	<b>UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA</b>			
	Documento	Código	Fecha	Revisión
	FORMATO HOJA DE RESUMEN PARA TRABAJO DE GRADO	F-AC-DBL-007	08-07-2021	B
Dependencia	Aprobado		Pág.	
DIVISIÓN DE BIBLIOTECA	SUBDIRECTOR ACADEMICO		1(83)	

## RESUMEN – TRABAJO DE GRADO

<b>AUTORES</b>	Jose Miguel Lázaro Arévalo Luis Sebastian Pino Ferez		
<b>FACULTAD</b>	Facultad de Ingenierías		
<b>PLAN DE ESTUDIOS</b>	Ingeniería Civil		
<b>DIRECTOR</b>	Ing. Carolina Abril Carrascal		
<b>TÍTULO DE LA TESIS</b>	Desarrollo de un material alternativo para la elaboración de muros divisorios utilizando un compuesto a base de resina de melamina-urea-formaldehído y cascarilla de café o bagazo de caña		
<b>TITULO EN INGLES</b>	Development of an alternative material for the elaboration of dividing walls using a compound based on melamine-urea-formaldehyde resin and coffee husk or cane bagasse		
<b>RESUMEN</b> (70 palabras)			
Se muestra el desarrollo de un material alternativo al tradicional drywall. Para esto se planteó un diseño metodológico, un análisis bibliográfico y la evaluación de las propiedades físicas y mecánicas. Los resultados del proyecto fueron satisfactorios ya que las pruebas dieron como resultado que el material planteado tiene potencial para sustituir a los materiales clásicos elaborados en yeso.			
<b>RESUMEN EN INGLES</b>			
The development of an alternative material to traditional drywall is shown. For this, a methodological design, a bibliographical analysis and the evaluation of the physical and mechanical properties were proposed. The results of the project were satisfactory since the tests showed that the proposed material has the potential to replace the classic materials made of plaster.			
<b>PALABRAS CLAVES</b>	Material compuesto, Muros divisorios, Fibras naturales, resina MUF, Propiedades físicas y mecánicas		
<b>PALABRAS CLAVES EN INGLES</b>	Composite material, Partition walls, Natural fibers, MUF resin, Physical and mechanical properties		
<b>CARACTERÍSTICAS</b>			
PÁGINAS: 83	PLANOS: 09	ILUSTRACIONES: 34	CD-ROM:



**Desarrollo de un material alternativo para la elaboración de muros divisorios utilizando un compuesto a base de resina de melamina-urea-formaldehído y cascarilla de café o bagazo de caña**

**Jose Miguel Lázaro Arévalo**

**Luis Sebastian Pino Ferez**

**Facultad de Ingenierías, Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña**

**Ingeniería Civil**

**Ing. Carolina Abril Carrascal**

**24 de agosto de 2022**

### **Agradecimientos**

Queremos agradecer a Dios por darnos la fuerza y la confianza para creer en nuestro sueño y luchar para lograrlo. Queremos gritar los agradecimientos a nuestra familia y a todos nuestros amigos porque nunca dudaron de nuestras habilidades e hicieron posible lograr este gran objetivo.

A la UNIVERDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA, al laboratorio de RESISTENCIA DE MATERIALES y al laboratorio SUELOS Y CONCRETOS S.A.S por brindarnos el apoyo y los equipos para ejecutar el trabajo de grado.

## Índice

<b>Capítulo 1. Desarrollo de un material alternativo para la elaboración de muros divisorios utilizando un compuesto a base de resina de melamina-urea-formaldehído y cascarilla de café o bagazo de Ocaña. ....</b>	<b>8</b>
1.1 Planteamiento del problema .....	9
1.2 Formulación del problema .....	11
1.3 Objetivos .....	11
1.3.1. Objetivo General.....	11
1.3.2. Objetivos Específicos .....	11
1.4 Justificación.....	12
1.5 Delimitaciones.....	14
1.5.1 Geográfica .....	14
1.5.2 Operativa .....	14
1.5.3 Temporal.....	14
1.5.4 Metodología.....	15
<b>Capítulo 2. Marco Referencial .....</b>	<b>16</b>
2.1 Marco Histórico.....	16
2.2 Marco Teórico.....	17
2.3 Marco conceptual .....	21
2.3.1 Material Compuesto (CM).....	22
2.3.2.1 Clasificación de los materiales compuestos según el tipo de matriz. ....	23
2.3.1.1.1 Compuestos de Matriz Polimérica (CMP)..	23
2.3.1.1.2 Compuestos de Matriz Metálica (CMM). ....	24
2.3.1.1.3 Compuestos de Matriz Cerámica (CMC).....	24
2.3.2 Melanina-urea- formaldehido (MUF).....	24
2.3.3 Resinas mixtas de melamina.....	25
2.3.4 Bagazo de caña de azúcar.....	26
2.3.5 Cascarilla de café.....	26
2.4 Marco legal.....	27
<b>Capítulo 3. Metodología .....</b>	<b>29</b>

	4
3.1 Tipo de investigación .....	29
3.2 Población y muestra .....	29
3.3 Fases del proyecto .....	29
<b>Capítulo 4. Resultados .....</b>	<b>32</b>
4.1 Revisión bibliográfica .....	32
4.2 Desarrollo del material compuesto.....	41
4.3 Evaluación de propiedades físicas y mecánicas .....	45
4.3.1 Propiedades físicas .....	45
4.3.1.1 Densidad .....	45
4.3.1.2 Absorción de agua.....	48
4.3.1.3 Absorción de calor .....	49
4.3.2 Evaluación de propiedades mecánicas. ....	52
4.3.2.1 Ensayo de tensión paralela a la fibra.....	52
4.3.3 Ensayo de compresión.....	65
4.3.4 Ensayo de flexión a tres puntos.....	67
4.4 Descripción del proceso constructivo. ....	69
4.5 Ventajas ambientales y costos.....	71
<b>Conclusiones.....</b>	<b>74</b>
<b>Recomendaciones.....</b>	<b>76</b>
<b>Referencias .....</b>	<b>77</b>
<b>Apéndices .....</b>	<b>81</b>

## Lista de tablas

Tabla 1 Datos de absorción de agua .....	36
Tabla 2 Datos de resistencia a la flexión .....	37
Tabla 3 Datos de prueba de absorción de calor .....	50
Tabla 4 Información de la probeta, relación 10-90.....	53
Tabla 5 Información de la probeta, relación 15-85.....	55
Tabla 6. Información de la probeta, relación 20-80.....	56
Tabla 7 Información de la probeta, relación 10-90.....	59
Tabla 8 Información de la probeta, relación 15-85.....	61
Tabla 9 Información de la probeta, relación 20-80.....	63

## Lista de figuras

Figura 1. Componentes de los materiales compuestos .....	19
Figura 2. Documentos publicados por año .....	33
Figura 3. Documentos publicados por tipo de publicación.....	33
Figura 4. Documentos publicados por área de investigación .....	34
Figura 5. Tratamiento de la fibra natural con Hidróxido de Sodio .....	41
Figura 6. Lavado de las muestras.....	42
Figura 7. Secado y molienda.....	42
Figura 8. Relación de resina – fibra natural.....	43
Figura 9. Proceso de curado aplicando calor y presión .....	44
Figura 10. Lámina de resina y cascarilla de café (izq), lámina de resina y bagazo de caña (der). .....	44
Figura 11. Probetas de a) café 10-90 b) café 15-85 c) café 20-80 d) caña 10-90 e) caña 15-85 f) caña 20-80.....	46
Figura 12. Densidades de las muestras de resina y bagazo de caña y la lámina de drywall.....	47
Figura 13. Densidades de las muestras de resina y cascarilla de café y la lámina de drywall....	47
Figura 14. Porcentaje de absorción de agua de las muestras de resina-cascarilla de café, resina-bagazo de caña y la lámina de drywall. ....	48
Figura 15. Prueba de absorción de calor para las muestras de resina-cascarilla de café .....	51
Figura 16. Prueba de absorción de calor para las muestras de resina-bagazo de caña. ....	51
Figura 17. Gráfica de esfuerzo contra porcentaje de deformación, probeta resina- cascarilla de café proporción 10-90.....	53

Figura 18. Gráfica de la app curve fitting de Matlab, probeta resina - cascarilla de café proporción 10-90 .....	54
Figura 19. Gráfica de esfuerzo contra porcentaje de deformación, probeta resina- cascarilla de café proporción 15-85 .....	55
Figura 20. Gráfica de la app curve fitting de Matlab, probeta resina - cascarilla de café proporción 15-85 .....	56
Figura 21. Gráfica de esfuerzo contra porcentaje de deformación, probeta resina- cascarilla de café proporción 20-80. ....	57
Figura 22. Gráfica de la app curve fitting de Matlab, probeta resina - cascarilla de café proporción 20-80. ....	58
Figura 23. Gráfica comparativa de módulos de elasticidad de las probetas resina- cascarilla de café en diferentes proporciones .....	59
Figura 24. Gráfica de fuerza contra tiempo, probeta resina-bagazo de caña proporción 10-90. .	60
Figura 25. Gráfica de la app curve fitting de Matlab, probeta resina - bagazo de caña proporción 10-90. ....	61
Figura 26. Gráfica de fuerza contra tiempo, probeta resina-bagazo de caña proporción 15-85. .	62
Figura 27. Gráfica de la app curve fitting de Matlab, probeta resina - bagazo de caña proporción 15-85. ....	62
Figura 28. Gráfica de fuerza contra tiempo, probeta resina-bagazo de caña proporción 15-85. .	63
Figura 29. Gráfica de la app curve fitting de Matlab, probeta resina - bagazo de caña proporción 20-80. ....	64
Figura 30. Gráfica comparativa de módulos de elasticidad de las probetas resina- bagazo de caña en diferentes proporciones .....	65



Figura 31. Gráfica comparativa de esfuerzo de compresión de la probeta de resina-cascarilla de café.....	66
Figura 32. Gráfica comparativa de esfuerzo de compresión de la probeta de resina-bagazo de caña .....	67
Figura 33. Gráfica comparativa de la tensión de flexión frente a la deformación de resina y cascarilla de café.....	68
Figura 34. Gráfica comparativa de la tensión de flexión frente a la deformación de resina y cascarilla de café.....	69

# **Capítulo 1. Desarrollo de un material alternativo para la elaboración de muros divisorios utilizando un compuesto a base de resina de melamina-urea-formaldehído y cascarilla de café o bagazo de caña.**

## **1.1 Planteamiento del problema**

En todo el mundo se hacen esfuerzos para elaborar productos amigables con el ambiente, es por ello que varias organizaciones se preocupan por mostrar un desempeño ambientalmente correcto, es decir, controlar el impacto de sus actividades productivas desde el inicio de su ciclo hasta el final del mismo, incluyendo la descomposición de sus productos y la disposición final de residuos, involucrando el uso de tecnologías ambientalmente sustentables.

En Colombia hay un producto de la agroindustria que genera muchos residuos y constantemente busca oportunidades para su aprovechamiento. La producción de caña de azúcar tiene consigo mucho desarrollo tecnológico; en los departamentos del Cauca y el Valle del Cauca se concentran la mayor parte de estos cultivos con 223.905 hectáreas sembradas y hay otras siembras diseminadas por todo el país. (Ramos Gómez, 2005)

En el departamento de Norte de Santander hay 6000 hectáreas cultivadas de caña de azúcar, específicamente en el municipio de Convención, donde se presenta la mayor parte de esta producción; además ésta se extiende por toda la provincia, que incluye los municipios de Ocaña, Ábrego, Teorama, La Playa de Belén entre otros. (Radio nacional de Colombia [RTVC], 2020)

Por otra parte, el cultivo de café se presenta como el producto insignia de Colombia con 931.746 hectáreas cultivadas, según datos de la Federación Nacional de Cafeteros. En Huila,

Cauca y Nariño se concentran la mitad de los cafeteros del país, no obstante, en Norte de Santander el cultivo de café es uno de los productos que mueven la economía a en la subregión del Catatumbo con 32 mil hectáreas cultivadas. (La república, 2019)

A pesar de la abundancia del cultivo de café y caña de azúcar, existen unas limitaciones que se concentran en la generación de desechos, como el bagazo de caña y la cascarilla del café. Se estima que a nivel mundial se generan alrededor de 54 millones de toneladas secas de bagazo de caña, Así mismo según datos de la Federación Nacional de Cafeteros se produjeron alrededor de 810 toneladas en 2018, de lo cual el 44 % del peso equivale a la cascarilla, residuo que se obtiene por vía húmeda para extraer el grano de café. (Rathinavelu & Graziosi, 2005)

En estos procesos se obtienen altas cantidades de residuos tanto de caña como de café, en el caso de la caña, el bagazo se seca y se utiliza como combustible en los trapiches y también se usa de forma industrial como materia prima para la obtención de celulosa en la producción de papel (Aguilar Rivera, 2011). Para el caso de la cáscara de café, este subproducto se utiliza más que todo en la elaboración de abonos y como combustible en los silos de secado de café (Quecafé.info, 2020) Sin embargo, uno de los problemas que producen estos desechos es que pueden llegar a ser contaminantes si se dispone en sitios inadecuados, como cerca a fuentes agua superficial o de suelos.

Otra industria que genera una gran cantidad de residuos, que pueden llegar a ser un problema ambiental, debido a la disposición final de estos, es la industria de la construcción. Colombia está generando cada vez más residuos, entre estos se encuentran los paneles de yeso,

los cuales son conocidos por ser materiales de construcción prácticos y livianos utilizados para divisiones interiores (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2021). Este tipo de material tiene consecuencias ambientales negativas si se hace una mala disposición final de estos (Construdata, 2014).

Muchas veces los residuos de yeso se mezclan con otros que hacen que éste pase de ser un residuo de carácter especial a uno de tipo peligroso. Por otro lado, cuando el material se dispone en sitios adecuados y autorizados, existe otra situación y es que los residuos de los paneles de yeso no son compactables, por lo que ocupan más espacio y en consecuencia requieren de grandes extensiones de tierra para poder terminar su ciclo de vida.

## **1.2 Formulación del problema**

¿Cómo se pueden aprovechar los residuos de los cultivos de café y caña de azúcar para reemplazar los paneles de yeso utilizados en la construcción de muros divisorios?

## **1.3 Objetivos**

### ***1.3.1. Objetivo General***

Caracterizar un material alternativo para la elaboración de muros divisorios utilizando un compuesto a base resina de melamina-urea-formaldehído y cascarilla de café o bagazo de caña.

### ***1.3.2. Objetivos Específicos***

Analizar las características físicas y mecánicas de los paneles utilizados en la construcción de muros divisorios a través de una investigación bibliográfica.

Desarrollar probetas de un material compuesto que contenga bagazo de caña o cascarilla de café en diferentes proporciones para su posterior evaluación.

Evaluar las propiedades físicas y mecánicas de los muros divisorios desarrollados mediante la aplicación de pruebas de resistencia a la compresión y pruebas de flexión de tres puntos siguiendo la norma ASTM-D790

#### **1.4 Justificación**

Las resinas base de melamina-urea-formaldehído (M-U-F) se obtienen por reacción entre la melamina (M), la urea (U) y el formaldehído (F) y se emplean principalmente como adhesivos en la fabricación de paneles de madera conglomerada, son también usadas como componentes de moldeo y como componentes húmedos que otorgan resistencia al papel. Esta característica de la M-U-F es la que se quiere aprovechar, mediante su uso en la generación de paneles compuestos, a base de fibras orgánicas como lo son los residuos de la caña y el café.

Por otro lado, el yeso es un tipo de materia prima de construcción ligera que empezó a utilizarse en Colombia en el siglo pasado, a partir de la década de 1980. (Gómez Ángel & Arciniegas Bermúdez, 2017). En el pasado, sólo se utilizaban materiales pesados como el ladrillo, el cemento y las baldosas para todas las construcciones porque daban sensación de resistencia y durabilidad (Construdata, 2014). Desde que se comenzó a usar el panel de yeso, ha habido un desconocimiento sobre el uso y disposición final de este material. En contraste con Colombia, hay países que lo utilizan desde hace mucho más tiempo, como Estados Unidos, que

lo hace desde 1916. (Construdata, 2014), por ello, cuentan con una mayor experiencia en el uso de materiales y sistemas constructivos modulares como el sistema de placas de yeso, que en el momento de la demolición permite la deconstrucción de viviendas y edificios, es decir, es posible separar los materiales de construcción para llevarlos a procesos de aprovechamiento y reutilización óptimos (Jiménez-Rivero & García-Navarro, 2018).

Además de los paneles de yeso, en la actualidad existen más opciones de paneles de diferentes materiales como los de poliestireno expandido, conocido comercialmente como Icopor. En este tipo de paneles es necesario, una vez instalado el muro, colocar un recubrimiento base cemento-arena para protección y poder dar el acabado final deseado. También se encuentran los aglomerados de madera, los cuales son muy utilizados y permiten definir una base sólida y rígida. Por otro lado los paneles de fibrocemento, por su fabricación a base de cemento, ofrece una resistencia y solidez para aplicaciones en interiores y exteriores en las que se requiere resistencia a la humedad o el agua, los paneles de poliestireno extruido, están diseñados para que al momento de recubrir los muros formen una barrera aislante de temperatura y acústica para las construcciones, tienen la ventaja de ser resistentes a la humedad y al vapor, una vez montada la placa también es necesario recubrir con una base de cemento y arena para garantizar su protección y poder dar el acabado final deseado (Niasamx, 2018).

