

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería



Determinación de las propiedades mecánicas de materiales compuestos a partir de fibra de coco, luffa, cachaza de caña y resina epóxica mediante distribución aleatoria de fibras

Trabajo de graduación presentado por Javier Ralda González para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Mecánica Industrial

Guatemala
2024

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería



Determinación de las propiedades mecánicas de materiales compuestos a partir de fibra de coco, luffa, cachaza de caña y resina epóxica mediante distribución aleatoria de fibras

Trabajo de graduación presentado por Javier Ralda González para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Mecánica Industrial

Guatemala
2024

Vo.Bo.:

(f) 

Ing. Victor Hugo Ayerdi Bardales


Tribunal Examinador:

(f) 

Ing. Victor Hugo Ayerdi Bardales

(f) 

Ing. Laura María Roldan Reyes

(f) 

Ing. Rony José Herrarte Estevez

Fecha de aprobación: Guatemala, 5 de enero de 2024.

Prefacio

Culminar este trabajo de graduación no hubiera sido posible sin el apoyo de varios, a quienes les dedico este trabajo de graduación.

A Dios, por guiarme, darme fortaleza y apoyarme en todo momento a lo largo de la vida.

A mis padres, César Ralda y Michelle González, por creer en mí desde el principio, brindarme las mejores oportunidades, apoyarme en todo momento, ser luz, inspiración, guía y fortaleza en cada paso que he tomado a lo largo de mi vida. Los amo.

A mi hermano, Rodrigo Ralda, por confiar en mí, demostrarme que cada día puedo ser mejor, ser un guía en todo momento, amarme incondicionalmente y no dejarme solo ante ninguna circunstancia. Siempre has sido mi inspiración y compañero de vida. Te amo.

Abuelos y demás familia, por su apoyo incondicional. En especial a Miguel González Q.E.P.D., que, aunque no se encuentre conmigo para celebrar este logro, estoy seguro de que está orgulloso de lo que he logrado.

Amigos, agradecerles por su apoyo incondicional, aventuras, lealtad, confiar en mí y cariño hacia mi persona. No habría sido posible llegar hasta esta etapa de mi vida sin haber ustedes formado parte de la misma.

Un agradecimiento especial a Ing. Juanji Samayoa, Ing. Francisco Galindo por su apoyo incondicional durante esta trayectoria académica que hemos concluido, así mismo felicitarlos por alcanzar este logro.

Universidad del Valle de Guatemala y catedráticos, por haber formado parte de esta trayectoria con sus conocimientos y oportunidades. Especialmente al departamento de ingeniería mecánica y a mi director y asesor, Víctor Hugo Ayerdi, por haber confiado en mí, por su dedicación y paciencia en compartirme sus conocimientos y guiarme en este trabajo de graduación. Así mismo, al departamento de ingeniería civil por permitirme utilizar sus laboratorios para esta investigación.

Pido disculpas si olvido mencionar a alguien, a todos ustedes les reitero mi más grande agradecimiento.

De todo corazón, se los agradezco. Javier Ralda González

Prefacio	IV
Lista de figuras	XII
Lista de cuadros	XV
Resumen	XVII
1. Introducción	1
2. Justificación	3
3. Objetivos	5
3.1. Objetivo general	5
3.2. Objetivos específicos	5
4. Marco teórico	7
4.1. Fibra de coco	7
4.2. Zona de cultivo de coco	7
4.3. Volumen de estopa en el territorio nacional	8
4.4. Proyectos relacionados con el uso de la fibra de coco	8
4.5. Esfuerzo de fibra de coco	10
4.6. Melote o cachaza de caña deshidratada	10
4.7. Zona de obtención de melote o cachaza deshidratada	11
4.8. Proyectos relacionados con el uso del melote o cachaza deshidratada	12
4.9. Esfuerzo de cachaza de caña	12
4.10. Luffa	12
4.11. Zona de obtención de luffa	13
4.12. Proyectos relacionados con la luffa	13
4.13. Esfuerzo de luffa	13
4.14. Resina epóxica	14
4.15. Resistencias de la resina epóxica artesanal	14
4.16. Materiales compuestos reforzados con fibras naturales	15

4.17. Clasificación de los materiales compuestos	16
4.18. Fabricación de los materiales compuestos	17
4.19. Compresora universal	17
4.20. Material isotrópico	17
4.21. Cálculo de esfuerzos para materiales compuestos	18
4.21.1. Regla de mezcla	18
4.22. Reacción exotérmica	18
5. Marco metodológico	19
5.1. Descripción de metodología	19
5.2. Selección de materiales	20
5.3. Diseño preliminar	20
5.3.1. Diseño de probetas	20
5.3.2. Diseño de moldes	24
5.4. Corte de moldes en cortadora láser	25
5.5. Ensamble de moldes	25
5.6. Fibra natural	25
5.6.1. Obtención de fibra	25
5.7. Fabricación de los materiales compuestos	29
5.8. Cálculos de volumen de fibra	30
5.9. Cálculo de esfuerzos teóricos	32
5.10. Elaboración de probetas	34
5.11. Retos al elaborar probetas	34
5.11.1. Fugas de resina	34
5.11.2. Reacción exotérmica de la resina	35
5.11.3. Desmoldado de probetas	37
5.12. Ensayos mecánicos	38
5.12.1. Ensayos a tracción	40
5.12.2. Ensayos a compresión	43
5.12.3. Ensayo de flexión	47
6. Resultados	53
6.1. Área transversal	53
6.2. Ensayos a tensión	53
6.2.1. Luffa	54
6.2.2. Cachaza de caña	54
6.2.3. Fibra de coco	54
6.3. Ensayos a compresión	54
6.3.1. Luffa	54
6.3.2. Cachaza de caña	55
6.3.3. Fibra de coco	55
6.4. Ensayos a flexión	55
6.4.1. Luffa	55
6.4.2. Cachaza de caña	55
6.4.3. Fibra de coco	56
6.5. Módulo de Young de cada material	56
6.6. Momento flector máximo de cada material	60
6.6.1. Luffa	60

6.6.2. Cachaza de caña	61
6.6.3. Fibra de coco	61
6.7. Deformación unitaria	61
6.7.1. Ensayos a tensión	61
6.7.2. Ensayos a compresión	62
6.8. Deflexión máxima	62
6.8.1. Luffa con resina epóxica	62
6.8.2. Cachaza de caña con resina epóxica	62
6.8.3. fibra de coco con resina epóxica	63
6.9. Resumen de propiedades mecánicas de los tres materiales compuestos	63
6.9.1. Luffa con resina epóxica	63
6.9.2. Cachaza de caña con resina epóxica	63
6.9.3. Fibra de coco con resina epóxica	64
6.10. Resultados de gráficos esfuerzo - deformación	64
7. Discusión de resultados	77
8. Conclusiones	83
9. Recomendaciones	87
10. Bibliografía	89
11. Anexos	93

Lista de figuras

1.	Pallets de corteza de coco	7
2.	Depósito Emmanuel, venta de cocos por mayor y menor	8
3.	Fibras de coco	9
4.	Concreto reforzado con fibra de estopa de coco	9
5.	Sustrato de coco	10
6.	Melote o cachaza de caña	11
7.	Luffa	13
8.	Kit de resina epóxica	15
9.	Plásticos reforzados con fibras naturales	16
10.	Compresora universal	17
11.	Dimensiones máximas de probeta para ensayo a tensión (Pulgadas)	21
12.	Dimensiones máximas de probeta para ensayo a compresión (Pulgadas)	21
13.	Dimensiones máximas de probeta para ensayo a flexión (Pulgadas)	21
14.	Ensamblaje de moldes para probetas a tensión	24
15.	Ensamblaje de moldes para probetas a compresión	24
16.	Ensamblaje de moldes para probetas a flexión	24
17.	Ensamble de moldes	25
18.	Probetas defectuosas por humedad en la fibra	26
19.	Deshidratación de fibra de coco	26
20.	Corte de las fibras con longitudes superiores a 0.75 pulgadas	27
21.	Luffa	28
22.	Luffa cortada por licuadora	29
23.	Luffa útil para hacer probetas	29
24.	Midiendo la masa de las fibras	32
25.	Aplicación de silicona fría	35
26.	Reacción exotérmica de la fibra de coco	36
27.	Reacción exotérmica de la cachaza de caña	36
28.	Reacción exotérmica de la luffa	36
29.	Cajas plásticas para la fabricación de probetas	37
30.	Agente de desmoldeo en aerosol	38
31.	Compresora universal y probetas a ensayar	39
32.	Montaje de probetas	39

33.	Probetas ensayadas a tensión	42
34.	DCL de probetas ensayadas a flexión (Pulgadas)	47
35.	DCL para calcular resistencia última a la flexión	48
36.	Ensayo de tensión de luffa, Esfuerzo - deformación unitaria probeta No. 1 . . .	56
37.	Ensayo de tensión de luffa, Esfuerzo - deformación unitaria probeta No. 2 . . .	57
38.	Ensayo de tensión de luffa, Esfuerzo - deformación unitaria probeta No. 3 . . .	57
39.	Ensayo de tensión de luffa, Esfuerzo - deformación unitaria probeta No. 4 . . .	57
40.	Ensayo de tensión de luffa, Esfuerzo - deformación unitaria probeta No. 5 . . .	57
41.	Ensayo de tensión de cachaza de caña, Esfuerzo - deformación unitaria probeta No. 1	57
42.	Ensayo de tensión de cachaza de caña, Esfuerzo - deformación unitaria probeta No. 2	58
43.	Ensayo de tensión de cachaza de caña, Esfuerzo - deformación unitaria probeta No. 3	58
44.	Ensayo de tensión de cachaza de caña, Esfuerzo - deformación unitaria probeta No. 4	58
45.	Ensayo de tensión de cachaza de caña, Esfuerzo - deformación unitaria probeta No. 5	58
46.	Ensayo de tensión de fibra de coco, Esfuerzo - deformación unitaria probeta No. 1	58
47.	Ensayo de tensión de fibra de coco, Esfuerzo - deformación unitaria probeta No. 2	59
48.	Ensayo de tensión de fibra de coco, Esfuerzo - deformación unitaria probeta No. 3	59
49.	Ensayo de tensión de fibra de coco, Esfuerzo - deformación unitaria probeta No. 4	59
50.	Ensayo de tensión de fibra de coco, Esfuerzo - deformación unitaria probeta No. 5	59
51.	Ensayo de tensión de luffa, Esfuerzo - deformación unitaria probeta No. 1 . . .	64
52.	Ensayo de tensión de luffa, Esfuerzo - deformación unitaria probeta No. 2 . . .	64
53.	Ensayo de tensión de luffa, Esfuerzo - deformación unitaria probeta No. 3 . . .	64
54.	Ensayo de tensión de luffa, Esfuerzo - deformación unitaria probeta No. 4 . . .	65
55.	Ensayo de tensión de luffa, Esfuerzo - deformación unitaria probeta No. 5 . . .	65
56.	Ensayo de tensión de cachaza de caña, Esfuerzo - deformación unitaria probeta No. 1	65
57.	Ensayo de tensión de cachaza de caña, Esfuerzo - deformación unitaria probeta No. 2	65
58.	Ensayo de tensión de cachaza de caña, Esfuerzo - deformación unitaria probeta No. 3	65
59.	Ensayo de tensión de cachaza de caña, Esfuerzo - deformación unitaria probeta No. 4	66
60.	Ensayo de tensión de cachaza de caña, Esfuerzo - deformación unitaria probeta No. 5	66
61.	Ensayo de tensión de fibra de coco, Esfuerzo - deformación unitaria probeta No. 1	66
62.	Ensayo de tensión de fibra de coco, Esfuerzo - deformación unitaria probeta No. 2	66

63.	Ensayo de tensión de fibra de coco, Esfuerzo - deformación unitaria probeta No. 3	66
64.	Ensayo de tensión de fibra de coco, Esfuerzo - deformación unitaria probeta No. 4	67
65.	Ensayo de tensión de fibra de coco, Esfuerzo - deformación unitaria probeta No. 5	67
66.	Ensayo de compresión de luffa, Esfuerzo - deformación unitaria probeta No. 1	67
67.	Ensayo de compresión de luffa, Esfuerzo - deformación unitaria probeta No. 2	68
68.	Ensayo de compresión de luffa, Esfuerzo - deformación unitaria probeta No. 3	68
69.	Ensayo de compresión de luffa, Esfuerzo - deformación unitaria probeta No. 4	68
70.	Ensayo de compresión de luffa, Esfuerzo - deformación unitaria probeta No. 5	69
71.	Ensayo de compresión de cachaza de caña, Esfuerzo - deformación unitaria probeta No. 1	69
72.	Ensayo de compresión de cachaza de caña, Esfuerzo - deformación unitaria probeta No. 2	69
73.	Ensayo de compresión de cachaza de caña, Esfuerzo - deformación unitaria probeta No. 3	70
74.	Ensayo de compresión de cachaza de caña, Esfuerzo - deformación unitaria probeta No. 4	70
75.	Ensayo de compresión de cachaza de caña, Esfuerzo - deformación unitaria probeta No. 5	70
76.	Ensayo de compresión de fibra de coco, Esfuerzo - deformación unitaria probeta No. 1	71
77.	Ensayo de compresión de fibra de coco, Esfuerzo - deformación unitaria probeta No. 2	71
78.	Ensayo de compresión de fibra de coco, Esfuerzo - deformación unitaria probeta No. 3	71
79.	Ensayo de compresión de fibra de coco, Esfuerzo - deformación unitaria probeta No. 4	71
80.	Ensayo de compresión de fibra de coco, Esfuerzo - deformación unitaria probeta No. 5	72
81.	Ensayo de flexión de luffa, Esfuerzo - deformación unitaria probeta No. 1 . . .	72
82.	Ensayo de flexión de luffa, Esfuerzo - deformación unitaria probeta No. 2 . . .	72
83.	Ensayo de flexión de luffa, Esfuerzo - deformación unitaria probeta No. 3 . . .	72
84.	Ensayo de flexión de luffa, Esfuerzo - deformación unitaria probeta No. 4 . . .	73
85.	Ensayo de flexión de luffa, Esfuerzo - deformación unitaria probeta No. 5 . . .	73
86.	Ensayo de flexión de cachaza de caña, Esfuerzo - deformación unitaria probeta No. 1	73
87.	Ensayo de flexión de cachaza de caña, Esfuerzo - deformación unitaria probeta No. 2	73
88.	Ensayo de flexión de cachaza de caña, Esfuerzo - deformación unitaria probeta No. 3	74
89.	Ensayo de flexión de cachaza de caña, Esfuerzo - deformación unitaria probeta No. 4	74
90.	Ensayo de flexión de cachaza de caña, Esfuerzo - deformación unitaria probeta No. 5	74
91.	Ensayo de flexión de fibra de coco, Esfuerzo - deformación unitaria probeta No. 1	74

92.	Ensayo de flexión de fibra de coco, Esfuerzo - deformación unitaria probeta No. 2	75
93.	Ensayo de flexión de fibra de coco, Esfuerzo - deformación unitaria probeta No. 3	75
94.	Ensayo de flexión de fibra de coco, Esfuerzo - deformación unitaria probeta No. 4	75
95.	Ensayo de flexión de fibra de coco, Esfuerzo - deformación unitaria probeta No. 5	75
96.	Hoja de seguridad de EASE RELEASE 200	94
97.	Plano de probetas a tensión	95
98.	Plano de probetas a compresión	96
99.	Plano de probetas a flexión	97
100.	Plano para molde de probetas a tensión	98
101.	Plano para molde de probetas a compresión	99
102.	Plano para molde de probetas a flexión	100
103.	Ficha técnica de Resina epóxica artesanal	101
104.	Ficha técnica de Resina epóxica artesanal	102
105.	Ficha técnica de Resina epóxica artesanal	103

Lista de cuadros

1.	Tabla de requisitos	19
2.	Valores para determinar el área transversal de cada probeta	22
3.	Valores de esfuerzo máximo de la resina epóxica artesanal 522-13485-900	23
4.	Valores utilizados para determinar la fuerza (F)	23
5.	Valores utilizados para determinar el volumen de cada probeta	30
6.	Volumen total de la probeta, material y resina (50 % del volumen total)	30
7.	Valores utilizados de la probeta a partir de la fibra de coco con resina epóxica, para ensayo de tensión, mediante una proporción de 50 % de fibra de coco y 50 % de resina epóxica	31
8.	Valores de masa en gramos de cada fibra por probeta	31
9.	Valores utilizados de la probeta a partir de la fibra de coco con resina epóxica a tensión, mediante una proporción de 50 % de fibra de coco y 50 % de resina epóxica	32
10.	Esfuerzo de resina, esfuerzo de fibra, volumen de resina y volumen de fibra para calcular esfuerzo compuesto teórico de probetas a tensión	33
11.	Esfuerzo de resina, esfuerzo de fibra, volumen de resina y volumen de fibra para calcular esfuerzo compuesto teórico de probetas a compresión	33
12.	Esfuerzo de resina, esfuerzo de fibra, volumen de resina y volumen de fibra para calcular esfuerzo compuesto teórico de probetas a flexión	34
13.	Carga máxima y área para calcular la resistencia última a la tensión de 5 probetas de luffa y resina epóxica	40
14.	Carga máxima y área para calcular la resistencia última a la tensión de 5 probetas de cachaza de caña y resina epóxica	40
15.	Carga máxima y área para calcular la resistencia última a la tensión de 5 probetas de fibra de coco y resina epóxica	40
16.	Longitud inicial y final de las probetas a tensión a partir de luffa y resina epóxica	41
17.	Longitud inicial y final de las probetas a tensión a partir de cachaza de caña y resina epóxica	42
18.	Longitud inicial y final de las probetas a tensión a partir de fibra de coco y resina epóxica	42
19.	Longitud inicial y final de las probetas a compresión a partir de luffa y resina epóxica	44

20.	Longitud inicial y final de las probetas a compresión a partir de cachaza de caña y resina epóxica	44
21.	Longitud inicial y final de las probetas a compresión a partir de fibra de coco y resina epóxica	45
22.	Medición de carga máxima y área de 5 probetas a partir de luffa y resina epóxica	45
23.	Medición de carga máxima y área de 5 probetas a partir de cachaza de caña y resina epóxica	46
24.	Medición de carga máxima y área de 5 probetas a partir de fibra de coco y resina epóxica	46
25.	Mediciones realizadas de fuerza y distancia del material compuesto a partir de luffa y resina epóxica	47
26.	Mediciones realizadas de fuerza y distancia del material compuesto a partir de cachaza de caña y resina epóxica	48
27.	Mediciones realizadas de fuerza y distancia del material compuesto a partir de fibra de coco y resina epóxica	48
28.	Ancho, espesor y carga máxima de la probeta para ensayos a flexión del material compuesto a partir de luffa y resina epóxica	49
29.	Ancho, espesor y carga máxima de la probeta para ensayos a flexión del material compuesto a partir de cachaza de caña y resina epóxica	49
30.	Ancho, espesor y carga máxima de la probeta para ensayos a flexión del material compuesto a partir de fibra de coco y resina epóxica	49
31.	Datos para calcular la deflexión máxima del material compuesto a partir de luffa y resina epóxica	51
32.	Datos para calcular la deflexión máxima del material compuesto a partir de cachaza de caña y resina epóxica	51
33.	Datos para calcular la deflexión máxima del material compuesto a partir de fibra de coco y resina epóxica	51
34.	Áreas transversales de las probetas	53
35.	Resultados de la resistencia última a la tensión del material compuesto a partir de luffa y resina epóxica	54
36.	Resultados de la resistencia última a la tensión del material compuesto a partir de cachaza de caña y resina epóxica	54
37.	Resultados de la resistencia última a la tensión del material compuesto a partir de fibra de coco y resina epóxica	54
38.	Resultados de la resistencia última a la compresión del material compuesto a partir de luffa y resina epóxica	54
39.	Resultados de la resistencia última a la compresión del material compuesto a partir de cachaza de caña y resina epóxica	55
40.	Resultados de la resistencia última a la compresión del material compuesto a partir de fibra de coco y resina epóxica	55
41.	Resultados de la resistencia última a la flexión del material compuesto a partir de luffa y resina epóxica	55
42.	Resultados de la resistencia última a la flexión del material compuesto a partir de cachaza de caña y resina epóxica	56
43.	Resultados de la resistencia última a la flexión del material compuesto a partir de fibra de coco y resina epóxica	56

44.	Valores utilizados para determinar el Módulo de Young del material compuesto a partir de luffa y resina epóxica	59
45.	Valores utilizados para determinar el Módulo de Young del material compuesto a partir de cachaza de caña y resina epóxica	60
46.	Valores utilizados para determinar el Módulo de Young del material compuesto a partir de fibra de coco y resina epóxica	60
47.	Resultados del módulo de Young para cada material compuesto	60
48.	Resultados del momento flector máximo del material compuesto a partir de luffa y resina epóxica	60
49.	Resultados del momento flector máximo del material compuesto a partir de cachaza de caña y resina epóxica	61
50.	Resultados del momento flector máximo del material compuesto a partir de fibra de coco y resina epóxica	61
51.	Resultados de la deformación unitaria de los materiales compuestos a partir de las probetas ensayadas a tensión	61
52.	Resultados de la deformación unitaria de los materiales compuestos a partir de las probetas ensayadas a compresión	62
53.	Resultados de la deflexión máxima del material compuesto a partir de luffa y resina epóxica	62
54.	Resultados de la deflexión máxima del material compuesto a partir de cachaza de caña y resina epóxica	62
55.	Resultados de la deflexión máxima del material compuesto a partir de fibra de coco y resina epóxica	63
56.	Propiedades mecánicas del material compuesto a partir de luffa y resina epóxica	63
57.	Propiedades mecánicas del material compuesto a partir de cachaza de caña y resina epóxica	63
58.	Propiedades mecánicas del material compuesto a partir de fibra de coco y resina epóxica	64

En este trabajo de graduación, se determinaron las propiedades mecánicas de los materiales compuestos fabricados a partir de Fibra de coco, Melote de caña y luffa, utilizando como aglomerante la Resina epóxica en una proporción de 50 % de fibra y 50 % de aglomerante.

Se fabricaron y analizaron probetas, lo que permitió obtener un registro de las propiedades mecánicas obtenidas, que incluyen, para compresión: resistencia última a la compresión, deformación; para los análisis de tensión se determinó: resistencia última a la tensión, módulo de Young y deformación; y para los análisis de flexión: momento flector, deformación, módulo de flexibilidad y resistencia última a la flexión. Se realizaron 5 ensayos para cada prueba en cada probeta.

Finalmente, se compararon estas propiedades con las de los materiales existentes en el mercado.

En este trabajo se presenta la investigación para la determinación de las propiedades mecánicas de materiales compuestos a partir de fibra de coco, luffa, cachaza de caña y resina epóxica mediante distribución aleatoria de fibras.

Se sabe que los materiales reforzados con fibras naturales están tomando un gran auge en cuanto a la innovación en la industria y la búsqueda de substitutos para materiales existentes, en donde con mejores propiedades mecánicas se pueda tomar en cuenta la implementación de estos, la industria automotriz es una de las pioneras en la implementación de materiales reforzados con fibras naturales, al igual que el mundo de la construcción, en donde se busca explotar materiales existentes, combinándolos con fibras para poder obtener mejores resultados (Majewski, Zawadzki et al., 2013).

Con el fin de brindar información sobre los materiales antes mencionados en este documento se presentan las características necesarias de diseño para las probetas, fabricación de moldes, procesos de obtención de fibra eficientes y óptimos, cálculo de fibra para garantizar la proporción ideal, una solución adecuada para la reacción exotérmica que se desata en el proceso de fraguado, estrategias de desmoldado, propiedades mecánicas teóricas y experimentales y por último posibles materiales que puedan ser substituidos con este material a través de la investigación de los mismos.

El desarrollo de esta investigación permite conocer las propiedades mecánicas de los materiales compuestos a partir de fibra de coco, melote de caña y luffa utilizando como aglomerante la resina epóxica. Con esto se podrán aprovechar las propiedades combinadas de cada material con el aglomerante para mejorar su comportamiento mecánico, teniendo como objetivo comparar sus propiedades contra materiales existentes en el mercado.

Por otra parte, lo anterior contribuye a afrontar la problemática ambiental que genera la industria ya que dependiendo de los resultados obtenidos podría en algunos casos ser una alternativa para fabricación con materiales novedosos. De tal forma la fibra de coco, el melote de caña y la luffa se vuelven una alternativa ecológica dentro de los materiales utilizados en la industria, brindando la misma funcionalidad para el consumidor de este. Cabe mencionar que la fibra de coco, el melote de caña y la luffa son un residuo natural que se encuentra en grandes cantidades en diferentes regiones del mundo, por lo general en zonas tropicales, lo cual los hace materiales accesibles y de fácil obtención. Además, la implementación de estos nuevos materiales en investigación accede a darle un segundo uso a lo que se habría considerado un residuo sin mayor relevancia.

3.1. Objetivo general

Determinar las propiedades mecánicas de los materiales compuestos fabricados a base de fibra de coco, cachaza de caña y luffa mezclándolos con resina epóxica como aglomerante, en una proporción de 50 % de fibra y 50 % de aglomerante.

3.2. Objetivos específicos

1. Definir las características necesarias de diseño de las probetas para cada ensayo mecánico.
2. Diseñar probetas de material compuesto para cada tipo de ensayo mecánico.
3. Fabricar un molde que garantice las dimensiones y geometrías adecuadas para realizar un análisis preciso en una compresora universal SOILTEST Versa tester.
4. Definir el proceso de obtención para cada tipo de fibra natural que garantice su uso óptimo en las probetas.
5. Calcular el volumen de fibra necesario para garantizar una proporción equivalente a la resina epóxica en cada probeta.
6. Establecer un proceso para controlar la reacción exotérmica de la resina aplicada en el molde.
7. Proponer un proceso de desmoldado eficaz para las probetas.
8. Estimar las propiedades mecánicas de forma teórica de la fibra de coco, luffa y cachaza de caña reforzadas con resina epóxica.

9. Analizar los resultados de los ensayos mecánicos de cada material compuesto en comparación con los materiales existentes en el mercado.

4.1. Fibra de coco

Es una fibra natural que puede ser utilizada en la industria dado a rigidez, dureza y resistencia al agua. Entre sus principales características destacan además de las mencionadas su baja conductividad térmica, resistencia al impacto, durabilidad, bajo peso, es inodora, no produce hongos, es imputrescible, y su resiliencia lo que convierte a la fibra de coco en un material apropiado para el estudio de materiales compuestos (Mazón Ortiz, 2017). La densidad promedio de la Fibra de coco es de 0.26 g/cm³ (Pandey et al., 2010).

Figura 1: Pallets de corteza de coco



Fuente: (Ecoinventos, 2020)

4.2. Zona de cultivo de coco

La palma de coco (*cocos nucifera L.*) es un cultivo de zonas tropicales que se puede encontrar en grandes cantidades en las zonas costeras del territorio nacional. Entre los principales lugares en donde se cultiva el mismo se encuentran: Suchitepéquez, Santa Rosa, Escuintla e Izabal (Atz & David, 2008).

El cultivo del mismo se considera como tradicional ya que no se ha tecnificado en gran manera, existen las fincas productoras cuyas cosechas son exportadas a otros países y también los pequeños productores que siembran en las orillas de sus casas con la finalidad de reforzar los cercos perimetrales y conseguir sombra ya que es un cultivo de fácil adaptación a diferentes condiciones edáficas y climáticas. El producto que no se logra exportar se comercializa a nivel nacional, sin embargo, la mayor concentración de mercado se encuentra en la terminal de la zona 4 de la ciudad de Guatemala (Atz & David, 2008)..

4.3. Volumen de estopa en el territorio nacional

La estopa de coco o cáscara se ha considerado como un desperdicio para los vendedores de cocos. Los productores logran darle un segundo uso como abono de sus siembras y se calcula que al día se descascara de 5,000 a 7,000 cocos (Atz & David, 2008), lo que se traduce en aproximadamente 20 metros cúbicos de desecho. De esta cantidad la mayoría es desechada a los basureros, una pequeña parte de este total se utiliza por artesanos, pero es insignificante para la cantidad que se genera, por lo que por medio de esta investigación se pretende determinar si existen usos alternativos que se le pueda dar a esta estopa después de ser procesada.

Figura 2: Depósito Emmanuel, venta de cocos por mayor y menor



Fuente: (Atz & David, 2008)

4.4. Proyectos relacionados con el uso de la fibra de coco

En Guatemala se analizaron las principales características físicas, mecánicas y químicas de la fibra de coco, en donde se observó que es muy pequeña la oscilación de longitud entre las muestras, teniendo una variación entre 0.05 y 0.44 milímetros; que la longitud de la fibra depende del método de extracción que se emplee, pero en promedio se encuentran entre 3.9 y 10.1 centímetros. Se determinó que el esfuerzo máximo de tensión al momento de la ruptura fue de 2,383.47 kg/cm² con un coeficiente de variación de 3.45 por ciento. Así mismo no se

pudo encontrar una norma específica para ensayar las fibras de coco, por lo que se buscó una norma que aplicara y se determinó que la apropiada era para ensayos de textiles (Atz & David, 2008).

Figura 3: Fibras de coco



Fuente: (Atz & David, 2008)

En Colombia se propuso usar la fibra de estopa de coco para mejorar las propiedades mecánicas del concreto, en esta investigación se evaluaron las propiedades físicas y mecánicas de morteros reforzados con volúmenes controlados de fibra de coco, posteriormente se sometieron a pruebas de compresión axial, tracción indirecta y flexión. La conclusión principal de esta investigación es que los refuerzos de fibra mejoran de varias maneras la tenacidad de la matriz compuesta (Garcia & Salcedo, 2006).

Figura 4: Concreto reforzado con fibra de estopa de coco



Fuente: (Jaramillo et al., 2004)

En Ecuador se desarrolló un proyecto que investiga la posibilidad de transformar la cáscara de coco en fibras, luego manufacturarlo en sustrato de coco considerando que se puede retener la humedad y así la planta podrá realizar sus procesos metabólicos. Se determinó que en Ecuador existen aplicaciones de la Fibra en: Alfombras, Maseteros, artesanías y sustratos para la agricultura (Suárez Ramos & Wong Nan, 2011).

Figura 5: Sustrato de coco



Fuente: (Agromática, 2012)

En Tailandia se realizó un estudio de investigación, en donde se sometió a diferentes pruebas a la fibra de coco aprovechando que la misma funciona como un aislamiento acústico y así poder identificar su aplicación en silenciadores de conductos para sistemas de aires acondicionados y ventilación térmica (HVAC) en edificios (Madlan et al., 2017).

"Se identificó la tendencia de la pérdida de inserción a una frecuencia de 1/3 de octava donde, a una frecuencia inferior a 3000 Hz, la pérdida de inserción del silenciador disipativo se observa alta en cierta frecuencia con un rango muy estrecho. A 3000 Hz, la pérdida de inserción de 4 dB a 6 dB es constante hasta 4000 Hz y cae hasta 5000 Hz antes de volver a aumentar de forma constante hasta 13 dB a 10000 Hz. Se observó una tendencia similar para diferentes configuraciones de material de absorción de sonido. A pesar de la configuración diferente, el resultado muestra que la pérdida de inserción aumenta con un mayor contenido de fibra de coco"(Madlan et al., 2017).

4.5. Esfuerzo de fibra de coco

El esfuerzo de la fibra de coco a compresión, tensión y flexión depende de varios factores, la orientación, el método de obtención, las condiciones de prueba, etc. El esfuerzo de resistencia a la tracción máxima es de un valor equivalente a 30.0 MPa, así mismo el esfuerzo a la compresión máxima es de un valor equivalente a 10 MPa y la resistencia a la flexión máxima es de un valor medio equivalente a 60 MPa (Mohanty et al., 2005).

4.6. Melote o cachaza de caña deshidratada

El melote es un subproducto derivado de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum L.*) que se obtiene después de someter la caña a procesos industriales. Su apariencia es oscura,

no tiene una forma en específico. Actualmente cuenta con las siguientes aplicaciones: alimento para animales, fertilizante orgánico y para quemarlo como combustible en las calderas (Lagos-Burbano & Castro-Rincón, 2019). La densidad promedio de la cachaza de caña es de 0.34 g/cm³ (Carvalho et al., 2007).

Figura 6: Melote o cachaza de caña



Fuente: (Agrícola, 2018)

4.7. Zona de obtención de melote o cachaza deshidratada

Dado que la caña se cultiva en climas tropicales que para nuestro país corresponde en su mayoría a la costa sur del territorio nacional y es uno de los monocultivos más abundantes del país (Villatoro et al., 2009). Sin embargo este subproducto no cuenta con un uso significativo más allá de los mencionados anteriormente en relación a lo que se produce.

