



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

CAMPUS D'ALCOI

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Politécnica Superior de Alcoy

Caracterización mecánica, térmica y acústica de materiales compuestos por fibras de abacá provenientes de Ecuador y adhesivo natural.

Trabajo Fin de Máster

Máster Universitario en Ingeniería, Procesado y Caracterización de Materiales

AUTOR/A: Seis Aroca, Bryan Fabricio

Tutor/a: Juliá Sanchis, Ernesto

Cotutor/a: Montava Belda, Isaac

Cotutor/a: Segura Alcaraz, Jorge Gabriel

CURSO ACADÉMICO: 2023/2024

Resumen / Resum / Abstract

Mediante este estudio se pretenden conocer las propiedades tanto acústicas como mecánicas de diferentes muestras de materiales fabricados a partir de fibras de abacá como elemento principal en una matriz de adhesivo de procedimiento natural o biodegradable. El principal objetivo del trabajo consiste en conseguir la valoración de un material natural abundante en algunas zonas de Sudamérica y convertirlo en una alternativa sostenible entre los materiales empleados para reducir la contaminación acústica dentro del sector de la construcción. Las fibras de abacá provienen de la planta de abacá y son abundantes en países de Sudamérica, en concreto, las fibras utilizadas de variedad "Tangongón" son procedentes de Ecuador. Aunque su uso principal es la fabricación de papel moneda, bolsas de té, cuerdas, redes de pesca y calzado, se propone en este trabajo su utilización en la fabricación de nuevos materiales que permita dar solución al problema del ruido fabricando paneles aptos para el aislamiento y acondicionamiento acústico. Además, si la magnitud del trabajo y su temporalización lo permite, se estudiarán otras propiedades de interés, como el coeficiente de conductividad térmica.

Mitjançant este estudi es pretenen conèixer les propietats tant acústiques com mecàniques de diferents mostres de materials fabricats a partir de fibres de *abacá com a element principal en una matriu d'adhesiu de procediment natural o biodegradable. El principal objectiu del treball consisteix a aconseguir la valoració d'un material natural abundant en algunes zones de Sud-amèrica i convertir-lo en una alternativa sostenible entre els materials emprats per a reduir la contaminació acústica dins del sector de la construcció. Les fibres de abacá provenen de la planta de abacá i són abundants en països de Sud-amèrica, en concret, les fibres utilitzades són procedents de l'Ecuador. Encara que el seu ús principal és la fabricació de paper moneda, bosses de te, cordes, xarxes de pesca i calçat, es proposa en este treball la seua utilització en la fabricació de nous materials que permeta donar solució al problema del soroll fabricant panells aptes per a l'aïllament i condicionament acústic. A més, si la magnitud del treball i la seua temporalització ho permet, s'estudiaran altres propietats d'interés, com el coeficient de conductivitat tèrmica.

The aim of this study is to determine the acoustic and mechanical properties of different samples of materials made from abaca fibers as the main element in a natural or biodegradable adhesive matrix. The main objective of the work is to achieve the valuation of a natural material abundant in some areas of South America and make it a sustainable alternative among the materials used to reduce noise pollution in the construction sector. Abaca fibers come from the abaca plant and are abundant in South American countries, specifically, the fibers used come from Ecuador. Although its main use is the manufacture of paper money, tea bags, ropes, fishing nets and footwear, this work proposes its use in the manufacture of new materials to solve the problem of noise by manufacturing panels suitable for acoustic insulation and conditioning. In addition, if the magnitude of the work and its timing allow it, other properties of interest, such as the thermal conductivity coefficient, will be studied.

Palabras Clave / Paraules Clau / Key Words:

Caracterización acústica; caracterización mecánica; caracterización térmica; fibras de abacá; adhesivo natural.

Caracterització acústica; caracterització mecànica; caracterització tèrmica; fibres de abacá; adhesiu natural.

Acoustic characterization; mechanical characterization; thermal characterization; abaca fibers; natural adhesive.

Agradecimientos

En primer lugar, quiero expresar mi más profundo agradecimiento a mis directores del TFM, por su invaluable guía, paciencia y apoyo durante todo el proceso de elaboración de este trabajo. Su experiencia y conocimientos han sido fundamentales para la culminación de este proyecto.

Mi gratitud se extiende a todos los profesores y profesoras del Máster Universitario en Ingeniería, Procesado y Caracterización de Materiales de la Universidad Politécnica de Valencia campus de Alcoy, cuyas enseñanzas y consejos han sido una fuente de inspiración y conocimiento.

A mis amigos, gracias por su comprensión y aliento en los momentos de estrés y duda. Su amistad ha sido un pilar en este viaje académico.

No puedo dejar de mencionar a mi familia, especialmente a mis padres por su amor incondicional, apoyo emocional y sacrificio. Sin ellos, este logro no habría sido posible.

Finalmente agradezco a todas las personas que, de una u otra, contribuyeron al desarrollo de este trabajo.

Índice.

1. Objetivos y estructura.	1
1.1. Objetivos.	1
1.2. Estructura del proyecto.	1
2. Introducción.	2
2.1. Principios y conceptos básicos.	2
2.1.1. Abacá.	2
2.1.2. La fibra.	3
2.2. Fibra de abacá.	4
2.2.1. Propiedades del abacá.	4
2.2.2. Características agronómicas del abacá.	4
2.2.3. Producción y comercio.	5
2.2.4. Extracción de la fibra del abacá.	6
2.2.5. Usos del abacá.	7
2.2.6. Productores de abacá en Ecuador.	8
2.3. Adhesivos.	8
2.3.1. Adhesivos naturales.	8
2.3.2. Adhesivos sintéticos.	9
2.4. Almidón de yuca.	10
2.4.1. La yuca.	10
2.4.2. Almidón.	10
2.4.3. Composición química.	11
2.4.4. Propiedades del almidón.	12
2.5. Teoría absorción acústica.	13
2.5.1. Absorción acústica.	13
2.5.2. Aislamiento acústico.	14
2.5.3. Tiempo de reverberación.	15
2.5.4. Acondicionamiento acústico.	15
2.5.5. Coeficiente de absorción.	15
2.6. Objetivos del desarrollo sostenible (ODS).	16
3. Preparación de muestras.	16
3.1. Primeros prototipos.	16
3.2. Muestras definitivas.	18
4. Metodología.	25
4.1. Caracterización acústica.	26
4.1.1. Determinación del coeficiente de absorción acústica (acondicionamiento).	27

4.1.2.	Determinar del factor de perdida por transmisión (STL).	29
4.2.	Caracterización mecánica.	31
4.2.1.	Ensayo de tracción de la fibra.	31
4.2.2.	Ensayo de tracción de probetas.	33
4.3.	Caracterización térmica.	34
4.3.1.	Coefficiente de conductividad térmica.....	35
5.	Resultados y discusiones.	36
5.1.	Ensayos acústicos.....	38
5.1.1.	Absorción acústica.....	38
5.1.2.	Perdidas por transmisión de sonido (STL).....	43
5.2.	Ensayos mecánicos.	45
5.2.1.	Ensayos de tracción.....	45
5.2.2.	Ensayos de tracción de probetas.....	47
5.3.	Ensayos térmicos.	48
6.	Conclusiones y líneas futuras de investigación.	50
6.1.	Conclusiones	50
6.2.	Líneas futuras de investigación	51
7.	Bibliografía.	52
8.	Anexos.	55
8.1.	Relación del trabajo con los objetivos del desarrollo sostenible (ODS).....	55
8.2.	Tabla de figuras	56
8.3.	Tabla de contenidos.	57
8.4.	Ecuaciones.	58

1. Objetivos y estructura.

1.1. Objetivos.

Mediante este estudio se pretende conocer las propiedades acústicas de diferentes muestras fabricadas a partir de la fibra de abacá en una matriz de adhesivo de procedencia natural.

Y de esta manera conseguir la valoración de un material natural abundante en algunas zonas de Sudamérica y convertirlo en una alternativa sostenible entre los materiales empleados para reducir la contaminación acústica dentro del sector de la construcción.

1.2. Estructura del proyecto.

- ❖ Parte 1. **Objetivos y estructura del proyecto.**
- ❖ Parte 2. **Introducción.**
- ❖ Parte 3. **Preparación de la muestra.**
- ❖ Parte 4. **Metodología.**
- ❖ Parte 5. **Resultados y discusión.**
- ❖ Parte 6. **Conclusiones y líneas futuras de investigación.**
- ❖ Parte 7. **Bibliografía.**
- ❖ Parte 8. **Anexos.**

2. Introducción.

La caracterización de materiales compuestos es una disciplina esencial en el campo de la ingeniería de materiales, ya que permite comprender y optimizar las propiedades de estos materiales para diversas aplicaciones. En este estudio, se investigan las propiedades mecánicas, térmicas y acústicas de materiales compuestos elaborados a partir de fibra de abacá, originaria de Ecuador y un adhesivo natural. La fibra de abacá, conocida por su alta resistencia y durabilidad, se combina con un adhesivo ecológico para crear un material compuesto sostenible y de alto rendimiento. A través de ensayos rigurosos, se analizan las características de tracción de la fibra, conductividad térmica y capacidad de absorción acústica de estos compuestos, proporcionando una visión integral de su comportamiento y potencial para aplicaciones industriales y de construcción. Este estudio no solo resalta las ventajas de utilizar materiales naturales y sostenibles, sino que también aporta datos fundamentales para la implementación de estos compuestos en productos innovadores y respetuosos con el medio ambiente.

2.1. Principios y conceptos básicos.

A continuación, se proporcionará una breve descripción del abacá, incluyendo detalles sobre su fibra, el hábitat, la producción y el estado actual en Ecuador.

2.1.1. Abacá.

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), el *“abacá es una fibra de hoja, la cual está compuesta por células largas y delgadas que forman parte de la estructura de soporte de la hoja”*. [1]



Figura 1. Cepa típica de abacá en estado de madures.

Estas fibras, también conocidas como “*cáñamo de manila*”. Es una planta que pertenece a la familia “*Musasea*” originaria de Asia y sembrada en áreas húmedas, incluidas Filipinas, el este de Indonesia y Ecuador.[1]

2.1.2. La fibra.

La Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la agricultura (2018), lo explico como: “*El abacá es una fibra de hoja, compuesta por células largas y delgadas que forman parte de la estructura de soporte de la hoja. El contenido de lignina está por encima del 15%. El abacá es valorado por su gran resistencia mecánica, resistencia al daño por agua salada y por el largo de su fibra, hasta de 3 metros.*” [1]

Tabla 1. Comparación de composición química del Abacá con otras Fibras Naturales. [2]

Composición química	Abacá (hoja)	Cáñamo	Yute	Sisal (hoja)	Lino (rafia)	Algodón (semilla)
Celulosa	68,32%	77,5%	64%	71,5%	82%	80-90%
Hemicelulosa	19,00%	10%	20%	18,1%	2%	4-6%
Lignina	12-13%	6,8%	13,3%	5,9%	4%	0-1,5%
Contenido de humedad	10-11%	1,8%	1,5%	4,0%	7,7%	6-8%
Contenido de cenizas	4,8%	3,9%	1,0%	1,0%	3,4%	1-1,8%

Tabla 2. Comparación de Propiedades Físicas del Abacá con otras Fibras Naturales. [2]

Propiedades físicas	Abacá (hoja)	Cáñamo	Yute	Sisal (hoja)	Lino (rafia)	Algodón (semilla)
Densidad (g/cm ³)	1,5	1,48	1,46	1,33	1,4	1,54
Longitud de la fibra	2-4 metros	1-2 metros	3-3,5 metros	1 metro	Hasta 90 cm	10-65 mm
Diámetro de fibra	150-260 micrones	16-50 micrones	60-110 micrones	100-300 micrones	12-60 micrones	11-22 micrones
Resistencia a la tracción (N/m ²)	980	550-900	400-800	600-700	800	400
Alargamiento	1,1%	1,6%	1,8%	4,3%	2,7-3,5%	3-10%
Recuperación de humedad	5,81%	12%	13,75%	11%	10-12%	8,5%
Módulo de Young (GPa)	41	30-60	20-25	17-22	50-70	6-10

2.2. Fibra de abacá.

A continuación, se abordarán las propiedades del abacá, sus características agronómicas, su producción y comercio, el proceso de extracción de las fibras y sus diversos usos.

2.2.1. Propiedades del abacá.

El abacá se destaca como una de las fibras naturales más resistentes, superando al sisal y al yute en términos de resistencia a la tracción. Además, muestra un menor alargamiento bajo condiciones tanto húmedas como secas, lo que lo convierte en una opción superior para aplicaciones que requieren durabilidad y estabilidad dimensional

La fibra de abacá es muy apreciada por su fuerza, durabilidad y resistencia a los daños causados por el agua salada. La fibra tiene un mayor contenido de ácido inherente y un mayor potencial de degradación ácida. No es hidrolizado por ácidos. [2]

2.2.2. Características agronómicas del abacá.

Según la Organización Mundial de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) [1], el cultivo del cáñamo de manila reduce los niveles de erosión en los suelos y rehabilita la biodiversidad en las zonas tropicales, pues mejora la capacidad de retención de agua en las tierras y previene de posibles inundaciones y deslizamientos de tierra. Además, los materiales de desecho de la planta se pueden utilizar como fertilizantes naturales para otras plantaciones.

Según investigaciones, en Filipinas se pueden encontrar más de 40 variedades, mientras que en Ecuador se presentan dos. No todas las variedades son comercializadas, las más comunes que han sido tradicionalmente cultivadas son: Bungalanón (tipo negro y rojo), Tangongón (en tres tipos diferentes: negro, rojo y meristemático) y Maguindanao (tipo rojo y verde). [3]

- 1) Bungalanón. - Es una variedad precoz, tiene un menor desarrollo como planta, con tallos pequeños y delgados, de color café en su base y verde brillante en su parte superior, produce fibras blancas y suaves.
- 2) Tangongón. - Se caracteriza por producir una fibra ordinaria pero fuerte; los tallos son de mayor diámetro y longitud, con producción de hijuelos limitados. Es ligeramente más resistente al “mal de Panamá”.

Para el presente estudio se trabajará y se realizarán los ensayos con la variedad “Tangongón” (Figura 1).

2.2.3. Producción y comercio.

“El tamaño del mercado de fibra de abacá se situó en cerca de 475 millones de dólares en 2022. Se espera que el mercado suba a una CAGR del 4,50% durante el período pronosticado de 2023-2028”. [4]

No existen datos recientes sobre la producción de cáñamo de manila en el país, sin embargo, los datos del último censo agropecuario muestran que para el año 2000 se registraron 640 unidades de producción (UPA) en una superficie total de 14.831 hectáreas. El 75% del territorio cultivado se concentra en las zonas de Santo Domingo y La Concordia.

En 2016, Filipinas produjo alrededor de 62.000 toneladas, mientras que Ecuador produjo 10.000 toneladas [5]. *“Casi todo el abacá producido se exporta, principalmente a Europa, Japón y los Estados Unidos. Las exportaciones de Filipinas están incrementando en forma de pulpa más que en la forma de fibra bruta.”* [1]

Ecuador exporta abacá gracias a la innovación del empresario en desarrollar nuevos y rentables productos de exportación. El abacá se ha ido posicionando entre los rubros más importantes de la canasta exportadora del Ecuador.



Figura 2. Exportaciones del Ecuador de Abacá “tomado del Banco Central del Ecuador, 2016”.

Según estadísticas del Banco Central del Ecuador [6] el promedio exportado anual en el periodo 2013-2016 fue de USD 16,6 millones. Se observa una tendencia creciente y positiva en el periodo. El año 2016 las exportaciones alcanzaron FOB USD 25,1 millones, con una tasa de crecimiento del +69,5% (2016 vs 2015).

2.2.4. Extracción de la fibra del abacá.

Para la empresa Terranova Papers llevar a cabo la cosecha del abacá a principio, le toma de 18 a 24 meses en producir su primera cosecha, y después el producto se puede cosechar cada dos o tres meses, luego para la obtención de la fibra de abacá se llevará a cabo por medio de un tratamiento de ocho procesos (Figura 3):

- a) Cosecha de abacá.
- b) Se separa la corteza del tronco “Tuxing”.
- c) Descortezado a mano.
- d) Descortezado mecánico.
- e) Secado al aire libre.
- f) Limpieza y clasificación.
- g) Prensado y almacenamiento.



Figura 3. Proceso obtención de la fibra de abacá. [7]

2.2.5. Usos del abacá.

El abacá es una planta versátil que puede tener varios usos, gracias a sus excelentes propiedades las fibras de abacá se utilizan para producir diversos productos básico como sogas, líneas de pesca y redes, telas basta para sacos. También son muy utilizadas en el área textil como la elaboración de cortinas, pantallas y tapicería de abacá, pero en la actualidad unos de sus usos principales de la fibra es la elaboración de papel.

“La mayor parte de la fibra de abacá se transforma en pasta y en papeles especiales, tales como bolsas de té y café, papel para envoltura de salchichas, billetes (los billetes de los yenes japoneses contienen un 30 por ciento de fibra abacá), papeles para cigarrillos, medicamentos, alimentos, desechos, papel de alta calidad para escritura, bolsas para aspiradoras, etc.” [1]



Figura 4. Usos de la fibra de Abacá.

2.2.6. Productores de abacá en Ecuador.

En Ecuador, la producción de abacá está concentrada principalmente en la región costera, donde las condiciones climáticas son favorables para el cultivo de esta planta. Las principales áreas de cultivo de abacá en Ecuador incluyen las provincias de Manabí, Guayas, Los Ríos, El Oro y Santo Domingo. Aunque Ecuador no es uno de los principales productores mundiales de abacá, sí tiene una presencia significativa en el mercado.