De acuerdo con el problema de la investigación, las alternativas de aprovechamiento de los materiales de desecho a base de fibras naturales como el bagazo de caña de azúcar o la cascarilla de café, serviría como solución para reducir la generación de desechos de placas de yeso en los vertederos, ya que además de ocupar espacio, genera graves impactos en el medio

ambiente al entrar en contacto con la humedad o con los residuos orgánicos porque genera gases, que al ser emitidos a la atmósfera, además de contribuir al calentamiento global, pueden entrar en el recurso hídrico a través de las lluvias (Geraldo et al., 2017b; Hooper et al., 2010; Kang, Chang, & Kim, 2018a; Sierra, 2017).

## **1.5 Delimitaciones**

A continuación, se presentan las delimitaciones en las cuales se encuentra el proyecto.

### ***1.5.1 Geográfica***

Este proyecto se implementará en la Universidad Francisco De Paula Santander seccional Ocaña ubicada en Ocaña, Norte de Santander.

### ***1.5.2 Operativa***

Para el diseño de este proyecto se contará con la ayuda y asesoría de la Ingeniera de Materiales Carolina Abril Carrascal, Msc. en gestión de ciencia, tecnología e innovación y codirectora del semillero de materiales, sostenibilidad, innovación y construcción, asociado al grupo GINSTI y del laboratorista a cargo del laboratorio de resistencia de materiales de la universidad Francisco de Paula Santander Sede Ocaña con el fin de obtener un material funcional.

### ***1.5.3 Temporal***

Este proyecto se desarrollará en las instalaciones del laboratorio de resistencia de materiales de la universidad Francisco de Paula Santander Seccional Ocaña y tendrá una duración aproximada de 4 meses comprendido en el periodo II semestre 2021. Con los resultados de la simulación, se realizará un análisis de rendimiento del sistema.

#### ***1.5.4 Metodología***

Para el cumplimiento de los objetivos de este proyecto se establece la metodología de diseño experimental, con esta se desarrollará el proyecto en 3 fases.



## Capítulo 2. Marco Referencial

### 2.1 Marco Histórico

Una de las características de las construcciones de los edificios industriales es que su estructura está fundida, lo que le permite cubrir los espacios con estructuras ligeras, según un arquitecto francés de la época : “Sin el hierro y la fundición todas las construcciones tan bien aireadas e iluminadas, tan ligeras en apariencia, y que soportan, sin embargo, pesos enormes, como los almacenes de seis pisos del dock de Santa Catalina de Londres, serían gruesas y oscuras bastillas, con pesadas y feas vigas de madera, o con muros y contrafuertes de ladrillos” (Ropero & Comas, 2013, p. 6)

Las construcciones con módulos o secciones, se puede decir que no es un tipo de construcción de la era moderna, en 1837 desde Australia se comenzaron a desarrollar los primeros inmuebles de tipo modular. Herbert Manning diseñó “colonial cottages” esta es una construcción de tipo portable que se podía transportar en barco. Las secciones eran de ensamble sencillo y no necesitaban de muchas herramientas para su armado, a América llegaron este tipo de edificaciones por la fiebre del oro que se a mitad del siglo XIX donde se asentaron las primeras colonias provenientes del Reino Unido y trajeron esta modalidad de construcción fácil y de bajo costo.

Esta técnica para construir ha tenido varios cambios ya que inicialmente eran en madera y con el transcurrir del tiempo ésta fue reemplazada por unas chapas metálicas onduladas, luego en 1916 la United States Gypsum Company produjo las primeras planchas de muros secos, las cuales eran elementalmente, yeso estrujado entre dos paneles de cartón. Este sistema permitía ser anclado y asegurado rápidamente en un cuadro de madera y la unión entre láminas quedaría

como una pared continua, permitiendo eliminar los listones de madera, de las múltiples capas de yeso y de los días de secado; por eso es conocida como drywall o pared seca.

Estas paredes secas se volvieron populares de después de la Segunda Guerra Mundial ya que eran esenciales en las construcciones militares ya que eran de instalación rápida, flexible y necesitaban muy poco de yeso en las juntas y sus aplicaciones, es por esto que el ejército de los Estados Unidos lo implementó en la construcción de sus instalaciones.

## **2.2 Marco Teórico**

Los sistemas modulares han proporcionado una solución de construcción rápida y eficaz, así como la posibilidad de desarrollar construcciones y satisfacer las expectativas de los consumidores.

Una de las alternativas de aprovechamiento de materiales locales (aserrín de madera), deseando mejorar los sistemas tradicionales, para llegar de manera innovadora y eficaz dando soluciones técnicas y económicas que complementen la mejora de la construcción “Para superar progresivamente este problema es necesario contar con tecnologías constructivas apropiadas que permitan la edificación de bajo costo dentro de un marco de desarrollo integral, en especial para las comunidades.” (J. L. De Olarte Tristán, s. f., citado por Perea Rentería, 2012, p. 18).

La construcción de edificios debe enfocarse en espacios modulares, con mínimos acabados arquitectónicos, lo que resulta en construcciones de bajo costo, enfocadas a la reducción de tiempo y costo.

El sistema modular plantea soluciones de fácil construcción con terminaciones de alta

calidad y fácil técnica eficaz, con el objetivo de reducir el costo de producción, además de brindar una ayuda frente al impacto ambiental que se vive en la actualidad.

“Una de las alternativas a tomar en cuenta para contrarrestar el creciente déficit habitacional en los países en vías de desarrollo, puede dirigirse a través del uso racional y sistemático de los materiales locales (tierra, madera, caña...etc.), intentando mejorar los sistemas tradicionales para llegar, de forma contemporánea, a soluciones técnicas que se integren en proyectos de desarrollo sostenido” (Perea Rentería, 2012)

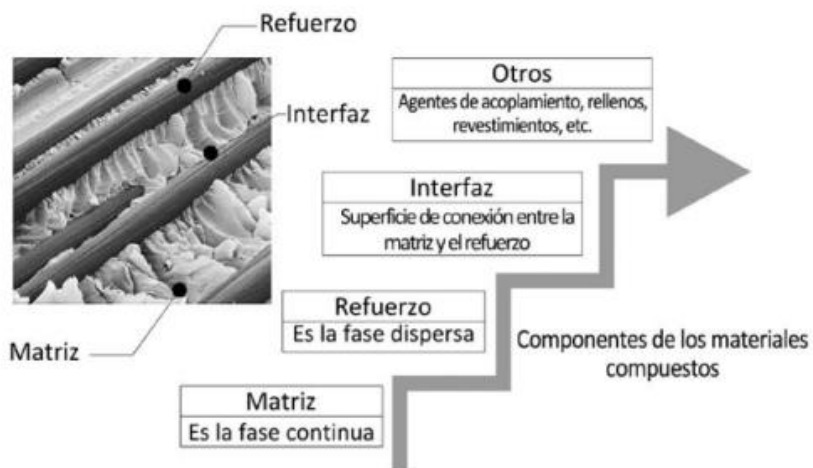
Es por ello que se han propuesto diferentes métodos de materiales alternativos para la construcción, según un estudio realizado por la universidad de la Salle la industria de la construcción genera 22 millones de residuos de construcción y demolición en Colombia.

Por lo anterior los materiales compuestos son una solución a los residuos también generados por la cascarilla de café y el bagazo de caña.

Según (Mazón Ortiz, 2017) “Los materiales compuestos se pueden diseñar para satisfacer necesidades de tecnologías relacionadas con la industria aeroespacial, automotriz, electrónica, 8 construcción, generación de energía, biomédica, entre otras. Como resultado, estos materiales constituyen actualmente la mayor parte de los materiales ingenieriles”.

En este mismo sentido el autor establece que “Los materiales compuestos se obtienen de una serie de posibilidades en combinaciones de materiales monofásicos de distinta naturaleza a partir de una unión no química para conseguir propiedades que por sí solos los materiales constituyentes no son capaces de alcanzar” como se muestra en la siguiente figura.

**Figura 1.** Componentes de los materiales compuestos



**Nota:** Conceptos de cada material compuesto (Mazón Ortiz, 2017)

Según (Bermello et al., 2008) en un artículo realizado por Universidad de La Habana el bagazo de caña es un material rígido debido a su composición vegetal “Está compuesto mayormente por lignina, hemicelulosas y celulosa, principalmente esta última. También están presentes, en menor proporción, taninos y ceras, que son en alguna medida extraídos durante el proceso de fabricación del azúcar”.

Por otro lado en (Bermello et al., 2008) Juan Fernández-Rodríguez Afirma que “La fibra de bagazo de caña de azúcar, mineralizada con silicato de sodio le imparte propiedades mecánicas aceptables al material compuesto, especialmente la resistencia a la flexión, que sobrepasa a la correspondiente al testigo, sin adición de fibra”.

También afirma que “El material compuesto con la adición de fibras de bagazo mineralizadas del 10 % en relación al peso total del cemento, provoca reducciones en la densidad del material, a los 28 días de curado, que varían entre 9,65 % y 10,72 % para los tamaños de

partículas de 3,15 y 8,5 mm, con respecto a probetas patrones con densidades promedios de 2165 kg/m<sup>3</sup>, aspecto importante para la elaboración de paneles y tableros utilizados en paredes divisorias y falso techo.

En (Oliveira et al., 2016) se utiliza el tallo de maíz, la cáscara de arroz y el bagazo de la caña de azúcar como fuentes de materiales de lignocelulosa para la formulación de tableros de partículas. Los materiales formulados se utilizaron para producir tableros de partículas de densidad media que se pueden utilizar para la fabricación de muebles y tabiques de ambientes.

En (Sharma et al., 2021) se analiza la importancia de las fibras y los rellenos para mejorar el comportamiento mecánico de los materiales compuestos de polímeros reforzados con fibras, haciendo referencia a la bibliografía ya publicada. Los puntos en los que se centra la revisión de la literatura son sus resultados, los factores que influyen en la selección de las fibras y las aplicaciones.

(Liu et al., 2020) realizan un estudio que tiene como objetivo entender la interacción entre los bioaditivos y las redes de polímeros Inter penetrantes y es el primer estudio que construye la relación entre la proporción de bioaditivos y el factor de amortiguación basado en el análisis mecánico dinámico, los bioaditivos se prepararon a partir de residuos agrícolas, el bagazo de la caña de azúcar. En este estudio también se analizó el efecto del agente de acoplamiento 3-glycidoxypropyltrimethoxysilane en una superficie de bioaditivos, los resultados muestran que los bioaditivos modificados tienen una mejora significativa en la resistencia a la tracción y en el módulo de tracción de las redes de polímeros Inter penetrantes de resina epoxi injertadas con poliuretano, sin embargo, la mejora no se debe a una fuerte unión covalente entre la matriz y los aditivos, sino a los bioaditivos bien dispersos que proporcionan segmentos

rígidos. En este estudio también se analizaron a fondo las prestaciones mecánicas estáticas y dinámicas, el índice de absorción de agua y la morfología de los elastómeros.

En este orden de ideas, los estudios afirman que los materiales que se pretenden utilizar para este proyecto de grado impactan de manera positiva y significativamente al cambio climático y a la reducción de residuos de la industria de la construcción, de los residuos de bagazo de caña y cascarilla de café.

### **2.3 Marco conceptual**

En general los adhesivos naturales no se utilizan para aplicaciones estructurales debido a su inadecuado comportamiento cuando son expuestos a la humedad (Adams, 2005). Los pegantes de origen animales se producen a partir de los tejidos conectivos de los animales y fueron los adhesivos más comunes para aplicaciones de madera por miles de años hasta la invención de los adhesivos sintéticos en el siglo XX. Las colas de caseína provienen de una proteína de la leche, y al igual que las colas animales hoy en día su uso es casi obsoleto (RIC, 2000).

En la madera los adhesivos no tradicionales como los poliuretanos y las resinas epóxicas generalmente se usan en aplicaciones que requieren combinar ésta con otros materiales como por ejemplo el acero y el vidrio. También pueden ser utilizados para llenar agujeros de más de 2 mm de ancho, haciéndolos adecuados para aplicaciones de reparación. Los poliuretanos, a condición de una línea de encolado delgada (preferiblemente menor a 0.3 mm), son adecuados también para adherir madera con alto contenido de humedad (Adams, 2005).

En la actualidad, a pesar del desarrollo de nuevos adhesivos su uso no es generalizado. La razón principal es la falta de métodos de ensayo y procedimientos de certificación; sólo existen procedimientos avalados para adhesivos amino plásticos y fenólicos (Adams, 2005). Hoy en día se están desarrollando metodologías que certifiquen el uso de nuevos adhesivos para aplicaciones estructurales de madera en procesos de producción.

Las resinas de formaldehidos son adecuadas para aplicaciones que requieran uniones estructurales fuertes. La urea- formaldehido y el fenol-formaldehido son los adhesivos más utilizados en productos compuestos de madera, tales como placas MDF (Medium Density Fiberboard) y madera prensada (RIC, 2000). Otros tipos incluyen melamina, resorcinol y sus variaciones. Concentraciones de formaldehido superiores a una parte por millón (ppm) puede producir irritación de los ojos o la garganta en la mayoría de las personas; diez partes por millón son intolerablemente irritantes (RIC, 2000). A continuación, se hace un resumen de las principales propiedades físicas y químicas de la melamina-urea-formaldehido, la cual hace parte de las resinas de formaldehidos y es el adhesivo usando en el presente proyecto.

### ***2.3.1 Material Compuesto (CM)***

Un material compuesto es un sistema integrado por una mezcla o combinación de dos o más micro o macro constituyentes que difieren en forma y composición química y que son esencialmente insolubles entre sí. La importancia ingenieril de los materiales compuestos es muy grande ya que se combinan las propiedades y prestaciones de los materiales constituyentes cuando se diseña y se fabrica el material compuesto correctamente (Mazón Ortiz, 2017).

Los materiales de esta familia surgen de la necesidad de obtener materiales con una combinación de propiedades que difícilmente se encuentren en los cerámicos, los plásticos o los metales de manera individual. En todo material compuesto se distinguen dos componentes: la matriz, fase continua que actúa como ligante y el refuerzo, fase homogénea, no continua, que se encuentra en menor proporción.

**2.3.2.1 Clasificación de los materiales compuestos según el tipo de matriz.** Los MCs pueden fabricarse con matrices que pueden ser de origen metálico, polimérico o cerámico. Los polímeros se han desarrollado rápidamente y pronto se han convertido en materiales estructurales muy populares. A pesar que los polímeros presentan limitaciones para ciertas aplicaciones de ingeniería comparadas con los metales y cerámicos, como baja resistencia y tenacidad a la fractura, estas limitaciones pueden superarse introduciendo en el polímero un material de refuerzo.

**2.3.1.1.1 Compuestos de Matriz Polimérica (CMP).** Los CMP son los que utilizan materiales de origen polimérico como fase continua. Este tipo de materiales es el más común por la versatilidad de los polímeros, esto es porque tanto los termoplásticos como los termoestables y los elastómeros, son fáciles de procesar, son livianos, en general económicos y presentan propiedades mecánicas apropiadas para un extenso número de aplicaciones. Se usan diferentes clases de refuerzos, ya sean en forma de fibras o partículas. Los polímeros termoplásticos tienen la característica que una vez polimerizados pueden ablandarse o derretirse con calor para cambiar su forma (estos procesos son reversibles y pueden repetirse).



**2.3.1.1.2 Compuestos de Matriz Metálica (CMM).** El aluminio, magnesio y titanio están entre los materiales metálicos que se usan como matriz en la fabricación de MCs, los metales son normalmente aleados con otros elementos para mejorar sus propiedades físicas y mecánicas. Las propiedades finales son fuertemente influenciadas por los tratamientos térmicos y mecánicos los cuales determinan la microestructura de esta matriz. Los metales usados para materiales compuestos son comúnmente dúctiles y esencialmente isotrópicos. A diferencia de los polímeros, los aumentos en rigidez lograda por la incorporación del refuerzo son, con frecuencia, relativamente pequeños (Campo et al., 2007).

**2.3.1.1.3 Compuestos de Matriz Cerámica (CMC).** Los materiales cerámicos son cada vez más estudiados y utilizados para aplicaciones estructurales y funcionales de alta y avanzada tecnología. Estos materiales presentan propiedades únicas como alta resistencia a elevadas temperaturas, tienen baja densidad y muy buenas propiedades mecánicas. Su mayor desventaja es la fragilidad, por lo tanto, uno de los objetivos de combinarlos con otros materiales para formar MCs es incrementar su tenacidad y tenacidad a la fractura. Para ello, se adicionan fibras y partículas de naturaleza cerámica o metálica (Rios Meneses, 2016).

