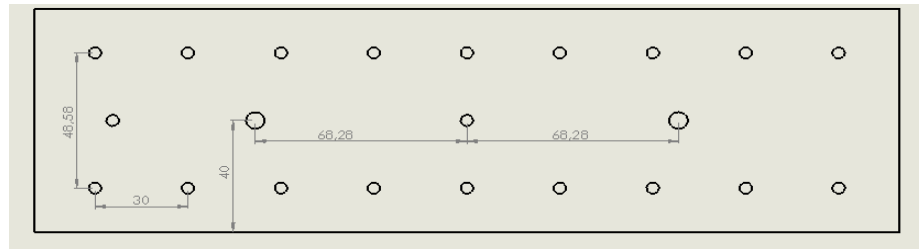


Fuente: Elaboración del autor.

La base anterior se usa para que sea la primera zona para agregar la mezcla.

Luego se usa una tercera plaqueta el cual posee unos orificios con el fin de eliminar material sobrante, según la figura 2.4:

Figura 2 4 *Modelo de plaqueta superior.*



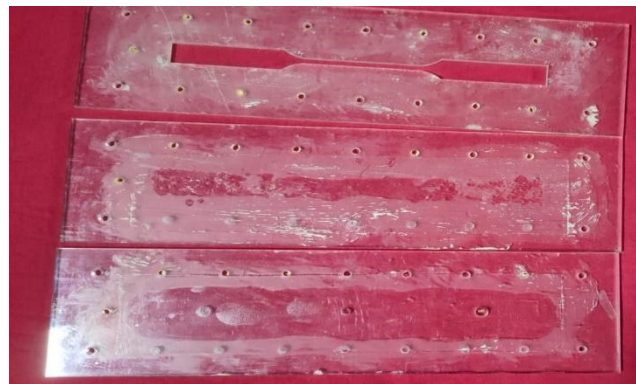
Fuente: Elaboración del autor.

Con la plaqueta anterior de la figura 2.4, se dejan unos orificios mayores al centrar, ya que sobre este queda la mayor concentración de material en mezcla.

1.7.3 Construcción de moldes de tracción

Luego de haber realizado los planos se procede al corte por láser permitiendo obtener unas plaquetas lisas y sin vértices agudos como se evidencia en la figura 2.5.

Figura 2. 5 *corte y limpieza de plaquetas.*



Fuente: Elaboración del autor.

Se procede a limpiar impurezas que deja el corte o suciedad existente.

1.7.4 Proceso de construcción de molde de flexión.

La probeta de flexión se procede emplear la norma ASTM 790-17, en donde se procede por un diámetro mínimo de 15mm; pero tiene como opción emplear un diámetro máximo hasta

los 22 mm, y la máquina empleada en laboratorio requiere de una medida mínima en longitud de 200mm, como base para esta probeta se usó un tubo de PVC, ya que en su interior permite obtener un diámetro de 18,5 mm, por lo tanto, se puede usar y emplear tapón de tubería de media pulgada sobre uno de sus extremos. Las probetas se dejaron con 50 mm adicionales, debido a que se requiere de una medida adicional y apoyarse en la máquina para flexión.

1.7.5 Proporcionalidad de poliéster y pulverizado de madera de café

Para llevar a cabo la dosificación de poliéster, se tomó en consideración los aspectos del autor Herrera y Parra, en donde partes de un porcentaje de 40 % de refuerzo y 60% de material para la matriz (Herrera & Parra, 2018, p. 65). Ya que en el desarrollo de las probetas la viscosidad fue un obstáculo para lograr el llenado de los moldes, provocando burbujas en las probetas.

Considerando la base del autor Herrera y Parra, se planteó como base tomar la masa total y aplicar porcentajes de prueba, como se muestra en las siguientes tablas:

Tabla 2. 1 proporción para primera prueba tracción

Porcentaje	
54 g poliéster	77,14 %
16 g de pulverizado	22,85 %
70 g totales	100 %

Fuente: Elaboración del autor.

El resultado de esta primera prueba, arrojó una viscosidad que no permitía desplazar la mezcla al molde, esta proporción se usó en el molde de flexión y tracción.

Tabla 2. 2 proporción para última prueba tracción

Porcentaje	
54 g poliéster	85,71 %
9 g de pulverizado	14,28 %
63 g totales	100 %

Fuente: Elaboración del autor.

El resultado de esta primera prueba, arrojó una viscosidad que permitió desplazar la mezcla al molde, esta proporción se usó en el molde de tracción.

Tabla 2. 3 proporción para última prueba flexión

Porcentaje	
108 g poliéster	87,09 %
16 g de pulverizado	12,9 %
124 g totales	100 %

Fuente: Elaboración del autor.

Considerando los resultados de proporción en la prueba uno a tracción y de sus otros intentos, se obtiene un resultado con una viscosidad que permite desplazar la mezcla al molde del tubo, permitiendo verter todo el contenido.

1.7.6 Moldeo y generación de probetas

- **Primera prueba**

Para iniciar con las mezclas del compuesto polimérico, se tomó como matriz el poliéster y como refuerzo el pulverizado de madera de café, en donde se procede a un proceso de mezclado de 50% poliéster - 50% pulverizado en volumen y 10 gotas de catalizador. El volumen se mide primero en la cantidad que puede depositarse en la probeta con solo pulverizado sin realizar presión y luego el mismo con solo poliéster dando una medida en vaso medidor para siete líneas según la figura 2.6.

Figura 2. 6 *pesado de mezclas para probetas de tracción.*



B1. 54 gramos.

B1. 16 gramos.

Fuente: Elaboración del autor.

Con la figura 2.6 el ítem B1 se puede apreciar que ocho líneas tienen un peso de 54 gramos y en la figura B2 se aprecia un valor de 16 gramos, por lo tanto, no se usa el mismo peso ya que debería agregar más pulverizado de café.

- **Preparación del molde**

Par lograr que el compuesto no se adhiera a la plaqueta, se usa Cera Glas con el fin lograr desprender la probeta, y al haber realizado un molde desarmable, se agrega generosamente dos capas de cera glas sobre todas las superficies en donde estará en contacto con la mezcla, como se aprecia en los ítems C2 y C3 de la figura 2.7.

Figura 2. 7 *aplicación de cera Glass.*



C1

C2

C3

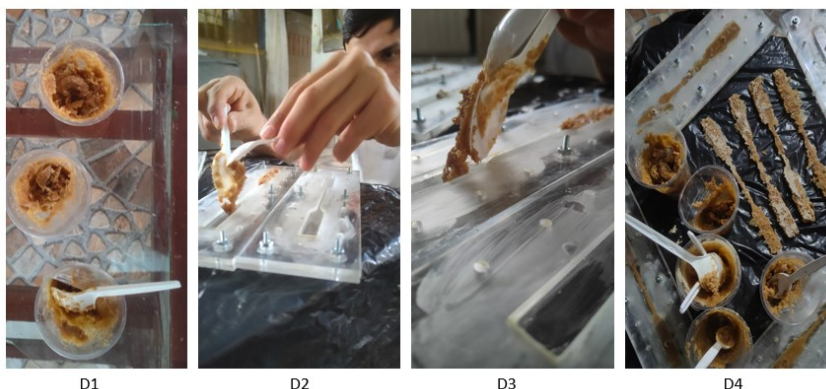
Fuente: Elaboración del autor.

En la figura 2.7 se realiza una mezcla que genera una reacción térmica, se puede lograr reaccionar con la superficie de las plaquetas, para ello se usa una capa de papel Contact transparente y sobre este se agrega cera C1, en la figura C2 se evidencia que todas las caras superiores e inferiores de los moldes se agrega papel Contact y en la figura C3 se evidencia que la cera es agregada generosamente por todos los vértices de la plaqueta intermedia.

- **Proceso de mezclado**

Con lo sugerido de 2 minutos por la tienda de químicos Neiva, para la mezcla a una temperatura ambiente de 18 °C se alcanza a endurecer en menos de 2 minutos y no permite preparar la probeta y el resultado no es homogéneo en la probeta final.

Figura 2. 8 *llenado y elaboración de probetas de tracción.*



Fuente: Elaboración del autor.

En la figura 2.8 se explica que ítem, D1 se observó que es muy densa la mezcla al 50% de matriz y refuerzo, en la figura D2 se agrega la mezcla, en la figura D3 se vierte y luego se golpea el molde contra la superficie para liberar burbujas y la figura D4 se realiza el desmoldeo. Con endurecimiento poroso y discontinuo en la probeta en la figura 2.9:

Figura 2. 9 *probetas discontinuas.*



Fuente: Elaboración del autor.

Se puede apreciar que no es homogénea, luego de haber realizado presión con los tornillos, siempre quedan vacíos sobre la probeta., el tiempo de curado fue de 16 horas.

- **Segunda prueba- Probetas de tracción.**

Al lograr la mezcla de trabajo del compuesto, y que fuera manipulable se usó en la siguiente figura 2.10, una reducción del material de refuerzo:

Figura 2. 10 *nueva mezcla para probetas de tracción.*



E1. 54 gramos.



E2. 9 gramos.



E3. Mezcla maleable

Fuente: Elaboración del autor.

Según la figura el ítem E1 se usó la misma cantidad de poliéster con 54 gramos y se redujo el pulverizado de café a 4 líneas con 9 gramos en la figura E2 y la figura E3 se puede evidenciar que es maleable y puede ser usada para ingresarla a la plaqueta de molde.

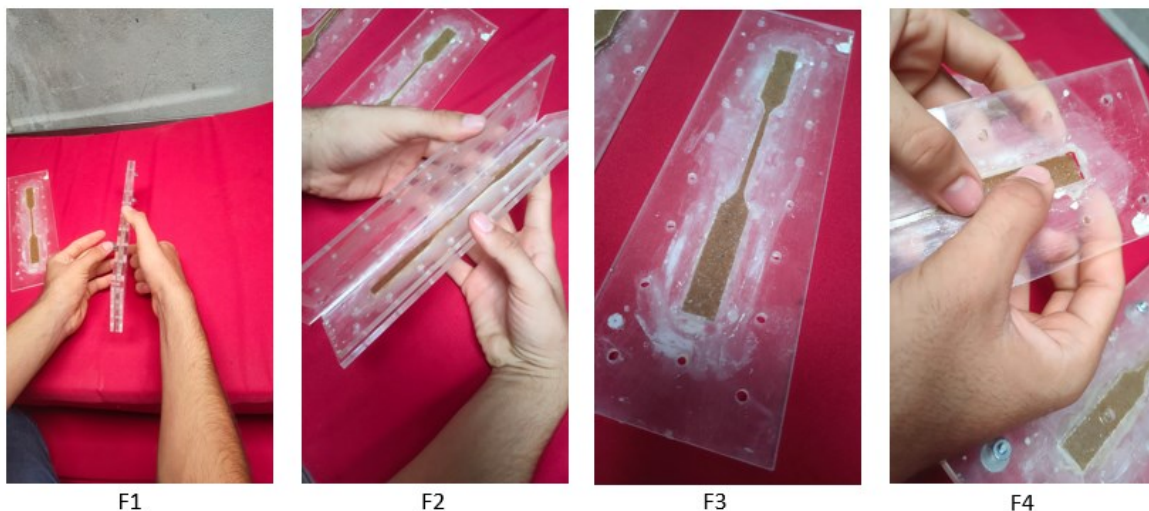
Figura 2. 11 *Curado de probetas de tracción.*



Fuente: Elaboración del autor.

En la figura 2.11, se aprecia que su esparcen dentro de la plaqueta fue muy poca y por los agujeros de escape de material no logró salir material, la mezcla al realizar la presión con los tornillos se esparció dentro de la plaqueta. Luego del secado por 16 horas, se procede en la figura 2.12 con el ítem F1 a retirar los tornillos, en el ítem F2 a retirar las plaquetas con mucho cuidado, en el ítem F3 queda la probeta y se retira la otra plaqueta de base y en el ítem F4 se retira desde un extremo realizando poca presión hasta soltar del molde.

Figura 2. 12 *extracción de probetas de plaquetas.*



F1

F2

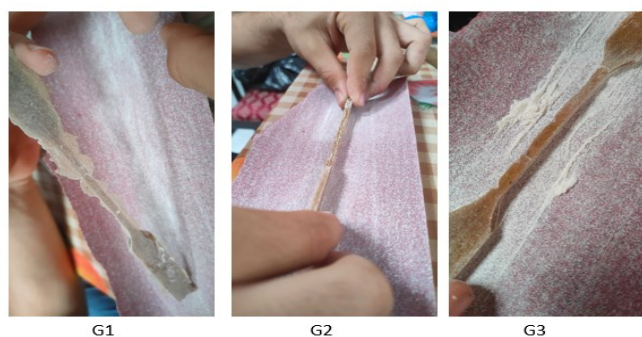
F3

F4

Fuente: Elaboración del autor.