Los mayores productores de abacá se encuentran en Santo Domingo de los Tsáchilas – Ecuador gracias a su clima húmedo-tropical y la calidad de los suelos son especialmente favorables para el cultivo de esta fibra.

2.3. Adhesivos.

El adhesivo como elemento de unión, forma parte integrante de esta moderna época tecnológica que vivimos. En la actualidad, se dispone de una gran variedad de adhesivos que posibilita el que materiales muy diversos puedan unirse de forma efectiva y económica. [8]

Según la Asociación Española de Fabricantes de Colas y Adhesivos (ASEFCA) [9] los adhesivos se pueden clasificar dependiendo su origen o naturaleza, por lo que estos pueden ser de origen natural o sintético.

2.3.1. Adhesivos naturales.

Los adhesivos de origen natural son aquellos que se producen o se extraen de los recursos naturales de nuestro planeta, recursos como los vegetales o animales, el almidón, las cosas de caseína o el caucho natural son ejemplos de adhesivos naturales. Los adhesivos naturales fueron los primeros pegamentos que se descubrieron y se utilizaron en la amplia y compleja historia y evolución de los adhesivos.[9]



Figura 5. El almidón de yuca como pegamento.

2.3.2. Adhesivos sintéticos.

Los adhesivos de origen sintéticos son aquellos que no se encuentran en la naturaleza y son diseñados y fabricados por el hombre, podemos decir que los adhesivos de origen sintético son los adhesivos de laboratorio desarrollados gracias a los avances científicos en el campo de la química. La principal característica y punto en común de los adhesivos de origen sintéticos es que todos están basados en polímeros siendo los más usados en los diversos sectores o mercados que utilizan estos materiales debido a las altas propiedades mecánicas, físicas y químicas que poseen estos adhesivos frente a los adhesivos de origen natural. [9]



Figura 6. Adhesivos industriales.

2.4. Almidón de yuca.

El almidón de yuca, extraído de la raíz de la planta de yuca (*Manihot Esculeta*), es un biopolímero natural debido a sus propiedades adhesivas y biodegradables. A continuación, se hablará un poco sobre la yuca, al almidón, su composición química y sus propiedades.

2.4.1. La yuca.

La yuca (*Manihot Esculenta* Grantz) es una planta originaria de América del Sur, usada principalmente para el consumo tanto humano como animal, y en un pequeño porcentaje para la obtención de almidón y otros usos industriales.[12]

Tabla 3. Composición química de la yuca.[10]

Componentes %	Grasa	Proteína	Ceniza	Humedad	Fibra
Raíz de Yuca	0,20	1,20	1,90	66,00	3,10

La producción de yuca en Ecuador es significativa, especialmente en las regiones costeras y amazónicas, donde las condiciones climáticas son ideales para su cultivo. La yuca es un cultivo de subsistencia y una importante fuente de ingresos para muchas familias rurales. Los agricultores ecuatorianos suelen utilizar métodos tradicionales de cultivo y cosecha, aunque hay iniciativas para mejorar las técnicas agrícolas y aumentar la productividad. La producción de yuca contribuye a la seguridad alimentaria y a la economía del país.

2.4.2. Almidón.



Figura 7. La yuca y su almidón.

El almidón es un hidrato de carbono complejo inodoro e insípido en forma de granulo o polvo. El almidón de yuca puede clasificarse como agrio y nativo (dulce). El almidón agrio sufre un proceso de fermentación que le otorga

propiedades deseables para los alimentos; el almidón nativo o dulce no es sometido a un proceso de fermentación. Y es el que se usa generalmente en la industria.[14]

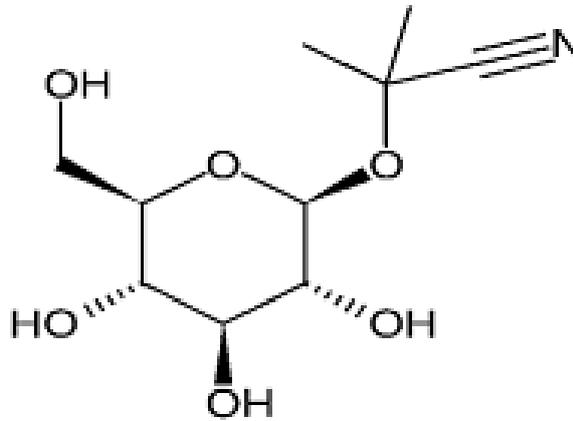


Figura 8. Composición química de almidón de yuca.

2.4.3. Composición química.

El almidón es un polímero natural cuyos gránulos consisten en estructuras macromoleculares ordenadas en capas. Los gránulos de almidón están compuestos por capas externas de amilopectina (Figura 10) y capas internas de amilosa (Figura 9), cuya proporción es variable dependiendo de la fuente del almidón. Su composición química es la de un polisacárido formado únicamente por unidades glucosídicas, es decir, es una macromolécula formada por gran cantidad de moléculas de glucosa que se repiten.

En el caso del almidón de yuca, su tamaño puede variar de 5 μm a 35 μm , su forma es entre redonda, achatada y su contenido de amilosa es alrededor de 17 %.

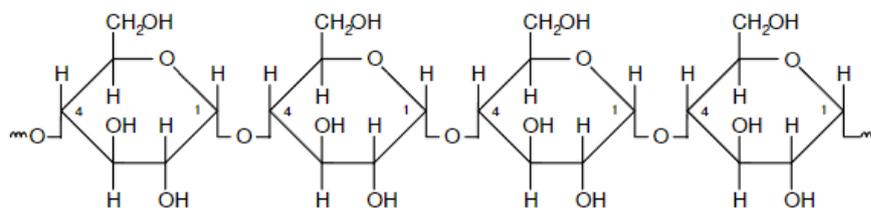


Figura 9. Estructura de molécula de amilosa.[15]

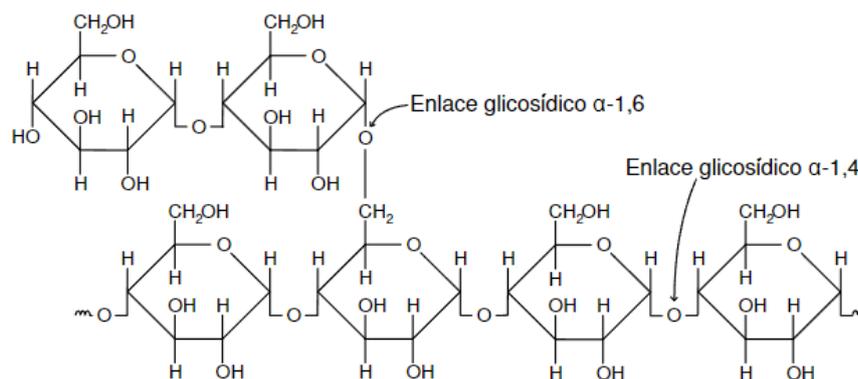


Figura 10. Estructura de molécula de amilopectina.[15]

2.4.4. Propiedades del almidón.

Existen varias propiedades que posee el almidón y que determina la forma en que debe tratarse, según el uso para el que se lo requiera.

2.4.4.1. Gelatinización.

Se define como la pérdida de la semicristalinidad de los gránulos de almidón en presencia de calor y altas cantidades de agua, con muy poca o ninguna ocurrencia de despolimerización.[14]

La gelatinización ocurre en un rango estrecho de temperatura que varía dependiendo de la fuente de almidón. El almidón de yuca gelatiniza en agua a temperaturas entre los 60 - 67 °C [14], lo que consiste en un hinchamiento de las moléculas de almidón debido a que el agua penetra en su estructura molecular.[16]

2.4.4.2. Retrogradación.

Posterior a la gelatinización, en el momento en que deja de introducirse calor y comienza la etapa de enfriamiento, la viscosidad crece de nuevo y se presenta el fenómeno denominado retrogradación.

La retrogradación se define como un incremento espontáneo del estado del orden, es decir, una reorganización de los puentes de hidrógeno y reorientación de las cadenas moleculares. Paralelamente se genera un decrecimiento de la solubilidad en el agua fría y un incremento de la turbiedad [14].

2.5. Teoría absorción acústica.

La teoría de absorción acústica se centra en la capacidad de los materiales para absorber ondas sonoras, transformando la energía acústica en energía térmica. Este proceso es crucial en la reducción de ruido en entornos industriales. Los materiales acústicamente absorbentes, como espumas, tejidos y compuestos naturales, desempeñan un papel vital en la minimización de la reflexión del sonido y en la mejora de la acústica ambiental.

2.5.1. Absorción acústica.

El problema del ruido en la absorción acústica se ha vuelto cada vez más relevante en nuestro entorno moderno. Es sabido desde hace años, que para reducir el ruido dentro de las viviendas pueden utilizarse materiales absorbentes. La mayor parte de problemas acústicos en el ámbito del acondicionamiento, tales como ecos, focalizaciones, excesiva reverberación, etc., tienen como única solución la aplicación de materiales absorbentes. [17]

Tanto en el aislamiento acústico como en el acondicionamiento de un recinto, son necesarios materiales con una gran absorción acústica, estos materiales tienen que ser capaces de “absorber” la energía de las ondas acústicas del ruido (*Figura 11*).

Los materiales suelen ser con una estructura porosa o fibrosa, al que les permite vibrar cuando sin excitados por una onda mecánica. Por lo que de este modo son capaces de transformar la energía de esta onda a energía cinética o en calor. [18]

Por lo tanto, cuando hablamos de absorción acústica (absorción del sonido) lo hacemos de la capacidad que poseen todos los materiales para absorber una porción de la energía de las ondas sonoras cuando estas inciden sobre ellos, reduciendo así la cantidad de energía sonora que es reflejada por el material.[19]

Podemos decir que la absorción acústica, consiste en mejorar el confort acústico dentro de un mismo espacio mitigando la reverberación.

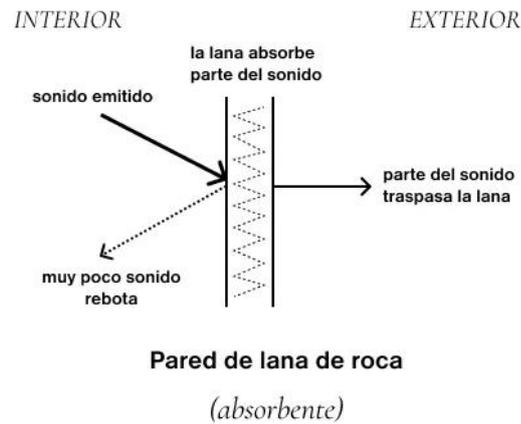


Figura 11. Absorción acústica. [20]

2.5.2. Aislamiento acústico.

Aislamiento acústico es la capacidad de los elementos constructivos para disminuir la transmisión del sonido. Por lo tanto, se entiende por aislamiento acústico a la protección de un recinto contra la penetración de sonidos que interfieran a la señal sonora deseada, esta puede ser de un local a otro y del exterior hacia un local o viceversa, con el fin de obtener una calidad acústica determinada.

El aislamiento depende de las propiedades de los materiales, de las soluciones constructivas empleadas y del contexto arquitectónico.

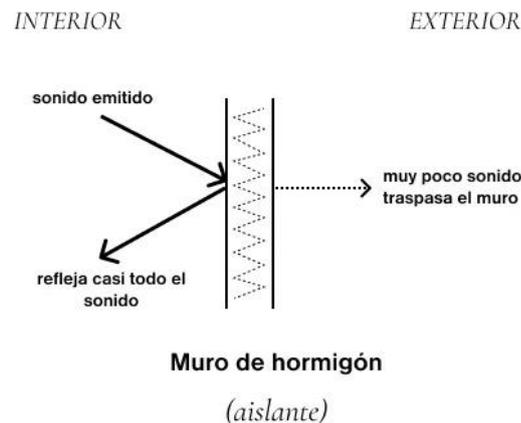


Figura 12. Aislamiento Acústico. [20]

2.5.3. Tiempo de reverberación.

El tiempo de reverberación se define en la norma UNE-EN ISO 3382-1 [21] como el tiempo que tarda (en segundos) un sonido en disminuir su nivel de ruido en 60 dB después de que la emisión de la fuente se haya detenido.

En otras palabras, el tiempo de reverberación nos informa de cuánto tiempo permanece un sonido en una habitación antes de desaparecer.

La reverberación es el parámetro más importante a la hora de acondicionar acústicamente un recinto, ya que un tiempo de reverberación demasiado elevado puede dificultar la comunicación debido a la acumulación del ruido en la sala.

2.5.4. Acondicionamiento acústico.

Se entiende como acondicionamiento acústico al control de los parámetros de la propagación del sonido en el interior de determinado espacio cerrado. Esta expresión suele estar asociada a recintos como auditorios o teatros, sin embargo, con ciertas frecuencias existen recintos de uso cotidiano donde las condiciones acústicas no son las adecuadas. Así, por ejemplo, las aulas son a menudo lugares donde es casi imposible seguir una clase.[22]

La acústica no es la misma en todos los espacios, el tratamiento del aislamiento acústico depende de la actividad para la que esté destinada al espacio, además de a localidad de este.

Sin embargo, para el propósito del diseño de paneles, que se propondrá a lo largo de este proyecto, se tomará en cuenta ciertos principios del aislamiento acústico, que es en parte, el análisis de materiales para el acondicionamiento acústico. Principios como el coeficiente de absorción de materiales y el tiempo de reverberación.

2.5.5. Coeficiente de absorción.

El coeficiente de absorción o de atenuación se define como el cociente entre la energía absorbida y la energía incidente por una superficie o sustancia. El coeficiente de absorción de sonido de un material se mide siguiendo el método de ensayo expuesto en el estándar internacional UNE-EN ISO 10534-1 [23].

Las mediciones se hacen idealmente en una cámara de reverberación que asegura la existencia de un campo difuso (es decir, que el sonido tiene ángulos de incidencia distribuidos de manera uniforme contra la superficie del objeto a medir).[24]

2.6. Objetivos del desarrollo sostenible (ODS).

Los objetivos de Desarrollo sostenible son un conjunto de 17 objetivos globales adoptados por todos los Estados miembros de las Naciones Unidas en 2015. Estos objetivos representan un llamado universal a la acción para poner fin a la pobreza, proteger el planeta y garantizar que todas las personas disfruten de paz y prosperidad para el año 2030[25]. Los ODS abarcan una amplia gama de desafíos interconectados, incluyendo la erradicación de la pobreza y el hambre, la mejora de la salud y la educación, la reducción de las desigualdades y el fomento del crecimiento económico sostenible. También promueve la lucha contra el cambio climático, la conservación de los océanos y la biodiversidad terrestre, el fortalecimiento de las instituciones y las alianzas globales. La implementación de los ODS requiere la colaboración activa de gobiernos, empresas, sociedad civil y ciudadanos de todo el mundo, trabajando juntos para crear un futuro más equitativo y sostenible para todos, por ello este trabajo se relacionará con al menos 6 de ellos[26].

- ❖ Trabajo decente y Crecimiento Económico.
- ❖ Industria, Innovación e Infraestructura.
- ❖ Ciudades y Comunidades Sostenibles.
- ❖ Producción y Consumo Responsable.
- ❖ Acción por el Clima.
- ❖ Vida de Ecosistema Terrestre.

3. Preparación de muestras.

En esta fase, se ponen en práctica diversas ideas y consideraciones necesarias para la creación de distintos tipos de probetas, que serán posteriormente caracterizadas. La preparación de muestras es esencial para asegurar la validez y reproductividad de los resultados experimentales. Este proceso minucioso garantiza que las probetas sean representativas y que los ensayos proporcionen datos precisos y consistentes, fundamentales para la evaluación de propiedades de los materiales.

3.1. Primeros prototipos.

Desde un inicio se trabajó con una pequeña idea de que materiales experimentar, con el objetivo de apuntar hacia el desarrollo de prototipos de materiales que tengan buen resultado como absorbentes acústicos, sin embargo, experimentalmente se procedió a realizar brevemente varias muestras con diferentes adhesivos, los cuales son de origen natural.

Se experimentó con tres adhesivos naturales diferentes, utilizando una composición de 50% de fibras y 50% de adhesivo. Las fibras que se utilizaron, de variedad "Tangongón" fueron cortadas a una medida de 50 mm. Para la primera muestra

(Figura 13), (a) se empleó almidón de yuca, lo que resultó en una buena adherencia de las fibras y una conservación adecuada de su forma. En la segunda muestra figura 10 b) se utilizó harina de maíz, que no proporcionó una buena adherencia de las fibras, mostrando resultados poco alentadores. Para la última muestra figura 10 c) se usó lignina, obteniendo una buena adherencia, aunque el adhesivo no se logró expandirse completamente en toda la muestra, lo que resultó en una rigidez variable en diferentes partes.

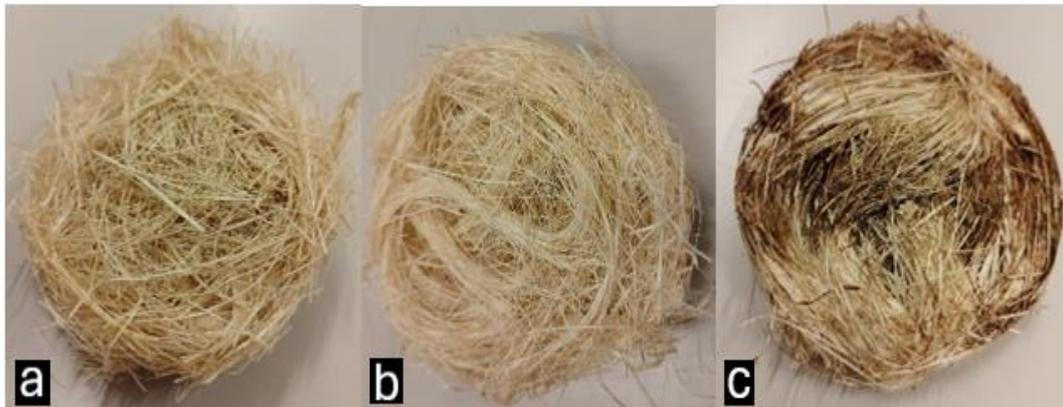


Figura 13. Muestras prototipo: a) Almidón de yuca, b) harina de maíz, c) lignina.

