EVALUACIÓN DE FIBRAS DE EXCREMENTO DE BOVINOS COMO MATERIAL DE REFUERZO EN RESINA EPÓXICA

AUTOR
LUIS CARLOS ALBA APONTE
JHON HARBEY GARCÍA GUERRERO

DOCENTE DIRECTOR
OSWALDO PASTRÁN BELTRÁN



UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
TECNOLOGÍA MECÁNICA / INGENIERÍA MECÁNICA
BOGOTÁ, COLOMBIA
JULIO 2025

CONTENIDO

LISTA DE FIGURAS 4

LISTA DE TABLAS 4

1. RESUMEN DEL PROYECTO 5

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 6

3. OBJETIVOS 8

3.1. OBJETIVO GENERAL 8

3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS 8

4. JUSTIFICACIÓN 9

5. MARCO TEÓRICO 10

6. ANTECEDENTES 14

7. DESARROLLO 18

7.1. IDENTIFICACIÓN DE MATERIAL ENSAYADO. 18

7.2. PREPARACIÓN Y FABRICACIÓN DE LAS PROBETAS 19

7.2.1. EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LAS FIBRAS 19

7.2.2. FABRICACIÓN DE MOLDES 21

7.2.3. FABRICACIÓN Y MECANIZADO DE PROBETAS 23

7.3. ENSAYO DE TRACCIÓN 25

7.4. CORRECCIÓN DE GRÁFICOS 27

7.5. FÓRMULAS GENERALES 28

8. RESISTENCIA DE TRACCION POR CRUCE CON PROMEDIO Y DESVIACIÓN ESTANDAR 29

9. ELONGACIÓN EN EL PUNTO DE FLUENCIA O ROTURA, O DEFORMACIÓN NOMINAL EN EL PUNTO DE ROTURA CON VALOR PROMEDIO Y DESVIACIÓN ESTÁNDAR. 30

10. MÓDULO DE ELASTICIDAD O MÓDULO SECANTE, VALOR PROMEDIO Y DESVIACIÓN ESTÁNDAR 31

11. ANÁLISIS DE DATOS 32

12. COSTOS Y PROPIEDADES DE LAS FIBRAS DE EXCREMENTO BOVINO, FRENTE A OTROS TIPOS DE FIBRAS DE REFUERZO 34

13. CONCLUSIONES.....37

14. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....39

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: CONTRIBUCIONES DE EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO.

FIGURA 2: PROBETA DE TENSIÓN.

FIGURA 3: PROCESO DE EXTRACCION Y PREPARACION DE FIBRAS.

FIGURA 4: PROCESO DE FABRICACIÓN DE MOLDES

FIGURA 5: PROCESO DE FABRICACIÓN DE PROBETAS

FIGURA 6: CORRECION DE GRAFICA

FIGURA 7: GRAFICAS DE ESFUERZO – DEFORMACION POR CRUCE

FIGURA 8: ESTRUCTURA DE PESEBRERA PARA APLICACIÓN

LISTA DE TABLAS

TABLA 1: COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL EXCREMENTO BOVINO

TABLA 2: DIMENSIONES PROBETA DE TENSIÓN

TABLA 3: ESPECIFICACIÓN DE DIMENSIONES PARA PROBETAS

TABLA 4: RESISTENCIA DE TRACCION POR CRUCE CON PROMEDIO Y DESVIACIÓN ESTANDAR

TABLA 5: PORCENTAJE DE ELONGACIÓN EN EL PUNTO DE FLUENCIA O ROTURA, O DEFORMACIÓN NOMINAL EN EL PUNTO DE ROTURA CON VALOR PROMEDIO Y DESVIACIÓN ESTÁNDAR.

TABLA 6: MÓDULO DE ELASTICIDAD CON VALOR PROMEDIO Y DESVIACIÓN ESTÁNDAR.

TABLA 7: COMPARACIÓN DE COSTOS PARA PLACA DE RESINA

1. RESUMEN DEL PROYECTO

En el siguiente trabajo se realizará la evaluación del efecto que pueden tener las fibras de excremento bovino como material de refuerzo en las resinas epóxicas, para esto se propone establecer una comparación entre una probeta únicamente de resina y en otra donde ésta se utiliza como matriz y la fibra de excremento como material de refuerzo. Mediante los ensayos mecánicos apropiados se decide evaluar si el material compuesto puede mejor las propiedades, teniendo en cuenta la proporción entre la matriz y las fibras. En paralelo con los objetivos de ingeniería, se desea generar un aporte a las ideologías del avance sostenible desde la ecología, llevando este material a aplicaciones de estructuras simples en los lugares donde se desarrolla el primer sector de la economía, generalmente rurales.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Dentro de las actividades económicas de Colombia una de gran impacto es la ganadería, durante el proceso se generan diferentes desperdicios, entre ellos, el excremento de bovino, el cual trae consecuencias perjudiciales en la capa de ozono por los gases que se encuentran en la materia orgánica.

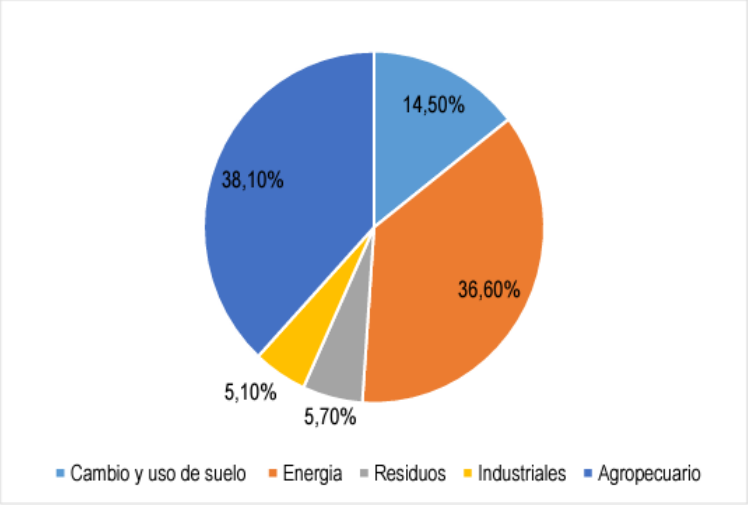
TABLA 1: COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL EXCREMENTO BOVINO

COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL EXCREMENTO BOVINO						
MATERIA ORGÁNICA	NITRÓGENO (N)	FÓSFORO (P)	POTASIO (K)	CALCIO (Ca)	MAGNESIO (Mg)	HUMEDAD
36.1 %	1.51 %	1.20 %	1.51 %	3.21 %	O.53 %	25.5%

(Universidad de Ibagué, 2009)

Una de las principales causas del por qué se vincula directamente el efecto invernadero con el excremento bovino es por ser el de mayor aportante en comparación a las diferentes actividades económicas en Colombia.

FIGURA 1: CONTRIBUCIONES DE EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO



(UNIVERSIDAD DE IBAGUÉ, 2009)

Dados los nuevos lineamientos de centrar las investigaciones y los avances en pro del medio ambiente, se evidencia que las actividades ganaderas en Colombia generan impactos directos sobre la capa de ozono a raíz de los gases emergentes del excremento de los bovinos, su principal impacto se refleja en el calentamiento global, de manera que se busca utilizar las propiedades de la materia fecal como material de refuerzo, dadas sus capas fibrosas de fácil extracción.

En la actualidad la resina epóxica ha tomado fuerza como un material de restauración de partes, sin embargo, se ha buscado adicionar algún material refuerzo como fibra de carbono o fibra de vidrio para incrementar las propiedades mecánicas de ésta; uno de los principales efectos de este material de refuerzo es el incremento de costos de producción, dando apertura a una segunda problemática económica para un proceso especifico, este inconveniente podría mitigarse de ser positiva la evaluación de las fibras de excremento ya que podrían disminuir los costos por la fácil adquisición.

Por otra parte, desde la actividad ganadera sería más sencillo obtener esta materia prima si se hablara de ganadería estacionaria, sin embargo, en Colombia no es completa la industrialización de ésta, por lo cual aún se practica la ganadería abierta de pastoreo por potreros, siendo esto señal de que el excremento no se podrá recoger en un solo punto sino estará esparcido por la extensión de los pastales. Con la inclusión de las fibras al mercado se podría hacer un llamado la recaudación de estas como un nuevo elemento que represente un ingreso financiero.

3. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar el efecto que tendrían las fibras de excremento bovino como material de refuerzo en matrices de resina epóxica.

3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Fabricar probetas de diferentes configuraciones matriz vs refuerzo.
- Comparar propiedades mecánicas en la variación de matriz vs refuerzo.
- Evaluar el comportamiento del material compuesto en pruebas de tensión.
- Contrastar costos y propiedades de las fibras de excremento bovino, frente a otros tipos de fibras de refuerzo.

4. JUSTIFICACIÓN

Durante el avance cronológico de la ingeniería mecánica se han realizado diferentes entes controladores, que pretenden colocar como requisito obligatorio a la investigación, tener en cuenta la limitante de diseño responsable con el medio ambiente, desde la educación y los pilares de construcción social está el cuidar el ecosistema que rodea a cada uno de los seres que habitan en él, la humanidad debe seguir progresando mediante ejercicios de investigación, innovación y actualizaciones en pro del medio ambiente, de manera que retomando el objetivo de este proyecto el proponer la fibra de excremento bovino tiene el alcance de innovar en materiales compuestos como también aportar a la disminución de contaminación causa de los desperdicios fecales de la actividad económica conocida como ganadería, dándole un plus al mercado de este sector económico de alta participación en la economía de Colombia y latino América.

5. MARCO TEÓRICO

La resina epóxica es un tipo de polímero termoestable que, al ser mezclada con un catalizador, pasa de estado líquido a sólido. Se caracteriza por ser de alta durabilidad, material dieléctrico, ser moldeable en su estado líquido, tener una fuerte adherencia, alta resistencia química y, al ser termoestable, no se deforma cuando se exponen a altas temperaturas (aproximadamente 200 °C). algunos de sus principales usos son:

- Fabricación de materiales compuestos
- Adhesivo industrial
- Recubrimiento protector
- Encapsulamiento y protección electrónica
- Reparación y restauración
- Moldes y prototipos

- **PROPIEDADES MECÁNICAS**

- Resistencia a la tracción: Las resinas epoxi se caracterizan por poseer una alta resistencia a la tracción, lo que las hace adecuadas para aplicaciones estructurales donde se requiere soportar fuerzas elevadas sin fracturarse.

- Resistencia a la compresión: Tienen una excelente resistencia a la compresión, lo cual es atractivo para su uso en aplicaciones que demandan materiales capaces de soportar cargas sin deformarse significativamente.

- Rigidez y dureza: Las resinas epoxi se curan en materiales rígidos y duros, lo que proporciona estabilidad dimensional y resistencia al desgaste.

- **PROPIEDADES TÉRMICAS**

- Resistencia al calor: Se puede obtener buena resistencia al calor, aunque la resistencia específica puede variar dependiendo de la formulación y del

agente de curado utilizado. Esto les permite mantener sus propiedades mecánicas a temperaturas elevadas.

- Conductividad térmica: Se caracterizan por tener baja conductividad térmica, lo cual las hace funcionales como aislantes térmicos.

- **PROPIEDADES QUÍMICAS**

- Resistencia a productos químicos: Tienen una alta resistencia a una amplia gama de productos químicos, incluidos ácidos, bases y solventes, lo que las hace adecuadas para entornos industriales y aplicaciones químicas.

- Resistencia a la humedad: Son resistentes a la humedad, lo que previene la degradación del material en ambientes húmedos o acuáticos.

- **PROPIEDADES ELÉCTRICAS**

- Aislante eléctrico: Son excelentes aislantes eléctricos, protegiendo componentes electrónicos y evitando cortocircuitos.

- **PROPIEDADES FÍSICAS**

- Adhesión: Ofrecen alta capacidad de adhesión a materiales como metales, plásticos y maderas, lo que las hace útiles en aplicaciones de adhesión y reparación.

- Transparencia: Algunas formulaciones pueden ser transparentes o tener un acabado claro, útil en aplicaciones estéticas que así lo requieran.

Norma ASTM D638

La norma ASTM D638 proporciona directrices detalladas para la realización de pruebas de tracción en plásticos, tanto en aquellos con refuerzo como en los que no lo tienen, con el objetivo de evaluar una serie de propiedades mecánicas esenciales. Esta prueba se ejecuta utilizando una máquina universal de ensayos, que es capaz de aplicar fuerzas a diferentes velocidades, que pueden variar desde 1 hasta 500 mm/min. La prueba continúa hasta que la probeta, es decir, la muestra del material se rompe. La velocidad de aplicación de la carga puede ser ajustada dependiendo de las necesidades específicas del análisis, permitiendo una

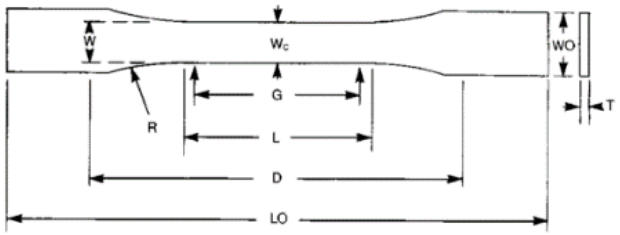
evaluación precisa del comportamiento del material bajo diferentes condiciones de carga.

El propósito principal de la prueba ASTM D638 es medir diversas propiedades mecánicas de los materiales plásticos. Entre estas propiedades se incluyen la resistencia a la tracción, que indica la capacidad del material para soportar fuerzas de estiramiento antes de romperse; el módulo de elasticidad, que mide la rigidez del material y su capacidad para deformarse elásticamente bajo carga; y la elongación a la rotura, que representa la capacidad del material para estirarse antes de fracturarse. Estos datos son fundamentales para asegurar que los materiales cumplan con las especificaciones técnicas y los estándares de calidad requeridos para su uso en distintas aplicaciones industriales.

Más allá de proporcionar una visión crítica sobre la durabilidad y la resistencia de los plásticos, la prueba ASTM D638 también ofrece información valiosa para identificar posibles áreas de mejora en el proceso de fabricación y en la formulación de los materiales. Por ejemplo, los resultados de la prueba pueden revelar debilidades en el material que podrían ser abordadas mediante ajustes en la composición del plástico o en el método de producción. De esta manera, la prueba contribuye a garantizar que los productos finales sean seguros, eficaces y adecuados para el propósito para el cual fueron diseñados.

Para lograr una aplicación efectiva de la norma ASTM D638, es crucial cumplir con las dimensiones y especificaciones establecidas para las probetas. Estas dimensiones deben ser precisas y están diseñadas en función de las propiedades específicas del material y de los requisitos del ensayo, asegurando así que los resultados obtenidos sean representativos y confiables. Un cumplimiento riguroso de estas especificaciones es esencial para obtener datos válidos que permitan una evaluación adecuada del comportamiento mecánico de los plásticos sometidos a prueba.

FIGURA 2: PROBETA DE TENSIÓN



TYPES I, II, III & V

(NORMA ASTM D638)

TABLA 2: DIMENSIONES PROBETA DE TENSIÓN

Dimensions (see drawings)	Specimen Dimensions for Thickness, *T*, mm [in.][A]					Tolerances
	7 [0.28] or under		Over 7 to 14 [0.28 to 0.55], incl	4 [0.16] or under		
	Type I	Type II	Type III	Type IV[B]	Type V[C,D]	
W—Width of narrow section[E,F]	13 [0.50]	6 [0.25]	19 [0.75]	6 [0.25]	3.18 [0.125]	±0.5 [±0.02][B,C]
L—Length of narrow section	57 [2.25]	57 [2.25]	57 [2.25]	33 [1.30]	9.53 [0.375]	±0.5 [±0.02][C]
WO—Width overall, min[G]	19 [0.75]	19 [0.75]	29 [1.13]	19 [0.75]	...	+ 6.4 [+ 0.25]
WO—Width overall, min[G]	...	...	...	...	9.53 [0.375]	+ 3.18 [+ 0.125]
LO—Length overall, min[H]	165 [6.5]	183 [7.2]	246 [9.7]	115 [4.5]	63.5 [2.5]	no max [no max]
G—Gage length[I]	50 [2.00]	50 [2.00]	50 [2.00]	...	7.62 [0.300]	±0.25 [±0.010][C]
G—Gage length[I]	...	...	...	25 [1.00]	...	±0.13 [±0.005]
D—Distance between grips	115 [4.5]	135 [5.3]	115 [4.5]	65 [2.5][J]	25.4 [1.0]	±5 [±0.2]
R—Radius of fillet	76 [3.00]	76 [3.00]	76 [3.00]	14 [0.56]	12.7 [0.5]	±1 [±0.04][C]
RO—Outer radius (Type IV)	...	...	...	25 [1.00]	...	±1 [±0.04]