### **2.3.2 Melamina-urea- formaldehido (MUF)**

Las resinas de melamina-formaldehido (MF) y melamina-urea-formaldehido (MUF) se encuentran entre los adhesivos más utilizados para la unión de paneles exteriores y semi-exteriores de madera. Por su estabilidad química (inerte), porosidad y absorbencia nula, resisten el contacto con muchas sustancias, tales como ácidos y bases suaves, alcoholes, solventes como el benceno, aceites naturales y grasas. Por esto también se usan para impregnar hojas de papel

para la producción de cubiertas auto-adhesivas y laminados auto-adhesivos, para productos de madera tales como tablas de mesa, áreas de trabajo pesado en casas y fábricas, paneles de pared, entre otros. Su alta resistencia al ataque del agua las distingue de las resinas de urea-formaldehído (UF).

La reacción de condensación (polimerización) de la melamina con formaldehído es similar en estructura a la de urea con formaldehído. Primero, el formaldehído ataca las aminas de la melamina, formando compuestos de metilol, luego se forman puentes de metileno y éter para unir estos compuestos, haciendo que el tamaño molecular de la resina crezca rápidamente. Estos compuestos intermedios son los que conforman las resinas comerciales. El proceso de curado final ocurre cuando reaccionan las aminas y los compuestos de metilol que faltan, formando así una resina insoluble e infusible (Pizzi, 1994).

### ***2.3.3 Resinas mixtas de melamina***

Al ser los adhesivos de MF costosos, las resinas de MUF se han hecho económicamente más viables por la adición de urea. No obstante, a pesar de su uso generalizado y su importancia económica, la literatura existente sobre las resinas de melamina constituye sólo una pequeña fracción de la dedicada a las resinas de UF. Con frecuencia, las resinas de MF y MUF son descritas como un subconjunto de las amino resinas de UF. Sin embargo, lo anterior se considera inadecuado porque éstas tienen propiedades y características que las hacen muy diferentes de las resinas de UF.

Adicional a la urea, también se les ha agregado Fenol, formando la resina llamada PMUF (Phenol Melamine Urea Formaldehyde). Sin embargo, aunque se creía que con la adición de

fenol se mejoraba la resistencia al ambiente, se ha visto que el desempeño de estas resinas es incluso menor que el de una resina MUF de alta gama. El fenol se une a la cadena polimérica pero no contribuye a endurecer la estructura, por lo que se vuelve un grupo inútil.

#### ***2.3.4 Bagazo de caña de azúcar***

El bagazo es el residuo de materia que queda luego de que a la caña de azúcar se le extrae el jugo azucarado. Esos restos poseen una gran cantidad de fibras que pueden ser utilizadas para diferentes aplicaciones (Universidad Nacional del Litoral, 2017). Las principales aplicaciones del bagazo de caña, son en la industria de la ganadería, debido a sus propiedades nutricionales; en la industria de fabricación de celulosa en la producción papelera, o de cajas de cartón, entre otros procesos (León-Martínez et al., 2013).

#### ***2.3.5 Cascarilla de café***

El café ha sido por muchos años uno de los cultivos más rentables, sin embargo, aunque la productividad ha ido aumentando, el método usado para procesar el fruto en grano no ha cambiado en años y poca atención se ha dado al uso de los subproductos del procesamiento del café. La cascarilla de café es la cobertura exterior de la cereza del café que en el proceso de producción se extrae y se desecha (Murthy & Naidu, 2012).

En los países productores de café, los residuos y subproductos del mismo constituyen una fuente de grave contaminación y problemas ambientales. Por ese motivo, se ha tratado de idear métodos de utilizarlos como materia prima para la producción de piensos, bebidas, vinagre, biogás, cafeína, pectina, proteína y abono entre otros (CAFEMALIS, 2021).

## 2.4 Marco legal

**Ley 99 de 1993.** Por la cual se creó el Ministerio del Medio Ambiente (hoy Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial), se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental (SINA) y se dictan otras disposiciones. (Congreso de la Republica de Colombia, Ley 99 de 1993)

**Que el artículo 2°** de la citada ley, establece que el Ministerio es el organismo rector de la gestión del medio ambiente y de los recursos naturales renovables, encargado de definir las políticas y regulaciones a las que se sujetarán la recuperación, conservación, protección, ordenamiento, manejo, uso y aprovechamiento de los recursos naturales renovables y el medio ambiente de la Nación, a fin de asegurar el desarrollo sostenible. (Congreso de la Republica de Colombia, Ley 99 de 1993)

**Que el párrafo 2° del artículo 5°** de la citada ley, establece que le corresponde al Ministerio ejercer las demás funciones que en materia de protección del medio ambiente y los recursos naturales renovables, venían desempeñando el Instituto Nacional de los Recursos Naturales Renovables y del Ambiente (INDERENA), el Ministerio de Agricultura (hoy ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural), el Ministerio de Salud (hoy Ministerio de la Protección Social), el Ministerio de Minas y Energía y el Departamento Nacional de Planeación. (Congreso de la Republica de Colombia, Ley 99 de 1993)

**Decreto 1594 de 1984.** En su momento reglamentó la prevención y control de la contaminación, no obstante mediante sentencia del Consejo de Estado de agosto 14 de 1992, se declararon nulos varios de sus artículos en función de los conflictos de competencias previstas en los mismos, fraccionando, desarticulando y limitando su aplicación, en la medida en que por la simple referencia de estos artículos a la sigla EMAR, los mismos fueron sacados del ordenamiento jurídico restando eficiencia y efectividad en la aplicación de este decreto.

(Presidente de la República de Colombia, Decreto 1594 de 1984)

## **Capítulo 3. Metodología**

### **3.1 Tipo de investigación**

Para el desarrollo de este proyecto, se llevará a cabo una investigación de diseño experimental debido a que será posible obtener la información requerida a través de una descripción exacta de las actividades y procesos para realizar los diseños necesarios, especificando las propiedades importantes y relevantes para el desarrollo experimental del sistema, en el cual se analizan los datos obtenidos por medio de las pruebas físico- mecánicas del material compuesto a realizar en este proyecto.

Esta investigación tiene un enfoque Científico-Experimental debido a que permite manipular y controlar las variables de investigación. El diseño de esta investigación se cataloga como una investigación aplicada, puesto que se utilizarán los conocimientos adquiridos en la etapa de formación profesional para el desarrollo de este.

### **3.2 Población y muestra**

Para este proyecto se tendrá como muestra lo establecido en la norma ASTM, que sugiere como mínimo 3 muestras del material, con el fin de obtener resultados con mayor certeza.

### **3.3 Fases del proyecto**

Para el cumplimiento de los objetivos de este proyecto y de esta metodología se establecen 3 fases a desarrollar:

**Fase 1:** *Realizar una investigación bibliográfica sobre las características físicas y mecánicas de los paneles utilizados en la construcción de muros divisorios.*

En esta fase se hace la relación de los conceptos teóricos, científicos y matemáticos correspondientes al problema planteado. Para esto se plantean las siguientes actividades:

**Actividad 1. Recopilación de información científica sobre el proceso de producción de muros divisorios, estableciendo los diferentes criterios de operación.**

**Actividad 2.** Identificación de las variables que intervienen en el proceso de fabricación de material a base de resina de MUF

**Actividad 3.** Revisar la norma ASTM D638-08 que define un ensayo de tensión para materiales plásticos y revisar las normas ASTM D790-10 y ASTM D3043-00 que definen ensayos de flexión en tres puntos para materiales plásticos y paneles estructurales respectivamente.

**Fase 2:** *Desarrollar un material compuesto que contenga bagazo de caña o cascarilla de café.*

En esta fase se determinará cual es el sistema más adecuado para realizar el proceso de construcción de las probetas con los materiales y las cantidades seleccionadas teniendo en cuenta los requerimientos previamente establecidos.

**Actividad 1. Recopilación de información científica sobre los diferentes de construcción de muestras de resina, estableciendo los diferentes criterios de operación.**

**Actividad 2.** Realización de las probetas con diferentes porcentajes de material.

**Actividad 3.** Descripción del proceso constructivo del material compuesto

**Actividad 4.** Elaboración de una ficha técnica del material compuesto

**Fase 3:** *Evaluar las propiedades físicas y mecánicas de los muros divisorios desarrollados.*

**En esta fase se valida el sistema de probetas propuesto, para ello se plantean las siguientes actividades.**

**Actividad 1. Pruebas de resistencia a la compresión y pruebas de flexión de tres puntos** siguiendo la norma ASTM-D790

**Actividad 2. Análisis de desempeño de las muestras obtenidas en las pruebas físicas realizadas.**

**Actividad 3. Descripción del proceso constructivo.**

**Actividad 4. Análisis de la generación de residuos, al desarrollar los paneles de MUF.**

**Actividad 5. Análisis de costos del desarrollo de paneles de MUF.**



## Capítulo 4. Resultados

Como respuesta a la pregunta problema *¿Cómo se pueden aprovechar los residuos de los cultivos de café y caña de azúcar para reemplazar los paneles de yeso utilizados en la construcción de muros divisorios?* Se propuso *Caracterizar un material alternativo para la elaboración de muros divisorios utilizando un compuesto a base resina de melamina-urea-formaldehído y cascarilla de café o bagazo de caña*; dicha caracterización se logra mediante el desarrollo de cada una de las actividades propuestas, las cuales se presentan a continuación.

**Fase 1:** *Realizar una investigación bibliográfica sobre las características físicas y mecánicas de los paneles utilizados en la construcción de muros divisorios.*

### 4.1 Revisión bibliográfica

Para la revisión bibliográfica, se consultaron diferentes bases de datos como Scopus, donde se revisaron revistas indexadas, artículos, capítulos de libros y contenido de acceso abierto, lo mismo en Science Direct y Dialnet. Esta revisión bibliográfica se realizó, con el fin de determinar artículos relacionados con mezclas compuestas por resina y fibras naturales, como la caña de azúcar, la cascarilla de café entre otros. En dicha investigación se pretende encontrar materiales y metodologías que sirvan como soporte para el desarrollo de este proyecto, para esto se presentan el análisis de búsqueda de Scopus.

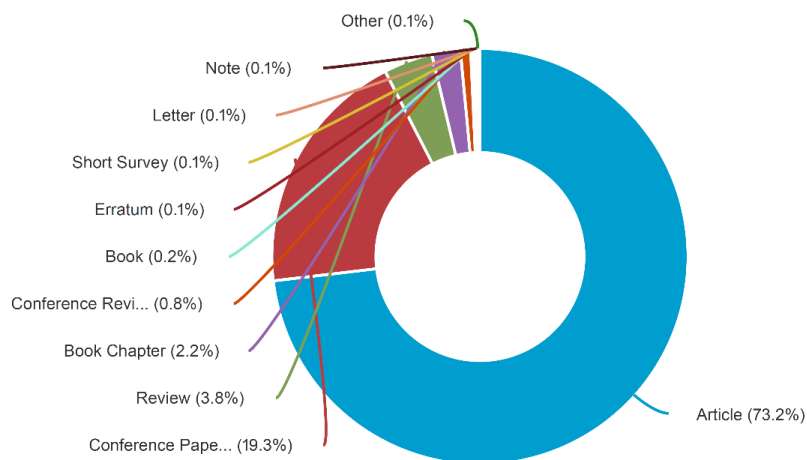
En la figura 2 se presenta la gráfica de la cantidad de la cantidad de documentos publicados por año, este análisis se presenta desde el 2010 hasta el 2022.

**Figura 2.** Documentos publicados por año



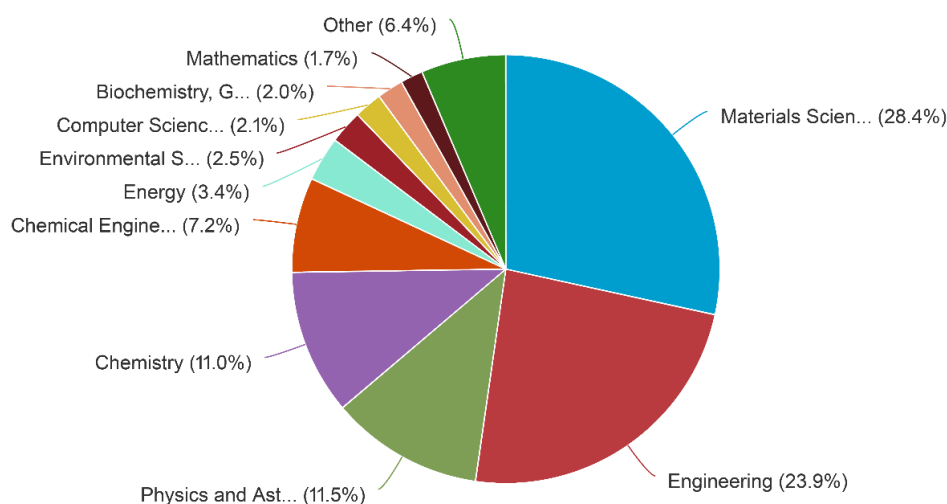
En la figura 3 se presenta la gráfica de porcentajes de documentos publicados por tipo de publicación en donde se evidencia que el mayor porcentaje son artículos de investigación, este análisis se presenta desde el 2010 hasta el 2022.

**Figura 3.** Documentos publicados por tipo de publicación



En la figura 4 se presenta la gráfica de porcentajes de documentos publicados por área de investigación en donde se evidencia que el mayor porcentaje son de ciencia de los materiales, seguido de ingeniería, este análisis se presenta desde el 2010 hasta el 2022.

**Figura 4.** Documentos publicados por área de investigación



En cuanto a los muros divisorios con paredes de yeso o drywall, la literatura en los últimos doce años en comparación con los resultados de los materiales compuestos es relativamente escasa, teniendo un promedio aproximado de 15 publicaciones por año en los últimos cinco años, lo que comparado con los 38 mil documentos escritos a cerca de nuevos materiales para la construcción de muros divisorios resulta insignificante. Las tendencias en publicación o investigación referente a paneles de yeso van en temas relacionados con el reciclaje de estos o su reemplazo por materiales reciclados entre otros, esto según el análisis realizado en scopus.

Por otro lado, en la revisión de la literatura se identificaron las características del material de yeso laminado, también conocidas como placas de yeso acartonado, las cuales son utilizados en las construcciones de muros de interiores, en el revestimiento, aislamiento de paredes y techos. Estas placas se fabrican por medio de un proceso de laminación continua de una mezcla de yeso, agua y aditivos entre dos láminas de cartón, cumpliendo con la norma EN 520+A1 que se guía por las normas ISO, presentándose en forma de placas rectangulares con espesores y dimensiones variables, estas se fabrican de cuatro tipos: Placa A (estándar), Placa H (hidrófuga), Placa F (anti fuego) y Placa D (alta dureza).

#### **PLACA TIPO A (STANDARD)**

Este tipo de placas se utilizan en obras secas en espacios interiores, tales como muros interiores, revestimiento interior de paredes exteriores, techos falsos, moldura de iluminación entre otros elementos de decoración.

#### **PLACA TIPO H (HIDRÓFUGA)**

Este tipo de placa es tratada con un agente hidrófugo para reducir la absorción de agua, siendo adecuada para zonas de humedad controlada. Así, es indicada para todo tipo de obra seca en espacios interiores, tal como la placa tipo A, y es todavía recomendada para cocinas y baños, pudiendo ser revestida con baldosas cerámicas o material similar. Las placas tipo H se clasifican en función de su capacidad de absorción de agua, según la norma indicada, estas placas pueden ser designadas como H1, H2 y H3 como se indica en la tabla

**Tabla 1***Datos de absorción de agua*

Clases de Absorción de agua Absorción Total de Agua (según el método indicado en la norma EN 520+A1)	Absorción Total de Agua (según el método indicado en la norma EN 520+A1)
H1	5%
H2	10%
H3	25%

**PLACA TPO F (ANTI-FUEGO)**

Este tipo de placa es reforzada con fibra de vidrio y se caracteriza por una muy buena cohesión del yeso a altas temperaturas, siendo adecuada para zonas que necesiten de elevada resistencia al fuego.

**PLACA D (ALTA DUREZA)**

Este tipo de placa tiene dureza superficial mayor a las otras, siendo utilizada en zonas que sea necesaria mayor resistencia al impacto, tales como escuelas, hospitales y pabellones.

Las características físicas de los paneles de yeso se encuentran disponibles en el mercado son de aproximadamente de anchura: 1200 mm, longitud: 2000 mm a 3000 mm, espesor: 6 mm, 9.5 mm, 12.5 mm, 15 mm y 18 mm. La resistencia a flexión, en las dirección longitudinal y transversal, se determina mediante un ensayo de flexión a tres puntos. Los valores mínimos de la carga de rotura requeridos por esta norma se presentan en la siguiente tabla 2; la dureza superficial de las placas se determina mediante un ensayo tipo Brinell, en el que se mide el diámetro de la huella provocada por el impacto de una pequeña esfera de acero. Para las placas de alta dureza, el diámetro de la marca de impacto es inferior a 15 mm.

**Tabla 2***Datos de resistencia a la flexión*

Tipo de placa		Placa A					Placas H, F y D	
Rotura a flexión (N)	Espesor (mm)	6	9,5	12,5	15	18	12,5	15
	Longitudinal	258	400	550	650	774	550	650
	Transversal	101	160	210	250	303	210	250

Teniendo en cuenta que los materiales que se van a trabajar son a base resina MUF, se indagó acerca de las normas ASTM que podrían aplicar a este tipo de materiales, a continuación, se presenta parte del material indagado.