Para la preparación del adhesivo realizamos dos composiciones. La primera composición consiste en mezclar 500 mililitro de agua y 50 gramos de almidón de yuca. Para la segunda composición, se utilizaron 50 gramos de almidón de yuca, 500 mililitros de agua, 100 gramos de azúcar, 10 gramos de bicarbonato de sodio, todo esto fue mezclado en un recipiente y cocinado a una temperatura de 50 grados centígrados por 10 minutos, llegando a tener una mezcla gelatinosa.



Figura 14. Segunda preparación del adhesivo de almidón de yuca.



Figura 15. Resultado gelatinoso del almidón de yuca.

Se realizaron dos muestras con la misma composición 50/50 con los dos adhesivos obtenidos, dando como mejor resultado la muestra realizada con la segunda composición de adhesivo por su mejor adherencia y firmeza.

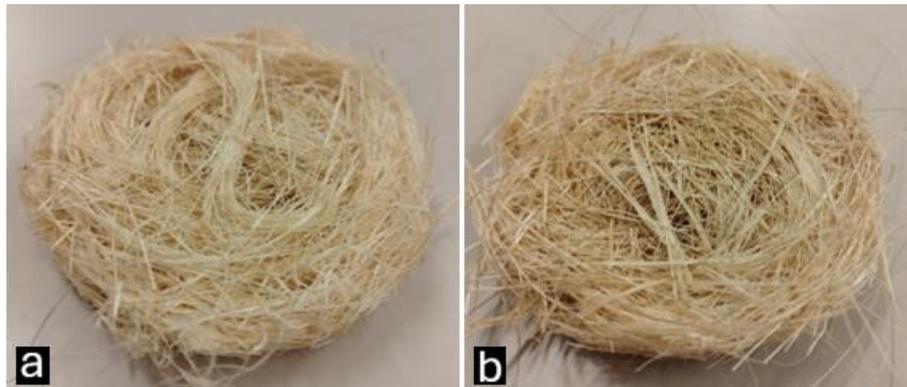


Figura 16. a) primera composición de adhesivo y b) segunda composición de adhesivo.

3.2. Muestras definitivas.

Una vez analizados los resultados obtenidos de todas las probetas presentadas, se decidió optar por la alternativa que mejor cumple los requisitos establecidos, siendo así la mezcla de fibra de abacá de variedad “Tangongón” y almidón de yuca. Para esta elección, se utilizó fibra de abacá (*Figura 17*) que fue traída directamente de la ciudad de Santo Domingo de los Tsáchilas, Ecuador y el adhesivo fue preparado con almidón de yuca, este almidón también fue traído desde la ciudad de Santo Domingo de los Tsáchilas, Ecuador.



Figura 17. Fibra de abacá variedad "Tangongón", producto traído de Ecuador.

Para la preparación de las muestras, se tomarán las fibras de abacá y se cortarán a una medida 50 mm (*Figura 18*), con el fin de que todas las fibras se entrelacen adecuadamente y poder obtener unas muestras que proporcionen buenos resultados en la caracterización acústica.



Figura 18. Medida de la fibra de abacá.

Se procedió a realizar las muestras con el material disponible, elaborando cinco muestras diferentes con una relación de 50/50 para la fibra y su adhesivo. Cada muestra comenzó con un peso aproximado de 10 gramos de fibra de abacá y 10 gramos de adhesivo de yuca (*Figura 19*).



Figura 19. Peso de la primera muestra, 10 gramos de fibra y 10 gramos de adhesivo.



Figura 20. Peso para las muestras 2 y 3.



Figura 21. Peso para las muestras 4 y 5.

Con todo el material reunido, se procedió a mezclarlo rápidamente de forma manual, utilizando guantes para asegurar la higiene y seguridad del proceso. A continuación, la mezcla se vertió en moldes cilíndricos y se prensó adecuadamente para formar las probetas necesarias para el análisis posterior.



Figura 22. Proceso de la mezcla manual de los materiales.

Estas probetas se cubrirán con una fina bolsa de plástico para facilitar su extracción una vez que el proceso de secado haya concluido (*Figura 23*).

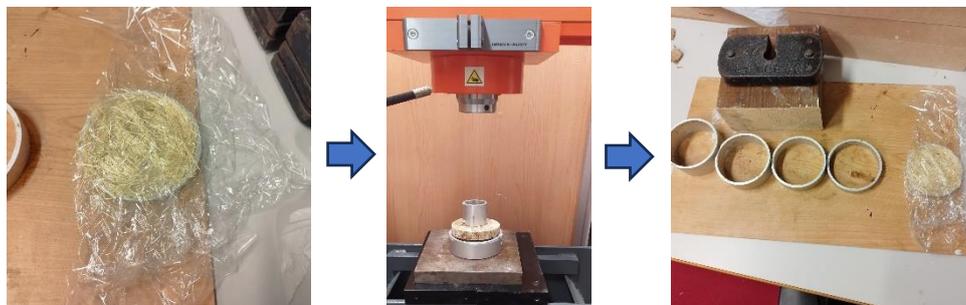


Figura 23. Proceso de Creación de las probetas en moldes circulares.

De la misma manera, se repite el proceso para las cuatro muestras, asegurando así un abanico de densidades diferentes. Se mantiene constante la cantidad de material y adhesivo, pero variando el volumen de los moldes para así obtener muestras con diámetros de 100 mm y alturas de 10, 20, 30, 40 y 50 mm (*Figura 24*).



Figura 24. Moldes de diferentes alturas para crear probetas cilíndricas de 100 mm de diámetro.

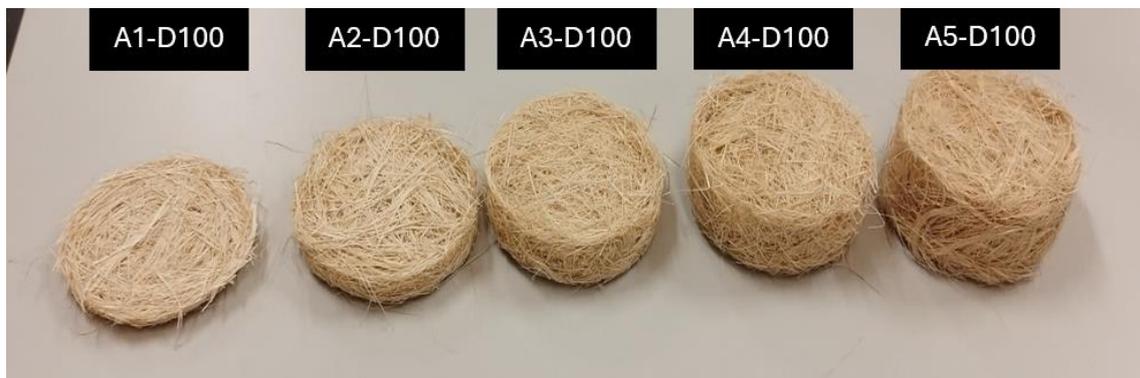


Figura 25. Probetas cilíndricas de 100 mm de diámetro.

Inicialmente, se fabricaron probetas con un diámetro de 100 mm para evaluar sus propiedades acústicas. Sin embargo, durante los ensayos, se determinó que un diámetro menor sería más adecuado para obtener resultados más precisos y representativos. Por esta razón, se optó por reducir el tamaño de las probetas a un diámetro de 40mm. Esta modificación permitió mejorar la calidad de las mediciones acústicas, facilitando un análisis más detallado de las propiedades acústicas del material bajo estudio.

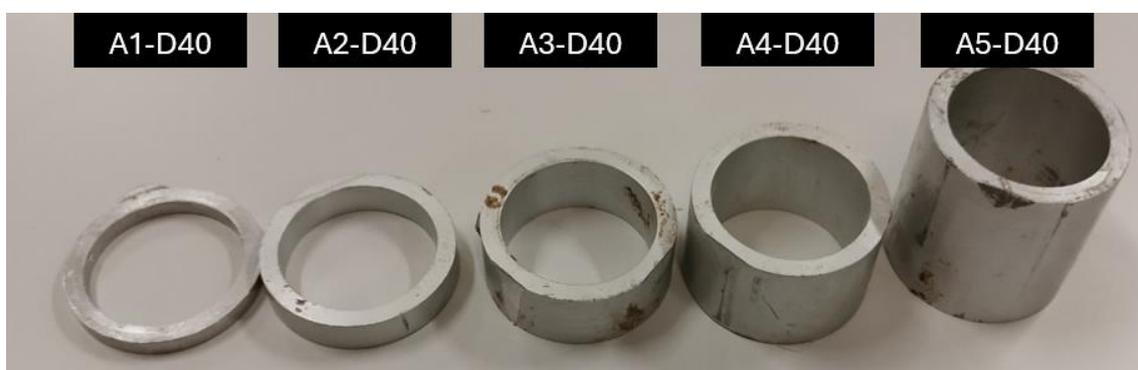


Figura 26. Moldes de diferentes alturas para crear probetas cilíndricas de 40 mm de diámetro.

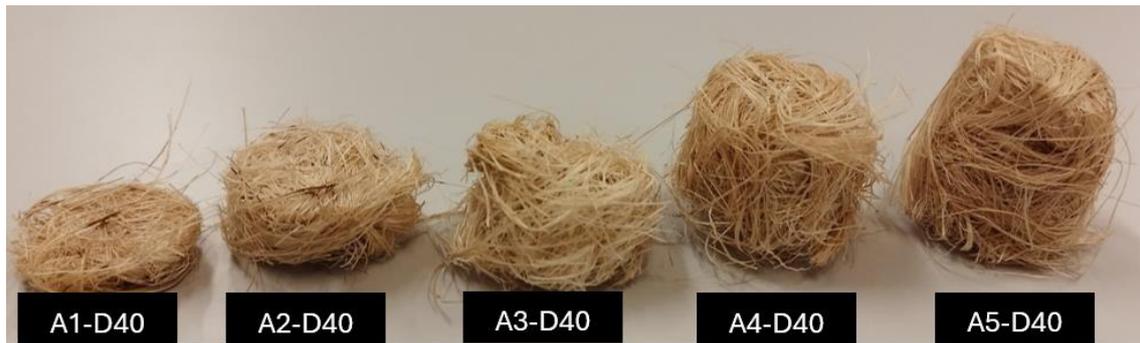


Figura 27. Probetas cilíndricas de 40 mm de diámetro.

Para poder determinar la densidad de las muestras a ensayar, es necesario que conocer el área de nuestras muestras cilíndricas.

Se sabe que la ecuación (1) el área de una circunferencia es igual a:

$$A = \pi * r^2 \quad (1)$$

En el primer caso, el área en cm^2 de la muestra cilíndrica es:

$$A = \pi * 5^2$$
$$A = 78,54 \text{ cm}^2$$

En el segundo caso, el área en cm^2 de la muestra cilíndrica es:

$$A = \pi * 2^2$$
$$A = 12,57 \text{ cm}^2$$

Para la realización de ensayos mecánicos, se procese a preparar nuevas muestras que, debido a su forma, tendrán un área diferente. Por lo tanto, se realiza un pequeño cálculo para asegurar que estas muestras sean equivalentes en condiciones a las probetas utilizadas en los ensayos acústicos.



Figura 28. Molde en forma de ladrillo para probetas de ensayos mecánicos.

Los moldes rectangulares (Figura 28) tienen unas medidas de altura $h = 5$ cm y de base $b = 25$ cm, por lo que su área correspondiente será:

$$A = b * h$$

(2)

$$A = 25 \text{ cm} * 5 \text{ cm}$$

$$A = 125 \text{ cm}^3$$

Conociendo el área del rectangular del molde, se establece una relación de linealidad y proporcional, es decir, una regla de tres.

$$78,54 \text{ cm}^2 \rightarrow 10 \text{ g}$$

$$125 \text{ cm}^2 \rightarrow X$$

$$X = \frac{125 \text{ cm}^3 * 10 \text{ g}}{78,54 \text{ cm}^2}$$

$$X = 15,91 \text{ g}$$

Con el peso obtenido, se procede a preparar las muestras para los ensayos mecánicos, asegurando que la proporción sea 50 % de fibra de abacá y 50 % de adhesivo a base de almidón de yuca (Tabla 4).

Tabla 4. Peso de los componentes de las muestras de ensayo mecánico.

Muestra	Peso de la fibra (g)	Peso del adhesivo (g)
1	16	16
2	32	32
3	48	48
4	64	64
5	80	80

Siguiendo los mismos procesos que se realizaron con las probetas acústicas, se procede a fabricar las probetas mecánicas (*Figura 29*) utilizando el nuevo molde y los pesos determinados para cada muestra.



Figura 29. Probetas rectangulares para ensayos mecánicos.

4. Metodología.

Para poder realizar una evaluación de la absorción acústica existe una normativa, la UNE-EN ISO 11654 [27], en la cual se evalúa y clasifica los absorbentes acústicos para aplicaciones de banda ancha, teniendo como límite la banda de una octava de 250 Hz, según la norma, presenta 6 clases de absorción acústica (*Tabla 5*) y una representación gráfica de las curvas de referencia para estas 6 clases de absorción acústica (*Figura 30*), esto en función del coeficiente de absorción acústica y la frecuencia, dando para ambos casos la mejor absorción “clase A” y para la menor absorción “clase E”.

Tabla 5. Clases de absorción acústica.

Clase de absorción acústica	α_w
A	0,90; 0,95; 1,00
B	0,80; 0,85
C	0,60; 0,65; 0,70; 0,75
D	0,30; 0,35; 0,40; 0,45; 0,50; 0,55
E	0,25; 0,20; 0,15
Sin clasificar	0,10; 0,05; 0,00

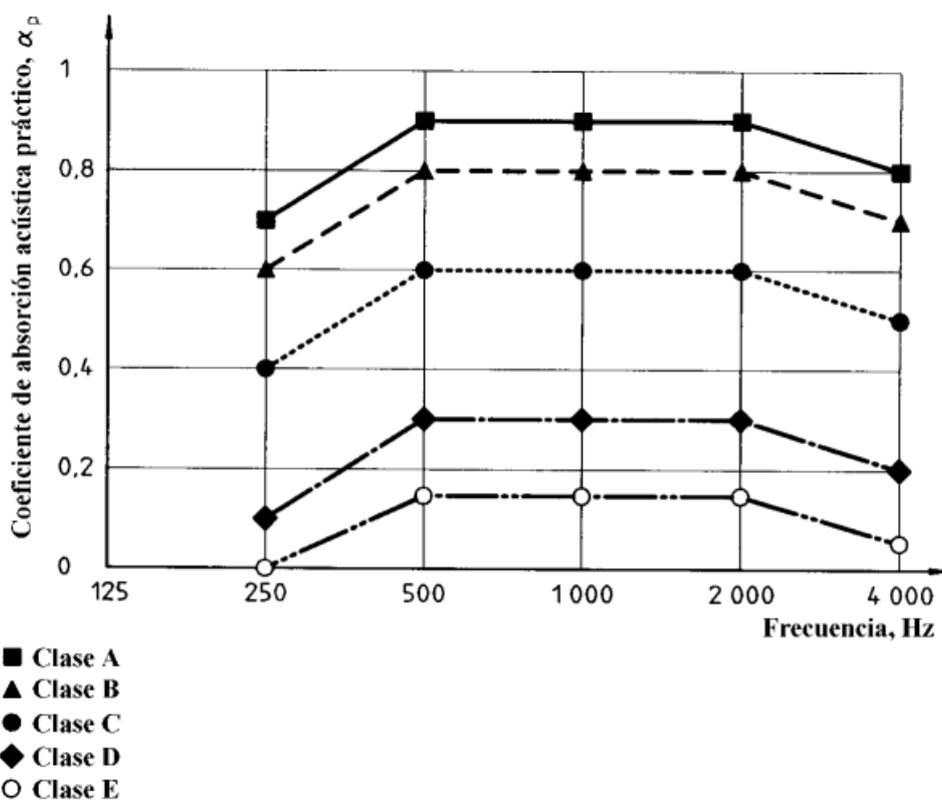


Figura 30. Representación de las curvas de referencia que fijan los límites de las diferentes clases de absorción sonora.

4.1. Caracterización acústica.

El comportamiento acústico de un material se puede conocer a partir de la resistencia de flujo y de coeficiente de absorción acústica, como lo demuestra la información recopilada en la norma UNE-EN ISO 10534-2:2022 [28]. El método de función de transferencia nos indica que, mediante un tubo de impedancia, dos posiciones de micrófonos, un generador de pulsos, un amplificador y un sistema digital de análisis de señal, es posible conocer el valor de absorción de un

determinado material analizado con una muestra pequeña de 4cm. Este método de ensayo proporcionar una alternativa, generalmente mucho más rápida, por lo que es conveniente para estudios de investigación y desarrollo, donde se dispone únicamente de pequeñas muestras del absorbente.

4.1.1. Determinación del coeficiente de absorción acústica (acondicionamiento).

El coeficiente de absorción acústica a incidencia normal (α) se puede definir según la norma UNE-EN ISO 10534-2:2002 como “el cociente entre la energía acústica absorbida por la superficie de la muestra de ensayo y la energía acústica incidente, para una onda plana con incidencia normal” [23].