“La zona cañera de la costa sur de Guatemala se encuentra ubicada entre 90°13’ y 91°45’ Longitud Oeste; 13°50’ y 14°35’ Latitud Norte. Durante la zafra 2007-2008 ocupó un área de 230,000 hectáreas distribuidas en los departamentos de Escuintla (74.1%), Suchitepéquez (15%), Santa Rosa (6.7%) y Retalhuleu (4.2%); todos ubicados en la costa sur del país, con altitudes que van de 0 msnm (litoral del Océano Pacífico) a aproximadamente 800 msnm” (Villatoro et al., 2009).

La caña de azúcar es uno de los cultivos más importantes para Guatemala, de donde se obtienen azúcar y melaza, estos dos subproductos según el banco de Guatemala obtuvieron el mejor promedio anual en generación de divisas en el quinquenio 2016- 2020 con US\$851,855.53 La industria azucarera de Guatemala está compuesta por 11 ingenios distribuidos en el territorio nacional en estas industrias se procesa toda la caña cosechada en el territorio nacional, la mayoría ubicados en zonas costeras cercanas a donde se cultiva la misma. Para la zafra de 2019-2020 se cosecharon 258,025 hectáreas donde se estima que el rendimiento fue de 170 hasta 250 toneladas de caña por hectárea y la producción de azúcar fue de 2.76 millones de toneladas métricas (Melgar, 2022).

Por cada tonelada de caña procesada se pueden obtener de 30 a 50 kg de cachaza, el rendimiento de la caña de variedad CG02-163 es de 11.5 a 12.5 toneladas de azúcar por

hectárea cultivada siendo esta la variedad común en la siembra, por lo que es posible decir que en Guatemala se genera un aproximado de 2,167,410 toneladas de cachaza, con un rendimiento de 50% del peso que se pierde por un proceso de deshidratación se obtienen aproximadamente 1,083,705 toneladas de melote (Hernández Melchor et al., 2008).

4.8. Proyectos relacionados con el uso del melote o cachaza deshidratada

En china se analizaron las características y aplicaciones de los residuos obtenidos a partir de las cenizas de bagazo de caña de azúcar combinada en diferentes proporciones con cemento, Se determinaron las propiedades mecánicas del material compuesto sin embargo los resultados no fueron satisfactorios por lo que se recomienda continuar con la investigación sobre el tema(Xu et al., 2018).

En Estados Unidos se analizaron las propiedades mecánicas de bloques compuestos a partir de tierra y ceniza de bagazo de caña. En donde la conclusión principal fue que se evidenció una mejora en la mezcla hasta un límite en el que la mezcla aún pueda ser moldeada, recomendando no agregar más ceniza de lo indicado ya que no es posible moldear los bloques (Lima et al., 2012).

En la India se analizaron las propiedades mecánicas de la fibra de vidrio y de la fibra de vidrio mezclada con melote. En donde la conclusión principal del trabajo de investigación fue que el material compuesto demostraba tener mayor resistencia a la flexión antes de la ruptura con un valor de 490.77 MPa y mayor resistencia al impacto con un valor de 93.92 KJ/m² (Kumar et al., 2017).

4.9. Esfuerzo de cachaza de caña

El esfuerzo de la cachaza de caña a compresión, tensión y flexión depende de varios factores, la orientación, densidad, humedad, las condiciones de prueba, etc. El esfuerzo de resistencia a la tracción máxima es de un valor equivalente a 29 MPa, así mismo el esfuerzo a la compresión máxima es de un valor equivalente a 15 MPa (Negrin-Hernández et al., 2019).

Es relevante destacar que no se dispone de información acerca del esfuerzo a flexión de la cachaza de caña. Por lo tanto, no es posible calcular el esfuerzo teórico al combinar la fibra de cachaza de caña con la resina epoxi en este contexto.

4.10. Luffa

La luffa (*Luffa aegyptiaca*) es conocida también como calabaza esponjosa o pashte, esta es una planta trepadora, de la variedad de los pepinos, en su mayoría la luffa se cultiva como alimento cuando su cosecha es a temprana edad y como depurador natural cuando su cosecha es a edades avanzadas del fruto (Shen et al., 2012).

La densidad promedio de la luffa es de 0.38 g/cm³(Zhang et al., 2021).

Figura 7: Luffa



Fuente: (Campo, 2019)

4.11. Zona de obtención de luffa

La luffa es una variedad de planta que se puede cultivar en muchos lugares del mundo, su mayor concentración se encuentra en regiones tropicales y subtropicales, entre los principales países donde se cultiva y se consume se encuentran Asia, África, América parencieadeyan-ju2021review.

Esta fibra natural se considera abundante en el territorio nacional debido a que la luffa se cultiva de mejor manera en climas cálidos y necesita suelos drenados y con los elementos necesarios en los mismos para una buena cosecha. Puede ser cultivado en campos abiertos y en huertos familiares, lo peculiar de la luffa es que se puede cosechar durante todas las épocas del año.

4.12. Proyectos relacionados con la luffa

En Chile se evaluó la aislación térmica, acústica y resistencia ignífuga de un sistema de aislación a base de esponja vegetal luffa cylindrical en donde se pudo determinar que la luffa como aislante térmico demuestra buenas propiedades pero para aislante acústico no es muy útil (Vivanco Fernández, 2019).

En Australia, se analizaron las propiedades mecánicas de la esponja de luffa se pudo determinar que el comportamiento de la luffa se puede relacionar con materiales metálicos con una densidad similar, debido a los resultados obtenidos en las pruebas (Shen et al., 2012).

4.13. Esfuerzo de luffa

El esfuerzo de la luffa a compresión, tensión y flexión depende de varios factores, la orientación, densidad, humedad, las condiciones de prueba, etc. El esfuerzo de resistencia a la tracción máxima es de un valor equivalente a 30 MPa, así mismo el esfuerzo a la

compresión máxima es de un valor equivalente a 12 MPa y la resistencia a la flexión máxima es de un valor medio equivalente a 5 MPa (Martinez-Barrera et al., 2013).

4.14. Resina epóxica

La resina epóxica es un polímero que se ha utilizado para realizar materiales compuestos como matrices, estos materiales compuestos se han utilizado en diferentes áreas como lo es automotriz, química, aeronáutica, etc.(Jaramillo et al., 2004).

Por lo general las resinas epóxicas son tratadas y analizadas como materiales linealmente elásticos, al crear un material compuesto reforzado con fibras naturales estas proporcionan la mayoría de la resistencia y rigidez en el material compuesto.

Las resinas epóxicas son de gran utilidad para materiales compuestos ya que es un plástico termorresistente, ya que una vez curado el material es insoluble y no puede refundirse, ya que en su composición las partículas quedan rígidas y fuertemente unidas, brindándoles mayores propiedades mecánicas.

En algunas de las aplicaciones de las resinas epóxicas es necesario que las mismas satisfagan procesos como alta adhesión o bajo encogimiento, sin embargo entre las desventajas que tiene la resina epóxica es que al ser un polímero no es resistente a altas temperaturas por lo que se considera inflamable (Roca, 2006).

Debido a que los materiales empleados en esta investigación se consideran de fácil adquisición fue necesario investigar en el mercado nacional una resina epóxica que se pueda adquirir en todo el territorio y se optó por utilizar resina artesanal ARTI SUR de 24 OZ, este es un producto manufacturado y distribuida por SUR COLOR, S.A. Guatemala., la cual no solo es de fácil adquisición esta presenta una notable facilidad de aplicación y mezcla, caracterizándose por su transparencia final, alta manejabilidad y homogeneidad durante el proceso, bicomponente, autonivelante, deja un brillo y dureza notables sin necesidad de pulir.

4.15. Resistencias de la resina epóxica artesanal

La resistencia última a la tensión, compresión y flexión de la resina epóxica depende de varios factores, como lo es el tipo de resina que se está analizando, el método de curado, las condiciones de prueba, etc. La resistencia última a la tensión, compresión y flexión de la resina epóxica artesanal se muestran a continuación.

Ensayo	Resistencia última (PSI)	
Tensión	1450.38	Fuente: (SUR COLOR, 2023)
Compresión	5801.52	
Flexión	1595.42	

Figura 8: Kit de resina epóxica



Fuente: (SUR COLOR, 2023)

4.16. Materiales compuestos reforzados con fibras naturales

Un material compuesto es la mezcla entre dos o más materiales que al momento de ser combinados se logra formar un nuevo material como lo es, en este caso, que se combinarán las fibras naturales con un aglomerante. Tanto la fibra de coco, el melote y el aglomerante cuentan con diferentes propiedades por lo que al combinarse expresarán diferentes cualidades y reacciones. Se opta por utilizar fibras naturales en los materiales compuestos debido al alto impacto en el medio ambiente que tienen los materiales ya existentes en la industria, por lo que se busca modificar o substituir objetos de uso común a partir de un material compuesto (Pozo Morales, 2019).

Se determinó que los materiales compuestos están siendo investigados en diferentes países, un estudio realizado en la India demostró que a nivel mundial se sabe que Estados Unidos utiliza refuerzos de Paja para la edificación. Muchos componentes de la industria automotriz se están haciendo con materiales reforzados con fibras naturales como lo son fibras como cáñamo, el sisal y el lino. El uso de estos materiales se encuentra ligado directamente a costos de producción, reducción de peso y mercadeo. Alemania es considerado el líder en la aplicación de fibras naturales en esta industria, ya que Mercedes, BMW, Audi y Volkswagen han optado combinar y aplicar estos materiales en sus vehículos, tanto en acabados interiores como exteriores (Sanjay et al., 2016).

"Primer ejemplo comercial es el panel interior de la puerta del Mercedes-Benz Clase S de 1999, fabricado en Alemania, con un 35 % de elastómero semirrígido (PUR) Baypreg F de Bayer y un 65 % de una mezcla de lino, cáñamo y sisal. Cabe destacar que los fabricantes de automóviles de lujo están de acuerdo, lo que podría verse como una prueba de que los com-

puestos de fibra natural se utilizan para satisfacer necesidades medioambientales y no para reducir los costes. Mercedes-Benz usó una matriz epoxi con la adición de yute en los paneles de las puertas de sus vehículos Clase E en 1996. Otro paradigma de la aplicación de compuestos de fibra natural apareció comercialmente en 2000, cuando Audi lanzó el automóvil de gama media A2: el revestimiento de la puerta. los paneles estaban hechos de poliuretano reforzado con un material mixto de lino y sisal. Toyota desarrolló un plástico ecológico hecho de caña de azúcar y lo utilizará para revestir los interiores de los automóviles" (Sanjay et al., 2016).

Figura 9: Plásticos reforzados con fibras naturales



Fuente: (Buss, 2023)

4.17. Clasificación de los materiales compuestos

Los materiales compuestos cuentan con diversas maneras de clasificación esto dependerá de las ideas y conceptos necesarios para identificarlos. Los materiales compuestos cuando son derivados de la naturaleza, obtienen sus propiedades de dos o más elementos que pueden ser analizados con el uso de un microscopio simple. También existen materiales micro compuestos, estos son materiales como las aleaciones y algunos polímeros, donde la composición ya no puede ser observada por un microscopio simple y el comportamiento de los mismos se puede ver reforzado por las propiedades algún material que contengan en su mezcla. Por último existen los Macro compuestos los cuales se han considerado un material que surge de la industria como lo puede ser un Acero galvanizado el cual cuenta con un revestimiento de zinc, son considerados materiales compuestos de uso común (Hull, 2021).

	Ejemplos
Materiales compuestos naturales	Madera
	Huesos
	Bambú
	Músculos
Materiales micro-compuestos	Aleación metálicas: p. ej. Aceros
	Termoplásticos
	p. Ej. Poliestireno de impacto ABS
	Hojas de moldeo (SMC) Termoplásticos reforzados
Macro-compostibles	Acero galvanizado
	Vigas de hormigón armado
	Palas de helicóptero Esquí

4.18. Fabricación de los materiales compuestos

La manera en la que se fabricaron los materiales compuestos fue: 50 % de resina epóxica y 50 % de fibra natural, debido a que se considera que en una relación equitativa entre cada material los resultados obtenidos son considerados referenciales para futuras investigaciones.

Se plantea una alternativa para conocer los valores teóricos del esfuerzo mediante iteraciones al variar el porcentaje de cada material en la mezcla y así poder comparar los valores teóricos contra los experimentales, de esta manera determinar el porcentaje de error existente entre los valores y de esta manera contribuir con futuras experimentaciones con información teórica previamente calculada.

4.19. Compresora universal

Una compresora universal para ensayos es una máquina empleada para realizar pruebas a probetas para determinar el esfuerzo máximo de compresión antes de la ruptura de las mismas. Cabe mencionar que estas máquinas son utilizadas comúnmente para análisis de hormigón, rocas, aceros, etc. se consideran unas máquinas apropiadas para el análisis de los materiales compuestos antes mencionados debido a que en esta con el uso de diferentes herramientas es posible realizar pruebas de compresión, tensión, flexión y corte.

Figura 10: Compresora universal



Fuente: Departamento de ingeniería civil de la Universidad del Valle de Guatemala

4.20. Material isotrópico

Los materiales isotrópicos son materiales con las mismas propiedades en cualquier dirección ya sea lateral, intermedia o axial, estos materiales compuestos a partir de las fibras

naturales antes mencionadas y el aglomerante son considerados P.R.F. que indica que es un material con fibras, será fabricado cada uno con fibras cortas y son fibras no orientadas para así asegurar la igualdad de propiedades mecánicas en todo el volumen, por lo que es pertinente analizarlo mediante el comportamiento de un material isotrópico (Rodríguez Soto et al., 2015).

4.21. Cálculo de esfuerzos para materiales compuestos

Para determinar el esfuerzo en un material compuesto existen diversas técnicas que deben de considerarse las propiedades y estructuras de los materiales, en este caso en particular se analizarán materiales compuestos isotrópicos, reforzando la resina epóxica con las fibras naturales por separado, de forma aleatoria. Por lo que el método empleado será el de Regla de mezcla.

4.21.1. Regla de mezcla

Este es un método común utilizado para calcular las propiedades mecánicas de un material compuesto considerando las propiedades de cada material por individual. Los materiales por separado se clasifican como material A y material B, debido a que se combinaran en proporciones iguales, entonces el esfuerzo del material compuesto se puede calcular como:

$$\sigma_{\text{compuesto}} = V_A \cdot \sigma_A + V_B \cdot \sigma_B \quad (1)$$

Donde Volumen A y Volumen B son las fracciones volumétricas de los materiales en el material compuesto, Sigma A y Sigma B son los esfuerzos en los materiales, respectivamente.

Cabe mencionar que para poder aplicar la Regla de mezcla es necesario conocer las propiedades mecánicas de cada material, como el módulo de elasticidad, la resistencia, el coeficiente de Poisson, la densidad, etc. Debido a que cada uno de estos parámetros es de suma importancia para determinar el comportamiento mecánico del material compuesto con diferentes cargas aplicadas y así poder determinar el esfuerzo del material compuesto (Mallick, 2007).

4.22. Reacción exotérmica

Una reacción exotérmica se caracteriza por liberar calor durante su ocurrencia. La magnitud de esta liberación de energía es un aspecto crítico, ya que si no se controla adecuadamente, puede desencadenar situaciones potencialmente peligrosas. El control de una reacción exotérmica es esencial para prevenir posibles catástrofes o accidentes. La temperatura y las condiciones de reacción son factores fundamentales para garantizar un manejo seguro de estas situaciones (Ran et al., 2020).

5.1. Descripción de metodología

En la etapa inicial de diseño, se procedió a seleccionar los materiales para la investigación. Se optó por elegir materiales que fueran de fácil adquisición en el territorio nacional, por lo que se seleccionaron la fibra de coco, la luffa y la cachaza de caña. Para analizar estos materiales, se decidió utilizar un aglomerante ampliamente disponible en el territorio nacional. Por lo tanto, se eligió una resina epóxica artesanal, ya que era fácil de adquirir y requería un tiempo mínimo de aprendizaje para su uso.

A continuación, se definieron los requisitos de las probetas (Cuadro 1) y se diseñó un molde de acrílico con dimensiones específicas para cada ensayo. Se crearon tres tamaños de probetas diferentes. Además, se investigaron las recomendaciones del fabricante de la resina para el diseño de las probetas, y se determinó utilizar una distribución aleatoria de las fibras. Es importante mencionar que la resina epóxica tenía tres requisitos clave: un tiempo de mezclado de cuatro minutos, un tiempo de reposo de 20 minutos antes de su aplicación y un tiempo de fraguado de 24 horas para alcanzar su máxima dureza.

Finalmente, en la etapa de desarrollo, se llevaron a cabo tres tipos de ensayos mecánicos, utilizando cinco probetas de cada material para cada ensayo.

Cuadro 1: Tabla de requisitos

Código	Requisitos
MAT1	Los materiales compuestos deben ser fabricados a partir de una de las fibras naturales disponibles (luffa, cachaza de caña o fibra de coco) con resina epóxica como aglomerante.
MAT2	El material compuesto deberá fraguar al 100% durante 24 horas.
MAT3	Las probetas se diseñan con una relación volumétrica equitativa, representada por un 50% de resina y un 50% de fibra en cada muestra.
MAT4	Las fibras naturales deben de tener orientación aleatoria
PRO1	Las probetas para análisis a tensión deben tener las siguientes dimensiones: 8 pulgadas de largo x 1.5 pulgadas de ancho x 0.2 pulgadas de espesor.
PRO2	Las probetas para análisis a compresión deben tener las siguientes dimensiones: 4 pulgadas de largo x 1.5 pulgadas de ancho x 1.5 pulgadas de espesor.
PRO3	Las probetas para análisis a flexión deben tener las siguientes dimensiones: 14 pulgadas de largo x 1.5 pulgadas de ancho x 1.5 pulgadas de espesor.
RES1	Medir y mezclar la resina epóxica (2 partes) y catalizador (1 parte) en las proporciones exactas especificadas por el fabricante para garantizar una cura adecuada.
RES2	Respetar el tiempo de reposo de 20 minutos recomendados para eliminar las burbujas y garantizar una mezcla homogénea
RES3	Emplear un agente desmoldante diseñado específicamente para resinas que asegure un proceso de desmoldado eficaz y sin problemas

5.2. Selección de materiales

Debido a la innovación en la ciencia de los materiales y a la alta contaminación causada por los polímeros, se decidió investigar el tema de materiales compuestos, utilizando materiales de fácil adquisición en el territorio nacional. En un principio, se seleccionó la fibra de coco y la Cola D4 como aglomerante. La Cola D4 es un pegamento de alta resistencia utilizado en maderas, por lo que se consideró un candidato ideal para la fabricación de este material compuesto, dado que la madera es una fibra natural al igual que la fibra de coco.

Posteriormente, se decidió reemplazar este aglomerante por resina epóxica artesanal 522-13485-900 del proveedor SUR COLOR, S.A. Guatemala. Teniendo en cuenta su maleabilidad y aprovechando sus propiedades mecánicas para beneficiar el material compuesto. Además, se agregaron dos materiales adicionales para analizar, la luffa y la cachaza de caña, con el fin de aprovechar la investigación para conocerlas propiedades mecánicas de estos materiales compuestos, cabe mencionar que se están analizando tres materiales compuestos distintos, cada fibra combinada con resina epóxica es un material compuesto a analizar mediante los mismos ensayos. Se decidió utilizar luffa, cachaza de caña y fibra de coco como materiales en la investigación debido a varias razones significativas. En primer lugar, estos materiales son abundantes en el territorio nacional, lo que significa que son fácilmente accesibles y no requieren costosos procesos de obtención. Esta disponibilidad local reduce los costos asociados con la obtención de materiales y facilita la replicación de los experimentos en futuras investigaciones.

Además de su abundancia, estos materiales se encuentran en la región de investigación del investigador, lo que significa que no había dificultades significativas para su adquisición. Esto simplifica la logística y reduce los tiempos de espera, lo que es esencial para mantener la continuidad de la investigación.

5.3. Diseño preliminar

5.3.1. Diseño de probetas

En el diseño de las probetas, se llevó a cabo una investigación inicial sobre las probetas utilizadas en el análisis de materiales reforzados con fibras naturales. Sin embargo, se decidió establecer el tamaño de las probetas en base a medidas obtenidas de las capacidades de una compresora universal, así como las dimensiones de probetas utilizadas en ensayos mecánicos en el laboratorio de ingeniería civil de la Universidad del Valle de Guatemala. Se establecieron las medidas máximas como referencia.

Figura 11: Dimensiones máximas de probeta para ensayo a tensión (Pulgadas)

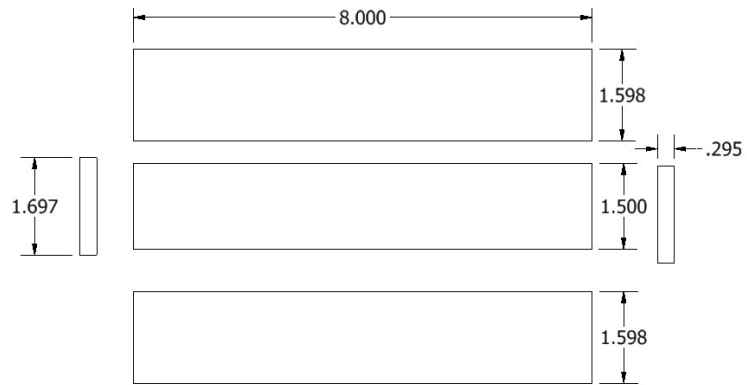


Figura 12: Dimensiones máximas de probeta para ensayo a compresión (Pulgadas)

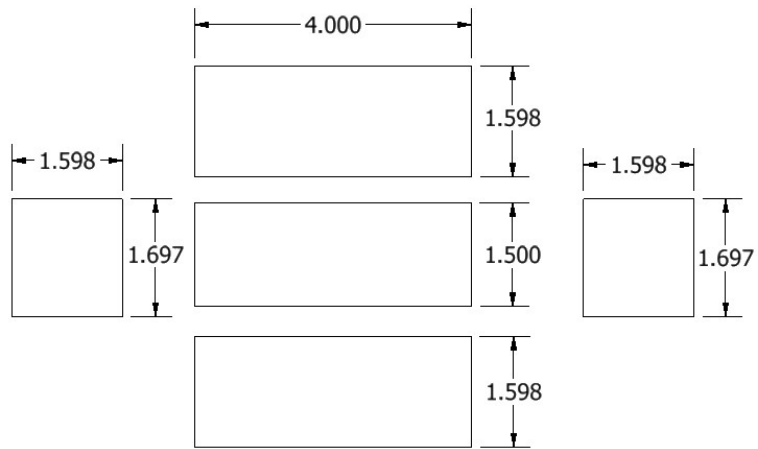
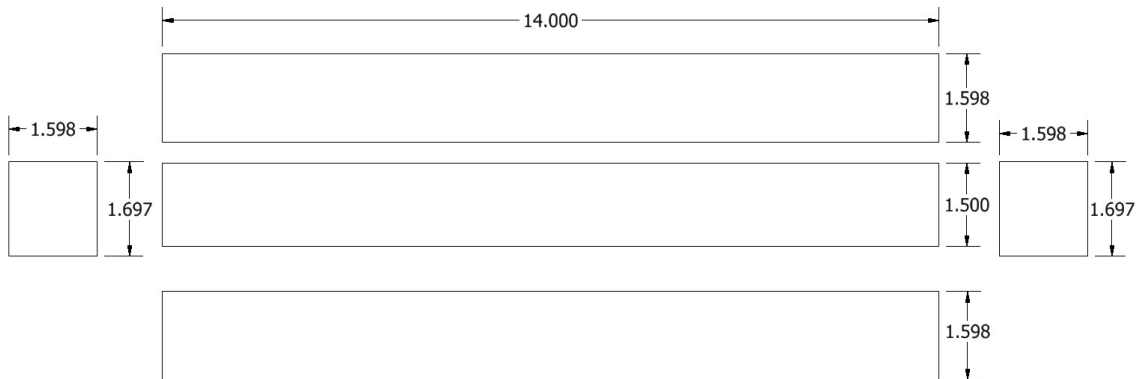


Figura 13: Dimensiones máximas de probeta para ensayo a flexión (Pulgadas)



Es importante destacar que en el proceso de diseño de las probetas para los ensayos de tensión, se consideró la necesidad de una región de fijación de 1.00 pulgadas en cada lado de las probetas para garantizar que las fuerzas se apliquen de manera uniforme y que los resultados sean confiables y precisos. Esta longitud específica de la región de fijación es crucial para mantener la integridad de las probetas durante la aplicación de cargas de tensión.

Por otro lado, las probetas destinadas a las pruebas de compresión se diseñaron de manera que no requirieran una región de fijación específica debido a la naturaleza misma de las pruebas de compresión. La geometría y dimensiones de estas probetas se eligieron de tal manera que la compresión se pudiera aplicar de manera uniforme en toda la longitud de las probetas, lo que es esencial para obtener resultados confiables y representativos de la resistencia a la compresión de los materiales compuestos.

En el caso de las probetas destinadas a las pruebas de flexión, se estableció una separación de 12.00 pulgadas entre los puntos de apoyo. Esta decisión en el diseño garantizó que las probetas se sometieran a una flexión adecuada durante las pruebas, lo que es esencial para la evaluación de la resistencia a la flexión de los materiales compuestos.

Para verificar la idoneidad de las dimensiones seleccionadas para las probetas, se llevó a cabo un cálculo previo del área transversal de la probeta. Se utilizaron los valores de esfuerzo máximo de la resina epóxica, los cuales eran conocidos para estos tres tipos de ensayos. En este cálculo se aplicó la siguiente expresión, con el propósito de obtener una estimación precisa.

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (2)$$

La expresión (2) representa la fórmula para calcular el esfuerzo en un material. El esfuerzo (σ), (F) es la fuerza aplicada dividida por el área transversal (A) del material.

$$F = A \cdot \sigma \quad (3)$$

El cálculo de la fuerza a partir del área y el esfuerzo en el sistema inglés se basa en una relación fundamental entre tres magnitudes físicas: fuerza (F), área (A), y esfuerzo.

Para determinar los valores previamente mencionados, se llevó a cabo una investigación de los valores teóricos relacionados con la resina epóxica en el marco teórico. Para el cálculo del área, se utilizaron los siguientes valores:

$$A = h \times w \quad (4)$$

Donde (A) es el área, (h) es la dimensión del ancho en pulgadas y (w) es la dimensión del espesor en pulgadas.

Cuadro 2: Valores para determinar el área transversal de cada probeta

Probeta	Ancho (Pulgadas)	Espesor (Pulgadas)
Tensión	1.50	0.20
Compresión	1.50	1.50
Flexión	1.50	1.50

Para cada probeta se realizó el cálculo del área transversal, empleando la ecuación número 4. Como referencia se muestra el cálculo para la probeta a tensión del cuadro número 2.

$$A = 1.50 \text{ Pulgadas} \times 0.20 \text{ Pulgadas} \quad (5)$$

$$A = 0.30 \text{ Pulgadas}^2 \quad (6)$$

De la misma manera se realizó el cálculo para las otras probetas obteniendo los valores que se encuentran en la sección 8.1 de los resultados.

Para calcular la fuerza (F) en libras fuerza (lbf), se requiere conocer dos de los siguientes valores: el área (A) previamente calculada y el esfuerzo máximo previamente investigado, siendo para la resina epóxica artesanal 522-13485-900 pura los siguientes valores:

Cuadro 3: Valores de esfuerzo máximo de la resina epóxica artesanal 522-13485-900

Esfuerzo máximo	Valor	Dimensional
Tensión	1450.38	PSI
Compresión	5801.52	PSI
Flexión	1595.42	PSI

Para cada probeta se realizó el cálculo de la fuerza máxima, empleando la ecuación número 3. Como referencia se muestra el cálculo para la probeta a tensión del cuadro número 3.

$$1450.38 \text{ PSI} \times 0.30 \text{ pulgadas}^2 = 435.11 \text{ lbf} \quad (7)$$

De la misma manera se realizó el cálculo para las otras probetas obteniendo los valores que se encuentran a continuación:

Cuadro 4: Valores utilizados para determinar la fuerza (F)

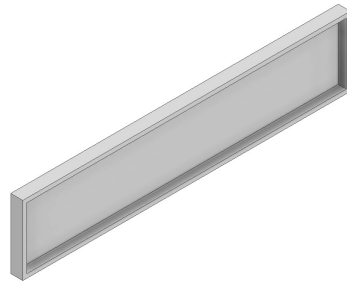
Ensayo	Esfuerzo Máximo (PSI)	Área (Pulgadas²)	Fuerza (lbf)
Tensión	1450.38	0.30	435.11
Compresión	5801.52	2.25	13053.42
Flexión	1595.42	2.25	3589.70

Se realizó una evaluación para confirmar la idoneidad de la compresora universal y las dimensiones de las probetas diseñadas para las pruebas. La compresora universal tiene una capacidad de carga que varía entre 5 y 60,000 libras de fuerza, y se verificó que los valores de fuerza necesarios estaban dentro de este rango aceptable. Además, teniendo en cuenta que la adición de fibras naturales suele mejorar las propiedades mecánicas de un material compuesto, como se explica en el marco teórico, se llegó a la conclusión de que el diseño de las probetas era adecuado para llevar a cabo los ensayos. Dado que los valores obtenidos representan tan solo el 22 % del rango máximo de la máquina, aún se dispone de un amplio margen para su uso, lo que contribuye a garantizar la seguridad en las pruebas.

5.3.2. Diseño de moldes

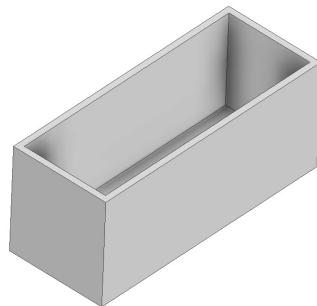
Para la fabricación de moldes, fue necesario considerar los acoples entre las superficies del molde. Debido a que el molde no contaba con tapadera superior, este estaba compuesto a partir de cinco partes. Por lo tanto, fue necesario agregar el espesor del acrílico equivalente a 2.5 mm, como se puede observar en los anexos.

Figura 14: Ensamblaje de moldes para probetas a tensión



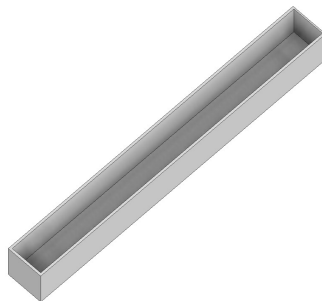
Captura de pantalla de Autodesk reimpressa por cortesía de Autodesk, Inc

Figura 15: Ensamblaje de moldes para probetas a compresión



Captura de pantalla de Autodesk reimpressa por cortesía de Autodesk, Inc

Figura 16: Ensamblaje de moldes para probetas a flexión



Captura de pantalla de Autodesk reimpressa por cortesía de Autodesk, Inc

5.4. Corte de moldes en cortadora láser

Posteriormente se procedió a realizar el corte del acrílico en la cortadora láser del D-HIVE de la Universidad del Valle de Guatemala, configurando la cortadora con un espesor de material de 0.12 pulgadas, ya que para utilizar la cortadora láser es necesario recibir una capacitación en donde se nos señala agregar 0.019 pulgada de espesor a cortes en acrílico.

Fue necesario realizar dos cortes por cada unidad de acrílico, debido a que las dimensiones de la misma tenían un excedente de aproximadamente medio milímetro por lo que no se ajustaba bien con el panel de trabajo de la máquina. Es muy importante el uso de gafas protectoras para la vista en el momento de realizar el corte y a la hora de retirar los moldes especialmente con las piezas más pequeñas de las probetas a tensión ser cuidadoso para evitar que se desplacen y queden atrapadas en los agujeros del panel de trabajo.

5.5. Ensamble de moldes

Para ensamblar los moldes se optó por investigar la mejor manera para pegar el acrílico, por lo que se decidió utilizar Cianoacrilato conocido como Super glue. Entre las cualidades que destacaban de este pegamento y que favorecían a este experimento se encuentran: fuerza de unión rápida, versatilidad de aplicación y resistencia a condiciones adversas.

Figura 17: Ensamble de moldes



5.6. Fibra natural

5.6.1. Obtención de fibra

Fibra de coco

Para obtener la fibra de coco, fue posible encontrar un proveedor que ofrecía tres tamaños de fibras: pequeña, mediana y grande. Se decidió utilizar la fibra pequeña debido a las dimensiones de las otras fibras. De esta manera, se pudo fabricar el material compuesto utilizando fibras con orientación aleatoria sin necesidad de cortar las fibras para reducir su tamaño.