**Norma ASTM D638-08:** Este método de prueba cubre la determinación de las propiedades de tracción de plásticos reforzados y no reforzados, en forma de muestras de prueba estándar, en forma de mancuerna cuando se prueban en propiedades definidas de pretratamiento, temperatura, humedad y velocidad de la máquina de prueba. Este método se puede utilizar para probar materiales de cualquier espesor hasta 14 mm (0,55 pulg.). Sin embargo, para probar especímenes en forma de láminas delgadas, incluida una película de menos de 1,0 mm (0,04 pulg.) de espesor, los Métodos de prueba D 882 es el método de prueba preferido. Los materiales con un espesor superior a 14 mm (0,55 pulg.) deben reducirse mediante mecanizado, en este se incluye la opción de determinar la relación de Poisson a temperatura ambiente.

**Normas ASTM D790-10:** Estos métodos de prueba cubren la determinación de las propiedades de flexión de los plásticos reforzados y no reforzados, incluidos los compuestos de alto módulo y los materiales aislantes eléctricos en forma de barras rectangulares moldeadas directamente o cortadas a partir de láminas, placas o formas moldeadas. Estos métodos son generalmente aplicables a materiales rígidos y semirrígidos. Sin embargo, la resistencia a la

flexión no se puede determinar para aquellos materiales que no se rompen o que no fallan en la superficie exterior de la muestra de prueba dentro del límite de deformación del 5,0 % de estos métodos de prueba. Estos métodos de prueba utilizan un sistema de carga de tres puntos aplicado a una viga simplemente apoyada. Puede encontrar un método de sistema de carga de cuatro puntos en el Método de prueba D6272 .

- **Procedimiento A**, diseñado principalmente para materiales que se rompen con deflexiones comparativamente pequeñas.

- **Procedimiento B**, diseñado especialmente para aquellos materiales que sufren grandes deflexiones durante el ensayo.

El procedimiento A debe usarse para medir las propiedades de flexión, en particular el módulo de flexión, a menos que la especificación del material indique lo contrario. El procedimiento B se puede usar solo para medir la resistencia a la flexión. Los datos de módulo tangente obtenidos por el Procedimiento A tienden a exhibir desviaciones estándar más bajas que los datos comparables obtenidos por medio del Procedimiento B.

### **Norma ASTM D3043-00**

- **Método A, Ensayo de flexión en el punto central.** Este método es aplicable a materiales que son uniformes con respecto a las propiedades elásticas y de resistencia. La deflexión total y el módulo de elasticidad calculado a partir de ella incluyen un componente relativamente constante atribuible a la deformación por cortante. Es muy adecuado para investigaciones de muchas variables que influyen en las propiedades de manera uniforme en todo el panel en

estudios controlados y para probar muestras de control pequeñas y sin defectos cortadas de paneles grandes que contienen defectos probados por el método de muestras grandes.

- **Método B, prueba de flexión de dos puntos:** este método, como el método A, es adecuado para la investigación de factores que influyen en las propiedades elásticas y de resistencia de manera uniforme en todo el panel, en estudios controlados y para probar muestras de control pequeñas y sin defectos cortadas de especímenes grandes ensayados por el Método C. Sin embargo, se puede usar para determinar los efectos de las juntas dentadas, las juntas y los espacios del revestimiento y otras características que se pueden colocar completamente entre los puntos de carga y cuyos efectos se pueden proyectar fácilmente a todo el ancho del panel. La deflexión y el módulo de elasticidad obtenidos con este método están relacionados únicamente con la tensión de flexión y no contienen un componente de corte. Pueden ocurrir errores significativos en el módulo de ruptura cuando se usa el momento nominal (vea el Apéndice X1).

- **Método C, prueba de momento puro:** este método es ideal para evaluar los efectos de nudos, agujeros de nudos, áreas de grano inclinado y parches para su efecto en paneles estándar de tamaño completo. Es igualmente adecuado para probar materiales transparentes o uniformes siempre que el tamaño de la muestra sea adecuado. La deformación medida y las constantes elásticas están libres de efectos de deformación por corte; y los paneles se pueden doblar a grandes desviaciones sin incurrir en errores de los componentes de fuerza horizontal que ocurren en otros métodos. El tamaño de la muestra y la amplitud por encima de ciertos mínimos son bastante flexibles. Se prefiere cuando el equipo está disponible.



- *Método D, Ensayo de flexión para el aseguramiento de la calidad.* Este método, como el Método A, se adapta bien a la investigación de los factores que influyen en las propiedades de rigidez y resistencia a la flexión. También como el Método A, este método utiliza muestras pequeñas en una configuración de prueba de tramo simple de punto central. Este método utiliza una relación entre la luz y la profundidad, el ancho del espécimen, el accesorio de prueba y la velocidad de prueba que hacen que el método sea muy adecuado para garantizar la calidad. El método se utiliza con frecuencia para las pruebas de control de calidad de tableros de virutas orientadas.

Todos los métodos se pueden utilizar para determinar el módulo de elasticidad con suficiente precisión. El módulo de ruptura determinado por los Métodos A, B o D está sujeto a errores de hasta el 20 % y, a veces, los superan, dependiendo de la luz, la carga y la deflexión en el momento de la falla, a menos que el momento se calcule de la manera rigurosa descrita en o se realicen correcciones de otras maneras. Estos errores no están presentes en el Método C.

Cuando se desean comparaciones entre los resultados de los grupos de muestras, es una buena práctica usar el mismo método de prueba para todas las muestras, eliminando así las posibles diferencias relacionadas con el método de prueba.

**Fase 2:** *Desarrollar un material compuesto que contenga bagazo de caña o cascarilla de café.*

## 4.2 Desarrollo del material compuesto.

Las muestras del material compuesto se fabricaron con una longitud de 15 cm y una anchura aproximada de 3 cm, con hendiduras en ambos extremos para mejorar el agarre con las mordazas. Las fibras se cortaron en la dimensión requerida y se sometieron a un tratamiento alcalino en una solución diluida de Hidróxido de Sodio (figura 5), éste modifica las características superficiales de las fibras, mediante la eliminación de la lignina, sustancia que mantiene unidas las fibras naturales y así evitar su oxidación; otro efecto del tratamiento alcalino es la eliminación de impurezas, y de este modo produce una topografía rugosa que da lugar a una mejor interacción fibra-matriz, las fibras se colocaron sobre una capa de resina terminada mediante la colocación manual de la mezcla de resina y el agente de curado.

**Figura 5.** *Tratamiento de la fibra natural con Hidróxido de Sodio*



Se hace el lavado de las muestras, para este proceso se lavó con abundante agua, eliminando los residuos del hidróxido de sodio.

**Figura 6.** *Lavado de las muestras*



Se procede a secar la muestra a temperatura ambiente donde lo tenga exposición solar dándole vuelta durante 5 días aproximadamente para obtener un secado homogéneo en la totalidad de las partículas para posteriormente proceder a moler las fibras para obtener un tamaño ideal de estas partículas.

**Figura 7.** *Secado y molienda*



Para la fabricación de los materiales compuestos, se tomaron 40 gramos de resina y, de acuerdo con esto, se varió el peso del refuerzo de fibra previamente triturado obteniendo las siguientes relaciones de peso del material compuesto, 10% de resina – 90% de fibra natural, 15%

de resina – 85% de fibra natural, 20% de resina – 80% de fibra natural (figura 8); El proceso de colocación manual se repitió hasta el consumo de la cantidad necesaria de resina y de fibra para cada muestra.

**Figura 8.** *Relación de resina – fibra natural*



La resina de melamina-formaldehído se puede curar mediante calentamiento, lo que induce la deshidratación y la reticulación, de ahí que las muestras se sometieron a un tratamiento térmico a una temperatura de 180°C durante 15 minutos, como se muestra a continuación en la figura 9.

**Figura 9.** *Proceso de curado aplicando calor y presión*



Al finalizar el proceso se obtuvieron las probetas con las diferentes proporciones previamente mencionadas, como se muestra en la figura 8, del proceso finalmente se realizó una ficha técnica que se muestra en el anexo 1.

**Figura 10.** *Lámina de resina y cascarilla de café (izq), lámina de resina y bagazo de caña (der).*



**Fase 3:** *Evaluar las propiedades físicas y mecánicas de los muros divisorios desarrollados.*

### **4.3 Evaluación de propiedades físicas y mecánicas**

A continuación, se presenta las pruebas realizadas a las probetas de Resina con cascarilla de café y bagazo de caña, estas pruebas se realizaron en diferentes proporciones 10% de resina 90% de fibra natural (10-90), 15% de resina 85% de fibra natural (15-85), y 20% de resina 80% de fibra natural (20-80). A las probetas se le realizaron tres tipos de ensayos: Ensayos de tensión paralela a la fibra en el cual se determinó el módulo de elasticidad de cada una de las muestras, ensayo de tensión de compresión con respecto a la deformación y por último el ensayo de flexión a tres puntos, los resultados y el análisis de dichos ensayos se muestra a continuación.

#### ***4.3.1 Propiedades físicas***

Para las propiedades físicas de los materiales compuestos propuestos se identificaron las características propias de esos como lo son la densidad del material, la capacidad de absorción de agua y la capacidad de absorción de calor.

##### **4.3.1.1 Densidad**

Para caracterizar el material compuesto se determinaron las propiedades físicas de estos, se midieron y se determinó su densidad como se muestra a continuación.

**Figura 11.** Probetas de a) café 10-90 b) café 15-85 c) café 20-80 d) caña 10-90 e) caña 15-85 f) caña 20-80.



a)

b)

c)



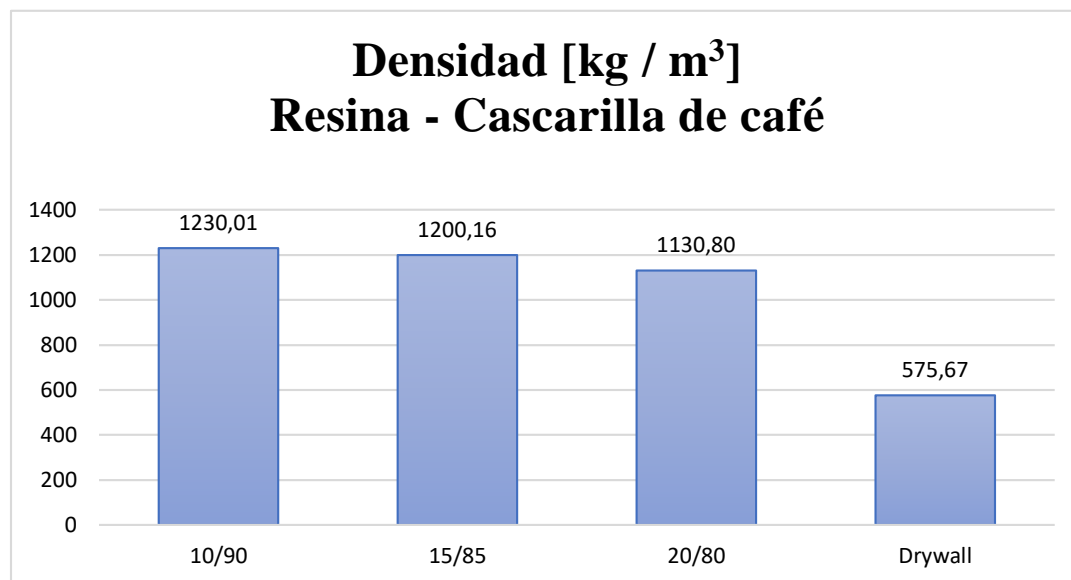
d)

e)

f)

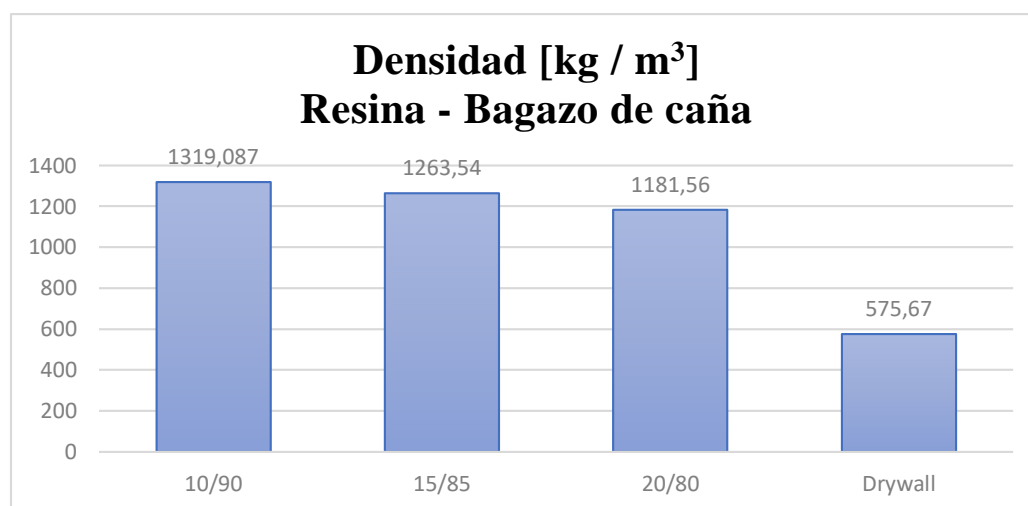
Final mente para cada combinación de resina y fibra natural se comparó su densidad. Primeramente, se calculó la densidad del material compuesto de resina y bagazo de caña, dando como resultado la siguiente gráfica.

**Figura 12.** Densidades de las muestras de resina y bagazo de caña y la lámina de drywall



Adicionalmente se realizó la respectiva comparación de las muestras de resina y cascarilla de café dando como resultado la siguiente gráfica.

**Figura 13.** Densidades de las muestras de resina y cascarilla de café y la lámina de drywall



De las dos gráficas anteriores se evidencia que a medida que se aumenta la cantidad de fibra natural aumenta la densidad del material compuesto, dando a entender que la densidad de la resina es mucho mayor que la densidad de la fibra natural dado a las proporciones de la mezcla.

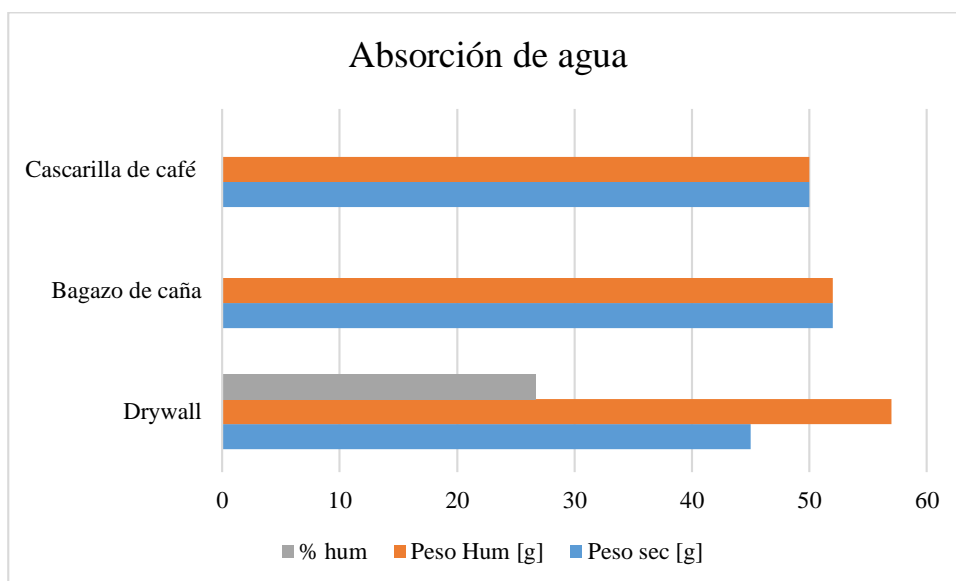


En cuanto a la comparación de densidades entre el material compuesto y el drywall, la densidad de este último es mucho menor que la del material compuesto.

#### 4.3.1.2 Absorción de agua

Para las muestras se realizó la prueba de absorción de agua durante un minuto, la idea es indagar cómo se comporta el material en presencia de agua, para lo que se sumergió este en agua durante un minuto, luego se compararon las masas de las muestras secas con las muestras húmedas dando como resultado la siguiente gráfica.

**Figura 14.** Porcentaje de absorción de agua de las muestras de resina-cascarilla de café, resina-bagazo de caña y la lámina de drywall.



De las pruebas de absorción de agua se puede evidenciar que las muestras las combinaciones de fibras naturales con resina no presentan absorción de agua esto debido a que la resina se adhiere a la fibra y la recubre por completo aislándola de los elementos externos como

el agua y como esta no reacciona químicamente con el agua no se presenta variación en su peso en presencia de agua.

#### **4.3.1.3 Absorción de calor**

La prueba de absorción de calor se realiza con el fin de ver la reacción del material a la exposición térmica, ya que la temperatura es un factor externo que podría alterar las características del material. La idea es identificar si el material es capaz de absorber energía térmica por lo que se tomaron muestras con la misma masa, como se muestra en la tabla 1, luego se sometieron a radiación solar durante el periodo de mayor exposición que es entre las 10:00 y las 14:00 horas, durante este tiempo se tomaron las temperaturas de las muestras en tres momentos diferentes durante el intervalo de tiempo señalado, en la tabla 3 se presentan los datos recolectas para cada una de las muestras.