Ya retirado la probeta, se procede a retirar de la figura 2.13 según el ítem G1 los bordos con una corta frío poco a poco y luego se usa lija número 80, en el ítem G2 se procede a lijar los laterales de la probeta realizando presión en los bordes anchos de la probeta y en el ítem G3 se retira los excesos que hayan quedado, además se retira un 0,5 mm del material para dejar la probeta a 3,5 mm.

Figura 2. 13 *Pulido de probetas.*

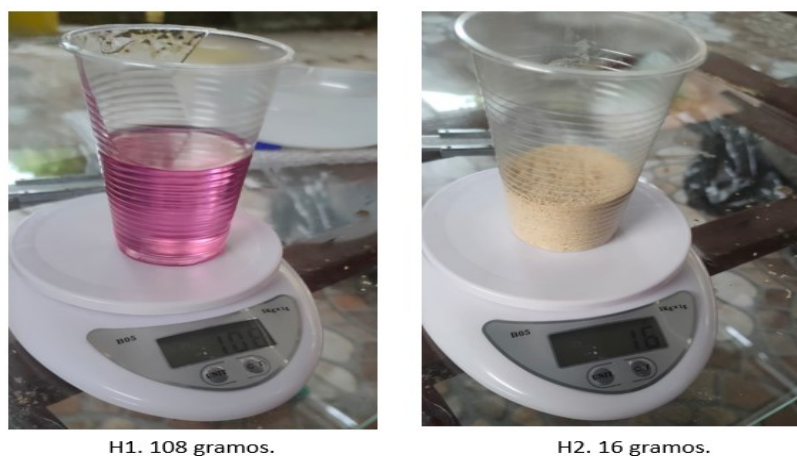


Fuente: Elaboración del autor.

- **Primer prueba- Probetas de flexión**

Para lograr una mezcla similar al realizado en la probeta a tracción, se emplea una cantidad menor de pulverizado; así se aprecia en la figura 2.14.

Figura 2. 14 *mezcla para probetas de flexión.*

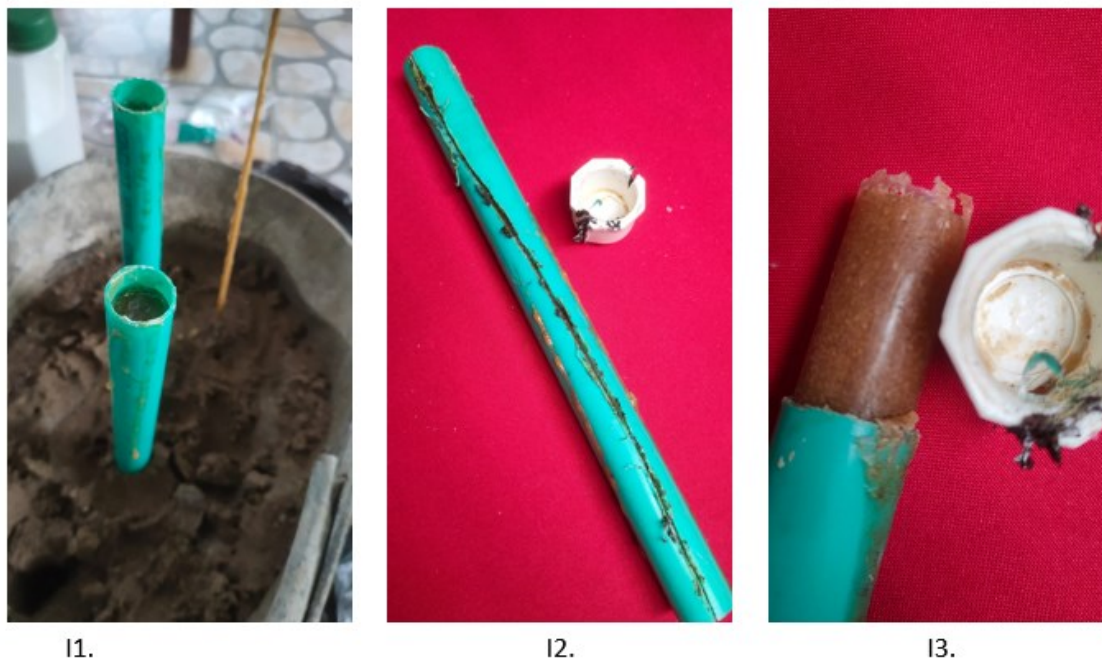


Fuente: Elaboración del autor.

En el ítem H1 se usó una cantidad de 15 líneas con un peso de 108 gramos y pulverizado de madera de café a 16 gramos como se aprecia en el ítem H2, dicha cantidad de poliéster se midió sobre el tubo de 24 cm de largo en el cual se deja unos 8 cm antes de su llenado con el fin de dar espacio al pulverizado.

Para lograr que la probeta no se adhiere al tubo de PVC se usó cera glas, en donde se aplicó dos capas generosas, además para lograr que la mezcla bajara totalmente se usó una barra de madera lisa y limpia con fin de ayudar a distribuir la mezcla mientras decencia por el tubo.

Figura 2. 15 extracción de probetas de flexión.



Fuente: Elaboración del autor.

En la figura 2.15 el ítem I 1 se usó como base arena humedad para dejar el tubo de manera vertical, además permite liberar el calor de la mezcla y no deformar el tubo mientras este se calienta, en el ítem I2 para lograr retirar el tubo y el tapón se usó un cuchillo caliente para

ir realizando corte sobre el tubo sin llegar a la probeta, luego se procede a expandir el tubo en un extremo y con la cera aplicada se aplica un poco de fuerza en un extremo permitiendo salir la probeta según se observa en el ítem I3.

1.7.7 Pruebas en laboratorio

Para lograr un buen resultado se escogen las mejores probetas tanto de tracción como de flexión, en donde se procede a su marcado las asignaciones realizadas por los encargados del SENA Bogotá.

Figura 2. 16 marcado de probetas.



Fuente: Elaboración del autor.

La codificación usada fue la siguiente y se ve en la figura 2.16: Flexión =085-1, 085-2, 085-3 y para Tracción: 086-1, 086-2, 086-3. Dicha codificación se aprecia en la figura anterior. Cada una de las probetas se revisaron en su espacio de posible fractura y longitud en el cual

debe aparecer la falla. Dicha comprobación, permitió generar y dar paso a usar el formato de autorización de pruebas en el cual se evidencia en la siguiente figura 2.17:

Figura 2. 17 aprobación de pruebas y uso de equipos en flexión.

Código: T-065
Versión: 002
Página 1 de 1
Inicio de Vigencia: 2021-03-30

CENTRO DE MATERIALES Y ENSAYOS
REGIONAL DISTRITO CAPITAL
HOJA DE RUTA ITEM DE ENSAYO

SENA

No. Cotización: CME-22-086

INFORMACION ITEM DE ENSAYO										
No. Item	ID CLIENTE (Identificación del item de ensayo dado por el cliente)	Verificación realizada en F-011 Cotización	Fecha de Verificación	Descripción del item de ensayo	Ensayo a realizar	Método de ensayo	Cant. Ensayos	ID LAB (Código del item de ensayo asignado por el Laboratorio)	Fecha de recepción item de ensayo	Fecha pactada entrega de resultados por analista
1	MUESTRA 1	VERIFICADO	2022-05-04	Material compuesto derivado del polvo de madera del palo de café (Castillo) con una Matrix de Poliéster.	Flexion Polimeros	Método Interno	1	CME-22-086-1	2022-05-04	
2	MUESTRA 2	VERIFICADO	2022-05-04	Material compuesto derivado del polvo de madera del palo de café (Castillo) con una Matrix de Poliéster.	Flexion Polimeros	Método Interno	1	CME-22-086-2	2022-05-04	
3	MUESTRA 3	VERIFICADO	2022-05-04	Material compuesto derivado del polvo de madera del palo de café (Castillo) con una Matrix de Poliéster.	Flexion Polimeros	Método Interno	1	CME-22-086-3	2022-05-04	
No. Item	Laboratorio al que ingresa item(s)	Fecha de entrega de item (s) al analista	Hora de entrega de item(s)	Nombre del Analista quien recibe item(s) para ensayo	Firma del analista quien recibe item(s)	Fecha de ejecución del ensayo	Fecha de entrega item(s) ensayados	Firma quien recibe item(s) ensayados		
1-3	LABORATORIO POLIMEROS	2022-05-04	10:00 Am							

OBSERVACIONES

El cliente solicita informar que:
Estas pruebas se realizan con el propósito de generar un aporte técnico al proyecto de grado "Obtención y caracterización de un material compuesto de matriz poliéster reforzado con pulverizado de madera de café".

Fuente: Resultados SENA Bogotá.

En la figura 2.18 se observó que el Sena certificó la prueba y verificar por medio del código generado CME-22-086, el cual permite dar paso a usar los equipos para las pruebas de flexión de polímeros.

Figura 2. 18 aprobación de pruebas y uso de equipos en tracción.

CENTRO DE MATERIALES Y ENSAYOS
REGIONAL DISTRITO CAPITAL
HOJA DE RUTA ITEM DE ENSAYO

Código: F-065
Versión: 007
Página 1 de 1
Inicio de Vigencia: 2021-03-30

No. Colización		CME-22-085								
INFORMACIÓN ITEM DE ENSAYO										
No. Item	ID CLIENTE (Identificación del item de ensayo dado por el cliente)	Verificación realizada en F-011 Colización	Fecha de Verificación	Descripción del item de ensayo	Ensayo a realizar	Método de ensayo	Cant. Ensayos	ID LAB (Código del item de ensayo asignado por el Laboratorio)	Fecha de recepción item de ensayo	Fecha pactada entrega de resultados por analista
1	MUESTRA 1	1521/1000	2022-05-04	Material compuesto derivado del polvillo de madera del palo de café (Castillo) con una Matrix de Poliéster.	Ensayo de Tensión en Polímeros.	Método Interno	1	CME-22-085-1	2022-05-04	
2	MUESTRA 2	1521/1000	2022-05-04	Material compuesto derivado del polvillo de madera del palo de café (Castillo) con una Matrix de Poliéster.	Ensayo de Tensión en Polímeros.	Método Interno	1	CME-22-085-2	2022-05-04	
3	MUESTRA 3	1521/1000	2022-05-04	Material compuesto derivado del polvillo de madera del palo de café (Castillo) con una Matrix de Poliéster.	Ensayo de Tensión en Polímeros.	Método Interno	1	CME-22-085-3	2022-05-04	
No. Item	Laboratorio al que ingresa item(s)	Fecha de entrega de item (s) al analista		Hora de entrega de item(s)	Nombre del Analista quien recibe item(s) para ensayo	Firma del analista quien recibe item(s)	Fecha de ejecución del ensayo	Fecha de entrega item(s) ensayados	Firma quien recibe item(s) ensayados	
1-3	Laboratorio Polímeros	2022-05-04		10:00 am						
OBSERVACIONES										
El cliente solicita informar que: Estas pruebas se realizan con el propósito de generar un aporte técnico al proyecto de grado "Obtención y caracterización de un material compuesto de matriz poliéster reforzado con pulverizado de madera de café".										

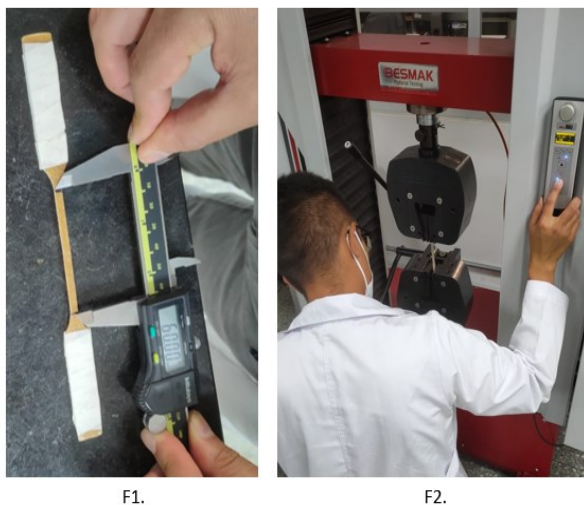
Fuente: Resultados SENA Bogotá.

En la figura anterior se certificó la prueba con código CME- 22- 085, el cual permite usar los equipos para ensayos a tensión en polímeros.

Luego de generado y verificado las probetas, se marcan las probetas de tracción, con el fin de estimar la posible zona de fallo. El equipo usado es el ESMAK BMT- E SERIES, este equipo permite lograr los ensayos de flexión y tracción ya que posee partes desarmables y ajustables para cada prueba.