Se desconocía el proceso correcto para manejar la fibra de coco posterior a haber sido humedecida, ya que se encontraba comprimida en un bloque de 5 kilogramos, por lo que se procedió a realizar una prueba con una probeta conteniendo fibra de coco relativamente

húmeda. Durante la prueba, se obtuvo una probeta defectuosa debido a que la humedad residual en la fibra, al entrar en contacto con la resina epóxica, misma que genera, una reacción exotérmica durante su proceso de secado, se evaporaba. Sin embargo, debido a la densidad de la resina, esta quedaba encapsulada en la probeta, lo cual resultaba en una probeta con una dureza incompleta. Al enfriarse, el agua se condensaba y las probetas quedaban con agua en su interior, lo que causaba que se rompieran fácilmente. Por lo tanto, se recomienda secar la fibra. El método empleado para secar completamente la fibra de coco consistió en exponerla a la radiación solar durante 6 horas al día, durante dos días a una temperatura ambiente de 34 grados centígrados, en capas delgadas para lograr una deshidratación rápida. Cabe mencionar que se intentó deshidratar la fibra utilizando transferencia de calor por conducción en una olla, pero este método no resultó satisfactorio, ya que no se lograba eliminar por completo la humedad. A continuación se observan 3 estados: húmedo, en proceso de deshidratación y deshidratado.

Figura 18: Probetas defectuosas por humedad en la fibra



Figura 19: Deshidratación de fibra de coco



Cachaza de caña

Para obtener la cachaza de caña, fue necesario solicitarla a un ingenio azucarero. Esta se encontraba en diferentes tamaños, desde pulverizada hasta fibras con una longitud de aproximadamente 4.00 pulgadas. Por lo tanto, fue necesario separar las fibras para obtener un tamaño adecuado para la fabricación del material compuesto. Las fibras útiles debían tener aproximadamente de 0.20 a 0.75 pulgadas de largo. Para lograrlo, se llevó a cabo una separación manual de las fibras, descartando aquellas que no cumplían con la longitud necesaria para el estudio

Figura 20: Corte de las fibras con longitudes superiores a 0.75 pulgadas



Luffa

Para obtener la luffa, la mitad de la luffa utilizada fue recolectada de su estado natural en el departamento de Suchitepéquez. Cabe mencionar que la luffa es una planta que se considera trepadora y sus frutos al estar maduros son los que se pueden aprovechar por su contenido de fibra, fue esta razón por la que solo la mitad de la materia prima se pudo obtener de esta manera, la otra mitad se obtuvo en un mercado.

Figura 21: Luffa

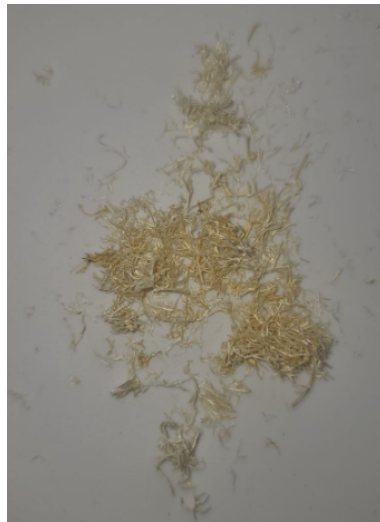


Posteriormente, se requería obtener fibras de dimensiones similares a las de la cachaza de caña. Para lograrlo, se optó por utilizar una tijera en el proceso de corte. Con el objetivo de aumentar la eficiencia, se experimentó con una licuadora, colocando la luffa en su estado natural sin necesidad de agregarle agua, la cual produjo resultados alentadores. Sin embargo, aún fue necesario emplear la tijera nuevamente en un paso posterior. Esta repetición se debió a que, aunque la licuadora podía cortar la luffa, su movimiento rotativo causaba que las fibras se enredaran, por lo que era necesario distribuir la luffa de manera más uniforme.

Figura 22: Luffa cortada por licuadora



Figura 23: Luffa útil para hacer probetas



5.7. Fabricación de los materiales compuestos

La manera en la que se fabricaron los materiales compuestos fue: 50 % de resina epóxica y 50 % de fibra natural del volumen de la probeta, debido a que se considera que en una relación

equitativa entre cada material los resultados obtenidos son considerados referenciales para futuras investigaciones.

Se desarrolló un método para calcular los valores teóricos de la resistencia de cada material compuesto al variar las proporciones de los materiales en la mezcla mediante iteraciones. Esto permitirá comparar los valores teóricos con los experimentales y determinar las diferencias porcentuales, contribuyendo así a futuras investigaciones con datos teóricos calculados previamente.

5.8. Cálculos de volumen de fibra

Como primer punto fue necesario determinar el volumen de cada probeta por medio de la siguiente expresión:

$$V = L \cdot A \quad (8)$$

Donde: V = Volumen, L = Largo y A = Área.

$$V = 8 \text{ pulgadas} \times 0.30 \text{ pulgadas}^2 \quad (9)$$

$$V = 2.40 \text{ pulgadas}^3 \quad (10)$$

De la misma manera se realizó el cálculo para las otras probetas obteniendo los valores que se encuentran a continuación:

Cuadro 5: Valores utilizados para determinar el volumen de cada probeta

Tipo de probeta	Longitud (Pulgadas)	Área (Pulgadas ²)	Volumen (Pulgadas ³)
Tensión	8.00	0.30	2.40
Compresión	4.00	2.25	9.00
Flexión	14.00	2.25	31.50

Para realizar las probetas fue necesario determinar la masa de fibra necesaria para cada tipo de molde dependiendo de la fibra que se fuera a utilizar.

Dado que se disponía de información sobre el volumen de las probetas y la densidad de cada material, además de considerar que las probetas se fabricarían con una proporción del 50 % de las fibras naturales de luffa, fibra de coco y fibra de caña (cada una por separado) junto con un 50 % de resina, fue posible calcular la masa de fibra requerida para cada probeta. Es esencial recordar que se trabajó con tres tamaños de probetas (como se muestra en las figuras 12, 13 y 14), y que cada tipo de probeta, dependiendo del tipo de fibra, debía contener una masa de fibra que corresponde al 50 % del volumen, como se detalla a continuación.

Cuadro 6: Volumen total de la probeta, material y resina (50 % del volumen total)

Ensayo	Volumen total de probeta(Pulgadas ³)	Volumen de la fibra y de la resina (Pulgadas ³)
Tensión	2.40	1.20
Compresión	9.00	4.50
Flexión	31.50	15.75

$$M = V \times \rho \quad (11)$$

Donde: (M) es masa, (V) es volumen y (ρ) es la densidad Y debido a que se conocen los siguientes valores:

Cuadro 7: Valores utilizados de la probeta a partir de la fibra de coco con resina epóxica, para ensayo de tensión, mediante una proporción de 50 % de fibra de coco y 50 % de resina epóxica

Área	0.30	Pulgadas ²
Altura	8	Pulgadas
Volumen de probeta	2.40	Pulgadas ³
Resistencia de resina	1450.38	PSI
Resistencia de fibra de coco	4351.14	PSI
Volumen resina	1.20	Pulgadas ³
Volumen fibra de coco	1.20	Pulgadas ³
Densidad fibra de coco	0.26	g/cm ³

El valor de la resistencia de los materiales se encuentran en la sección 6.5 y 6.15 del marco teórico, para calcular la masa, se realiza la multiplicación de la densidad por el volumen correspondiente, tomando en cuenta que el volumen se encuentra en pulgadas cúbicas, se procede a convertir a centímetros cúbicos por medio de esta conversión:

$$1.20 \text{ Pulgadas}^3 \times 16.39 \frac{\text{cm}^3}{\text{Pulgadas}^3} \approx 19.67 \text{ cm}^3 \quad (12)$$

$$(19.67 \text{ cm}^3) \cdot (0.26 \text{ g/cm}^3) = 5.11 \text{ g} \quad (13)$$

Mediante la aplicación de la ecuación número 14, para calcular la masa, se determinó que se requieren 5.11 gramos de fibra de coco para la elaboración de la probeta de tensión. Esta elección de unidades en gramos se basa en la capacidad de una balanza precisa en gramos para obtener la máxima precisión durante el proceso de fabricación. De la misma manera se realizó el cálculo para las otras probetas obteniendo los valores que se encuentran a continuación.

Cuadro 8: Valores de masa en gramos de cada fibra por probeta

Masa de fibra para probeta	Tensión	Compresión	Flexión
Fibra de coco	5.11 g	19.17 g	67.11 g
Cachaza de caña	6.58 g	25.07 g	87.75 g
Luffa	7.35 g	28.02 g	98.08 g

Para poder medir la masa de cada probeta, se necesitó utilizar una balanza digital que cumpliera con los siguientes requisitos: masa en gramos, dos cifras significativas y opción de tara. Esto se debió a que, para medir la masa de la fibra, que tiene una baja densidad y ocupa mucho volumen, era necesario contar con un método para contener la resina sin que esto afectara la precisión de la medición, por lo que se utilizó un recipiente plástico.

Figura 24: Midiendo la masa de las fibras



5.9. Cálculo de esfuerzos teóricos

Debido a que se conocían estos valores que anteriormente se han mencionado.

Cuadro 9: Valores utilizados de la probeta a partir de la fibra de coco con resina epóxica a tensión, mediante una proporción de 50 % de fibra de coco y 50 % de resina epóxica

Área	0.30	Pulgadas ²
Altura	8	Pulgadas
Volumen de probeta	2.40	Pulgadas ³
Resistencia de resina	1450.38	PSI
Resistencia de fibra de coco	4351.14	PSI
Volumen resina	1.20	Pulgadas ³
Volumen fibra de coco	1.20	Pulgadas ³
Densidad fibra de coco	0.26	g/ cm ³

y considerando el teorema de mezclas que se ha mencionado en el marco teórico, se determinaron los valores de esfuerzos teóricos mediante la siguiente expresión:

$$\sigma_c = V_a \cdot \sigma_a + V_b \cdot \sigma_b \quad (14)$$

Donde: σ_c es el esfuerzo del material compuesto. V_a es la fracción de volumen del material a en el compuesto. σ_a es el esfuerzo del material a. V_b es la fracción de volumen del material b en el compuesto. σ_b es el esfuerzo del material b.

$$\sigma_c = (1450.38 \text{ lbf/pulgada}^2 \cdot 1.20 \text{ Pulgada}^3) + (4351.14 \text{ lbf/pulgada}^2 \cdot 1.20 \text{ Pulgada}^3) \quad (15)$$

Obteniendo como resultado para la probeta a partir de la fibra de coco con resina epóxica, mediante una proporción de 50 % de fibra de coco y 50 % de resina epóxica = 6852.18 PSI.

Este proceso fue el mismo para determinar los valores teóricos para cada probeta de cada material como se observan a continuación.

Cuadro 10: Esfuerzo de resina, esfuerzo de fibra, volumen de resina y volumen de fibra para calcular esfuerzo compuesto teórico de probetas a tensión

Propiedad	Valor	Dimensional
Esfuerzo resina	1450.38	PSI
Esfuerzo fibra de coco	4351.14	PSI
Volumen resina	1.20	Pulg ³
Volumen fibra de coco	1.20	Pulg ³
Esfuerzo compuesto	6852.18	PSI
Esfuerzo resina	1450.38	PSI
Esfuerzo cachaza	4206.10	PSI
Volumen resina	1.20	Pulg ³
Volumen cachaza	1.20	Pulg ³
Esfuerzo compuesto	6680.87	PSI
Esfuerzo resina	1450.38	PSI
Esfuerzo luffa	4351.14	PSI
Volumen resina	1.20	Pulg ³
Volumen luffa	1.20	Pulg ³
Esfuerzo compuesto	6852.18	PSI

Cuadro 11: Esfuerzo de resina, esfuerzo de fibra, volumen de resina y volumen de fibra para calcular esfuerzo compuesto teórico de probetas a compresión

Propiedad	Valor	Dimensional
Esfuerzo resina	5801.52	PSI
Esfuerzo fibra de coco	1450.38	PSI
Volumen resina	4.50	Pulg ³
Volumen fibra de coco	4.50	Pulg ³
Esfuerzo compuesto	32633.55	PSI
Esfuerzo resina	5801.52	PSI
Esfuerzo cachaza	2175.57	PSI
Volumen resina	4.50	Pulg ³
Volumen cachaza	4.50	Pulg ³
Esfuerzo compuesto	35896.91	PSI
Esfuerzo resina	5801.52	PSI
Esfuerzo luffa	1740.46	PSI
Volumen resina	4.50	Pulg ³
Volumen luffa	4.50	Pulg ³
Esfuerzo compuesto	33938.89	PSI

Cuadro 12: Esfuerzo de resina, esfuerzo de fibra, volumen de resina y volumen de fibra para calcular esfuerzo compuesto teórico de probetas a flexión

Propiedad	Valor	Dimensional
Esfuerzo resina	1595.42	PSI
Esfuerzo fibra de coco	8702.28	PSI
Volumen resina	15.75	Pulg ³
Volumen fibra de coco	15.75	Pulg ³
Esfuerzo compuesto	162188.74	PSI
Esfuerzo resina	1595.42	PSI
Esfuerzo luffa	725.19	PSI
Volumen resina	15.75	Pulg ³
Volumen luffa	15.75	Pulg ³
Esfuerzo compuesto	36549.58	PSI
Esfuerzo resina	5801.52	PSI
Esfuerzo luffa	1740.46	PSI
Volumen resina	4.50	Pulg ³
Volumen luffa	4.50	Pulg ³
Esfuerzo compuesto	33938.89	PSI

5.10. Elaboración de probetas

Para la elaboración de las probetas fue necesario preparar la resina. El método de preparación según el fabricante es de: dos partes de resina por una parte de catalizador que es el agente endurecedor, cuatro minutos de mezclado y veinte minutos de reposo, utilizando un recipiente plástico, una espátula de madera para mezclar. Como medidas de protección personal se recomienda utilizar ambientes ventilados para hacer esta mezcla, también utilizar gafas y guantes. Es muy importante a la hora de trabajar con resinas seguir las recomendaciones del fabricante, por lo que se utilizó un cronómetro para medir los tiempos y una taza medidora, pues es muy importante lograr la proporción correcta de las resinas y catalizador.

La colocación de las fibras se llevó a cabo de manera aleatoria, dispersando dentro del molde las fibras antes de agregar la resina mediante un vertido. Se debe destacar que esta estrategia se seleccionó después de realizar pruebas que involucraron la mezcla previa de la fibra con la resina o la adición de la fibra después del vertido de la resina. Esto se debió a la baja densidad de las fibras, lo que hacía que no se mezclaran de manera adecuada al no llegar a la parte inferior de las probetas.

5.11. Retos al elaborar probetas

5.11.1. Fugas de resina

Durante la fabricación se presentó un problema serio de derrame de resina, debido a que el pegamento Super glue a pesar de que lograba la unión resistente de las cinco piezas que conforman el molde, este no posee un grosor considerable para hermetizar el molde, por lo que se procedió a reforzar cada molde en las uniones por la parte externa con silicona fría, de esta manera fue posible realizar un sello como empaque de los moldes.

Es muy importante garantizar una aplicación uniforme y una cantidad razonable de

silicona para evitar fugas del material. El tiempo de secado completo de la silicona fría es de 24 horas.

Figura 25: Aplicación de silicona fría



5.11.2. Reacción exotérmica de la resina

Una reacción exotérmica es un tipo de reacción química en la cual se libera energía en forma de calor hacia el entorno circundante. Esto significa que durante la reacción, la cantidad de energía liberada en forma de calor es mayor que la energía necesaria para iniciar y continuar la reacción. Como resultado, la temperatura del sistema aumenta, y se siente calor (Ran et al., 2020).

Durante la elaboración de las probetas, la reacción exotérmica que ocurre durante el secado de la resina, se consideró uno de los mayores retos. Las reacciones exotérmicas son comunes en las resinas epóxicas, ya que por medio de este proceso la resina tiende a fraguar.

Figura 26: Reacción exotérmica de la fibra de coco



Figura 27: Reacción exotérmica de la cachaza de caña



Figura 28: Reacción exotérmica de la luffa



Para solucionar el problema de las reacciones exotérmicas, fue necesario analizar el problema, por lo que se volvieron a hacer las probetas, pero las probetas fueron colocadas en una caja de plástico hermética para reducir la concentración de oxígeno en su ambiente esto se hizo con el propósito de limitar la disponibilidad de oxígeno para las probetas en una situación controlada. Se optó por experimentar con esta solución debido a las reacciones en cadenas de los incendios explicadas por el tetraedro del fuego. Es un modelo que describe los cuatro elementos esenciales para que ocurra un incendio ya que debe existir un combustible que en este caso es la resina, una fuente de ignición que es el catalizador y la presencia de oxígeno para desatar una reacción en cadena. En este caso no se evidenció presencia de fuego, pero se relacionaba con la reacción en cadena, por lo que al reducir el oxígeno, se rompe la reacción en cadena y se consiguió de manera satisfactoria para controlar la reacción exotérmica, no se evitó, pero se logró controlar.

Otra solución no probada durante esta investigación, pero recomendada por expertos es utilizar moldes de tipo cilindro émbolo.

Figura 29: Cajas plásticas para la fabricación de probetas



5.11.3. Desmoldado de probetas

Inicialmente se había considerado realizar solo un molde de cada tipo de ensayo y reutilizarlo en cada probeta fabricada, sin considerar que desmoldar las probetas dañaría los moldes, así mismo el tiempo de fabricación habría aumentado considerablemente.

Una vez realizadas las primeras probetas, surgió este otro reto, el desmoldar las probetas. Existen diversos diseños y materiales de moldes que benefician de alguna manera este proceso. Por lo que investigando una solución apropiada para este diseño era utilizar desmoldantes, por lo que se realizaron probetas utilizando aceite mineral, aceite vegetal, aceite de Motor 10W40 y cera SuperGold carnauba car wax, obteniendo resultados negativos, por lo que se optó por investigar y una solución era utilizar cera para vehículos por su alto contenido de silicona, por lo que se procedió a experimentar con ella y de igual forma no se alcanzó el objetivo. Por último se decidió utilizar un agente de desmoldeo EASE RELEASE 200 en SPRAY, fabricado por SMOOTH-ON para usar con siliconas, uretanos y resinas; el

cual se tiene que aplicar cinco minutos previo a aplicar los materiales y es necesario utilizar de 3 a 5 capas por molde, cabe mencionar que fue necesario descartar cada molde.

Figura 30: Agente de desmoldeo en aerosol



5.12. Ensayos mecánicos

Para llevar a cabo los ensayos mecánicos, fue necesario utilizar una compresora universal que es capaz de realizar los tres tipos de ensayos detallados con anterioridad, es una SOIL-TEST Versa tester ®. Esta misma tiene la capacidad de aplicar desde 5 hasta 60,000 libras de fuerza con un decimal. Debido a su modelo cuenta con una adaptación para medir la deformación de la probeta, para utilizarla es necesario calibrarla y configurar los intervalos de aumento de la carga aplicada y la velocidad de avance.

Como equipo de protección personal por parte del laboratorio únicamente es necesario utilizar gafas de protección.

Utilizar 5 probetas por cada material compuesto sometido a cada tipo de ensayo permitió tener en cuenta la variabilidad del material y los procesos de fabricación de los mismos. Al realizar múltiples pruebas a un material se evaluó la consistencia de los datos obtenidos y que los mismos fueran una mejor representación de las propiedades mecánicas del material estudiado.

Figura 31: Compresora universal y probetas a ensayar

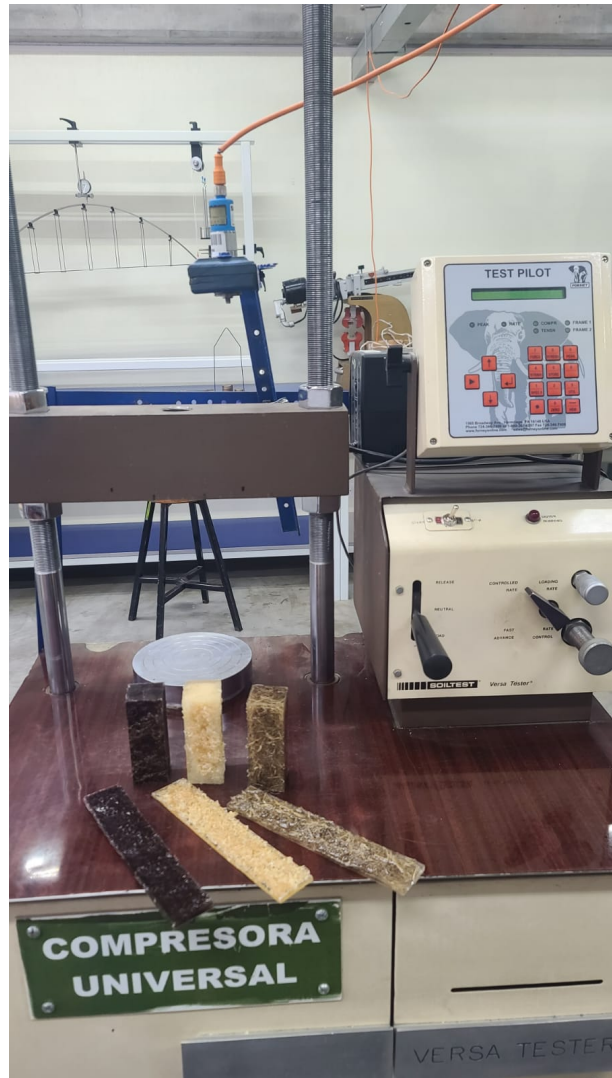
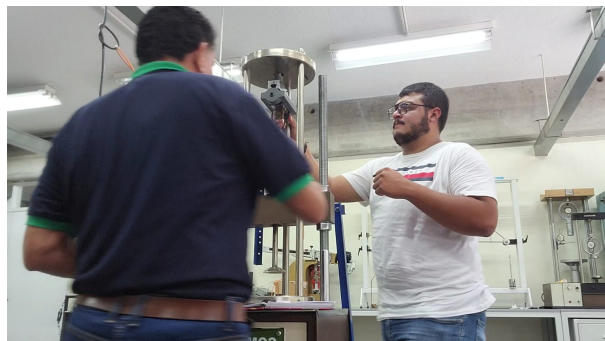


Figura 32: Montaje de probetas



5.12.1. Ensayos a tracción

Resistencia última a la tracción

Esta propiedad mecánica es la tensión máxima soportada por la probeta durante la prueba. Y se calculó mediante la siguiente expresión:

$$\sigma = \frac{f}{A} \quad (16)$$

Donde: σ = resistencia a la tensión, (f) representa la carga máxima aplicada y (A) representa el área de la sección transversal de la probeta.

Para cada ensayo se anota la carga máxima que soportó la probeta antes de fallar. Estos valores se encuentran a continuación en los cuadros 13, 14 y 15.

Cuadro 13: Carga máxima y área para calcular la resistencia última a la tensión de 5 probetas de luffa y resina epóxica

No. prueba	Carga máxima (Lbf)	Área (Pulgadas ²)
1	1256	0.30
2	856	0.30
3	763	0.30
4	1035	0.30
5	605	0.30

Cuadro 14: Carga máxima y área para calcular la resistencia última a la tensión de 5 probetas de cachaza de caña y resina epóxica

No. de prueba	Carga máxima (Lbf)	Área (Pulgadas ²)
1	988	0.30
2	838	0.30
3	1028	0.30
4	732	0.30
5	192	0.30

Cuadro 15: Carga máxima y área para calcular la resistencia última a la tensión de 5 probetas de fibra de coco y resina epóxica

No. de prueba	Carga máxima (Lbf)	Área (Pulgadas ²)
1	295	0.30
2	286	0.30
3	621	0.30
4	885.5	0.30
5	155	0.30

Para cada ensayo se realizó el cálculo del esfuerzo máximo correspondiente que soportó la probeta antes de fallar, empleando la ecuación número 16. Como referencia se muestra el cálculo para la prueba número 1 del material compuesto a partir de luffa y resina epóxica del cuadro número 13.

$$\sigma = \frac{1256 \text{ Lbf}}{0.30 \text{ Pulgadas}^2} \quad (17)$$

$$\sigma = 4186.67 \text{ PSI} \quad (18)$$

De la misma manera se realizó el cálculo para las otras probetas obteniendo los valores que se encuentran en la sección 8.2.1 de los resultados.

Cálculo de la deformación unitaria

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \quad (19)$$

Donde: ϵ es la deformación unitaria, ΔL es la variación de longitud del material. L_0 es la longitud inicial del material.

Antes de aplicar cualquier carga, se midió la longitud original de la probeta con una regla o un calibrador. En este caso se conocía que la longitud inicial era de 8 pulgadas. Esta longitud se denotó como (L_0) en la fórmula.

Se aplicó una fuerza de tensión gradual y controlada a la probeta utilizando una máquina de ensayos. A medida que se aplicó la fuerza, la probeta se estiró y su longitud cambió.

A medida que se aplicó la fuerza, se tomaron mediciones precisas del cambio en la longitud de la probeta. Esto se logró midiendo la distancia entre dos puntos de referencia en la probeta. El cambio en longitud se denotó como (ΔL) en la expresión.

Como referencia se muestra el cálculo para la probeta número 1 del material compuesto a partir de luffa y resina epóxica.

$$\epsilon = \frac{Lf - L_0}{L_0} \quad (20)$$

Donde: ϵ es la deformación unitaria, (Lf) es longitud final en pulgadas y (L_0) es longitud inicial en pulgadas.

A partir de mediciones realizadas en el laboratorio de ingeniería civil utilizando el sensor de la compresora universal, se logró determinar la longitud exacta de las probetas justo antes de su fallo.

Cuadro 16: Longitud inicial y final de las probetas a tensión a partir de luffa y resina epóxica

No. prueba	Longitud inicial (Pulgadas)	Longitud final (Pulgadas)
1	8	8.236
2	8	8.236
3	8	8.315
4	8	8.354
5	8	8.197

Cuadro 17: Longitud inicial y final de las probetas a tensión a partir de cachaza de caña y resina epóxica

No. Prueba	Longitud inicial (Pulgadas)	Longitud final (Pulgadas)
1	8	8.276
2	8	8.177
3	8	8.217
4	8	8.177

Cuadro 18: Longitud inicial y final de las probetas a tensión a partir de fibra de coco y resina epóxica

No. prueba	Longitud inicial (Pulgadas)	Longitud final (Pulgadas)
1	8	8.157
2	8	8.157
3	8	8.354
4	8	8.295
5	8	8.276

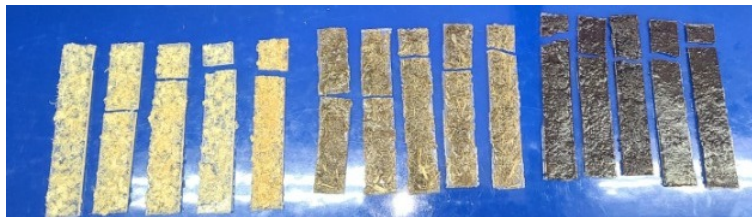
Empleando la ecuación número 20 con los datos de los cuadros número 16, 17 y 18. Como referencia se muestra el cálculo para la prueba número 1 del material compuesto a partir de luffa y resina epóxica del cuadro número 16.

$$\epsilon = \frac{8.236\text{Pulgadas} - 8\text{Pulgadas}}{8\text{Pulgadas}} \quad (21)$$

$$\epsilon = 0.030 \quad (22)$$

De la misma manera se realizó el cálculo para las otras probetas obteniendo los valores que se encuentran en la sección 8.7 de los resultados.

Figura 33: Probetas ensayadas a tensión



Cálculo del módulo de Young

Se realizaron ensayos de tensión en probetas de los materiales compuestos, registrando las mediciones de esfuerzo y deformación unitaria a medida que se aplicaban cargas crecientes. Y se calcula a partir de la ecuación número 23.

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \quad (23)$$

Donde E es el módulo de elasticidad, que mide la rigidez o la capacidad de un material para recuperar su forma original después de aplicar una fuerza, (σ) es el esfuerzo, que representa la fuerza aplicada por unidad de área en un material y (ϵ) es la deformación unitaria, que indica el cambio de longitud, por unidad de longitud, debido a una carga.

Los datos obtenidos se presentaron en gráficos de esfuerzo-deformación, disponibles en la sección 8.4 de los resultados. En estos gráficos, el esfuerzo se representa en el eje vertical (Y) y la deformación unitaria en el eje horizontal (X). Se observó que en la región inicial de estos gráficos, la relación entre el esfuerzo y la deformación unitaria era lineal.

Para determinar el módulo de Young a partir de un gráfico de esfuerzo-deformación, se analiza el gráfico que muestra cómo varía el esfuerzo en función de la deformación unitaria para una probeta. Luego, se identifica la región elástica en el gráfico, la parte donde el material exhibe un comportamiento elástico, es decir, vuelve a su forma original al retirar la carga. La pendiente de esta región inicial del gráfico es constante y representa el módulo de Young (E).

$$E = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\epsilon} \quad (24)$$

$$E = \frac{\sigma_f - \sigma_i}{\epsilon_f - \epsilon_i} \quad (25)$$

Donde: (σ_f) es el esfuerzo final, (σ_i) es el esfuerzo inicial, (ϵ_f) es la deformación final y (ϵ_i) es la deformación inicial.

A partir de la expresión número 25, la pendiente de la región elástica del gráfico se calcula dividiendo el cambio en el esfuerzo (σ final - σ inicial) por el cambio en la deformación unitaria (ϵ final - ϵ inicial) en esta región.

Para cada ensayo se anota esfuerzo inicial, esfuerzo final, deformación unitaria inicial y deformación unitaria final. Estos valores se encuentran en los cuadros número 45, 46 y 47 de la sección 8.5 de los resultados. Para cada valor se realizó el cálculo del módulo de Young correspondiente, empleando la ecuación número 25. Como referencia se muestra el cálculo para la prueba número 1 del material compuesto a partir de luffa y resina epóxica del cuadro número 45.

$$E = \frac{4064PSI - 1016PSI}{0.0397 - 0.0147} \quad (26)$$

$$E = 121920PSI \quad (27)$$

5.12.2. Ensayos a compresión

Cálculo de deformación unitaria

Al igual que en el ensayo de tensión, se determinó dividiendo la variación de longitud del material por su longitud inicial.

Y se calculó mediante la siguiente expresión:

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \quad (28)$$

Donde: ϵ es la deformación unitaria, ΔL es la variación de longitud del material. L_0 es la longitud inicial del material.

Antes de aplicar cualquier carga, se debe medir la longitud original de la probeta con una regla o un calibrador. En este caso se conocía que la longitud inicial era de 4 pulgadas. Esta longitud se denotó como (Lo) en la ecuación 28.

Se aplicó una fuerza de compresión gradual y controlada a la probeta utilizando una máquina de ensayos. A medida que se aplicó la fuerza, la probeta se comprimió y su longitud cambió.

A medida que se aplicó la fuerza, se tomaron mediciones precisas del cambio en la longitud de la probeta. Esto se logró midiendo la distancia entre dos puntos de referencia en la probeta. El cambio en longitud se denotó como (Delta L) en la expresión número 28.

$$\epsilon = \frac{Lf - Lo}{Lo} \quad (29)$$

Donde (Lf) es longitud final y (Lo) es longitud inicial.

A partir de mediciones realizadas en el laboratorio de ingeniería civil utilizando el sensor de la compresora universal, se logró determinar la longitud exacta de las probetas justo antes de su fallo.

Cuadro 19: Longitud inicial y final de las probetas a compresión a partir de luffa y resina epóxica

No. prueba	Longitud inicial (Pulgadas)	Longitud final (Pulgadas)
1	4	3.646
2	4	3.724
3	4	3.724
4	4	3.724
5	4	3.724

Cuadro 20: Longitud inicial y final de las probetas a compresión a partir de cachaza de caña y resina epóxica

No. prueba	Longitud inicial (Pulgadas)	Longitud final (Pulgadas)
1	4	3.724
2	4	3.724
3	4	3.724
4	4	3.724
5	4	3.764

Cuadro 21: Longitud inicial y final de las probetas a compresión a partir de fibra de coco y resina epóxica

No. prueba	Longitud inicial (Pulgadas)	Longitud final (Pulgadas)
1	4	3.724
2	4	3.693
3	4	3.705
4	4	3.724
5	4	3.764

Como referencia se muestra el cálculo para la probeta número 1 del material compuesto a partir de luffa y resina epóxica utilizando los datos del cuadro número 19.

$$\epsilon = \frac{4Pulgadas - 3.647Pulgadas}{4Pulgadas} \quad (30)$$

$$\epsilon = -0.089 \quad (31)$$

De la misma manera se realizó el cálculo para las otras probetas obteniendo los valores que se encuentran en la sección 8.7 de los resultados. Las deformaciones unitarias se expresan en negativo en esta sección porque el material se acorta o comprime, lo que se representa como una disminución de la longitud original, por lo tanto, se utilizó un valor negativo para describir este cambio.

Resistencia última a la compresión

$$\sigma = \frac{f}{A} \quad (32)$$

Donde: σ = resistencia a la compresión, (f) representa la carga máxima aplicada y (A) representa el área de la sección transversal de la probeta.

Para cada ensayo se anota la carga máxima que soporta la probeta antes de fallar. Estos valores se encuentran en los cuadros número 22, 23 y 24.

