



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS AGROPECUARIAS

CARACTERIZACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICAS Y ACÚSTICAS DE
FIBRAS VEGETALES PARA EVALUAR SU POTENCIAL USO EN LA
CONSTRUCCIÓN

AUTOR

EFRAÍN ALFONSO PULLOQUINGA CEVALLOS

AÑO

2019



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS

CARACTERIZACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICAS Y ACÚSTICAS DE FIBRAS
VEGETALES PARA EVALUAR SU POTENCIAL USO EN LA
CONSTRUCCIÓN

Trabajo de Titulación presentado en conformidad con los requisitos
establecidos para optar por el título de Ingeniero en Sonido y Acústica

Profesor Guía

Ph.D. Luis Alberto Bravo Moncayo

Autor

Efraín Alfonso Pulloquina Cevallos

Año

2019

DECLARACIÓN DEL PROFESOR GUÍA

“Declaro haber dirigido este trabajo, “Caracterización de propiedades físicas y acústicas de fibras vegetales para evaluar su potencial uso en la construcción”, a través de reuniones periódicas con el estudiante Efraín Alfonso Pulloquina Cevallos, en el semestre 2019-10, orientando sus conocimientos y competencias para un eficiente desarrollo del tema escogido y dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación”

Luis Alberto Bravo Moncayo
Doctor en Ingeniería Acústica
C.I. 171171060-6

DECLARACIÓN DEL PROFESOR CORRECTOR

“Declaro haber revisado este trabajo, “Caracterización de propiedades físicas y acústicas de fibras vegetales para evaluar su potencial uso en la construcción” de Efraín Alfonso Pulloquina Cevallos, en el semestre 2019-10, dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación”

Miguel Ángel Chávez Avilés
Master of Science in Sustainable Building Engineering
C.I. 171072484-8

DECLARACIÓN DE AUTORÍA DEL ESTUDIANTE

“Declaro que este trabajo es original, de mi autoría, que se han citado las fuentes correspondientes y que en su ejecución se respetaron las disposiciones legales que protegen los derechos de autor vigentes”

Efraín Alfonso Pulloquina Cevallos

C.I. 172401486-3

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer inmensamente a mi DIOS por haberme dado esta profesión. A mi familia y todas las personas que pusieron su grano de arena para que pueda tener este título.

DEDICATORIA

A mi familia.

RESUMEN

El presente trabajo de investigación hace referencia a la caracterización física y acústica de fibras vegetales (abacá, cabuya y coco) mediante su densidad volumétrica, espesor y coeficiente de absorción sonora. Para esto se elaboraron paneles acústicos de fibra vegetal de diferentes tamaños y espesores.

Las mediciones se realizaron con base en la segunda parte de la normativa internacional UNE EN ISO 10534-2 “Determinación del coeficiente de absorción acústica y de la impedancia acústica en tubos de impedancia” - “Método de la función de transferencia”, la cual establece los lineamientos a seguir para obtener datos confiables del coeficiente de absorción sonora. Por último, los ensayos restantes (densidad volumétrica y espesor) fueron obtenidos en un laboratorio externo.

ABSTRACT

The present investigation refers to the physical and acoustic characterization of natural fibers (abaca, cabuya and coconut) by means of their volumetric density, thickness and sound absorption coefficient. In order to achieve this, acoustic panels of natural fiber of different sizes and thicknesses were elaborated.

The measurements were done based on the second part of the international standard UNE EN ISO 10534-2 "Determination of the acoustic absorption coefficient and of the acoustic impedance in impedance tubes" – "Transfer function method", which establishes the guidelines for obtaining reliable data of the sound absorption coefficient. Lastly, the remaining measurements (volumetric density and thickness) were obtained in an external laboratory.

ÍNDICE

1.INTRODUCCIÓN	1
1.1. Antecedentes.....	1
1.2. Marco referencial	5
1.3. Hipótesis	6
1.4. Alcance	6
1.5. Justificación	7
1.6. Objetivo General.....	7
1.7. Objetivos específicos.....	7
2. MARCO TEÓRICO.....	8
2.1. Principio de funcionamiento de los materiales absorbentes.....	8
2.1.1. Materiales fibrosos	9
2.1.2. Porosidad (σ).....	9
2.2. Características físicas de materiales absorbentes	11
2.2.1. Densidad	11
2.2.2. Espesor del material.....	12
2.2.3. Resistencia al flujo del aire (R).....	13
2.2.4. Tortuosidad	13
2.3. Coeficiente de absorción sonora	14
2.3.1. Métodos obtención coeficiente absorción sonora.....	14
2.3.1.1. Medición mediante tubo de impedancia.	14
2.3.1.2. Medición de la absorción acústica en una cámara reverberante.	15

2.4. Noise Reduction Coefficient (NRC)	16
2.5. Reflexión sonora.....	17
2.6. Densidad superficial	18
2.7. Densidad volumétrica	19
2.8. Frutos y plantas para analizar	19
2.8.1. Abacá.....	19
2.8.2. Cabuya.....	20
2.8.2.1. Proceso de elaboración de la fibra de cabuya.....	20
2.8.3. Coco.....	21
3. METODOLOGÍA.....	22
3.1. Equipamiento de medición parámetros acústicos	22
3.1.1. Máquina desfibradora.....	22
3.1.2. Estufas	23
3.1.3. Tubo de Impedancia Spectronics ACUPRO 4.....	24
3.1.3.1. Altavoz JBL 2426J	25
3.1.3.2. Micrófonos de medición.....	26
3.1.3.3. Interfaz Data Translation 9837.....	27
3.1.3.4. Porta muestras del tubo de impedancias.....	28
3.1.3.5. Cortador de muestras	28
3.1.3.6. Software ACUPRO	29
3.2. Preparación de las muestras de ensayo	30
3.2.1. Conformación del aglutinante.....	30
3.2.2. Moldes para la elaboración de las muestras.	31
3.3. Elaboración de las muestras de ensayo.....	31
3.3.1. Elaboración paneles de abacá y cabuya.....	31

3.3.2. Elaboración de los paneles de coco.....	32
3.3.3. Elaboración muestras para tubo de impedancias	33
3.4. Proceso de medición en el tubo de impedancias	34
3.4.1. Montaje de la microfonía y conexión	34
3.5. Proceso general de medición	36
4. RESULTADOS	38
4.1. Resultados coeficiente de absorción - fibra de abacá	38
4.1.1. Panel N°1 – fibra de abacá	38
4.1.2. Panel N°2 – fibra de abacá	39
4.1.3. Panel N°3 – fibra de abacá	41
4.1.4. Panel N°4 – fibra de abacá	42
4.1.5. Comparación del coeficiente de absorción de los cuatro paneles de abacá.	44
4.2. Resultados del coeficiente de absorción - fibra de cabuya ...	46
4.2.1. Panel N°1 – fibra de cabuya.....	46
4.2.2. Panel N°2 – fibra de cabuya.....	48
4.2.3. Panel N°3 – fibra de cabuya.....	49
4.2.4. Panel N°4 – fibra de cabuya.....	51
4.2.5. Panel N°5 – fibra de cabuya.....	52
4.2.6. Comparación del coeficiente de absorción de los cinco paneles de cabuya.....	54
4.3. Resultados del coeficiente de absorción – fibra de coco.....	57
4.3.1. Panel N°1 – fibra de coco.....	57
4.3.2. Panel N°2 – fibra de coco.....	58
4.3.3. Panel N°3 – fibra de coco.....	60
4.3.4. Panel N°4 – fibra de coco.....	61

4.3.5. Comparación del coeficiente de absorción de los cuatro paneles de coco.	63
4.4. Comparación coeficiente de absorción – fibra de abacá, cabuya y coco.....	65
4.5. Comparación del coeficiente de absorción de fibras vegetales con fibras sintéticas.....	66
4.6. Análisis de la desviación estándar de las mediciones.....	70
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	71
5.1 Conclusiones	71
5.2 Recomendaciones.....	72
REFERENCIAS.....	74
ANEXOS	79

1.INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

Las fibras vegetales se han convertido en la nueva tendencia de uso en muchas ramas, reemplazando fibras sintéticas ordinarias que causan contaminación. La razón de esto es que poseen buenas características físicas, térmicas y acústicas (Berardi, 2017).

El uso de materiales acústicos en sistemas constructivos ha estado generalmente vinculado a fibras sintéticas como lana de vidrio, lana de roca, para absorber o aislar acústicamente, siendo algunas de éstas poco amigables con el medio ambiente, nocivas para la salud y de alto costo de elaboración. Sin embargo, las fibras vegetales, como el “Arenga pinnata” que tiene un coeficiente de absorción alto en frecuencias medias - altas, podrían reemplazar a los materiales absorbentes tradicionales (Ismail, et al., 2010). Debido a esto se han realizado investigaciones e innovaciones en el área de compuestos de fibras naturales (NFC). El interés se debe a las ventajas que brindan estos materiales, en comparación con los compuestos de fibra sintética. Por lo cual, se ha invertido mucho dinero y esfuerzo para aumentar su rendimiento mecánico, y de esta manera ampliar las capacidades y aplicaciones de estos (Pickering, et al., 2016).

En las últimas dos décadas, la industria de automóviles (primero en Europa, alentada por la legislación gubernamental y luego en América del Norte), ha incorporado polímeros reforzados con fibras naturales en la fabricación de los paneles de puertas, paneles de instrumentos, cubiertas del motor, viseras del sol, filtros de aceite y aire, incluso en respaldos de asiento y paneles exteriores de pisos (Pickering et al., 2016).

También, Thilagavathi et al, en el 2010 investigaron sobre nuevos materiales para el aislamiento acústico en automóviles, en la cual determinaron que el bambú, tiene un coeficiente de absorción alto en frecuencias medias - altas.

Asimismo, Ahmad en el 2015 hizo una comparación entre las propiedades físico-acústicas de fibras naturales y materiales sintéticos, utilizados para estructuras de vigas y paneles en automóviles. Llegando a la conclusión de que las fibras como el bambú, yute, cáñamo, lino y el sisal tienen propiedades similares a las sintéticas, haciéndolas idóneas para reemplazarlas.

Otra revista publicó un método inverso para predecir las propiedades acústicas de nueve fibras (kenaf, madera, cáñamo, coco, paja, caña, lana de oveja, cartón reciclado y corcho granular). Se realizaron mediciones del coeficiente de absorción y la resistencia al flujo de aire para muestras de diferentes espesores. Luego se compararon los coeficientes obtenidos mediante el tubo de impedancias y el método teórico. De esta manera, usando el método de mínimos cuadrados se calculó el coeficiente que mejor predice la impedancia acústica y las leyes de propagación. El enfoque se lo hizo para obtener fórmulas e incluir las fibras naturales investigadas, en un modelado de software para aplicaciones de acústica arquitectónica (Berardi e Iannace, 2017).

Según Graupner y Müssig (2010) los materiales aislantes hechos a partir de fibras naturales se comportan como buenos aislantes térmicos, y tienen alto grado de absorción sonora. Por otro lado, las fibras naturales son por naturaleza inflamables, por lo cual el uso de inhibidores de fuego es crucial (Pickering et al., 2016). El aislamiento térmico a partir de fibras naturales tiene una ventaja de montaje sobre las planchas de aislamiento rígido, ya que se pueden colocar sobre la fuente de calor sin dejar cavidades y de esta manera, minimizar el movimiento de aire entre la superficie y la capa de aislamiento. Así mismo, el mantenimiento, reparación o reemplazo es bastante sencillo (Neubauer, 2010).

En el 2012 Küçük y Korkmaz, investigaron los efectos de ciertos parámetros físicos en las propiedades de absorción sonora en telas no tejidas. Así obtuvieron como resultado que las muestras que tenían 70% de algodón y 30% de poliéster tuvieron mayor absorción acústica en frecuencias medias – altas. También al modificar su grosor o juntándolas con polyester da como resultado un incremento en el coeficiente de absorción.

Korjenic et al. en el 2016 estudiaron materiales de aislamiento térmico a base de fibras naturales como el cáñamo, lino y yute con aplicaciones en fachadas y techos de edificaciones. En este estudio se determinó la influencia de la densidad volumétrica, humedad y temperatura de los materiales en la conductividad térmica. Así se llegó a los resultados de 0.05-.06 (W/m²·K) de conductividad térmica en las mencionadas fibras. Si se compara estos datos con materiales aislantes tradicionales como la lana de vidrio y lana mineral, se observa que son bastante similares (González, 2013).

También Ricciardi et al. en el 2014 realizaron una investigación donde se analizaron las propiedades acústicas y térmicas de dos paneles compuestos por papel usado y fibras vegetales. Con el fin de proporcionar datos confiables para su posterior uso en la edificación. Dicho estudio encontró un buen comportamiento térmico, con valores entre 0.034-0.037 (W/m²·K) en todos los paneles, y concluyeron que las fibras vegetales unidas a otro material (en este caso papel reciclado) funcionan de manera óptima para la edificación.

Berardi e Iannace (2015) demostraron las limitaciones de los modelos teóricos originalmente definidos para materiales porosos, cuando se aplican a fibras naturales. Presentando algunas sugerencias para el uso de estas fibras en aplicaciones de absorción sonora en edificaciones. Por su parte, Xiang et al.

(2013), investigaron sobre las características de absorción acústica de las fibras de kapok. La misma que con menor densidad presenta un coeficiente de absorción sonora similar a la fibra de lana de vidrio. Dicho estudio desarrolló además un modelo matemático que presenta una correlación significativa con los datos experimentales, demostrando que la fibra de kapok es un material acústico prometedor, liviano y amigable con el medio ambiente. Además, estudió sobre el uso de alginato de sodio como adhesivo para fibras de madera y fibras de residuos textiles.

De esta manera, las fibras naturales se han convertido en una opción sostenible en la construcción de edificios, particularmente en aplicaciones no estructurales relacionadas con el aislamiento acústico y térmico de elementos (Müssig, 2010; Pickering et al., 2016), sin mencionar su bajo consumo de dinero, bajo impacto ambiental y amplio uso (Pickering et al., 2016).