Leyenda

- 1 Micrófono A
- 2 Micrófono B
- 3 Muestra en ensayo
- 4 Tubo de impedancia
- 5 Fuente acústica
- 6 Amplificador
- 7 Generador de señal
- 8 Sistema de análisis en frecuencia

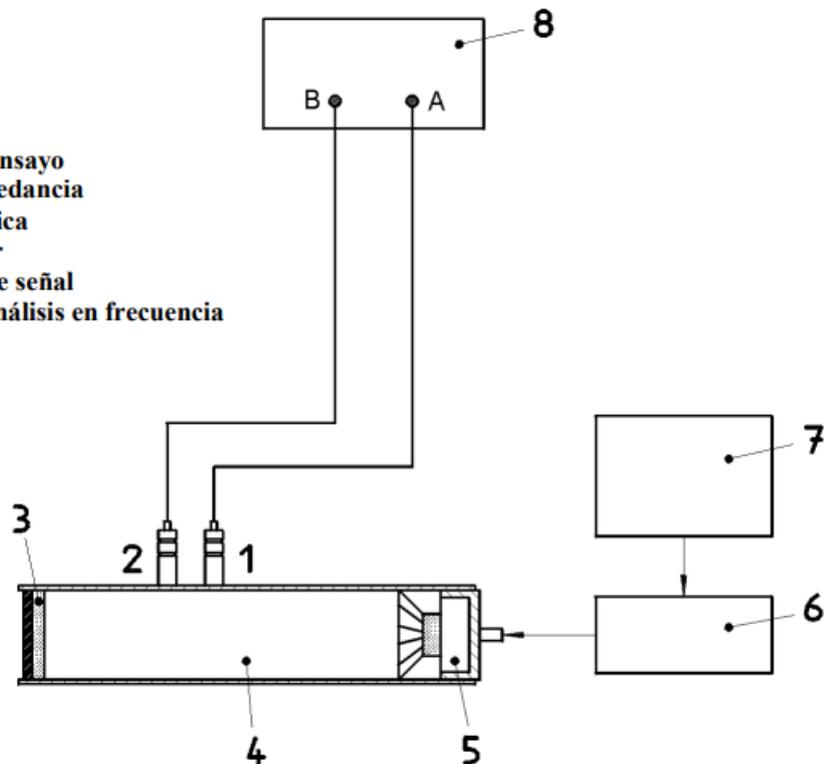


Figura 31. Esquema de conexión de la norma UNE-EN ISO 10534-2:2002 [23].

La instrumentación del ensayo debe conectarse entre sí, tal como se muestra en la (Figura 31), estos ensayos facilitan la eliminación de las fuentes de error y permiten satisfacer las exigencias mínimas [23].

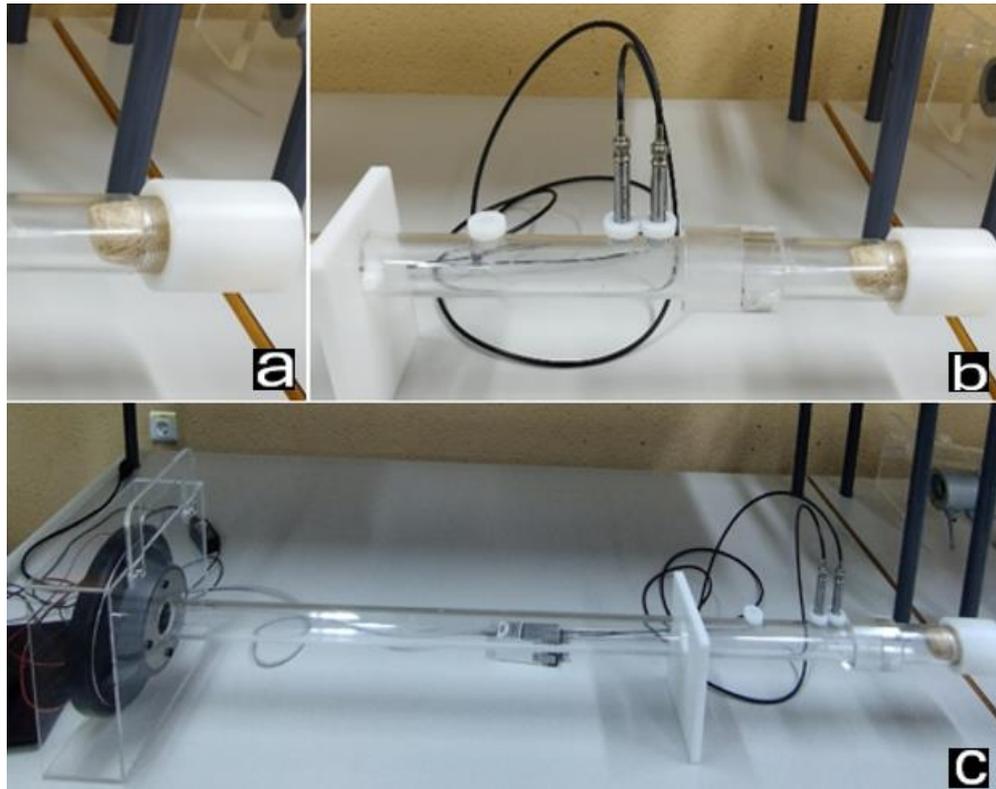


Figura 32. Método de ensayo de absorción acústica.

La representación gráfica de la (Figura 32) permite observar el proceso para poder realizar el ensayo lo cual primero se coloca la probeta en la porta muestra del tubo de impedancia (a). A continuación, se inserta el porta muestras en el tubo de impedancia (b) y por último se prepara todo para realizar el ensayo siguiendo la norma (c).

Con ayuda de un ordenador y la aplicación MATLAB (Figura 33) generando una onda de presión acústica desde la baja a alta frecuencia, es decir, entre los 500 a 4000 Hz, en un tubo de impedancia de diámetro de la probeta de 40 mm.

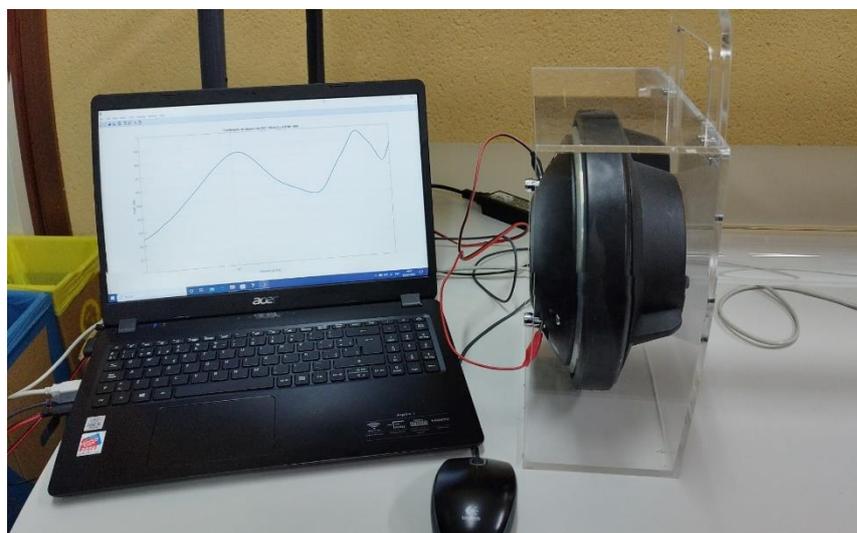


Figura 33. Aplicación MATLAB.

4.1.2. Determinar del factor de pérdida por transmisión (STL).

Las pérdidas por transmisión del sonido (Sound Transmission Loss) es un parámetro esencial para diseñar y solucionar problemas de ruido en acústica de la edificación como en acústica medioambiental. Para ello, se utilizará la norma ASTM E2611-09 [29](American Society for Testing and Materials o Sociedad Estadounidense para Pruebas y Materiales). La cual se encuentra documentada y normalizada.

El dispositivo basado en dos tubos de impedancia para las medidas de las pérdidas por transmisión se puede observar en la (Figura 34). También está compuesto por una fuente de ruido capaz de generar ondas planas en el tubo y está situado en el extremo del tubo anterior a las muestras, se montan cuatro micrófonos, dos de ellos situados en la parte anterior de la muestra y otros dos situados en la parte posterior de la misma, con esto se logra que los diafragmas queden a ras de la superficie interior del perímetro del tubo.

El patrón de ondas estacionarias resultantes se descompone en componentes que se desplazan hacia adelante y hacia atrás midiendo simultáneamente la presión acústica en las cuatro ubicaciones y examinando su amplitud y fase relativas. La matriz de transferencia acústica se calcula a partir de la presión y la velocidad de las partículas, o que es lo mismo, la impedancia acústica de las ondas que se desplazan a ambos lados de la muestra[29].

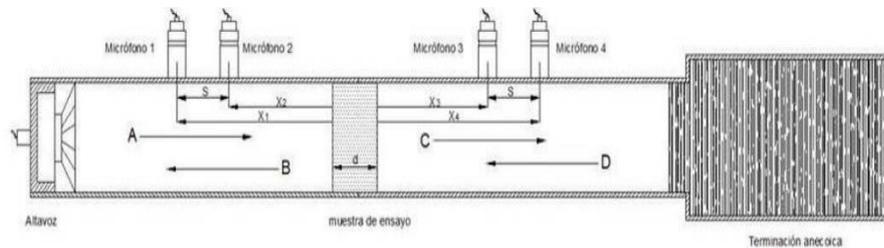


Figura 34. Esquemas de los tubos de impedancia para medición de las pérdidas por transmisión. [30]

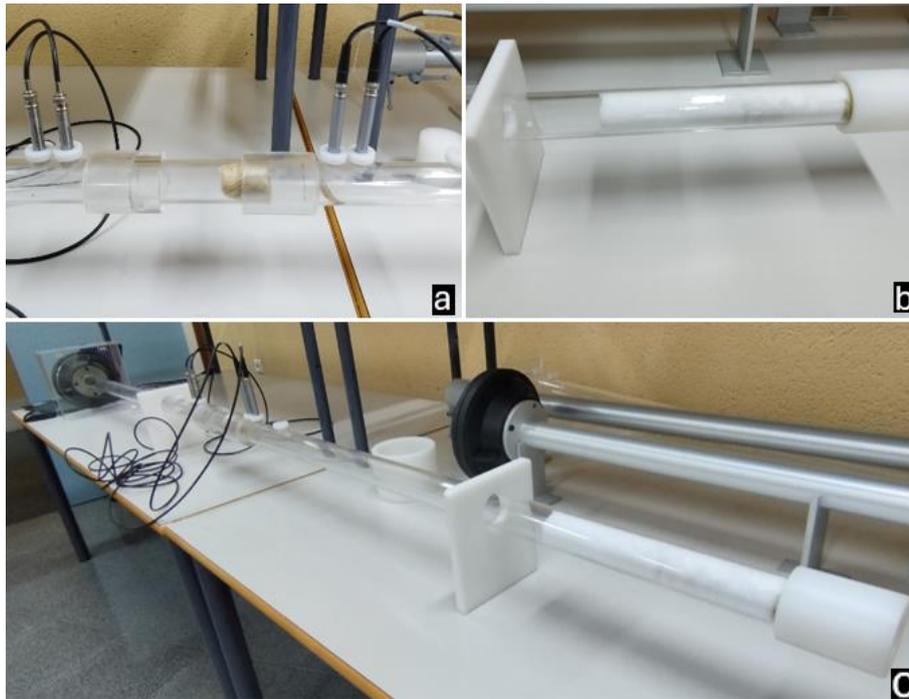


Figura 35. Método de ensayo de pérdida de transmisión del sonido.

Con toda la bibliografía referida anteriormente, se procede a realizar los ensayos como se puede observar en la (*Figura 35*) utilizando los 4 micrófonos de presión acústica (a), se coloca la probeta en un punto medio entre estos y un material absorbente al final del tubo para evitar la reflexión (b). La continuación del experimento se realiza de la misma manera con la ayuda de un ordenador, una fuente de ruido y el programa MATLAB.

4.2. Caracterización mecánica.

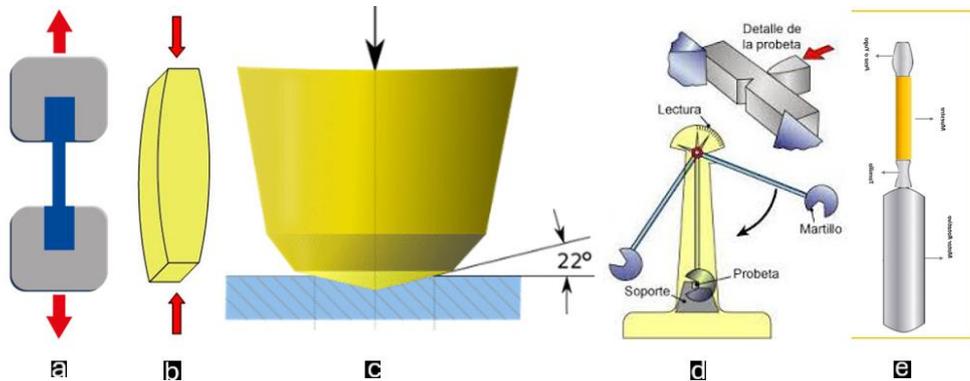


Figura 36. Métodos de ensayo: a) tracción, b) compresión, c) dureza, d) impacto y e) fatiga.

La caracterización mecánica es un campo esencial en la ciencia de materiales y la ingeniería, dedicado a evaluar y comprender las propiedades mecánicas de diversos materiales. Este proceso implica una variedad de pruebas y métodos, como ensayos de tracción, compresión, dureza, impacto y fatiga, para determinar cómo los materiales responden a diferentes tipos de cargas y condiciones ambientales. La caracterización mecánica permite a los ingenieros y científicos predecir el comportamiento de los materiales con propiedades mejoradas. Con el avance de la tecnología, métodos modernos como la simulación por elementos finitos y las técnicas de caracterización a escala nanométrica han revolucionado el campo, proporcionando una comprensión más profunda y precisa de los materiales, desde su estructura atómica hasta su comportamiento macroscópico.

4.2.1. Ensayo de tracción de la fibra.

Al igual que las fibras, el efecto mecánico que con mayor asiduidad están expuestos los hilos es la tracción. La resistencia de un hilo está íntimamente relacionada con las características de las fibras componentes.

Se expresa la resistencia a la tracción de los hilos, por la carga máxima que soportan antes de romperse. La carga de rotura también conocida como resistencia medida R_m , se obtiene mediante pruebas de resistencia en el dinamómetro, según la Norma UNE-EN ISO 2062:2010 [31], la cual permite determinar la fuerza o carga de rotura y de alargamiento en la rotura de hilos individuales con un equipo de velocidad constante de alargamiento.

En el caso de los hilos, se relaciona la carga de rotura con respecto al número de hilos (Titulo de hilos). Los fenómenos de tracción de los hilos no pueden ser estudiados aisladamente, considerando tan solo la resistencia, ya que todo hilo

o fibra sometido a un esfuerzo se alarga presentando una deformación más o menos elástica.

Debe distinguirse entre la elasticidad del alargamiento permanente o deformación, encontrándose este y el de rotura, el alargamiento útil.

- La elasticidad o alargamiento elástico es el aumento de la longitud que sufre el hilo al encontrarse sometido a un esfuerzo de tracción, que al cesar permite que este vuelva a su longitud primitiva.
- El alargamiento de rotura se define como el aumento de longitud experimentado por un hilo, sometido a tracción, desde la iniciación de ésta, hasta el instante de la rotura.

La diferencia entre alargamiento de rotura y alargamiento elástico constituye el alargamiento permanente o deformación. Tanto los alargamientos como la elasticidad se pueden expresar en mm, o como es más corriente en porcentaje % respecto a la longitud inicial, es el llamado alargamiento relativo.

En las gráficas de esfuerzo deformaciones que proporciona un dinamómetro queda reflejado el comportamiento elástico y plástico de un hilo sometido a tracción. La zona elástica de la curva-alargamiento corresponde a una línea recta, en la que los alargamientos experimentados por el hilo son directamente proporcionales a las fuerzas aplicadas.

Entendemos por trabajo de rotura, la energía necesaria para romper el hilo expresada en cN·mm o g·mm. Correspondiente al área bajo la curva carga-alargamiento desde el origen hasta el punto de rotura.



Figura 37. Equipo de ensayo de tracción para hilos.

Para poder realizar los ensayos de tracción, es fundamental conocer el número de hilos (Título de hilos). Dado que medir el grosor de un hilo directamente puede ser complicado, se utiliza la relación entre peso y longitud para determinar su

título. Esta relación permite clasificar la finura del hilo o fibra, asignándole una numeración específica. Según esta numeración, que varía en función a la finura, se pueden obtener los parámetros necesarios para los ensayos de tracción, asegurando así una evaluación precisa y consistente de las propiedades mecánicas de las fibras.

Se utilizó el método directo el cual fija la longitud como constante:

$$N^d = K^d \frac{P}{L} \quad (3)$$

Donde:

K^d es una constante y es igual a 1.000.

P es el peso en gramos.

L es la longitud del hilo o fibra.

Tabla 6. Resultados de las dos fibras tomadas para realizar el ensayo de tracción.

Muestra	Título (tex)
1	20
2	47

Para realizar el ensayo de tracción, se utilizó varios parámetros específicos para asegurar la precisión y la consistencia de los resultados. Se empleó un captador de fuerza con una capacidad de 0,1 kN para medir la carga aplicada. Las mordazas utilizadas eran manuales, diseñadas específicamente para sujetar hilos o fibras, asegurando una sujeción firme y estable. La longitud de sujeción fue de 500 mm, y el ensayo se llevó a cabo a una velocidad de 250mm/min.