(NORMA ASTM D638)

6. ANTECEDENTES

Entre las diferentes categorías de los materiales encontramos la línea de los compuestos, en esta se parte de la idea de unir dos o más materiales, los cuales generen una combinación de propiedades que se adecúen o moldeen a una necesidad, normalmente la estructura más conocida para los materiales compuestos después de las aleaciones está en el refuerzo mediante fibras, hoy en día compuestos muy comerciales son la fibra de vidrio, la fibra de carbono, que se añaden y combinan con otros materiales como el concreto, la resina, el plástico entre otros. La manera inicial de comprender los materiales compuestos de estructura reforzada consiste en dos partes, la primera se conoce como matriz, la cual es el elemento a reforzar y el cual debe tener la capacidad de recibir la segunda parte conocida como material de refuerzo, un claro ejemplo es el capot de las mulas Kenworth las cuales están compuestas por una matriz de pasta reforzada con fibra de vidrio.

Para el caso del presente proyecto se postula como matriz la resina epóxica y como material de refuerzo la fibra extraída del excremento de vaca, esto teniendo en cuenta que tanto la fibra de vidrio como la de carbono son categorizadas por tener altos costos en el comercio dado su proceso de manufactura. Adicionalmente sus fundamentos son directamente en la utilidad de las propiedades, pero no asocian un bienestar para el medio ambiente, mientras que la posibilidad de utilizar fibras de lo que cualquier persona categorizaría como residuo puede ser una fuente de diferentes aplicaciones.

En la actualidad el excremento de vaca ya ha tenido nuevas aplicaciones gracias a su composición química, permitiéndole ingresar al mercado como un biocombustible, esto gracias a los gases como el metano que se pueden encontrar, sin embargo desde la contextualización histórica y cultural el excremento estuvo aplicado en los primeros registros del adobe, el cual finalmente se compuso por fibras de paja y barro en las civilizaciones precolombinas, desde aquel momento se inclinó la materia fecal a ser usada como fuente de gases en biodigestores y no como un posible material de refuerzo, es por esto que como se mencionaba anteriormente se plantea una nueva alternativa para evaluar que tan positivo seria el cambio en las propiedades de resina epóxica gracias a las fibras de excremento. En la revista chilena de ingeniería Ingeniare de mayo de 2023 se postula que la necesidad de cambiar a materiales biodegradables “ha conducido las investigaciones a la búsqueda de alternativas de materiales compuestos utilizando

diferentes tipos de refuerzos, como nanopartículas, fibras sintéticas y fibras naturales".

Para lograr intervenir el estudio de este material se requiere partir de ensayos mecánicos, principalmente los más comunes como el de tensión. Por otra parte en el estudio de los materiales compuestos reforzados por fibras se pueden tener diferentes tipos de refuerzo estos en función de la dirección en las que se ubican las fibras, para este caso dado que se conoce con antelación que las fibras son menores a 2 o 5 mm se pretende ignorar el sentido de las fibras anexándolas a la matriz de manera amorfa si orientación definida, por ultimo también es importante tener en cuenta la relación de proporción en las masas a asociar, ya que esta relación puede hacer variar las propiedades.

Teniendo en cuenta los trabajos desarrollados en cuanto a investigación y desarrollo de probetas de resina epóxica con refuerzo de fibras naturales, se tomará la metodología implementada en la revista chilena Ingeniare, la cual se muestra a continuación.

La masa de fibra que se requiere para la elaboración de las probetas responde a la ecuación

$$m = \rho * V \quad (1)$$

Donde m es la masa en gramos, ρ la densidad de la fibra y V el volumen de la probeta cuyas dimensiones están bajo normativa ASTM. La densidad de la cabuya es 0,665 g/cm3 [12], la densidad de la caña de azúcar es 0,83 g/cm3 [13] y la densidad de la resina epoxi de 1,10 g/cm3 [14]. Esto con el objetivo de definir la fracción volumétrica del refuerzo.

Dentro del proceso de investigación, trabajos cómo "*Fabricación de compuesto de matriz epoxi reforzado con fibras largas de henequén orientadas aleatoriamente"* se da apertura a la posibilidad de reforzar la resina mediante fibras naturales con distribuciones aleatorias, como también la viabilidad de insertar las fibras en placas de moldeo, esto mediante la metodología o el procedimiento denominado como "*Colocación de los componentes en moldes"* en donde recomienda un relación con fibras entre el 20% y 30% de refuerzo, esto dado a que porcentajes inferiores no afectan las propiedades mecánicas y superiores a este rango debilitan la matriz.

Teniendo en cuenta que se deben realizar varias probetas, se pueden encontrar filtros de calidad que permitan garantizar la igualdad entre ellas, algunos de estos filtros pueden ser: cálculo de porosidad, relación de matriz y refuerzo, proceso estándar de secado para las fibras; relación de catalizador y resina; moldes y procesos de mecanizado.

En la Universidad Autónoma de Nuevo León se realizó en una investigación referente a uso de fibra naturales en concretos, el artículo se centra y resume en:

"Pretender encontrar materiales de construcción que sean económicos y durables. Las fibras de acero, de vidrio o poliméricas, son alternativas viables pero costosas. Las fibras naturales pueden ser una posibilidad real para los países en desarrollo, ya que están disponibles en grandes cantidades y representan una fuente renovable continua. La fibra es afectada principalmente por la alcalinidad de la matriz de concreto. La durabilidad del compuesto dependerá entonces de la protección que tenga la fibra y de las características de impermeabilidad propias de la matriz."

-Juárez Alvarado, César Antonio y Rodríguez López, Patricia y Rivera Villarreal, Raymundo y Rechy de Von Roth, María de los Ángeles (2004) Uso de fibras naturales de lechuguilla como refuerzo en concreto.

Por otra parte, se publicó en la revista de física de facultad de ingeniería civil y agrícola de la universidad Nacional de Colombia. un ensayo donde se realizaron pruebas de fibras naturales en matrices poliméricas, el documento se resume en:

"Debido a la crisis ambiental que atraviesa la humanidad, actualmente se vienen realizando diversas investigaciones encaminadas a encontrar alternativas sustentables para diferentes procesos industriales. En este sentido, las fibras naturales se han convertido en un recurso atractivo para diferentes industrias, dentro de las cuales se puede destacar la industria de los materiales compuestos. Las fibras naturales son recursos renovables que pueden ser obtenidos de animales o vegetales y presentan múltiples ventajas, como su bajo costo y peso, biodegradabilidad y altas propiedades específicas. Este documento constituye una revisión de algunos aspectos relevantes para tener en cuenta en el empleo de fibras naturales en la industria de los compuestos, como son su origen, composición química, metodología de extracción, propiedades físicas y mecánicas y algunos tratamientos necesarios para mejorar la adherencia cuando se emplean como refuerzo de matrices poliméricas. Además, se destacan algunos de los resultados obtenidos en una investigación enfocada a proporcionar aspectos técnicos para el

empleo de fibras de bambú guadua angustifolia como material de refuerzo. Cabe resaltar que la revisión presentada en este documento se centra en fibras de origen vegetal.”

-Patricia Luna, Juan M. Lizarazo-Marriaga (2022) fibras naturales como refuerzo en materiales compuestos de matriz polimérica

7. DESARROLLO

7.1. IDENTIFICACIÓN DE MATERIAL ENSAYADO.

En el desarrollo del estudio sobre el efecto del excremento bovino como material de refuerzo en una matriz de resina epóxica, surge la necesidad de establecer una comparación directa entre una probeta compuesta únicamente por resina (sin refuerzo) y aquellas que contienen diferentes proporciones del material de refuerzo (fibras). Esta comparación tiene como objetivo evaluar el comportamiento mecánico de las distintas probetas, particularmente en lo relacionado con su resistencia a la tracción, y así determinar si la incorporación del refuerzo mejora o no sus propiedades mecánicas.