Cuadro 22: Medición de carga máxima y área de 5 probetas a partir de luffa y resina epóxica

No. de prueba	Carga máxima (lbf)	Área (in ²)
1	9934.50	2.25
2	18275	2.25
3	15171	2.25
4	17168	2.25
5	16965	2.25

Cuadro 23: Medición de carga máxima y área de 5 probetas a partir de cachaza de caña y resina epóxica

No. de prueba	Carga máxima (lbf)	Área (in ²)
1	16582	2.25
2	19124	2.25
3	18246	2.25
4	20205	2.25
5	17886	2.25

Cuadro 24: Medición de carga máxima y área de 5 probetas a partir de fibra de coco y resina epóxica

No. de prueba	Carga máxima (Lbf)	Área (in ²)
1	11637	2.25
2	15322	2.25
3	17458	2.25
4	16298	2.25
5	13014	2.25

Para calcular el esfuerzo máximo que cada probeta soporta antes de fallar, se empleó la ecuación número. 32. Como referencia, se presenta el cálculo para la prueba número 1 del material compuesto de luffa con resina epóxica, que se encuentra en el cuadro número 22. La ecuación número 32 se aplicó de la siguiente manera:

$$\sigma = \frac{9934.50 \text{ lbf}}{2.25 \text{ Pulgadas}^2} \quad (33)$$

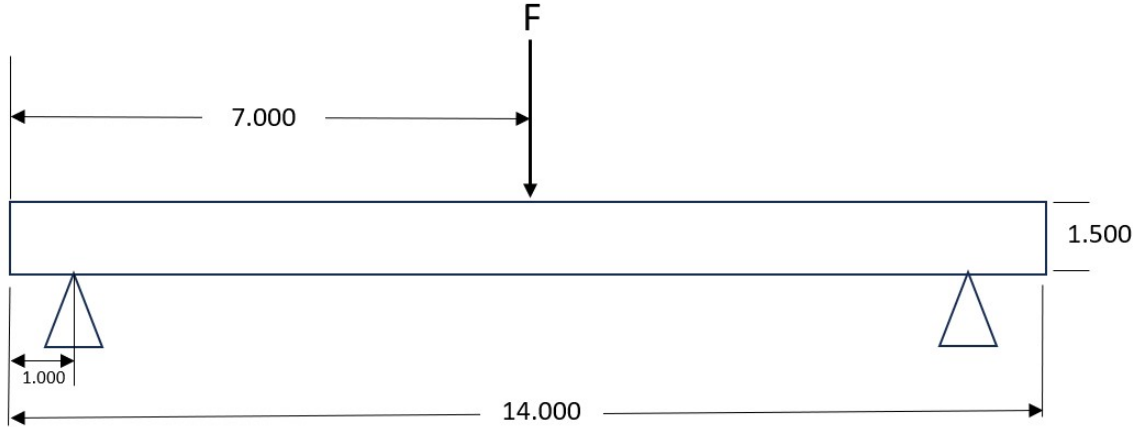
Obteniendo así el siguiente resultado

$$\sigma = 4415.33 \text{ PSI} \quad (34)$$

De la misma manera se realizó el cálculo para las otras probetas obteniendo los valores que se encuentran en la sección 8.3 de los resultados.

5.12.3. Ensayo de flexión

Figura 34: DCL de probetas ensayadas a flexión (Pulgadas)



Cálculo del momento flector máximo

Para calcular el momento flector máximo para las 15 probetas a flexión se necesitaron la distancia entre los puntos de apoyo y la carga aplicada. Dado que las cargas máximas antes de fallar y las dimensiones de las probetas se conocen, se puede calcular el momento flector para cada una.

$$M = \frac{F \cdot L}{4} \quad (35)$$

Donde: (F) es la carga puntual aplicada, (L) distancia entre los dos puntos de apoyo y el factor 4 en la fórmula se refiere a una carga que se aplica en un punto específico de la viga, se utiliza para calcular el momento flector máximo que resulta de esta carga concentrada. Es una simplificación que se aplica en ciertos casos, y se basa en consideraciones de la teoría de la elasticidad y las ecuaciones de equilibrio (Callister & Rethwisch, 2019).

Cuadro 25: Mediciones realizadas de fuerza y distancia del material compuesto a partir de luffa y resina epóxica

No. prueba	F (lbf)	Distancia (pulgadas)
1	13120	12
2	12045	12
3	13781	12
4	11662	12
5	12921	12

Cuadro 26: Mediciones realizadas de fuerza y distancia del material compuesto a partir de cachaza de caña y resina epóxica

No. prueba	F (lbf)	distancia (pulgadas)
1	15876	12
2	13257	12
3	14677	12
4	14139	12
5	15489	12

Cuadro 27: Mediciones realizadas de fuerza y distancia del material compuesto a partir de fibra de coco y resina epóxica

No. prueba	F (lbf)	distancia (pulgadas)
1	12339	12
2	10279	12
3	10891	12
4	14996	12
5	13574	12

Para cada ensayo se realizó el cálculo del momento flector máximo correspondiente, empleando la ecuación número 35. Como referencia se muestra el cálculo para la prueba número 1 del material compuesto a partir de luffa y resina epóxica del cuadro número 25.

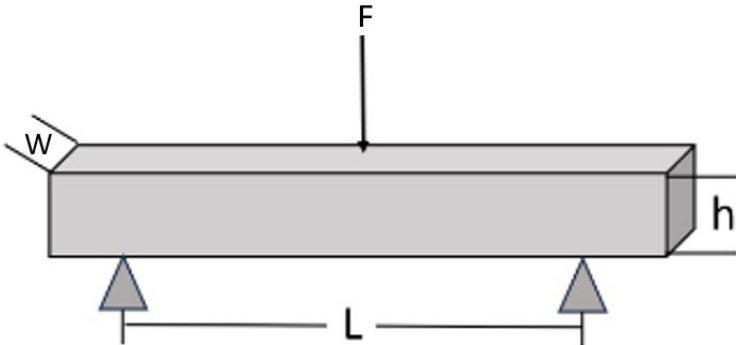
$$M = \frac{13120lbf \cdot 12pulgadas}{4} \tag{36}$$

$$M = 39360lbf - Pulgadas \tag{37}$$

De la misma manera se realizó el cálculo para las otras probetas obteniendo los valores que se encuentran en la sección número 8.5 de los resultados.

Resistencia última a la flexión

Figura 35: DCL para calcular resistencia última a la flexión



Para calcular la resistencia última a la flexión en las 15 probetas, se puede utilizar la expresión para la resistencia última a la flexión en un ensayo de flexión. La fórmula general para la resistencia a la flexión es:

$$\sigma = \frac{3FL}{2Wh^2} \quad (38)$$

Donde: (F) es la carga máxima que soporta la probeta antes de fallar, (L) es la distancia entre los apoyos, (W) es el espesor de la probeta y (h) es el ancho de la probeta como se evidencia en el DCL de la figura número 38. Así mismo la constante 3 en el numerador considera la relación entre el máximo y el mínimo de tensión en una viga sometida a flexión y La constante 2 en el denominador se relaciona con la geometría de la sección transversal de la viga, multiplicando el ancho por el cuadrado de la altura para calcular el área de la sección (Callister & Rethwisch, 2019).

En cada ensayo, se registra la carga máxima que la probeta puede soportar antes de experimentar una falla. Estos datos se encuentran detallados en los cuadros número 28, 29 y 30, junto con las medidas de altura y espesor de cada probeta.

Cuadro 28: Ancho, espesor y carga máxima de la probeta para ensayos a flexión del material compuesto a partir de luffa y resina epóxica

No. prueba	Ancho (pulgadas)	Espesor (pulgadas)	Carga Máxima (lbf)
1	1.50	1.50	13120
2	1.50	1.50	12045
3	1.50	1.50	13781
4	1.50	1.50	11662
5	1.50	1.50	12921

Cuadro 29: Ancho, espesor y carga máxima de la probeta para ensayos a flexión del material compuesto a partir de cachaza de caña y resina epóxica

No. prueba	Ancho (pulgadas)	Espesor (pulgadas)	Carga Máxima (lbf)
1	1.50	1.50	15876
2	1.50	1.50	13257
3	1.50	1.50	14677
4	1.50	1.50	14139
5	1.50	1.50	15489

Cuadro 30: Ancho, espesor y carga máxima de la probeta para ensayos a flexión del material compuesto a partir de fibra de coco y resina epóxica

No. prueba	Ancho (pulgadas)	Espesor (pulgadas)	Carga Máxima (lbf)
1	1.50	1.50	12339
2	1.50	1.50	10279
3	1.50	1.50	10891
4	1.50	1.50	14996
5	1.50	1.50	13574

Para cada valor se realizó el cálculo del esfuerzo máximo correspondiente que soporta la probeta antes de fallar, empleando la ecuación número 38. Como referencia se muestra el cálculo para la prueba número 1 del material compuesto a partir de luffa y resina epóxica del cuadro número 28.

$$\sigma = \frac{3 * 13120(lbf) * 12(Pulgadas)}{2 * 1.50Pulgadas * (1.50Pulgadas)^2} \quad (39)$$

$$\sigma = \frac{472320lbf}{6.75Pulgadas^2} \quad (40)$$

$$\sigma = 69973.33PSI \quad (41)$$

De la misma manera se realizó el cálculo para las otras probetas obteniendo los valores que se encuentran en la sección 8.4 de los resultados.

Cálculo de deflexión máxima

Debido a la carga puntual presente en los ensayos, se utilizó un modelo de Carga Puntual en el Centro (también conocida como carga concentrada) se calcula la deflexión máxima a partir de la ecuación número 42.

$$\delta = \frac{F \cdot L^3}{48 \cdot E \cdot I} \quad (42)$$

Donde: (F) es la fuerza aplicada o carga máxima (lbf) soportada antes de fallar, (L) es la longitud entre los apoyos, (E) es el módulo de elasticidad e (I) es el momento de inercia de la sección rectangular, y para una viga rectangular el momento de inercia (I), se calcula como:

$$I = \frac{h \cdot w^3}{12} \quad (43)$$

Donde: (h) es el ancho de la viga, (w) es el espesor de la viga y la constante 12 en la fórmula de inercia de una viga es específica para una sección transversal rectangular y se utiliza en el cálculo de la resistencia de la viga a la flexión (Callister & Rethwisch, 2019).

$$I = \frac{1.5Pulgadas \cdot (1.5Pulgadas)^3}{12} \quad (44)$$

$$I = 0.42Pulgadas^4 \quad (45)$$

Cuadro 31: Datos para calcular la deflexión máxima del material compuesto a partir de luffa y resina epóxica

No. prueba	F (lbf)	Módulo de elasticidad (PSI)	L (Pulgadas)	Inercia (<i>Pulgadas</i> ⁴)
1	13120	75951.38	12	0.42
2	12045	75951.38	12	0.42
3	13781	75951.38	12	0.42
4	11662	75951.38	12	0.42
5	12921	75951.38	12	0.42

Cuadro 32: Datos para calcular la deflexión máxima del material compuesto a partir de cachaza de caña y resina epóxica

No. prueba	F (lbf)	Módulo de elasticidad (PSI)	L (Pulgadas)	Inercia (<i>Pulgadas</i> ⁴)
1	15876	67988.57	12	0.42
2	13257	67988.57	12	0.42
3	14677	67988.57	12	0.42
4	14139	67988.57	12	0.42
5	15489	67988.57	12	0.42

Cuadro 33: Datos para calcular la deflexión máxima del material compuesto a partir de fibra de coco y resina epóxica

No. prueba	F (lbf)	Módulo de elasticidad (PSI)	L (Pulgadas)	Inercia (<i>Pulgadas</i> ⁴)
1	12339	93632.06	12	0.42
2	10279	93632.06	12	0.42
3	10891	93632.06	12	0.42
4	14996	93632.06	12	0.42
5	13574	93632.06	12	0.42

Para cada valor se realizó el cálculo correspondiente, empleando la ecuación número. 42. Como referencia se muestra el cálculo para la prueba número 1 del material compuesto a partir de luffa y resina epóxica del cuadro número 31.

$$\delta = \frac{13120lbf \cdot (12Pulgadas)^3}{48 \cdot 75951.38PSI \cdot 0.42Pulgadas^4} \quad (46)$$

$$\delta = 14.81pulgadas \quad (47)$$

De la misma manera se realizó el cálculo para las otras probetas obteniendo los valores que se encuentran en la sección 8.8 de los resultados.

En este capítulo, se expondrán los resultados de las propiedades mecánicas de tres materiales compuestos distintos. Estos materiales compuestos están fabricados a partir de fibra de coco, luffa y cachaza de caña respectivamente, los cuales se encuentran mezclados con resina epóxica utilizando una distribución aleatoria de fibras.

6.1. Área transversal

A partir de los datos proporcionados en el cuadro número 2, ubicado en la sección de diseño de probetas, se han realizado cálculos que han dado como resultado los valores presentados en el cuadro número 34.

Cuadro 34: Áreas transversales de las probetas

Probeta	Área (Pulgadas²)
Tensión	0.30
Compresión	2.25
Flexión	2.25

6.2. Ensayos a tensión

En esta sección, se exponen los resultados derivados de los ensayos de tensión realizados en cada material compuesto. Además, se comparan con los valores teóricos previamente calculados en la sección 5.9, lo que nos permite calcular el porcentaje de diferencia.

6.2.1. Luffa

Cuadro 35: Resultados de la resistencia última a la tensión del material compuesto a partir de luffa y resina epóxica

No. Prueba	Carga máxima (Lbf)	Área (in ²)	Resistencia teo. (PSI)	Resistencia exp. (PSI)	% de diferencia
1	1256	0.30	6852.18	4186.67	38.90
2	856	0.30	6852.18	2853.33	58.36
3	763	0.30	6852.18	2543.33	62.88
4	1035	0.30	6852.18	3450.00	49.65
5	605	0.30	6852.18	2016.67	70.57
Comparación			6852.18	3010.00	56.07
			Desviación estándar	837.73	PSI

6.2.2. Cachaza de caña

Cuadro 36: Resultados de la resistencia última a la tensión del material compuesto a partir de cachaza de caña y resina epóxica

No. Prueba	Carga máxima (Lbf)	Área (in ²)	Resistencia teo. (PSI)	Resistencia exp. (PSI)	% de diferencia
1	987.5	0.30	6680.87	3291.67	50.73
2	838	0.30	6680.87	2793.33	58.19
3	1028	0.30	6680.87	3426.67	48.71
4	732	0.30	6680.87	2440.00	63.48
5	192	0.30	6680.87	640.00	90.42
Comparación			6680.87	2987.92	55.28
			Desviación estándar	1121.72	PSI

6.2.3. Fibra de coco

Cuadro 37: Resultados de la resistencia última a la tensión del material compuesto a partir de fibra de coco y resina epóxica

No. Prueba	Carga máxima (Lbf)	Área (in ²)	Resistencia teo. (PSI)	Resistencia exp. (PSI)	% de diferencia
1	295	0.30	6852.18	983.33	85.65
2	286	0.30	6852.18	953.33	86.09
3	621	0.30	6852.18	2070.00	69.79
4	885.5	0.30	6852.18	2951.67	56.92
5	155	0.30	6852.18	516.67	92.46
Comparación			6852.18	1495.00	78.18
			Desviación estándar	995.60	PSI

6.3. Ensayos a compresión

En esta sección, se exponen los resultados derivados de los ensayos de compresión realizados en cada material compuesto. Además, se comparan con los valores teóricos previamente calculados en la sección 5.9, lo que nos permite calcular el porcentaje de diferencia.

6.3.1. Luffa

Cuadro 38: Resultados de la resistencia última a la compresión del material compuesto a partir de luffa y resina epóxica

No. Prueba	Carga máxima (Lbf)	Área (in ²)	Resistencia teo. (PSI)	Resistencia exp. (PSI)	% de diferencia
1	9934.5	2.25	33938.89	4415.33	86.99
2	18275	2.25	33938.89	8122.22	76.07
3	15171	2.25	33938.89	6742.67	80.13
4	17168	2.25	33938.89	7630.22	77.52
5	16965	2.25	33938.89	7540.00	77.78
Comparación			33938.89	6890.09	79.70
			Desviación estándar	1469.22	PSI

6.3.2. Cachaza de caña

Cuadro 39: Resultados de la resistencia última a la compresión del material compuesto a partir de cachaza de caña y resina epóxica

No. Prueba	Carga máxima (Lbf)	Área (in ²)	Resistencia teo. (PSI)	Resistencia exp. (PSI)	% de diferencia
1	16582	2.25	35896.91	7369.78	79.47
2	19124	2.25	35896.91	8499.56	76.32
3	18246	2.25	35896.91	8109.33	77.41
4	20205	2.25	35896.91	8980.00	74.98
5	17886	2.25	35896.91	7949.33	77.86
Comparación			35896.91	8181.60	77.21
			Desviación estándar	603.48	PSI

6.3.3. Fibra de coco

Cuadro 40: Resultados de la resistencia última a la compresión del material compuesto a partir de fibra de coco y resina epóxica

No. Prueba	Carga máxima (Lbf)	Área (in ²)	Resistencia teo. (PSI)	Resistencia exp. (PSI)	% de diferencia
1	11637	2.25	32633.55	5172.00	84.15
2	15322	2.25	32633.55	6809.78	79.13
3	17458	2.25	32633.55	7759.11	76.22
4	16298	2.25	32633.55	7243.56	77.80
5	13014	2.25	32633.55	5784.00	82.28
Comparación			32633.55	6553.69	79.92
			Desviación estándar	1060.19	PSI

6.4. Ensayos a flexión

En esta sección, se exponen los resultados derivados de los ensayos de flexión realizados en cada material compuesto. Además, se comparan con los valores teóricos previamente calculados en la sección 5.9, lo que nos permite calcular el porcentaje de diferencia.

6.4.1. Luffa

Cuadro 41: Resultados de la resistencia última a la flexión del material compuesto a partir de luffa y resina epóxica

No. Prueba	Carga máxima (Lbf)	Area (in ²)	Resistencia teo. (PSI)	Resistencia exp. (PSI)	% de diferencia
1	13120	2.25	36549.58	69973.33	-91.45
2	12045	2.25	36549.58	64240	-75.76
3	13781	2.25	36549.58	73498.67	-101.09
4	11662	2.25	36549.58	62197.33	-70.17
5	12921	2.25	36549.58	68912	-88.54
Comparación			36549.58	67764.27	-85.40
			Desviación estándar	4541.25	PSI

6.4.2. Cachaza de caña

No se han podido registrar valores de resistencia teórica equivalentes debido a la falta de información suficiente para determinar el valor teórico en el ensayo de flexión del material compuesto fabricado con cachaza de caña y resina epoxi.

Cuadro 42: Resultados de la resistencia última a la flexión del material compuesto a partir de cachaza de caña y resina epóxica

No. Prueba	Carga máxima (Lbf)	Area (in ²)	Resistencia exp. (PSI)
1	15876	2.25	84672
2	13257	2.25	70704
3	14677	2.25	78277.33
4	14139	2.25	75408
5	15489	2.25	82608
			78333.87
		Desviación estándar	5595.06 PSI

6.4.3. Fibra de coco

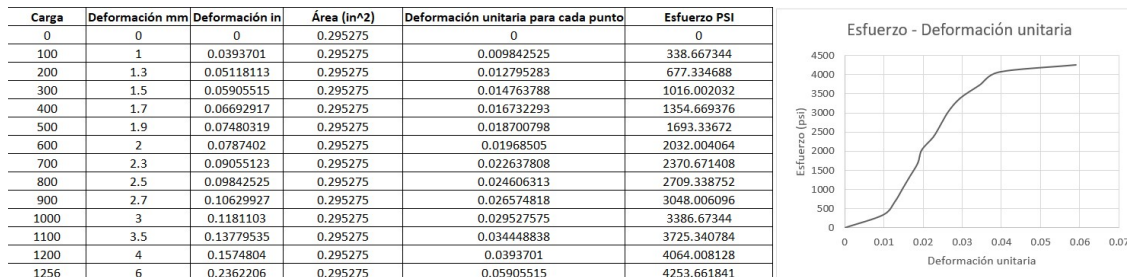
Cuadro 43: Resultados de la resistencia última a la flexión del material compuesto a partir de fibra de coco y resina epóxica

No. Prueba	Carga máxima (Lbf)	Área (in ²)	Resistencia teo. (PSI)	Resistencia exp. (PSI)	% de diferencia
1	12339	2.25	162188.74	65808	59.43
2	10279	2.25	162188.74	54821.33	66.20
3	10891	2.25	162188.74	58085.33	64.19
4	14996	2.25	162188.74	79978.67	50.69
5	13574	2.25	162188.74	72394.67	55.36
		Comparación	162188.74	66217.60	59.17
		Desviación estándar		10291.98	PSI

6.5. Módulo de Young de cada material

En esta sección, se presentan gráficos que ilustran la relación entre el esfuerzo y la deformación unitaria de las probetas sometidas a ensayo de tensión. Además de los gráficos, se proporcionan los datos medidos en el laboratorio durante los ensayos, lo que permite a los lectores obtener una visión detallada de los resultados.

Figura 36: Ensayo de tensión de luffa, Esfuerzo - deformación unitaria probeta No. 1



Para determinar el módulo de Young a partir de un gráfico de esfuerzo-deformación, se analiza la relación entre el esfuerzo (fuerza por unidad de área) y la deformación (cambio en la longitud original) de una probeta. Para así poder complementar la expresión número 25. Se optó por utilizar valores que se asemejan más a los datos extraídos de los gráficos obtenidos a partir de mediciones de laboratorio, lo que proporciona información más fiable y precisa. (σ final = 4064 PSI - σ inicial = 1016 PSI) y (ϵ final = 0.0397 - ϵ inicial = 0.0147). Estos valores se pueden identificar en la figura número 39.

De la misma manera se realizó el análisis para los otros gráficos de esfuerzo - deformación, a partir de los valores y gráficos que se encuentran a continuación.

Figura 37: Ensayo de tensión de luffa, Esfuerzo - deformación unitaria probeta No. 2

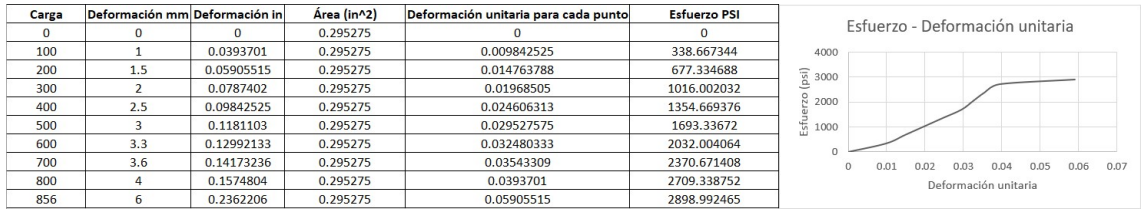


Figura 38: Ensayo de tensión de luffa, Esfuerzo - deformación unitaria probeta No. 3

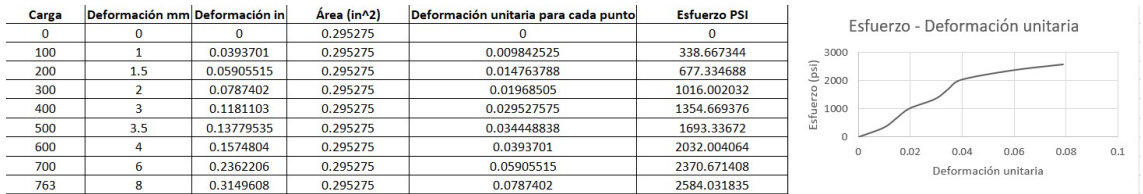


Figura 39: Ensayo de tensión de luffa, Esfuerzo - deformación unitaria probeta No. 4

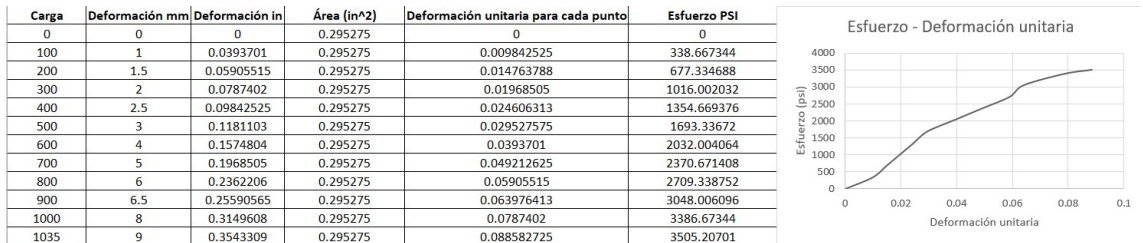


Figura 40: Ensayo de tensión de luffa, Esfuerzo - deformación unitaria probeta No. 5

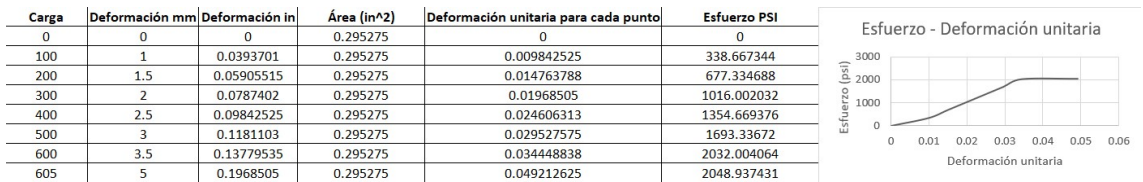


Figura 41: Ensayo de tensión de cachaza de caña, Esfuerzo - deformación unitaria probeta No. 1

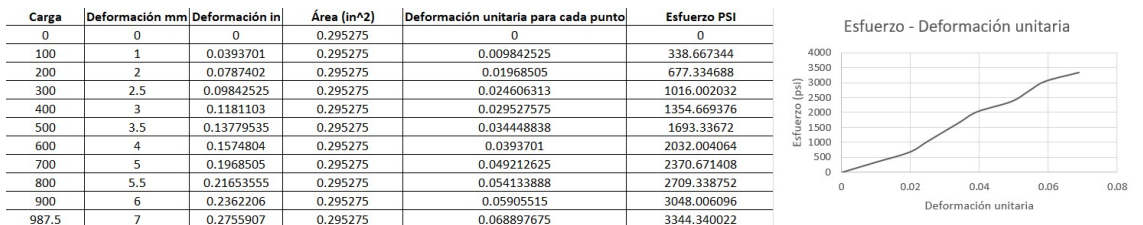


Figura 42: Ensayo de tensión de cachaza de caña, Esfuerzo - deformación unitaria probeta No. 2

Carga	Deformación mm	Deformación in	Área (in ²)	Deformación unitaria para cada punto	Esfuerzo PSI
0	0	0	0.295275	0	0
100	1	0.0393701	0.295275	0.009842525	338.667344
200	1.5	0.05905515	0.295275	0.014763788	677.334688
300	2	0.0787402	0.295275	0.01968505	1016.002032
400	2.3	0.09055123	0.295275	0.022637808	1354.669376
500	2.7	0.10629927	0.295275	0.026574818	1693.33672
600	3	0.1181103	0.295275	0.029527575	2032.004064
700	3.5	0.13779535	0.295275	0.034448838	2370.671408
800	4	0.1574804	0.295275	0.0393701	2709.338752
838	4.5	0.17716545	0.295275	0.044291363	2838.032343



Figura 43: Ensayo de tensión de cachaza de caña, Esfuerzo - deformación unitaria probeta No. 3

Carga	Deformación mm	Deformación in	Área (in ²)	Deformación unitaria para cada punto	Esfuerzo PSI
0	0	0	0.295275	0	0
100	1	0.0393701	0.295275	0.009842525	338.667344
200	1.5	0.05905515	0.295275	0.014763788	677.334688
300	2	0.0787402	0.295275	0.01968505	1016.002032
400	2.5	0.09842525	0.295275	0.024606313	1354.669376
500	3	0.1181103	0.295275	0.029527575	1693.33672
600	3.5	0.13779535	0.295275	0.034448838	2032.004064
700	4	0.1574804	0.295275	0.0393701	2370.671408
800	4.5	0.17716545	0.295275	0.044291363	2709.338752
900	4.7	0.18503947	0.295275	0.046259868	3048.006096
1000	5	0.1968505	0.295275	0.049212625	3386.67344
1028	5.5	0.21653555	0.295275	0.054133888	3481.500296



Figura 44: Ensayo de tensión de cachaza de caña, Esfuerzo - deformación unitaria probeta No. 4

Carga	Deformación mm	Deformación in	Área (in ²)	Deformación unitaria para cada punto	Esfuerzo PSI
0	0	0	0.295275	0	0
100	1	0.0393701	0.295275	0.009842525	338.667344
200	1.3	0.05118113	0.295275	0.012795283	677.334688
300	1.5	0.05905515	0.295275	0.014763788	1016.002032
400	2	0.0787402	0.295275	0.01968505	1354.669376
500	2.5	0.09842525	0.295275	0.024606313	1693.33672
600	3	0.1181103	0.295275	0.029527575	2032.004064
700	4	0.1574804	0.295275	0.0393701	2370.671408
732	4.5	0.17716545	0.295275	0.044291363	2479.044958



Figura 45: Ensayo de tensión de cachaza de caña, Esfuerzo - deformación unitaria probeta No. 5

Carga	Deformación mm	Deformación in	Área (in ²)	Deformación unitaria para cada punto	Esfuerzo PSI
0	0	0	0.295275	0	0
100	1	0.0393701	0.295275	0.009842525	338.667344
129	2	0.0787402	0.295275	0.01968505	436.8808738



Figura 46: Ensayo de tensión de fibra de coco, Esfuerzo - deformación unitaria probeta No. 1

Carga	Deformación mm	Deformación in	Área (in ²)	Deformación unitaria para cada punto	Esfuerzo PSI
0	0	0	0.295275	0	0
100	1	0.0393701	0.295275	0.009842525	338.667344
200	2	0.0787402	0.295275	0.01968505	677.334688
295	4	0.1574804	0.295275	0.0393701	999.0686648

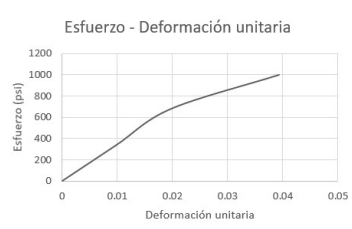


Figura 47: Ensayo de tensión de fibra de coco, Esfuerzo - deformación unitaria probeta No. 2

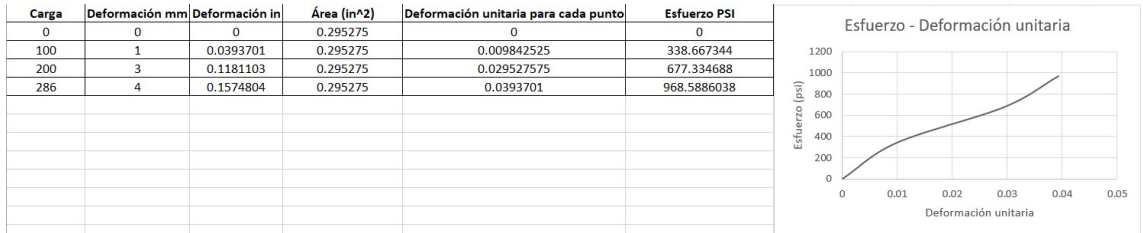


Figura 48: Ensayo de tensión de fibra de coco, Esfuerzo - deformación unitaria probeta No. 3

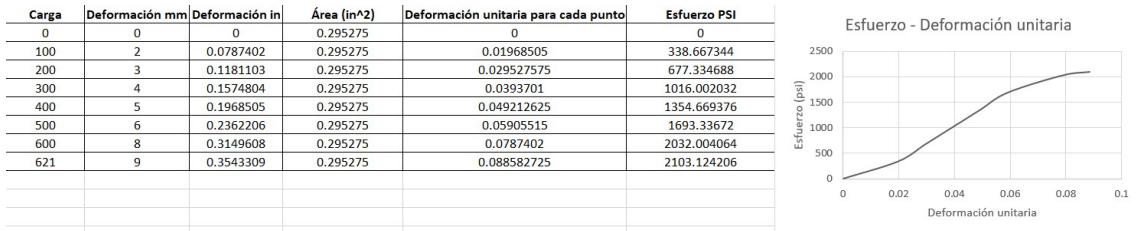


Figura 49: Ensayo de tensión de fibra de coco, Esfuerzo - deformación unitaria probeta No. 4

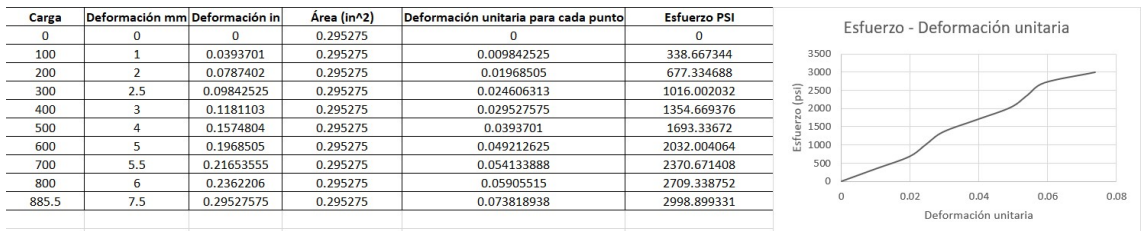
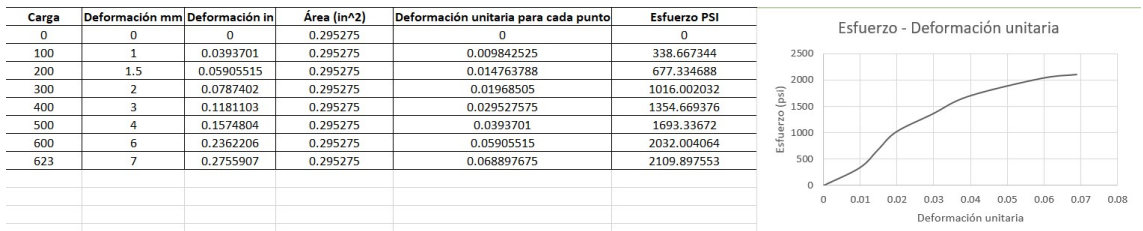


Figura 50: Ensayo de tensión de fibra de coco, Esfuerzo - deformación unitaria probeta No. 5



Cuadro 44: Valores utilizados para determinar el Módulo de Young del material compuesto a partir de luffa y resina epóxica

No. de prueba	Esfuerzo inicial (PSI)	Esfuerzo final (PSI)	Def. Uni Inicial	Def. Uni final
1	1016	4064	0.0147	0.0397
2	1016	2709	0.0196	0.0393
3	677	2032	0.0147	0.03937
4	677	3048	0.0147	0.0639
5	677	2032	0.0147	0.0344

Cuadro 45: Valores utilizados para determinar el Módulo de Young del material compuesto a partir de cachaza de caña y resina epóxica

No. de prueba	Esfuerzo inicial (PSI)	Esfuerzo final (PSI)	Def. Uni Inicial	Def. Uni final
1	1016	3048	0.0246	0.059
2	677	2709	0.0147	0.0393
3	677	3386	0.0147	0.04921
4	1354	2370	0.01968	0.0393
5	Descartado	Descartado	Descartado	Descartado

En el cuadro número 45, se nota la presencia de una prueba descartada. Esto se debió a que, durante el proceso de pruebas, esta probeta experimentó una falla inusual en comparación con las demás. Al analizar las desviaciones estándar de las pruebas, se determinó que lo más apropiado era eliminar esta prueba para evitar que afectara los resultados generales.