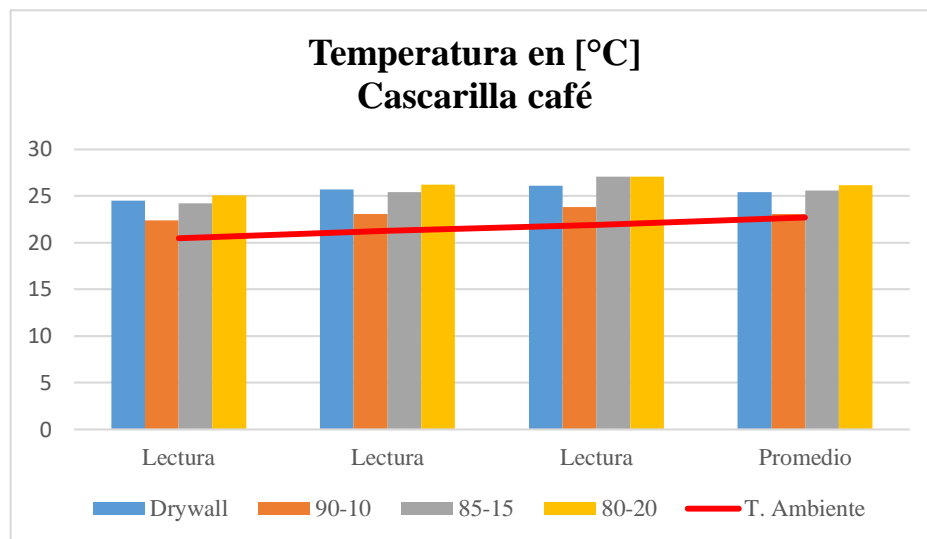
Esta prueba se realizó de manera empírico experimental, teniendo en cuenta que la penetración del calor a través de la superficie surge a causa de las fuerzas térmicas que actúan en el exterior de la edificación, que son una combinación de los fenómenos de convección y radiación. La radiación solar está compuesta por la propia radiación incidente y el intercambio de calor con la temperatura del aire del entorno, de modo que el impacto calorífico por convección irá en función del intercambio con la temperatura del aire circundante, pudiendo acelerarse a través del movimiento del aire.

**Tabla 3***Datos de prueba de absorción de calor*

<b>Pruebas de absorción de calor</b>						
	Peso Gr	T.	Lectura	Lectura	Lectura	Promedio
<b>Ambiente</b>						
<b>Drywall</b>	9	20,5	24,5	25,7	26,1	25,4
<b>Cascarilla café</b>						
<b>90-10</b>	9	21,3	22,4	23,1	23,8	23,1
<b>85-15</b>	9	21,9	24,2	25,4	27,1	25,6
<b>80-20</b>	9	22,7	25,1	26,2	27,1	26,1
<b>Bagazo de caña</b>						
<b>90-10</b>	9	20,4	21,2	22,8	23,1	22,4
<b>85-15</b>	9	21,8	22,8	24,6	25,1	24,2
<b>80-20</b>	9	22,4	23,1	24,5	25,6	24,4

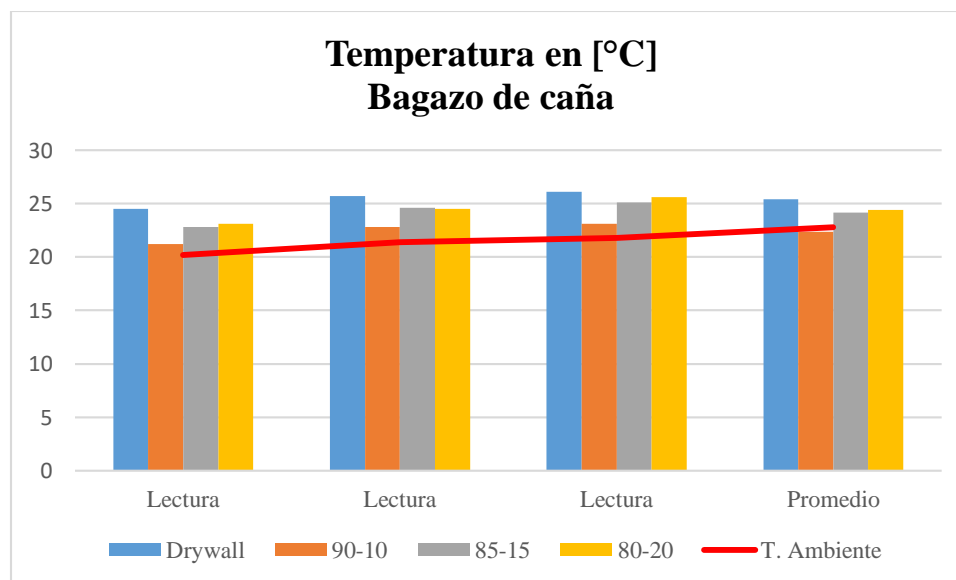
En la figura 15 se presentan la comparación de la temperatura ambiente y las temperaturas del material compuesto por resina-cascarilla de café y la muestra de drywall.

**Figura 15.** Prueba de absorción de calor para las muestras de resina-cascarilla de café



En la figura 16 se presentan la comparación de la temperatura ambiente y las temperaturas del material compuesto por resina-cascarilla de café y la muestra de drywall.

**Figura 16.** Prueba de absorción de calor para las muestras de resina-bagazo de caña.



De las dos graficas resultantes de la prueba de absorción de calor se puede ver que para las muestras de resina con fibras naturales la absorción de calor disminuye con el aumento de la cantidad de material de fibra natural, dando a entender que la matriz de fibra natural aumenta la resistencia térmica del material.

#### ***4.3.2 Evaluación de propiedades mecánicas.***

Para las propiedades mecánicas de los materiales compuestos propuestos se identificaron las características de la capacidad de reacción de estos frente a la aplicación de fuerzas externas. Para esto se realizaron tres ensayos, tensión paralela a la fibra, compresión y flexión a tres puntos, los resultados de dichos ensayos se presentan a continuación.

##### **4.3.2.1 Ensayo de tensión paralela a la fibra.**

El ensayo de tensión paralela a la fibra se realiza para identificar el módulo de elasticidad del material, los resultados de este se presentan a continuación.

Pruebas de paneles de 10% de resina y 90% de cascarilla de café.

Se realizaron ensayos de tensión paralela a la fibra y ensayos de flexión para estudiar el comportamiento tensión-deformación mediante la máquina universal de ensayos (UTM).

En la tabla 4 se presentan las características de la probeta.

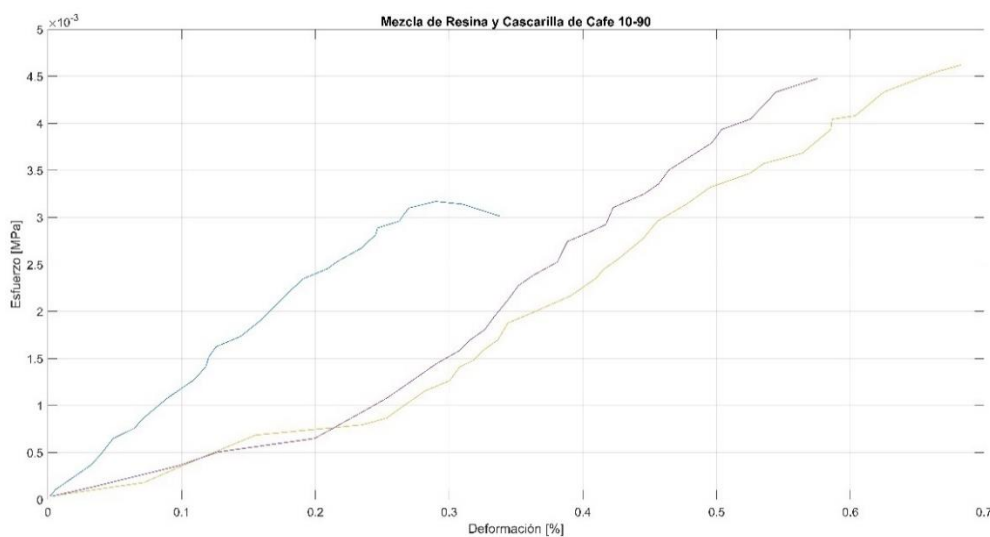
**Tabla 4**

*Información de la probeta, relación 10-90*

INFORMACIÓN DE LA PROBETA					
<b>ANCHURA</b>	<b>27,120</b>	<b>ESPESOR</b>	<b>10,030</b>	<b>LONGITUD</b>	<b>201,180</b>
(mm)		(mm)		(mm)	
<b>AREA</b>	<b>272,014</b>	<b>FUERZA</b>	<b>1,780</b>		
(mm <sup>2</sup> )		MÁX. (kN)			

En la figura 17 se presenta el gráfico de la tensión paralela a la fibra vs el porcentaje de deformación para las tres probetas de resina y cascarilla de café en una proporción de 10-90.

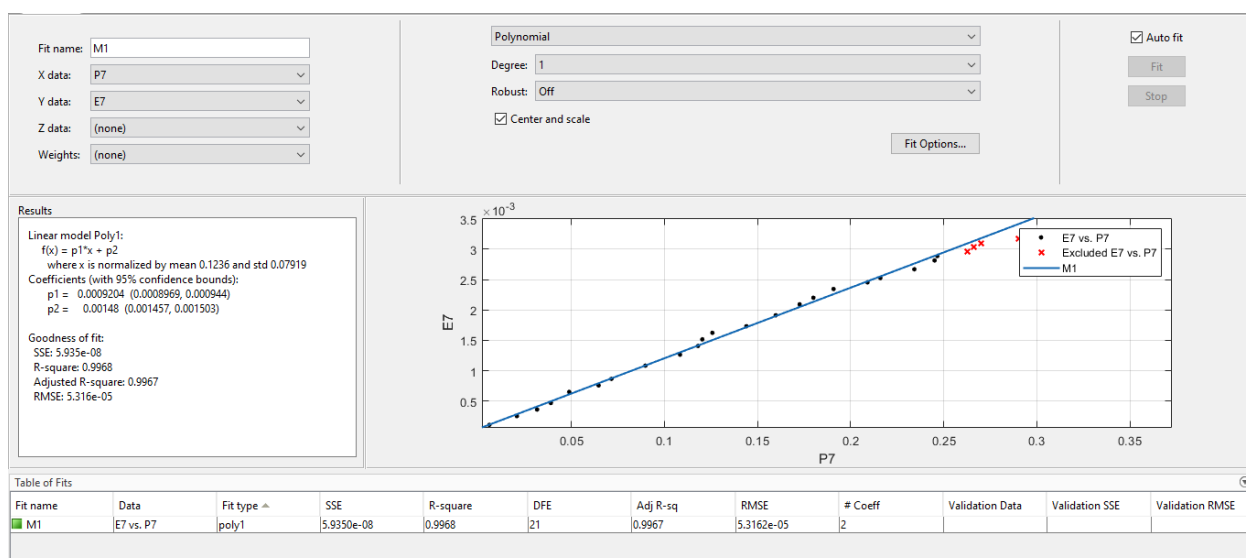
**Figura 17.** *Gráfica de esfuerzo contra porcentaje de deformación, probeta resina- cascarilla de café proporción 10-90.*



Para la gráfica de la figura 17 se realizó el análisis de los datos utilizando la app de Matlab curve fitting, dando como resultado la figura 18, en esta se evidencia la recta de cuya

pendiente indica el módulo de elasticidad del material a de resina y cascarilla de café con una proporción 10-90, el objetivo de utilizar esta aplicación es encontrar el módulo elástico de la muestra para su respectivo análisis. Es de anotar que el módulo elástico indica la capacidad de un material de soportar la tensión, es un indicador de la rigidez de este, para esto se haya la pendiente de la parte lineal de la curva denominada campo elástico dando como resultado el módulo de elasticidad que para este caso es de 0,0009204 MPa.

**Figura 18.** Gráfica de la app curve fitting de Matlab, probeta resina - cascarilla de café proporción 10-90



**Pruebas de paneles de 15% de resina y 85% de cascarilla de café.**

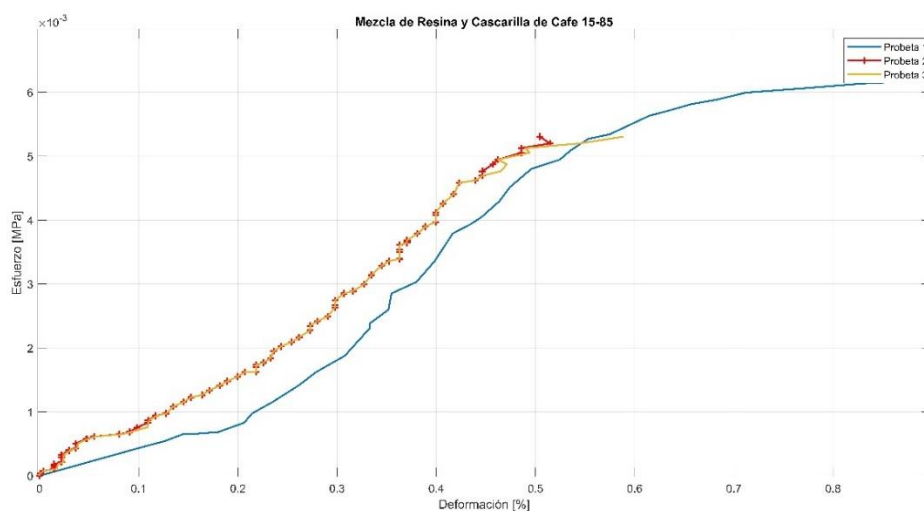
**En la tabla 5 se presentan las características de la probeta.**

**Tabla 5***Información de la probeta, relación 15-85*

INFORMACIÓN DE LA PROBETA					
<b>ANCHURA</b>	<b>28,570</b>	<b>ESPESOR</b>	<b>9,440</b>	<b>LONGITUD (mm)</b>	<b>200,370</b>
	(mm)		(mm)		
<b>AREA</b>	<b>269,701</b>	<b>FUERZA</b>	<b>1,910</b>		
	(mm <sup>2</sup> )	<b>MÁX. (kN)</b>			

En la figura 19 se presenta el gráfico de la tensión paralela a la fibra vs el porcentaje de deformación para las tres probetas de resina y cascarilla de café en una proporción de 15-85.

**Figura 19.** Gráfica de esfuerzo contra porcentaje de deformación, probeta resina- cascarilla de café proporción 15-85



Para la gráfica de la figura 19 se realizó el análisis de los datos utilizando la app de Matlab curve fitting, dando como resultado la figura 20, aquí se evidencia la recta de cuya pendiente indica el módulo de elasticidad del material a de resina y cascarilla de café con una



proporción 15-85, se analiza la parte lineal de la curva denominada campo elástico dando como resultado 0,001443MPa.

### Pruebas de paneles de 20% de resina y 80% de cascarilla de café.

En la tabla 6 se presentan las características de la probeta.