Otra investigación en torno al potencial uso de la biomasa como aislante en elementos de construcción se centra en el uso en cerramiento (paredes y pisos principalmente), y los elementos de revestimiento y relleno (Velasco, et al., 2015).

También hizo un estudio sobre el potencial uso de las fibras vegetales existentes en el Ecuador, el cual determinó que en todas las regiones (Costa, Sierra y Amazonía) existe mucha biodiversidad y cantidad de materiales. También se explica que, en muchos lugares, las mismas son desperdiciadas porque no tienen otro uso. Asimismo, la diversidad agrícola y vegetal del Ecuador, permite que las mismas abunden en zonas mixtas, es decir, en zonas frías y cálidas. Por lo tanto, su utilización en sistemas constructivos tradicionales tiene un gran potencial de mejora del hábitat en gran parte del Ecuador. Además, la incorporación de las fibras locales para el incremento del aislamiento es absolutamente compatible con los distintos sistemas constructivos del Ecuador.

También se ha encontrado fibras ecuatorianas como el pajonal que han demostrado alto grado de aislamiento. Estas son propicias para altas zonas donde la presencia de insectos que puedan alimentarse de las mismas es baja y por lo tanto su uso sería posible y sustentable en bloques de hormigón. Siempre y cuando se proteja la biomasa de la humedad del suelo o los muros de la incidencia de la lluvia. Concluyendo que el principal reto es la conservación de la biomasa frente al ataque de insectos y hongos.

Asimismo, se demuestra que es posible la mejora aislante de estas técnicas tradicionales, mediante la adición de considerables cantidades de totora, cacao, café o pajonal sin una merma excesiva de la resistencia del compuesto. Por último, se comprobó que es posible mejorar las propiedades de aislamiento tras la adición de considerables cantidades de totora, cacao, café o pajonal sin una merma excesiva de la resistencia del compuesto (Velasco, et al., 2015).

Para finalizar, no se ha encontrado en la revisión bibliográfica estudios sobre las características físico-acústico de fibras ecuatoriales. Un artículo revisa los esfuerzos actuales de investigación, técnicas de producción, tendencias, desafíos y perspectivas en el campo de los compuestos naturales a partir de polímeros basados en proteínas vegetales, el estudio concluye que los compuestos naturales son comparativamente baratos y abundantes, pero se necesita más investigación y desarrollo para una utilización más amplia (Ahmad et al., 2015; Jagadeesh et al., 2015).

1.2. Marco referencial

Actualmente, el uso de fibras naturales ha tomado un importante protagonismo en el sector industrial, de construcción, deportes y ocio (Pickering et al., 2016). Para el 2010, el mercado mundial de compuestos de fibras naturales (NFC, por

sus siglas en inglés) se estimó en US \$ 2.100 millones de dólares, con una proyección de crecimiento del 10% anual hasta el 2016 (Pickering et al., 2016).

El Ecuador es uno de los mayores productores a nivel internacional de fibra de abacá después de Filipinas, con aproximadamente 9 387 toneladas de exportación en los últimos cinco años. Por esta cantidad, el ingreso anual que recibe el país en promedio es de USD 15 millones (Espinosa, 2016). El abacá se ha constituido en un prometedor sustituto de fibras de vidrio en materiales compuestos (Göltenboth, F. y Mühlbauer, W., 2010). Otras fibras que se utilizan en Ecuador con fines artesanales son: caña, caña brava, guadua o bambú, cabuya, totora, abacá, agaves, algodón (Velasco, et al., 2015).

Por lo tanto, se ha visto la necesidad de evaluar el potencial que tienen los materiales compuestos a base de fibras vegetales no tejidas producidos en Ecuador, como una alternativa sostenible en sistemas constructivos. Este enfoque requiere inicialmente de la determinación experimental de las propiedades físicas y acústicas, para luego desarrollar un modelo empírico de modelización que correlacione dichas variables.

1.3. Hipótesis

Las fibras vegetales presentan propiedades físico-acústicas similares a fibras sintéticas como lana de vidrio y lana de roca.

1.4. Alcance

El alcance del presente estudio de investigación propone comparar la densidad volumétrica, espesor y absorción acústica, de compuestos reforzados con fibras

vegetales como el abacá, cabuya y coco que son producidas en Ecuador; como una alternativa sostenible al uso de fibras sintéticas poliméricas en el sector de la construcción.

1.5. Justificación

La pertinencia de la investigación radica en el potencial que tiene el Ecuador en producir fibras vegetales, las cuales dependiendo de sus propiedades físicas pueden constituirse en sustitutos de materiales de construcción tradicionales, con menor impacto en la salud y el ambiente.

En estos tiempos existe una demanda importante en el uso de fibras sintéticas como lana mineral, lana de vidrio y roca. Estas por sus características físicas, térmicas, acústicas y por su vida útil son bastante utilizadas en elementos constructivos. Sin embargo, acarrear desventajas como su contaminación ambiental, elevado coste y tiempo de implementación. Por lo cual, tomando en consideración que el Ecuador es un país con gran riqueza ecológica en todas sus zonas tropicales. Se presenta una nueva propuesta al uso de fibras sintéticas, mediante el uso de fibras vegetales y de esta manera ofrecer una nueva alternativa de materiales de construcción.

1.6. Objetivo General

Evaluar las propiedades físicas y acústicas de fibras vegetales como el abacá, cabuya y coco, para evaluar su potencial en el sector constructivo.

1.7. Objetivos específicos

- Evaluar el coeficiente de absorción de materiales no tejidos de fibras vegetales.

- Comparar el coeficiente de absorción sonora de las fibras vegetales estudiadas en este trabajo con el de fibras sintéticas, como la lana de vidrio y lana de roca.

2. MARCO TEÓRICO

En acústica arquitectónica la absorción acústica juega un papel importante, esta se la utiliza para controlar el tiempo de reverberación en un recinto, eliminar modos de resonancia, establece un balance entre la energía directa y las reflexiones tardías, y ecos no deseables. También se la utiliza para controlar el ruido, disminuyendo el nivel de ruido de fondo dentro de un recinto (Vendrell, et al., 2008, pag.171).

2.1. Principio de funcionamiento de los materiales absorbentes.

Cuando una fuente emite sonido, este se propaga en todas las direcciones, si este llega a un cerramiento limítrofe, pueden darse tres casos:

- A) La onda sonora es totalmente absorbida por el cerramiento, desapareciendo en la sala.
- B) La onda sonora es totalmente reflejada por el cerramiento (reflexión total).
- C) Una parte de la onda sonora es absorbida y otra parte reflejada.

Existen dos formas mediante las cuales se puede absorber sonido, por transformación en energía mecánica, lo cual es el caso de resonadores, y mediante su transformación en energía calorífica, lo cual corresponde a materiales absorbentes. Estos materiales por lo general son fibrosos y/o porosos, es decir la absorción depende de las características físicas y geométrica de los mismos. Existen otros parámetros físicos que también determinan la cantidad de absorción ejercida, estos son; su espesor, porosidad, el factor estructural, la tortuosidad del material, su resistencia al flujo de aire, su ángulo de incidencia,

frecuencia, campo sonoro (campo difuso, ondas planas, etc.). Cada uno de estos parámetros está directamente relacionado con la cantidad de absorción ejercida en cada frecuencia. De estos parámetros se detallarán los principales a continuación.

2.1.1. Materiales fibrosos

En los materiales fibrosos la energía incidente entra por sus orificios y se disipa por múltiples reflexiones y roce viscoso, transformándose en energía calorífica (figura 1). Su desventaja es que las fibras que lo componen se desprenden fácilmente con el tiempo, por lo cual, se debe implementar material de protección como velos acústicos o tela (materiales con baja resistencia al flujo de aire) (Gerges, 1992).

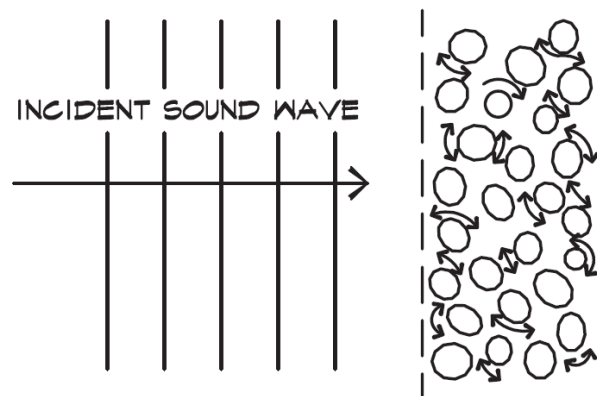


Figura 1. Principio de absorción de los materiales fibrosos

Tomado de Long, 2006, p.261

2.1.2. Porosidad (σ)

La porosidad hace referencia a la relación entre el volumen ocupado por los huecos de aire y el volumen total del material. Está dado por la ecuación 1.:

$$\sigma = \frac{V_o}{V_m} \quad (\text{Ecuación 1})$$

Donde:

V_o : es el volumen de aire dentro del material.

V_m : es el volumen del material.

Según Carrión (1998, p. 79) la penetración de la onda sonora incidente es mayor a medida que se incrementa el grado de porosidad. En la figura 2 se observa la influencia que ejerce la porosidad en la absorción.

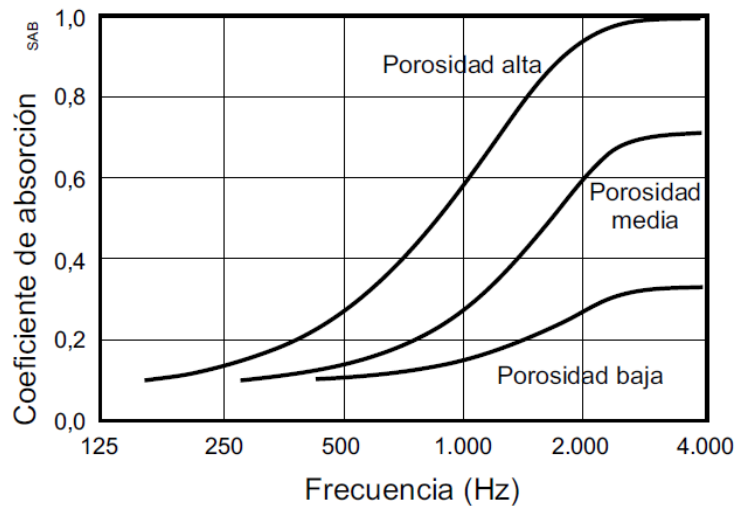


Figura 2. Influencia de la porosidad en función de la frecuencia.

Tomado de Carrión, 1998, p.79

Una desventaja de los materiales porosos es que son fácilmente contaminables, por lo cual, es necesario recubrirlos, por ejemplo, con polietileno, tal como lo indica la figura 3. (Gerges, 1992, p. 327).

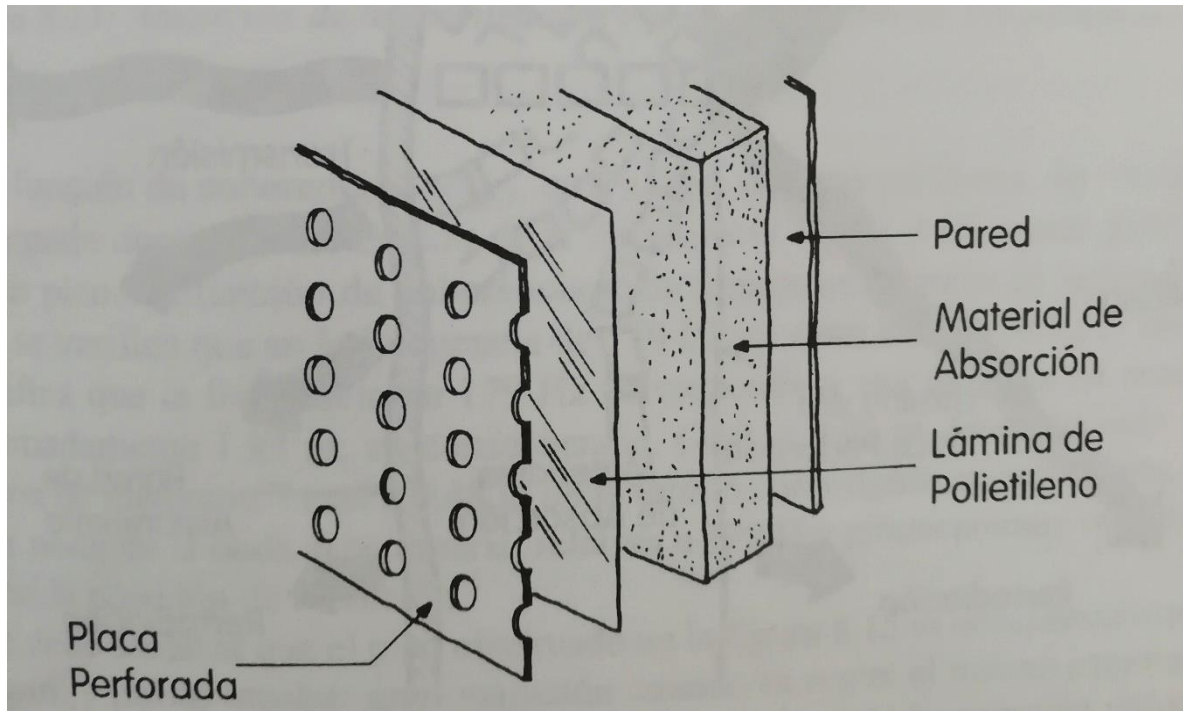


Figura 3. Recubrimiento de materiales porosos.

Tomado de Gerges, 1992, p. 327

2.2. Características físicas de materiales absorbentes

2.2.1. Densidad

Para escoger un material con buena absorción sonora, se debe encontrar un equilibrio entre su porosidad y densidad. Por lo cual, para que exista una absorción notable, la densidad del material debe ser alta, hasta llegar a un valor límite. A partir del cual la absorción decae, porque la onda sonora ya no penetra en el material. Para que exista una buena relación densidad-absorción, el valor de la densidad no debe superar los 100 Kg/m^3 por consiguiente el valor adecuado debe estar entre los 40 y 70 Kg/m^3 (Carrión, 1998, p. 80). La figura 4 presenta un ejemplo de la absorción de un material debido a su densidad.