Cuadro 46: Valores utilizados para determinar el Módulo de Young del material compuesto a partir de fibra de coco y resina epóxica

No. de prueba	Esfuerzo inicial (PSI)	Esfuerzo final (PSI)	Def. Uni Inicial	Def. Uni final
1	677	900	0.0196	0.0393
2	338	900	0.00984	0.03937
3	677	1693	0.02952	0.059055
4	1016	2709	0.0246	0.02905
5	1354	2032	0.02952	0.05905

Cuadro 47: Resultados del módulo de Young para cada material compuesto

Material	Modulo de Young (PSI)
Luffa	75951.38
Cachaza de caña	67988.57
Fibra de coco	93632.06

6.6. Momento flector máximo de cada material

6.6.1. Luffa

Cuadro 48: Resultados del momento flector máximo del material compuesto a partir de luffa y resina epóxica

No. prueba	Momento flector máximo (lbf-in)
1	39360
2	36135
3	41343
4	34986
5	38763
Promedio	38117.40
Desviación estándar	2554.45

6.6.2. Cachaza de caña

Cuadro 49: Resultados del momento flector máximo del material compuesto a partir de cachaza de caña y resina epóxica

No. prueba	Momento flector máximo (lbf-in)
1	47628
2	39771
3	44031
4	42417
5	46467
Promedio	44062.80
Desviación estándar	3147.22

6.6.3. Fibra de coco

Cuadro 50: Resultados del momento flector máximo del material compuesto a partir de fibra de coco y resina epóxica

No. prueba	Momento flector máximo (lbf-in)
1	37017
2	30837
3	32673
4	44988
5	40722
Promedio	37247.40
Desviación estándar	5789.24

6.7. Deformación unitaria

6.7.1. Ensayos a tensión

Cuadro 51: Resultados de la deformación unitaria de los materiales compuestos a partir de las probetas ensayadas a tensión

	Luffa	Cachaza de caña	Fibra de coco
	Deformación unitaria	Deformación unitaria	Deformación unitaria
	0.030	0.034	0.0197
	0.030	0.022	0.020
	0.039	0.027	0.044
	0.044	0.022	0.037
	0.025	0	0.034
Promedio	0.033	0.026	0.031
Desviación estándar	0.008	0.006	0.011

6.7.2. Ensayos a compresión

Cuadro 52: Resultados de la deformación unitaria de los materiales compuestos a partir de las probetas ensayadas a compresión

	Luffa	Cachaza de caña	Fibra de coco
	Deformación unitaria	Deformación unitaria	Deformación unitaria
	-0.089	-0.069	-0.069
	-0.069	-0.069	-0.077
	-0.069	-0.069	-0.074
	-0.069	-0.069	-0.069
	-0.069	-0.059	-0.059
Promedio	-0.073	-0.067	-0.069
Desviación estándar	0.009	0.004	0.007

6.8. Deflexión máxima

6.8.1. Luffa con resina epóxica

Cuadro 53: Resultados de la deflexión máxima del material compuesto a partir de luffa y resina epóxica

No. prueba	Deflexión máxima (pulgadas)
1	14.81
2	13.59
3	15.55
4	13.16
5	14.58

6.8.2. Cachaza de caña con resina epóxica

Cuadro 54: Resultados de la deflexión máxima del material compuesto a partir de cachaza de caña y resina epóxica

No. prueba	Deflexión máxima (pulgadas)
1	20.02
2	16.71
3	18.50
4	17.83
5	19.53

6.8.3. fibra de coco con resina epóxica

Cuadro 55: Resultados de la deflexión máxima del material compuesto a partir de fibra de coco y resina epóxica

No. prueba	Deflexión máxima (pulgadas)
1	11.30
2	9.41
3	9.97
4	13.73
5	12.43

6.9. Resumen de propiedades mecánicas de los tres materiales compuestos

6.9.1. Luffa con resina epóxica

Cuadro 56: Propiedades mecánicas del material compuesto a partir de luffa y resina epóxica

Propiedad	Valor	Dimensional
Resistencia última a la tensión	3010.00	PSI
Resistencia última a la compresión	6890.09	PSI
Resistencia última a la flexión	67764.27	PSI
Módulo de Young	75.95	MPSI
Momento flector máximo	38117.40	lbf-in

6.9.2. Cachaza de caña con resina epóxica

Cuadro 57: Propiedades mecánicas del material compuesto a partir de cachaza de caña y resina epóxica

Propiedad	Valor	Dimensional
Resistencia última a la tensión	2987.92	PSI
Resistencia última a la compresión	8181.60	PSI
Resistencia última a la flexión	78333.87	PSI
Módulo de Young	67.98	MPSI
Momento flector máximo	44062.80	lbf-in

6.9.3. Fibra de coco con resina epóxica

Cuadro 58: Propiedades mecánicas del material compuesto a partir de fibra de coco y resina epóxica

Propiedad	Valor	Dimensional
Resistencia última a la tensión	1495.00	PSI
Resistencia última a la compresión	6553.69	PSI
Resistencia última a la flexión	66217.60	PSI
Módulo de Young	93.63	MPSI
Momento flector máximo	37247.4	lbf-in

6.10. Resultados de gráficos esfuerzo - deformación

En esta sección, se presentan gráficos que ilustran la relación entre el esfuerzo y la deformación unitaria de las 45 probetas sometidas a ensayos de tensión, compresión y flexión. Además de los gráficos, se proporcionan los datos medidos en el laboratorio durante los ensayos, lo que permite a los lectores obtener una visión detallada de los resultados.

Figura 51: Ensayo de tensión de luffa, Esfuerzo - deformación unitaria probeta No. 1

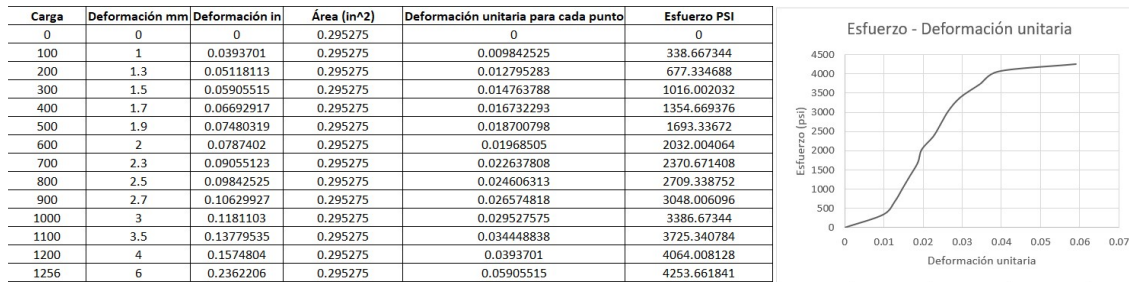


Figura 52: Ensayo de tensión de luffa, Esfuerzo - deformación unitaria probeta No. 2

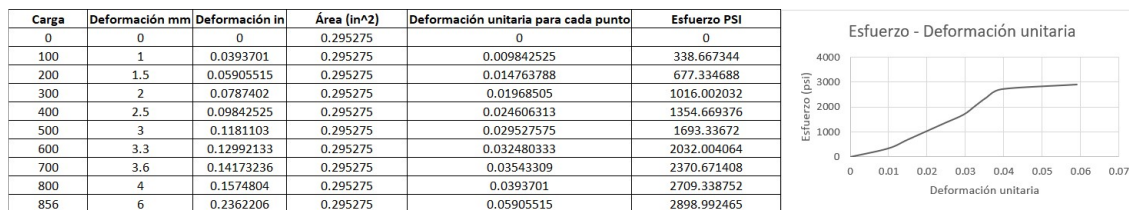


Figura 53: Ensayo de tensión de luffa, Esfuerzo - deformación unitaria probeta No. 3

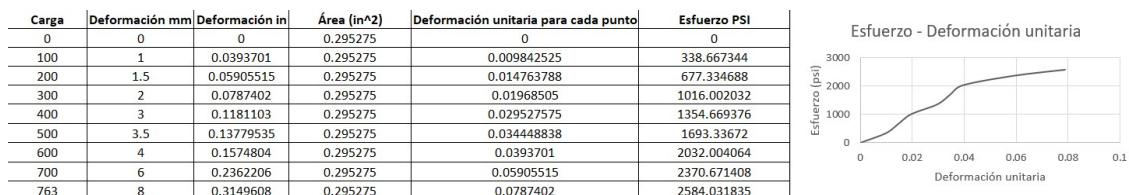


Figura 54: Ensayo de tensión de luffa, Esfuerzo - deformación unitaria probeta No. 4

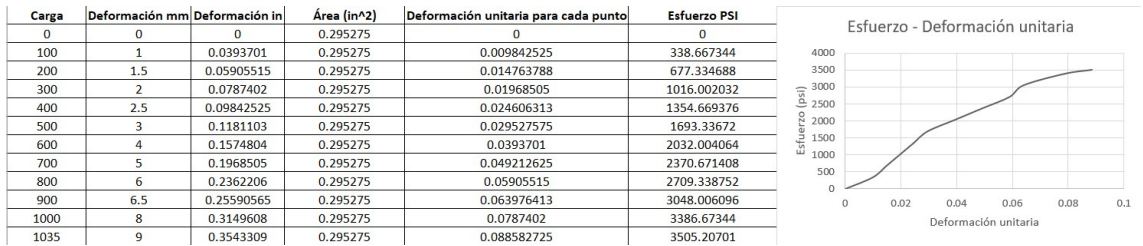


Figura 55: Ensayo de tensión de luffa, Esfuerzo - deformación unitaria probeta No. 5

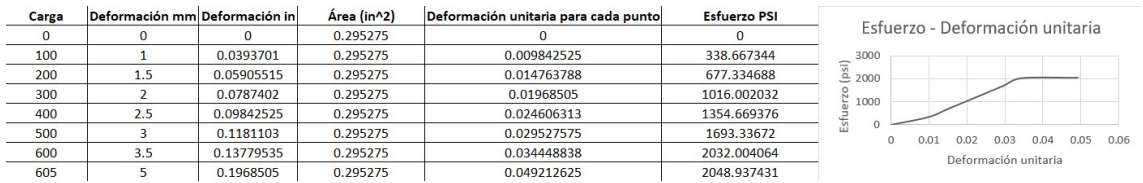


Figura 56: Ensayo de tensión de cachaza de caña, Esfuerzo - deformación unitaria probeta No. 1

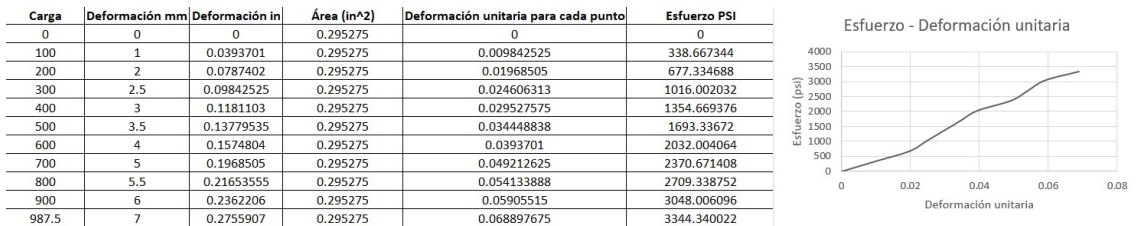


Figura 57: Ensayo de tensión de cachaza de caña, Esfuerzo - deformación unitaria probeta No. 2

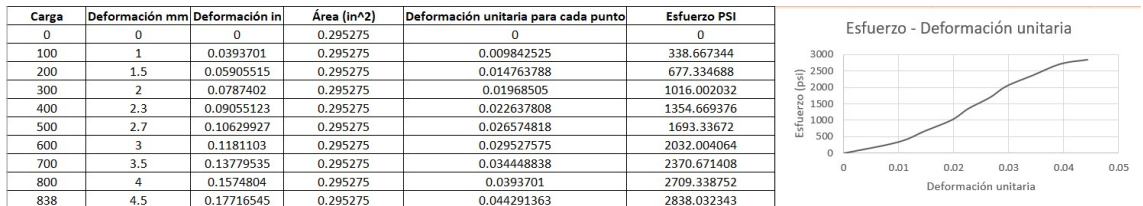


Figura 58: Ensayo de tensión de cachaza de caña, Esfuerzo - deformación unitaria probeta No. 3

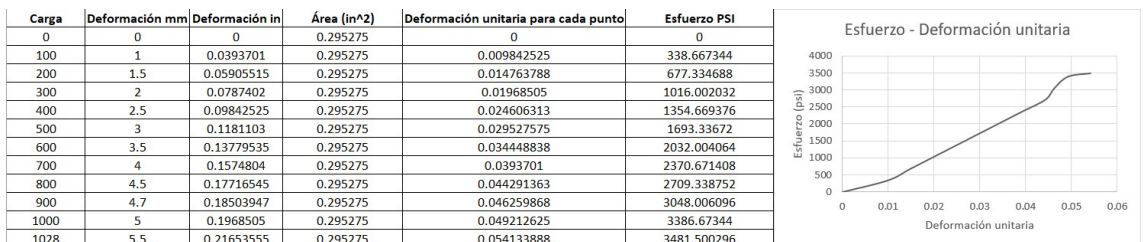


Figura 59: Ensayo de tensión de cachaza de caña, Esfuerzo - deformación unitaria probeta No. 4

Carga	Deformación mm	Deformación in	Área (in ²)	Deformación unitaria para cada punto	Esfuerzo PSI
0	0	0	0.295275	0	0
100	1	0.0393701	0.295275	0.009842525	338.667344
200	1.3	0.05118113	0.295275	0.012795283	677.334688
300	1.5	0.05905515	0.295275	0.014763788	1016.002032
400	2	0.0787402	0.295275	0.01968505	1354.669376
500	2.5	0.09842525	0.295275	0.024606313	1693.33672
600	3	0.1181103	0.295275	0.029527575	2032.004064
700	4	0.1574804	0.295275	0.0393701	2370.671408
732	4.5	0.17716545	0.295275	0.044291363	2479.044958



Figura 60: Ensayo de tensión de cachaza de caña, Esfuerzo - deformación unitaria probeta No. 5

Carga	Deformación mm	Deformación in	Área (in ²)	Deformación unitaria para cada punto	Esfuerzo PSI
0	0	0	0.295275	0	0
100	1	0.0393701	0.295275	0.009842525	338.667344
129	2	0.0787402	0.295275	0.01968505	436.8808738



Figura 61: Ensayo de tensión de fibra de coco, Esfuerzo - deformación unitaria probeta No. 1

Carga	Deformación mm	Deformación in	Área (in ²)	Deformación unitaria para cada punto	Esfuerzo PSI
0	0	0	0.295275	0	0
100	1	0.0393701	0.295275	0.009842525	338.667344
200	2	0.0787402	0.295275	0.01968505	677.334688
295	4	0.1574804	0.295275	0.0393701	999.0686648



Figura 62: Ensayo de tensión de fibra de coco, Esfuerzo - deformación unitaria probeta No. 2

Carga	Deformación mm	Deformación in	Área (in ²)	Deformación unitaria para cada punto	Esfuerzo PSI
0	0	0	0.295275	0	0
100	1	0.0393701	0.295275	0.009842525	338.667344
200	3	0.1181103	0.295275	0.029527575	677.334688
286	4	0.1574804	0.295275	0.0393701	968.5886038

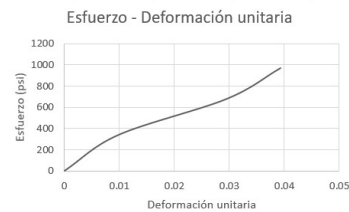


Figura 63: Ensayo de tensión de fibra de coco, Esfuerzo - deformación unitaria probeta No. 3

Carga	Deformación mm	Deformación in	Área (in ²)	Deformación unitaria para cada punto	Esfuerzo PSI
0	0	0	0.295275	0	0
100	2	0.0787402	0.295275	0.01968505	338.667344
200	3	0.1181103	0.295275	0.029527575	677.334688
300	4	0.1574804	0.295275	0.0393701	1016.002032
400	5	0.1968505	0.295275	0.049212625	1354.669376
500	6	0.2362206	0.295275	0.05905515	1693.33672
600	8	0.3149608	0.295275	0.0787402	2032.004064
621	9	0.3543309	0.295275	0.088582725	2103.124206

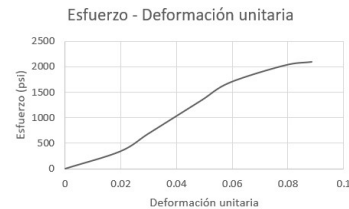


Figura 64: Ensayo de tensión de fibra de coco, Esfuerzo - deformación unitaria probeta No. 4

Carga	Deformación mm	Deformación in	Área (in ²)	Deformación unitaria para cada punto	Esfuerzo PSI
0	0	0	0.295275	0	0
100	1	0.0393701	0.295275	0.009842525	338.667344
200	2	0.0787402	0.295275	0.01968505	677.334688
300	2.5	0.09842525	0.295275	0.024606313	1016.002032
400	3	0.1181103	0.295275	0.029527575	1354.669376
500	4	0.1574804	0.295275	0.0393701	1693.33672
600	5	0.1968505	0.295275	0.049212625	2032.004064
700	5.5	0.21653555	0.295275	0.054133888	2370.671408
800	6	0.2362206	0.295275	0.05905515	2709.338752
885.5	7.5	0.29527575	0.295275	0.073818938	2998.899331



Figura 65: Ensayo de tensión de fibra de coco, Esfuerzo - deformación unitaria probeta No. 5

Carga	Deformación mm	Deformación in	Área (in ²)	Deformación unitaria para cada punto	Esfuerzo PSI
0	0	0	0.295275	0	0
100	1	0.0393701	0.295275	0.009842525	338.667344
200	1.5	0.05905515	0.295275	0.014763788	677.334688
300	2	0.0787402	0.295275	0.01968505	1016.002032
400	3	0.1181103	0.295275	0.029527575	1354.669376
500	4	0.1574804	0.295275	0.0393701	1693.33672
600	6	0.2362206	0.295275	0.05905515	2032.004064
623	7	0.2755907	0.295275	0.068897675	2109.897553

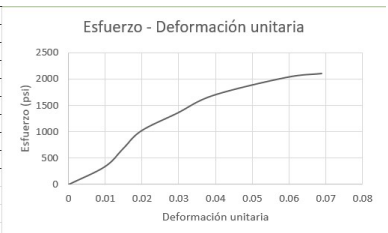


Figura 66: Ensayo de compresión de luffa, Esfuerzo - deformación unitaria probeta No. 1

Carga	Deformación mm	Deformación in	Área (in ²)	Deformación unitaria para cada punto	Esfuerzo PSI
0	0	0	2.25	0	0
500	1	0.0393701	2.25	0.009842525	222.2222222
1000	2	0.0787402	2.25	0.01968505	444.4444444
1500	3	0.1181103	2.25	0.029527575	666.6666667
2000	4.3	0.16929143	2.25	0.042322858	888.8888889
2500	4.7	0.18503947	2.25	0.046259868	1111.111111
3000	5	0.1968505	2.25	0.049212625	1333.333333
3500	5.3	0.20866153	2.25	0.052165383	1555.555556
4000	5.7	0.22440957	2.25	0.056102393	1777.777778
4500	5.9	0.23228359	2.25	0.058070898	2000
5000	6	0.2362206	2.25	0.05905515	2222.222222
5500	6.3	0.24803163	2.25	0.062007908	2444.444444
6000	6.5	0.25590565	2.25	0.063976413	2666.666667
6500	6.7	0.26377967	2.25	0.065944918	2888.888889
7000	7	0.2755907	2.25	0.068897675	3111.111111
7500	7.5	0.29527575	2.25	0.073818938	3333.333333
8000	8	0.3149608	2.25	0.0787402	3555.555556
8500	8.3	0.32677183	2.25	0.081692958	3777.777778
9000	8.6	0.33858286	2.25	0.084645715	4000
9500	8.9	0.35039389	2.25	0.087598473	4222.222222
9934.5	9	0.3543309	2.25	0.088582725	4415.333333

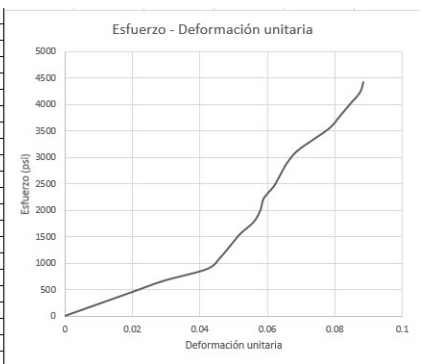


Figura 67: Ensayo de compresión de luffa, Esfuerzo - deformación unitaria probeta No. 2

Carga	Deformación mm	Deformación in	Área (in ²)	Deformación unitaria para cada punto	Esfuerzo PSI
0	0	0	2.25	0	0
500	1	0.0393701	2.25	0.009842525	222.222222
1000	2	0.0787402	2.25	0.01968505	444.444444
1500	2.5	0.09842525	2.25	0.024606313	666.666667
2000	3	0.1181103	2.25	0.029527575	888.888889
2500	3.1	0.12204731	2.25	0.030511828	1111.111111
3000	3.2	0.12598432	2.25	0.03149608	1333.333333
3500	3.3	0.12992133	2.25	0.032480333	1555.555556
4000	3.4	0.13385834	2.25	0.033464585	1777.777778
4500	3.5	0.13779535	2.25	0.034448838	2000
5000	3.6	0.14173236	2.25	0.03543309	2222.222222
5500	3.7	0.14566937	2.25	0.036417343	2444.444444
6000	3.8	0.14960638	2.25	0.037401595	2666.666667
6500	3.9	0.15354339	2.25	0.038385848	2888.888889
7000	4	0.1574804	2.25	0.0393701	3111.111111
7500	4.2	0.16535442	2.25	0.041388605	3333.333333
8000	4.3	0.16929143	2.25	0.042322858	3555.555556
8500	4.4	0.17322844	2.25	0.04330711	3777.777778
9000	4.5	0.17716545	2.25	0.044291363	4000
9500	4.6	0.18110246	2.25	0.045275615	4222.222222
10000	4.7	0.18503947	2.25	0.046259868	4444.444444
10500	4.8	0.18897648	2.25	0.04724412	4666.666667
11000	4.9	0.19291349	2.25	0.048228373	4888.888889
11500	5	0.1968505	2.25	0.049212625	5111.111111
12000	5.2	0.20472452	2.25	0.05118113	5333.333333
12500	5.3	0.20866153	2.25	0.052165383	5555.555556
13000	5.6	0.22047256	2.25	0.05511814	5777.777778
13500	5.7	0.22440957	2.25	0.056102393	6000
14000	5.8	0.22834658	2.25	0.057086645	6222.222222
14500	5.9	0.23228359	2.25	0.058070898	6444.444444
15000	6	0.2362206	2.25	0.05905515	6666.666667
15500	6.2	0.24409462	2.25	0.061023655	6888.888889
16000	6.3	0.24803163	2.25	0.062007908	7111.111111
16500	6.4	0.25196864	2.25	0.06299216	7333.333333
17000	6.5	0.25590565	2.25	0.063976413	7555.555556
17500	6.6	0.25984266	2.25	0.064960665	7777.777778
18000	6.7	0.26377967	2.25	0.065944918	8000
18275	7	0.2755907	2.25	0.068897675	8122.222222

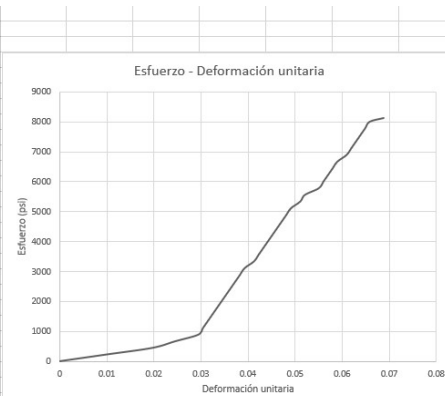


Figura 68: Ensayo de compresión de luffa, Esfuerzo - deformación unitaria probeta No. 3

Carga	Deformación mm	Deformación in	Área (in ²)	Deformación unitaria para cada punto	Esfuerzo PSI
0	0	0	2.25	0	0
1000	1	0.0393701	2.25	0.009842525	444.444444
2000	1.5	0.05905515	2.25	0.014763788	888.888889
3000	2	0.0787402	2.25	0.01968505	1333.333333
4000	2.5	0.09842525	2.25	0.024606313	1777.777778
5000	3	0.1181103	2.25	0.029527575	2222.222222
6000	3.5	0.13779535	2.25	0.034448838	2666.666667
7000	4	0.1574804	2.25	0.0393701	3111.111111
8000	4.3	0.16929143	2.25	0.042322858	3555.555556
9000	4.6	0.18110246	2.25	0.045275615	4000
10000	4.9	0.19291349	2.25	0.048228373	4444.444444
11000	5	0.1968505	2.25	0.049212625	4888.888889
12000	5.3	0.20866153	2.25	0.052165383	5333.333333
13000	5.7	0.22440957	2.25	0.056102393	5777.777778
14000	6	0.2362206	2.25	0.05905515	6222.222222
15000	6.5	0.25590565	2.25	0.063976413	6666.666667
15171	7	0.2755907	2.25	0.068897675	6742.666667

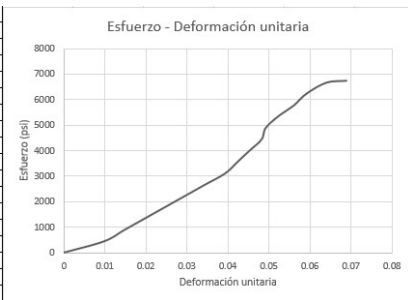


Figura 69: Ensayo de compresión de luffa, Esfuerzo - deformación unitaria probeta No. 4

Carga	Deformación mm	Deformación in	Área (in ²)	Deformación unitaria para cada punto	Esfuerzo PSI
0	0	0	2.25	0	0
1000	1	0.0393701	2.25	0.009842525	444.444444
2000	1.5	0.05905515	2.25	0.014763788	888.888889
3000	2	0.0787402	2.25	0.01968505	1333.333333
4000	2.3	0.09055123	2.25	0.022637808	1777.777778
5000	2.6	0.10236226	2.25	0.025590565	2222.222222
6000	3	0.1181103	2.25	0.029527575	2666.666667
7000	3.3	0.12992133	2.25	0.032480333	3111.111111
8000	3.5	0.13779535	2.25	0.034448838	3555.555556
9000	4	0.1574804	2.25	0.0393701	4000
10000	4.3	0.16929143	2.25	0.042322858	4444.444444
11000	4.7	0.18503947	2.25	0.046259868	4888.888889
12000	5	0.1968505	2.25	0.049212625	5333.333333
13000	5.3	0.20866153	2.25	0.052165383	5777.777778
14000	5.6	0.22047256	2.25	0.05511814	6222.222222
15000	5.9	0.23228359	2.25	0.058070898	6666.666667
16000	6	0.2362206	2.25	0.05905515	7111.111111
17000	6.5	0.25590565	2.25	0.063976413	7555.555556
17168	7	0.2755907	2.25	0.068897675	7630.222222

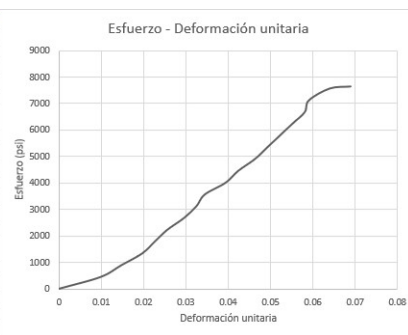


Figura 70: Ensayo de compresión de luffa, Esfuerzo - deformación unitaria probeta No. 5

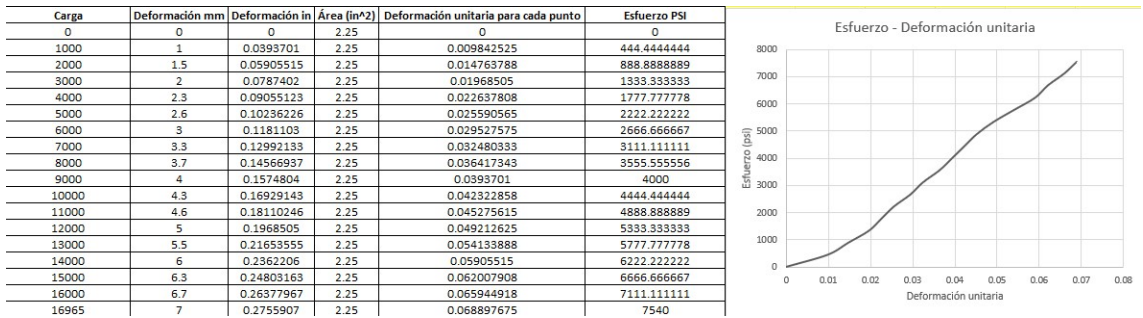


Figura 71: Ensayo de compresión de cachaza de caña, Esfuerzo - deformación unitaria probeta No. 1

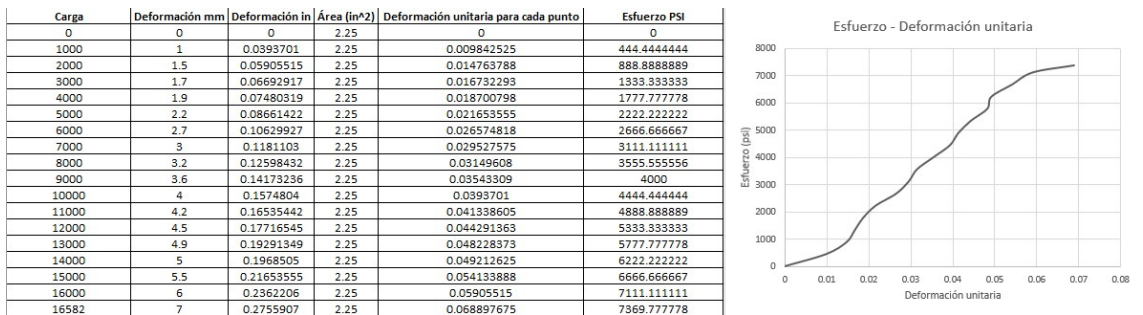


Figura 72: Ensayo de compresión de cachaza de caña, Esfuerzo - deformación unitaria probeta No. 2

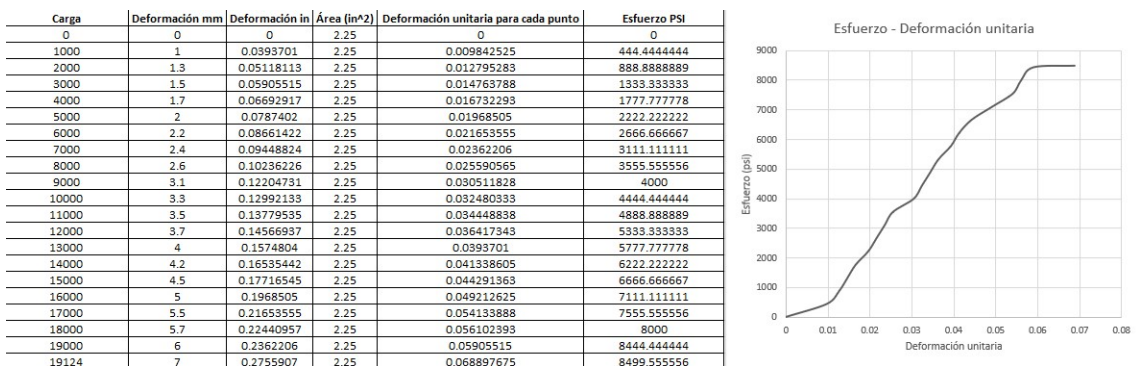


Figura 73: Ensayo de compresión de cachaza de caña, Esfuerzo - deformación unitaria probeta No.