Figura 20. Gráfica de la app curve fitting de Matlab, probeta resina - cascarilla de café proporción 15-85

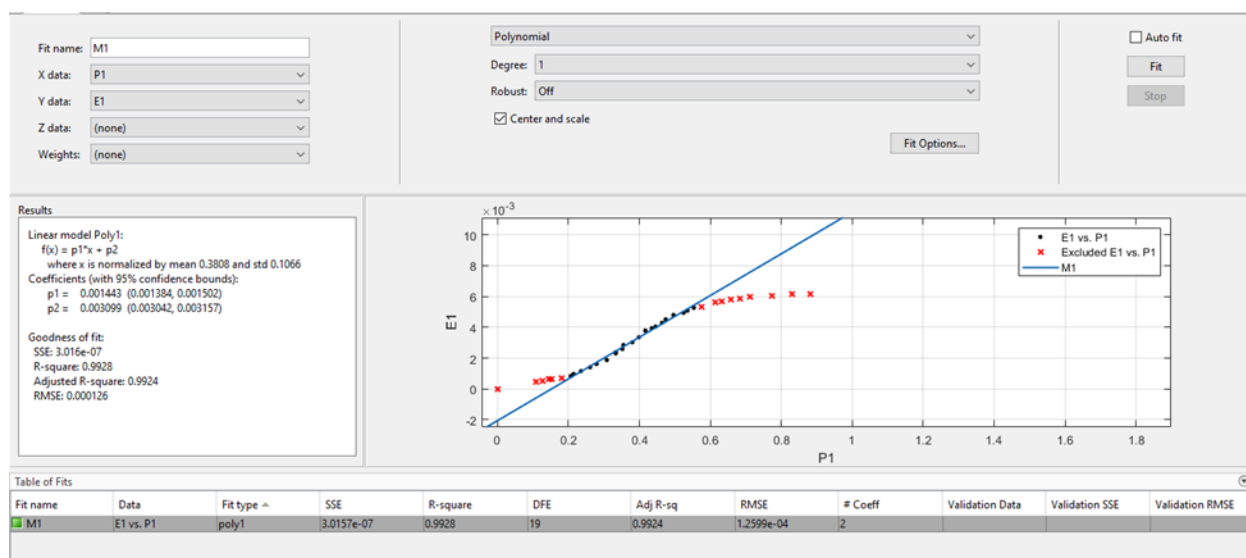
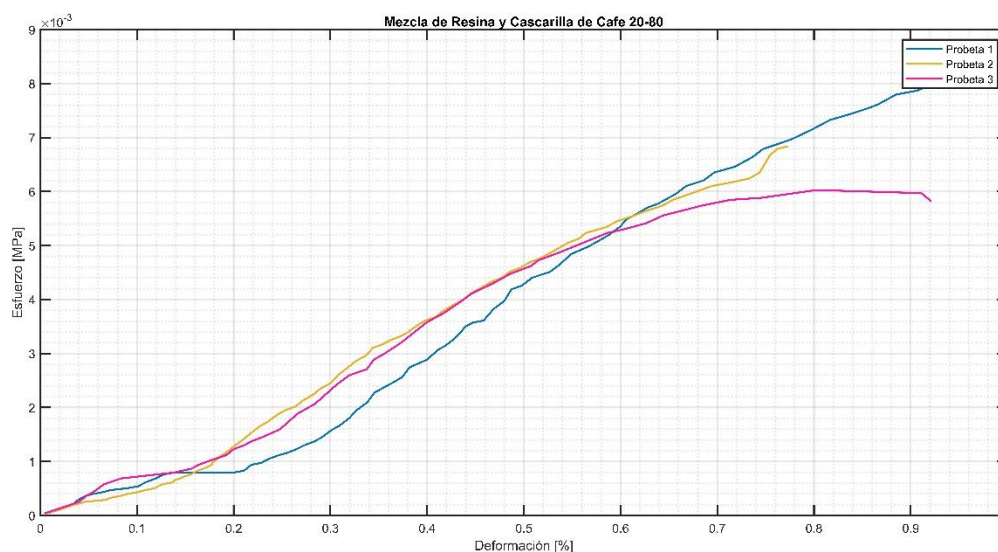


Tabla 6. Información de la probeta, relación 20-80.

INFORMACIÓN DE LA PROBETA					
<b>ANCHURA (mm)</b>	<b>27,450</b>	<b>ESPESOR</b>	<b>9,650</b>	<b>LONGITUD</b>	<b>202,400</b>
		(mm)		(mm)	
<b>AREA (mm<sup>2</sup>)</b>	<b>264,892</b>	<b>FUERZA</b>	<b>1,730</b>		
		MÁX. (kN)			

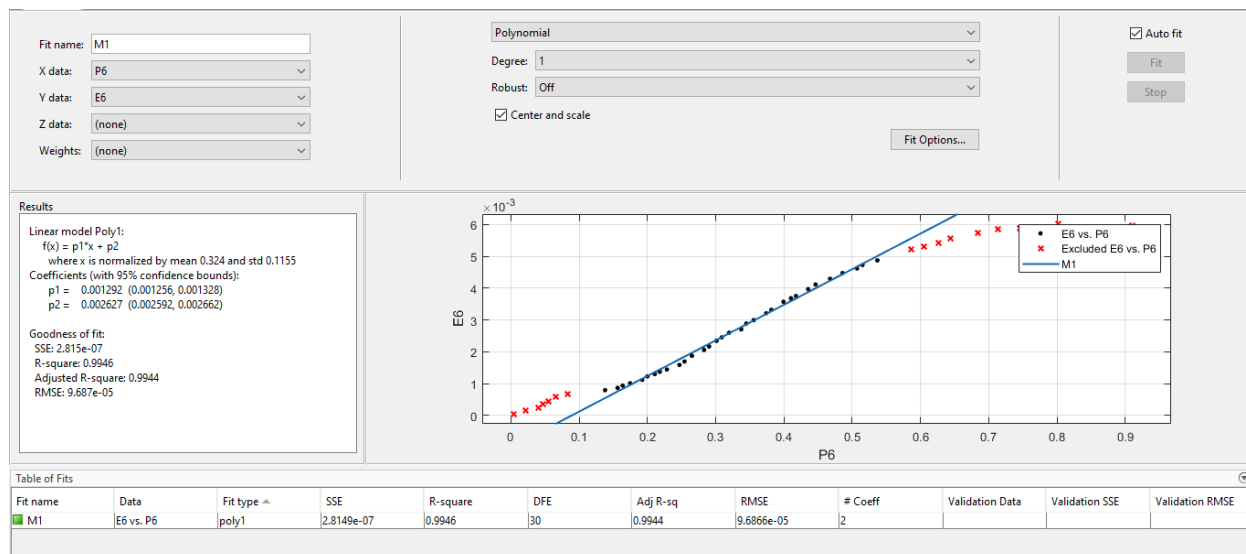
En la figura 21 se presenta el gráfico de la tensión paralela a la fibra vs el porcentaje de deformación para las tres probetas de resina y cascarilla de café en una proporción de 20-80.

**Figura 21.** Gráfica de esfuerzo contra porcentaje de deformación, probeta resina- cascarilla de café proporción 20-80.



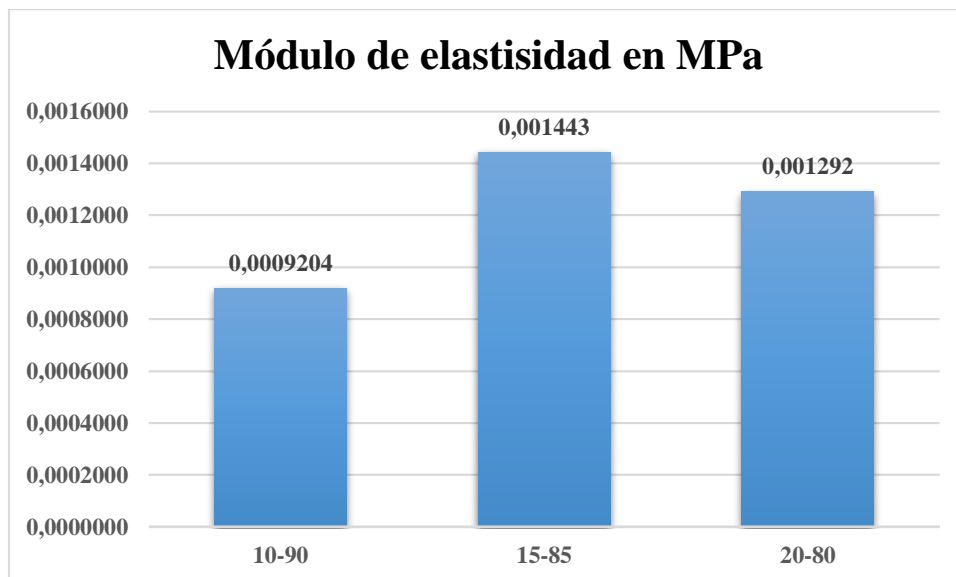
Para la gráfica de la figura 21 se realizó el análisis de los datos utilizando la app de Matlab curve fitting, dando como resultado la figura 22, aquí se evidencia la recta de cuya pendiente indica el módulo de elasticidad del material a de resina y cascarilla de café con una proporción 20-80, se analiza la parte lineal de la curva denominada campo elástico dando como resultado 0,001292MPa.

**Figura 22.** Gráfica de la app curve fitting de Matlab, probeta resina - cascarilla de café proporción 20-80.



La muestra con un porcentaje de 20-80, es decir, el 20% de resina, muestra la resistencia mínima a la tensión, que es de 1,730 kN, y la muestra con un porcentaje de 15-85, es decir, el 15% de resina, muestra la resistencia mínima a la tensión, que es de 1,910 kN a la rotura. Lo cual es coherente con los datos del módulo de elasticidad, el cual presenta para la probeta de 15-85 un módulo de 0,001443 MPa como se muestra en la figura 23.

**Figura 23.** Gráfica comparativa de módulos de elasticidad de las probetas resina- cascarilla de café en diferentes proporciones



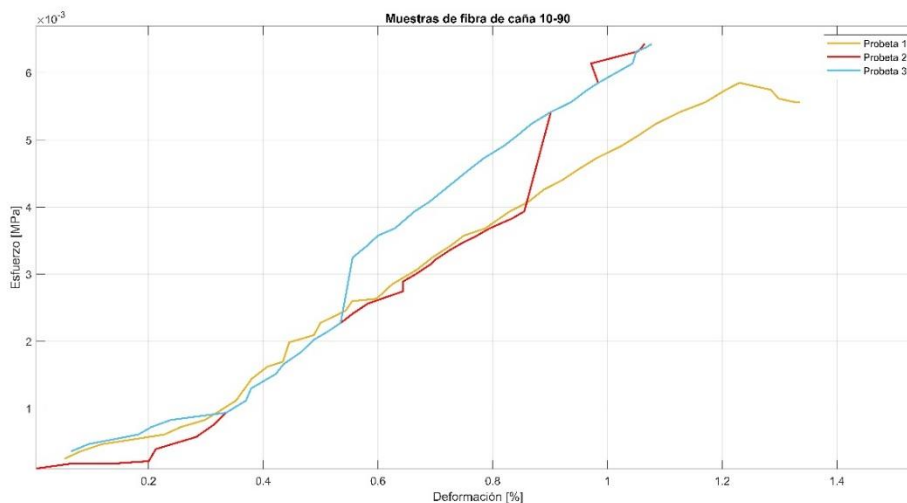
Para la fibra natural de bagazo de caña, que se mezcló con resina, también se le realizaron las respectivas pruebas físicas para estudiar el comportamiento tensión-deformación mediante la máquina universal de ensayos (UTM). En la tabla 7 se presentan las características de la probeta.

**Tabla 7**

*Información de la probeta, relación 10-90.*

<b>INFORMACIÓN DE LA PROBETA</b>					
<b>ANCHURA</b>	<b>28,310</b>	<b>ESPESOR</b>	<b>8,690</b>	<b>LONGITUD</b>	<b>202,080</b>
(mm)		(mm)		(mm)	
<b>AREA (mm<sup>2</sup>)</b>	<b>246,014</b>	<b>FUERZA</b>	<b>1,090</b>		
		MÁX. (kN)			

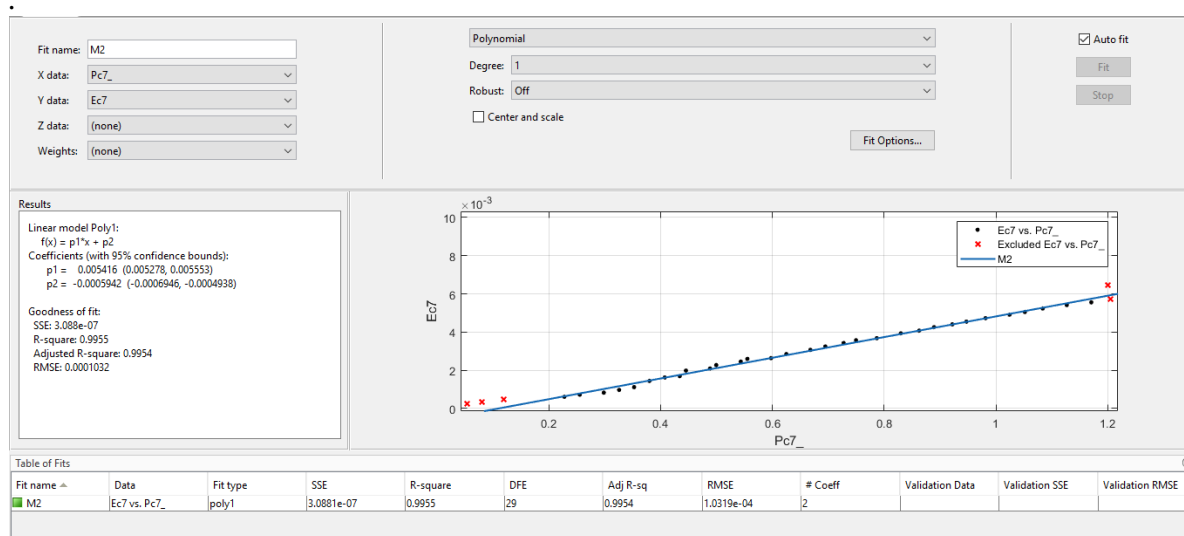
**Figura 24.** Gráfica de fuerza contra tiempo, probeta resina-bagazo de caña proporción 10-90.



En la figura 24 se presenta el gráfico de la tensión paralela a la fibra vs el porcentaje de deformación para las tres probetas de resina y bagazo de caña en una proporción de 10-90.

Para la gráfica de la figura 24 se realizó el análisis de los datos utilizando la app de Matlab curve fitting, dando como resultado la figura 25, aquí se evidencia la recta de cuya pendiente indica el módulo de elasticidad del material a de resina y cascarilla de café con una proporción 10-90, se analiza la parte lineal de la curva denominada campo elástico dando como resultado 0,005416MPa.

**Figura 25.** Gráfica de la app curve fitting de Matlab, probeta resina - bagazo de caña proporción 10-90.



En la figura 26 se representa un gráfico de la tensión paralela a la fibra, para la probeta de resina y bagazo de caña en una proporción de 15-85, en la tabla 8 se presentan las características de la probeta.

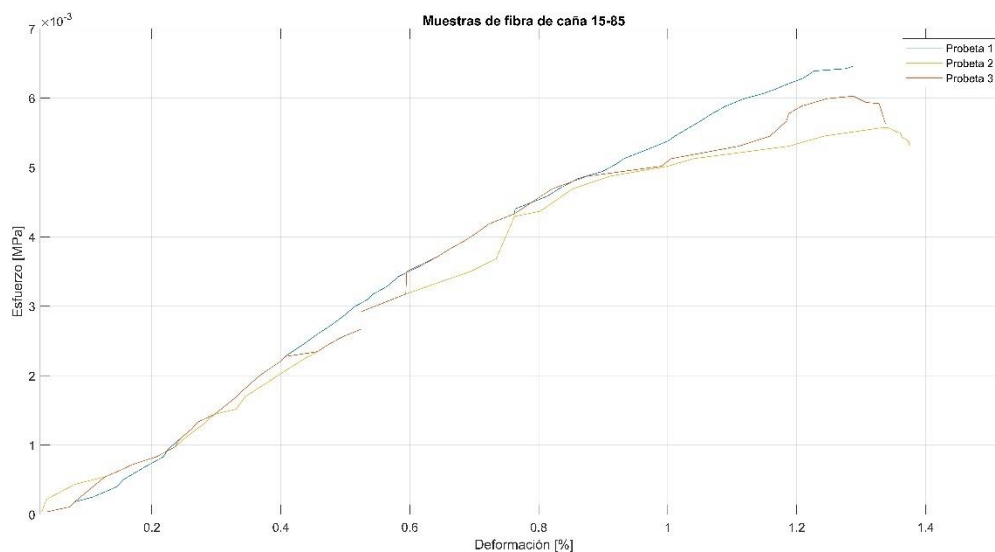
**Tabla 8**

*Información de la probeta, relación 15-85*

INFORMACIÓN DE LA PROBETA					
<b>ANCHURA</b>	<b>25,760</b>	<b>ESPESOR</b>	<b>9,700</b>	<b>LONGITUD</b>	<b>203,070</b>
(mm)		(mm)		(mm)	
<b>AREA</b>	<b>249,872</b>	<b>FUERZA</b>	<b>1,760</b>		
(mm <sup>2</sup> )		MÁX. (kN)			

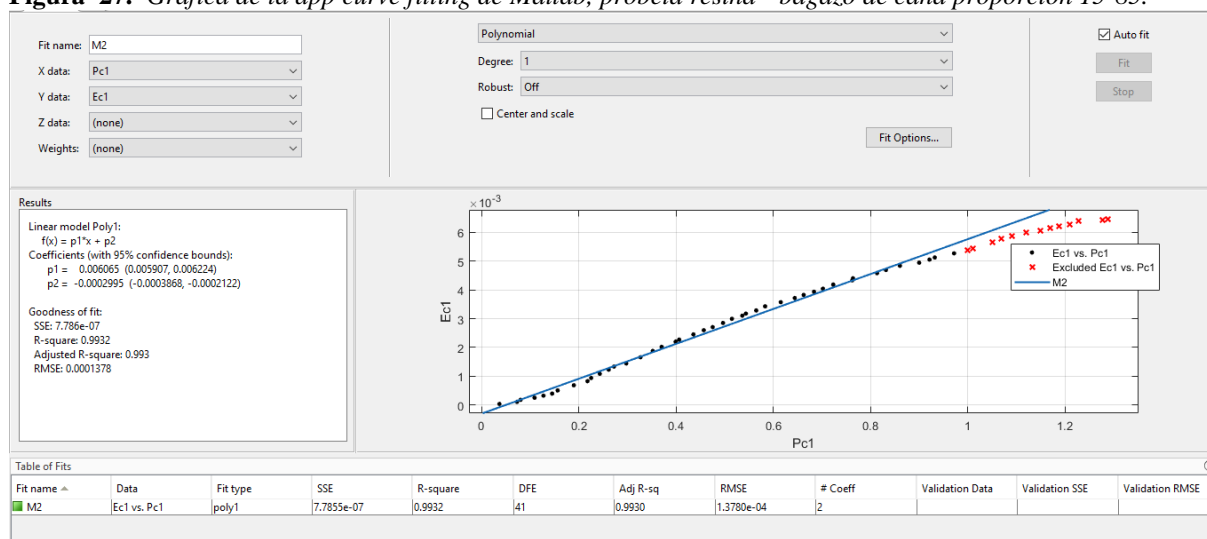
En la figura 26 se presenta el gráfico de la tensión paralela a la fibra vs el porcentaje de deformación para las tres probetas de resina y bagazo de caña en una proporción de 15-85.