Además, se empleó una precarga de 0,5 cN/tex para garantizar que la fibra estuviera tensa antes de iniciar el ensayo, eliminando cualquier holgura que pudiera afectar los resultados. El gradiente de la probeta fue de 1 g/m², lo que asegura una distribución uniforme de la carga a lo largo de la fibra.

4.2.2. Ensayo de tracción de probetas.

Durante el ensayo de tracción, utilizamos una de las probetas fabricadas "MM 1". Se montó la muestra y se sometió a tracción (*Figura 38*) para analizar su comportamiento, esto demostró que las mordazas de la máquina no eran útiles para realizar este ensayo con este tipo de material, ya que las muestras se deslizaban lentamente de las mordazas y el ensayo no es concluyente.



Figura 38. Ensayo de tracción con la muestra "MM 1".

Teniendo en cuenta el problema con las mordazas, se decidió realizar tres ensayos (Figura 39) utilizando una cierta cantidad de fibra de abacá aleatorios. De estas muestras, dos fueron trenzadas con el objetivo de aumentar su resistencia, observando su comportamiento durante el ensayo de tracción.

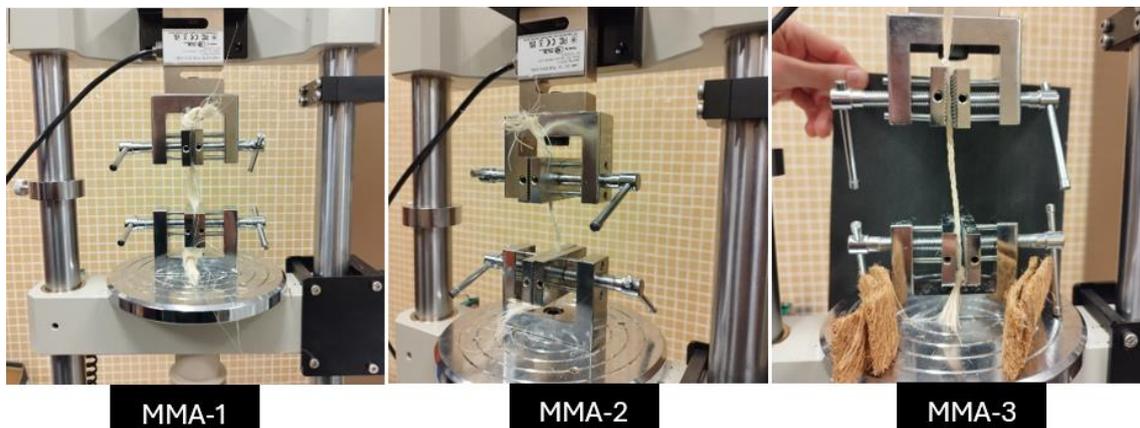


Figura 39. Ensayo de tracción con una cierta cantidad de fibra de abacá.

4.3. Caracterización térmica.

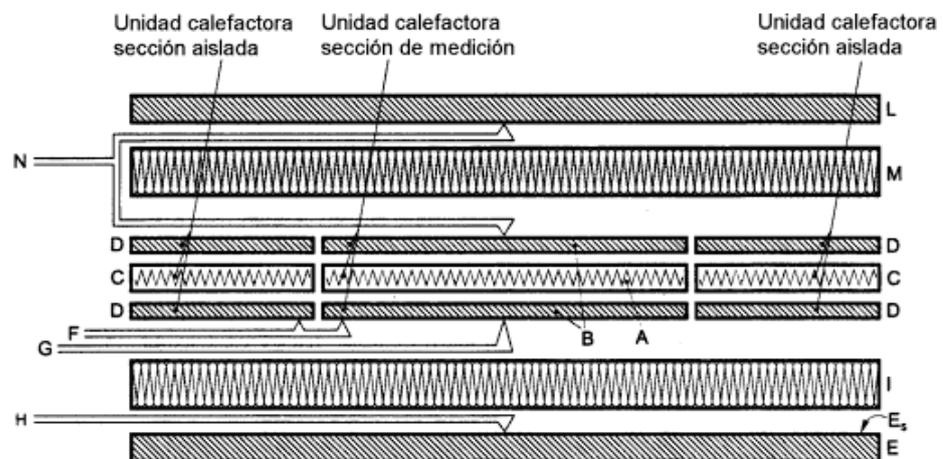
La caracterización térmica de material es un proceso crucial que implica la evaluación detallada de sus propiedades térmicas para comprender su comportamiento en diferentes condiciones de temperatura. La Universidad

Autónoma de Occidente [32] dice que “La caracterización térmica de materiales, permite tener el control sobre las propiedades físicas o químicas de un material, conocer su comportamiento en función de la temperatura, mejorar los procesos de producción y la obtención de nuevos materiales con características específicas”.

La caracterización térmica de un material es esencial para entender su desempeño en aplicaciones específicas, como la disipación de calor en dispositivos electrónicos, la resistencia al fuego en materiales de construcción, la estabilidad térmica en aplicaciones de alta temperatura, entre otros.

4.3.1. Coeficiente de conductividad térmica.

Para la determinación de la resistencia térmica se procede a realizar según la norma UNE-EN 12667-2001 [33], por el método de la placa caliente guardada y el método del medidor de flujo de calor. La cual consiste en colocar una muestra entre dos placas calentadas a diferentes temperaturas. El flujo de calor que a través de la muestra se mide mediante un transductor calibrado de flujo de calor. La medida se realiza una vez que se ha alcanzado el equilibrio térmico. Las temperaturas de las placas están controladas por sistemas bidireccionales de calentamiento/enfriamiento Peltier, integrados en un intercambiador de calor de aire forzado que genera un flujo de bucle cerrado.



b) Equipo de muestra única

Leyenda

- | | |
|---|--|
| A Sección de medida del calefactor | G Termopares en la superficie de la unidad calefactora |
| B Sección de medida de la superficie de la placa | H Termopares en la superficie de la unidad enfriadora |
| C Sección aislada del calefactor | I Muestra de ensayo |
| D Sección aislada de las placas/láminas de superficie | L Placa/lamina aislada |
| E Unidad enfriadora | M Aislamiento de la placa guardada |
| E _s Superficie de la placa de la unidad enfriadora | N Termopares diferenciales de la placa guardada |
| F Termopares diferenciales | |

El hueco corresponde a la separación entre la sección de medida (ver A y B) y la sección aislada (B, C y D).

Figura 40. Condiciones generales para placa única en un equipo de placa caliente guardada.

Durante este ensayo, las muestras de material se colocan entre dos placas calientes, y se mide el flujo de calor que pasa a través del material bajo consideraciones controladas de temperatura. Los datos obtenidos son enviados a un ordenador para ser tratados y posteriormente los resultados de este análisis se encuentran reflejados en la (tabla 11).



Figura 41. Fabricación casera para la determinación del coeficiente de conductividad térmica según la norma UNE-EN 12667-2001.

5. Resultados y discusiones.

Gracias a los equipos y recursos disponibles de la Universidad Politécnica de Valencia, se tomaron fotografías utilizando una lupa microscópica y una lupa: Leica MC170HD para documentar la estructura superficial de la fibra de abacá antes de iniciar los análisis.

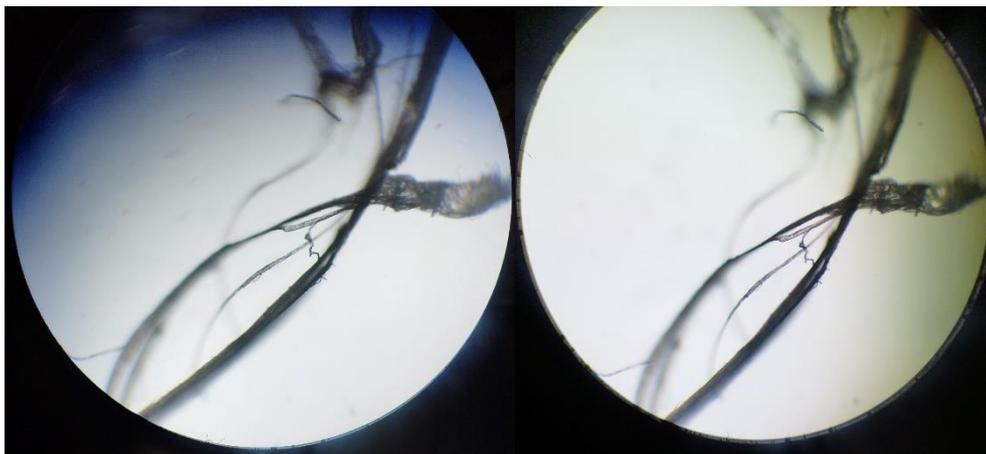


Figura 42. Micrografía de la superficie de una muestra de fibra de abacá a través de una lupa microscópica.

La (Figura 42) obtenidas mediante la observación microscópica del tejido de abacá revelan una intrincada estructura fibrosa. A través de la micrografía, se puede apreciar como las fibras individuales se entrelazan formando un tejido denso y robusto. Esta detallada visualización microscópica del tejido de abacá proporciona una comprensión profunda de sus propiedades mecánicas, destacando su potencial para aplicaciones industriales y textiles debido a su notable resistencia y durabilidad.

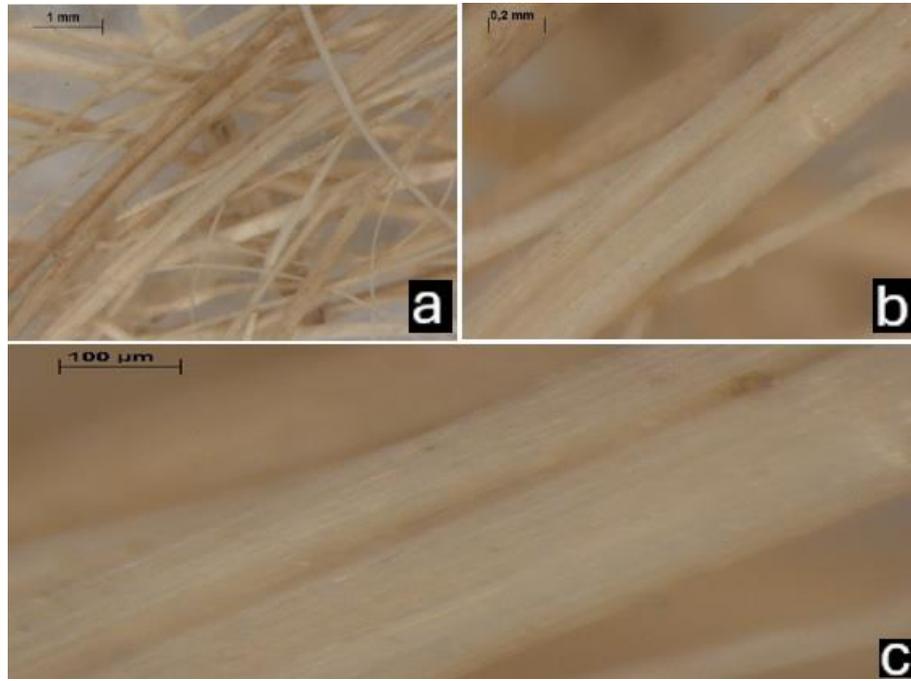


Figura 43. Micrografía de la superficie de una muestra de fibra de abacá a un aumento de a) X10, b) X40 y c) X80.

(Figura 43) Bajo la lupa: Leica MC170HD, la fibra de abacá revela una estructura superficial única, caracterizada por su textura rugosa y fibrosa. Las micrografías muestran que las fibras individuales son largas y delgadas, con una disposición en forma de haces que presentan pequeñas irregularidades y protuberancias a lo largo de su longitud. Visualmente las fibras de abacá presentan un color amarillo claro o crema, que resalta las variaciones en su superficie y proporciona una apariencia distintiva. Estas características microscópicas y su color natural contribuyen a las propiedades mecánicas y de resistencia de la fibra de abacá, haciéndola adecuada para diversas aplicaciones industriales y textiles.

El peso de las probetas se midió utilizando una balanza electrónica digital con una precisión de 0,01 g. cómo se observar, se fabricaron dos conjuntos de probetas con diferentes diámetros: inicialmente de 100 mm y posteriormente de 40 mm. Esta variación en el tamaño de la probeta permitió ajustar el diseño experimental para mejorar la precisión y relevancia de los resultados obtenidos en los ensayos acústicos.

La ecuación (3) permite saber la densidad de las muestras:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (4)$$

donde:

m es la masa y se mide en kilogramos (kg)

V es el volumen del material y se mide en metros cúbicos (m³)

Tabla 7. Resultados de las muestras cilíndricas de 100 mm de diámetro.

Muestras φ100 mm	Peso (g)	Densidad (kg/m ³)	Espesor (m)	Área (m ²)
A1-D100	12,08	153	0,01	0,00785
A2-D100	24,63	156	0,02	0,00785
A3-D100	35,42	150	0,03	0,00785
A4-D100	48,14	153	0,04	0,00785
A5-D100	59,85	152	0,05	0,00785

Tabla 8. Resultados de las muestras cilíndricas de 40 mm de diámetro.

Muestras φ40 mm	Peso (g)	Densidad (kg/m ³)	Espesor (m)	Área (m ²)
A1-D40	1,62	129	0,01	0,00125
A2-D40	3,59	143	0,02	0,00125
A3-D40	4,76	126	0,03	0,00125
A4-D40	7,09	141	0,04	0,00125
A5-D40	9,63	154	0,05	0,00125

5.1. Ensayos acústicos.

A continuación, se hablará de manera más detallada de los tipos de caracterización acústica que se han realizado en el presente estudio.

5.1.1. Absorción acústica

El ser humano tiene la capacidad de percibir el sonido en una banda de frecuencias determinada, en caso de una persona joven con una condición auditiva normal, está comprendida entre los 20 Hz y los 20.000 Hz (*Figura 44*). Como se observa el oído humano es poco sensible a frecuencias bajas, es decir, para que un sonido grave tenga la misma sonoridad que uno en frecuencia medias, el sonido grave deberá tener un nivel sonoro mucho mayor.

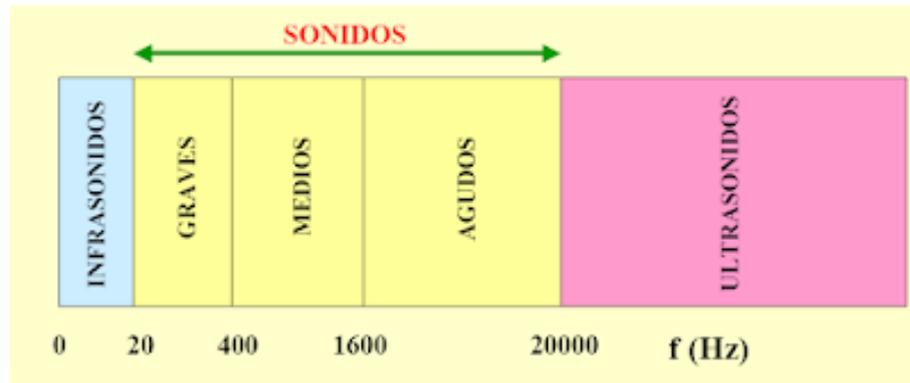


Figura 44. Espectro audible

A continuación, se presentan unas curvas de absorción en función de las frecuencias de algunos paneles acústicos.

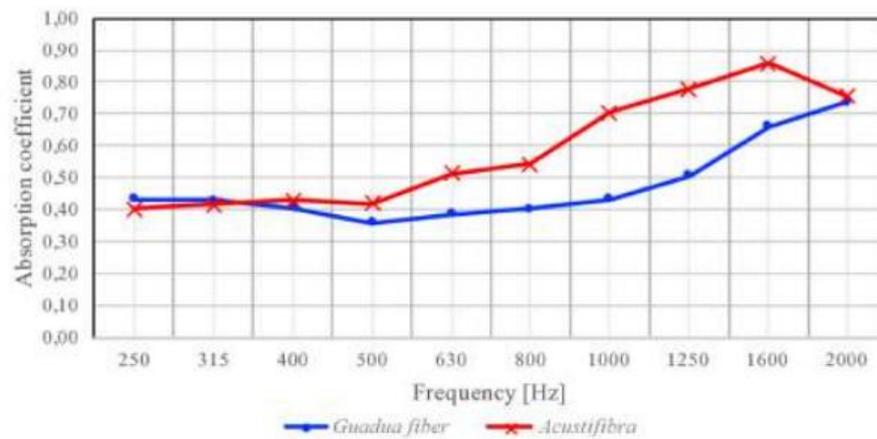


Figura 45. Comparación de fibra de guadua y acustifibra en el tubo de impedancia.