Con base en este planteamiento y de acuerdo con un enfoque experimental, se toma la decisión de fabricar cuatro tipos distintos de probetas. Cada una de ellas varía en función de la proporción volumétrica de resina epóxica como matriz y fibra de estiércol de bovino como material de refuerzo. Las combinaciones seleccionadas permiten observar la evolución del comportamiento mecánico a medida que se incrementa la cantidad de refuerzo. Las relaciones de volumen definidas son las siguientes:

- 100 % matriz – 0 % refuerzo: Probeta sin refuerzo, compuesta únicamente de resina epóxica. Esta sirve como referencia para la comparación con el resto de las muestras.

- 85 % matriz – 15 % refuerzo: Probeta con bajo contenido de refuerzo. La cantidad de fibras es limitada, lo que permite observar el impacto inicial del material de refuerzo.

- 75 % matriz – 25 % refuerzo: Probeta con nivel medio de refuerzo. En esta composición, se aumenta la cantidad de refuerzo con respecto a la anterior, aunque la matriz sigue siendo mayor.

- 50 % matriz – 50 % refuerzo: Probeta con relación equitativa entre matriz y refuerzo. Esta proporción permite evaluar el comportamiento del material cuando ambos componentes tienen una participación igualitaria en volumen.

La selección de estas proporciones se justifica desde un enfoque práctico y experimental. Se parte de la probeta sin refuerzo para establecer una línea base,

incrementando progresivamente la cantidad del material de refuerzo hasta alcanzar una proporción equitativa. Se considera que, debido a las características físicas del excremento bovino, particularmente el tamaño y forma de las fibras contenidas, relaciones superiores al 50 % de refuerzo podrían comprometer la adherencia entre la matriz y el refuerzo. Esta pérdida de adherencia puede impedir la obtención de una estructura sólida, o en el mejor de los casos, derivar en una probeta frágil que se dañe fácilmente, afectando los resultados obtenidos en la prueba de tensión.

Una vez definidas las proporciones para cada tipo de probeta, se procede a su fabricación siguiendo los lineamientos establecidos por la norma ASTM D638 mostrados en la tabla 3**,** correspondiente a la determinación de propiedades de tracción en plásticos. Esta norma recomienda la elaboración de cinco probetas por cada configuración cuando se trabaja con materiales isotrópicos, garantizando así la validez estadística de los resultados. En consecuencia, se fabrican un total de 20 probetas (5 por cada tipo de combinación), lo que permite avanzar con la fase experimental del estudio y evaluar con mayor precisión el efecto del refuerzo en la resina epóxica.

TABLA 3: ESPECIFICACIÓN DE DIMENSIONES PARA PROBETAS.

Dimensions (see drawings)	Specimen Dimensions for Thickness, *T*, mm [in.][A]					Tolerances
	7 [0.28] or under		Over 7 to 14 [0.28 to 0.55], incl	4 [0.16] or under		
	Type I	Type II	Type III	Type IV[B]	Type V[C,D]	
W—Width of narrow section[E,F]	13 [0.50]	6 [0.25]	19 [0.75]	6 [0.25]	3.18 [0.125]	±0.5 [±0.02][B,C]
L—Length of narrow section	57 [2.25]	57 [2.25]	57 [2.25]	33 [1.30]	9.53 [0.375]	±0.5 [±0.02][C]
WO—Width overall, min[G]	19 [0.75]	19 [0.75]	29 [1.13]	19 [0.75]	...	+ 6.4 [+ 0.25]
WO—Width overall, min[G]	...	...	...	...	9.53 [0.375]	+ 3.18 [+ 0.125]
LO—Length overall, min[H]	165 [6.5]	183 [7.2]	246 [9.7]	115 [4.5]	63.5 [2.5]	no max [no max]
G—Gage length[I]	50 [2.00]	50 [2.00]	50 [2.00]	...	7.62 [0.300]	±0.25 [±0.010][C]
G—Gage length[I]	...	...	...	25 [1.00]	...	±0.13 [±0.005]
D—Distance between grips	115 [4.5]	135 [5.3]	115 [4.5]	65 [2.5][J]	25.4 [1.0]	±5 [±0.2]
R—Radius of fillet	76 [3.00]	76 [3.00]	76 [3.00]	14 [0.56]	12.7 [0.5]	±1 [±0.04][C]
RO—Outer radius (Type IV)	...	...	...	25 [1.00]	...	±1 [±0.04]

(NORMA ASTM D638)

7.2. PREPARACIÓN Y FABRICACIÓN DE LAS PROBETAS

7.2.1. EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LAS FIBRAS

Para la extracción de las fibras se realizó la recolecta de excremento bobino en una finca aledaña a Funza Cundinamarca, sobre la vía perimetral, llamada Almagro; en donde los bovinos se encontraban pastando al aire libre expuestos a lluvia y sol, este tipo de ganadería tradicional requiere varias extensiones de tierra por lo cual

se debió recorrer una distancia de alrededor de un 1 km hacia dentro para tomar las muestras cerca al potrero donde se encontraban los bovinos de manera que el excremento fuese fresco sin haber sido afectado por el sol. Este tipo de animales se desarrollan para la actividad de la ganadería por la línea lechera dadas las condiciones climáticas en la geográfica mencionada, en conversación con el propietario y trabajadores de la finca se logró recolectar datos como que el uso de suplementos alimenticios era bajo de una porción de libra por animal al día con concentrado y que la clasificación del pasto era tipo estrella con flor Carretón las cuales mejoraban el rendimiento y capacidad de leche obtenida por animal, como también mayor alza de estimulación en el celo de las vacas.

Una vez recolectado el excremento se dispuso a realizar un lavado cuidadoso para posteriormente mediante un prensado manual realizar la extracción de las fibras, este prensado manual se hacía mediante una tela porosa a la cual se le colocaba porciones excremento lavado y se comprimía realizando un torniquete sobre la tela de manera que a medida que se iba comprimiendo por la porosidad de la tela se liberaba el líquido del excremento obteniendo una bola compactada de solo fibra, este proceso se realizó en varias ocasiones hasta obtener alrededor de 2 kilos de fibras de excremento, una vez acumuladas todas estas fibras se empezó a descomprimir toda la fibra de manera que se pudiera exponer a un secado natural, para llevar un control sobre la pérdida de la humedad se tomó una muestra de fibras en un recipiente y durante 10 días, se tomaba el peso en una báscula de este recipiente para evaluar la cantidad de gramos que iba disminuyendo día a día, la muestra recién tomada tuvo un peso de 139 g y finalizó el día 10 con 124 g estos datos son ya después de eliminar el peso del recipiente, por cual para la muestra se tuvo una reducción en humedad de 15 g, lo cual representa porcentualmente un 10.8% de la muestra al igual que en todas la fibras extraídas pasando de 2 Kg a 1.8 Kg.

FIGURA 3: PROCESO DE EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE FIBRAS

EVIDENCIA DEL PROCESO	DESCRIPCIÓN DEL PROCESO	EVIDENCIA DEL PROCESO	DESCRIPCIÓN DEL PROCESO
	Las condiciones del excremento son condicones frescas, con un densidad normal en donde se evidencia alta composicion por fibras.		Se realizo un primer filtrado utilizando un colador convencional en cual se le realizo un primer lavado al excremento bobino.
	despues mediante el uso una tela se realiza un segundo lavado con agua y a la vez un prensado para retirar el liquido de las fibras.		Una vez comprimido el excremento se obtienen las fibras compactadas y con menor humedad.
	posteriormente se desmenuza las fibras compactadas de forma que se pueda reducir aun mas la cantidad de humedad.		se toma un muestra de las fibras y mediante una gramera se le realiza el seguimiento de su masa para evaluar el secado de la fibra.
	se inicia un secado natural de las fibras mediante el uso de radiacion solar y junto a la mezcla se evalua la perdida de humedad.		una vez secas las fibras se vuelven a desmenuzar para obtener filamentos homogeneos.

(FUENTE PROPIA)

7.2.2. FABRICACIÓN DE MOLDES

Partiendo de los requerimientos establecidos por la norma ASTM D638, la cual define las dimensiones estandarizadas de las probetas utilizadas en ensayos de tracción, se contemplaron dos alternativas para la fabricación de los moldes necesarios.