**Figura 26.** Gráfica de fuerza contra tiempo, probeta resina-bagazo de caña proporción 15-85.



Para la gráfica de la figura 26 se realizó el análisis de los datos utilizando la app de Matlab curve fitting, dando como resultado la figura 27, aquí se evidencia la recta de cuya pendiente indica el módulo de elasticidad del material a de resina y cascarilla de café con una proporción 10-90, se analiza la parte lineal de la curva denominada campo elástico dando como resultado 0,006065 MPa.

**Figura 27.** Gráfica de la app curve fitting de Matlab, probeta resina - bagazo de caña proporción 15-85.



En la gráfica de la figura 27 se evidencia la recta de cuya pendiente indica el módulo de elasticidad del material a de resina y cascarilla de café con una proporción 15-85.

En la tabla 9 se presentan las características de la probeta.

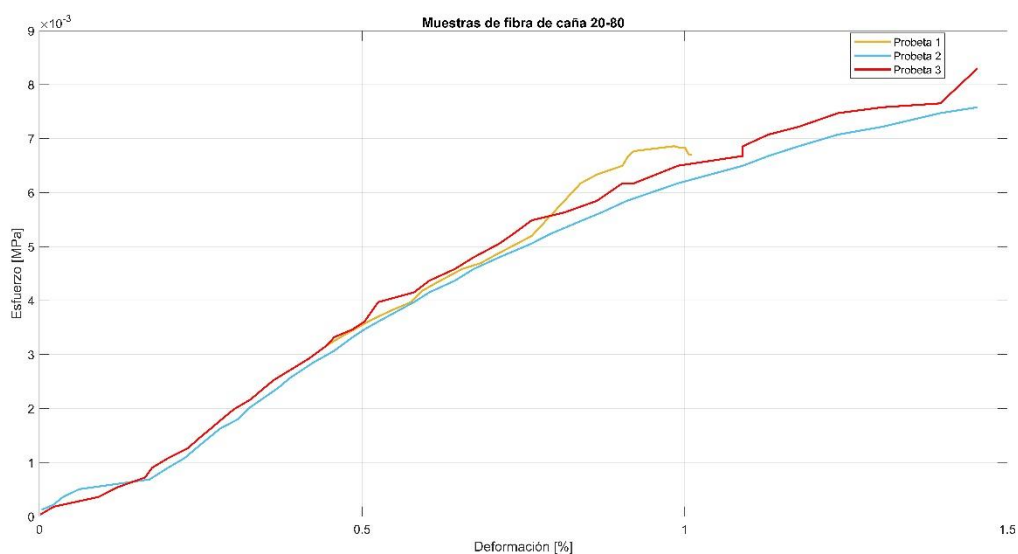
**Tabla 9**

*Información de la probeta, relación 20-80.*

INFORMACIÓN DE LA PROBETA					
<b>ANCHURA</b>	<b>27,430</b>	<b>ESPESOR (mm)</b>	<b>10,220</b>	<b>LONGITUD (mm)</b>	<b>203,600</b>
	<b>(mm)</b>				
<b>AREA (mm<sup>2</sup>)</b>	<b>280,335</b>	<b>FUERZA MÁX.</b>	<b>2,110</b>		
		<b>(kN)</b>			

En la figura 28 se presenta el gráfico de la tensión paralela a la fibra vs el porcentaje de deformación para las tres probetas de resina y bagazo de caña en una proporción de 20-80.

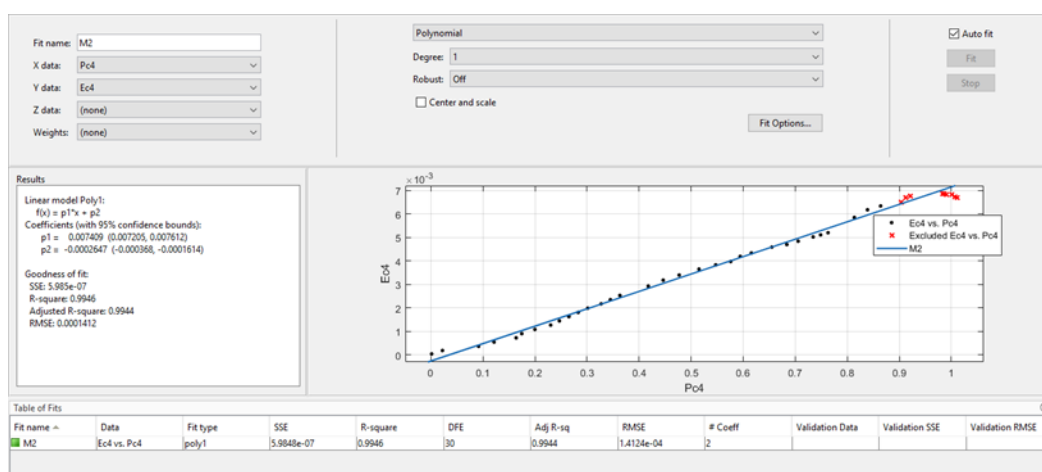
**Figura 28.** *Gráfica de fuerza contra tiempo, probeta resina-bagazo de caña proporción 15-85.*





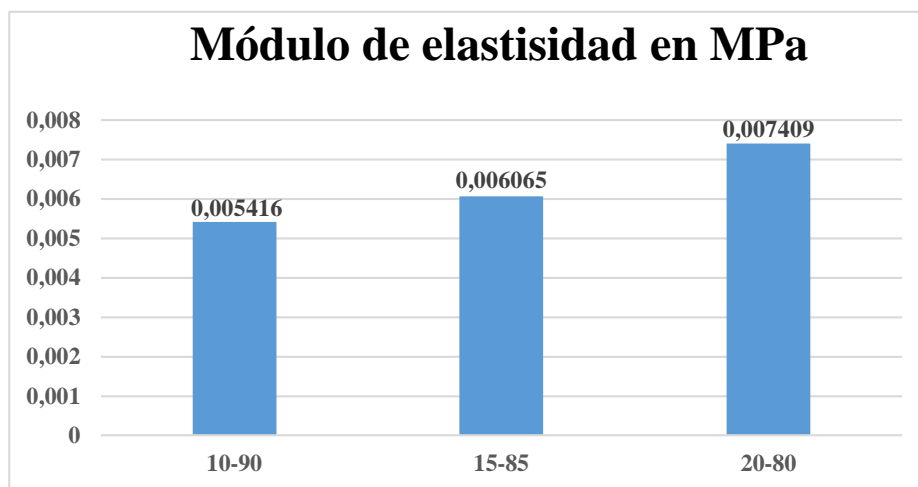
Para la gráfica de la figura 28 se realizó el análisis de los datos utilizando la app de Matlab curve fitting, dando como resultado la figura 29, aquí se evidencia la recta de cuya pendiente indica el módulo de elasticidad del material a de resina y cascarilla de café con una proporción 20-80, se analiza la parte lineal de la curva denominada campo elástico dando como resultado 0,007409MPa.

**Figura 29.** Gráfica de la app curve fitting de Matlab, probeta resina - bagazo de caña proporción 20-80.



La muestra con un porcentaje de 10-90, es decir, el 10% de resina 90% de fibra natural de bagazo de caña, muestra la resistencia mínima a la tensión, que es de 1,090 kN, la muestra con un porcentaje de 15-85, muestra la resistencia mínima a la tensión, que es de 1,760 kN a la rotura, la muestra con un porcentaje de 20-80, muestra la resistencia mínima a la tensión, que es de 2,110kN a la rotura. Lo cual es coherente con los datos del módulo de elasticidad, el cual presenta para la probeta de 20-80 un módulo de 0,007409MPa como se muestra en la figura 30.

**Figura 30.** Gráfica comparativa de módulos de elasticidad de las probetas resina- bagazo de caña en diferentes proporciones



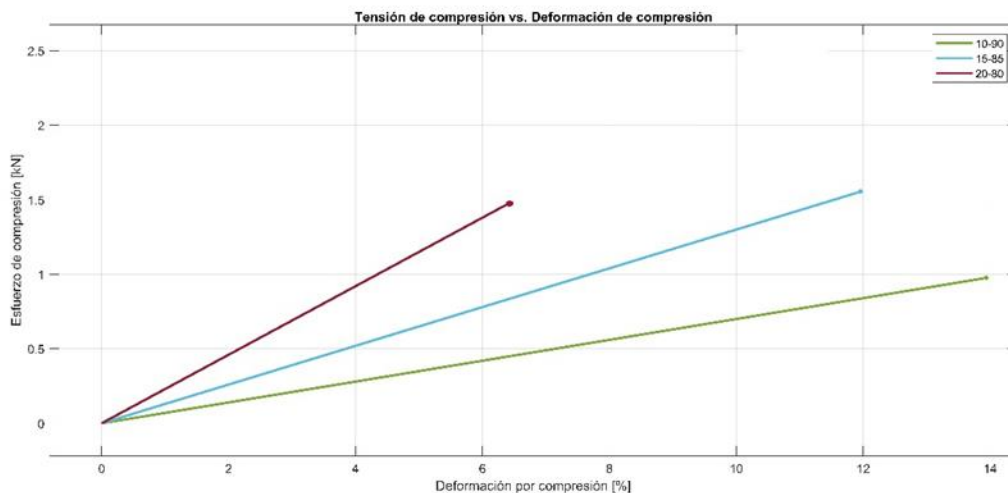
De la gráfica se desprende que para el porcentaje 20-80 de peso del refuerzo se produce un incremento correspondiente en la capacidad de la mezcla y adicional a esto se evidencia que el bagazo de caña presenta mejores resultados que la cascarilla de café, siendo consecuentes con los módulos de elasticidad de los dos materiales, el módulo de elasticidad de la fibra de bagazo de caña con proporción 20-80 da el mejor resultado.

#### **4.3.3 Ensayo de compresión.**

En la figura 31 se muestra un gráfico del esfuerzo de compresión con respecto al porcentaje de deformación por compresión, para el ensayo de compresión de las probetas de resina y cascarilla de café en las tres proporciones propuestas. En la gráfica se evidencia que la probeta con proporción de 15% de resina y 85% de cascarilla de café posee mayor resistencia a

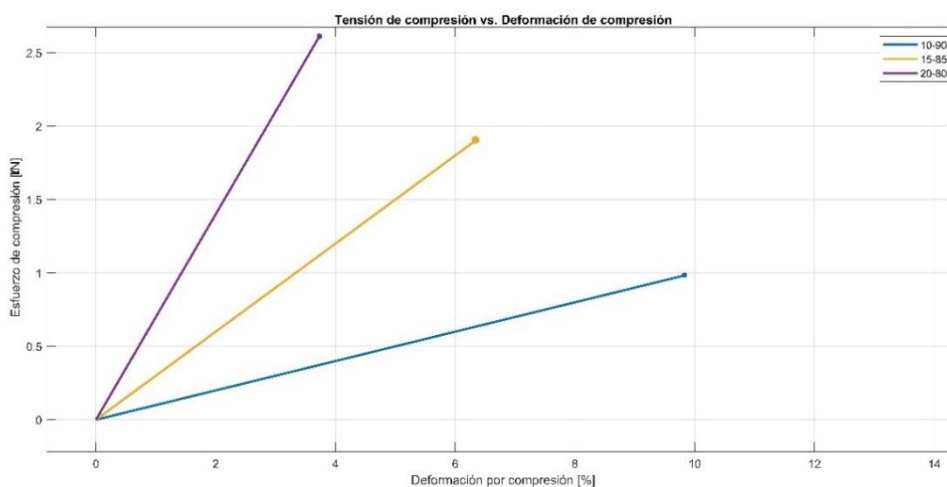
la compresión soportando una carga de 1578N a la rotura.

**Figura 31.** Gráfica comparativa de esfuerzo de compresión de la probeta de resina-cascarilla de café.



En la figura 32 se muestra un gráfico del esfuerzo de compresión con respecto al porcentaje de deformación por compresión, para el ensayo de compresión de las probetas de resina y bagazo de caña en las tres proporciones propuestas. En la gráfica se evidencia que la probeta con proporción de 20% de resina y 80% de bagazo de caña, posee mayor resistencia a la compresión soportando una carga de 2693N a la rotura.

**Figura 32.** Gráfica comparativa de esfuerzo de compresión de la probeta de resina-bagazo de caña

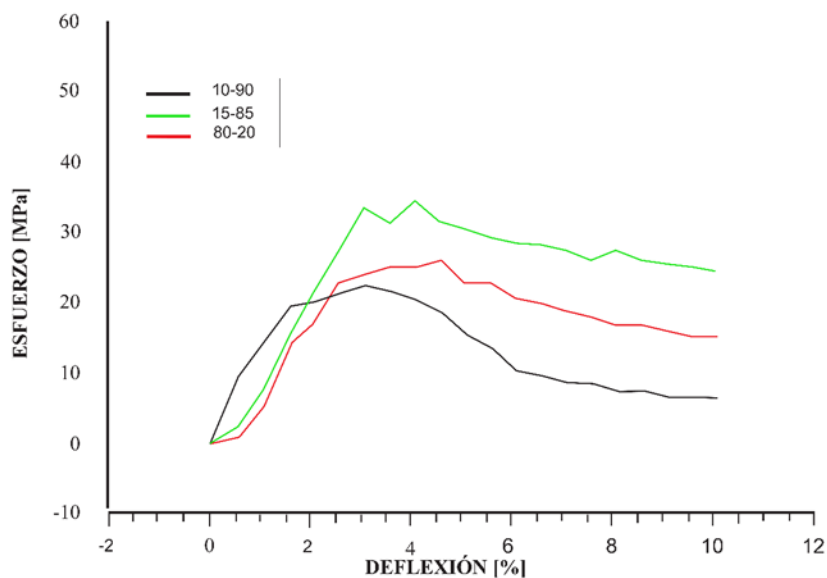


De la gráfica anterior se desprende que a medida que se incrementa el porcentaje de peso de la armadura hay un incremento correspondiente en la capacidad de carga. El patrón se sigue, es decir, con un aumento de la fase de refuerzo, las propiedades mecánicas también aumentan.

#### **4.3.4 Ensayo de flexión a tres puntos.**

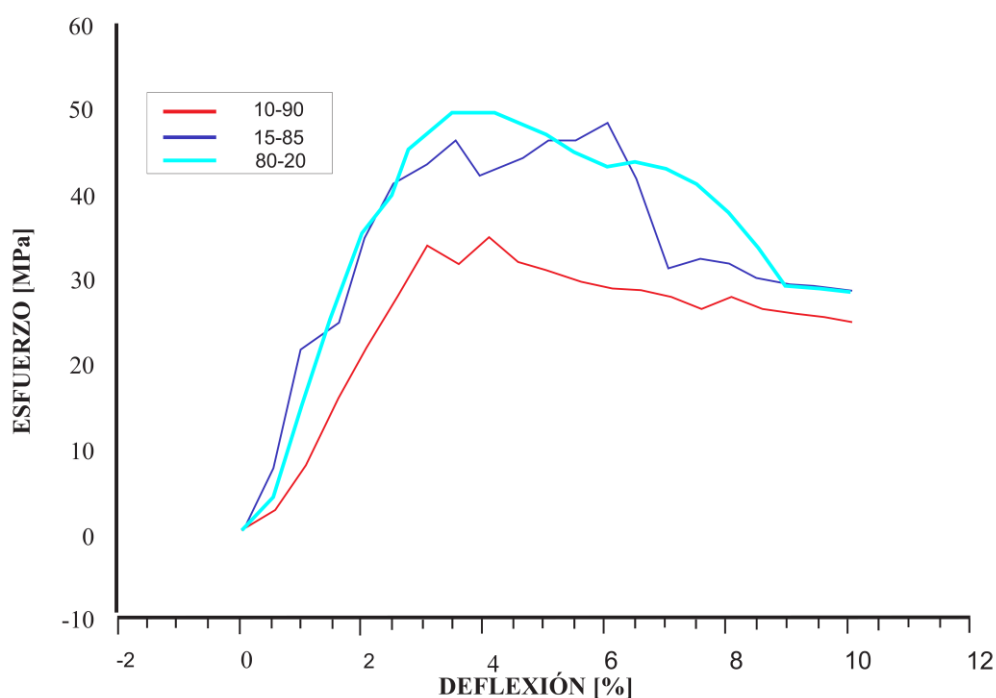
La figura 33 muestra el gráfico de la tensión de flexión frente a la deformación de flexión de un ensayo de flexión para las probetas de resina y cascarilla de café. En el gráfico, la muestra 10-90 con el menor porcentaje de refuerzo muestra una tensión de flexión de 22,42 MPa a la rotura y la muestra 15-85 con el mayor porcentaje de refuerzo muestra una tensión de flexión de 38,56 MPa a la rotura.