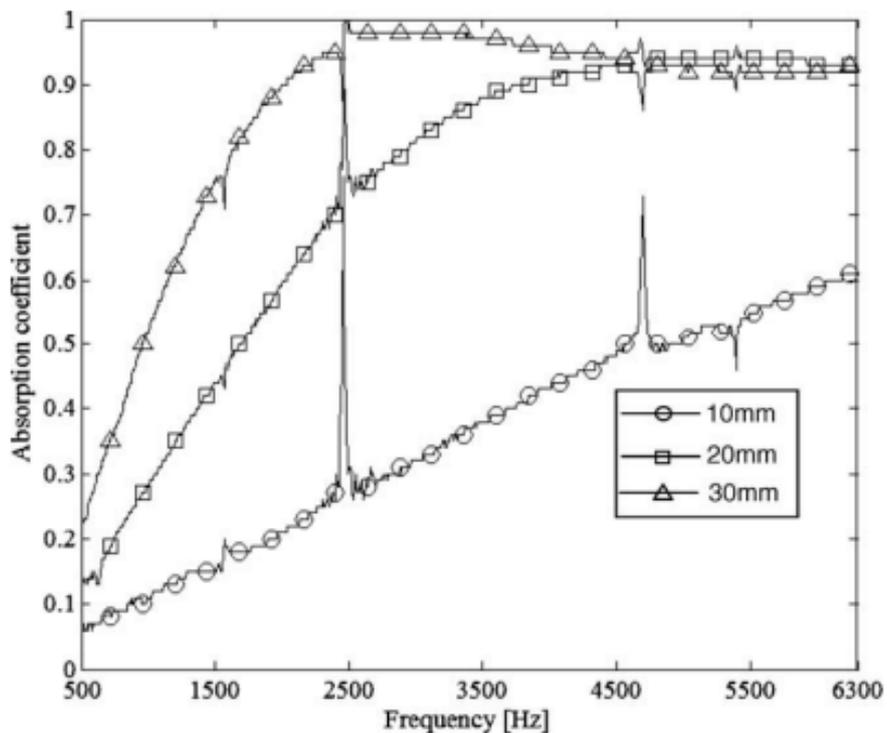


Figura 46. Absorción acústica de tela no tejida a base de poliéster y polipropileno (PNF).

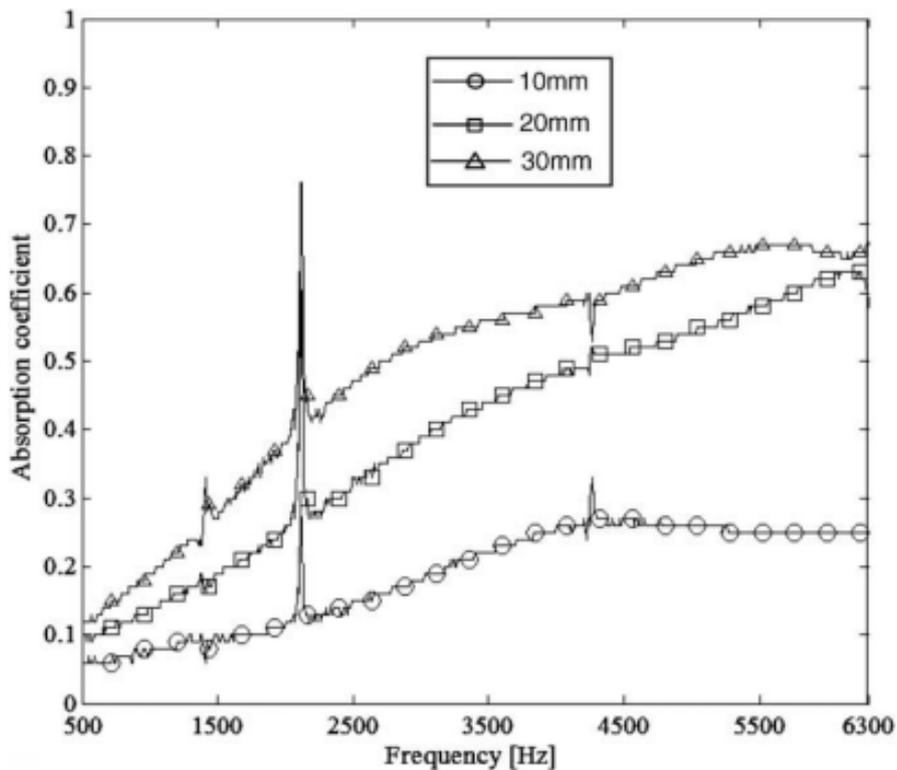


Figura 47. Absorción acústica de fibra de hoja de té (TLF).

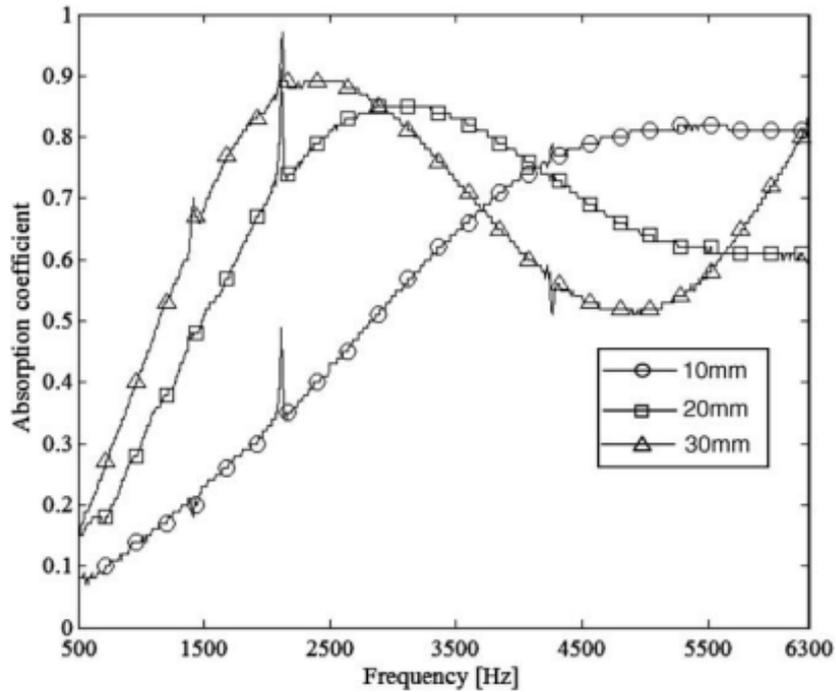


Figura 48. Absorción acústica de tela tejida de algodón (WCC).

Se presenta a continuación los resultados obtenidos en el ensayo de absorción acústica realizado con probetas de 100 mm de diámetro. Las curvas de absorción acústica en función de las frecuencias para los paneles acústicos fabricados con fibras de abacá se muestran en la (Figura 49).

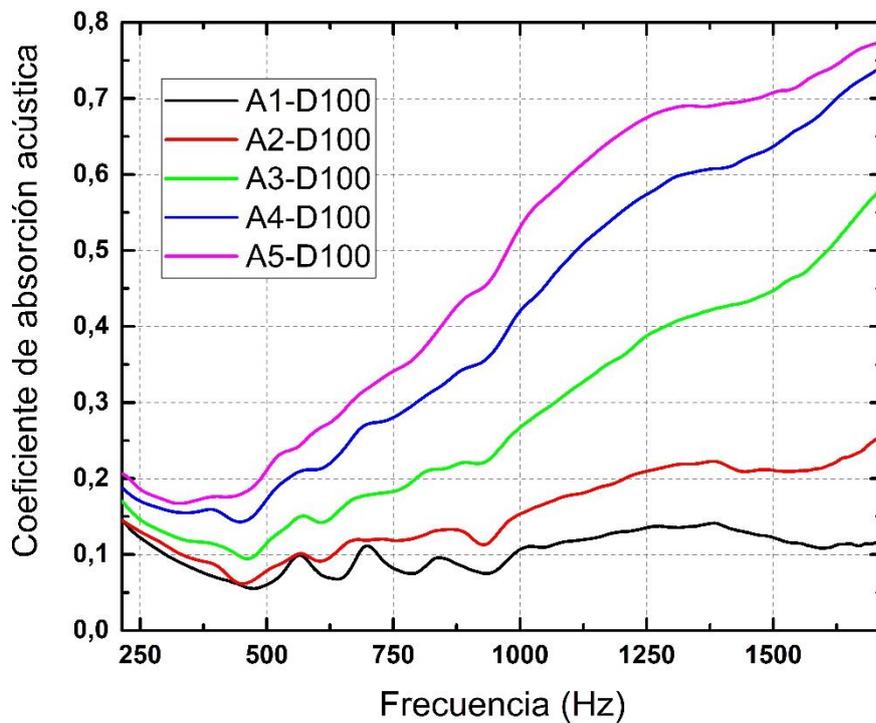


Figura 49. Coeficiente de absorción acústicas de muestras de fibra de abacá y almidón de yuca (100 mm de diámetro).

Debido a las limitaciones encontradas al utilizar el tubo de impedancia de 100 mm de diámetro para las probetas iniciales, se observó que las muestras presentaban un coeficiente de absorción muy elevados. Esto impidió la realización de análisis precisos a frecuencias más altas, que son críticas para una evaluación completa de las propiedades acústicas de los paneles.

Para superar esta limitación y obtener resultados más detallados, se decidió repetir el ensayo utilizando probetas de 40 mm de diámetro. Este ajuste permitió realizar el análisis necesario a frecuencias más elevadas, asegurando una caracterización acústica completa y precisa de los materiales evaluados.

A continuación, se presentan los resultados de estos ensayos adicionales (*Figura 50*), que proporcionan una visión más integral de la eficiencia de absorción acústica de las muestras fabricadas con fibra de abacá y almidón de yuca.

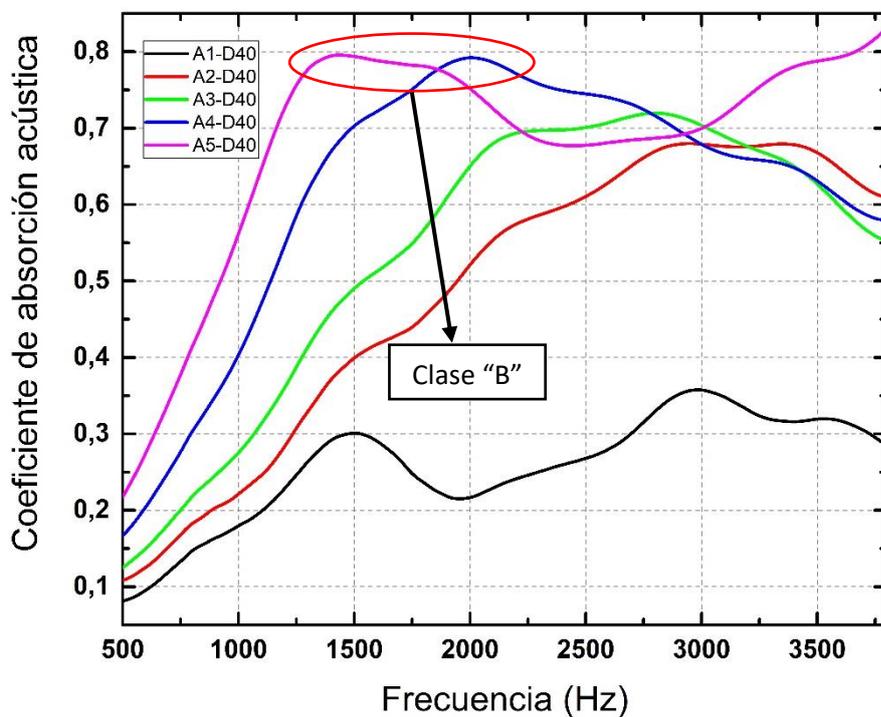


Figura 50. Coeficiente de absorción acústicas de muestras de fibra de abacá y almidón de yuca (40 mm de diámetro).

La gráfica muestra el coeficiente de absorción acústica en función de la frecuencia para las cinco muestras acústicas diferentes (A1-D40, A2-D40, A3-D40, A4-D40, A5-D40). La muestra A1-D40 (línea negra) presenta un coeficiente de absorción relativamente bajo en todo el rango de frecuencia, con un valor máximo cercano a 0,3 entre 1.500 Hz, lo que indica que esta muestra tiene una absorción limitada, especialmente en frecuencias más altas. Por otro lado, el panel A2-D40 (línea roja) exhibe un mejor rendimiento en comparación con A1-D40, alcanzando un coeficiente de absorción máximo de aproximadamente 0,679 alrededor de 2.900 Hz, aunque muestra una disminución en la absorción a frecuencia más altas.

La muestra A3-D40 (línea verde) muestra un incremento constante en el coeficiente de absorción acústica con la frecuencia, alcanzando un máximo de alrededor de 0,719, siendo más eficaz en la absorción de frecuencias altas, lo que lo hace adecuado para aplicaciones que requieren control de ruido a estas frecuencias. El panel A4-D40 (línea azul) tiene un rendimiento alto y constante a lo largo de las frecuencias, con un coeficiente de absorción que alcanza un valor máximo cercano a 0,792 a 2.000 Hz, ofreciendo una absorción acústica efectiva en un amplio rango de frecuencia y siendo uno de los más eficientes.

Por último, la muestra A5-D40 (línea magenta) muestra el mejor rendimiento entre todas las muestras, alcanzando un coeficiente de absorción de hasta 0,794, su eficiente es notable a partir de los 1.300 Hz, lo que lo convierte en la muestra más adecuada para aplicaciones que requieren alta absorción en frecuencias medias y altas.

Las muestras A4-D40 y A5-D40 destacan por su alta eficacia en la absorción acústica en un amplio rango de frecuencia, lo que los hace ideales para entornos que requieren un control de ruido efectivo. La variedad en los coeficientes de absorción entre las diferentes muestras sugiere que la densidad y el grosor de las fibras de abacá con almidón de yuca juegan un papel crucial en su desempeño acústico.

Tabla 9. Clasificación de la clase de absorción acústica de las muestras de fibra de abacá y almidón de yuca

Probetas	Clase de absorción acústica	α_w	Frecuencia (Hz)
A1-D40	D	0,3	1.500
A2-D40	C	0,679	2.900
A3-D40	C	0,719	2.800
A4-D40	B	0,792	2.000
A5-D40	B	0,794	1.300

5.1.2. Pérdidas por transmisión de sonido (STL)

Exámenes radiométricos realizados a personas que han estado sometidas durante un largo tiempo a altos niveles de ruido revelan una pérdida de agudez auditiva en la gama de frecuencias más altas (entre 3.000 y 6.000 Hz) y en particular alrededor de los 4.000 Hz. Con el tiempo, esta gama de frecuencias va ampliándose hasta afectar a la banda conversacional (frecuencias entre 500 y 2.000 Hz) [34].

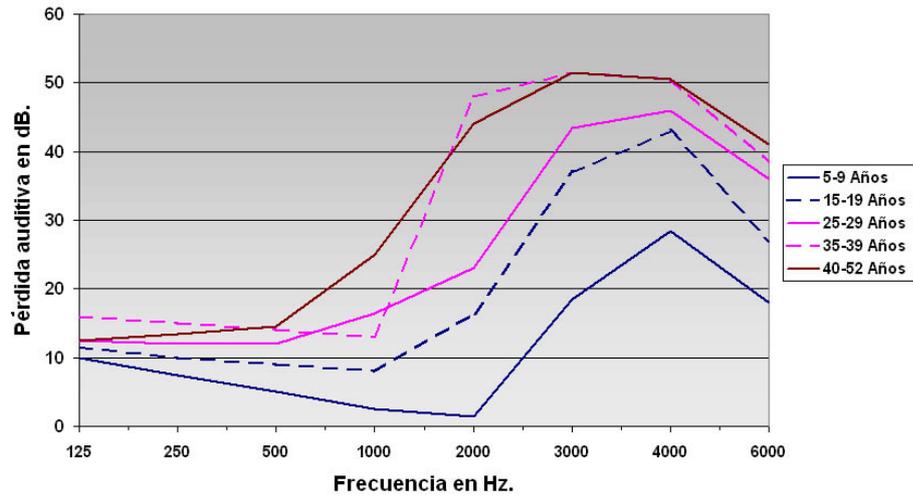


Figura 51. Pérdida auditiva en función del tiempo de exposición y de la frecuencia para un nivel medio de 99 dB [34].

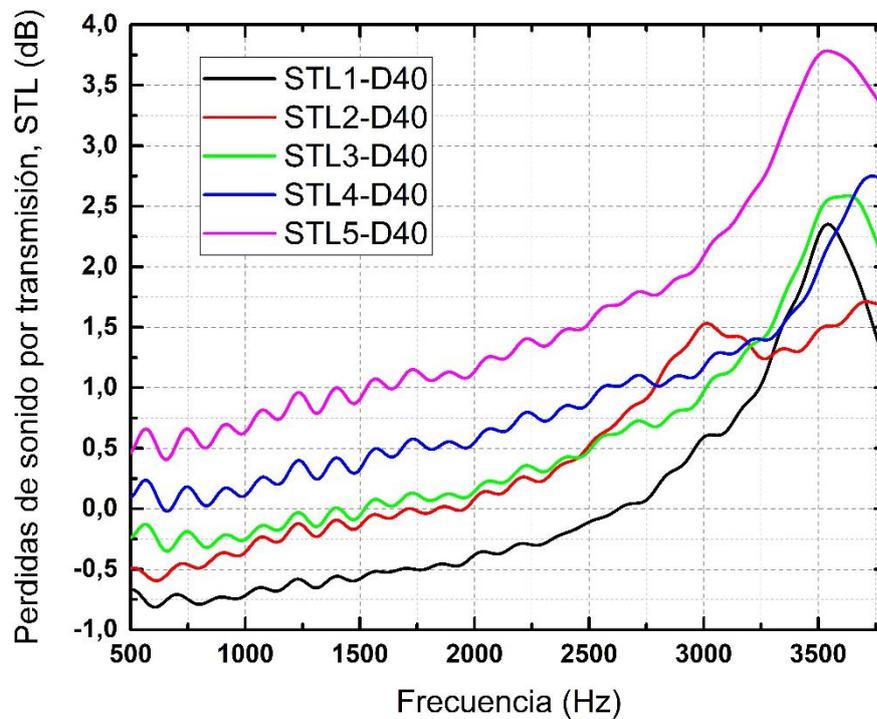


Figura 52. Pérdidas de transmisión de sonido (STL) de muestras de fibra de abacá y almidón de yuca.