- **Prueba de tracción**

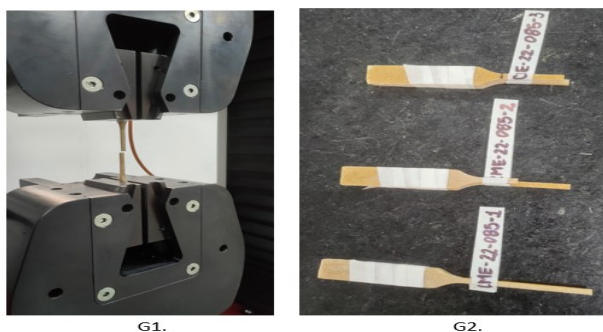
Figura 2. 19 *marcado y puesta de probetas de tracción.*



Fuente: Elaboración del autor.

Se deja un margen de 60 mm según Figura 2.19, el ítem F1 de la zona en la que el material llega a su fallo, en el ítem F2 se puede apreciar que instala la probeta y se procede a realizar la activación del equipo para que este pueda aplicar la carga y ser registrada en una base de datos. En el ítem F3 se aprecia cómo la probeta queda ubicada en la máquina BMT -E-SERIES. Luego de ser aplicada las cargas, se puede apreciar que luego de fallar el material, se suspende la prueba. Según la figura este proceso se realizó en cada una de las probetas.

Figura 2. 20 *resultado final de probetas a tracción.*



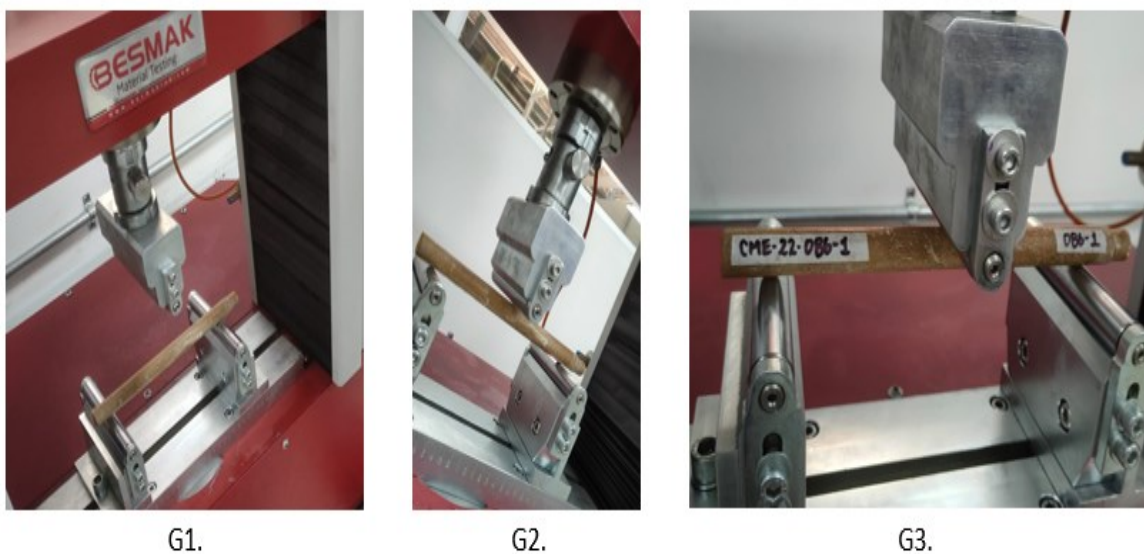
Fuente: Elaboración del autor.

La figura 2.20, el ítem G1 evidencia que la probeta falló en un aproximado de la zona media, lo cual caracteriza que la probeta fue lo más homogénea en su preparación como en el caso de la 085-3, en las pruebas de las otras dos probetas que fueron aprobadas y certificadas, el resultado es válido ya que se dio la fractura en la zona de los 60 mm, por lo tanto las tres pruebas son válidas para emplear sus datos y ser analizados, la probeta 085 -2 y 085-1 fallaron en una zona cercana al punto medio de la probeta.

- **Prueba de flexión**

La máquina BESMAK requería de retirar las piezas de tracción y ubicar ahora las piezas de flexión, en donde se puede apreciar en la figura 2.21.

Figura 2. 21 *ubicación de probetas para prueba de flexión.*

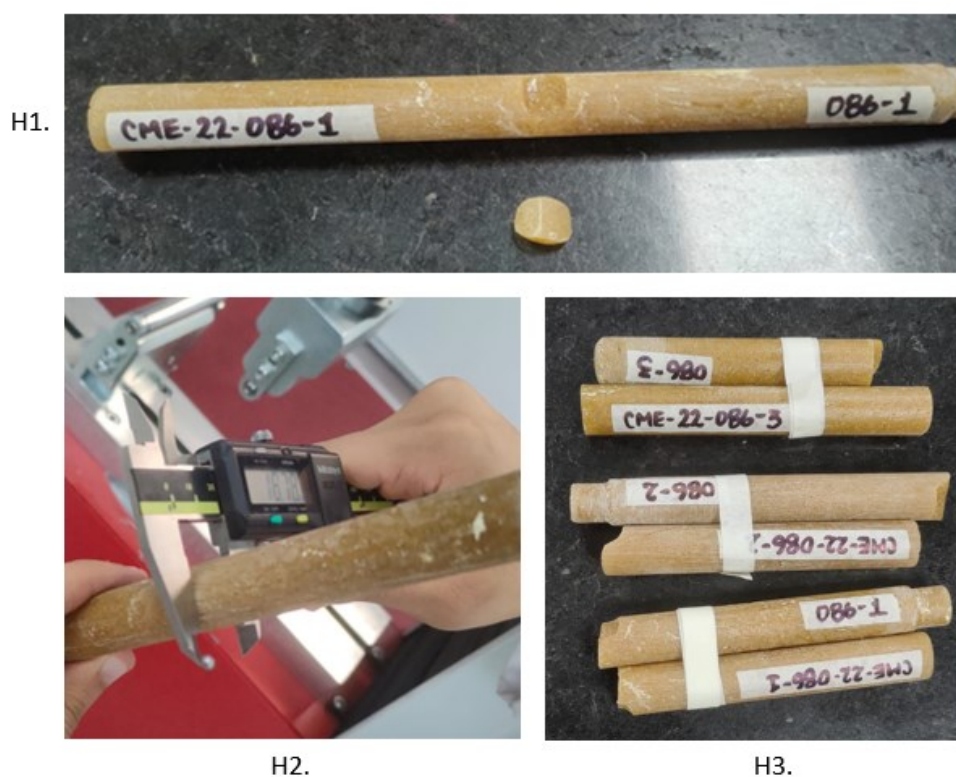


Fuente: Elaboración del autor.

En la Figura 2.21, el ítem G1 se ubicó las probetas para flexión, en cual se asimila como un cuerpo apoyado en dos extremos y su carga en la mitad, en la figura G2 se posiciona la máquina para que haga contacto con la superficie de la probeta, en la figura G3 se evidencia que al iniciar la carga el material no se deforma y la pieza se mantiene estable.

En la figura 2.22, el ítem H2 siguiente se verifica el diámetro de 18,72 mm en la zona central, se puede apreciar que el primer desprendimiento de material no produce fractura o cizalladura total, solamente un desprendimiento en la parte que se ubicó la carga.

Figura 2. 22 resultados de prueba a flexión.



Fuente: Elaboración del autor.

Luego de realizadas las pruebas se evidencia que la fractura no es uniforme, las fracturas en las probetas de flexión se dieron en la zona que se aplicó la carga como se ve en el ítem H1, en figura H3 se evidencia que las tres probetas presentaron el mismo comportamiento de desprender una parte del material y luego se provocaba el fallo.

2. Resultados y análisis de resultados

2.1 Resultados

Se presentaron resultados en cuanto a la construcción y con los valores hallados durante los ensayos por laboratorio en tracción y flexión.

2.1.1 Resultados durante la construcción

De los resultados obtenidos se resaltó la construcción de las probetas, ya que al realizar un estudio sobre antecedentes se encontraron falencias al realizar las probetas y para evitar este tipo de obstáculos, se propuso un diseño de molde por etapas el cual permitió ser armado varias veces para obtener las probetas en el caso de las de tracción, ya que el calor generado disuelve parte del acrílico y este queda adherido con la probeta, pero como se usó Papel Contact con cera Glass y se evitó este contacto térmico y químico del compuesto con el acrílico.

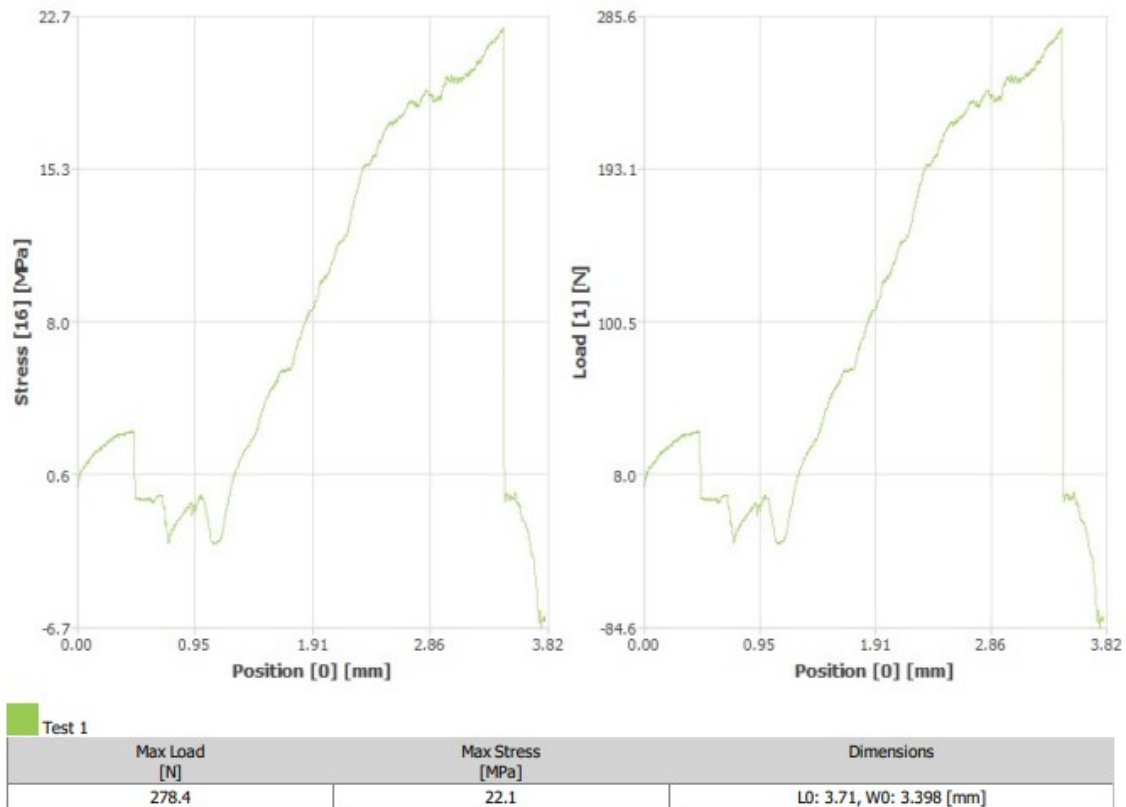
En el caso de probeta de para flexión, fue importante realizar el secado con arena humedad ya que evitaba, que mientras esta se seca, produjera una probeta no lineal. Ya que se presentó temperaturas de 65°C a 70 °C durante el secado.

2.1.2 Resultados obtenidos de las pruebas de laboratorio

Para realizar las pruebas en el laboratorio del Sena Bogotá, se debió revisar una por una de las probetas y verificar sus medidas en cuanto a los rangos permitidos por las normas ASTM D638. Durante estas pruebas se marcó las zonas en las cuales se debía producir el fallo ya que si esta no se realizaba en la zona delimitada se descarta la probeta, y esto a su vez confirma que la mezcla de, matriz de poliéster y refuerzo no fue uniforme en cuanto su preparación con el pulverizado de madera de café.

2.1.3 Resultado a tracción de probeta CME-22-085-1

Tabla 3- 1 Resultado de probeta CME-22-085-1



Fuente: Programa BMT series- E. Sena Bogotá.