La primera opción consistió en la elaboración manual de los moldes utilizando tablas de madera. Para ello, se empleó una caladora con la que se dio forma de tipo "corbatín" a las piezas, siguiendo las dimensiones aproximadas establecidas en la normativa. Posteriormente, mediante un proceso de limado manual, se buscó alcanzar con mayor precisión las dimensiones finales requeridas. Aunque el resultado obtenido fue técnicamente aceptable y funcional, se descartó esta opción debido a la alta complejidad y al tiempo considerable que demandó el trabajo

manual, especialmente durante la etapa de limado, la cual dificultaba lograr uniformidad y precisión en los acabados.

Como segunda alternativa, se optó por el diseño digital de los moldes utilizando el software Fusion 360, un programa de diseño mecánico asistido por computadora (CAD). En el diseño se incorporaron tolerancias de 1 mm en cada una de las dimensiones, tal como se muestra en la figura 4. Una vez finalizado el modelado, se procedió a la fabricación de los moldes mediante impresión 3D, utilizando una impresora Fused Form 300, cuyas características técnicas son las siguientes:

- Volumen de impresión: 300 mm × 300 mm × 300 mm
- Modo de impresión: Continua, con sistema de alimentación automático de material.
- Tipo de material utilizado: PLA (ácido poliláctico)
- Velocidad de impresión: 50 mm/s
- Temperatura de la cama o base: 60 °C
- Temperatura de la boquilla: 225 °C
- Adhesivo de base: Laca para cabello (utilizada para mejorar la adherencia del material fundido a la cama).

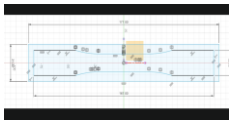
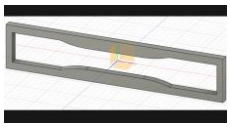
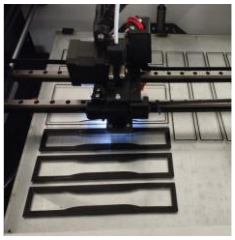
El proceso de impresión de cada molde tomó en promedio 40 minutos, considerando también la preparación previa de la impresora. Esta preparación incluye una nivelación adecuada entre la boquilla y la base, con el fin de asegurar un acoplamiento preciso del material fundido durante la deposición. Además, se aplica laca sobre la base como adhesivo temporal, lo que garantiza una buena adherencia durante la impresión y evita movimientos no deseados de la pieza, los cuales podrían comprometer la calidad y la uniformidad del producto final.

Una vez completada la impresión de todos los moldes, se procedió a recubrir sus superficies internas con cinta adhesiva transparente. Esta medida tuvo como objetivo facilitar la separación entre los moldes y la resina epóxica durante el proceso de colado, minimizando el riesgo de que las probetas se adhieran permanentemente al molde. Aunque las probetas posteriormente serían mecanizadas para garantizar precisión en las dimensiones, se buscó desde el inicio mantener la mayor uniformidad posible en su geometría.

Finalmente, se realizó el montaje de los moldes sobre tablas lisas, empleando plastilina como material de unión en toda la periferia externa de los moldes. Esto permitió asegurar la fijación del conjunto y evitar posibles fugas durante el vertido

de la resina. Cabe destacar que los moldes fueron diseñados con una base hueca (no sólida), lo cual facilita la extracción de las probetas una vez secas. Esta configuración también motivó el uso de elementos externos como base de apoyo (en este caso, tablas lisas), lo que ofreció mayor comodidad y control durante la manipulación del material y del proceso de curado.

FIGURA 4: PROCESO DE FABRICACIÓN DE MOLDES

EVIDENCIA DEL PROCESO	DESCRIPCIÓN DEL PROCESO	EVIDENCIA DEL PROCESO	DESCRIPCIÓN DEL PROCESO
	Se inicio generando un boceto teniendo en cuenta las dimensiones de las probetas dejando una tolerancia de 1mm al contorno.		Despues de tener claras las dimension con tolerancias se realiza el modelado en 3D para enviar a una impresora 3D
	el proceso de impresión se realizo en un equipo nacional F300 con iyeccion de PLA a velocidad xx con una temperatura en boquilla de 225 °C y una promedio en la base 90° C		Se realizaron 20 moldes para la cantidad total de probetas.

(FUENTE PROPIA)

7.2.3. FABRICACIÓN Y MECANIZADO DE PROBETAS

Inicialmente se realizó una limpieza a los moldes y se aplicó un recubrimiento con cinta transparente de manera que facilitara el desmolde de las probetas, una vez listos los moldes se utilizó una tabla de MDF con laminado acrílico el cual también generaría una rugosidad uniforme, para fijar los moldes a esta superficie se utilizó plastilina de soporte industrial sobre los bordes de manera que no existieran puntos de fuga al momento de vaciar la mezcla.

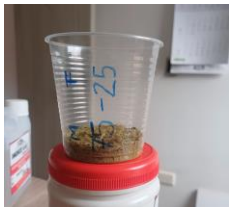
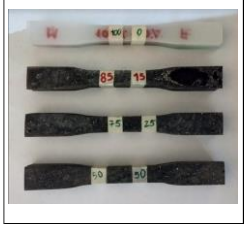
Para el desarrollo de la mezcla se tomaron en cuenta las especificaciones de preparación dadas por el fabricante el cual sugiere una relación de 2:1 entre resina y catalizador, una vez mezclados estos dos componentes por un periodo de tres minutos con una velocidad baja para evitar la formación de burbujas se vertió sobre el primer conjunto de probetas con relación porcentual de 100:0

posteriormente conservando la relación de 2:1 entre resina y catalizador se adicionó a esa mezcla la cantidad correspondiente de fibra lista para mezclar nuevamente durante 3 minutos obteniendo la mezcla para el segundo conjunto de probetas de relación porcentual 85:15, para garantizar la relación se verificó las cantidades tanto en unidades de volumen mediante recipiente con escala de mililitros (ml) y también por peso usando una báscula en unidades gramos (g), bajo el mismo procedimiento se desarrolló el tercer y cuarto grupo de probetas con su relaciones porcentuales 75:15 y 50:50 correspondientemente.

Para el secado se dispuso de un espacio de ambiente seco que No presentara temperaturas inferiores a los 8°C, ya que esto podría afectar la activación del catalizador y un secado inadecuado, antes de fabricar las probetas se habían realizado diferentes pruebas con la resina y se habían presentado inconvenientes en el secado ya que la resina epóxica requerida para este caso debía ser de aplicación industrial y no de misceláneos, lo cual presentó problemas con las primeros intentos de fabricación, por lo cual se considera importante mencionar esta condición para futuras prácticas; una vez se inclinó hacia el uso de resinas epóxicas industriales se dejó secando en un piso nivelado durante 48 horas.

Pasado este periodo de tiempo se sacaron las probetas del molde y se tomaron unas medidas iniciales para evaluar que tanto se debía mecanizar, dada la necesidad de mecanizar para llevar a las medidas que establece la norma ASTM D638. Se mecanizaron las 20 probetas obtenidas de manera manual con lijas de diferentes rugosidades de grado, iniciando con lijas 80 posteriormente 120 y finalizando con calibres de 320 y 400 para acabados, ya mecanizadas se agruparon por relación y se identificaron para posteriormente realizar los ensayos de tensión.

FIGURA 5: PROCESO DE FABRICACIÓN DE PROBETAS

EVIDENCIA DEL PROCESO	DESCRIPCIÓN DEL PROCESO	EVIDENCIA DEL PROCESO	DESCRIPCIÓN DEL PROCESO
	Se alistan los moldes y se agrupan en por la relacion porcentual		Se toman las porciones correspondientes tanto para la fibra como para la matriz según correspondan
	Se realiza la mezcla y se vacia sobre los moldes de manera homogenea		se dispone a un tiempo de secado de 24 horas
	se extraen las probetas de los moldes para una primera inspeccion visual		se mecaniza y se lleva a dimenciones la probeta de manera manual.
	una vez mecanizadas las probetas se agrupan por relacion porcentual.		