Todas las probetas muestran un aumento en las pérdidas de sonido a medida que la frecuencia incrementa. Este comportamiento es típico en materiales acústicos, ya que son generalmente más efectivos en la absorción y atenuación de frecuencia más altas. La muestra STL5-D40 es la más efectiva en términos de atenuación del sonido, alcanzando hasta 3,75 dB en frecuencias altas, lo que lo hace adecuada para aplicaciones donde se necesita una mayor reducción del sonido en este rango.

5.2. Ensayos mecánicos.

A continuación, se hablará de manera más detallada de los ensayos mecánicos de tracción realizados en el presente estudio, enfocados en la fibra de abacá. Estos ensayos, llevados a cabo según la norma UNE-EN ISO 2062:2010 [31], con el fin de evaluar la resistencia y el comportamiento de la fibra bajo fuerzas de tracción.

5.2.1. Ensayos de tracción.

Los resultados presentados en las gráficas reflejan las diferencias en el comportamiento mecánico de la fibra de abacá en función de su grosor. En la (Figura 53) se utilizó una fibra fina, mientras que en la (Figura 54) se empleó una fibra gruesa.

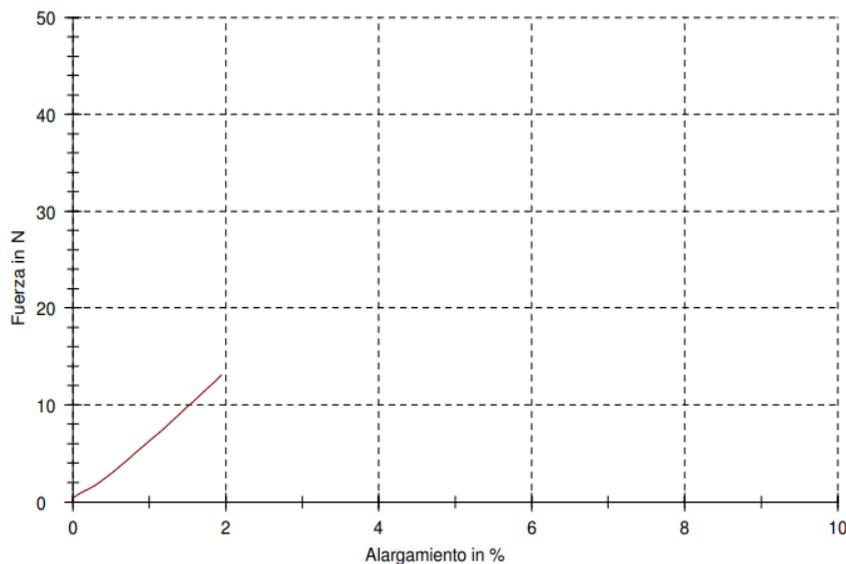


Figura 53. Ensayo de tracción muestra 1 de la fibra de abacá.

La (figura 53) corresponde a una fibra de abacá fina, la curva muestra un aumento gradual de la fuerza con respecto al alargamiento. La fibra soporta una fuerza máxima de alrededor de 10 N antes de comenzar a mostrar signos de deformación. El alargamiento de hasta un 2 % antes de desviarse de la linealidad indicada que la fibra fina tiene un comportamiento elástico inicial, pero empieza a ceder a menores fuerzas comprado con la fibra gruesa.

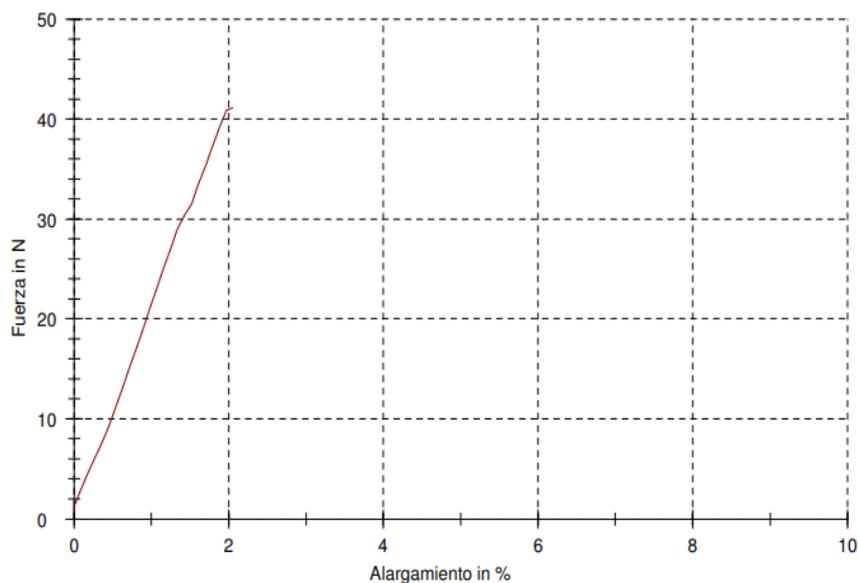


Figura 54. Ensayo de tracción muestra 2 de la fibra de abacá.

En la (Figura 54) corresponde a una fibra de abacá gruesa, la curva muestra una relación lineal mucho más pronunciada y una fuerza máxima de aproximadamente 40 N. La fibra de abacá gruesa exhibe una mayor capacidad de resistir la tracción, alcanzando un alargamiento de cerca del 2 % antes de comenzar a deformarse plásticamente. Esta resistencia significativamente mayor demuestra la robustez de la fibra gruesa frente a cargas de tracción.

Tabla 10. Resultados del ensayo de tracción de las fibras de abacá.

Muestra de fibra de abacá	L0 mm	FH N	RH cN/tex	ϵ H mm	WH Nmm	ϵ Break mm
1	500,00	13,05	65,26	9,73	60,85	9,73
2	500,00	41,13	87,51	10,26	222,4	10,26

Donde:

- L0 es la longitud inicial.
- FH es la fuerza de rotura.
- RH es la resistencia.
- ϵ H es el alargamiento a la ruptura.
- WH es el trabajo hasta la ruptura.
- ϵ Break es el alargamiento final.

La diferencia entre los dos resultados destaca la influencia del grosor de la fibra de abacá en sus propiedades mecánicas. Las fibras gruesas muestran una mayor resistencia a la tracción y una capacidad de alargamiento ligeramente superior antes de la deformación plástica, en comparación con las fibras finas. Ambos tipos de fibras presentan un alargamiento similar antes de la ruptura, lo que indica una buena capacidad de deformación bajo carga.

5.2.2. Ensayos de tracción de probetas

Los resultados presentados en la gráfica (*Figura 55*) reflejan el deslizamiento de la muestra a la tracción sometida, ya que sus mordazas no eran las adecuadas para este tipo de material a ensayar. Dando como resultado una curva fallida donde no se pueden analizar los resultados en el ensayo de tracción para las probetas mecánicas de fibra de abacá y adhesivo de almidón de yuca.

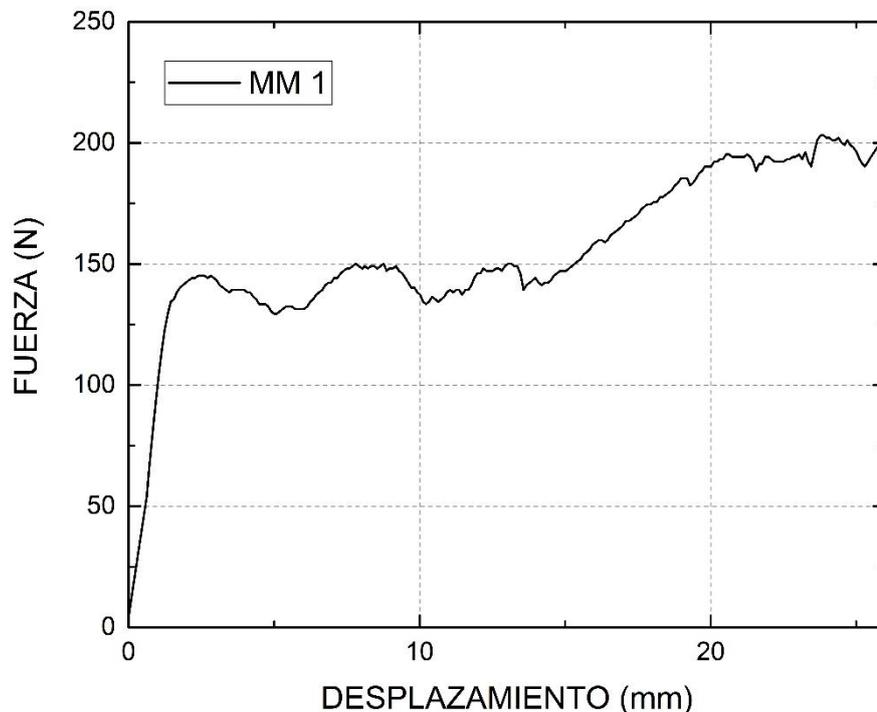


Figura 55. Ensayo de tracción en la probeta "MM 1".

El gráfico muestra los resultados de las tres muestras realizadas con contenido aleatorio de fibra de abacá. Para la muestra MMA-1 exhibe un incremento constante de fuerza hasta alcanzar unos 300 N con un desplazamiento cercano a 1,2 mm, momento en el que se observa una caída abrupta en la fuerza. La muestra MMA-2 y MMA-3 muestran comportamientos similares, con incrementos de fuerza de hasta aproximadamente 500 N y un desplazamiento de 1,8 en la muestra MMA-2 y 2,5 en la muestra MMA-3. Esto indica que las muestras trenzadas MMA-2 y MMA-3 tienen una mayor capacidad de resistencia y desplazamiento en comparación con la muestra no trenzada MMA-1.

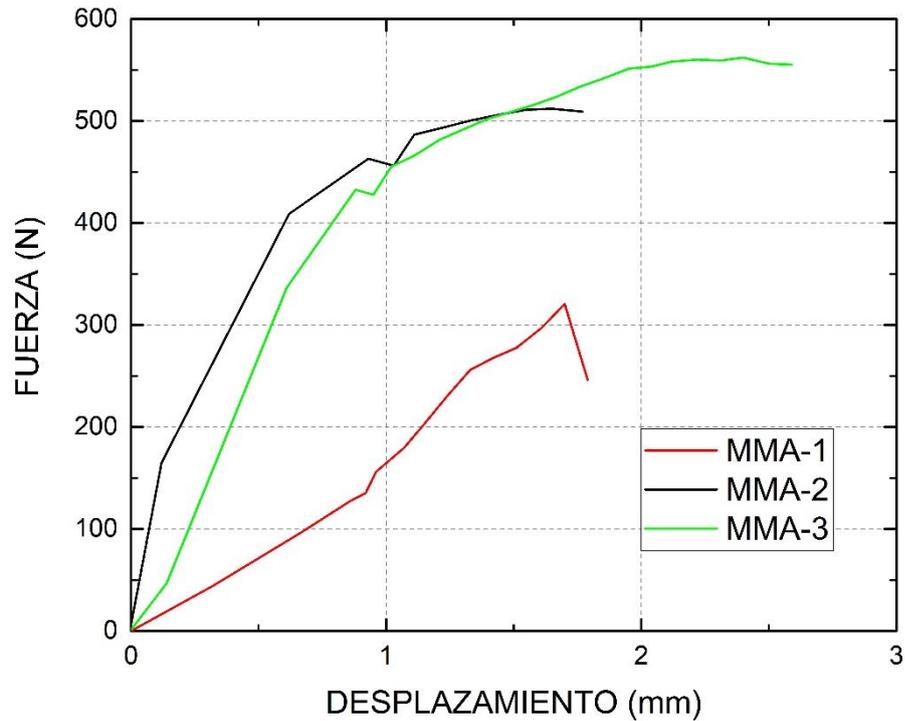


Figura 56. Ensayo de muestras trenzadas y no trenzadas.

5.3. Ensayos térmicos.

En el presente estudio, se han evaluado las propiedades térmicas de diversas muestras de fibra de abacá para determinar su capacidad de conducción y resistencia térmica. Utilizando equipos y métodos estandarizados, como la norma UNE-EN ISO 12667:2001 [33], se llevaron a cabo ensayos térmicos detallados que involucraron la medición de la temperatura en placas caliente y fría, así como la potencia aplicada a cada muestra. Se prestó especial atención a parámetros críticos como el espesor de las fibras, el área de las muestras y la resistencia térmica específica.

Estos ensayos son fundamentales para comprender cómo las fibras de abacá responden a diferentes condiciones térmicas, lo cual tiene implicaciones directas en su aplicabilidad en sectores industriales que demandan materiales con excelentes propiedades de aislamiento térmico. A continuación, se presentan y analizan los resultados obtenidos (*Tabla 11*).

Los datos de la tabla muestran variaciones en las temperaturas de las placas caliente y fría, con la potencia mayormente constante en 0,60 W, excepto para una muestra que presenta 0,63 W. los espesores de las muestras varían de 0,01 m a 0,05 m, mientras que el área se mantiene constante. La resistencia térmica disminuye a medida que el espesor aumenta, lo que es coherente con el aumento de la conductividad térmica.

Tabla 11. Datos de conductividad térmica de 1 muestras de fibra de abacá.

Muestras de fibra de abacá	Temperatura placa caliente °C	Temperatura placa fría °C	Potencia $W = V \times I$	Espesor m	Área m^2	Conductividad térmica (k) $W m^{-1} K^{-1}$	Resistencia térmica $m^2 K W^{-1}$
A1-D100	42,9	32,63	0,6	0,01	0,00785	0,074	0,134
A2-D100	41,93	28,6	0,6	0,02	0,00785	0,115	0,174
A3-D100	45,23	31,09	0,6	0,03	0,00785	0,162	0,185
A4-D100	44,5	29,45	0,63	0,04	0,00785	0,213	0,188
A5-D100	41,56	25,45	0,6	0,05	0,00785	0,237	0,211

Estos resultados revelan que la conductividad térmica del material aumenta con el espesor de la muestra. En la (Figura 57) se observa una relación lineal entre el espesor y la conductividad térmica, que varía de $0,074 W m^{-1} K^{-1}$ para un espesor de $0,01 m$ a $0,237 W m^{-1} K^{-1}$ para un espesor de $0,05 m$. este comportamiento indica que capas más gruesas de fibra de abacá tiene una mayor capacidad para conducir calor.

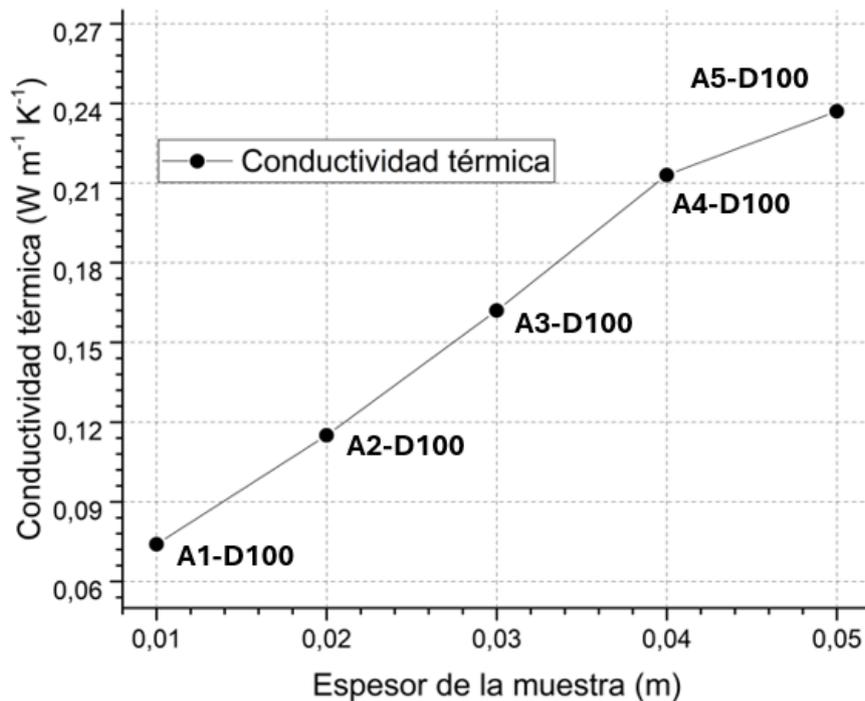


Figura 57. Ensayo térmico, resultados de la fibra de abacá.

6. Conclusiones y líneas futuras de investigación.

El objetivo de esta investigación ha sido analizar las propiedades mecánicas, térmicas y acústicas de las fibras de abacá de la variedad “Tangongón” y explorar la posible revalorización de este subproducto agrícola, aprovechándolo como panel de absorción acústica.

6.1. Conclusiones

- En los ensayos de tracción, solo se pudo ensayar la resistencia que tenía cada fibra de abacá, la cuales presentaron una resistencia mecánica adecuada, aunque inferior a la de otros materiales sintéticos convencionales. No obstante, su combinación con adhesivos naturales como fue el almidón de yuca proporciona una resistencia suficiente para diversas aplicaciones estructurales ligeras, mostrando una ventaja considerable en términos de sostenibilidad y bajo impacto ambiental.
- Las propiedades como aislante térmico indicaron que el material compuesto por fibra de abacá es eficiente como aislante térmico ya que sus resultados oscilaban entre $0,074 - 0,237 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$ en algunos espesores. Las variaciones en el espesor de las muestras afectaron directamente su capacidad para conducir calor, lo cual es crucial para aplicaciones en las que se requiere una gestión eficiente de la temperatura.
- Las propiedades como absorbente acústico son muy buenas, ya que los resultados obtenidos con las probetas de 40 mm de diámetro se destacan por su alta eficiencia en la absorción en un amplio rango de frecuencia que va desde los 500 – 4.000 Hz. Las muestras más densas fueron capaces de absorber la mayor parte del sonido con valores de absorción acústica de 0,79 a un rango comprendido de 1.300 – 2.000 Hz ayudando a disminuir la reverberación de un espacio cerrado.
- La producción de abacá en Ecuador, concentrada principalmente en la región costera, aporta valor agregado al producto final, promoviendo el desarrollo económico local y aprovechando los recursos naturales disponibles. La industria de abacá puede beneficiarse de estas investigaciones para mejorar la calidad y aplicación de sus productos.
- Cabe mencionar que todo el proceso de fabricación fue realizado de forma manual por lo que es muy probable que el adhesivo de almidón de yuca no se haya quedado impregnado en todas las zonas de la muestra de fibra de abacá, por lo que si se realiza el procedimiento a un nivel industrial donde se pueda garantizar que todo el material se impregne de manera uniforme y homogénea.