El análisis de resultado obtenido para la probeta, posee una variación de esfuerzo al momento que llega antes de los 0,7 Mpa y la posición 0,95 mm. Posterior a ello, se incrementa el esfuerzo de manera progresiva hasta llegar al fallo en los 22,1 Mpa con una carga de 278,4 N. El valor de la carga de 8N no es progresiva hasta el valor después del 0,95 mm, después de esa posición la carga empieza a crecer hasta provocar el fallo de la probeta con una carga de 278,4 N. Realizando el cálculo de manera manual se obtiene partiendo de la ecuación de esfuerzo a tracción:

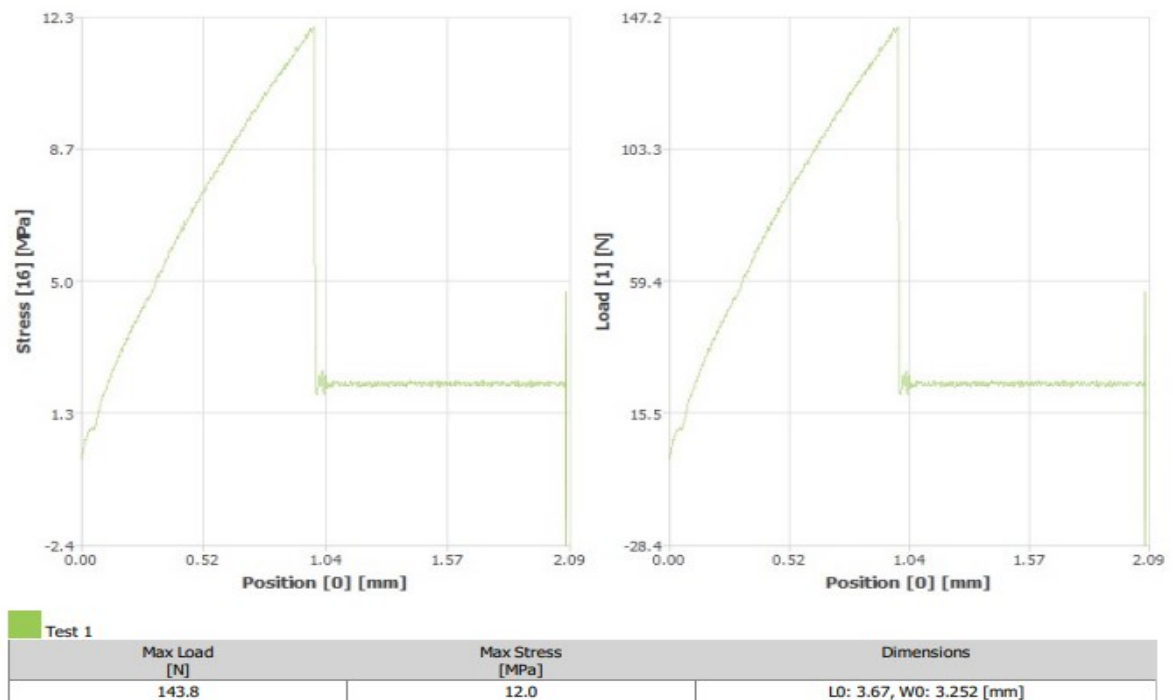
$$\text{Esfuerzo a tracción} = \frac{F}{a * b}$$

$$\text{Esfuerzo a tracción} = \frac{278,4N}{3,71 \text{ mm} * 3,39 \text{ mm}} = 22,13582043 \text{ Mpa}$$

La probeta presenta falla al llegar a los 22,13 Mpa.

2.1.4 Resultado a tracción de probeta CME-22-085-2

Tabla 3- 2 Resultado de probeta CME-22-085-2



Fuente: Programa BMT series- E. Sena Bogotá.

El análisis de resultado obtenido para la probeta, posee una variación de esfuerzo antes de empezar 1 Mpa, manteniéndose constante su deformación hasta la posición cercana a 1 mm. Posterior a ello, el fallo ocurrió a los 12 Mpa con una carga de 143,8 N. Antes de la carga de 15,5 N se inicia la deformación hasta el punto de cercano de 1 mm y luego se provoca el

fallo de la probeta. Realizando el cálculo de manera manual se obtiene partiendo de la ecuación de esfuerzo a tracción:

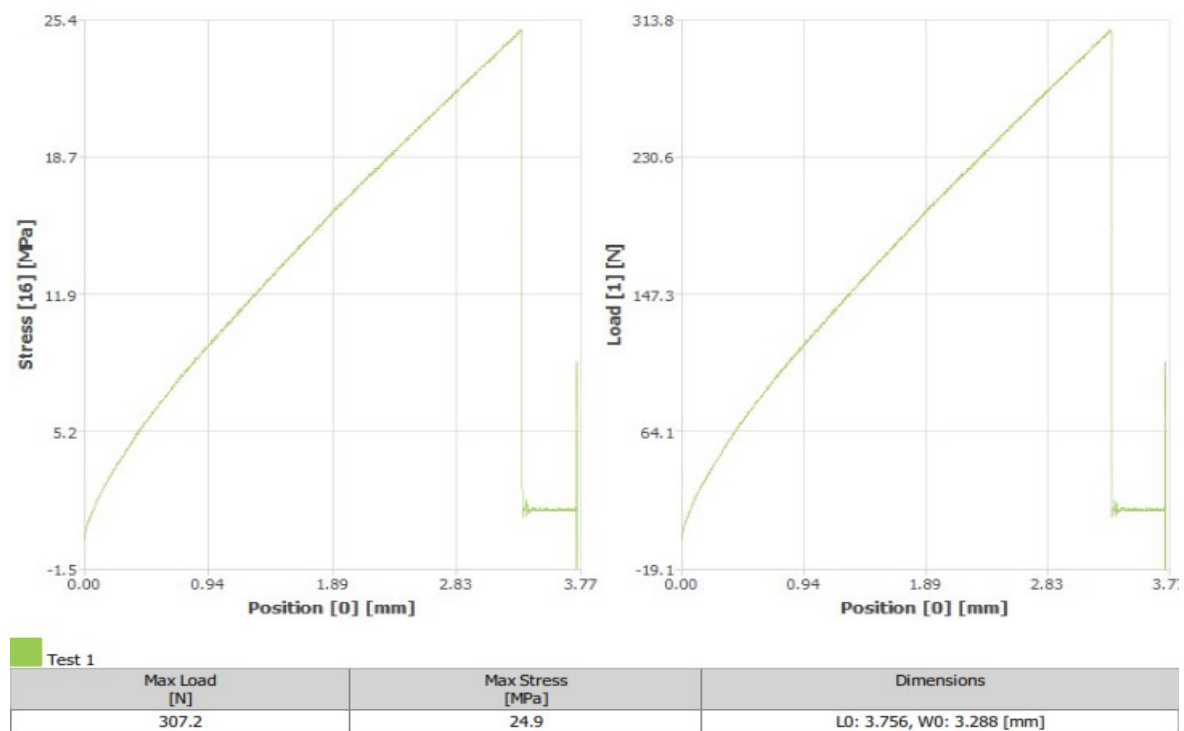
$$\text{Esfuerzo a tracción} = \frac{F}{a * b}$$

$$\text{Esfuerzo a tracción} = \frac{143,8 N}{3,67 mm * 3,252 mm} = 12,04 \text{ Mpa}$$

La probeta presenta falla al llegar a los 22,1302 Mpa.

2.1.5 Resultado a tracción de probeta CME-22-085-3

Tabla 3- 3 Resultado de probeta CME-22-085-3



Fuente: Programa BMT series- E. Sena Bogotá.

El análisis de resultado obtenido para la probeta, posee una variación de esfuerzo luego de pasar por los 5,5 Mpa, desde este esfuerzo se mantiene la gráfica de forma progresiva hasta el fallo con un esfuerzo de 24,9 Mpa en la posición media del rango 2,83 – 3,77 mm. El

comportamiento de la carga en la probeta se mantiene hasta el fallo con una carga de 307,2 N. Realizando el cálculo de manera manual se obtiene partiendo de la ecuación de esfuerzo a tracción:

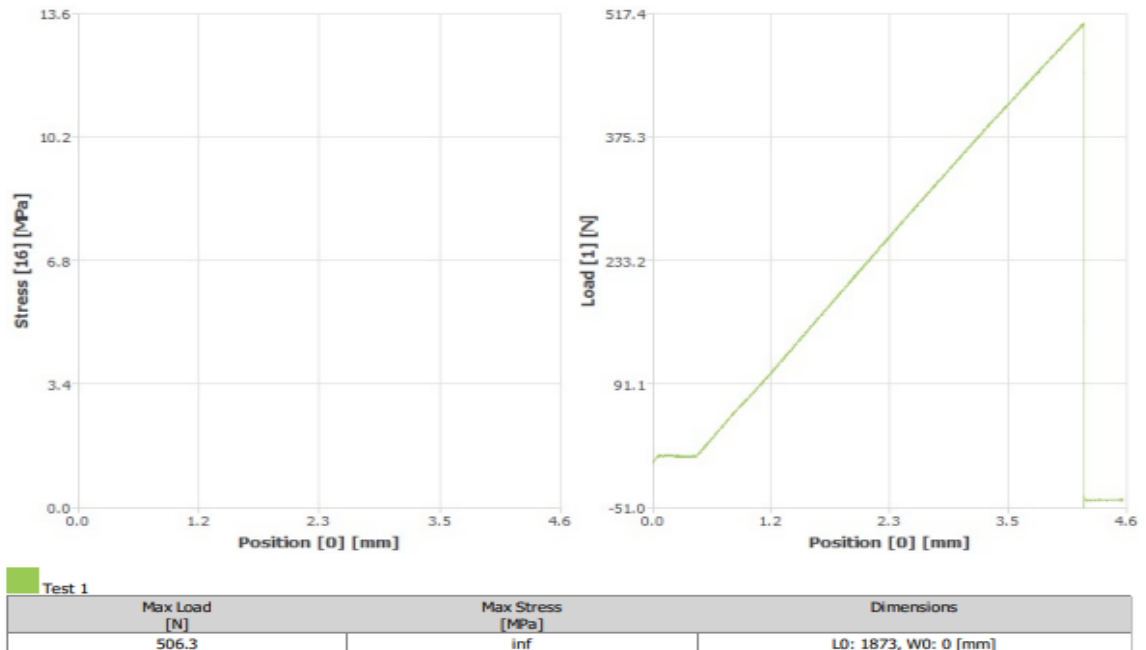
$$\text{Esfuerzo a tracción} = \frac{F}{a * b}$$

$$\text{Esfuerzo a tracción} = \frac{307,2N}{3,75 \text{ mm} * 3,28 \text{ mm}} = 24,875 \text{ Mpa}$$

La probeta presentó falla al llegar a los 24,875 Mpa.

2.1.6 Resultados de flexión de probeta CME 086 -1

Tabla 3- 4 Resultado de probeta CME-22-086-1



Fuente: Resultados SENA Bogotá.

Para esta prueba el resultado se basó sobre la carga ejercida, ya que el programa no arrojó el esfuerzo, por lo tanto, se decide calcular manualmente según la carga aplicada. La carga tiene una tendencia lineal y progresiva antes de la posición 1,2 mm y una carga menor a los

91 N, se mantiene constante hasta los 506,3 N con fallo en la posición con rango de 3.5 – 4.6 mm.

Se usó un micrómetro digital para tomar el valor del diámetro varias veces (ver tabla 3-5), para obtener un promedio de la medida arrojada del diámetro, con el valor hallado se determinó en cuanto la carga máxima ejerce la fractura y se determina el esfuerzo máximo a flexión.

Tabla 3- 5 Resultado promedio del diámetro para cálculo de esfuerzo a flexión 086-1

	DIÁMETRO		Carga Máxima kN	Área mm ²	Esfuerzo (Mpa)
	Valor 1(mm)	Valor 2(mm)			
CME-22-086-1	Valor 1(mm)	18,78	0,506	275,52845 2	23,28509953
	Valor 2(mm)	18,82			
	Valor 3(mm)	18,85			
	Valor 4(mm)	18,59			
	Valor 5(mm)	18,61			
	PROMEDIO	18,73			

Fuente: Elaboración del autor.