(FUENTE PROPIA)

7.3. ENSAYO DE TRACCIÓN

Una vez mecanizadas las probetas, se procedió a realizar el ensayo de tracción, una prueba mecánica que consiste en someter un material a una carga axial creciente hasta alcanzar su punto de rotura. Este procedimiento se llevó a cabo utilizando una Máquina de Ensayos Universales (Universal Testing Machine, UNT) en los laboratorios de la Facultad Tecnológica de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

Inicialmente, el laboratorista se encargó de medir y verificar las dimensiones de una de las probetas, con el fin de garantizar que cumpliera con las especificaciones

establecidas por la norma ASTM D638. Posteriormente, realizó los ajustes necesarios en la máquina, configurando parámetros como las dimensiones de la muestra y la velocidad de ensayo, la cual se fijó en 5 mm/min, de acuerdo con los requerimientos normativos mencionados.

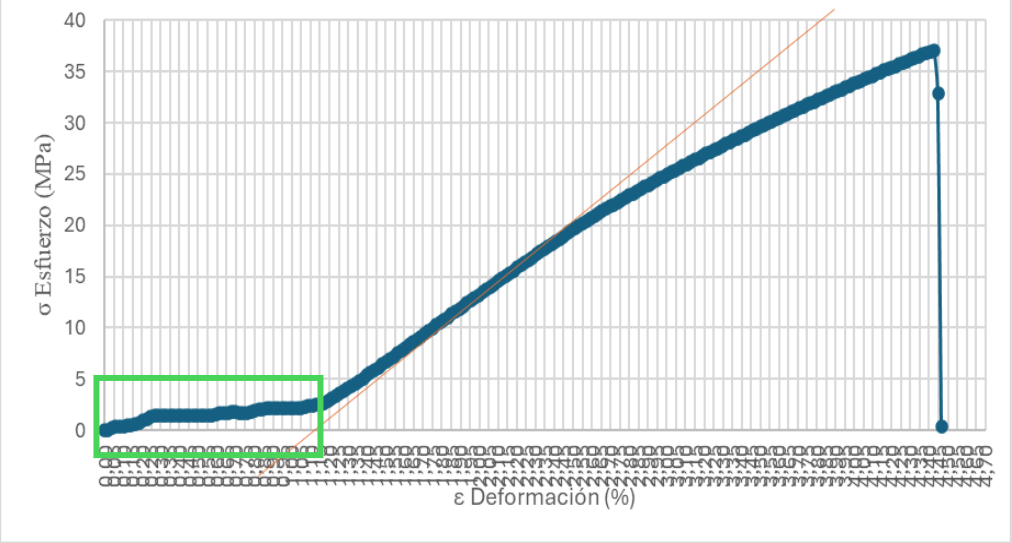
Después de configurar la máquina, se procedió al montaje de la probeta en la UNT. Para este proceso, se utilizó un extensómetro tipo pinza (clip-on), que permite medir de forma precisa la deformación axial del material durante el ensayo. Como paso adicional, el laboratorista ingresó manualmente el valor del área de la sección transversal de la probeta, información necesaria para que la máquina pueda calcular correctamente las propiedades mecánicas del material, tales como el esfuerzo y la deformación.

Con todos los parámetros debidamente configurados, se dio inicio a la prueba, que se ejecutó hasta que la probeta alcanzó su punto de rotura. Este mismo procedimiento se repitió de forma sistemática y bajo las mismas condiciones para cada una de las 20 probetas ensayadas, garantizando así la uniformidad y fiabilidad de los resultados obtenidos.

Como descripción del extensómetro tenemos lo siguiente: el modelo YYU-25/50 es un extensómetro de tipo clip-on, también conocido como de pinza. Este tipo de dispositivo se fija a la muestra de ensayo mediante clips o pinzas, lo que permite registrar la deformación del material sometido a tensión. El término "25/50" en su nombre sugiere que está diseñado para medir deformaciones en muestras con longitudes de medición de hasta 25 mm o 50 mm, dependiendo del requerimiento.

7.4. CORRECCIÓN DE GRÁFICOS

FIGURA 6: CORRECION DE GRAFICA.



(FUENTE PROPIA)

En la obtención de la gráfica esfuerzo-deformación, generada a partir de los datos experimentales y los cálculos realizados durante la prueba de tensión, se identifica una región específica que ha sido delimitada dentro de un rectángulo verde. Esta zona inicial de la gráfica requiere una corrección, ya que no refleja un comportamiento mecánico relevante del material evaluado.

Dicha sección corresponde al ajuste inicial de los extensómetros sobre la probeta, lo cual genera un desplazamiento sin que aún se haya aplicado una carga efectiva sobre el material. Como resultado, los datos registrados en ese tramo no representan el verdadero inicio de la deformación bajo carga.

Por esta razón, es necesario realizar una corrección a la gráfica. Esta se lleva a cabo proyectando una pendiente lineal (representada por una línea roja) en la parte más recta del tramo elástico de la curva. Esta pendiente permite establecer de forma más precisa el punto de inicio real de la carga, es decir, el momento en que el material comienza a experimentar esfuerzos significativos como respuesta a la fuerza aplicada.

Esta corrección es fundamental para garantizar que el análisis mecánico del material, como la determinación del módulo de elasticidad, el límite de proporcionalidad y otros parámetros relevantes, se base en datos fiables y representativos del comportamiento real del material bajo tensión.

7.5. FÓRMULAS GENERALES

- **Módulo de Young**

$$E = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\varepsilon_2 - \varepsilon_1} \quad (2)$$

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (3)$$

Donde E es el módulo de Young, σ el esfuerzo y ε la deformación

- **Resistencia a la tracción / esfuerzo**

$$\sigma = \frac{F_{max}}{A_0} \quad (4)$$

Donde σ es el esfuerzo, Fmax la fuerza máxima y A0 el área inicial

- **Deformación**

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \quad (5)$$

Donde ε es la deformación, ΔL es la resta entre la longitud inicial y la final; y L0 la longitud inicial

8. RESISTENCIA DE TRACCION POR CRUCE CON PROMEDIO Y DESVIACIÓN ESTANDAR

TABLA 4: RESISTENCIA DE TRACCION POR CRUCE CON PROMEDIO Y DESVIACIÓN ESTANDAR

Resistencia a la tracción (Mpa) Tensión de tracción (Mpa)				
100-0		PROMEDIO	DESVIACIÓN ESTANDAR	
1	43,165	36,620	42,834	7,708
2	22,016		213,262	
3	37,982		1,856	
4	37,076		0,208	
5	42,860		38,942	
Resistencia a la tracción (Mpa)/Tensión de tracción (Mpa)				
85-15		PROMEDIO	DESVIACIÓN ESTANDAR	
1	22,733	16,886	34,183	3,586
2	15,482		1,971	
3	17,298		0,169	
4	17,303		0,174	
5	11,614		27,789	
Resistencia a la tracción (Mpa)/Tensión de tracción (Mpa)				
75-25		PROMEDIO	DESVIACIÓN ESTANDAR	
1	19,864	18,597	1,606	1,321
2	20,450		3,434	
3	17,813		0,615	
4	17,018		2,492	
5	17,839		0,574	
Resistencia a la tracción (Mpa)/Tensión de tracción (Mpa)				
50-50		PROMEDIO	DESVIACIÓN ESTANDAR	
1	14,424	13,348	1,158	1,962
2	15,559		4,891	
3	13,049		0,089	
4	9,774		12,767	
5	13,931		0,341	

(FUENTE PROPIA)

9. ELONGACIÓN EN EL PUNTO DE FLUENCIA O ROTURA, O DEFORMACIÓN NOMINAL EN EL PUNTO DE ROTURA CON VALOR PROMEDIO Y DESVIACIÓN ESTÁNDAR.

TABLA 5: PORCENTAJE DE ELONGACIÓN EN EL PUNTO DE FLUENCIA O ROTURA, O DEFORMACIÓN NOMINAL EN EL PUNTO DE ROTURA CON VALOR PROMEDIO Y DESVIACIÓN ESTÁNDAR.