3

Carga	Deformación mm	Deformación in	Área (in ²)	Deformación unitaria para cada punto	Esfuerzo PSI
0	0	0	2.25	0	0
1000	1	0.0393701	2.25	0.009842525	444.4444444
2000	1.2	0.04724412	2.25	0.01181103	888.8888889
3000	1.6	0.06299216	2.25	0.01574804	1333.333333
4000	1.8	0.07086618	2.25	0.017716545	1777.777778
5000	2.1	0.08267721	2.25	0.020669303	2222.222222
6000	2.5	0.09842525	2.25	0.024606313	2666.666667
7000	2.7	0.10629927	2.25	0.026574818	3111.111111
8000	3	0.1181103	2.25	0.029527575	3555.555556
9000	3.3	0.12992133	2.25	0.032480333	4000
10000	3.5	0.13779535	2.25	0.034448838	4444.444444
11000	3.9	0.15354339	2.25	0.038385848	4888.888889
12000	4	0.1574804	2.25	0.0393701	5333.333333
13000	4.1	0.16141741	2.25	0.040354353	5777.777778
14000	4.2	0.16535442	2.25	0.041338605	6222.222222
15000	4.5	0.17716545	2.25	0.044291363	6666.666667
16000	4.8	0.18897648	2.25	0.04724412	7111.111111
17000	5	0.1968505	2.25	0.049212625	7555.555556
18000	6	0.2362206	2.25	0.05905515	8000
18246	7	0.2755907	2.25	0.068897675	8109.333333

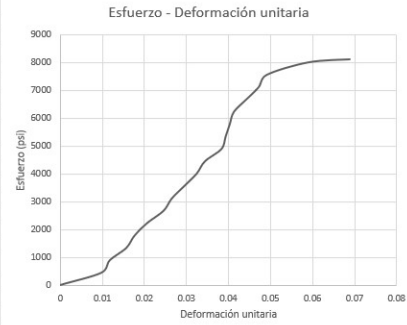


Figura 74: Ensayo de compresión de cachaza de caña, Esfuerzo - deformación unitaria probeta No.

4

Carga	Deformación mm	Deformación in	Área (in ²)	Deformación unitaria para cada punto	Esfuerzo PSI
0	0	0	2.25	0	0
1000	1	0.0393701	2.25	0.009842525	444.4444444
2000	1.5	0.05905515	2.25	0.014763788	888.8888889
3000	1.7	0.06692917	2.25	0.016732293	1333.333333
4000	2	0.0787402	2.25	0.01968505	1777.777778
5000	2.1	0.08267721	2.25	0.020669303	2222.222222
6000	2.3	0.09055123	2.25	0.022637808	2666.666667
7000	2.6	0.10236226	2.25	0.025590565	3111.111111
8000	3	0.1181103	2.25	0.029527575	3555.555556
9000	3.3	0.12992133	2.25	0.032480333	4000
10000	3.5	0.13779535	2.25	0.034448838	4444.444444
11000	3.9	0.15354339	2.25	0.038385848	4888.888889
12000	4	0.1574804	2.25	0.0393701	5333.333333
13000	4.1	0.16141741	2.25	0.040354353	5777.777778
14000	4.2	0.16535442	2.25	0.041338605	6222.222222
15000	4.5	0.17716545	2.25	0.044291363	6666.666667
16000	4.8	0.18897648	2.25	0.04724412	7111.111111
17000	5	0.1968505	2.25	0.049212625	7555.555556
18000	5.2	0.20472452	2.25	0.05118113	8000
19000	5.6	0.22047256	2.25	0.05511814	8444.444444
20000	6	0.2362206	2.25	0.05905515	8888.888889
20205	7	0.2755907	2.25	0.068897675	8980

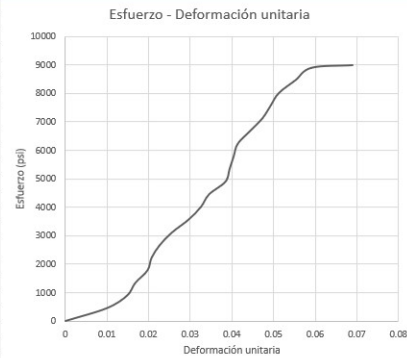


Figura 75: Ensayo de compresión de cachaza de caña, Esfuerzo - deformación unitaria probeta No.

5

Carga	Deformación mm	Deformación in	Área (in ²)	Deformación unitaria para cada punto	Esfuerzo PSI
0	0	0	2.25	0	0
1000	1	0.0393701	2.25	0.009842525	444.4444444
2000	1.5	0.05905515	2.25	0.014763788	888.8888889
3000	1.7	0.06692917	2.25	0.016732293	1333.333333
4000	2	0.0787402	2.25	0.01968505	1777.777778
5000	2.2	0.08661422	2.25	0.021653555	2222.222222
6000	2.4	0.09448824	2.25	0.02362206	2666.666667
7000	2.6	0.10236226	2.25	0.025590565	3111.111111
8000	3	0.1181103	2.25	0.029527575	3555.555556
9000	3.3	0.12992133	2.25	0.032480333	4000
10000	3.6	0.14173236	2.25	0.03543309	4444.444444
11000	3.8	0.14960638	2.25	0.037401595	4888.888889
12000	4	0.1574804	2.25	0.0393701	5333.333333
13000	4.2	0.16535442	2.25	0.041338605	5777.777778
14000	4.5	0.17716545	2.25	0.044291363	6222.222222
15000	4.8	0.18897648	2.25	0.04724412	6666.666667
16000	5	0.1968505	2.25	0.049212625	7111.111111
17000	5.5	0.21653555	2.25	0.054133888	7555.555556
17886	6	0.2362206	2.25	0.05905515	7949.333333



Figura 76: Ensayo de compresión de fibra de coco, Esfuerzo - deformación unitaria probeta No. 1

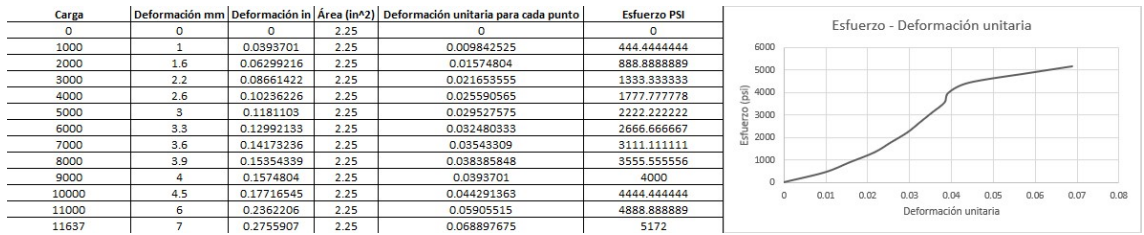


Figura 77: Ensayo de compresión de fibra de coco, Esfuerzo - deformación unitaria probeta No. 2

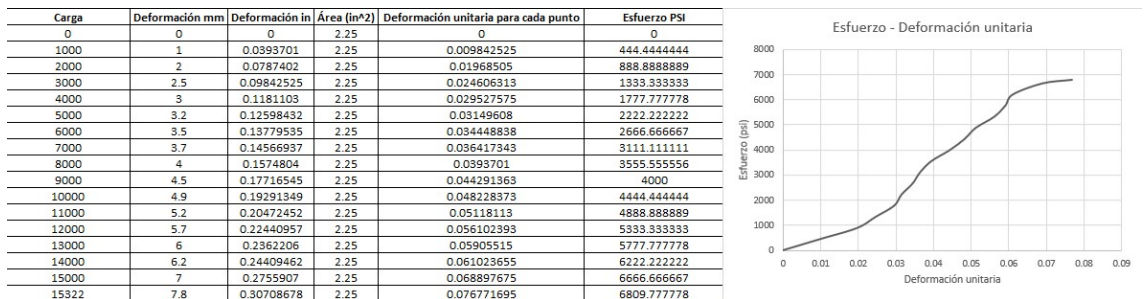


Figura 78: Ensayo de compresión de fibra de coco, Esfuerzo - deformación unitaria probeta No. 3

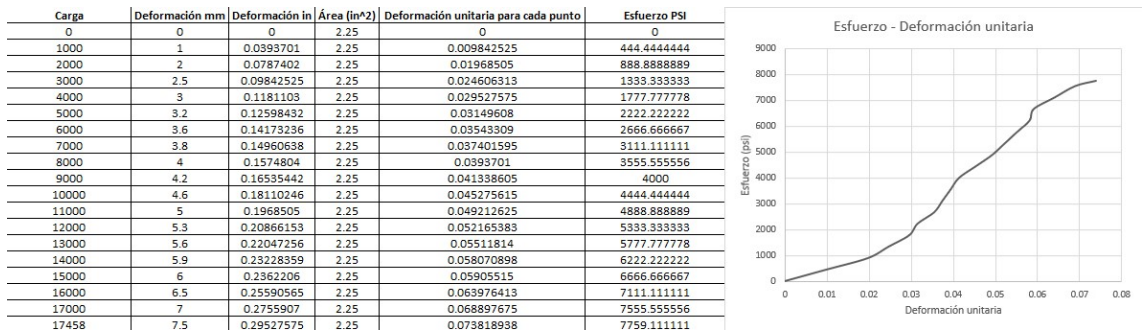


Figura 79: Ensayo de compresión de fibra de coco, Esfuerzo - deformación unitaria probeta No. 4

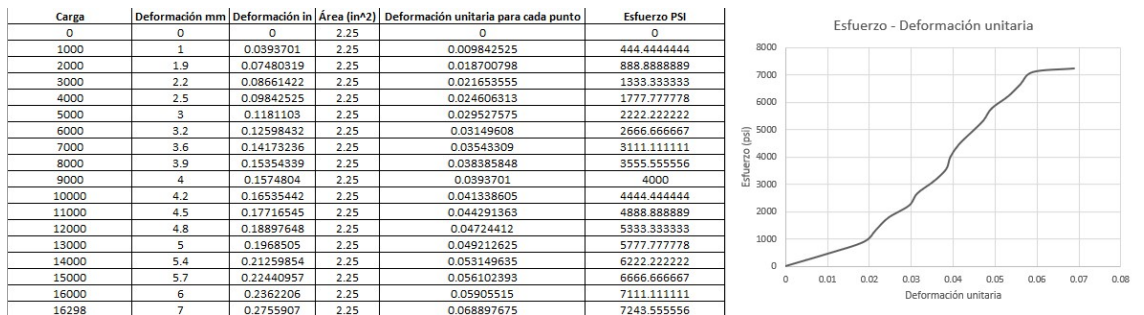


Figura 80: Ensayo de compresión de fibra de coco, Esfuerzo - deformación unitaria probeta No. 5

Carga	Deformación mm	Deformación in	Área (in ²)	Deformación unitaria para cada punto	Esfuerzo PSI
0	0	0	2.25	0	0
1000	1	0.0393701	2.25	0.009842525	444.4444444
2000	2	0.0787402	2.25	0.01968505	888.8888889
3000	2.2	0.08661422	2.25	0.021653555	1333.333333
4000	2.5	0.09842525	2.25	0.024606313	1777.777778
5000	2.7	0.10629927	2.25	0.026574818	2222.222222
6000	3	0.1181103	2.25	0.029527575	2666.666667
7000	3.2	0.12598432	2.25	0.03149608	3111.111111
8000	3.5	0.13779535	2.25	0.034448838	3555.555556
9000	3.7	0.14566937	2.25	0.036417343	4000
10000	4	0.1574804	2.25	0.0393701	4444.444444
11000	4.2	0.16535442	2.25	0.041338605	4888.888889
12000	4.8	0.18897648	2.25	0.04724412	5333.333333
13000	5	0.1968505	2.25	0.049212625	5777.777778
13014	6	0.2362206	2.25	0.05905515	5784



Figura 81: Ensayo de flexión de luffa, Esfuerzo - deformación unitaria probeta No. 1

Carga	Deformación mm	Deformación in	Área (in ²)	Deformación unitaria para cada punto	Esfuerzo PSI
0	0	0	2.25	0	0
500	1	0.0393701	2.25	0.003280842	2666.666667
1000	1.5	0.05905515	2.25	0.004921263	5333.333333
2000	1.8	0.07086618	2.25	0.005905515	10666.66667
3000	2	0.0787402	2.25	0.006561683	16000
4000	2.5	0.09842525	2.25	0.008202104	21333.33333
5000	2.7	0.10629927	2.25	0.008858273	26666.66667
6000	2.9	0.11417329	2.25	0.009514441	32000
7000	3	0.1181103	2.25	0.009842525	37333.33333
8000	3.2	0.12598432	2.25	0.010498693	42666.66667
9000	3.5	0.13779535	2.25	0.011482946	48000
10000	3.9	0.15354339	2.25	0.012795283	53333.33333
11000	4.2	0.16535442	2.25	0.013779535	58666.66667
12000	4.8	0.18897648	2.25	0.01574804	64000
13000	5	0.1968505	2.25	0.016404208	69333.33333
13120	6	0.2362206	2.25	0.01968505	69973.33333



Figura 82: Ensayo de flexión de luffa, Esfuerzo - deformación unitaria probeta No. 2

Carga	Deformación mm	Deformación in	Área (in ²)	Deformación unitaria para cada punto	Esfuerzo PSI
0	0	0	2.25	0	0
500	1	0.0393701	2.25	0.003280842	2666.666667
1000	1.5	0.05905515	2.25	0.004921263	5333.333333
2000	2	0.0787402	2.25	0.006561683	10666.66667
3000	2.3	0.09055123	2.25	0.007545936	16000
4000	2.7	0.10629927	2.25	0.008858273	21333.33333
5000	3	0.1181103	2.25	0.009842525	26666.66667
6000	3.2	0.12598432	2.25	0.010498693	32000
7000	3.5	0.13779535	2.25	0.011482946	37333.33333
8000	3.8	0.14960638	2.25	0.012467198	42666.66667
9000	4	0.1574804	2.25	0.013123367	48000
10000	4.5	0.17716545	2.25	0.014763788	53333.33333
11000	4.6	0.18110246	2.25	0.015091872	58666.66667
12000	5	0.1968505	2.25	0.016404208	64000
12045	6	0.2362206	2.25	0.01968505	64240



Figura 83: Ensayo de flexión de luffa, Esfuerzo - deformación unitaria probeta No. 3

Carga	Deformación mm	Deformación in	Área (in ²)	Deformación unitaria para cada punto	Esfuerzo PSI
0	0	0	2.25	0	0
500	1	0.0393701	2.25	0.003280842	2666.666667
1000	2	0.0787402	2.25	0.006561683	5333.333333
2000	2.5	0.09842525	2.25	0.008202104	10666.66667
3000	3	0.1181103	2.25	0.009842525	16000
4000	3.2	0.12598432	2.25	0.010498693	21333.33333
5000	3.5	0.13779535	2.25	0.011482946	26666.66667
6000	3.9	0.15354339	2.25	0.012795283	32000
7000	4	0.1574804	2.25	0.013123367	37333.33333
8000	4.2	0.16535442	2.25	0.013779535	42666.66667
9000	4.4	0.17322844	2.25	0.014435703	48000
10000	4.8	0.18897648	2.25	0.01574804	53333.33333
11000	5	0.1968505	2.25	0.016404208	58666.66667
12000	5.2	0.20472452	2.25	0.017060377	64000
13000	5.5	0.21653555	2.25	0.018044629	69333.33333
13781	6	0.2362206	2.25	0.01968505	73498.66667

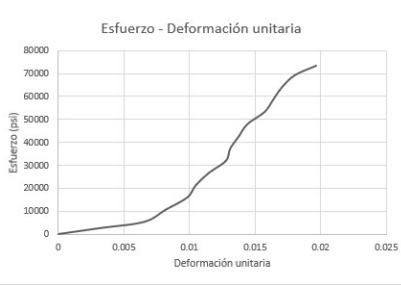


Figura 84: Ensayo de flexión de luffa, Esfuerzo - deformación unitaria probeta No. 4

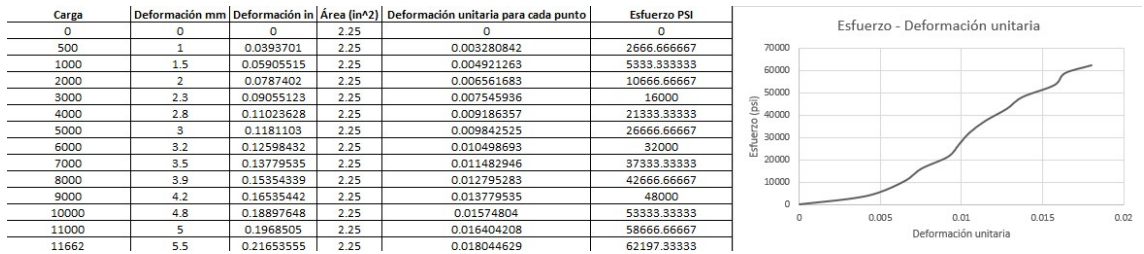


Figura 85: Ensayo de flexión de luffa, Esfuerzo - deformación unitaria probeta No. 5

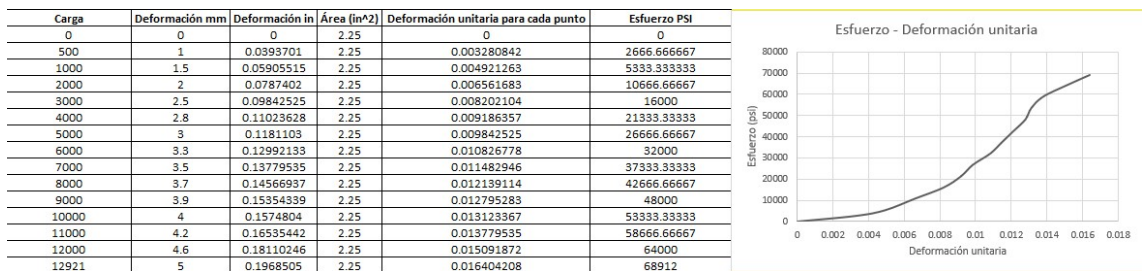


Figura 86: Ensayo de flexión de cachaza de caña, Esfuerzo - deformación unitaria probeta No. 1

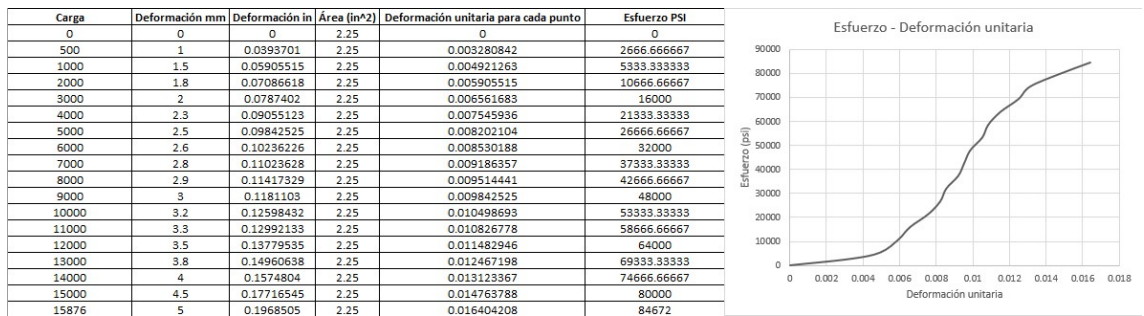


Figura 87: Ensayo de flexión de cachaza de caña, Esfuerzo - deformación unitaria probeta No. 2

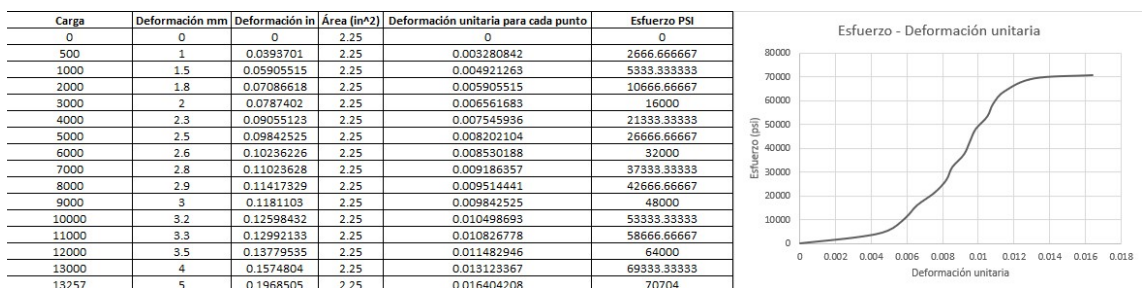


Figura 88: Ensayo de flexión de cachaza de caña, Esfuerzo - deformación unitaria probeta No. 3

Carga	Deformación mm	Deformación in	Área (in ²)	Deformación unitaria para cada punto	Esfuerzo PSI
0	0	0	2.25	0	0
500	1	0.0393701	2.25	0.003280842	2666.666667
1000	1.5	0.05905515	2.25	0.004921263	5333.333333
2000	2	0.0787402	2.25	0.006561683	10666.66667
3000	2.3	0.09055123	2.25	0.007545936	16000
4000	2.5	0.09842525	2.25	0.008202104	21333.33333
5000	2.6	0.10236226	2.25	0.008530188	26666.66667
6000	2.8	0.11023628	2.25	0.009186357	32000
7000	2.9	0.11417329	2.25	0.009514441	37333.33333
8000	3	0.1181103	2.25	0.009842525	42666.66667
9000	3.2	0.12598432	2.25	0.010498693	48000
10000	3.4	0.13385834	2.25	0.011154862	53333.33333
11000	3.8	0.14960638	2.25	0.012467198	58666.66667
12000	4	0.1574804	2.25	0.013123367	64000
13000	4.5	0.17716545	2.25	0.014763788	69333.33333
14000	5	0.1968505	2.25	0.016404208	74666.66667
14677	6	0.2362206	2.25	0.01968505	78277.33333

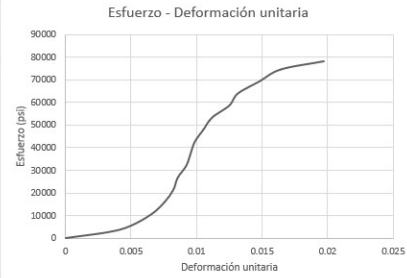


Figura 89: Ensayo de flexión de cachaza de caña, Esfuerzo - deformación unitaria probeta No. 4

Carga	Deformación mm	Deformación in	Área (in ²)	Deformación unitaria para cada punto	Esfuerzo PSI
0	0	0	2.25	0	0
500	1	0.0393701	2.25	0.003280842	2666.666667
1000	2	0.0787402	2.25	0.006561683	5333.333333
2000	2.5	0.09842525	2.25	0.008202104	10666.66667
3000	2.7	0.10629927	2.25	0.008858273	16000
4000	2.9	0.11417329	2.25	0.009514441	21333.33333
5000	3	0.1181103	2.25	0.009842525	26666.66667
6000	3.2	0.12598432	2.25	0.010498693	32000
7000	3.4	0.13385834	2.25	0.011154862	37333.33333
8000	3.8	0.14960638	2.25	0.012467198	42666.66667
9000	4	0.1574804	2.25	0.013123367	48000
10000	4.3	0.16929143	2.25	0.014107619	53333.33333
11000	4.5	0.17716545	2.25	0.014763788	58666.66667
12000	5	0.1968505	2.25	0.016404208	64000
13000	5.5	0.21653555	2.25	0.018044629	69333.33333
14000	5.7	0.22440957	2.25	0.018700798	74666.66667
14139	6	0.2362206	2.25	0.01968505	75408



Figura 90: Ensayo de flexión de cachaza de caña, Esfuerzo - deformación unitaria probeta No. 5

Carga	Deformación mm	Deformación in	Área (in ²)	Deformación unitaria para cada punto	Esfuerzo PSI
0	0	0	2.25	0	0
500	1	0.0393701	2.25	0.003280842	2666.666667
1000	1.5	0.05905515	2.25	0.004921263	5333.333333
2000	2	0.0787402	2.25	0.006561683	10666.66667
3000	2.4	0.09448824	2.25	0.00787402	16000
4000	2.8	0.11023628	2.25	0.009186357	21333.33333
5000	3	0.1181103	2.25	0.009842525	26666.66667
6000	3.3	0.12992133	2.25	0.010826778	32000
7000	3.5	0.13779535	2.25	0.011482946	37333.33333
8000	3.7	0.14566937	2.25	0.012139114	42666.66667
9000	3.9	0.15354339	2.25	0.012795283	48000
10000	4	0.1574804	2.25	0.013123367	53333.33333
11000	4.2	0.16535442	2.25	0.013779535	58666.66667
12000	4.4	0.17322844	2.25	0.014435703	64000
13000	4.8	0.18897648	2.25	0.01574804	69333.33333
14000	5	0.1968505	2.25	0.016404208	74666.66667
15000	5.5	0.21653555	2.25	0.018044629	80000
15489	6	0.2362206	2.25	0.01968505	82608



Figura 91: Ensayo de flexión de fibra de coco, Esfuerzo - deformación unitaria probeta No. 1

Carga	Deformación mm	Deformación in	Área (in ²)	Deformación unitaria para cada punto	Esfuerzo PSI
0	0	0	2.25	0	0
500	1	0.0393701	2.25	0.003280842	2666.666667
1000	2	0.0787402	2.25	0.006561683	5333.333333
2000	2.3	0.09055123	2.25	0.007545936	10666.66667
3000	2.5	0.09842525	2.25	0.008202104	16000
4000	2.9	0.11417329	2.25	0.009514441	21333.33333
5000	3	0.1181103	2.25	0.009842525	26666.66667
6000	3.2	0.12598432	2.25	0.010498693	32000
7000	3.4	0.13385834	2.25	0.011154862	37333.33333
8000	3.5	0.13779535	2.25	0.011482946	42666.66667
9000	3.7	0.14566937	2.25	0.012139114	48000
10000	4	0.1574804	2.25	0.013123367	53333.33333
11000	4.5	0.17716545	2.25	0.014763788	58666.66667
12000	5	0.1968505	2.25	0.016404208	64000
12339	6	0.2362206	2.25	0.01968505	65808

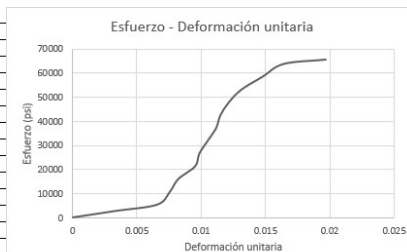


Figura 92: Ensayo de flexión de fibra de coco, Esfuerzo - deformación unitaria probeta No. 2

Carga	Deformación mm	Deformación in	Área (in ²)	Deformación unitaria para cada punto	Esfuerzo PSI
0	0	0	2.25	0	0
500	1	0.0393701	2.25	0.003280842	2666.666667
1000	2	0.0787402	2.25	0.006561683	5333.333333
2000	2.3	0.09055123	2.25	0.007545936	10666.66667
3000	2.5	0.09842525	2.25	0.008202104	16000
4000	2.9	0.11417329	2.25	0.009514441	21333.33333
5000	3	0.1181103	2.25	0.009842525	26666.66667
6000	3.2	0.12598432	2.25	0.010498693	32000
7000	3.4	0.13385834	2.25	0.01154862	37333.33333
8000	3.5	0.13779535	2.25	0.011482946	42666.66667
9000	3.7	0.14566937	2.25	0.012139114	48000
10000	3.9	0.15354339	2.25	0.012795283	53333.33333
10279	4	0.1574804	2.25	0.013123367	54821.33333



Figura 93: Ensayo de flexión de fibra de coco, Esfuerzo - deformación unitaria probeta No. 3

Carga	Deformación mm	Deformación in	Área (in ²)	Deformación unitaria para cada punto	Esfuerzo PSI
0	0	0	2.25	0	0
500	1	0.0393701	2.25	0.003280842	2666.666667
1000	2	0.0787402	2.25	0.006561683	5333.333333
2000	2.5	0.09842525	2.25	0.008202104	10666.66667
3000	2.8	0.11023628	2.25	0.009186357	16000
4000	3	0.1181103	2.25	0.009842525	21333.33333
5000	3.2	0.12598432	2.25	0.010498693	26666.66667
6000	3.6	0.14173236	2.25	0.01181103	32000
7000	3.8	0.14960638	2.25	0.012467198	37333.33333
8000	4	0.1574804	2.25	0.013123367	42666.66667
9000	4.3	0.16929143	2.25	0.014107619	48000
10000	4.5	0.17716545	2.25	0.014763788	53333.33333
10891	5	0.1968505	2.25	0.016404208	58085.33333



Figura 94: Ensayo de flexión de fibra de coco, Esfuerzo - deformación unitaria probeta No. 4

Carga	Deformación mm	Deformación in	Área (in ²)	Deformación unitaria para cada punto	Esfuerzo PSI
0	0	0	2.25	0	0
500	1	0.0393701	2.25	0.003280842	2666.666667
1000	2	0.0787402	2.25	0.006561683	5333.333333
2000	2.3	0.09055123	2.25	0.007545936	10666.66667
3000	2.7	0.10629927	2.25	0.008858273	16000
4000	3	0.1181103	2.25	0.009842525	21333.33333
5000	3.3	0.12992133	2.25	0.010826778	26666.66667
6000	3.5	0.13779535	2.25	0.011482946	32000
7000	3.6	0.14173236	2.25	0.01181103	37333.33333
8000	3.9	0.15354339	2.25	0.012795283	42666.66667
9000	4	0.1574804	2.25	0.013123367	48000
10000	4.5	0.17716545	2.25	0.014763788	53333.33333
11000	4.8	0.18897648	2.25	0.01574804	58666.66667
12000	5	0.1968505	2.25	0.016404208	64000
13000	5.5	0.21653555	2.25	0.018044629	69333.33333
14000	6	0.2362206	2.25	0.01968505	74666.66667
14996	7	0.2755907	2.25	0.022965892	79978.66667



Figura 95: Ensayo de flexión de fibra de coco, Esfuerzo - deformación unitaria probeta No. 5

Carga	Deformación mm	Deformación in	Área (in ²)	Deformación unitaria para cada punto	Esfuerzo PSI
0	0	0	2.25	0	0
500	1	0.0393701	2.25	0.003280842	2666.666667
1000	1.5	0.05905515	2.25	0.004921263	5333.333333
2000	2	0.0787402	2.25	0.006561683	10666.66667
3000	2.3	0.09055123	2.25	0.007545936	16000
4000	2.8	0.11023628	2.25	0.009186357	21333.33333
5000	3	0.1181103	2.25	0.009842525	26666.66667
6000	3.3	0.12992133	2.25	0.010826778	32000
7000	3.5	0.13779535	2.25	0.011482946	37333.33333
8000	3.9	0.15354339	2.25	0.012795283	42666.66667
9000	4	0.1574804	2.25	0.013123367	48000
10000	4.3	0.16929143	2.25	0.014107619	53333.33333
11000	4.6	0.18110246	2.25	0.015091872	58666.66667
12000	5	0.1968505	2.25	0.016404208	64000
13000	5.5	0.21653555	2.25	0.018044629	69333.33333
13574	6	0.2362206	2.25	0.01968505	72394.66667



Discusión de resultados

Los tres materiales compuestos analizados mostraron discrepancias significativas en sus valores de resistencia última a la tensión en comparación con los valores teóricos. Para el material compuesto de luffa con resina epóxica, se registró un valor de 3010.00 PSI, con un porcentaje de diferencia promedio del 56.07%. La desviación estándar en este caso fue de 837.73 PSI, indicando una moderada variabilidad en los resultados. En el caso del material compuesto de cachaza de caña con resina epóxica, se obtuvo una resistencia promedio de 2987.92 PSI, con un porcentaje de diferencia promedio del 55.28%. La desviación estándar fue de 1121.72 PSI, mostrando una variabilidad ligeramente mayor en comparación con el material de luffa, aunque aún notable. Por otro lado, el material compuesto de fibra de coco con resina epóxica registró una resistencia última a la tensión promedio de 1495.00 PSI, con un porcentaje de diferencia promedio del 78.18%. La desviación estándar en este caso fue de 1011.53 PSI, apuntando a una variabilidad relativamente alta en los resultados de los ensayos.