- El uso de fibras naturales como el abacá, junto con el adhesivo natural, no solo mejora las propiedades ambientales del material compuesto, sino que también ofrece una alternativa viable y sostenible, donde la reducción del impacto ambiental es una prioridad creciente.

6.2. Líneas futuras de investigación

Para concluir, es importante destacar varias líneas futuras de investigación que podrían profundizar y expandir los hallazgos obtenidos en este estudio.

- Investigar diferentes proporciones y combinaciones de fibra de abacá y adhesivos naturales para mejorar aún más las propiedades mecánicas y acústicas de los paneles.
- Explorar el impacto de diversos tratamientos de superficie en las fibras de abacá para aumentar su durabilidad y resistencia a factores ambientales como la humedad y los cambios de temperatura.
- Evaluar la eficiencia de otros tipos de adhesivos naturales y su interacción con la fibra de abacá, buscando alternativas que optimicen la sostenibilidad y las propiedades finales del material compuesto.
- Realizar estudios de análisis de ciclo de vida (LCA) para evaluar el impacto ambiental completo del uso de fibra de abacá en comparación con materiales tradicionales, proporcionando datos valiosos para promover su adopción en la industria.

7. Bibliografía.

- [1] “Future Fibres: Abacá.” Accessed: Nov. 18, 2023. [Online]. Available: <https://www.fao.org/economic/futurefibres/fibres/abaca0/es/>
- [2] K. Vijayalakshmi, C. Y. K. Neeraja, A. Kavitha, J. Hayavadana, and A. Professor, “Abaca Fibre”.
- [3] C. Ciani, “ANÁLISIS DEL MERCADO INTERNACIONAL DE LA FIBRA DE ABACÁ, SU OFERTA EXPORTABLE HACIA REINO UNIDO Y SU APOORTE EN EL CAMBIO DE LA MATRIZ PRODUCTIVA,” 2017, Accessed: Nov. 20, 2023. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/320618535>
- [4] “Mercado de Fibra de Abacá, Tamaño, Cuota, Informe 2024-2032.” Accessed: Nov. 20, 2023. [Online]. Available: <https://www.informesdeexpertos.com/informes/mercado-de-fibra-de-abaca>
- [5] “Wilhelm G. Clasen | Abacá.” Accessed: Nov. 20, 2023. [Online]. Available: <https://www.wgc.de/es/produkte/abaca>
- [6] “PRODUCTO ABACÁ ECUATORIANO EN EL MERCADO INTERNACIONAL - Inicio - Comunidad Todo Comercio Exterior Ecuador.” Accessed: Nov. 20, 2023. [Online]. Available: <https://comunidad.todocomercioexterior.com.ec/profiles/blogs/producto-abac-ecuadoriano-en-el-mercado-internacional?overrideMobileRedirect=1#>
- [7] “El Abacá - Terranova papers.” Accessed: Nov. 22, 2023. [Online]. Available: <https://terranovapapers.com/el-abaca>
- [8] F. Liesa Mestres and L. Bilurbina, “Adhesivos industriales,” *Prodúctica* ; 39, p. 128, 1993, Accessed: Mar. 23, 2024. [Online]. Available: <https://books.google.es/books?id=Dz6iVjqF80wC&lpg=PA47&ots=NhpE90JWGI&dq=adhesivos polares&hl=es&pg=PP1#v=onepage&q&f=false>
- [9] “Tipos de Adhesivos - ASEFCA.” Accessed: Mar. 23, 2024. [Online]. Available: <https://asefca.org/tipos-de-adhesivos/>
- [10] “QUÍMICA AMBIENTAL: EL ALMIDÓN DE YUCA COMO PEGAMENTO.” Accessed: Mar. 28, 2024. [Online]. Available: <https://alimentosoproductosquimicos.blogspot.com/p/el-almidon-de-yuca-como-pegamento.html>
- [11] “Adhesivos industriales: Clasificación y Ejemplos - Crom Subminis...” Accessed: Mar. 28, 2024. [Online]. Available: <https://cromsi.com/blog/2023/06/09/adhesivos-industriales-clasificacion-y-ejemplos/>
- [12] J. Aristizábal, T. Sánchez Autoras, and D. M. Lorío, “ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN Roma, 2007 Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca BOLETÍN DE SERVICIOS AGRÍCOLAS DE LA FAO 163”.
- [13] “Diferencias entre el almidón nativo y el almidón modificado en la industria de los alimentos.” Accessed: Jan. 27, 2024. [Online]. Available:

- <https://www.poltecas.com/post/diferencias-entre-el-almid%C3%B3n-nativo-y-el-almid%C3%B3n-modificado-en-la-industria-de-los-alimentos>
- [14] J. Meneses, C. M. Corrales, and M. Valencia, “SÍNTESIS Y CARACTERIZACIÓN DE UN POLÍMERO BIODEGRADABLE A PARTIR DEL ALMIDÓN DE YUCA”.
- [15] “View of Obtención y caracterización de un polímero biodegradable a partir del almidón de yuca.” Accessed: Jan. 29, 2024. [Online]. Available: <https://publicaciones.eafit.edu.co/index.php/ingciencia/article/view/457/1550>
- [16] O. De *et al.*, “ALTERNATIVA ECOLÓGICA EN LA,” vol. 14, pp. 37–44, 2017.
- [17] J. Ramis *et al.*, “Nuevos materiales absorbentes acústicos basados en fibra de kenaf; New absorbent material acoustic based on kenaf’s fibre,” vol. 60, pp. 465–2746, 2010, doi: 10.3989/mc.2010.50809.
- [18] J. P. Arenas and F. Asdrubali, “Eco-Materials with Noise Reduction Properties,” 2018, doi: 10.1007/978-3-319-48281-1_137-1.
- [19] “Absorción acústica, ¿qué es y cómo funciona?. | ISINAC.” Accessed: Jun. 08, 2024. [Online]. Available: <https://isinac.com/es/absorcion-acustica-post/absorcion-acustica>
- [20] “GUÍA para tratar la ABSORCIÓN ACÚSTICA [2023] - Woodslines.” Accessed: Feb. 10, 2024. [Online]. Available: https://woodslines.com/es/guia-absorcion-acustica/#%C2%BFQue_es_la_absorcion_acustica
- [21] “AENORmas.” Accessed: Jun. 27, 2024. [Online]. Available: <https://plataforma.aenormas.aenor.com/pdf/UNE/N0044829>
- [22] S. Guzmán Freire, “ESTRATEGIAS PARA EL ACONDICIONAMIENTO ACÚSTICO INTERIOR”.
- [23] “AENORmas.” Accessed: Jun. 27, 2024. [Online]. Available: <https://plataforma.aenormas.aenor.com/pdf/UNE/N0027449>
- [24] J. Negreira, “Absorción acústica-Concepto, medidas e indicadores ponderados”.
- [25] “La Agenda para el Desarrollo Sostenible - Desarrollo Sostenible.” Accessed: Jul. 02, 2024. [Online]. Available: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/development-agenda/>
- [26] “Objetivos y metas de desarrollo sostenible - Desarrollo Sostenible.” Accessed: Jul. 02, 2024. [Online]. Available: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/sustainable-development-goals/>
- [27] “AENORmas.” Accessed: Jun. 27, 2024. [Online]. Available: <https://plataforma.aenormas.aenor.com/pdf/UNE/N0014107>
- [28] “AENORmas.” Accessed: Jun. 27, 2024. [Online]. Available: <https://plataforma.aenormas.aenor.com/pdf/UNE/N0072850>
- [29] “Método de prueba estándar E2611 para medir la transmisión de sonido de incidencia normal de materiales acústicos basado en el método de matriz de transferencia.” Accessed: Jun. 27, 2024. [Online]. Available: <https://www.astm.org/e2611-09.html>
- [30] R. Del Rey, J. Alba, L. Bertó, C. Hervás, and V. Sanchís, “CONSTRUCCIÓN DE UN TUBO DE IMPEDANCIA PARA LA MEDIDA DE LAS PÉRDIDAS POR TRANSMISIÓN”.

- [31] “AENORmas.” Accessed: Jun. 27, 2024. [Online]. Available: <https://plataforma.aenormas.aenor.com/pdf/UNE/N0045183>

- [32] “Un espacio para conocer sobre la caracterización térmica de los materiales - UAO Portal.” Accessed: Apr. 05, 2024. [Online]. Available: <https://www.uao.edu.co/ciencias-basicas-y-ambientales/un-espacio-para-conocer-sobre-la-caracterizacion-termica-de-los-materiales-2/>

- [33] “AENORmas.” Accessed: Jun. 27, 2024. [Online]. Available: <https://plataforma.aenormas.aenor.com/pdf/UNE/N0027459>

- [34] “¿Ruido o información? Pérdidas auditivas.” Accessed: Jun. 27, 2024. [Online]. Available: https://www.unavarra.es/organiza/acustica/Ruido_frente_a_informacion/perdida_auditiva.htm

8. Anexos.

8.1. Relación del trabajo con los objetivos del desarrollo sostenible (ODS).

Este estudio se alinea con varios Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) establecidos por la ONU, demostrando su relevancia en la promoción de un desarrollo más sostenible y equitativo:

➤ Trabajo decente y Crecimiento Económico.

El desarrollo de nuevas aplicaciones para la fibra de abacá de variedad “Tangongón” provenientes de Ecuador puede generar oportunidades de empleo y fomentar el crecimiento económico en las regiones productoras de Ecuador. Esto ayudara a mejorar las condiciones de vida de los agricultores y comunidades locales.

➤ Industria, Innovación e Infraestructura.

La investigación de materiales compuesto de fibra de abacá de variedad “Tangongón” provenientes de Ecuador y adhesivos naturales fomenta la innovación en materiales sostenibles y promueve la infraestructura ecológica. Estos materiales pueden sustituir a los convencionales, reduciendo la dependencia de recurso no renovables.

➤ Ciudades y Comunidades Sostenibles.

Los materiales compuestos de fibra de abacá de variedad “Tangongón” provenientes de Ecuador, con sus propiedades acústicas y térmicas, pueden ser utilizados en la construcción de edificios más sostenibles y eficientes. Esto contribuye a la creación de entornos urbanos que son más saludables y sostenibles para sus habitantes.

➤ Producción y Consumo Responsable.

Al aprovechar subproductos agrícolas como la fibra de abacá, este trabajo contribuye a una producción más responsable y sostenible. La revaloración de estos subproductos ayuda a reducir el despericio y promueve un uso eficiente de los recursos naturales.

➤ Acción por el Clima.

La autorización de materiales naturales y sostenibles, como la fibra de abacá de variedad “Tangongón” provenientes de Ecuador, reduce la huella de carbono en la producción de materiales compuestos. Esto apoya los esfuerzos para mitigar el cambio climático mediante la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.

➤ Vida de Ecosistema Terrestre.

Promoviendo el cultivo y uso de la fibra de abacá, esta investigación apoya la gestión sostenible de los ecosistemas terrestres y fomenta prácticas agrícolas responsables. Esto contribuye a la conservación de la biodiversidad u la mejor de la salud del suelo.

8.2. [Tabla de figuras](#)

Figura 1. Cepa típica de abacá en estado de madures.	3
Figura 2. Exportaciones del Ecuador de Abacá “tomado del Banco Central del Ecuador, 2016”..	6
Figura 3. Proceso obtención de la fibra de abacá. [7]	7
Figura 4. Usos de la fibra de Abacá.	7
Figura 5. El almidón de yuca como pegamento.[10]	9
Figura 6. Adhesivos industriales.[11]	9
Figura 7. La yuca y su almidón.[13]	10
Figura 8. Composición química de almidón de yuca.[10]	11
Figura 9 . Estructura de molécula de amilosa.[15]	11
Figura 10. Estructura de molécula de amilopectina.[15]	12
Figura 11. Absorción acústica. [20]	14
Figura 12. Aislamiento Acústico. [20]	14
Figura 13. Muestras prototipo: a) Almidón de yuca, b) harina de maíz, c) lignina.	17
Figura 14. Segunda preparación del adhesivo de almidón de yuca.	17
Figura 15. Resultado gelatinoso del almidón de yuca.	18
Figura 16. a) primera composición de adhesivo y b) segunda composición de adhesivo.	18
Figura 17. Fibra de abacá variedad “Tangongón”, producto traído de Ecuador.	19
Figura 18. Medida de la fibra de abacá.	19
Figura 19. Peso de la primera muestra, 10 gramos de fibra y 10 gramos de adhesivo.	20
Figura 20. Peso para las muestras 2 y 3.....	20
Figura 21. Peso para las muestras 4 y 5.....	20
Figura 22. Proceso de la mezcla manual de los materiales.	21
Figura 23. Proceso de Creación de las probetas en moldes circulares.....	21
Figura 24. Moldes de diferentes alturas para crear probetas cilíndricas de 100 mm de diámetro.	22
Figura 25. Probetas cilíndricas de 100 mm de diámetro.....	22
Figura 26. Moldes de diferentes alturas para crear probetas cilíndricas de 40 mm de diámetro.	22
Figura 27. Probetas cilíndricas de 40 mm de diámetro.....	23
Figura 28. Molde en forma de ladrillo para probetas de ensayos mecánicos.....	24
Figura 29. Probetas rectangulares para ensayos mecánicos.	25
Figura 30. Representación de las curvas de referencia que fijan los límites de las diferentes clases de absorción sonora.	26
Figura 31. Esquema de conexión de la norma UNE-EN ISO 10534-2:2002 [23].....	27
Figura 32. Método de ensayo de absorción acústica.	28
Figura 33. Aplicación MATLAB.	28

Figura 34. Esquemas de los tubos de impedancia para medición de las pérdidas por transmisión. [30]	29
Figura 35. Método de ensayo de pérdida de transmisión del sonido.....	30
Figura 36. Métodos de ensayo: a) tracción, b) compresión, c) dureza, d) impacto y e) fatiga....	31
Figura 37. Equipo de ensayo de tracción para hilos.....	32
Figura 38. Ensayo de tracción con la muestra “MM 1”.....	34
Figura 39. Ensayo de tracción con una cierta cantidad de fibra de abacá.....	34
Figura 40. Condiciones generales para placa única en un equipo de placa caliente guardada. .	35
Figura 41. Fabricación casera para la determinación del coeficiente de conductividad térmica según la norma UNE-EN 12667-2001.....	36
Figura 42. Micrografía de la superficie de una muestra de fibra de abacá a través de una lupa microscópica.....	36
Figura 43. Micrografía de la superficie de una muestra de fibra de abacá a un aumento de a) X10, b) X40 y c) X80.....	37
Figura 44. Espectro audible	39
Figura 45. Comparación de fibra de guadua y acustifibra en el tubo de impedancia.....	39
Figura 46. Absorción acústica de tela no tejida a base de poliéster y polipropileno (PNF).....	40
Figura 47. Absorción acústica de fibra de hoja de té (TLF).....	40
Figura 48. Absorción acústica de tela tejida de algodón (WCC).....	41
Figura 49. Coeficiente de absorción acústicas de muestras de fibra de abacá y almidón de yuca (100 mm de diámetro).....	41
Figura 50. Coeficiente de absorción acústicas de muestras de fibra de abacá y almidón de yuca (40 mm de diámetro).....	42
Figura 51. Pérdida auditiva en función del tiempo de exposición y de la frecuencia para un nivel medio de 99 dB [34].....	44
Figura 52. Pérdidas de transmisión de sonido (STL) de muestras de fibra de abacá y almidón de yuca.....	44
Figura 53. Ensayo de tracción muestra 1 de la fibra de abacá.....	45
Figura 54. Ensayo de tracción muestra 2 de la fibra de abacá.....	46
Figura 55. Ensayo de tracción en la probeta “MM 1”.....	47
Figura 56. Ensayo de muestras trenzadas y no trenzadas.....	48
Figura 57. Ensayo térmico, resultados de la fibra de abacá.....	49

8.3. Tabla de contenidos.

Tabla 1. Comparación de composición química del Abacá con otras Fibras Naturales. [2]	3
Tabla 2. Comparación de Propiedades Físicas del Abacá con otras Fibras Naturales. [2].....	4
Tabla 3. Composición química de la yuca.[10]	10
Tabla 4. Peso de los componentes de las muestras de ensayo mecánico.....	25
Tabla 5. Clases de absorción acústica.....	26
Tabla 6. Resultados de las dos fibras tomadas para realizar el ensayo de tracción.....	33
Tabla 7. Resultados de las muestras cilíndricas de 100 mm de diámetro.....	38
Tabla 8. Resultados de las muestras cilíndricas de 40 mm de diámetro.....	38
Tabla 9. Clasificación de la clase de absorción acústica de las muestras de fibra de abacá y almidón de yuca	43
Tabla 10. Resultados del ensayo de tracción de las fibras de abacá.....	46
Tabla 11. Datos de conductividad térmica de l muestras de fibra de abacá.....	49

8.4. Ecuaciones.

(1).....	23
(2).....	24
(3).....	33
(4).....	38