Elongación punto de rotura(%)					Deformación nominal en el punto de rotura (%)				
100-0		PROMEDIO	DESVIACIÓN ESTANDAR		100-0		PROMEDIO	DESVIACIÓN ESTANDAR	
1	3,560	4,187	0,394	1,204	1	3,211	3,421	0,044	1,087
2	2,409		3,163		2	1,821		2,561	
3	4,467		0,078		3	3,687		0,071	
4	4,427		0,057		4	3,184		0,056	
5	6,073		3,557		5	5,203		3,176	
Elongación punto de rotura(%)					Deformación nominal en el punto de rotura (%)				
85-15		PROMEDIO	DESVIACIÓN ESTANDAR		85-15		PROMEDIO	DESVIACIÓN ESTANDAR	
1	2,808	2,451	0,127	0,339	1	2,441	1,443	0,995	0,574
2	2,223		0,052		2	1,082		0,130	
3	2,429		0,000		3	1,286		0,025	
4	2,840		0,151		4	1,642		0,039	
5	1,956		0,245		5	0,766		0,459	
Elongación punto de rotura(%)					Deformación nominal en el punto de rotura (%)				
75-25		PROMEDIO	DESVIACIÓN ESTANDAR		75-25		PROMEDIO	DESVIACIÓN ESTANDAR	
1	1,908	2,630	0,521	0,390	1	1,524	1,803	0,078	0,440
2	2,985		0,127		2	2,420		0,381	
3	2,573		0,003		3	1,278		0,276	
4	2,738		0,012		4	2,225		0,178	
5	2,944		0,099		5	1,568		0,055	
Elongación punto de rotura(%)					Deformación nominal en el punto de rotura (%)				
50-50		PROMEDIO	DESVIACIÓN ESTANDAR		50-50		PROMEDIO	DESVIACIÓN ESTANDAR	
1	1,597	2,283	0,471	0,377	1	1,193	0,977	0,047	0,206
2	2,615		0,110		2	1,167		0,036	
3	2,490		0,043		3	0,920		0,003	
4	2,161		0,015		4	0,621		0,126	
5	2,552		0,073		5	0,982		0,000	

(FUENTE PROPIA)

10. MÓDULO DE ELASTICIDAD O MÓDULO SECANTE, VALOR PROMEDIO Y DESVIACIÓN ESTÁNDAR

TABLA 6: MÓDULO DE ELASTICIDAD CON VALOR PROMEDIO Y DESVIACIÓN ESTÁNDAR.

Módulo elástico (Mpa)				
100-0		PROMEDIO	DESVIACIÓN ESTANDAR	
1	13,283	10,168	9,702	2,415
2	11,016		0,718	
3	9,866		0,091	
4	10,783		0,378	
5	5,893		18,278	
Módulo elástico (Mpa)				
85-15		PROMEDIO	DESVIACIÓN ESTANDAR	
1	9,169	10,720	2,407	1,246
2	11,931		1,465	
3	11,503		0,612	
4	9,238		2,197	
5	11,761		1,084	
Módulo elástico (Mpa)				
75-25		PROMEDIO	DESVIACIÓN ESTANDAR	
1	12,742	9,908	8,029	2,066
2	8,071		3,376	
3	11,686		3,162	
4	7,310		6,752	
5	9,732		0,031	
Módulo elástico (Mpa)				
50-50		PROMEDIO	DESVIACIÓN ESTANDAR	
1	11,731	10,930	0,642	0,419
2	10,786		0,021	
3	10,540		0,153	
4	10,680		0,063	
5	10,915		0,000	

(FUENTE PROPIA)

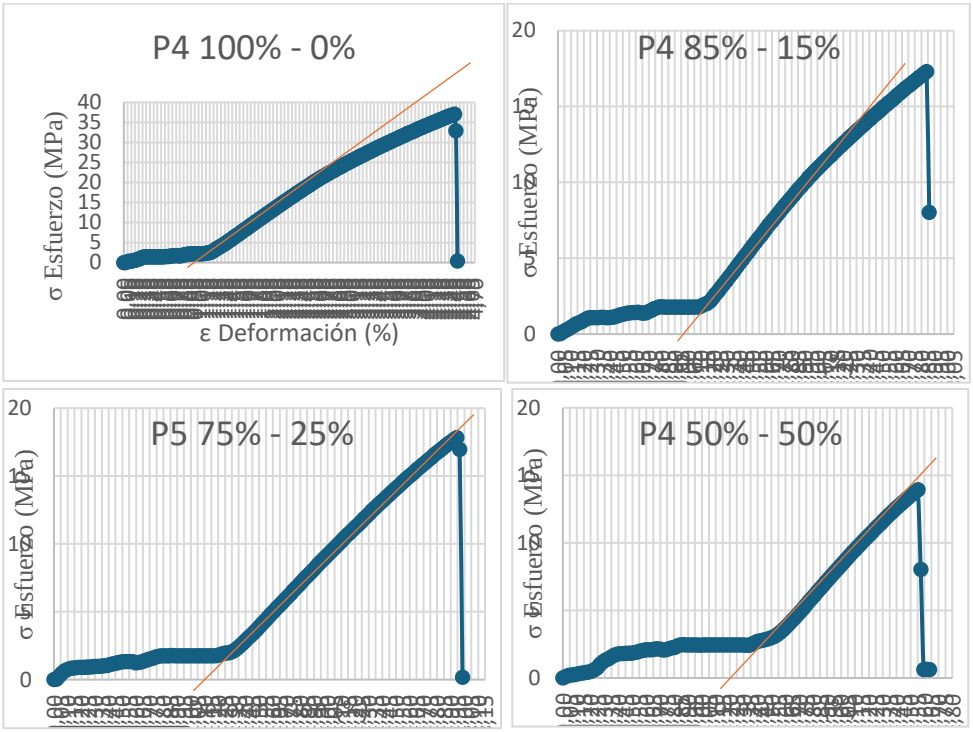
11. ANÁLISIS DE DATOS

Se observa una disminución significativa en la resistencia del material compuesto con una proporción 85:15, presentando aproximadamente un 50% menos resistencia en comparación con la probeta 100:0. Así mismo, al compararlo con el cruce final, la resistencia disminuye en un 67%.

De manera similar, se mantienen proporciones comparables en la reducción de otras propiedades mecánicas, como la elongación y la deformación en el punto de ruptura. No obstante, el módulo elástico muestra una variación mucho menor, lo cual es comprensible, ya que este parámetro representa la relación entre el esfuerzo aplicado y la deformación producida, y puede no verse afectado en la misma magnitud.

Con base en estos resultados, se concluye que la fibra utilizada no es viable como material de refuerzo estructural, debido a la considerable pérdida de propiedades mecánicas que presenta. Sin embargo, su aplicación no debe descartarse por completo. Dadas sus características, la fibra podría resultar útil en el diseño de estructuras o piezas fabricadas en resina que requieran puntos de quiebre controlados o zonas programadas de fallo, lo cual puede ser deseable en ciertas aplicaciones de ingeniería y diseño industrial.

FIGURA 7: GRAFICAS DE ESFUERZO – DEFORMACION POR CRUCE.



(FUENTE PROPIA)

Se puede observar que, en el caso de la probeta 1, se produce una mayor elongación durante el ensayo, lo cual indica una mayor capacidad de deformación antes del fallo. A medida que se incrementa la participación de fibras en el material compuesto, se nota un aumento progresivo en la pendiente de la curva esfuerzo-deformación, sin embargo, al comparar las dos últimas probetas, se evidencia que ambas presentan pendientes muy similares, lo que indica que su módulo elástico es prácticamente equivalente. No obstante, la última probeta muestra una curva más corta, lo que significa que su capacidad de elongación total es menor. Es decir, aunque ambas poseen una rigidez comparable, la probeta final presenta una menor ductilidad, lo cual puede atribuirse a una mayor concentración de fibras que, si bien aumentan la rigidez, también hacen que el material se vuelva más frágil y propenso al quiebre prematuro.

Este análisis permite comprender mejor cómo la cantidad y disposición de las fibras en el compuesto influye tanto en la resistencia como en la ductilidad del material, elementos clave para su selección en aplicaciones específicas.

12. COSTOS Y PROPIEDADES DE LAS FIBRAS DE EXCREMENTO BOVINO, FRENTE A OTROS TIPOS DE FIBRAS DE REFUERZO

Contrastando todo el estudio mostrado en este documento, se realizó un análisis comparativo entre algunas de las fibras más comercializadas en el mercado, tanto sintéticas como naturales. La selección de fibras se centró en aquellas que se consideran alternativas viables para comparar con la fibra de excremento bovino. Las fibras elegidas para la comparación son: fibra de carbono, fibra de vidrio, lana de roca y fibra de coco.