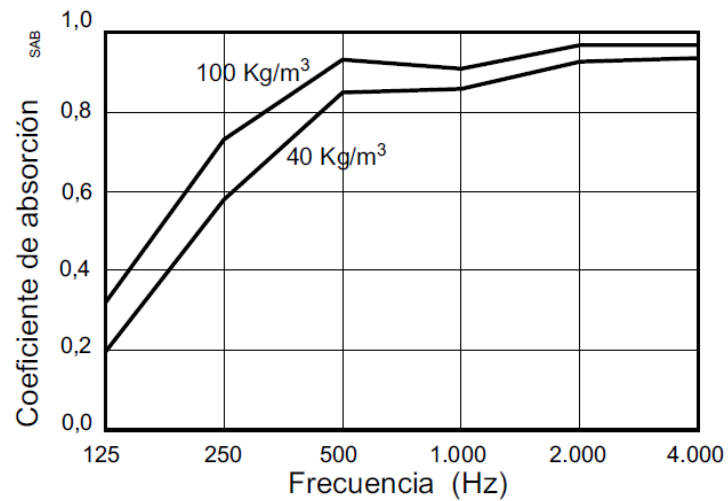


Figura 4. Absorción de una lana de roca en función de su densidad, 6 cm de espesor y densidades de 40 y 100 Kg/m³

Tomado de Carrión, 1998, p. 80

2.2.2. Espesor del material

El espesor de un material es un parámetro muy considerado a la hora de absorber sonido, este determina la frecuencia a absorber y la cantidad de energía absorbida. De esta manera, si se desea absorber el 99% de la capacidad del material, se debería colocarlo a una distancia de $\frac{\lambda}{4}$, o a su vez el material debería tener por lo menos $\frac{2}{3}$ de $\frac{\lambda}{2}$, tal como lo enseña la figura 5.

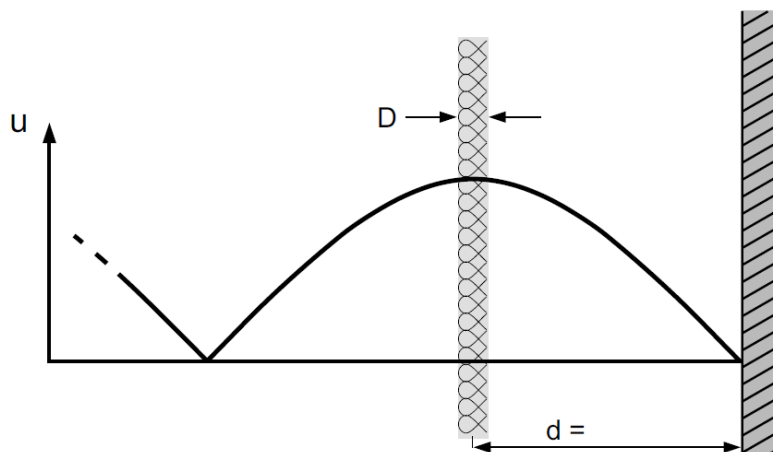


Figura 5. Emplazamiento correcto de un material absorbente para lograr una buena absorción sonora.

Tomado de Carrión, 1998, p. 80

2.2.3. Resistencia al flujo del aire (R)

La resistividad mide la dificultad de una corriente de aire para penetrar a través del material, está dado la ecuación 2:

$$R = \frac{\Delta p}{hc} \quad (\text{Ecuación 2})$$

Donde:

Δp : es la diferencia de presión entre las caras N/m^2 .

h: es el espesor del material.

c: es la velocidad de las partículas.

Por último, el procedimiento de medición de este parámetro está normalizado por NBR 8517 y la ASTM-C 522-80.

2.2.4. Tortuosidad

Este parámetro va ligado al factor estructural, igualmente depende de la geometría interna del material.

En la acústica se mide la tortuosidad como la diferencia de resistividad eléctrica de un fluido conductor y la resistencia eléctrica del material poroso impregnado con el fluido. La ecuación 3 define este parámetro de la siguiente manera:

$$T = \frac{L'}{L} \quad (\text{Ecuación 3})$$

Donde:

L': representa la longitud del canal tortuoso

L: la longitud en línea directa

2.3. Coeficiente de absorción sonora

El coeficiente de absorción sonora es un indicador de la cantidad de absorción que puede ejercer cualquier material, se lo denota mediante el símbolo “ α ”. Su definición está dada por la ecuación 4. y corresponde a la relación entre la energía que es absorbida por el material sobre la energía incidente.

$$\alpha = \frac{\text{Energía absorbida}}{\text{Energía incidente}} \quad (\text{Ecuación 4})$$

O también como la ecuación 5

$$\alpha = 1 - |R|^2 \quad (\text{Ecuación 5})$$

Donde R es el grado de reflexión.

Su valor va de 0 a 1 donde 0 es nada absorbente y 1 totalmente absorbente.

2.3.1. Métodos obtención coeficiente absorción sonora.

2.3.1.1. Medición mediante tubo de impedancia.

Su proceso de medición consiste en excitar una señal dentro del tubo para que esta se propague en una sola dirección (axial). Luego dos micrófonos calculan el desfase de la onda incidente y reflejada, para luego determinar las propiedades acústicas de una muestra ubicada al final de este (Möser y Barros, 2009, p.168,173).

La medición de este parámetro está normalizada por la ASTM C384-98 con el nombre de "Standard Test Method for Impedance and Absorption of Acoustical Materials by the Impedance Tube Method". Y la segunda parte de la UNE EN ISO 10534-2, "Determinación del coeficiente de absorción acústica y de la impedancia acústica en tubos de impedancia" - "Método de la función de transferencia".

2.3.1.2. Medición de la absorción acústica en una cámara reverberante.

En la comunicación existen tres componentes principales que son; Emisor, Mensaje (Canal de Transmisión) y Receptor. Dentro del mensaje se encuentra el medio mediante el cual se hace posible la comunicación. Si este medio (por ejemplo, un recinto) es excitado por una fuente acústica, dígase altavoz, el recinto por sus características físicas, geométricas y las distintas vías de propagación del sonido, coloreará la señal original emitida. Si esta fuente acústica cesa, existe un decaimiento rápido de energía dentro de recinto, lo que en acústica se llama "Régimen Transitorio de Decaimiento". En este régimen es donde se analiza el tiempo de reverberación (Figura 6).

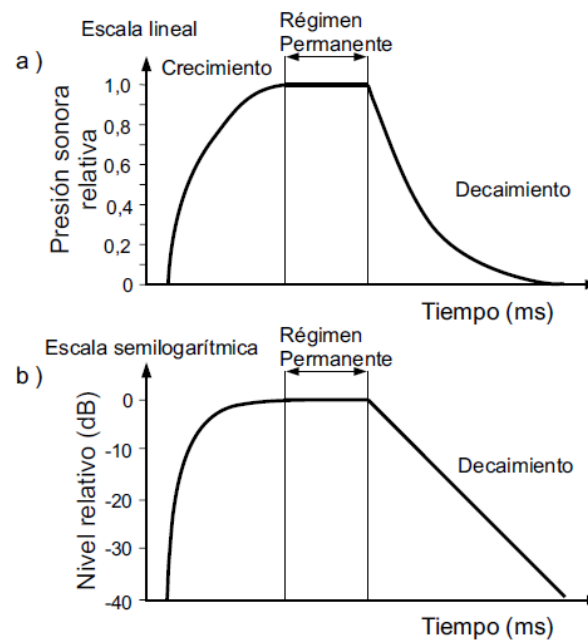


Figura 6. Variación de la densidad de energía con el tiempo. Visualización lineal (a) y logarítmica (b).

Tomado de Carrión, 1998, p.60

Como se mencionó anteriormente, las características del recinto hacen que esta caída energética sea larga o corta en el tiempo. Por lo cual, todo elemento que esté dentro del mismo afectará de menor o mayor manera. Así mismo, es necesario conocer las características acústicas de cada elemento para poder determinar cómo y cuál será el tiempo que tarda en decaer los 60 dB (tiempo de reverberación).

Las normativas internacionales que estimulan el método de medición son la ASTM C423-17 o ISO R-354.

2.4. Noise Reduction Coefficient (NRC)

En español, coeficiente de reducción de ruido. Es el promedio de la absorción acústica de un material absorbente. Este promedio es realizado entre las frecuencias de 250, 500, 1k y 2k Hz, y redondeado con una aproximación de 0.05. Es medido en la escala de 0 a 1, donde 0 es nada absorbente y 1 es totalmente absorbente. Por último, su procedimiento de medición está normalizado por la ASTM C423-17 con el nombre de "Standard Test Method for Sound Absorption and Sound Absorption Coefficients by the Reverberation Room Method".

2.5. Reflexión sonora

Ocurre cuando una onda sonora en su propagación se encuentra con una superficie limítrofe plana que separa dos medios distintos. Es aquí donde se originan dos nuevas ondas. Una que se refleja según la ley de Snell (mismo ángulo de incidencia y reflexión) y una transmitida.

Después de esta reflexión, la energía total incidente se reparte entre la onda reflejada y la transmitida (Figura 7).

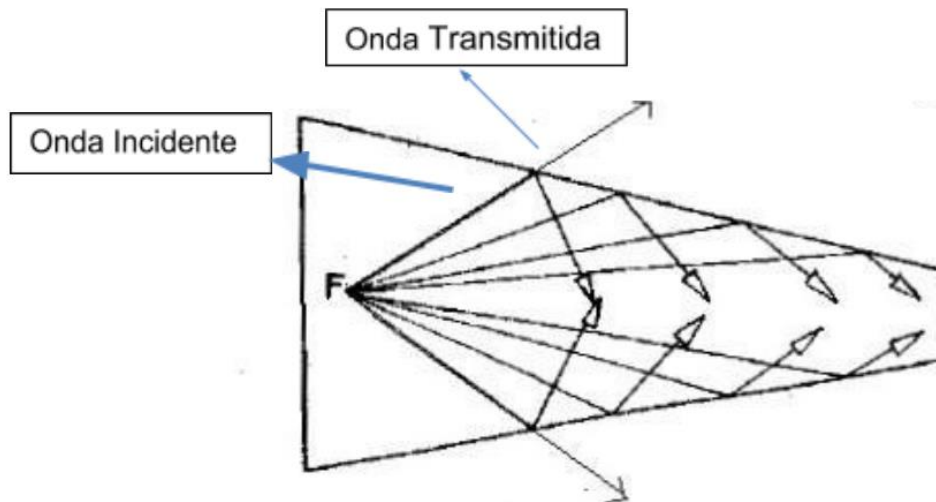


Figura 7. Ejemplo de reflexión y transmisión sonora en un auditorio.
Tomado de Vendrell, et al., 2008, p.141

En el caso de reflexión en incidencia normal a una superficie, las ondas acústicas incidente y reflejada se propagan en una misma dirección, pero sentidos opuestos. Dando por resultado una onda estacionaria (Vendrell, et al., 2008, p.49-51).

2.6. Densidad superficial

Este método de medición está normalizado por la ASTM D3776/ D3776M-09a (2017) con el nombre de “Standard Test Methods for Mass Per Unit Area (Weight) of Fabric”. Y hace referencia a cómo se distribuye una cantidad de masa (m) que posee un cuerpo en una unidad de área (A), está dado por la ecuación 6.

$$\sigma = m/A \quad (\text{Ecuación 6})$$

Donde

m : es el valor de la masa

A : es el valor por unidad de área

2.7. Densidad volumétrica

La densidad volumétrica es un parámetro primordial a la hora de conocer la absorción de un material. En esta investigación se ha planteado utilizarla para comparar las fibras de abacá, coco y cabuya con sus diferentes espesores y densidades. Cabe señalar que este parámetro fue medido en un laboratorio externo, el cual presentó los resultados con un espesor y peso determinado. Sus unidades están dadas en $\frac{Kg}{m^3}$.

2.8. Frutos y plantas para analizar

2.8.1. Abacá

El abacá, también conocido como cáñamo de manila es una planta herbácea que pertenece a la familia Musáceas. Su origen viene de las Filipinas en Asia, y crece en lugares trópicos y húmedos, siendo el Ecuador un excelente lugar para cultivarlo. Por su aspecto físico se lo confunde con el banano, siendo este un familiar cercano. En Ecuador esta planta es bastante utilizada por su flotabilidad, resistencia mecánica, resistencia al daño por el mar y aún por su brillo. Después de Filipinas, el Ecuador es uno de los países productores más competitivos de esta planta.

La planta se la extrae de la vaina de las hojas que rodean el tronco.

Su fibra está compuesta por células largas y delgadas que forman parte de la estructura de soporte de la hoja, está compuesta por un 77% de celulosa y 9% de lignina (figura 8).



Figura 8. Producción del abacá.

Tomado de El Productor, 2012

2.8.2. Cabuya

Su nombre científico es *furcraea bedinghausii*, pertenece a la familia botánica “*furcraea*”. La Cabuya es común en regiones andinas y frías del Ecuador, Se la utiliza como cerco limítrofe en terrenos o propiedades. Crece hasta los 3000 metros sobre el nivel del mar. Su fibra es bastante resistente por lo cual se lo utiliza en el ámbito doméstico e industrial, por ejemplo, para confeccionar carteras, sombreros, cofres, billeteras, etc. (Figura 9).

2.8.2.1. Proceso de elaboración de la fibra de cabuya

Este proceso consiste en introducir las hojas de cabuya en máquinas desfibradoras. Posteriormente, se separa el jugo residual y se coloca la fibra en agua, se las lava y se seca. Por último, se desenreda las fibras a través de un cepillo con clavos.