Empleando la ecuación de esfuerzo a flexión:

$$F = 506,3 \text{ N}$$

$$L = \text{Longitud de la barra } 200 \text{ mm}$$

$$D = \text{Diámetro } 18,73 \text{ mm}$$

$$\text{Esfuerzo a flexión} = \frac{3 * 506,3 \text{ N} * 200 \text{ mm}}{2(18,73)^3} = 23,28 \text{ Mpa}$$

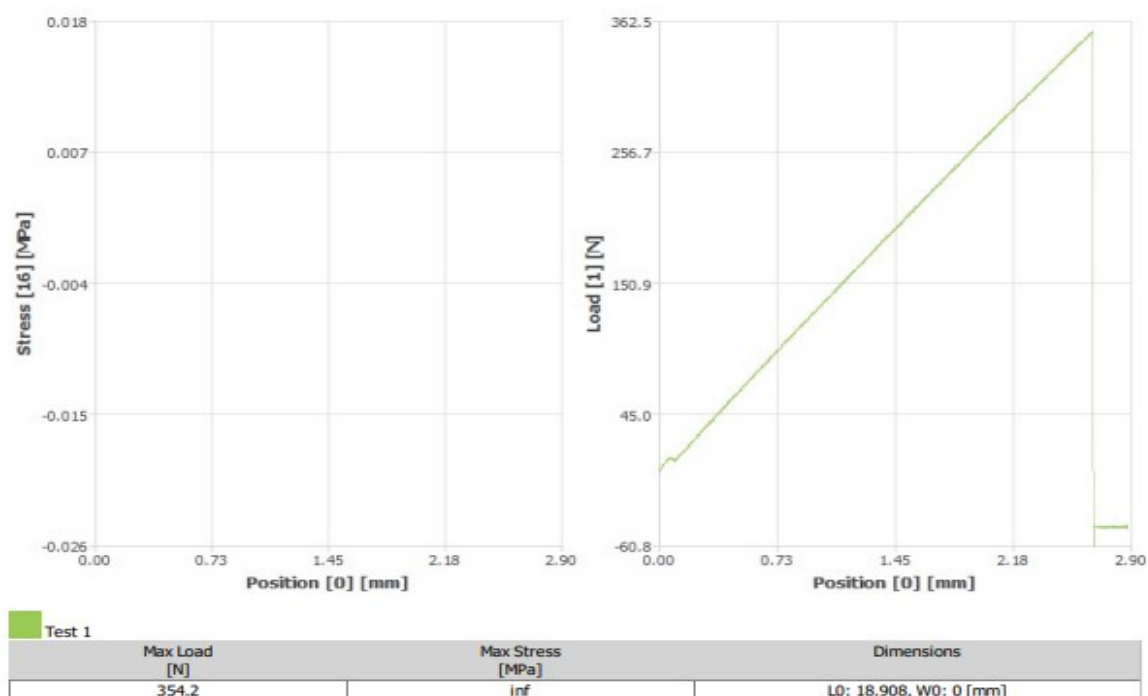
El esfuerzo a flexión es de 23,28 Mpa.

2.1.7 Resultados de flexión probeta CME 086 -2

Para esta prueba el resultado se basó sobre la carga ejercida, ya que el programa no arrojó el esfuerzo, por lo tanto, se decide calcular manualmente según la carga aplicada. La carga

tiene una tendencia lineal y progresiva antes de la posición 0,73 mm y una carga menor a los 45 N, se mantiene constante hasta los 354,2 N con fallo antes de la posición 2,9 mm.

Tabla 3- 6 Resultado de probeta CME-22-086-2



Fuente: Elaboración del autor.

Se usó un micrómetro digital para tomar el valor del diámetro varias veces (ver tabla 3-6), para obtener un promedio de la medida arrojada del diámetro, con el valor hallado se determinó en cuanto la carga máxima ejerce la fractura y se determina el esfuerzo máximo a flexión.

Tabla 3- 7 Resultado promedio del diámetro para cálculo de esfuerzo a flexión 086- 2

	DIÁMETRO		Carga Máxima kN	Área mm ²	Esfuerzo (Mpa)
	Valor 1(mm)	Valor 2(mm)			
CME-22-086-2	Valor 1(mm)	18,83	0,354	280,790289	22,63365282
	Valor 2(mm)	18,85			
	Valor 3(mm)	18,93			
	Valor 4(mm)	19,93			
	Valor 5(mm)	18,92			
	PROMEDIO	18,908			

Fuente: Elaboración del autor.

Empleando la ecuación de esfuerzo a flexión:

$$F = 354,2 \text{ N}$$

$$L = \text{Longitud de la barra } 200 \text{ mm}$$

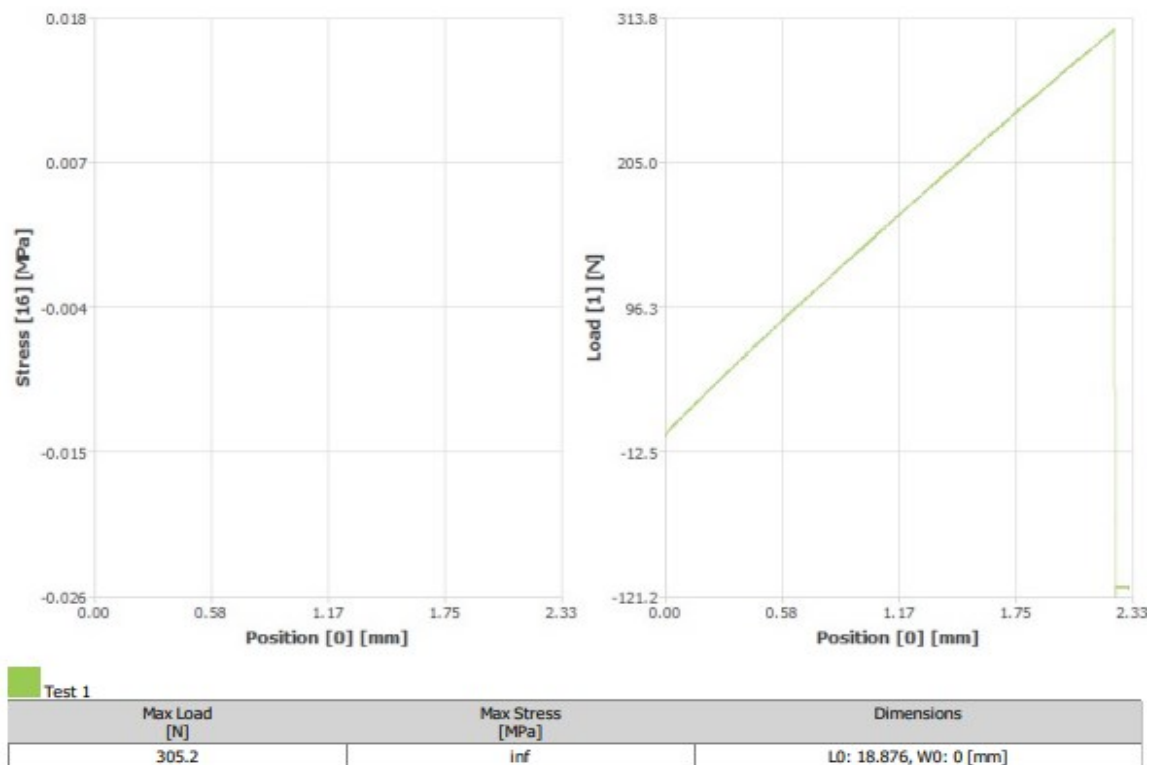
$$D = \text{Diámetro } 18,908 \text{ mm}$$

$$\text{Esfuerzo a flexión} = \frac{3 * 354,2 \text{ N} * 200 \text{ mm}}{2(18,908)^3} = 22,63 \text{ Mpa}$$

El esfuerzo a flexión es de 22,63 Mpa.

2.1.8 Resultados de flexión CME 086 -3

Tabla 3- 8 Resultado de probeta CME-22-086-3



Para esta prueba el resultado se basó sobre la carga ejercida, ya que el programa no arrojó el esfuerzo, por lo tanto, se decide calcular manualmente según la carga aplicada. La carga

tiene una tendencia lineal y progresiva antes de la posición 0,58 mm y una carga menor a los 96,3 N, se mantiene constante hasta los 305,2 N con fallo antes de la posición 2,33 mm.

Tabla 3- 9 Resultado promedio del diámetro para cálculo de esfuerzo a flexión 086- 3

	DIÁMETRO		Carga Máxima kN	Área mm ²	Esfuerzo (Mpa)
	Valor (mm)	Valor (mm)			
CME-22-086-3	Valor 1(mm)	18,81	0,305	279,662797	22,77066585
	Valor 2(mm)	18,89			
	Valor 3(mm)	18,9			
	Valor 4(mm)	19,03			
	Valor 5(mm)	18,75			
	PROMEDIO	18,87			

Fuente: Elaboración del autor.

Empleando la ecuación de esfuerzo a flexión:

$$F = 305,2N$$

$$L = \text{Longitud de la barra } 200 \text{ mm}$$

$$D = \text{Diámetro } 18,87\text{mm}$$

$$\text{Esfuerzo a flexión} = \frac{3 * 305,2 N * 200 \text{ mm}}{2(18,87)^3} = 22,77 \text{ Mpa}$$

El esfuerzo a flexión es de 22,77 Mpa.

2.2 Análisis de resultados

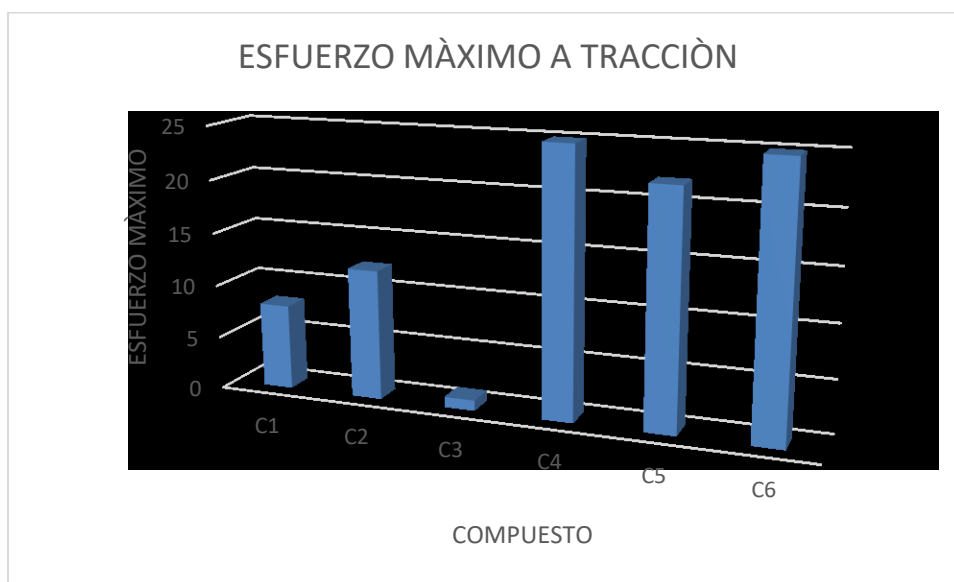
Partiendo de los antecedentes socializados durante la investigación, se compararon los valores de tracción y flexión con algunos compuestos.

2.2.1 Análisis y comparación de compuestos a tracción.

Partiendo de los compuestos: C1: bio-compuesto a partir de la cascarilla del café con esfuerzo a tracción de esfuerzo de 8 Mpa (Tenjo & Trujillo, 2017), C2: bio-compuestos a base de cascarilla de arroz mediante procesos de infusión a vacío con esfuerzo a tracción de 12,2 Mpa (material frágil (Herrera & Parra, 2018),C3: material biocompuesto matriz

(almidón de yuca) y refuerzo (Fibra de fique) con esfuerzos máximos de 0,943Mpa (Liévano & Guarnizo, 2018), C4: compuestos a base de fibra de fique y fibras sintéticas con esfuerzo por tracción de 24,9 Mpa(Gracia, 2014), C5 polímero biodegradable compuesto utilizando Poli (ϵ -calacactona) y borra de café con esfuerzo de tracción de 21,95 Mpa (Mei & Innocentini-Mei, 2017). Se comparó los anteriores resultados con el esfuerzo a tracción que arrojó en una de las probetas con el valor más alto, el cual fue 24,9 Mpa (C6) (ver tabla 3-10).

Tabla 3- 10 Análisis y comparación de compuestos por tracción



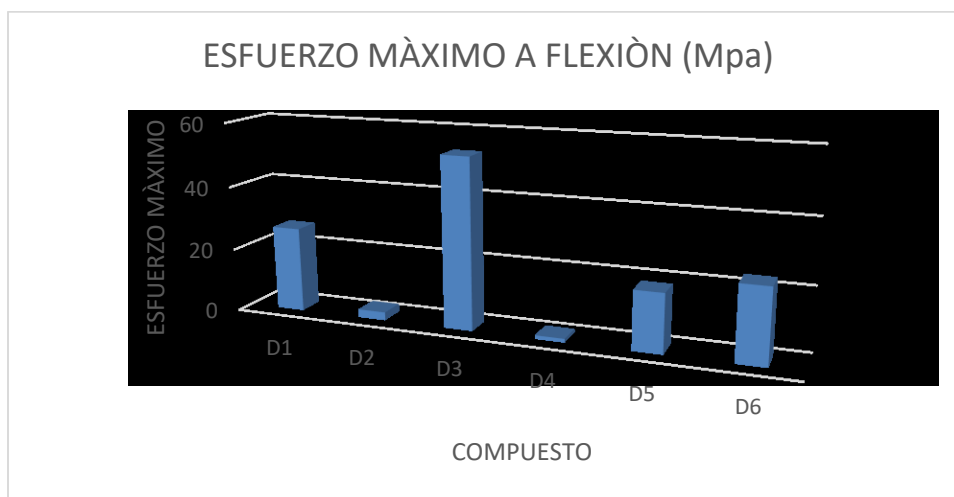
Fuente: Elaboración del autor.