Para realizar una comparación precisa y actualizada de los costos, se llevó a cabo la búsqueda de estos utilizando herramientas de inteligencia artificial, como Google Gemini, Windows Cortana, GPT y Copilot. Estas plataformas proporcionaron información precisa sobre los costos promedio por kilogramo de cada tipo de fibra. A partir de los valores obtenidos, se estableció un valor promedio aproximado, redondeado a múltiplos de 500 COP, lo cual permitió una comparación justa entre las distintas fibras sin entrar en detalles de fluctuaciones menores.

Sin embargo, el costo no fue el único factor considerado en esta comparación. Las propiedades técnicas de cada fibra también juegan un papel crucial en su selección, ya que diferentes aplicaciones requieren diferentes características, como resistencia a la tracción, durabilidad, flexibilidad y resistencia a condiciones extremas. Es esencial considerar estos aspectos para asegurar que el material elegido no solo sea económico, sino también adecuado para el propósito específico, por lo cual a continuación se dan algunas de sus características.

- FIBRA DE CARBONO

La fibra de carbono es uno de los materiales más avanzados y costosos en el mercado debido a su excepcional resistencia y ligereza. Es ampliamente utilizada en la fabricación de componentes para la industria aeroespacial, automotriz y deportiva debido a su alta resistencia a la tracción y su capacidad para soportar cargas pesadas sin deformarse

- FIBRA DE VIDRIO

La fibra de vidrio es otro material ampliamente utilizado, conocido por su bajo costo, versatilidad y resistencia. Se emplea en diversas industrias, desde la construcción hasta la fabricación de embarcaciones y vehículos.

- LANA DE ROCA

La lana de roca es una fibra mineral utilizada principalmente en aplicaciones de aislamiento térmico y acústico, pero también se ha explorado como material de refuerzo en ciertas composiciones compuestas.

- FIBRA DE COCO

La fibra de coco, también conocida como coir, es una fibra natural extraída de la cáscara del coco. Aunque no es tan conocida como las fibras sintéticas, ha ganado popularidad por su bajo impacto ambiental y sus propiedades únicas.

Como conclusión a todas las descripciones realizadas anteriormente, se puede definir que es crucial que, al seleccionar un material de refuerzo, no solo se tenga en cuenta el costo, sino también sus propiedades mecánicas, térmicas y acústicas, según las necesidades específicas del proyecto. Además, factores como la disponibilidad del material, el impacto ambiental y la facilidad de fabricación también deben jugar un papel importante en la decisión final.

Por ejemplo, en aplicaciones de alta resistencia y ligereza, la fibra de carbono es la opción preferida, aunque a un costo elevado. En contraste, para aplicaciones de bajo costo y alta durabilidad, la fibra de vidrio o la lana de roca pueden ser más apropiadas. Por otro lado, la fibra de coco puede ser la opción más atractiva para proyectos que busquen sostenibilidad y respeto por el medio ambiente, a pesar de que su resistencia mecánica es menor en comparación con las opciones sintéticas.

En resumen, la elección de la fibra de refuerzo más adecuada dependerá de un análisis balanceado entre el costo y las propiedades técnicas que mejor se adapten a las especificaciones del proyecto. Esto se puede ver de manera comparativa y resumida en la tabla 7.

TABLA 7: COMPARACIÓN DE COSTOS PARA PLACA DE RESINA

COMPRACION DE COSTOS PARA PLACA DE RESINA DE 25cm X 25 cm X 1.5 cm										
PROPORCION EN VOLUMEN			cm3	937,5	L	0,9375	Ml	937,5	Gal.U.S	0,247688243
MATRIZ			RESINA EPOXICA		CANTIDAD	1 Kg	COSTO COP		$	160.000
FIBRAS DE REFUERZO	CANTIDAD	COSTO COP	PRINCIPALES VENTAJAS		PRINCIPALES DESVENTAJAS		APLICACIONES		RELACION	COSTO TOTALCOP
FIBRA DE EXCREMENTO BOVINO	0.5 Kg	$ 1.500	* Disminuye la cantidad de resina requerida * Buena disponibilidad * Material amigable con el ambiente * Compatible con la resina epoxica		*Debilita la matriz de resina en tensión		fabricación de placas para limitacion de espacios rurales		2:1	$ 161.500
FIBRA DE CARBONO	0.5 Kg	$ 560.000	*Mejora la resistencia a la tension *Compatible con la resina epoxica		* Costos elevados * Material contaminante para el medio ambiente		fabricación de piezas resistentes a tension y flexion en equipacion deportiva		2:1	$ 720.000
FIBRA DE VIDRIO	0.5 Kg	$ 210.000	*Mejora la resistencia a la tension *Compatible con la resina epoxica		* Costos elevados * Material contaminante para el medio ambiente		reparación y fabricación de piezas en la industria automotriz		2:1	$ 370.000
FIBRA LANA DE ROCA	0.5 Kg	$ 93.500	* Compatible con la resina epoxica * mejora de manera leve la resistencia termica.		* Afecta de gran manera las propiedades termicas de la lana de roca. * Material contaminante para el medio ambiente		recubrimiento para pequeños equipos electrónicos como disipador de calor		2:1	$ 253.500
FIBRA DE COCO	0.5 Kg	$ 4.500	*materia amigable con el medioambiente		* La fibra de coco conserva humedad aceitosa y hace que No sea compatible con la resina.		NINGUNA		2:1	$ 164.500

(FUENTE PROPIA)

13. CONCLUSIONES

Cerrando el proceso de investigación y práctica de la evaluación de fibras de excremento de bovino como material de refuerzo se encuentran aspectos tanto negativos como positivos, en el caso de resultados no favorables se obtuvo que la fibra de excremento bovino no mejora las propiedades de resistencia a la tensión en la resina y que por el contrario la debilita para este tipo de pruebas.

Sin embargo retomando el objetivo y la justificación de este estudio se ven resultados favorables en función de adaptabilidad entre materiales, ya que éstos son compatibles y tienen beneficios en cuanto la posibilidad de disminuir el consumo de resina con estas fibras, haciendo el material mas liviano y aplicable para diferentes tareas. En conjunto con esto también se determina que al generar una aplicación para el excremento de bovino se reduce la contaminación generada por los gases de metano y que durante este proceso residuos como el líquido extraído en la compactación se puede utilizar con fertilizante de plantas.

Aunque la fabricación de probetas para la investigación se realizó de manera manual, se podrían añadir equipos como biodigestores, los cuales aumentarían el provecho de los gases del estiércol.

El proyecto apunta a que esta mezcla también se pueda hacer con matrices mas ecológicas que las resinas para seguir aportando al medio ambiente, dado su lugar de origen como los campos aleñados a las ciudades y los pequeños y medianos hatos ganaderos se puede generar aplicaciones directas en estos espacios fabricando placas para limitar espacios como cobertizos, corralejas y cuartos de almacenamiento para las actividades campesinas tradicionales, partiendo de que socioeconómicamente, estos trabajos no son bien recompensados, se debe considerar construcciones de utilidad a bajos costos, llegar al punto de generar materiales de fácil y económica fabricación.

Una demostración visual para esta aplicación es remplazar los tablones sintéticos de pesebreras como la que se muestra en la figura 9 por placas elaboradas con este compuesto.

FIGURA 8: ESTRUCTURA DE PESEBRERA PARA APLICACIÓN



(AGROMUNDO)

14. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

-Patricia Luna, Juan M. Lizarazo-Marriaga (2022) Fibras naturales como refuerzo en materiales compuestos de matriz polimérica, Universidad nacional

-Juárez Alvarado, César Antonio y Rodríguez López, Patricia y Rivera Villarreal, Raymundo y Rechy de Von Roth, María de los Ángeles (2004) Uso de fibras naturales de lechuguilla como refuerzo en concreto. Universidad autónoma de nuevo león

-Camilo Andrés Méndez Pirazan, (2019), evaluación del estado actual de la gestión del estiércol del ganado bovino en Colombia, universidad de Ibagué.

-AGROMUNDO, https://www.agromundo.co/blog/pesebreras-portatiles-ecologicas/

- NORMA ASTM D638

-Oswaldo Pastrán Beltrán (2013) Guía para el análisis y solución de problemas de resistencia de materiales, Universidad Distrital Francisco José de Caldas-Editorial espacios