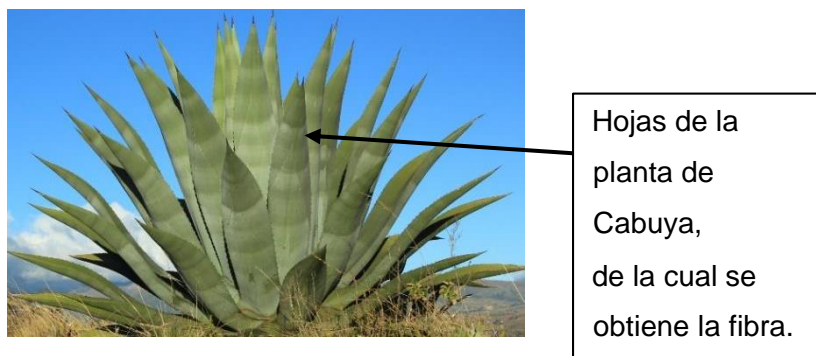


Figura 9. Planta de cabuya producida principalmente en la sierra ecuatoriana.

Tomado de Mishky Huarmy, 2018

2.8.3. Coco

El coco es una de las plantas más cultivadas en el mundo. Se lo utiliza como sazonador de comidas, postres, cócteles, etc. Su producción es abundante en zonas tropicales del Ecuador (Bermúdez, 2014).

Adicional a esto, el último Censo Agropecuario reflejó apenas 1.212 hectáreas de cultivo de coco solo en la provincia de Manabí; sin embargo, las posibilidades de expansión son muchas en razón que crece lozano y robusto en todo el Ecuador, principalmente a orillas del mar (Guale, 2014).

Su origen probablemente se remonta a las Islas del pacífico. Pertenece a la familia de las Arecaceas, su nombre científico es "Cocos nucifera". Esta fruta se desarrolla sobre troncos de 10 a 20 metros de alto.

Físicamente el fruto del coco está cubierto de fibras de aproximadamente 20 a 30 centímetros de longitud. Por debajo de estas fibras presenta una cáscara amarillenta, correosa de 4 a 5 centímetros de espesor, luego una capa

intermedia (mesocarpo) y por último otro más dura (endocarpo), como se puede observar en la figura 10.

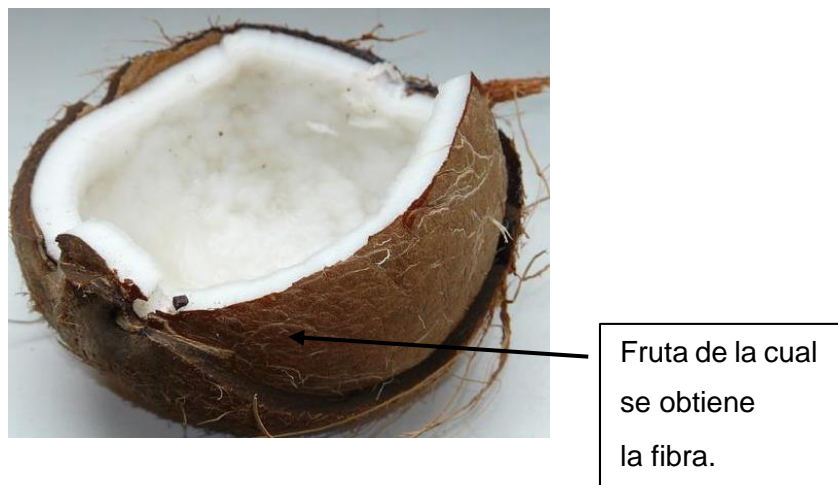


Figura 10. Fruta del coco partida en la mitad.

3. METODOLOGÍA

La presente investigación es de carácter cuantitativo, ya que obtiene una caracterización de las propiedades físicas y acústicas de materiales no tejidos conformados por fibras vegetales disponibles en Ecuador. Las propiedades analizadas son el espesor y la densidad volumétrica. Las fibras vegetales analizadas son: abacá, cabuya y coco.

3.1. Equipamiento de medición parámetros acústicos

A continuación, se presenta el equipamiento utilizado para la elaboración de las muestras a analizar:

3.1.1. Máquina desfibradora

Este equipo se lo utiliza para obtener no tejidos a partir de fibras vegetales. El mismo es el resultado de la maestría del Ing. Miguel Andrés Terán (2016). El equipo (figura 11) se utilizó principalmente para desfibrar fibras largas (abacá y cabuya).

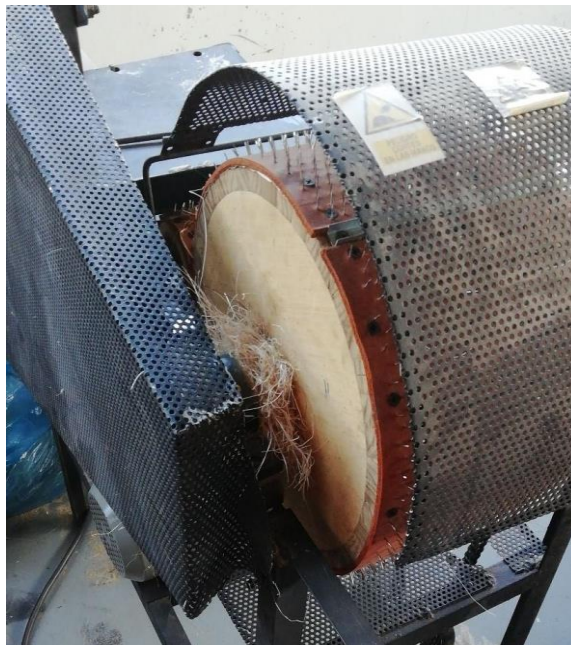


Figura 11. Máquina desfibradora utilizada para desfibrar la cabuya.

3.1.2. Estufas

Para el proceso de secado se utilizó hornos disponibles en la Universidad de las Américas (Udla). Estos fueron configurados a un tiempo de 6 a 8 horas a 50°C.



Figura 12. Estufa Binder E0115/E2 utilizada para secar las muestras.



Figura 13. Estufa Memmert SNB 400 utilizada para secar las muestras.

3.1.3. Tubo de Impedancia Spectronics ACUPRO 4

La medición del coeficiente de absorción sonora está normalizada por la ASTM C384-98 con el nombre de “Standard Test Method for Impedance and Absorption of Acoustical Materials by the Impedance Tube Method”.

Este tubo de Kundt es el que está disponible en la “Universidad de las Américas” (Udla) y fue el que se utilizó para medir la absorción y pérdidas por transmisión de las fibras.

Tabla 1.

Características del tubo de impedancias

Tubo de impedancia ACUPRO 4	
Respuesta de frecuencia	50 Hz – 5700 Hz
Ruido ambiente dentro del tubo	<30 dBA
Diámetro exterior	41.3 mm
Diámetro interior	34.9 mm
Requerimientos de diseño	ISO 10534-2, ASTM E1050-98
Longitud	1.2 m – 1.5 m (para TL)
Longitudes de muestras	< 14 cm

Características principales del tubo de impedancias ACUPRO 4.

Componentes Principales

3.1.3.1. Altavoz JBL 2426J

El altavoz está conectado a un generador de señales para producir una onda estacionaria dentro del tubo. Tiene una potencia de 100W, con un voltaje de

entrada máximo de 3V rms. Está aislado mecánicamente del tubo para evitar ruido por vibraciones.



Figura 14. Altavoz JBL 2426J
Tomado de Spectronics, 2016

3.1.3.2. Micrófonos de medición

También presenta dos micrófonos de $\frac{1}{2}$ y $\frac{1}{4}$ de pulgada, los cuales están configurados con la técnica “Random Excitation”, de J. Acoust. Soc. A., 61, 1362-1370 (1977).



Figura 15. Micrófonos para las mediciones (ACUPRO)



Figura 16. Tubo de impedancia ACUPRO 4
Tomado de Spectronics, 2016

3.1.3.3. Interfaz Data Translation 9837

- Presenta cuatro canales de entrada (para micrófonos), uno de salida para la alimentación del altavoz JBL, un reloj y un trigger externo. Todas estas con conversores A/D incorporados.
- Se conecta al ordenador mediante cable USB B.
- La interfaz está totalmente integrada con el tubo de impedancias y el software ACUPRO.

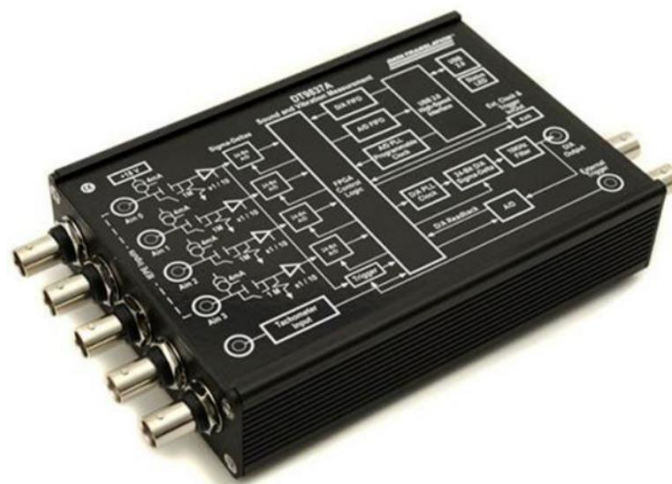


Figura 17. Interfaz Data Translation 9837
Tomado de Spectronics, 2016

3.1.3.4. Porta muestras del tubo de impedancias

- Utilizado para introducir los materiales a medir.
- Tiene un diámetro de 34.9mm por dentro, y 41.3mm por fuera.
- Su longitud máxima es de 14cm.
- Se une al tubo de impedancias mediante tres tornillos de presión.



Figura 18. Porta muestras del tubo de impedancias
Tomado de Spectronics, 2016

3.1.3.5. Cortador de muestras

- También se dispone de un cortador, el cual tiene el diámetro exacto del porta muestras.
- Se lo introduce en un taladro y se corta la muestra con cuidado.



Figura 19. Cortador de muestras con algunos materiales cortados. Tomado de Spectronics, 2016.

3.1.3.6. Software ACUPRO

- Permite obtener de forma gráfica la pérdida por transmisión, coeficiente de absorción, coeficiente complejo de reflexión, impedancia superficial compleja y admitancia superficial compleja de distintos materiales.
- Aplica correcciones de fase y amplitud de los micrófonos.

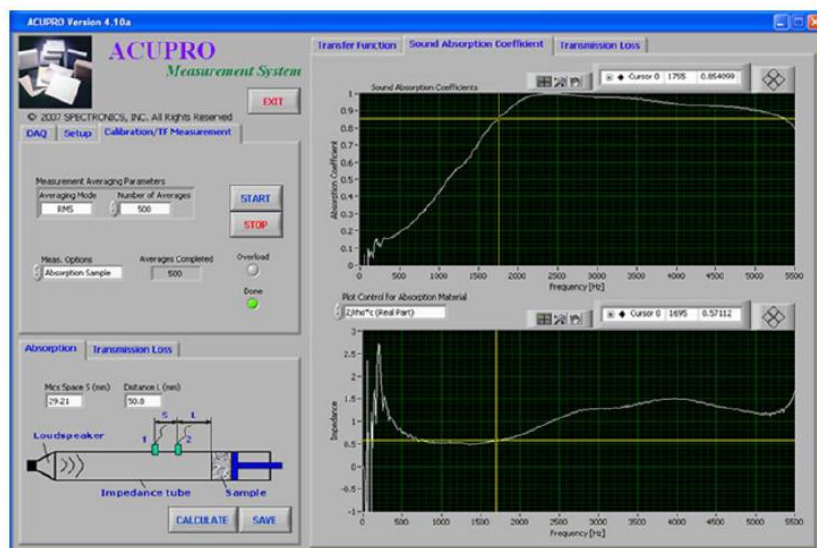


Figura 20. Captura de Software ACUPRO.

3.2. Preparación de las muestras de ensayo

Para elaborar las muestras fue necesario el uso de aglutinante y moldes, su explicación se detalla a continuación:

3.2.1. Conformación del aglutinante

Se utilizó aglutinante para la homogeneidad de la muestra. Este se lo conformó con 50% de agua, 50% de goma y 30% de cal. A estos tres elementos se procedió a mezclarlos bien con una batidora de cocina, por un tiempo aproximado de cinco minutos (figura 21).



Figura 21. Conformación del aglutinante, utilizado para la conformación de las muestras.

Tabla 2.

Características de los materiales que conformaron el aglutinante.

Material	Características	Marca
----------	-----------------	-------

Cal (Carbonato de Calcio)	Peso: 25kg	Cecal
Cola blanca (goma)		Disma
Agua	Agua de las llaves	-

3.2.2. Moldes para la elaboración de las muestras.

Los moldes utilizados para la elaboración de las muestras fueron de las siguientes dimensiones:

Tabla 3.

Dimensiones de los moldes utilizados para los paneles.

Molde	Superficie (cm)	Grosor (cm)
1	30 x 30	5
2	30 x 30	2.5
3	15 x 15	5
4	15 x 15	2.5

3.3. Elaboración de las muestras de ensayo

A continuación, se detalla el procedimiento para la elaboración de los paneles de abacá, cabuya y coco.

3.3.1. Elaboración paneles de abacá y cabuya

Su proceso de desfibrado consistió en cortar manojos de 20 a 30 cm. Estos se introdujeron en la máquina desfibradora por la bandeja de entrada. Después de

30 segundos (aproximadamente) se procede a recoger la fibra cuidadosamente del contorno del tambor. Este proceso se repite varias veces hasta tener la masa suficiente para crear las muestras (figura 22). Para este proceso no se tomó en cuenta ningún dato técnico como el peso, masa superficial, porque el objetivo fue crear muestras de diferente grosor para luego analizarlas en los respectivos ensayos.



Figura 22. Proceso de elaboración de las muestras de abacá (derecha) y cabuya (izquierda).

Tras el proceso de desfibrado, se introdujo el material en aglutinante y se colocó en los moldes, tratando de cubrir todos los espacios vacíos, para que quede una muestra bastante homogénea. Luego se secaron los paneles al aire libre. El tiempo de secado varió dependiendo la fibra, en la mayoría de los casos se esperó un día. Por último, se los introdujo en el horno a una temperatura de 50°C, durante un tiempo de 6 a 8 horas.