Los resultados revelan que la resistencia última a la tensión de los materiales compuestos no se aproxima al valor teórico esperado en ninguno de los casos. Además, se evidencia una variabilidad en los resultados, como lo indica la desviación estándar, que podría estar relacionada con diversos factores, como la calidad de los materiales, las condiciones de los ensayos o las técnicas de fabricación de los compuestos. Es importante destacar que la elección de los materiales y el proceso de fabricación desempeñan un papel fundamental en los resultados finales. Para futuros estudios, se debe determinar la manera de realizar un análisis detallado de las materias primas utilizadas, investigar posibles mejoras en los procesos de fabricación y considerar la influencia de factores ambientales durante las pruebas. Además, explorar diferentes métodos de caracterización de materiales podría contribuir a una comprensión más completa de los compuestos y sus propiedades mecánicas. Estos esfuerzos adicionales pueden ayudar a reducir las discrepancias observadas y mejorar la reproducibilidad de los resultados en investigaciones futuras.

Los tres materiales compuestos analizados presentaron discrepancias significativas en sus valores de resistencia última a la compresión en comparación con los valores teóricos. En el caso del material compuesto de luffa con resina epóxica, se registró un valor de 6890.09 PSI con un porcentaje de diferencia promedio del 79.70%, y la desviación estándar fue alta,

a 1,469.22 PSI, indicando una variabilidad notable en los resultados. De manera similar, el material compuesto de cachaza de caña con resina epóxica mostró valor de resistencia última a la compresión de 8181.60 PSI con un porcentaje de diferencia promedio del 77.21 % con una desviación estándar moderada de 603.48 PSI. Por último, el material compuesto de fibra de coco con resina epóxica presentó un valor de resistencia última a la compresión de 6553.69 con un porcentaje de diferencia promedio del 79.92 % y una alta desviación estándar de 1060.19 PSI.

Estas discrepancias sugieren que la resistencia última a la compresión de estos materiales compuestos no se ajusta de manera consistente a las expectativas teóricas. Las variaciones pueden deberse a diversas fuentes potenciales, como diferencias en la calidad de los materiales, imperfecciones en el proceso de fabricación, influencias ambientales durante las pruebas o factores inherentes a la naturaleza de los materiales mismos. Para mejorar la calidad y la predictibilidad de estos materiales, es esencial abordar estas fuentes de variabilidad a través de la optimización del proceso de fabricación y la implementación de ensayos más rigurosos.

En el caso de luffa con resina epóxica, se obtuvo una resistencia última a la flexión de 67764.27 PSI, y se observó un marcado porcentaje de diferencia del -85.4 % en comparación con el valor teórico. Esta discrepancia negativa sugiere que los resultados experimentales fueron significativamente mayores que las expectativas teóricas. La desviación estándar de 4541.25 PSI indica una variabilidad moderada en los resultados, lo que podría deberse a diversos factores, como la calidad de los materiales de luffa o las condiciones de prueba. Por otro lado, el material compuesto de cachaza de caña con resina epóxica exhibió una resistencia última a la flexión de 78333.87 PSI. La desviación estándar de 5595.06 PSI indica cierta variabilidad en las mediciones, lo que también podría ser atribuible a factores como la calidad de los materiales o el proceso de fabricación. Posteriormente, el material compuesto de fibra de coco con resina epóxica mostró una resistencia última a la flexión de 66217.60 PSI, con un porcentaje de diferencia del 59.17 % en comparación con el valor teórico. Esta discrepancia positiva sugiere que los resultados experimentales no superaron las expectativas teóricas, pero la desviación estándar significativamente alta de 10291.98 PSI señala una variabilidad considerable en las mediciones. Esta variación puede estar relacionada con la calidad de la fibra de coco utilizada, el proceso de fabricación o factores ambientales durante las pruebas.

Los resultados de los ensayos de flexión revelan que, aunque en algunos casos existe una concordancia aceptable entre los valores experimentales y los teóricos, en otros casos la diferencia es significativa. El caso del material compuesto de luffa con resina epóxica, con valores experimentales notoriamente altos en comparación con los teóricos, plantea la necesidad de un análisis más profundo para comprender las causas subyacentes de esta discrepancia. Investigaciones adicionales podrían centrarse en evaluar la calidad de los materiales, los procesos de fabricación y las condiciones de prueba para determinar por qué se obtuvieron valores tan elevados y cómo se puede aplicar este conocimiento para mejorar la consistencia y la precisión en futuros estudios y aplicaciones prácticas de este material compuesto.

La discrepancia significativa entre los resultados teóricos y experimentales en los ensayos de los materiales compuestos podría atribuirse a varios factores, como por ejemplo las características de las fibras naturales poseen una variabilidad inherente en términos de métodos de extracción, grosor, longitud y propiedades mecánicas de las mismas, lo que puede influir en la resistencia y otras propiedades de los compuestos. El uso de una máquina de ensayos que está diseñada para ensayar concreto y no para materiales compuestos con fibras naturales, además de encontrarse normada y considerando que el diseño de las probetas es

propio podrían introducir errores significativos, debido a que los materiales reforzados con fibras naturales pueden requerir condiciones de ensayos específicos. Así mismo es importante destacar la influencia de la precisión del proceso seguido para la fabricación de las probetas. En este caso, se utilizó un proceso manual, el cual, puede no garantizar la homogeneidad entre probetas. La baja precisión del proceso puede dar como resultado diferencias significativas en las propiedades de los materiales producidos, lo que afecta a la repetibilidad y la comparabilidad entre las probetas ensayadas. Por lo tanto, la precisión y la consistencia en el proceso de fabricación de probetas son aspectos fundamentales a considerar al interpretar la discrepancia existente entre valores teóricos y experimentales.

El material compuesto de luffa con resina epóxica mostró un módulo de Young de aproximadamente 75.95 MPsi, lo que indica una rigidez moderada que permite resistir deformaciones bajo cargas de tensión. Sin embargo, la desviación estándar de 29.48 MPsi sugiere una posible variabilidad en los resultados experimentales. Esto plantea inquietudes sobre la consistencia y previsibilidad del material en aplicaciones prácticas, lo que podría ser una desventaja. En el caso del material compuesto de cachaza de caña con resina epóxica, se obtuvo un módulo de Young de aproximadamente 67.99 MPsi, lo que denota una rigidez similar a la luffa. Sin embargo, la menor desviación estándar de 14.90 MPsi sugiere una mayor uniformidad en las propiedades mecánicas. Esto podría considerarse como una ventaja, ya que indica una mayor consistencia en la respuesta mecánica del material. El material compuesto de fibra de coco con resina epóxica exhibió el módulo de Young más alto, con aproximadamente 93.63 MPsi. Sin embargo, se observó una desviación estándar significativamente alta de 160.55 MPsi lo que indica una variabilidad notable en los resultados. Aunque la fibra de coco aporta una alta rigidez al material, la variabilidad inherente de los resultados podría plantear desafíos en términos de consistencia y previsibilidad, lo que podría ser una desventaja.

En términos de rigidez, el material compuesto de fibra de coco supera a los otros dos materiales, seguido por la luffa y la cachaza de caña. Sin embargo, la variabilidad en los resultados de fibra de coco plantea desafíos. La luffa y la cachaza de caña tienen rigidez moderada, pero la cachaza de caña muestra una mayor consistencia en sus propiedades mecánicas. Por lo tanto, la elección entre estos materiales dependerá de las prioridades específicas de la aplicación, equilibrando la rigidez y la consistencia según sea necesario.

Para el material compuesto de luffa con resina epóxica, se obtuvo un momento flector promedio de aproximadamente 38117.40 lbf-in, con una desviación estándar de 2554.45 lbf-in. Estos valores indican que el material es capaz de resistir una carga de flexión significativa, con una moderada consistencia en los resultados experimentales. La desviación estándar relativamente baja sugiere que los datos tienden a estar cerca del valor promedio, lo que es una buena señal de consistencia en las propiedades mecánicas de este material. Por otro lado, el material compuesto de cachaza de caña con resina epóxica presentó un momento flector promedio de aproximadamente 44062.80 lbf-in, con una desviación estándar de 3147.22 lbf-in. Esto indica una capacidad para resistir la flexión similar a la luffa, aunque con una mayor variabilidad en los resultados experimentales. La desviación estándar más alta sugiere que los datos son más dispersos en torno al valor promedio, lo que puede indicar una consistencia ligeramente inferior en las propiedades mecánicas de este material en comparación con la luffa. Posteriormente, el material compuesto de fibra de coco con resina epóxica demostró un momento flector promedio de aproximadamente 37247.40 lbf-in, con una desviación estándar considerablemente alta de 5789.24 lbf-in. Esto indica que, si bien el material puede resistir la flexión, los resultados experimentales son altamente variables. La alta desviación estándar

sugiere una falta de consistencia en las propiedades mecánicas de este material, lo que puede hacerlo menos confiable en aplicaciones que requieran una resistencia a la flexión uniforme.

Los materiales compuestos de luffa y cachaza de caña exhiben capacidades de resistencia a la flexión similares, con el material compuesto a partir de luffa mostrando una consistencia ligeramente superior en los resultados. Por otro lado, el material compuesto de fibra de coco presenta una mayor variabilidad en sus propiedades mecánicas, lo que plantea desafíos en términos de consistencia y confiabilidad en aplicaciones que requieran una resistencia a la flexión uniforme. Estos hallazgos destacan la importancia de considerar no solo la resistencia a la flexión, sino también la consistencia de los resultados al evaluar estos materiales para aplicaciones específicas.

Al analizar los resultados de los ensayos de tensión, se observa que el material compuesto de luffa con resina epóxica demuestra una deformación unitaria promedio de 0.034 y una desviación estándar de 0.008. Estos valores indican que, en promedio, el material se deforma en respuesta a la tensión aplicada, pero también muestran una cierta variabilidad en las respuestas entre las diferentes probetas. Esta variabilidad podría estar relacionada con la distribución de las fibras de luffa y la calidad de la impregnación de la resina epóxica. El hecho de que la desviación estándar sea relativamente baja demuestra cierta uniformidad en la respuesta del material bajo tensión. Por otro lado, la cachaza de caña con resina epóxica presenta una deformación unitaria promedio de 0.027 y una desviación estándar de 0.006 en los ensayos de tensión. Esto indica que el material tiene una deformación promedio ligeramente menor en comparación con la luffa, pero también una menor variabilidad en sus respuestas. La desviación estándar más baja evidencia que la cachaza de caña con resina epóxica puede mostrar una respuesta más consistente en tensión. En cuanto a la fibra de coco con resina epóxica, se registró una deformación unitaria promedio de 0.031 y una desviación estándar de 0.011. Estos valores revelan una mayor variabilidad en la deformación bajo tensión en comparación con los otros dos materiales compuestos. Esto podría deberse a la estructura interna de las fibras de coco o a la calidad de la impregnación de la resina epóxica. La variabilidad más alta en la deformación podría afectar la capacidad de predecir cómo se comportará el material en situaciones reales.

Al analizar los ensayos de compresión, se observa que la luffa con resina epóxica presenta una deformación unitaria promedio de -0.073 y una desviación estándar de 0.009. Esto indica que, en promedio, el material se contrae bajo compresión, pero nuevamente, se observa una cierta variabilidad en las respuestas. La desviación estándar relativamente baja sugiere cierta uniformidad en la respuesta de la luffa con resina epóxica a la compresión. La cachaza de caña con resina epóxica muestra una deformación unitaria promedio de -0.067 y una desviación estándar de 0.004 en los ensayos de compresión. Estos valores indican una deformación promedio ligeramente menor en comparación con la luffa, así como una desviación estándar extremadamente baja. Esta baja variabilidad sugiere que la cachaza de caña con resina epóxica mantiene una respuesta consistente bajo compresión. La fibra de coco con resina epóxica exhibe una deformación unitaria promedio de -0.070 y una desviación estándar de 0.007 en los ensayos de compresión. Al igual que en los ensayos de tensión, se observa una mayor variabilidad en la deformación bajo compresión, lo que puede deberse a la estructura interna de las fibras de coco o a la calidad de la impregnación de la resina epóxica.

En particular, al observar los valores de resistencia última a la tensión, compresión y flexión de los materiales compuestos. El material compuesto a partir de luffa muestra una resistencia última a la tensión de 3010.00 PSI, una resistencia última a la compresión de 6890.09 PSI y una resistencia última a la flexión de 67764.27 PSI. El material compuesto

a partir de cachaza de caña exhibe una resistencia última a la tensión de 2987.92 PSI, una resistencia última a la compresión de 8181.60 PSI y una resistencia última a la flexión de 78333.87 PSI. El material compuesto a partir de fibra de coco presenta una resistencia última a la tensión de 1495.00 PSI, una resistencia última a la compresión de 6553.69 PSI y una resistencia última a la flexión de 66217.60 PSI. Si comparamos los materiales compuestos de este estudio con materiales de uso común, el Plywood. Tiene un valor de resistencia última a la tensión equivalente a 4000-5000 PSI(Prentice Hall, 2010). Si lo comparamos con los resultados obtenidos de los tres materiales compuestos, se puede evidenciar que ninguno de los materiales investigados supera la resistencia del Plywood por lo que no se puede considerar ninguno de los materiales investigados un candidato para substituir al Plywood cuando sus aplicaciones son específicas para tensión. Sin embargo, en el ensayo a compresión, la resistencia a la compresión que soporta el Plywood es equivalente a 4500 – 6000 PSI(Prentice Hall, 2010). A partir de esto, se puede comprender que todos los materiales compuestos investigados previamente pueden ser una alternativa apropiada para investigar como sustituto del Plywood.

Además, el polipropileno moldeado exhibe propiedades mecánicas notables, con un rango de esfuerzo último a la tensión que varía entre 1310 y 11600 PSI, y un esfuerzo a la compresión que se encuentra en el rango de 5000 a 6800 PSI (Matweb, 2023). Estos resultados demuestran que todos los materiales investigados son candidatos adecuados para un estudio más profundo como posibles sustitutos.

Por otro lado, la madera de castaño se encuentra comúnmente en aplicaciones como tarimas, puertas y mobiliario. En algunos casos, incluso se utiliza con fines estructurales debido a su impresionante rendimiento en resistencia. Presenta una resistencia última a la tensión de aproximadamente 430 PSI, una resistencia a la compresión que varía entre 380 PSI y 2470 PSI, y una resistencia a la flexión en el rango de 3100 PSI a 5600 PSI (Forest Products Laboratory; United States Department of Agriculture Forest Service, 2010). Al comparar estas propiedades con los materiales investigados, queda claro que todos ellos demuestran un desempeño satisfactorio, lo que los posiciona como alternativas viables para futuras investigaciones.

A partir de las curvas de esfuerzo y deformación que se encuentran en los resultados, se puede evidenciar que todos los materiales demuestran características de un material dúctil debido a que suelen mostrar una curva que se extiende gradualmente y tienen una meseta después de su pico de esfuerzo máximo. Esto significa que pueden deformarse plásticamente sin una caída inmediata en el esfuerzo, también indica la capacidad de los materiales para absorber energía antes de la fractura.

Los resultados de las deflexiones máximas de los tres materiales compuestos revelan diferencias significativas. El material compuesto de Cachaza de caña muestra las deflexiones máximas más altas, con valores que oscilan entre 16.71 y 20.02 pulgadas, lo que indica su mayor capacidad para deformarse bajo cargas de flexión. En contraste, el material compuesto de luffa muestra una respuesta menos rígida con deflexiones que varían entre 13.16 y 15.55 pulgadas, aunque aún son considerables. Por último, el material compuesto de Fibra de coco exhibe deflexiones máximas que oscilan entre 9.41 y 13.73 pulgadas, siendo este último el valor más bajo entre los tres materiales. En resumen, los materiales compuestos de Cachaza de caña y luffa presentan deflexiones máximas notoriamente superiores en comparación con el de Fibra de coco.

Estas grandes deflexiones pueden atribuirse a varias causas. En primer lugar, las diferencias en las propiedades intrínsecas de las fibras naturales, como la longitud, la densidad y

la resistencia, pueden influir en la capacidad de deformación de los materiales compuestos. Además, el proceso de fabricación de las probetas y las posibles irregularidades en su calidad podrían contribuir a las variaciones observadas. La influencia de las condiciones ambientales durante las pruebas también debe considerarse, ya que factores como la humedad o la temperatura pueden afectar el comportamiento de los materiales. En conjunto, estos factores subrayan la complejidad de trabajar con materiales compuestos basados en fibras naturales y la necesidad de evaluar y controlar cuidadosamente todas las variables involucradas en los ensayos de flexión.

Respecto a la reacción exotérmica al analizar las probetas de compresión y flexión, que son las de mayor volumen y están compuestas de resina reforzada con fibras naturales, se observó que las reacciones exotérmicas eran menos controladas cuando se utilizaba fibra de coco y cachaza de caña en comparación con la luffa. Se plantea una posible explicación: tanto la fibra de coco como la cachaza de caña, en su estado de fruto antes de convertirse en fibra útil para este proyecto, contienen sacarosa, lo que podría acelerar la velocidad de la reacción. Como resultado, aproximadamente 15 minutos después de la aplicación, las probetas experimentaban fallas, ya que el material compuesto se expulsaba del molde. Esta observación destaca una diferencia significativa en el tiempo de reacción exotérmica entre las fibras mencionadas que contenían sacarosa.

Respecto a las técnicas de desmoldeo, inicialmente se consideró la reutilización de un solo molde para todas las probetas, buscando eficiencia en tiempo y recursos. Sin embargo, este enfoque se volvió inviable ya que el desmoldado dañaría los moldes, lo que llevó a la necesidad de fabricar moldes adicionales. Este cambio refleja la adaptabilidad requerida en la investigación y la disposición para abordar desafíos imprevistos.

El proceso de desmolde también presentó desafíos, con múltiples intentos de encontrar el agente de desmoldeo adecuado. Varios productos, como aceites y ceras, demostraron ser ineficaces antes de optar por EASE RELEASE 200 en SPRAY, destacando la importancia de la elección precisa de materiales en la obtención de resultados confiables.

Por último, con respecto a la obtención de fibra, se determinó que la fibra de coco debe someterse a un secado de 6 horas al día, durante dos días, a una temperatura ambiente de 34 grados centígrados. Este secado debe realizarse en capas delgadas para lograr una deshidratación rápida. En el caso de la cachaza de caña, debido a sus dimensiones, es necesario llevar a cabo una separación manual, ya que esta materia prima cuenta con fibras agrupadas y de tamaños no maniobrables para este tipo de pruebas en materiales compuestos con fibras de orientación aleatoria. En cuanto a la luffa, se recomienda realizar dos procesos de corte. El primero se efectúa en una licuadora, y el segundo se realiza con una tijera, ya que la fibra presentó enredamientos debido al movimiento rotativo de las aspas de la licuadora en su primer corte.

1. Se elaboraron tres tipos de materiales compuestos utilizando diferentes fibras como base. En el primer material, se empleó fibra de luffa con resina epóxica, en el segundo se utilizó cachaza de caña con resina epóxica, y en el tercero se combinó fibra de coco con la misma resina. Estos materiales compuestos se componen de un 50 % de volumen de fibra del material y un 50 % de resina epóxica, y se llevaron a cabo ensayos de tensión, compresión y flexión para determinar sus propiedades mecánicas. Se determinó que el material compuesto a partir de luffa con resina epóxica representa la mayor resistencia a la tensión, con una resistencia última de 3010.00 PSI. En cuanto a la resistencia a la compresión, el material compuesto de cachaza de caña con resina epóxica destacó con una resistencia última de 8181.61 PSI. Para la resistencia a la flexión, el material compuesto a partir de cachaza de caña con resina epóxica nuevamente lideró con un valor de 78333.87 PSI. El módulo de Young más alto se registró en el material compuesto de fibra de coco con resina epóxica, alcanzando los 93.63 MPSI. Finalmente, el momento flector máximo se obtuvo en el material compuesto de cachaza de caña con resina epóxica, con un valor de 44062.8 lbf-in. Estos resultados son fundamentales para comprender y evaluar las propiedades mecánicas de estos materiales compuestos y su idoneidad en diversas aplicaciones.
2. Se diseñaron tres tamaños de probetas diferentes para realizar los tres tipos de ensayos (tensión, compresión y flexión) a los materiales compuestos, las probetas para ensayos a tensión cuentan con las siguientes dimensiones 8.00 pulgadas de largo, 1.50 pulgadas de ancho y 0.20 pulgadas de espesor, las dimensiones de las probetas para ensayos de compresión son 4.00 pulgadas de largo, 1.50 pulgadas de ancho y 1.50 pulgadas de espesor, por último las dimensiones de las probetas para ensayos de flexión son 14.00 pulgadas de largo, 1.50 pulgadas de ancho y 1.50 pulgadas de espesor. Estos diseños de probetas se desarrollaron considerando los requisitos y las capacidades de la compresora universal empleada en los ensayos.
3. La longitud de la región de fijación de las probetas para análisis de tensión fue de 1.00 pulgadas en cada lado. En el caso de las probetas destinadas a pruebas de compresión, no se requirió una región específica de fijación debido al tipo de prueba. Además, las

probetas utilizadas en las pruebas de flexión presentaron puntos de apoyo con una separación de 12.00 pulgadas. Estas dimensiones se establecieron para garantizar la adecuada realización de las pruebas.

4. Se elaboraron 45 moldes diferentes, 15 para cada tipo de ensayo, de los cuales 5 moldes fueron utilizados para cada material compuesto a ensayar. Considerando que aseguraban la geometría adecuada para los ensayos. Estos moldes se diseñaron de manera que pudieran soportar la carga aplicada por la compresora universal y se fabricaron utilizando acrílico para aprovechar la precisión de corte de una cortadora láser.
5. Se ha desarrollado un método eficaz para lograr el secado completo de la fibra de coco. Este proceso implica exponer la fibra a la radiación solar durante 6 horas al día, durante dos días consecutivos, a una temperatura ambiente de 34 grados centígrados, esparciéndola en capas de aproximadamente media pulgada de espesor. Este método se ha demostrado efectivo para asegurar un secado adecuado. Es importante destacar que, durante la investigación, se exploraron diversas alternativas, incluido un intento de secado en una estufa, que no resultó ser un proceso eficiente en comparación con el método solar descrito anteriormente, considerando la necesidad de rehidratar la fibra de coco suministrada en bloques comprimidos. La exposición a la radiación solar se ha identificado como la opción más efectiva para lograr la reconstitución óptima de la fibra de coco antes de su uso.
6. El método de corte más eficiente de la luffa implica el uso de una licuadora para el primer corte y una tijera para el corte final, considerando el enredamiento causado por el movimiento rotativo de las aspas de la licuadora.
7. Para controlar la reacción exotérmica generada al utilizar resina epóxica, se implementó la estrategia de colocar las probetas dentro de una caja plástica. Esta alternativa permitió controlar la concentración de oxígeno en el entorno, lo que a su vez evitó que la reacción continuara descontrolada. Este enfoque se basa en el principio del tetraedro del fuego, donde se requieren tres elementos: combustible, oxígeno e ignición, para que se produzca una inflamación. Al eliminar o controlar uno de estos elementos, en este caso, el oxígeno, se logró prevenir la reacción no deseada.
8. Tras realizar pruebas con aceite mineral, aceite vegetal, aceite de Motor 10W40, cera SuperGold carnauba car wax y desmoldante Ease Release 200, se concluye que el proceso más efectivo es el uso del desmoldante Ease Release 200. Este producto se destaca por su fácil aplicación, versatilidad en el desmoldeo de resinas y excelentes resultados en la extracción de las probetas. Es de suma importancia seguir las recomendaciones del fabricante para su aplicación y se determinó que al agregar dos capas adicionales de desmoldante representa mejores resultados.
9. El material compuesto de luffa y resina epóxica demuestra la resistencia última a la tensión, con 3010.00 PSI, mientras que el material compuesto de cachaza de caña y resina epóxica muestra una resistencia de 2987.92 PSI, y el material compuesto de fibra de coco y resina epóxica tiene la resistencia más baja, con 1495.00 PSI. Estos resultados evidencian que la fibra de coco es el material más frágil en términos de resistencia a la tensión, seguido por la cachaza de caña y la luffa. .
10. El material compuesto de cachaza de caña y resina epóxica representa la resistencia última a la compresión más alta, con 8181.60 PSI, seguido por la luffa con 6890.09 PSI

y la fibra de coco con 6553.69 PSI. Esto indica que la cachaza de caña es el material con mayor capacidad de resistir fuerzas de compresión, mientras que la luffa es la menos resistente a este tipo de carga.

11. El material compuesto de cachaza de caña y resina epóxica muestra una impresionante resistencia última a la flexión, alcanzando 78.33 MPa, seguido de cerca por la luffa con 67.76 MPa y la fibra de coco con 55.18 MPa. Estos valores indican que la cachaza de caña es el material más rígido y capaz de soportar fuerzas de flexión, lo que lo convierte en una excelente opción en aplicaciones prácticas.
12. Se encontró una elevada discrepancia entre los resultados teóricos y experimentales en los ensayos de materiales compuestos con fibras naturales debido posiblemente a la variabilidad inherente en las características de las fibras naturales, como el método de extracción, grosor, longitud y propiedades mecánicas, puede influir en la resistencia y otras propiedades de los compuestos. El uso de una máquina de ensayos diseñada para concreto, no para materiales compuestos con fibras naturales, junto con un diseño de probetas propio, podría introducir errores significativos. Además, la precisión del proceso manual utilizado para fabricar las probetas puede afectar la homogeneidad y, por lo tanto, la comparabilidad entre las probetas ensayadas.
13. Los materiales analizados podrán ser sustitutos del Plywood con respecto a resistencia última a la compresión, ya que superan al Plywood (4500-6000 PSI), lo que los hace alternativas viables según la aplicación. El polipropileno moldeado (resistencia tensión: 1310-11600 PSI; compresión: 5000-6800 PSI) también se destaca como opción en aplicaciones de compresión. La elección del sustituto depende de las necesidades específicas.
14. Las curvas de esfuerzo y deformación revelan que los tres materiales desarrollados exhiben un comportamiento dúctil, ya que muestran una curva gradual que se extiende después del pico de esfuerzo máximo, seguida de una meseta. Esto significa que tienen la capacidad de deformarse plásticamente sin una disminución inmediata en el esfuerzo, lo que indica su capacidad para absorber energía antes de fracturarse.
15. El material compuesto de fibra de coco muestra la mayor rigidez, con un valor de 93.632 MPa, seguido por la luffa con 75.951 MPa y la cachaza de caña con 67.989 MPa.
16. Los datos indican que el material compuesto de cachaza de caña con resina epóxica demuestra el mayor valor de momento flector, con un promedio de 44062.8 lbf-in. Le sigue el material de luffa con 38117.40 lbf-in y el material de fibra de coco con 37247.4 lbf-in. Sin embargo, el material de fibra de coco muestra una mayor variabilidad en sus resultados, con una desviación estándar de 5789.24 lbf-in. Por lo tanto, si se busca una mayor resistencia a la flexión, la cachaza de caña es la mejor opción, mientras que la fibra de coco es menos consistente en términos de momento flector.

Recomendaciones

1. Se recomienda llevar a cabo los ensayos utilizando una máquina diseñada para materiales compuestos en lugar de una diseñada para concreto, ya que esto garantizará una mayor precisión en la obtención de datos relevantes. Además, es aconsejable considerar la posibilidad de evaluar si las dimensiones de las probetas utilizadas son las más adecuadas para este tipo de materiales o si existe algún tipo de probeta estandarizada que pueda ofrecer resultados más representativos y comparables en futuras investigaciones
2. Tener en cuenta la geometría de los moldes para facilitar el desmoldado. Diseñar los moldes con una ligera inclinación, similar a un trapecio moderado, donde la parte superior sea más amplia que la base, esto simplificará el proceso de desmoldado y mejorará la eficiencia de producción.
3. Se recomienda utilizar para futuras pruebas moldes de compresión con un diseño de cilindro y émbolo. En los cuales se comprima el material compuesto y así obtener probetas idónea, con el fin de obtener propiedades mecánicas más precisas.
4. Aplicar otro tipo de pegamento con mayor densidad que el súper glue para unir las piezas de acrílico y así garantizar su sellado con la finalidad de reducir tiempos de fabricación de moldes evitando agregar más capas de otro pegamento.
5. Garantizar que las fibras se encuentran sin humedad para que la probeta no tenga que ser descartada por condensación encapsulada.
6. Para separar fibras comprimidas es recomendable humedecer y esperar un tiempo óptimo de secado.
7. Utilizar superficies rectas y colocar un revestimiento de plástico al área de trabajo para controlar posibles derrames.
8. Analizar el uso de técnicas más precisas y controladas, como la fabricación asistida por máquina, podría reducir las diferencias significativas en las propiedades de los materiales producidos.

9. Controlar la variabilidad existente en las características de las fibras naturales utilizadas, como grosor, longitud y propiedades mecánicas. Esto podría incluir una selección más rigurosa de las fibras y métodos de extracción estandarizados.

- Agrícola, H. (2018). *Melote o cachaza de caña*. <https://www.huertagricola.com.co/2018/07/sustrato-de-bagazo-y-cachaza-de-la-cana.html>.
- Agromática. (2012). *Sustrato de coco*. <https://www.agromatica.es/sustrato-de-fibra-de-coco/>.
- Atz, T., & David, O. (2008). Caracterización física, mecánica y química de fibras de desecho del fruto del coco para su utilización en matrices fibrorreforzadas. *Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Civil Guatemala*.
- Buss. (2023). *Plásticos reforzados con fibras naturales*. <https://buscorp.com/es/industrias/plasticos-reforzados-con-fibras-naturales/>.
- Callister, W. D., & Rethwisch, D. G. (2019). *Ciencia e ingeniería de materiales*. Reverté.
- Campo, F. D. (2019). *Luffa*. <https://fibrasdelcampo.com>.
- Carvalho, R., Rocha, G., Gonçalves, A., & Oliveira, F. (2007). Physical and chemical characterization of sugarcane bagasse submitted to a delignification process for enhanced enzymatic digestibility. *Electronic Journal of Biotechnology*, 10(4), 425-434. <https://doi.org/10.2225/vol10-issue4-fulltext-8>
- Ecoinventos. (2020). *Palet fabricado de fibra de coco*. <https://ecoinventos.com/cocopallet/>.
- Forest Products Laboratory; United States Department of Agriculture Forest Service. (2010). *Wood Handbook - Wood as an Engineering Material*.
- García, S. L. Q., & Salcedo, L. O. G. (2006). Uso de fibra de estopa de coco para mejorar las propiedades mecánicas del concreto. *Ingeniería y Desarrollo*, (20), 134-150.
- Hernández Melchor, G. I., Salgado García, S., Palma López, D. J., Lagunes Espinoza, L. d. C., Castelán Estrada, M., & Ruiz Rosado, O. (2008). Vinaza y composta de cachaza como fuente de nutrientes en caña de azúcar en un gleysol mólico de Chiapas, México. *Interciencia*, 33(11), 855-860.
- Hull, D. (2021). *Materiales compuestos*. Reverté.
- Jaramillo, I., Morales, C., Betancur, A., Cruz, J., & Gañán, P. (2004). Estudio del curado de resinas epóxicas empleando espectroscopia infrarroja. *Dyna*, 71(143), 67-80.