De la tabla 3-10 anterior, se afirma que los compuestos en el rango de 20 a 25 Mpa; correspondientes a C4 (compuestos a base de fibra de fique y fibras sintéticas) y C5 (Polímero biodegradable compuesto utilizando Poli (ϵ -calacactona) y borra de café), tienen un esfuerzo similar al desarrollado de pulverizado de café y matriz de poliéster, poseen un valor cercano a los 24,9 Mpa. El compuesto C6, supera a los compuestos C1, C2 y C3 ya que están en valores desde los 0 a 15 Mpa.

2.2.2 Análisis y comparación de compuestos a flexión.

Al analizar y comparar de los antecedentes tratados en la investigación se tiene el siguiente análisis partiendo de : D1 bio-compuesto a partir de la fibra del pseudotallo de banano con un esfuerzo de 26,55 Mpa, D2 compuesto de fibra de fique reforzado con resina epóxica con un esfuerzo de 2,45 Mpa (Linero, 2010), D3 compuestos a base de fibra de fique y fibras sintéticas con un esfuerzo a flexión con un valor de 53,17 Mpa (Gracia, 2014), D4 compuesto de poliéster y fibra del pseudotallo de plátano con un esfuerzo a flexión de 1,067Mpa (Abril, 2019)., D5 compuesto a partir de residuos de madera de construcción civil con resina epoxi y aceites vegetales con un esfuerzo de flexión de 18,274 Mpa (Cavalcanti et al., 2020, p. 3). Al compararlo con el resultado más alto de las pruebas da flexión con un valor de 23,28 Mpa D6 (ver tabla 3-11)

Tabla 3- 11 Análisis y comparación de compuestos por flexión



Fuente: Elaboración del autor.

De la tabla 3-11 anterior, los compuestos D1 bio-compuesto a partir de la fibra del pseudotallo de banano, D5 compuesto a partir de residuos de madera de construcción civil con resina epoxi y aceites vegetales, posee esfuerzos entre el rango de 10 a 30 Mpa, en el

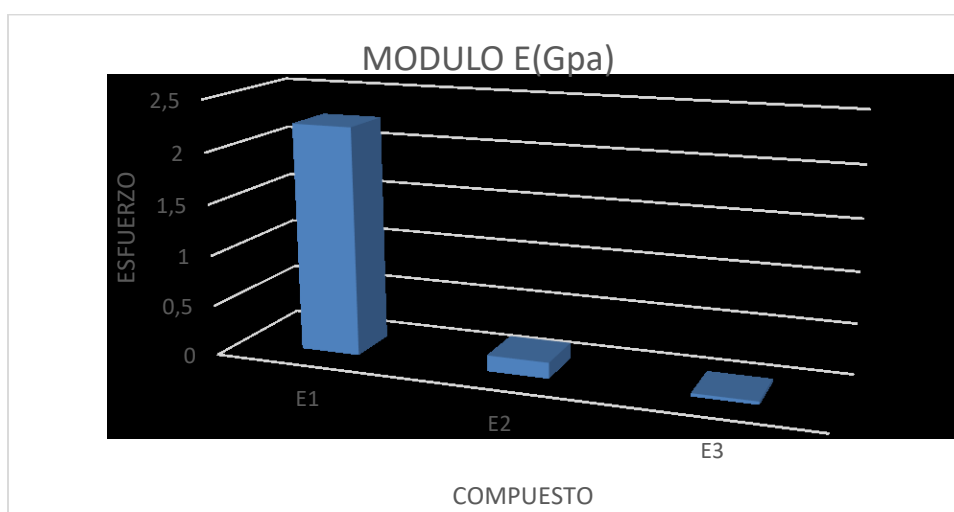
cual el compuesto de 23,28 Mpa correspondiente al proyecto se encuentra en los anteriores valores, por encima de los compuestos D2, D3 y D5. El compuesto que está por encima de todos los mencionados es el D3 compuestos a base de fibra de fique y fibras sintéticas con un esfuerzo a flexión de 53,17 Mpa.

2.2.3 Análisis y comparación del módulo elástico o módulo de Young

Partiendo de los resultados obtenidos en la prueba a tracción, de la probeta 085- 3, se tiene que en el anexo 01. Resultados prueba a tracción probeta 085-3, el módulo E tiene un valor de 0,028605 Gpa (28,6 Mpa) (E3), en el tiempo 9,96 s con una carga de 307, 24 N.

De donde al comparar con los otros compuestos se tiene:(E1) bio-compuesto a partir de la cascarilla del café con módulo E de 2,2480 Gpa. (E2) polímero biodegradable compuesto utilizando Poli (ϵ -calacactona) y borra de café modulo E153 Mpa (0,153 Gpa) (ver tabla 3-12).

Tabla 3- 12 Análisis y comparación de los módulos elásticos (Módulo E)



Fuente: Elaboración del autor.

Se afirma, que el módulo E1(módulo elástico o módulo de Young), está por encima de los compuestos E2 y E3.

2.2.4 Análisis de resultados para determinar la ductilidad del compuesto

Aplicando la ecuación de ductilidad se tiene:

*porcentaje de alargamiento = ((longitud final – longitud calibrada) /longitud calibrada) *100%*

$$porcentaje\ de\ alargamiento = \left(\frac{3,276 - 3,28}{3,28} \right) 100\%$$

$$porcentaje\ de\ alargamiento = 0,12\%$$

Según el valor, es menor al 5 % (Mott & Navarro Salas, 2009, p. 69), por lo tanto, es un material frágil.

2.2.5 Recomendaciones

Se recomienda para trabajar con poliéster; usar un entorno abierto que exista circulación de aire, ya que, al mezclar el catalizador y el poliéster, se generan gases fuertes para el ser humano.

Se recomienda realizar el ensayo a compresión, ya que puede obtener un compuesto con alta resistencia a ser comprimido.

Se debe verificar que servicio ofrece el laboratorio de materiales a usar para las pruebas, ya que puede generar más valores o definirse otras propiedades mecánicas del compuesto de poliéster y refuerzo con pulverizado de madera de café.

3. Conclusiones

Se determinó como parámetros normativos para la aplicación de los ensayos de tracción la norma ASTM D638, en los ensayos de flexión se aplicó la norma ASTM 790-17.

En la elaboración del compuesto no es viable realizar probetas tanto para flexión y tracción con mezcla que lleven porcentajes iguales en volumen ya que ocasiona vacíos en las probetas.

Se obtuvo como resultados en los ensayos de tracción un valor de 19,71 Mpa realizado con la norma ASTM D638.

Se logró un resultado en los ensayos de flexión un valor de 23,28 Mpa realizado con la norma ASTM 790-17.

Al determinar cómo propiedad mecánica el esfuerzo a tracción para el compuesto de matriz de poliéster y refuerzo con pulverizado de café, se obtuvo dos valores superiores con la probeta CME -22-085-1 y CME 22-085-2 entre 22,13 Mpa y 24,87 Mpa. Dicho valor es superior a los compuestos de Poli – Borra de café, compuesto almidón de yuca y fibra de fique, compuesto de cascarilla de arroz y compuesto cascarilla de café.

El valor de 23,28 Mpa para el esfuerzo a flexión del compuesto de matriz de poliéster y refuerzo de pulverizado de café, se consideró como el más bajo entre los analizados de la tabla de comparación de tesis en tracción y flexión.

Se determinó que el compuesto desarrollado tiene una ductilidad del 0,12 %, definiéndolo como un material frágil.

Se determinó un módulo elástico o de Young de 28,6 Mpa.

Referencias Bibliográficas

- Abril, C. G. P. (2019). Caracterización de la fibra del pseudo tallo de plátano como refuerzo y desarrollo de un material compuesto para fabricación de tejas. 114.
- Bai, J. (Ed.). (2013). Front matter. En *Advanced Fibre-Reinforced Polymer (FRP) Composites for Structural Applications* (pp. i-iii). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1533/9780857098641.frontmatter>
- Café de Huila. (s. f.). Federación Nacional de Cafeteros Huila. Recuperado 9 de marzo de 2022, de <https://huila.federaciondecafeteros.org/cafe-de-cauca/>
- Cafe.docx. (s. f.). ¿Recuperado 9 de marzo de 2022, de <https://view.officeapps.live.com/op/view.aspx?>
- Carlone, P., Sorrentino, L., & Kent, R. M. (2018). 7.16 Process Control for Polymeric Composite Manufacture. En P. W. R. Beaumont & C. H. Zweben (Eds.), *Comprehensive Composite Materials II* (pp. 337-354). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803581-8.03926-6>
- Cavalcanti, W. M., de Oliveira, L. S., Cangussu, L. B., Maziero, R., & de Castro, D. (2020). Produção, caracterização química e mecânica de compósitos a partir de resíduos de madeira da construção civil e resinas epóxi de óleos vegetais. 8.
- Chung, D. D. L. (2017a). 3 - Polymer-Matrix Composites: Structure and Processing. En D. D. L. Chung (Ed.), *Carbon Composites (Second Edition)* (pp. 161-217). Butterworth-Heinemann. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-804459-9.00003-8>

- Chung, D. D. L. (2017b). 4 - Polymer-Matrix Composites: Mechanical Properties and Thermal Performance. En D. D. L. Chung (Ed.), Carbon Composites (Second Edition) (pp. 218-255). Butterworth-Heinemann. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-804459-9.00004-X>
- Composites, N. (2016). Naval Composites. Naval Composites. <https://www.navalcomposites.com>
- de Oliveira, J. L., da Silva, J. N., Graciosa Pereira, E., Oliveira Filho, D., & Rizzo Carvalho, D. (2013). Characterization and mapping of waste from coffee and eucalyptus production in Brazil for thermochemical conversion of energy via gasification. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 21, 52-58. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.12.025>
- Díaz, Y. (2015). (PDF) Estudio preliminar de un material compuesto de matriz termoplástica con adición particulada en caracterización. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.10122.88004>
- Duarte, D. A. C. (2015). Estudio y caracterización de pvc reforzado con fibra lignocelulósica. 86.
- Federación Nacional de Cafe. (2020). Producción de café de Colombia en 2020 fue de 13,9 millones de sacos. Federación Nacional de Cafeteros. <https://federaciondefeteros.org/wp/listado-noticias/produccion-de-cafe-de-colombia-en-2020-fue-de-139-millones-de-sacos/>
- FPInstitut. (2017). Materiales Composite. Materiales cerámicos y compuestos. <https://materialesceramicosblog.wordpress.com/2017/05/22/abjfsb/>

- Gabarro, H. (2016). Materiales Compuestos. <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn114.html>
- Gamarra, L., Diaz, L., & Canelo Sierra, C. (2019). Ensayo a tracción de acero 1045.
- Gooch, J. W. (2011). ASTM D638. En J. W. Gooch (Ed.), *Encyclopedic Dictionary of Polymers* (pp. 51-51). Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-6247-8_856
- Gracia, L. A. P. (2014). Evaluación del comportamiento mecánico de los materiales compuestos a base de fibra de fique y fibras sintéticas. 85.
- Greene, J. P. (2021). 12—Polymer Composites. En J. P. Greene (Ed.), *Automotive Plastics and Composites* (pp. 191-222). William Andrew Publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818008-2.00007-6>
- Hamidi, Y. K., & Altan, C. M. (2018). 2.5 Process-Induced Defects in Resin Transfer Molded Composites. En P. W. R. Beaumont & C. H. Zweben (Eds.), *Comprehensive Composite Materials II* (pp. 95-106). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803581-8.09902-1>
- Hatti, P. S., P., H., L., S. K., Somanakatti, A. B., & M., R. (2022). Study on flexural behavior of glass-fiber reinforced polymer matrix composite. *Materials Today: Proceedings*, 54, 159-162. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.08.200>
- Hernández, R., Fernández Collado, C., Baptista Lucio, P., Méndez Valencia, S., & Mendoza Torres, C. P. (2014). *Metodología de la investigación*. McGraw-Hill Education.
- Herrera, D., & Parra, L. (2018). Caracterización de propiedades mecánicas en materiales biocompuestos a base de cascarilla de arroz mediante procesos de infusión a vacío. Universidad Antonio Nariño.