3.3.2. Elaboración de los paneles de coco

En la elaboración de los paneles de coco, no fue necesario desfibrar el material, porque sus fibras son muy pequeñas y no es posible introducirlas en la máquina desfibradora. Por lo cual, la fibra se obtuvo directamente de la fruta.

Tras este proceso, se introdujo la fibra en los moldes, para luego rociar sobre los mismos aglutinante, tratando de que toda la muestra sea homogénea. Por último, los paneles se secaron y se los introdujeron en el horno por el mismo tiempo y a la misma temperatura.

3.3.3. Elaboración muestras para tubo de impedancias

Luego de elaborar los paneles fue necesario cortarlos de forma circular, el diámetro cortado es de 34.9 mm. Para esto, fue necesario utilizar un cortador de muestras con un taladro de banco como se observa en la figura 23.



Figura 23. Taladro de banco con el corta muestras.

Es necesario mencionar que al cortar los paneles, se pudo comprobar que las mismas no se cortaban de forma correcta. El taladro al dar vueltas producía calor dentro de los paneles, luego este calor hacía que las fibras se empezaran a quemar y por esto salían destrozadas. Lo cual dificultó el proceso de obtención de las muestras. Por esta razón, se tuvo que realizar muchos cortes para poder obtener unas cuantas muestras que no se dañaran.

3.4. Proceso de medición en el tubo de impedancias

Ahora con las muestras listas para ser medias, se procedió a instalar el tubo de impedancias, como lo establece la normativa UNE EN ISO 10534-2. A continuación se presenta la instrumentación utilizada para medir el coeficiente de absorción.

Instrumentación

- Programa ACUPRO.
- Interfaz Data Translation DT9837A.
- 3 cables BNC.
- 1 cable USB 2.0.
- 1 tubo de impedancia-kundt spectronics ACUPRO.
- 2 micrófonos de precisión Grass

3.4.1. Montaje de la microfonía y conexión

Para la medición del coeficiente de absorción, se conectan dos micrófonos a la interfaz "Data Translation DT9837A" el #1 en la entrada Ain 0, el #2 en la entrada Ain1. La agarradera del micrófono presenta una señal de referencia, la cual tiene

que estar alineada con la señal dada en el tubo de impedancias (figura 24). Además, deben tener una pequeña cantidad de lubricante en el contorno del soporte, de tal manera que penetren sin mayor esfuerzo.

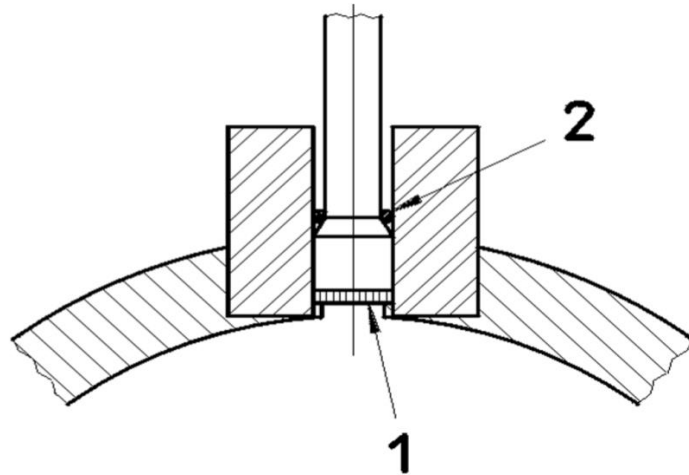


Figura 24. Posición de los micrófonos para medir el coeficiente de absorción, donde 1 y 2 representan la altura a la que deben disponerse los micrófonos. Tomado de UNE EN ISO 10534-2, 1998.

Por último, se conecta la salida D/A Output al altavoz. Tal como lo enseña la figura 25.

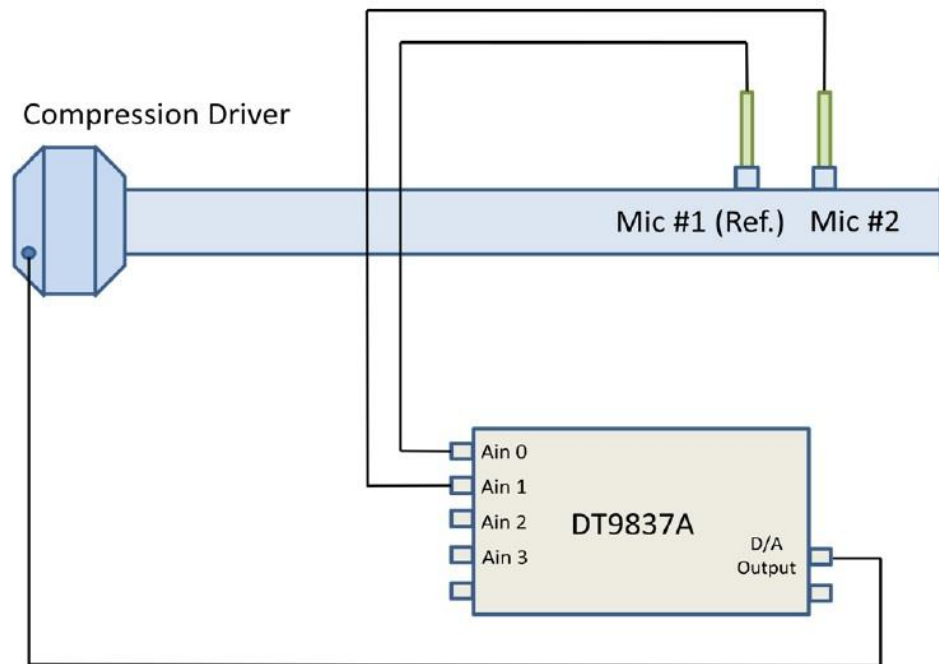


Figura 25. Diagrama de conexión para la medición del coeficiente de absorción acústica.

Tomado de Spectronics, 2016.

3.5. Proceso general de medición

El estudio se basó en el análisis acústico de tres fibras vegetales (abacá, cabuya y coco). Se analizó su comportamiento con respecto al espesor y densidad. Para esto se midió el coeficiente de absorción en tres muestras de cada panel, y para disgregar cualquier medición errónea se midió tres veces cada muestra, como se puede observar en la tabla 4. El espesor se obtuvo mediante un calibrador o pie de rey, como se observa en la figura 26.

La densidad volumétrica de los paneles fue medida en un laboratorio externo, por lo cual, el espesor no concuerda con el obtenido al realizar los ensayos de absorción. Esto se debe a que los paneles en general no presentan el mismo espesor. Muchos presentan un espesor mayor en el centro y uno muy variado

en los contornos. Sin embargo, esta variación no es muy relevante ya que la densidad volumétrica es independiente del espesor.



Figura 26. Medición del espesor de las muestras con el pie de rey.

Tabla 4.

Proceso de medición del coeficiente de absorción para todos los paneles.

PANEL N°_ FIBRA DE _____					
Número de Muestra	Medición N#1	Medición N#2	Medición N#3	Promedio Aritmético	Desviación Estándar
1					
2					
3					

Por último, los resultados se presentan en un rango de 500 Hz a 5k Hz, porque en general los paneles estudiados no presentaron una absorción significativa en bajas frecuencias.

4. RESULTADOS

4.1. Resultados coeficiente de absorción - fibra de abacá

Ahora se presentan los resultados obtenidos tras la medición en el tubo de impedancias de cuatro paneles de fibra de abacá.

4.1.1. Panel N°1 – fibra de abacá

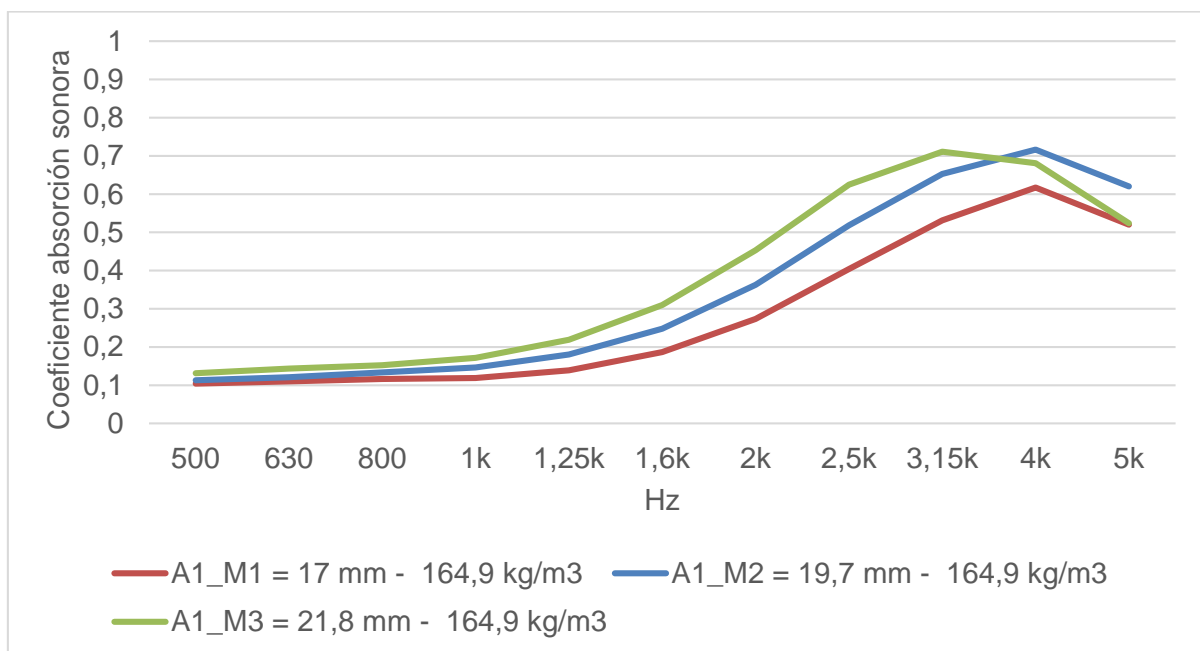


Figura 27. Coeficiente de absorción del panel N°1 de la fibra de abacá, en un rango de 500 Hz a 5k Hz.

Tabla 5.

Coefficiente de reducción de ruido, desviación estándar y su densidad volumétrica, del panel N°1.

	NRC	Desviación Estándar Global	Densidad Kg/m^3
A1_M1 = 17 mm	0.15	0,003	164,9
A1_M2 = 19,7 mm	0.18	0,003	
A1_M3 = 21,8 mm	0,22	0,005	



Figura 28. Muestras cortadas, para su análisis en el tubo de impedancias.

4.1.2. Panel N°2 – fibra de abacá

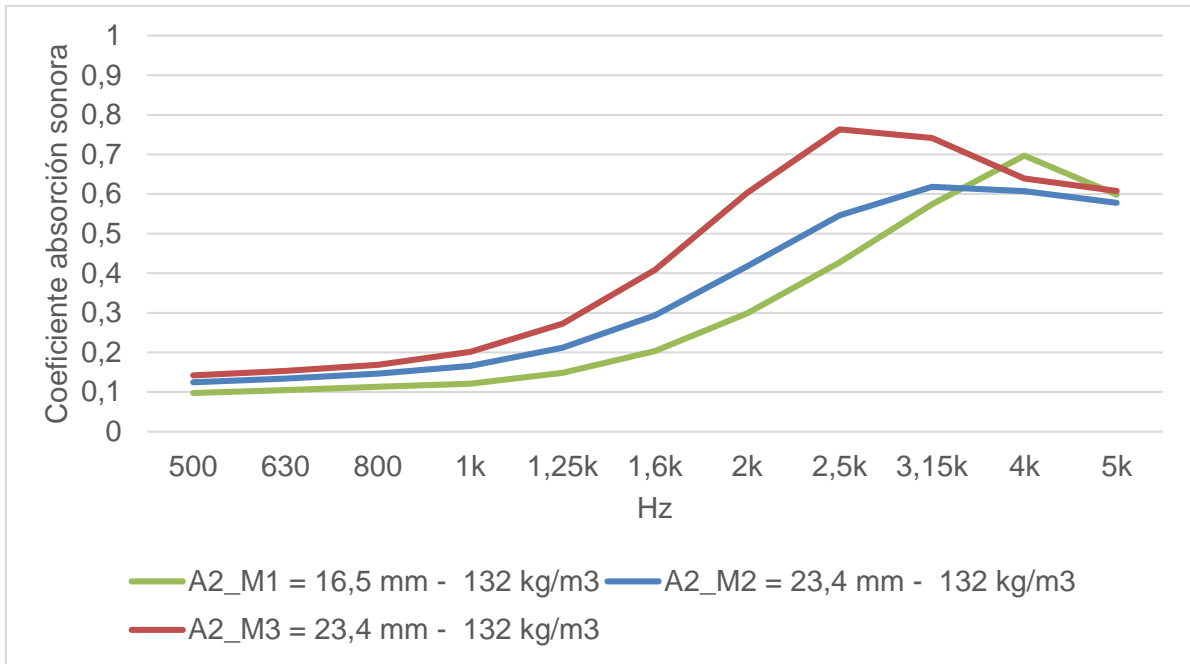


Figura 29. Coeficiente de absorción del panel N°2 de la fibra de abacá, en un rango de 500 Hz a 5k Hz.

Tabla 6.

Coeficiente de reducción de ruido, desviación estándar y su densidad volumétrica, del panel N°2.

	NRC	Desviación Estándar Global	Densidad Kg/m ³
A2_M1 = 16,5 mm	0,15	0,007	132
A2_M2 = 23,4 mm	0,20	0,002	
A2_M3 = 23,4 mm	0,27	0,004	



Figura 30. Muestras cortadas para su análisis en el tubo de impedancias.