- Kumar, G. H., Babuvishwanath, H., Purohit, R., Sahu, P., & Rana, R. (2017). Investigations on mechanical properties of glass and sugarcane fiber polymer matrix composites. *Materials Today: Proceedings*, 4(4), 5408-5420.
- Lagos-Burbano, E., & Castro-Rincón, E. (2019). Caña de azúcar y subproductos de la agroindustria azucarera en la alimentación de rumiantes. *Agronomía Mesoamericana*, 30(3), 917-934.
- Lima, S. A., Varum, H., Sales, A., & Neto, V. F. (2012). Analysis of the mechanical properties of compressed earth block masonry using the sugarcane bagasse ash. *Construction and Building Materials*, 35, 829-837.
- Madlan, M., Ghazali, M., Zaman, I., Kasron, M., & Ying, T. (2017). The application of coconut fiber as dissipative silencer. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 165(1), 012025.
- Majewski, T., Zawadzki, A., et al. (2013). Plásticos reforzados con fibras naturales en el sector automotriz.
- Mallick, P. K. (2007). *Fiber-reinforced composites: materials, manufacturing, and design*. CRC press.
- Martinez-Barrera, G., Martinez-López, M., & Martinez-Cruz, E. (2013). Concreto polimérico reforzado con fibras de luffa. *Información tecnológica*, 24(4), 67-74.
- Matweb. (2023). *Polipropileno moldeado*. <https://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=08fb0f47ef7e454fbf7092517b2264b2>.
- Mazón Ortiz, G. E. (2017). *Caracterización mecánica del material compuesto de matriz poliéster con fibra de coco para la determinación de propiedades mecánicas en aplicaciones industriales* (B.S. thesis). Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica . . .
- Melgar, M. (2022). . Eventos históricos y logros 1992-2022. *CENGICANÑA*, 1, 176.
- Mohanty, A. K., Misra, M., & Drzal, L. T. (2005). *Natural fibers, biopolymers, and biocomposites*. CRC press.
- Negrin-Hernández, L. I., Pérez-Ruiz, E. A., Cárdenas-Olivier, N., de Lima-Nunes, J. D., Pinheiro-de Amorim, F., Figueiredo-Neto, A., Dantas, A., et al. (2019). Caracterización mecánica del material compuesto de matriz yeso reforzado con fibras de caña de azúcar. *Ingeniería Mecánica*, 22(2), 79-84.
- Pandey, K., Rakesh, K., Chandrasekharan, M., & Swaminathan, K. (2010). Mechanical and thermal properties of coconut fiber reinforced epoxy composite. *Materials and Design*, 31(3), 1282-1289. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2009.08.017>
- Pozo Morales, A. R. (2019). *Materiales compuestos de fibras naturales* (Tesis doctoral). Espacio.
- Prentice Hall, E. C. (2010). *Wood Engineering Handbook*. <https://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=bd6620450973496ea2578c283e9fb807/>.
- Ran, Z., Liu, X., Jiang, X., Wu, Y., & Liao, H. (2020). Study on curing kinetics of epoxy-amine to reduce temperature caused by the exothermic reaction. *Thermochimica Acta*, 692, 178735.
- Roca, L. A. M. (2006). *Resinas epoxi sililadas retardantes a la llama. Síntesis, caracterización y propiedades* (Tesis doctoral). Universitat Rovira i Virgili.
- Rodríguez Soto, A.-A., Sanabio-Alves-Borges, L.-M., Valm-Rivera, J.-L., & Diaz Batista, D. (2015). Fabricación de compuesto de matriz epoxi reforzado con fibras largas de henequén orientadas aleatoriamente. *Ingeniería Mecánica*, 18(2), 122-128.
- Sanjay, M., Arpitha, G., Naik, L. L., Gopalakrishna, K., & Yogesha, B. (2016). Applications of natural fibers and its composites: An overview. *Natural Resources*, 7(3), 108-114.

- Shen, J., Xie, Y. M., Huang, X., Zhou, S., & Ruan, D. (2012). Mechanical properties of luffa sponge. *Journal of the mechanical behavior of biomedical materials*, 15, 141-152.
- Suárez Ramos, J. C., & Wong Nan, L. A. (2011). *Exportación de manufactura de fibra de coco* (B.S. thesis). Guayaquil: ULVR, 2011.
- SUR COLOR, S. (2023). *Kit de resina Cod: 522-13485-900*. <https://www.gruposur.com/web/resina/>.
- Villatoro, B., Pérez, O., Suárez, A., Castro, O., Rodriguez, M., & Ufer, C. (2009). Zonificación agroecológica para el cultivo de caña de azúcar en la zona cañera de la Costa Sur de Guatemala—Primera Aproximación. *Presentacion de resultados de investigacion zafra 2008–2009*, 2008-2009.
- Vivanco Fernández, N. (2019). Evaluación de la aislación térmica, acústica y resistencia ignifuga de un sistema de aislación a base de esponja vegetal luffa cylindrica.
- Xu, Q., Ji, T., Gao, S.-J., Yang, Z., & Wu, N. (2018). Characteristics and applications of sugar cane bagasse ash waste in cementitious materials. *Materials*, 12(1), 39.
- Zhang, Y., Du, L., Liu, Y., Yang, S., & Ma, Y. (2021). Mechanical properties and structure of natural fiber sponge from *Luffa cylindrica* fruit. *Journal of Natural Fibers*, 18(2), 282-295. <https://doi.org/10.1080/15440478.2020.1821664>

CAPÍTULO 11

Anexos

Figura 96: Hoja de seguridad de EASE RELEASE 200

Ease Release® 200

Desmoldante de uso general



www.smooth-on.com

DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO

Ease Release® 200 es un excelente desmoldante de uso general para elaborar moldes y piezas para moldeo. Este producto desmolda elastómeros de poliuretano, resina epoxi, resinas de poliéster, siliconas RTV, caucho y polímeros termoplásticos. Ease Release® 200 es eficaz sobre moldes de aluminio, cromo, silicona RTV, epoxi, caucho y acero.

<p>Características:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Fácil de aplicar • Secado rápido • Efectivo sobre un amplio rango de temperatura de 70 °F a 500 °F (21°C a 260°C) 	<p>Ventajas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Excelente desmolde • Reproducción precisa de detalles en el molde • Menos piezas rechazadas, producción más rápida • Acabado mate
--	--

RECOMENDACIONES DE PROCESAMIENTO

PREPARACIÓN... Seguridad - Utilizar en un lugar con buena ventilación (del tamaño del ambiente). Utilizar gafas de seguridad, mangas largas y guantes de goma para minimizar el riesgo de contaminación. El contacto con la piel puede provocar sequedad.

Almacenar y utilizar el material a temperatura ambiente (73 °F/23 °C). Este producto tiene una vida útil limitada y debe utilizarse lo antes posible.

APLICACIÓN Y ACABADO...

AGITAR BIEN ANTES DE USAR

Aplicación - Limpie bien el molde con Mold Cleaner 2508 o cualquier limpiador adecuado para quitar todos los restos de capas anteriores y aceites. Aplique Ease Release® 200 con aerosol o equipo de pulverización para grandes cantidades. Sostenga el envase (o la pistola pulverizadora) a una distancia de entre 6 y 8 pulgadas de la superficie del molde para garantizar una capa delgada y pareja. Si los moldes son nuevos o fueron decapados con un abrasivo, deje "estacionar" el molde aplicando una capa gruesa de desmoldante. Caliente el molde hasta la temperatura de proceso, luego quite el exceso con un trapo y vuelva a aplicar una capa delgada de Ease Release® 200 antes del moldeo normal. Ease Release® 200 se seca rápido y no requiere cocción durante el proceso de moldeo normal. Vuelva a aplicar una capa delgada antes de cada moldeo.

Acabado - Es necesario limpiar bien las piezas moldeadas antes de teñir, pintar o pegar.

Ease Release	Peso/ Gallon	Soporte de disolvente	Velocidad de Secado	Inflamable	Wetting Quality
200 Aerosol	N/A	Dicloromonofluoretano Butano de dimetilmetano	Muy rápido	No	Excelente
205	6.0#	Hidrocarburos de petróleo	Rápido	Sí	Excelente
207	6.4#	Hidrocarburos de petróleo	Lento	Combust.	Buena

Su Seguridad Primerol

Antes de utilizar este o cualquier producto de Smooth-On, lea la ficha de datos de seguridad (FDS) correspondiente, que puede obtener a pedido. Todos los productos de Smooth-On resultan seguros si se leen y siguen detenidamente las instrucciones.

Mantener fuera del alcance de los niños.

¡IMPORTANTE! - La información de este boletín se considera exacta. Sin embargo, no hay garantía expresa ni implícita respecto de la exactitud de los datos, los resultados que se obtienen de su uso ni de que dicho uso no viole ninguna patente. El usuario debe determinar el grado en que el producto resulta adecuado para la aplicación prevista y asume todo riesgo y responsabilidad en este sentido.



Llámenos a Cualquier hora con Preguntas Sobre Su Aplicación.

Número Gratuito: (800) 381-1733 Fax: (610) 252-6200

El nuevo sitio www.smooth-on.com abunda en información sobre la fabricación de moldes, vaciados y más.

Figura 97: Plano de probetas a tensión

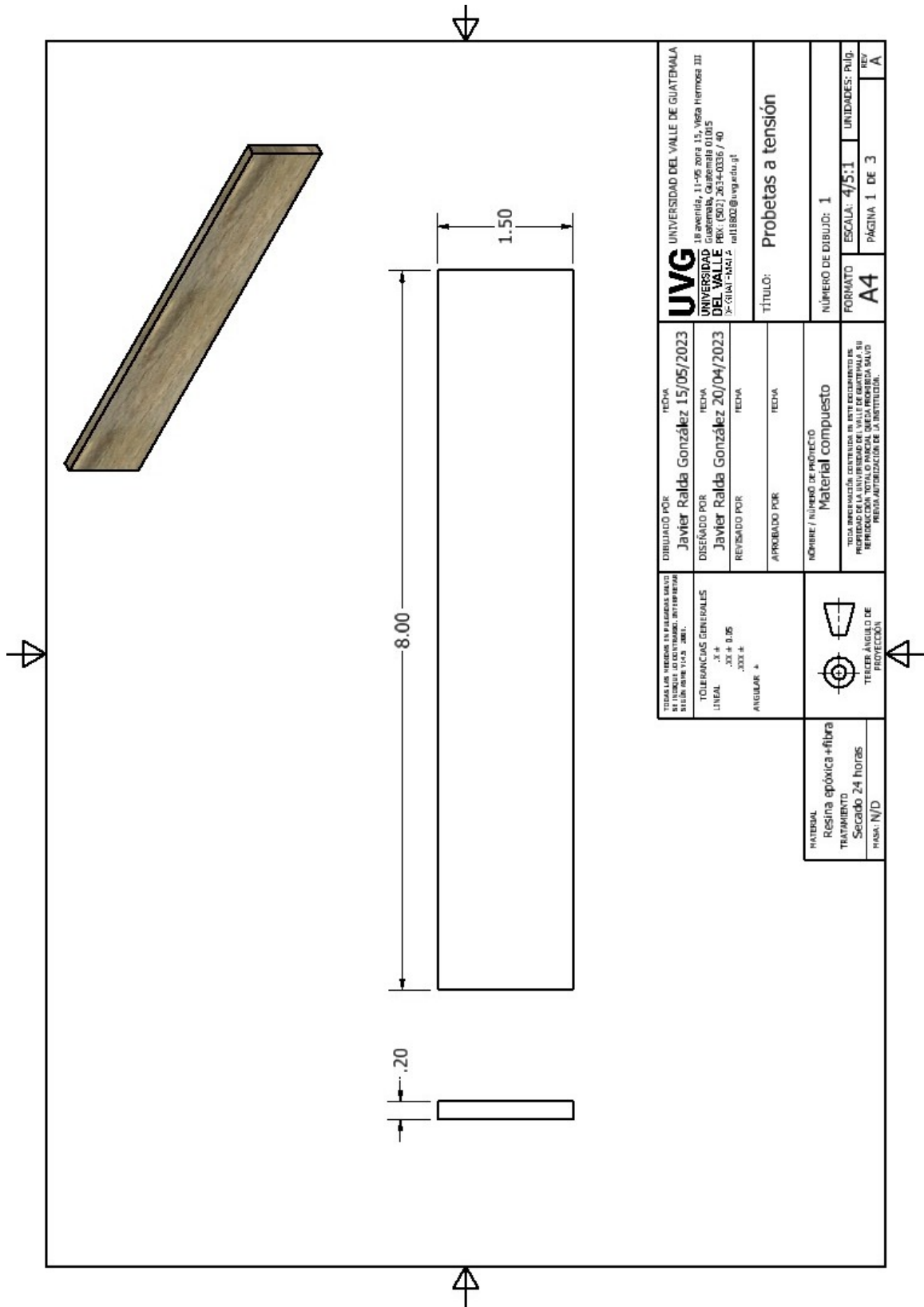


Figura 98: Plano de probetas a compresión

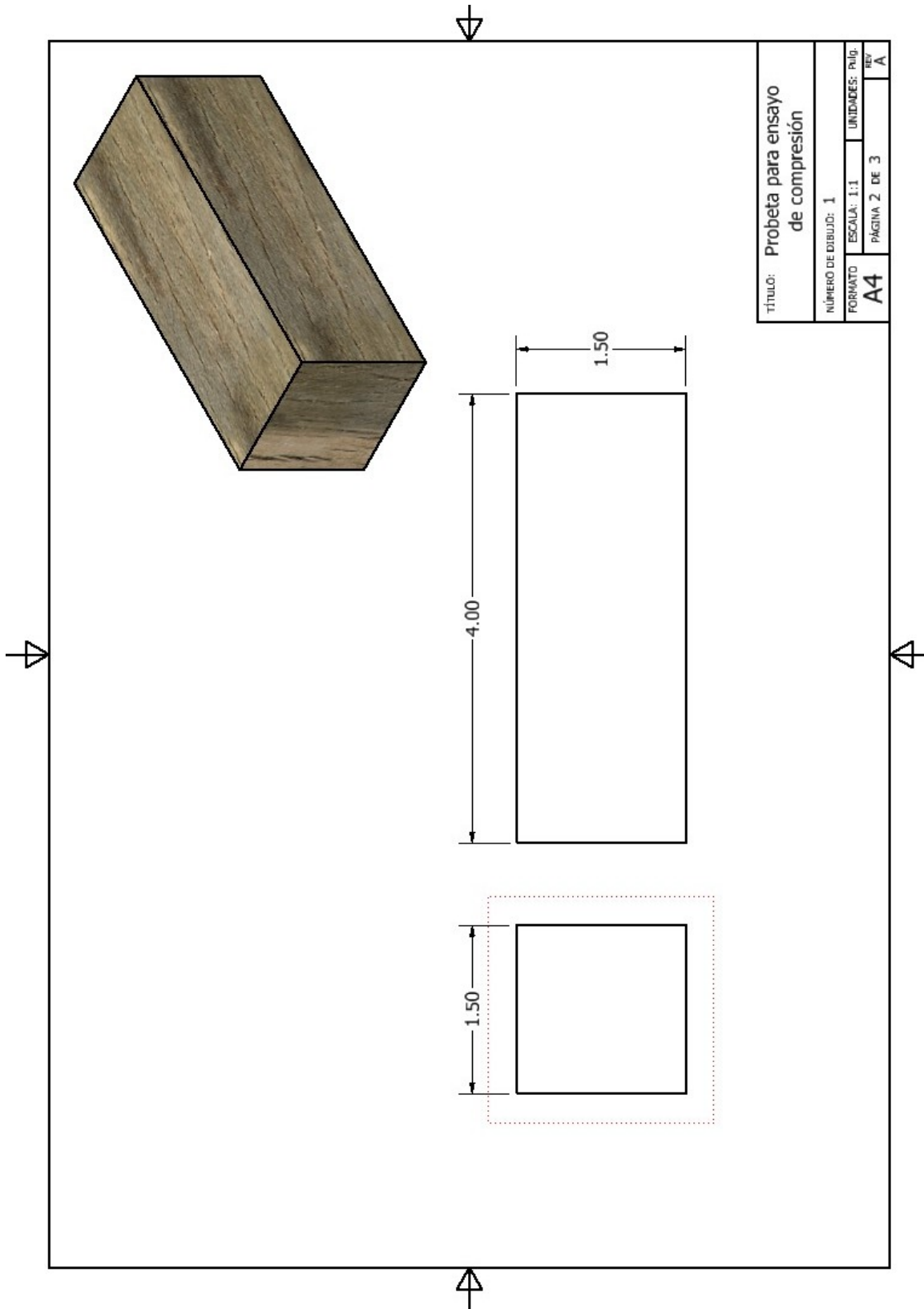


Figura 99: Plano de probetas a flexión

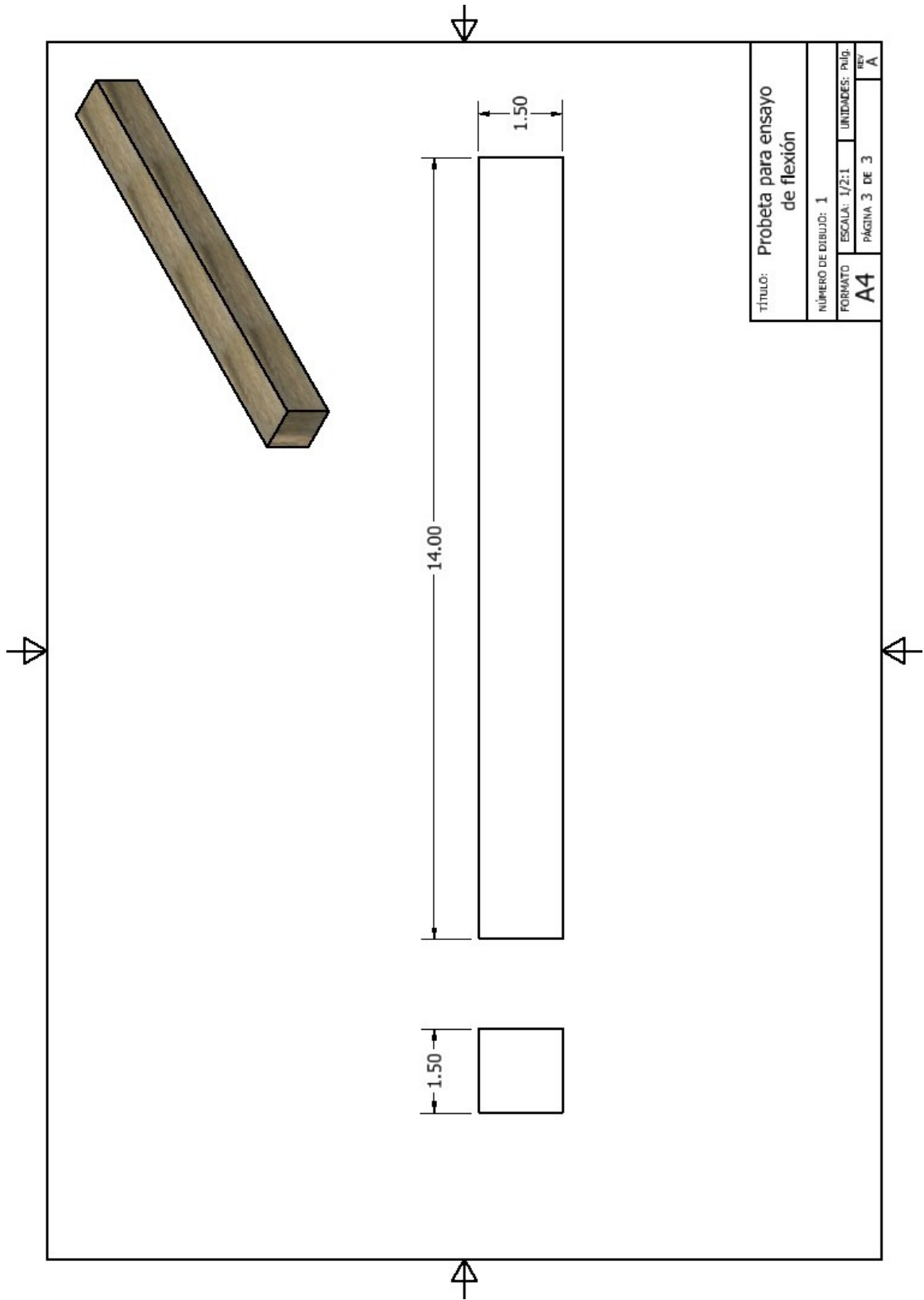
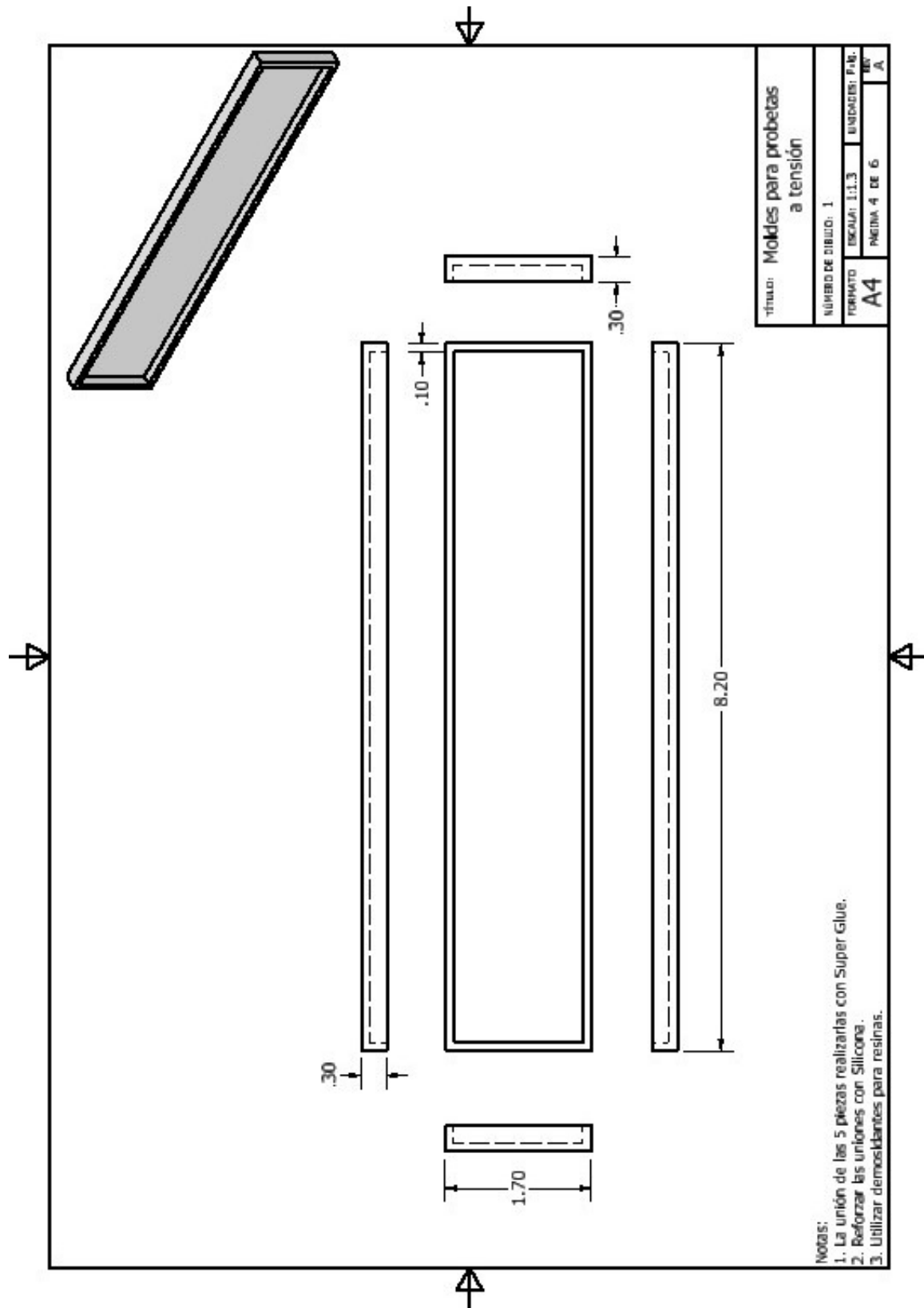


Figura 100: Plano para molde de probetas a tensión



Título: Moldes para probetas a tensión			
Número de dibujo: 1			
Formato	Escala: 1:1.3	Unidades: P.M.	Tip
A4	Página 4 de 6		A

- Notas:
1. La unión de las 5 piezas realizárlas con Super Glue.
 2. Reforzar las uniones con Silicona.
 3. Utilizar desmoldantes para resinas.

Figura 101: Plano para molde de probetas a compresión

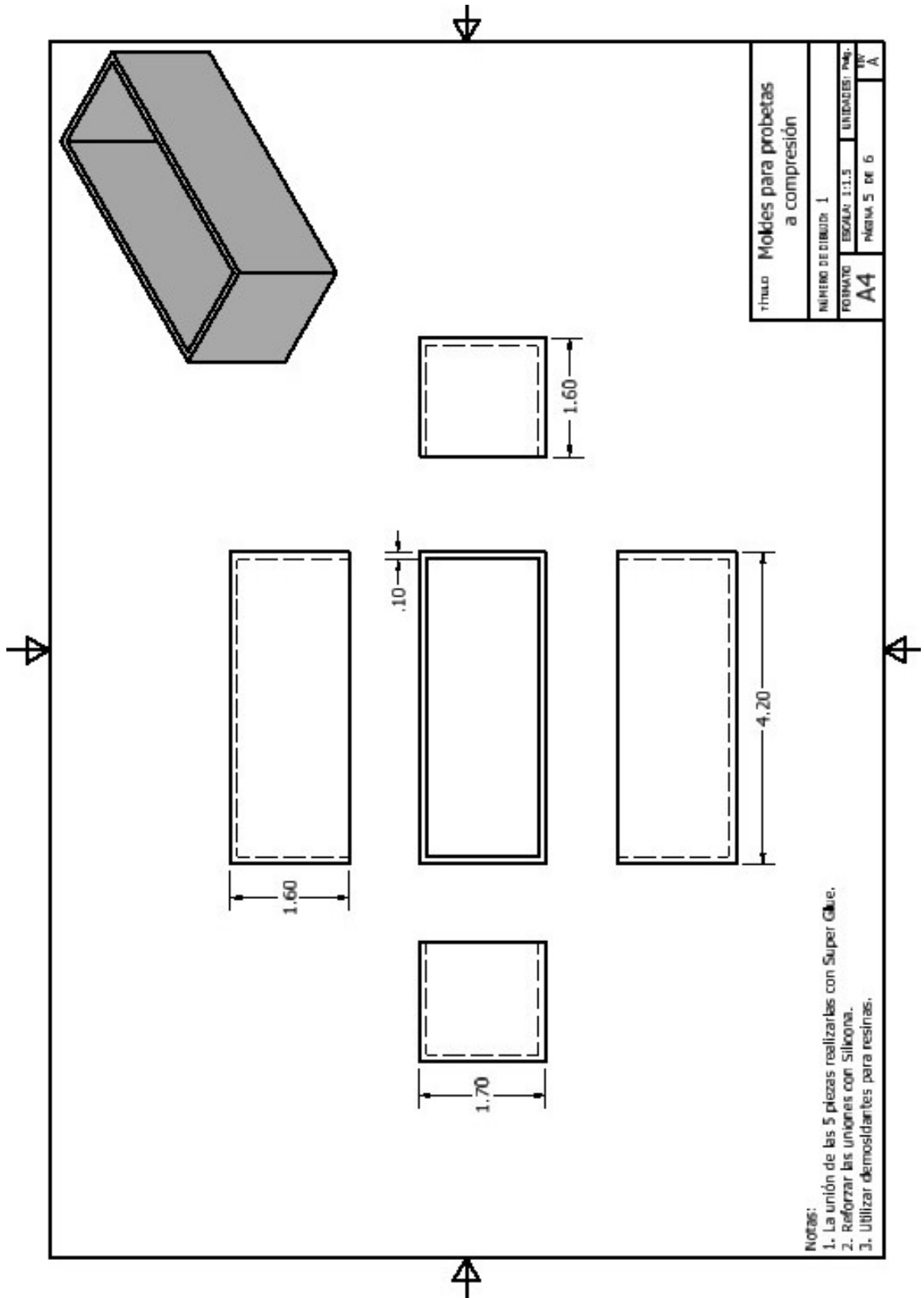


Figura 102: Plano para molde de probetas a flexión

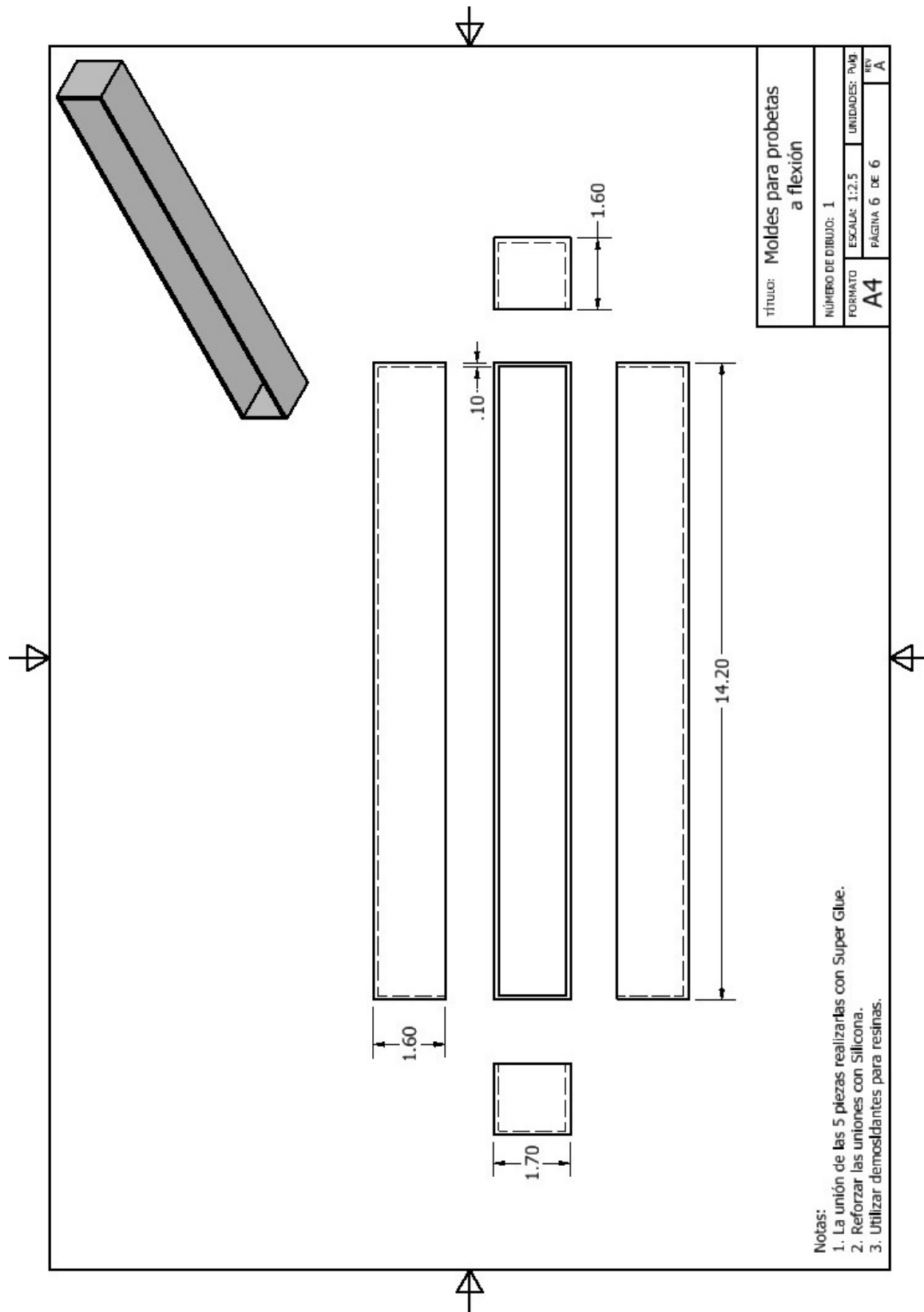


Figura 103: Ficha técnica de Resina epóxica artesanal

INFORMACIÓN TÉCNICA



KIT RESINA

522-13485-900

DESCRIPCIÓN

Es una resina epóxica bicomponente, autonivelante, deja un brillo y dureza notables sin necesidad de pulir.

USO

Se utiliza para dar acabados de gran brillo con apariencia vítrea o cristalina en piezas artesanales de madera o tipo country y en moldes de silicón.

Superficie

Madera, Superficies pintadas, MDF

Línea

Línea Artística, Línea Doméstica

CARACTERÍSTICAS

PROPIEDADES ESPECIALES

Fácil de aplicar

Excelente calidad

Alta transparencia

PROPIEDADES FÍSICAS

DATOS

Peso por galón (kg/gal)	4.10 - 4.40
Viscosidad Stormer Krebs (Ku)	95 - 120
Vida útil de la mezcla	90 - 150 min
Sólidos por peso (%)	100
Sólidos por Volumen (%)	100

PRESENTACIÓN

PRESENTACIONES DISPONIBLES

Este producto debe ser utilizado por personal calificado usando equipo especial. Los datos técnicos fueron calculados bajo condiciones controladas de laboratorio basados en nuestra experiencia, pero no asumimos responsabilidad alguna sobre la correcta selección, compatibilidad, aplicación y uso de sistemas de aplicación de nuestros productos. SUR QUÍMICA garantiza la calidad de este producto, la idoneidad de sus características y cualidades, pero no es responsable de los resultados obtenidos en condiciones imposibles de comprobar una vez hecho el trabajo. Hemos hecho lo razonablemente posible para garantizar la veracidad de la información proporcionada aquí, pero no asumimos responsabilidades por ningún error, omisión o inexactitud de ella.



Versión 2.0 del: Dec 12/14/2021
14 2021 4:04PM