- Hsissou, R., Seghiri, R., Benzekri, Z., Hilali, M., Rafik, M., & Elharfi, A. (2021). Polymer composite materials: A comprehensive review. *Composite Structures*, 262, 113640. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2021.113640>
- Kumar Sharma, A., Bhandari, R., Sharma, C., Krishna Dhakad, S., & Pinca-Bretotean, C. (2022). Polymer matrix composites: A state of art review. *Materials Today: Proceedings*, 57, 2330-2333. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.12.592>
- Liévano, L., & Guarnizo, J. (2018). Caracterización de propiedades mecánicas de un material biocompuesto: Matriz (almidón de yuca) y refuerzo(Fibra de fique); zona Huila. Universidad Antonio Nariño.
- Linero. (2010). Compuesto de fibra de fique refrozado con resina epoxica. <https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/14351/u402333.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Logreira, C., Camilo, J., Miranda Palencia, J., Jefferson, Gómez Chimento, J., Narváez, A., Dainer, Rodríguez, D., Caydi, & Calvo, C. (2019). Ensayo de tracción de probetas.
- Marcovich, N. E. (2016). Materiales compuestos de matriz polimerica y refuerzos de origen vegetal [Thesis, Universidad Nacional de Mar del Plata. Facultad de Ingeniería; Argentina]. <http://rinfi.fi.mdp.edu.ar/xmlui/handle/123456789/72>
- Mei, L., & Innocentini-Mei, L. (2017). Caracterização de um compósito polimérico biodegradável utilizando Poli (ϵ -caprolactona) e borra de café. *Polímeros*, 27. <https://doi.org/10.1590/0104-1428.2139>
- Mejía, J. D. A. (2012). Refinamiento y funcionalización de fibras naturales en el desarrollo de un material compuesto de matriz pvc reforzado con fibras lignocelulósicas. 128.

- Montealegre, T. (2017). Obtención y caracterización de un material compuesto de matriz poliéster reforzado con fibras de guadua.
- Mott, R. L., & Navarro Salas, R. (2009). Resistencia de materiales. <https://elibro.net/ereader/elibrodemo/39532>
- Muhamad, I. I., Zahan, K. A., Pa'e, N., Salehudin, M. H., Khairuddin, N., Mohd Marsin, A., Yusof, A. H. M., & Salleh, E. (2019). 8—Accelerated testing methodology for long-term life prediction of cellulose-based polymeric composite materials. En M. Jawaid, M. Thariq, & N. Saba (Eds.), *Durability and Life Prediction in Biocomposites, Fibre-Reinforced Composites and Hybrid Composites* (pp. 149-171). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102290-0.00008-8>
- Ortega. (2016). Caracterización de aserrín de diferentes maderas. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-61852016000300012
- Park, S.-J., & Seo, M.-K. (2011). Chapter 7—Types of Composites. En S.-J. Park & M.-K. Seo (Eds.), *Interface Science and Technology* (Vol. 18, pp. 501-629). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-375049-5.00007-4>
- Pawar, M. D., & Joshi, R. (2022). Vibrational behaviour and mechanical properties of hybrid polymer matrix composites reinforced with natural fibres: A review. *Materials Today: Proceedings*, 54, 341-347. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.09.298>
- Posada, A. O. G., Téllez, D. A. L., Rojas, J. R., Barrado, J. R., Posada, A. O. G., Téllez, D. A. L., Rojas, J. R., & Barrado, J. R. (2017). Materiales compuestos de matriz polimérica usados para el blindaje de interferencia electromagnética. 22.
- Rendón, J. (2014). Producción de madera por las Variedades Castillo® y Tabi en sistemas agroforestales.

- Robayo, A. (2021). 2.2 Materiales compuestos de matriz polimérica. Issuu.
https://issuu.com/publicientificasemavi/docs/materiales_compuestos_final/s/12591035
- Sajan, S., & Philip Selvaraj, D. (2021). A review on polymer matrix composite materials and their applications. *Materials Today: Proceedings*, 47, 5493-5498.
<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.08.034>
- Sánchez, C. (2017). ENSAYO DE FLEXIÓN.
https://www.academia.edu/28039935/ENSAYO_DE_FLEXI%C3%93N
- Tenjo, C., & Trujillo, S. (2017). Diseño y caracterización de un bio-compuesto a partir de la cascarilla del café.
- Tiempo, C. E. E. (2017). De palos de café, que usualmente se queman, se produce madera fina y sólida para fabricar muebles. *El Tiempo*.
<https://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-3579649>
- Todor, M.-P., Kiss, I., & Cioata, V. G. (2021). Development of fabric-reinforced polymer matrix composites using bio-based components from post-consumer textile waste. *Materials Today: Proceedings*, 45, 4150-4156.
<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.11.927>
- Uhrich, K. E., & Abdelhamid, D. (2016). 3—Biodegradable and bioerodible polymers for medical applications. En L. Poole-Warren, P. Martens, & R. Green (Eds.), *Biosynthetic Polymers for Medical Applications* (pp. 63-83). Woodhead Publishing.
<https://doi.org/10.1016/B978-1-78242-105-4.00003-1>
- Upv. (2018). Compuestos reforzados con partículas.
https://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm15/pfcm15_9_1.html

- Vega, S., & Villegas, S. (2017). Elaboración de un material bio-compuesto a partir de la fibra del seudotallo de banano.
- Venkategowda, T., Manjunatha, L. H., & Anilkumar, P. R. (2022). Dynamic mechanical behavior of natural fibers reinforced polymer matrix composites – A review. *Materials Today: Proceedings*, 54, 395-401. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.09.465>
- Yang, Y., Boom, R., Irion, B., van Heerden, D.-J., Kuiper, P., & de Wit, H. (2012). Recycling of composite materials. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 51, 53-68. <https://doi.org/10.1016/j.cep.2011.09.007>

Anexos

3.1 Anexos 01. Resultados prueba a tracción probeta 085-3

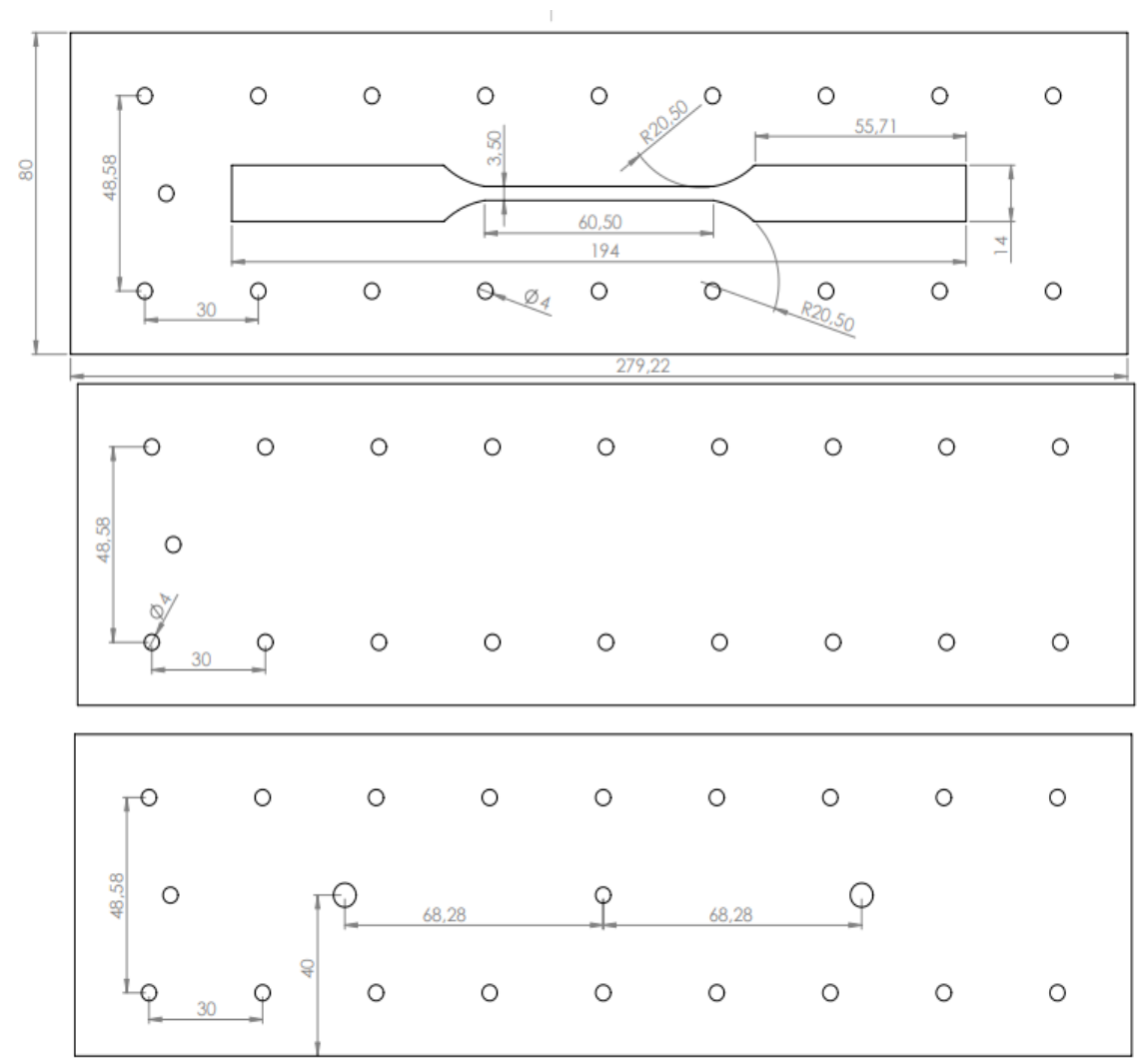
Time [s]	Position [0] [mm]	Load [1] [N]	Extensión [2] [mm]	Stress [16] [MPa]	Strain [17] [-]	Elongation [18] [%]	E modulus [21] [GPa]
0,15	0,034079	9,76095	0,001014	0,790378	0,00027	2,698385	2,929077
0,16	0,037416	10,3005	0	0,834067	0	0	inf
0,17	0,040752	11,8701	0,003336	0,961163	0,000888	8,882185	1,082124
0,18	0,044088	12,3606	0,006672	1,00088	0,001776	17,76437	0,56342
0,19	0,047466	12,3606	0,010051	1,00088	0,002676	26,758987	0,374035
0,2	0,050845	13,39065	0,013429	1,084287	0,003575	35,753605	0,303266
0,21	0,054181	14,4207	0,016765	1,167694	0,004464	44,63579	0,261605
2,91	0,954139	117,47475	0,916723	9,512335	0,244069	2440,689491	0,038974
2,92	0,957475	117,47475	0,920059	9,512335	0,244957	2449,571676	0,038833
2,93	0,960811	117,47475	0,923395	9,512335	0,245845	2458,453861	0,038692
2,94	0,964189	119,04435	0,926774	9,639431	0,246745	2467,448479	0,039066
2,95	0,967568	118,0143	0,930152	9,556024	0,247644	2476,443096	0,038588
2,96	0,970904	118,0143	0,933488	9,556024	0,248533	2485,325281	0,03845
2,97	0,974198	119,53485	0,936782	9,679148	0,24941	2494,095034	0,038808
2,98	0,977492	119,53485	0,940076	9,679148	0,250286	2502,864786	0,038672
2,99	0,980828	119,53485	0,943412	9,679148	0,251175	2511,746971	0,038536
3	0,984164	119,04435	0,946748	9,639431	0,252063	2520,629156	0,038242
3,01	0,987542	120,5649	0,950127	9,762555	0,252962	2529,623773	0,038593
3,02	0,990878	121,10445	0,953463	9,806244	0,253851	2538,505958	0,03863
3,03	0,994215	120,0744	0,956799	9,722838	0,254739	2547,388143	0,038168
3,04	0,997551	121,59495	0,960135	9,845962	0,255627	2556,270328	0,038517
3,05	1,000845	121,59495	0,963429	9,845962	0,256504	2565,04008	0,038385
3,06	1,004181	121,10445	0,966765	9,806244	0,257392	2573,922265	0,038098
3,07	1,007517	122,625	0,970101	9,929368	0,25828	2582,80445	0,038444
3,08	1,010853	122,625	0,973437	9,929368	0,259169	2591,686635	0,038312
3,09	1,014189	122,1345	0,976774	9,889651	0,260057	2600,56882	0,038029
3,1	1,017525	122,625	0,98011	9,929368	0,260945	2609,451005	0,038052
3,11	1,020819	122,625	0,983404	9,929368	0,261822	2618,220757	0,037924
3,12	1,024155	123,16455	0,98674	9,973058	0,26271	2627,102942	0,037962
3,13	1,027492	123,65505	0,990076	10,012775	0,263599	2635,985127	0,037985
3,14	1,030828	124,73415	0,993412	10,100154	0,264487	2644,867311	0,038188
3,15	1,034164	124,73415	0,996748	10,100154	0,265375	2653,749496	0,03806
3,16	1,0375	125,22465	1,000084	10,139871	0,266263	2662,631681	0,038082
3,43	1,127449	132,435	1,090034	10,723718	0,290211	2902,113375	0,036951
3,44	1,130828	132,435	1,093412	10,723718	0,291111	2911,107993	0,036837
3,45	1,134206	133,46505	1,096791	10,807125	0,29201	2920,102611	0,037009