4.1.3. Panel N°3 – fibra de abacá

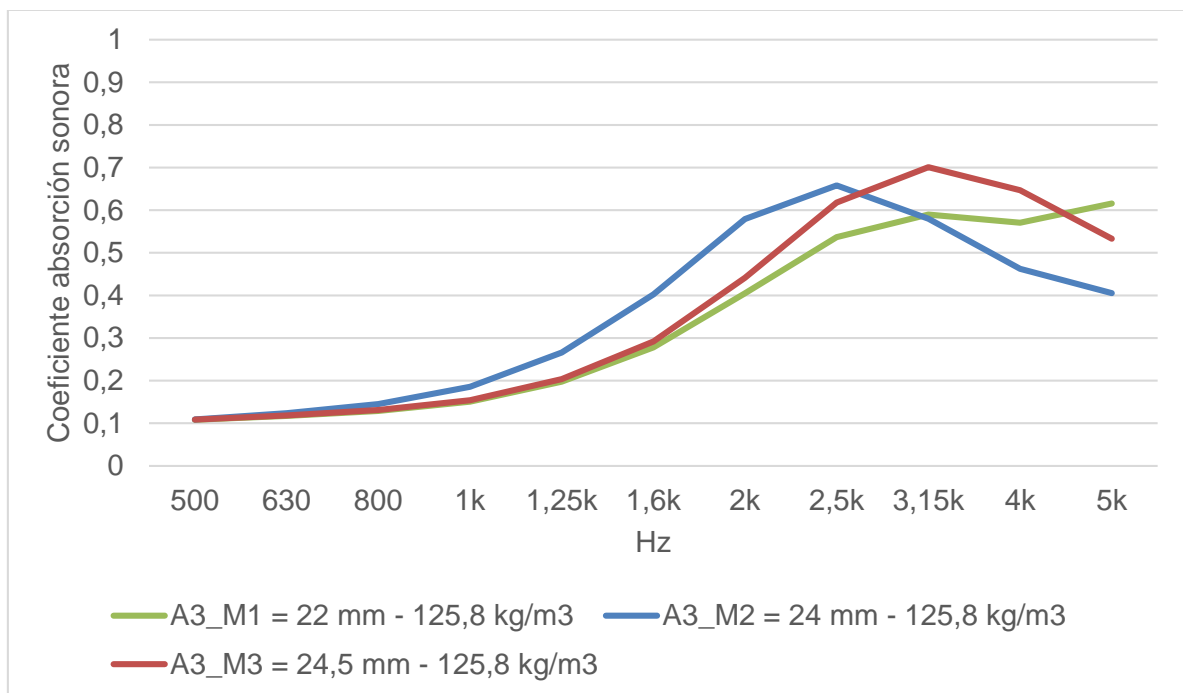


Figura 31. Coeficiente de absorción del panel N°3 de la fibra de abacá, en un rango de 500 Hz a 5k Hz.

Tabla 7.

Coefficiente de reducción de ruido, desviación estándar y su densidad volumétrica, del panel N°3.

	NRC	Desviación Estándar Global	Densidad Kg/m^3
A3_M1 = 22 mm	0,19	0,003	125,8
A3_M2 = 24 mm	0,24	0,006	
A3_M3 = 24,5 mm	0,20	0,005	



Figura 32. Muestras cortadas para su análisis en el tubo de impedancias.

4.1.4. Panel N°4 – fibra de abacá

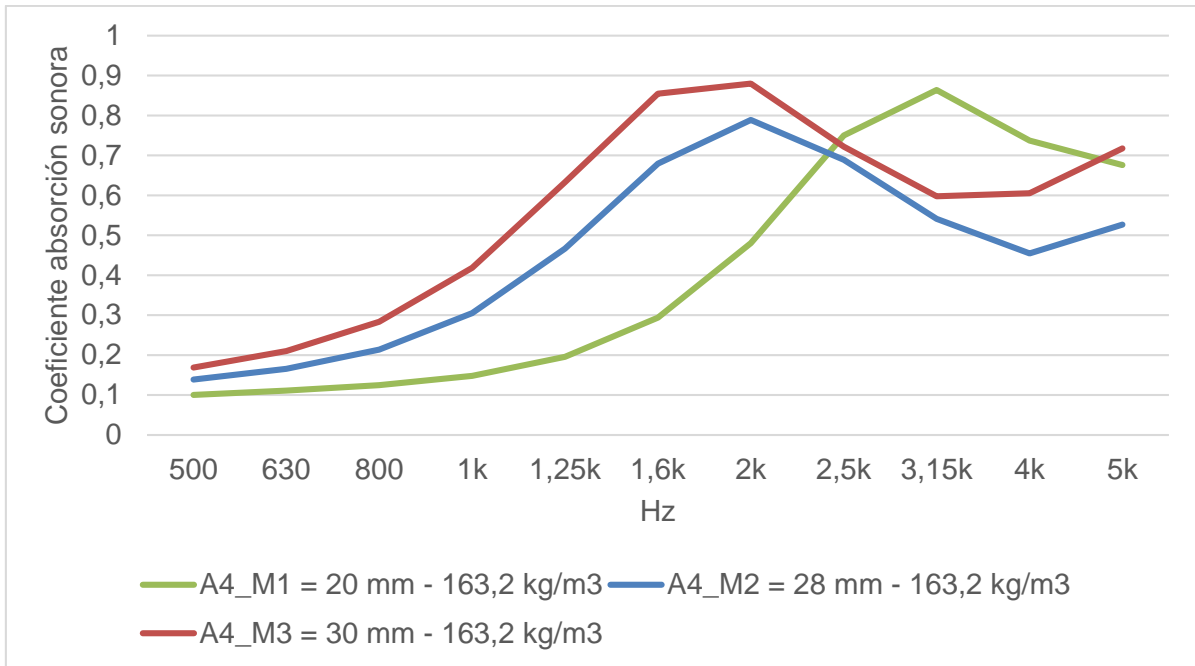


Figura 33. Coeficiente de absorción del panel N°4 de la fibra de abacá, en un rango de 500 Hz a 5k Hz.

Tabla 8.

Coeficiente de reducción de ruido, desviación estándar y su densidad volumétrica, del panel N°4.

	NRC	Desviación Estándar Global	Densidad Kg/m^3
A4_M1 = 20 mm	0,20	0,003	163,2
A4_M2 = 28 mm	0,33	0,003	
A4_M3 = 30 mm	0,39	0,003	



Figura 34. Muestras cortadas para su análisis en el tubo de impedancias.

4.1.5. Comparación del coeficiente de absorción de los cuatro paneles de abacá.

En general, en todos los paneles de abacá se cumple que la absorción está dada por el espesor, mas no por la densidad. Ahora se ha escogido los paneles con la mayor absorción sonora, comparándolos en la figura 4.2.5.. El panel N°4 es el que tiene mayor espesor y también presenta mayor absorción sonora en casi todo el espectro frecuencial, principalmente entre 800 Hz y 2k Hz. De ahí, los demás paneles se comportan de manera parecida.

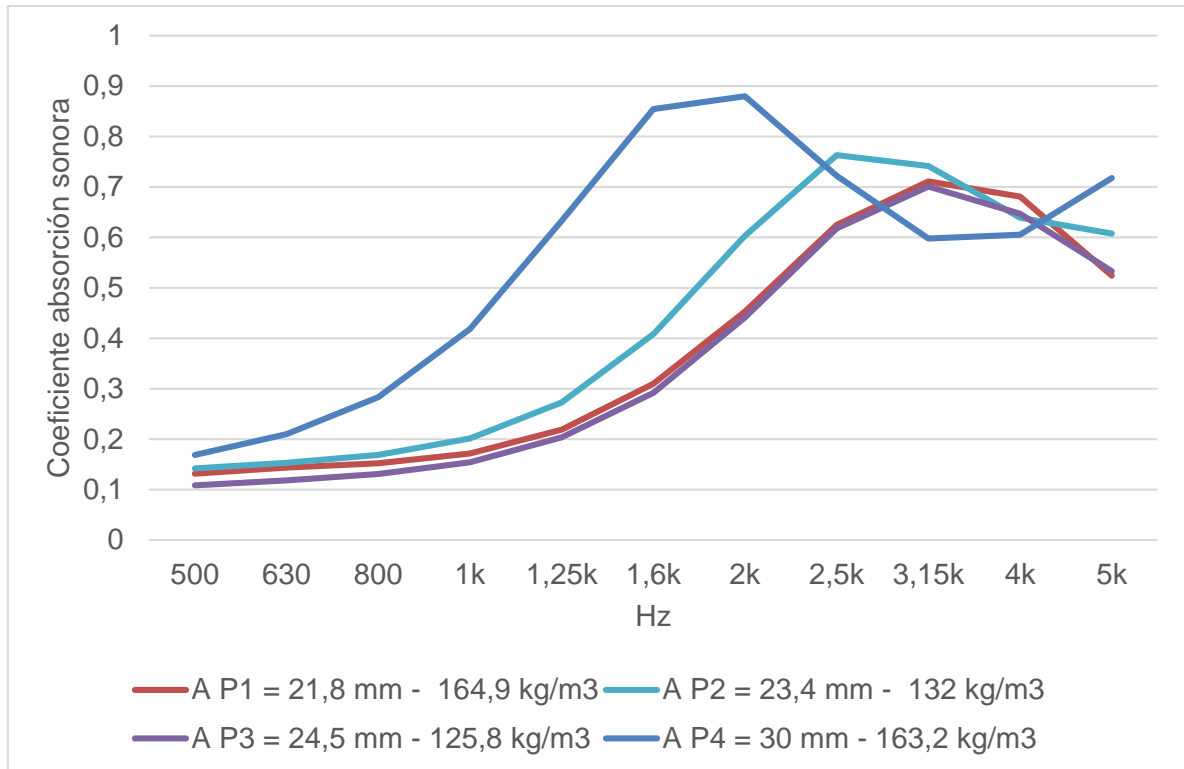


Figura 35. Comparación de la absorción sonora de los cuatro paneles de abacá en un rango de 500 a 5k Hz.

Ahora se escogió paneles con un espesor parecido o igual, pero variando la densidad (figura 34). Se puede observar que la influencia de la densidad no es significativa.

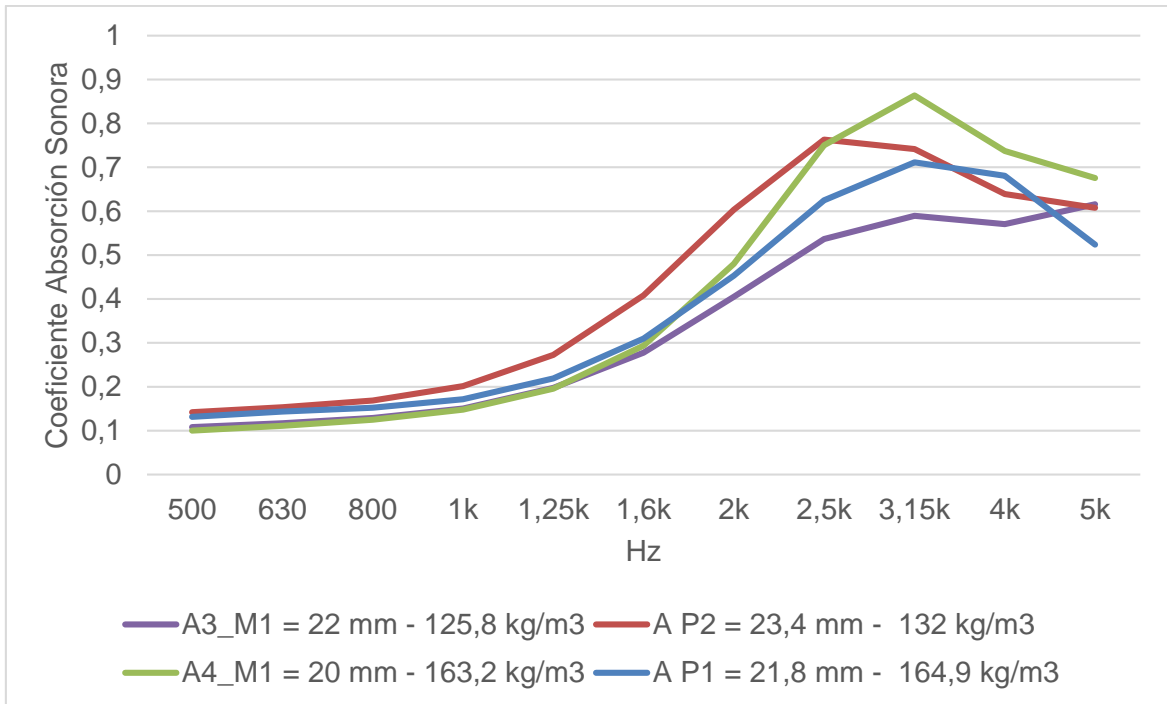


Figura 36. Los cuatro paneles de abacá con un espesor parecido, pero con diferente densidad.

4.2. Resultados del coeficiente de absorción - fibra de cabuya

Ahora se presentan los resultados obtenidos para la fibra de cabuya en los cinco paneles estudiados.

4.2.1. Panel N°1 – fibra de cabuya

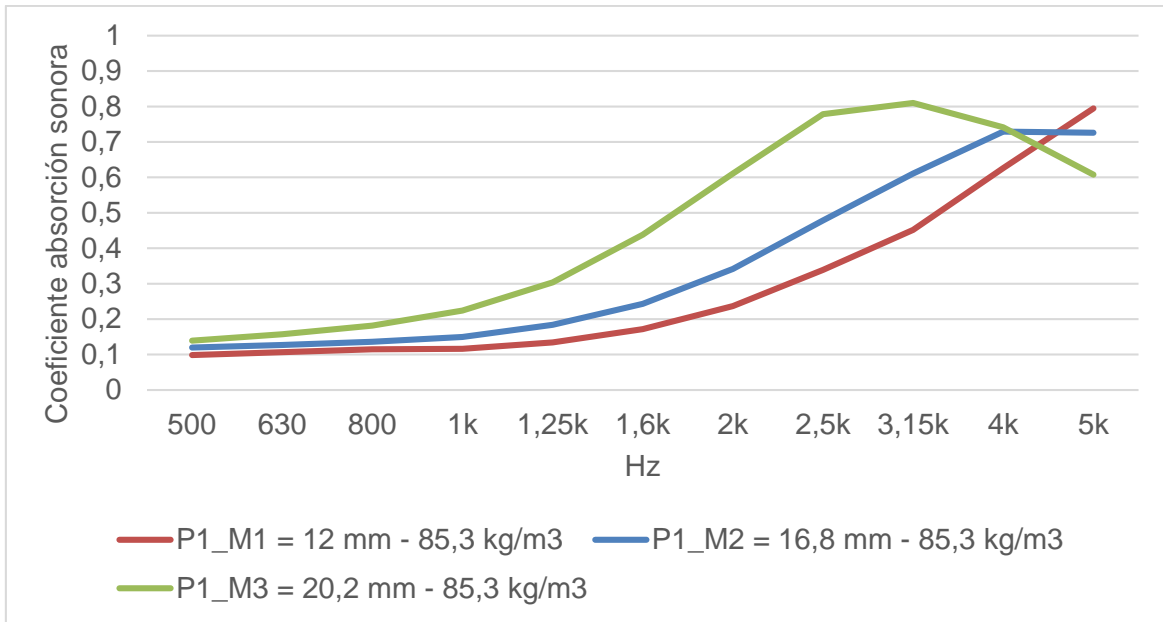


Figura 37. Coeficiente de absorción del panel N°1 de la fibra de cabuya, en un rango de 500 Hz a 5k Hz.