**Figura 33.** Gráfica comparativa de la tensión de flexión frente a la deformación de resina y cascarilla de café.



La figura 34 muestra el gráfico de la tensión de flexión frente a la deformación de flexión de un ensayo para las probetas de resina y bagazo de caña. En el gráfico, la muestra 10-90 con el menor porcentaje de refuerzo muestra una tensión de flexión de 35,42 MPa a la rotura y la muestra 20-80 con el mayor porcentaje de refuerzo muestra una tensión de flexión de 51,63 MPa a la rotura. Esto indica que, con un incremento en el porcentaje de peso del refuerzo, la resistencia a la fractura en tres puntos también aumenta.

**Figura 34.** Gráfica comparativa de la tensión de flexión frente a la deformación de resina y cascarilla de café



#### 4.4 Descripción del proceso constructivo.

Los sistemas constructivos de muros divisorios de material compuesto como el propuesto, son soluciones adecuadas para el interior de edificios, pudiendo ser utilizados en obras nuevas y en obras de rehabilitación. Estos sistemas a diferencia del panel de yeso o drywall, que sólo se pueden aplicar en obras cerradas y ventiladas, que garanticen las condiciones de salubridad adecuadas, y nunca se deben aplicar en el exterior; por sus características descritas con anterioridad se pueden utilizar en exteriores.

Para llevar a cabo el proceso constructivo, se debe revisar las medidas de la pared para definir puntos de inicio y de finalización, trazar en el piso ambas caras del muro para definir el ancho, luego elevar al cielo raso los puntos iniciales y finales de las líneas trazadas en el piso,

trazar con la cimbra las líneas en la parte superior. Instalar las canales en el piso y en la parte superior de la pared, apoyadas preferiblemente sobre una banda acústica que la proteja de la humedad y límite los puentes acústicos al reducir el efecto de vibraciones. Fijar las canales a la superficie utilizando clavos de impacto, anclajes o chazos expansivos plásticos de  $\frac{1}{4}$  por 1 y  $\frac{1}{4}$  separados cada 61 cm y en forma de zigzag.

Primero inserte dentro de los canales los parales separados cada 40.7 o 61 cm, luego verifique que las perforaciones de los parales estén alineadas para permitir el paso de las tuberías eléctricas, después, atornille los parales en la canal inferior, por último, corte los parales entre 8 y 10 mm menos que la altura total de la pared, no se recomienda fijar las paredes a las canales para que el muro mantenga la dilatación de la estructura principal, de esta manera se puede absorber las deformaciones que la losa o vigas puedan tener.

#### Instalación Redes eléctricas hidráulicas y sanitarias.

Una de las mayores ventajas de la construcción con paneles de material compuesto, es la racional disposición de las tuberías eléctricas e hidráulicas, los parales tienen perforaciones estratégicamente ubicadas para permitir el paso de elementos a través de su alma sin afectar su desempeño estructural, en caso de instalar una caja o una salida hidráulica se recomienda instalar un refuerzo horizontal entre los parales.

Instalación de los aislantes térmicos y acústicos.

Una vez instalada la estructura se debe instalar una lana de fibra de vidrio para mejorar las características térmicas y acústicas del muro, esta deberá ir cortada con un ancho igual a la separación de los parales instalados, la lana debe ser fijada en la parte superior.

Fijación de las placas de material compuesto.

Una vez esté concluida la estructura es necesario instalar una placa de material compuesto sobre ambas caras de la estructura de forma vertical u horizontal, según la especificación de cada una de las tipologías del proyecto. Finalmente fijar las placas con tornillos tipo drywall número 6 x 1 pulgada o más, dependiendo del espesor y la combinación de las placas de la pared divisoria. Verificar que los tornillos ingresen a la placa y se fijen perpendicularmente en el paral y nunca de manera inclinada ya que esto daría como resultado una fijación deficiente.

#### **4.5 Ventajas ambientales y costos.**

El proceso de producción de los paneles de resina y fibras naturales, además de la resina MUF, solo interviene un agente químico que es el Hidróxido de sodio (NaOH), las ventajas del proceso son la alta relación de aspecto de la fibra, bajo costo, baja energía consumida y buenas propiedades mecánicas. Sin embargo, el impacto medioambiental es elevado, debido a las aguas residuales con pH alto (Pozo Morales, 2019). Para este caso en particular el proceso tiene un



aporte medio ambiental y es el aprovechamiento de la cascarilla de café y el bagazo de caña, que en su disposición final se utiliza como combustible generando contaminación, los gases emitidos suben a la atmósfera y se transportan en el aire atmosférico. Los óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ) y dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ), se combinan con el vapor de agua de los gases de combustión y atmosférico para formar ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ) y sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ). Si se forma  $\text{HCl}$  igualmente pasa a la atmósfera. El dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) de los gases de escape, en gran medida lo absorben las plantas, pero no todo; alguno pasa a formar ácido carbónico ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ). En la combustión también puede formarse  $\text{N}_2\text{O}$ , el óxido nitroso llamado “gas de la risa” por su efecto sobre el sistema nervioso es uno de los principales agentes del “efecto de invernadero.”.

En cuanto a la comparación con los paneles de yeso o drywall, sus propiedades mecánicas se puede decir claramente que el comportamiento del material compuesto lo supera en gran medida ya que según (Oliver-Ramírez et al., 2011) las propiedades físicas de los paneles de yeso sus pruebas de tensión están alrededor de 380 N, muy por debajo de los 1,09 kN que es el peor de los casos de las pruebas realizadas a las muestras. En el caso del módulo de rotura, el drywall este se encuentra alrededor de los 18.34 MPa y el resultado más bajo de las muestras se encuentra en 29.2 MPa siendo evidente los resultados de los materiales compuestos.

Para los costos, el proceso de producción del material compuesto, la resina de MUF es más costosa que la resina de poliéster insaturado, siendo el precio de la resina de MUF alrededor de \$118000 COP/Gl el resto de materiales del proceso son relativamente bajos, aunque hay que tener en cuenta el rendimiento de resina MUF debido a la proporción de resina y fibra natural lo que compensa en gran medida el costo de esta. Según lo anterior la producción de un metro

cuadrado de paneles de resina y fibra natural con 20% de resina, sele alrededor de \$11500, siendo un poco más costosas que el metro cuadrado de drywall del mismo espesor el cual está en \$10500.

## Conclusiones

A partir de los estudios realizados sobre la fabricación de materiales compuestos reforzados con fibras naturales de bagazo de caña y cascarilla de café, se concluye que el material tiene potencial para sustituir a los materiales de yeso tradicionales.

También se concluye que el uso de la fibra natural reduce la densidad de la resina en gran medida sin sacrificar el carácter mecánico del material compuesto, y por lo tanto, se producen compuestos de peso ligero.

El material desarrollado muestra una alta respuesta mecánica y se sigue un patrón en el que la capacidad de carga sigue aumentando a medida que se incrementa la fracción de peso de la fase dispersa, como se concluye de la prueba de flexión y de la prueba de compresión.

En las muestras de resina con fibras naturales la absorción de calor disminuye con el aumento de la cantidad de material de fibra natural, dando a entender que la matriz de fibra natural aumenta la resistencia térmica del material.

De los resultados de tensión paralela a la fibra se puede decir que la combinación de resina MUF y fibra natural presenta una respuesta superior a la del drywall, pero si se realiza la comparación entre las fibras naturales analizadas, el bagazo de caña presenta mejor respuesta que la cascarilla de café, esto debido a la disposición de la fibra de bagazo de caña ya que esta tiene un punto de ruptura mucho mayor al de la cascarilla.

En los ensayos de flexión y compresión, la respuesta del material compuesto de resina MUF con matriz de fibra natural es mejor que la del drywall, siendo el material compuesto por resina MUF y bagazo de caña el de mejor respuesta, reiterando el aporte superior de la fibra del bagazo de caña.

En cuanto a costos, se puede decir que, la producción de material de resina MUF y fibra natural es relativamente económica, ya que el metro cuadrado sale alrededor de \$11500 siendo un poco más costoso que el metro cuadrado de drywall, pero con la ventaja que no absorbe humedad, por lo tanto el material desarrollado puede utilizarse para la construcción de muros divisorios tanto internos como externos gracias a sus propiedades térmico acústicas que hacen que resalte en mayor magnitud en comparación al tradicional panel de yeso.

## Recomendaciones

Dado que la investigación en materiales se ha extendido a campos más amplios y que los tipos de materiales varían mucho de unos a otros, se recomienda adquirir los complementos necesarios para la toma de datos en pruebas de tensión, dado que al momento de hacer los ensayos con las muestras de resina-bagazo de caña y resina-cascarilla de café, no fue posible que el equipo captara la deformación que estaba sufriendo el material, por consiguiente se tuvo que tomar un video del cual fueron extraídos los datos, proceso que fue muy tedioso ya que dicha información debería proporcionarla el equipo.

Teniendo en cuenta que los paneles divisorios son un elemento constructivo y tienen la capacidad de funcionar como aislador térmico entre dos espacios, se sugiere implementar ensayos donde se puedan tomar datos que determinen que tan aislante puede ser este tipo de muro.

Para darle continuidad a este proyecto se pueden hacer ensayos de caracterización para mirar la microestructura del material utilizando el microscopio electrónico de barrido que fue adquirido por la universidad y de esta manera mirar la homogeneidad y la distribución interna de la muestra.

## Referencias

- Adams, R. (2005). *Adhesive bonding, Science, technology and applications*. Cambridge: Woodhead Publishing Limited.
- Aguilar Rivera, N. (2011). Efecto del almacenamiento de bagazo de caña en las propiedades físicas de celulosa grado papel Effect of Storing of Sugar Cane Bagasse on Physical Properties from Cellulose for Paper. *Ingenieria Investigacion y Tecnología, XII*, 189–197.
- Bermello, A., Días, D., Martínez, R., Quintana, G., Mieres, G., & Leal, Juan A. (2008). Estudio de un material compuesto de partículas de bagazo de caña y matriz de polietileno mediante espectrometría FTIR. *ICIDCA. Sobre Los Derivados de La Caña de Azúcar, XLII*(ISSN 0138-6204), 106–111.
- CAFEMALIS. (2021). *Cascara de Café: Usos, Proceso y Características*. <https://cafemalist.com/cascara-de-cafe/>
- Campo, M., Escalera, M. D., Torres, B., Rams, J., & Ureña, A. (2007). Wear behaviour of coatings of aluminium matrix composites fabricated by thermal spray method. *Revista de Metalurgia, 43*(5). <https://doi.org/10.3989/revmetalm.2007.v43.i5.80>
- Clotario, T., Cecilia, P., Andrés, S., & Alcides, L. (2005). ELABORACIÓN DE TABLEROS DE PARTICULA FINA A PARTIR DE RESIDUOS LIGNOCELULÓSICOS Y RESINAS TERMOESTABLES. *Revista Forestal Venezolana, 002*(ISSN 0556-6606).
- La república. (2019, March 18). *Huila es el departamento líder cafetero con 16% del área cultivada*. <https://www.larepublica.co/especiales/ruta-del-cafe/huila-es-el-departamento-lider-cafetero-con-16-del-area-cultivada-2840686>

- León-martínez, T. S., Dopíco-ramírez, D., & Triana-hernández, O. (2013). Paja de la caña de azúcar. Sus usos en la actualidad. *ICIDCA. Sobre Los Derivados de La Caña de Azúcar*, 47(2), 13–22.
- Liu, K.-L., Kuo, P.-Y., Han, J.-L., & Hsieh, K.-H. (2020). Influence of Bioadditives Made from Sugarcane Bagasse on Interpenetrating Polymer Networks. *International Journal of Polymer Science*, 2020, 1–15. <https://doi.org/10.1155/2020/8084940>
- 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. In *Repo.Uta.Edu.Ec.* <http://repo.uta.edu.ec/bitstream/handle/123456789/5301/Mg.DCEv.Ed.1859.pdf?sequence=3>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2021). *Minambiente reglamenta manejo y disposición de residuos de construcción y escombros | Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible*. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible 2021. <https://www.minambiente.gov.co/index.php/noticias/2681-minambiente-reglamenta-manejo-y-disposicion-de-residuos-de-construccion-y-escombros>
- Murthy, P. S., & Naidu, M. M. (2012). Recovery of Phenolic Antioxidants and Functional Compounds from Coffee Industry By-Products. *Food and Bioprocess Technology*, 5(3), 897–903. <https://doi.org/10.1007/S11947-010-0363-Z>
- niasamx. (2018). Tipos de paneles para remodelaciones limpias y rápidas. *BLOG NIASA*. <https://www.niasa.com.mx/tipos-de-paneles-para-remodelaciones/>
- Oliveira, S. L., Mendes, R. F., Mendes, L. M., & Freire, T. P. (2016). Particleboard Panels Made

- from Sugarcane Bagasse: Characterization for Use in the Furniture Industry. *Materials Research*, 19(4), 914–922. <https://doi.org/10.1590/1980-5373-MR-2015-0211>
- Oliver-Ramírez, A., García-Santos, A., & Neila-González, F. J. (2011). Caracterización física y mecánica de placas de yeso con materiales de cambio de fase incorporados para Imacenamiento de energía térmica mediante calor latente. *Materiales de Construcción*, 61(303), 465–484. <https://doi.org/10.3989/mc.2011.53309>
- Perea Rentería, Y. A. (2012). *SISTEMAS CONSTRUCTIVOS Y ESTRUCTURALES APLICADOS AL DESARROLLO HABITACIONAL YUBELY*.
- Pozo Morales, A. R. (2019). *Materiales Compuestos de Fibras Naturales*. 277. [http://oa.upm.es/55053/1/ANGEL\\_RENATO\\_POZO\\_MORALES.pdf](http://oa.upm.es/55053/1/ANGEL_RENATO_POZO_MORALES.pdf)
- Quecafé.info. (2020). *Subproductos del café: valor agregado para el negocio – Qué Café!* <https://quecafe.info/usos-alternativos-subproductos-cafe/>
- Radio nacional de Colombia [RTVC]. (2020, August 28). *La puerta dulce del Catatumbo*. <https://www.radionacional.co/cultura/convencion-la-puerta-dulce-del-catatumbo>
- RAMOS GÓMEZ, O. G. (2005). Vista de Caña de azúcar en Colombia. *Revista de Indias*, 49–78. <https://revistadeindias.revistas.csic.es/index.php/revistadeindias/article/view/376/445>
- Rathinavelu, R., & Graziosi, G. (2005). Posibles usos alternativos de los residuos y subproductos del café. *International Coffee Organization*.
- RIOS MENESES, T. (2016). *Fabricación de material compuesto de PLA reforzado con cerámico bioactivo para la fabricación de material de osteosíntesis*.
- Sharma, M., Sharma, R., & Chandra Sharma, S. (2021). A review on fibres and fillers on



improving the mechanical behaviour of fibre reinforced polymer composites. *Materials Today: Proceedings*, 46, 6482–6489. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.03.667>

Universidad Nacional del Litoral, [UNL]. (2017). *Bagazo de la caña de azúcar para producir papel reciclado*. Residuos Profesional. <https://www.residuosprofesional.com/bagazo-cana-azucar-papel-reciclado/>

RIC. (2000). The Rainforest Information Centre. Recuperado el 10 de Noviembre de 2010, de The RIC Good Wood Project: [http://www.rainforestinfo.org.au/good\\_wood/glue.htm](http://www.rainforestinfo.org.au/good_wood/glue.htm)

Ropero, D., & Comas, A. (2013). Construcción modular de viviendas y arquitectura, 77. Retrieved from

[http://eraikal.blog.euskadi.eus/wp-content/uploads/2013/01/Construcci\\_n-Modular-y-Arquitectura-2.pdf](http://eraikal.blog.euskadi.eus/wp-content/uploads/2013/01/Construcci_n-Modular-y-Arquitectura-2.pdf)

## **Apéndices**

## Apéndice A. Información del producto

### Información del producto

#### Sistema MUF y fibras naturales de cascarilla de café y bagazo de caña

Se presenta varias proporciones : 10/90=10% de resina MUF- 90% de fibra natural;15/85=15% de resina MUF- 85% de fibra natural; 20/80=20% de resina MUF- 80% de fibra natural.

Producto	Cascarilla de café	Cagazo de caña
Forma de presentación	Panel solido	Panel solido
Espesor	8 mm	8 mm
Color	café	marron claro
Densidad	Proporción	kg / m <sup>3</sup>
	10/90	1230,01
	15/85	1200,16
	20/80	1130,8
Modulo de elasticidad	Proporción	Mpa
	10/90	0,00092
	15/85	0,00144
	20/80	0,00129
Flexión	Proporción	Mpa
	10/90	22,42
	15/85	38,56
	20/80	25,44
Compresión	Proporción	KN
	10/90	0,99
	15/85	1,57
	20/80	1,42

Aplicaciones	Muros divisorios
Tipo de prensa	prensa caliente
Temperatura de prensado	temperatura minima de presado 180-200 °C
Tiempo de prensado	15 min