3,46	1,137584	133,46505	1,100169	10,807125	0,29291	2929,097228	0,036896
3,47	1,140878	133,46505	1,103463	10,807125	0,293787	2937,86698	0,036786
3,48	1,144172	134,0046	1,106757	10,850814	0,294664	2946,636733	0,036824
3,49	1,147466	134,0046	1,110051	10,850814	0,295541	2955,406485	0,036715
3,5	1,150802	134,4951	1,113387	10,890531	0,296429	2964,28867	0,036739
3,51	1,154139	135,52515	1,116723	10,973938	0,297317	2973,170855	0,03691
3,52	1,157517	136,0647	1,120101	11,017627	0,298217	2982,165472	0,036945
3,53	1,160853	135,03465	1,123437	10,934221	0,299105	2991,047657	0,036556
3,54	1,164189	135,52515	1,126774	10,973938	0,299993	2999,929842	0,036581
3,55	1,167525	136,5552	1,13011	11,057345	0,300881	3008,812027	0,03675
3,56	1,170819	137,09475	1,133404	11,101034	0,301758	3017,581779	0,036788
3,57	1,174155	136,0647	1,13674	11,017627	0,302646	3026,463964	0,036404
5,43	1,794172	188,6463	1,756757	15,27534	0,46772	4677,201163	0,032659
5,44	1,797466	189,1368	1,760051	15,315058	0,468597	4685,970915	0,032683
5,45	1,800845	189,1368	1,763429	15,315058	0,469497	4694,965533	0,03262
5,46	1,804181	189,67635	1,766765	15,358747	0,470385	4703,847718	0,032651
5,47	1,807517	190,7064	1,770101	15,442154	0,471273	4712,729902	0,032767
5,48	1,810853	190,7064	1,773438	15,442154	0,472161	4721,612087	0,032705
5,49	1,814189	190,7064	1,776774	15,442154	0,473049	4730,494272	0,032644
5,5	1,817483	190,7064	1,780068	15,442154	0,473926	4739,264024	0,032583
5,51	1,820819	191,73645	1,783404	15,525561	0,474815	4748,146209	0,032698
5,52	1,824155	192,22695	1,78674	15,565278	0,475703	4757,028394	0,032721
5,53	1,827534	191,73645	1,790118	15,525561	0,476602	4766,023012	0,032576
5,54	1,83087	192,22695	1,793454	15,565278	0,477491	4774,905197	0,032598
5,55	1,834206	192,22695	1,796791	15,565278	0,478379	4783,787382	0,032538
5,56	1,8375	192,7665	1,800084	15,608967	0,479256	4792,557134	0,032569
5,57	1,840794	193,79655	1,803378	15,692374	0,480133	4801,326886	0,032683
5,58	1,84413	193,30605	1,806715	15,652656	0,481021	4810,209071	0,03254
5,59	1,847466	193,30605	1,810051	15,652656	0,481909	4819,091256	0,032481
5,6	1,850845	194,3361	1,813429	15,736063	0,482809	4828,085873	0,032593
5,61	1,854181	194,3361	1,816765	15,736063	0,483697	4836,968058	0,032533
5,62	1,857517	194,8266	1,820101	15,775781	0,484585	4845,850243	0,032555
5,63	1,860811	194,8266	1,823395	15,775781	0,485462	4854,619995	0,032496
5,64	1,864147	195,36615	1,826731	15,81947	0,48635	4863,50218	0,032527
5,65	1,867483	195,85665	1,830068	15,859187	0,487238	4872,384365	0,032549
5,66	1,870819	195,36615	1,833404	15,81947	0,488127	4881,26655	0,032409
5,67	1,874198	195,85665	1,836782	15,859187	0,489026	4890,261168	0,03243
5,68	1,877534	195,85665	1,840118	15,859187	0,489914	4899,143353	0,032371
5,69	1,88087	196,8867	1,843454	15,942594	0,490803	4908,025538	0,032483
5,7	1,884206	197,42625	1,846791	15,986283	0,491691	4916,907722	0,032513
5,71	1,8875	196,8867	1,850084	15,942594	0,492568	4925,677475	0,032366
5,72	1,890836	197,42625	1,853421	15,986283	0,493456	4934,559659	0,032397

5,73	1,894172	197,91675	1,856757	16,026001	0,494344	4943,441844	0,032419
5,74	1,897466	197,91675	1,860051	16,026001	0,495221	4952,211597	0,032361
5,75	1,900802	197,91675	1,863387	16,026001	0,496109	4961,093781	0,032303
5,76	1,904139	198,9468	1,866723	16,109407	0,496998	4969,975966	0,032413
5,77	1,907475	198,9468	1,870059	16,109407	0,497886	4978,858151	0,032356
5,78	1,910769	198,4563	1,873353	16,06969	0,498763	4987,627903	0,032219
5,79	1,914105	199,97685	1,876689	16,192814	0,499651	4996,510088	0,032408
5,8	1,917483	199,48635	1,880068	16,153097	0,50055	5005,504706	0,032271
5,81	1,920819	198,9468	1,883404	16,109407	0,501439	5014,386891	0,032126
5,82	1,924155	200,5164	1,88674	16,236503	0,502327	5023,269076	0,032323
5,83	1,927492	200,5164	1,890076	16,236503	0,503215	5032,151261	0,032266
5,84	1,930828	200,5164	1,893412	16,236503	0,504103	5041,033446	0,032209
5,85	1,934164	201,0069	1,896748	16,276221	0,504992	5049,91563	0,032231
5,86	1,9375	201,54645	1,900084	16,31991	0,50588	5058,797815	0,03226
5,87	1,940794	201,0069	1,903378	16,276221	0,506757	5067,567568	0,032118
5,88	1,94413	201,0069	1,906715	16,276221	0,507645	5076,449752	0,032062
5,89	1,947508	203,067	1,910093	16,443034	0,508544	5085,44437	0,032334
5,9	1,950845	202,5765	1,913429	16,403317	0,509433	5094,326555	0,032199
6,14	2,030828	209,2473	1,993412	16,943474	0,530727	5307,274127	0,031925
6,15	2,034164	208,7568	1,996748	16,903757	0,531616	5316,156312	0,031797
6,16	2,037458	208,21725	2,000042	16,860068	0,532493	5324,926064	0,031663
6,17	2,040794	209,2473	2,003378	16,943474	0,533381	5333,808249	0,031766
6,18	2,044172	209,78685	2,006757	16,987164	0,53428	5342,802867	0,031794
6,19	2,047508	210,8169	2,010093	17,07057	0,535169	5351,685052	0,031898
6,2	2,050845	210,27735	2,013429	17,026881	0,536057	5360,567237	0,031763
6,21	2,054181	209,78685	2,016765	16,987164	0,536945	5369,449421	0,031637
6,22	2,057475	210,8169	2,020059	17,07057	0,537822	5378,219174	0,03174
6,23	2,060811	210,8169	2,023395	17,07057	0,53871	5387,101359	0,031688
6,24	2,064147	210,8169	2,026731	17,07057	0,539598	5395,983543	0,031636
6,25	2,067483	210,8169	2,030068	17,07057	0,540487	5404,865728	0,031584
6,26	2,070819	210,8169	2,033404	17,07057	0,541375	5413,747913	0,031532
6,27	2,074155	212,877	2,03674	17,237384	0,542263	5422,630098	0,031788
6,28	2,077534	212,877	2,040118	17,237384	0,543162	5431,624716	0,031735
6,29	2,080828	211,84695	2,043412	17,153977	0,544039	5440,394468	0,031531
6,3	2,084164	212,877	2,046748	17,237384	0,544928	5449,276653	0,031632
6,31	2,0875	213,3675	2,050084	17,277101	0,545816	5458,158838	0,031654
6,32	2,090836	213,3675	2,053421	17,277101	0,546704	5467,041023	0,031602
9,93	3,29413	304,64955	3,256715	24,668523	0,86707	8670,698954	0,02845
9,94	3,297466	305,14005	3,260051	24,708241	0,867958	8679,581139	0,028467
9,95	3,300802	306,21915	3,263387	24,795619	0,868846	8688,463324	0,028539
9,96	3,304181	307,2492	3,266765	24,879026	0,869746	8697,457941	0,028605
9,97	3,307517	306,70965	3,270101	24,835336	0,870634	8706,340126	0,028526

9,98	3,310853	306,70965	3,273438	24,835336	0,871522	8715,222311	0,028497
9,99	3,314147	307,2492	3,276731	24,879026	0,872399	8723,992063	0,028518
10	3,317483	306,70965	3,280068	24,835336	0,873287	8732,874248	0,028439
10,01	3,320819	188,10675	3,283404	15,231651	0,874176	8741,756433	0,017424
10,02	3,324155	40,7115	3,28674	3,29655	0,875064	8750,638618	0,003767

a. Anexo plano de molde



Fuente: Elaboración del autor.

Anexo 03. Valor de deformación en probeta 085- 3

Time [s]	Position [0] [mm]	Load [1] [N]	V Extensión [2] [mm]	Stress [16] [MPa]	Strain [17] [-]	Elongation [18] [%]	E modulus [21] [GPa]
0,01	0	-1,03005	0	-0,083407	0	0	#####
0,02	0	0	0	0	0	0	inf
0,03	0	-0,53955	0	-0,043689	0	0	#####
0,04	0,00038	0,4905	0	0,039717	0	0	inf
0,05	0,001985	2,0601	0	0,166813	0	0	inf
0,06	0,004645	2,5506	0	0,206531	0	0	inf
0,07	0,007559	2,5506	0	0,206531	0	0	inf
0,08	0,010684	3,58065	0	0,289938	0	0	inf
0,09	0,013936	5,15025	0	0,417033	0	0	inf
0,1	0,01723	5,64075	0	0,456751	0	0	inf
0,11	0,020566	7,21035	0	0,583847	0	0	inf
0,12	0,023944	8,2404	0	0,667254	0	0	inf
0,13	0,027323	8,7309	0	0,706971	0	0	inf
0,14	0,030701	9,76095	0	0,790378	0	0	inf
0,15	0,034079	9,76095	0,001014	0,790378	0,00027	2,698385	2,929077
0,16	0,037416	10,3005	0	0,834067	0	0	inf
0,17	0,040752	11,8701	0,003336	0,961163	0,000888	8,882185	1,082124
0,18	0,044088	12,3606	0,006672	1,00088	0,001776	17,76437	0,56342
9,89	3,280828	305,14005	3,243412	24,708241	0,863528	8635,28265	0,028613
9,9	3,284164	305,14005	3,246748	24,708241	0,864416	8644,16483	0,028584
9,91	3,2875	305,6796	3,250084	24,75193	0,865305	8653,04702	0,028605
9,92	3,290836	305,6796	3,253421	24,75193	0,866193	8661,9292	0,028576
9,93	3,29413	304,64955	3,256715	24,668523	0,86707	8670,69895	0,02845
9,94	3,297466	305,14005	3,260051	24,708241	0,867958	8679,58114	0,028467
9,95	3,300802	306,21915	3,263387	24,795619	0,868846	8688,46332	0,028539
9,96	3,304181	307,2492	3,266765	24,879026	0,869746	8697,45794	0,028605
9,97	3,307517	306,70965	3,270101	24,835336	0,870634	8706,34013	0,028526
9,98	3,310853	306,70965	3,273438	24,835336	0,871522	8715,22231	0,028497
9,99	3,314147	307,2492	3,276731	24,879026	0,872399	8723,99206	0,028518
10	3,317483	306,70965	3,280068	24,835336	0,873287	8732,87425	0,028439
10,01	3,320819	188,10675	3,283404	15,231651	0,874176	8741,75643	0,017424
10,02	3,324155	40,7115	3,28674	3,29655	0,875064	8750,63862	0,003767