Tabla 9.

Coeficiente de reducción de ruido, desviación estándar y su densidad volumétrica, del panel de cabuya N°1.

	NRC	Desviación Estándar Global	Densidad Kg/m^3
P1_M1 = 12 mm	0,13	0,004	85,27
P1_M2 = 16,8 mm	0,18	0,002	
P1_M3 = 20,2 mm	0,27	0,001	



Figura 38. Muestras cortadas para su análisis en el tubo de impedancias.

4.2.2. Panel N°2 – fibra de cabuya

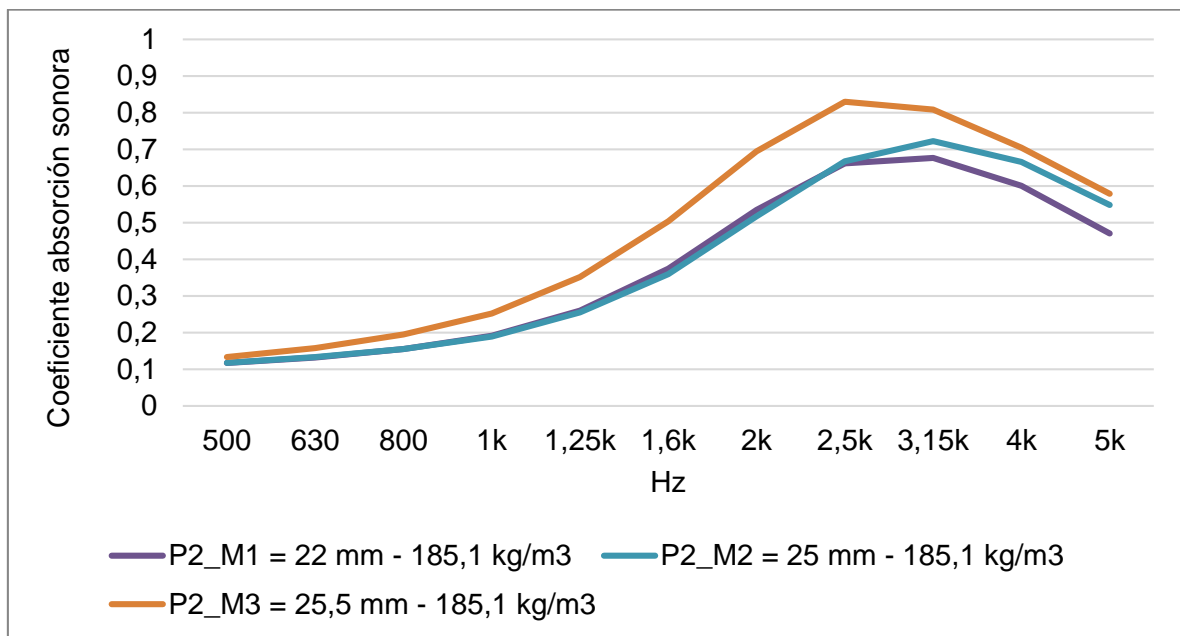


Figura 39. Coeficiente de absorción del panel N°2 de la fibra de cabuya, en un rango de 500 Hz a 5k Hz.

Tabla 10.

Coeficiente de reducción de ruido, desviación estándar y su densidad volumétrica, del panel de cabuya N°2.

	NRC	Desviación Estándar Global	Densidad Kg/m^3
M1 = 22 mm	0,23	0,002	185,1
M2 = 25 mm	0,23	0,003	
M3=25,5 mm	0,29	0,003	



Figura 40. Muestras cortadas para su análisis en el tubo de impedancias.

4.2.3. Panel N°3 – fibra de cabuya

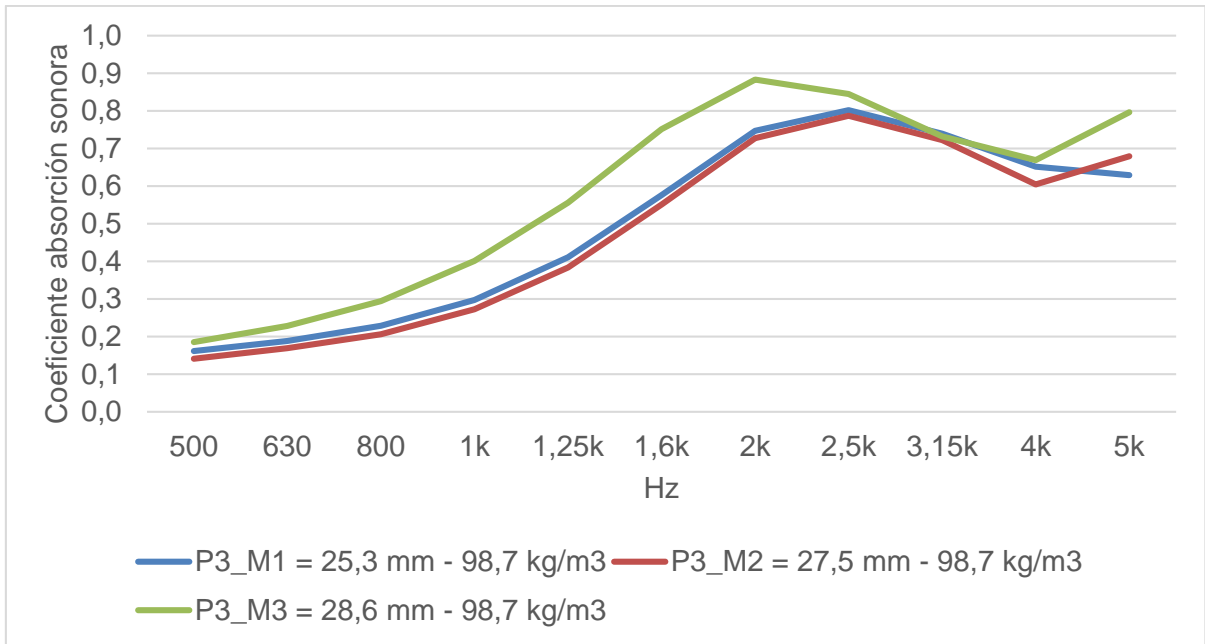


Figura 41. Coeficiente de absorción del panel N°3 de la fibra de cabuya, en un rango de 500 Hz a 5k Hz.

Tabla 11.

Coeficiente de reducción de ruido, desviación estándar y su densidad volumétrica, del panel de cabuya N°3.

	NRC	Desviación Estándar Global	Densidad Kg/m^3
M1 = 25,3 mm	0,33	0,011	98,73
M2 = 27,5 mm	0,31	0,002	
M3 = 28,6 mm	0,40	0,004	



Figura 42. Muestras cortadas para su análisis en el tubo de impedancias.

4.2.4. Panel N°4 – fibra de cabuya

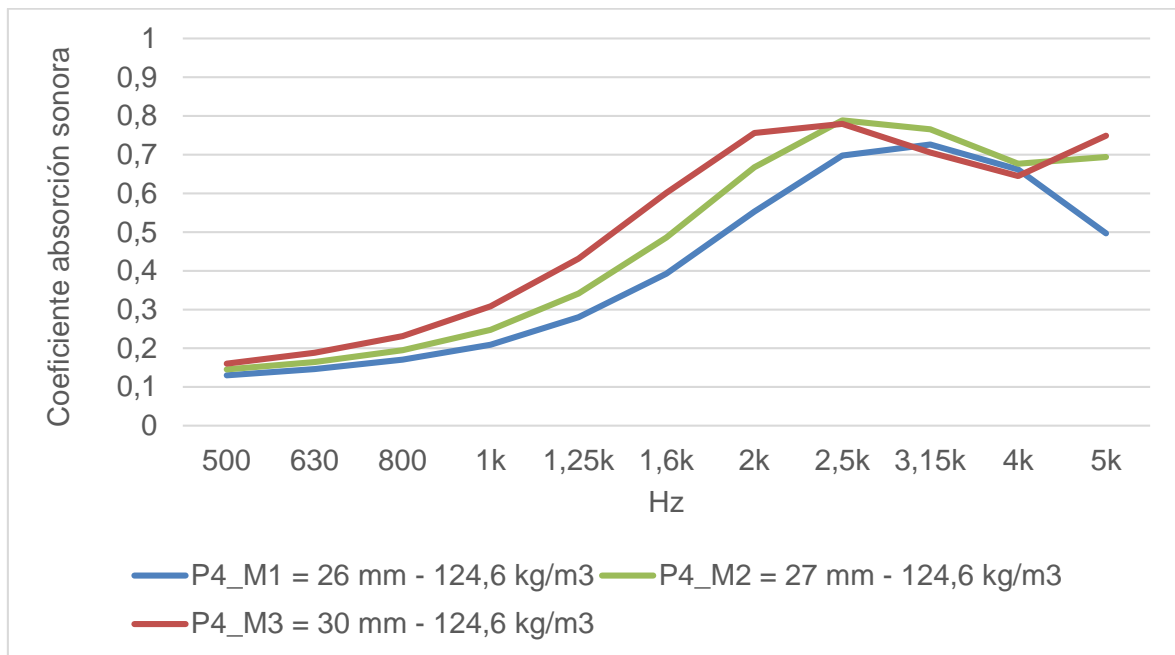


Figura 43. Coeficiente de absorción del panel N°4 de la fibra de cabuya, en un rango de 500 Hz a 5k Hz.

Tabla 12.

Coeficiente de reducción de ruido, desviación estándar y su densidad volumétrica, del panel de cabuya N°4.

	NRC	Desviación Estándar Global	Densidad Kg/m^3
M1 = 26 mm	0,25	0,002	124,57
M2 = 27 mm	0,29	0,003	
M3 = 30 mm	0,33	0,002	



Figura 44. Muestras cortadas para su análisis en el tubo de impedancias.

4.2.5. Panel N°5 – fibra de cabuya

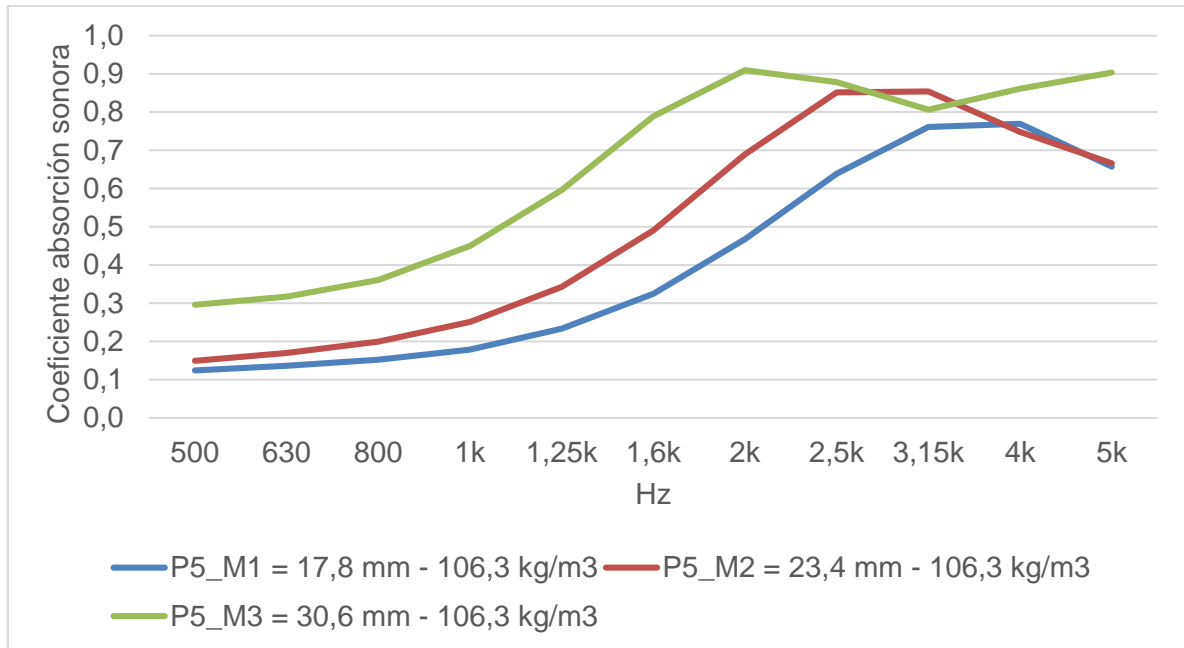


Figura 45. Coeficiente de absorción del panel N°5 de la fibra de cabuya, en un rango de 500 Hz a 5k Hz.

Tabla 13.

Coeficiente de reducción de ruido, desviación estándar y su densidad volumétrica, del panel de cabuya N°5.

	NRC	Desviación Estándar Global	Densidad Kg/m^3
M1 = 17,8 mm	0,22	0,002	106,34
M2 = 23,4 mm	0,30	0,006	
M3 = 30,6 mm	0,48	0,003	



Figura 46. Muestras cortadas para su análisis en el tubo de impedancias.

4.2.6. Comparación del coeficiente de absorción de los cinco paneles de cabuya.

Ahora se ha escogido los paneles con mayor espesor, haciendo un análisis comparativo con su curva de absorción. En los cinco paneles estudiados de cabuya existe una notable influencia en la absorción acústica al variar el espesor del material. Por otra parte, la densidad no juega un papel decisivo en la absorción, tal es el caso del panel CP2 el cual tiene la mayor densidad de todos y el CP1 que tiene la menor densidad, sin embargo, en su absorción, tienen resultados parecidos (figura 47).

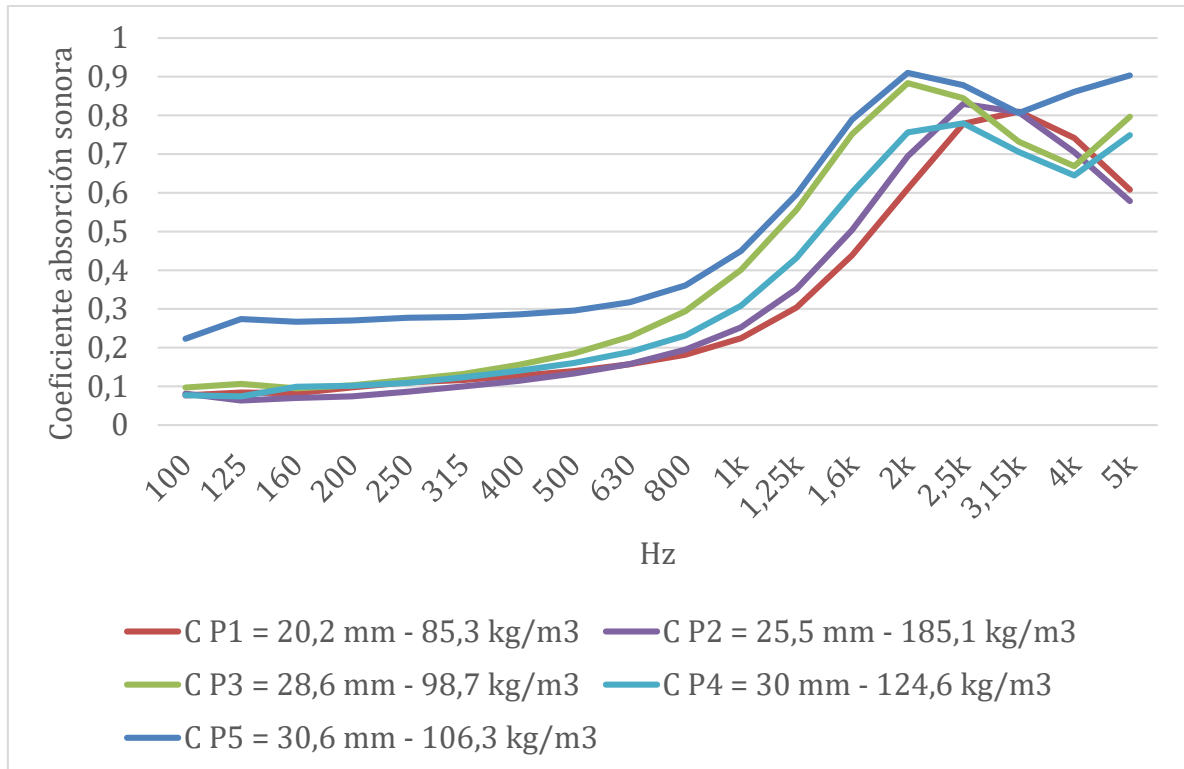


Figura 47. Coeficiente de absorción de los cinco paneles de cabuya.

Para un mejor análisis, se ha dividido el espectro frecuencial de todos los paneles en tres partes.

Tabla 14.

Análisis de la curva de absorción sonora de los cinco paneles de cabuya.

Absorción Acústica		
Rango 1 (100-630 Hz)	Rango 2 (630-2k Hz)	Rango 3 (2k - 5k Hz)
En general su absorción es baja.	La absorción empieza a crecer exponencialmente.	El material presenta su máxima absorción de forma regular.

Como era de esperarse, se tiene una buena absorción en altas frecuencias. La muestra que tuvo mayor espesor (C P3 = 30.6 mm) tuvo una mayor absorción sonora en todo el espectro.

Ahora se escogió paneles con un espesor parecido o igual, pero variando la densidad (figura 48). En este caso la influencia de la densidad sobre la absorción no es significativa, y a partir de un punto llega hacer perjudicial. Esto es debido a que con mucha densidad la onda sonora no penetra en el material.

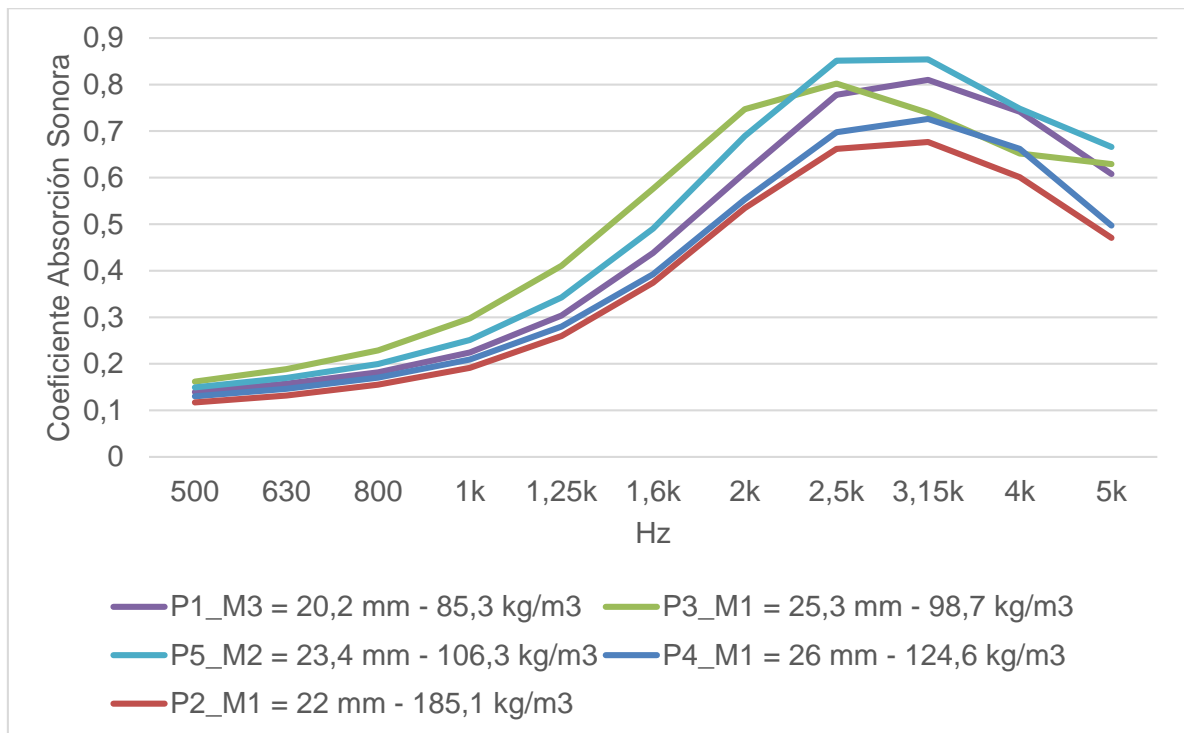


Figura 48. Cinco paneles de cabuya con un espesor parecido, pero variando la densidad.

4.3. Resultados del coeficiente de absorción – fibra de coco

Por último, se presentan los resultados obtenidos en la medición de los cuatro paneles de fibra de coco.

4.3.1. Panel N°1 – fibra de coco

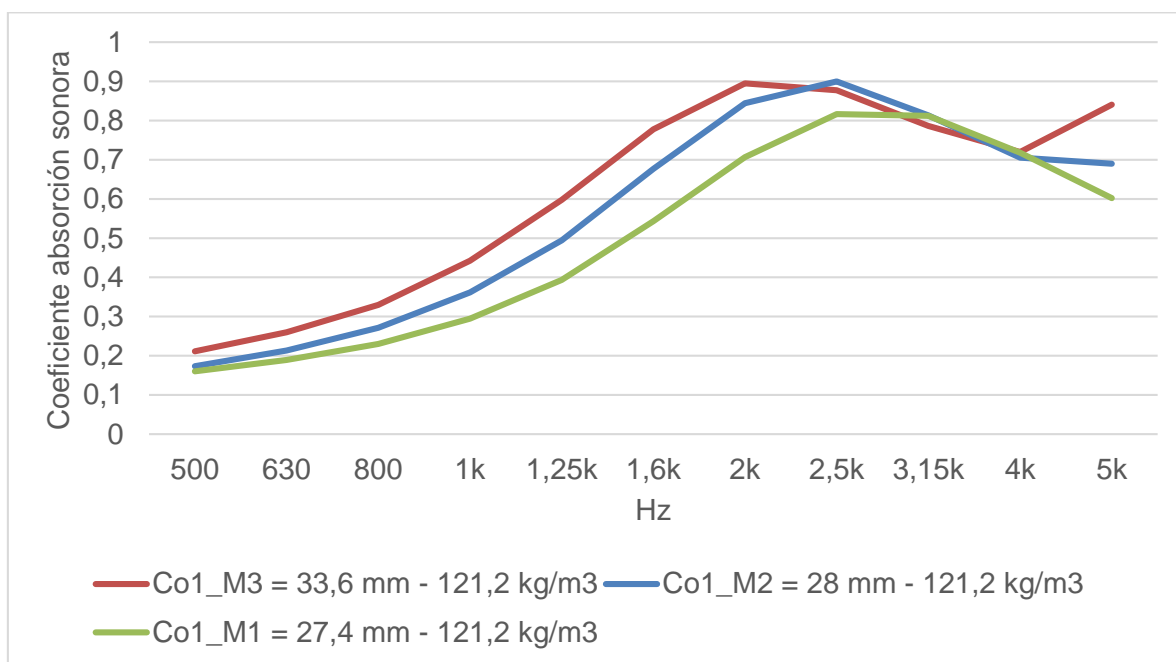


Figura 49. Coeficiente de absorción del panel N°1 de la fibra de coco, en un rango de 500 Hz a 5k Hz.

Tabla 15.

Coeficiente de reducción de ruido, desviación estándar y su densidad volumétrica, del panel de coco N°1.

	NRC	Desviación Estándar Global	Densidad Kg/m^3
Co1_M1 = 27,4 mm	0,32	0,005	121,2
Co1_M2 = 28 mm	0,37	0,007	
Co1_M3 = 33,6 mm	0,42	0,002	



Figura 50. Muestras cortadas para su análisis en el tubo de impedancias.

4.3.2. Panel N°2 – fibra de coco

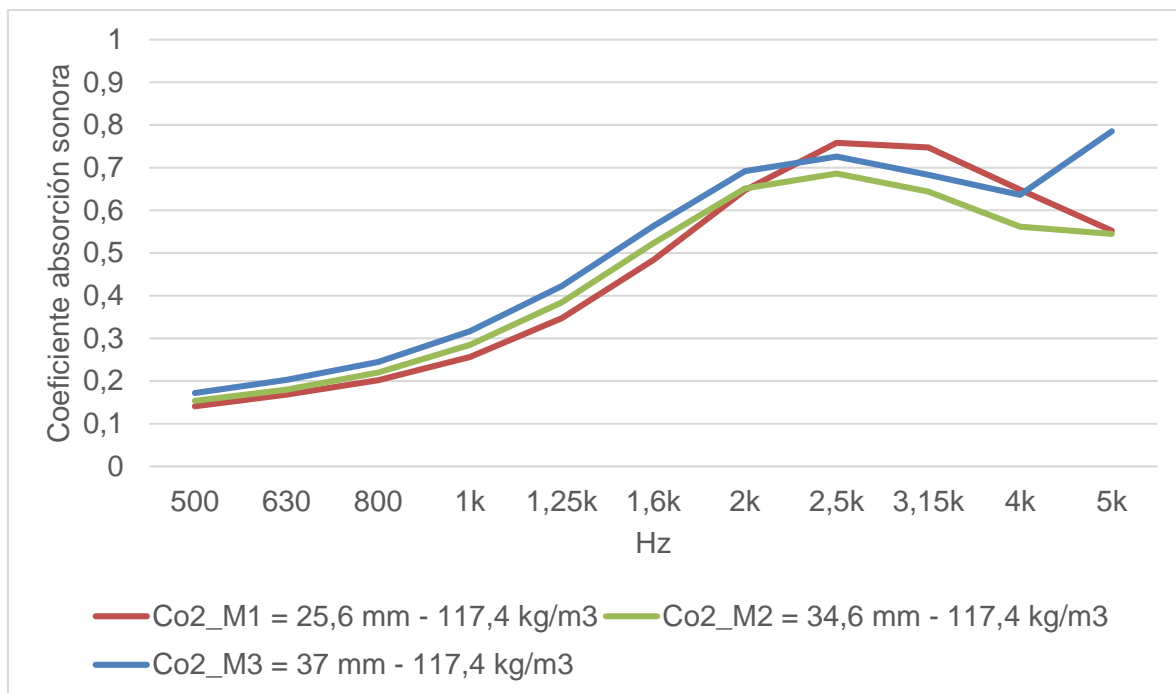


Figura 51. Coeficiente de absorción del panel N°2 de la fibra de coco, en un rango de 500 Hz a 5k Hz.

Tabla 16.

Coeficiente de reducción de ruido, desviación estándar y su densidad volumétrica, del panel de coco N°2.

	NRC	Desviación Estándar Global	Densidad Kg/m^3
Co2_M1 = 25,6 mm	0,29	0,003	117,4
Co2_M2 = 34,6 mm	0,30	0,005	
Co2_M3 = 37 mm	0,32	0,003	



Figura 52. Muestras cortadas para su análisis en el tubo de impedancias.

4.3.3. Panel N°3 – fibra de coco

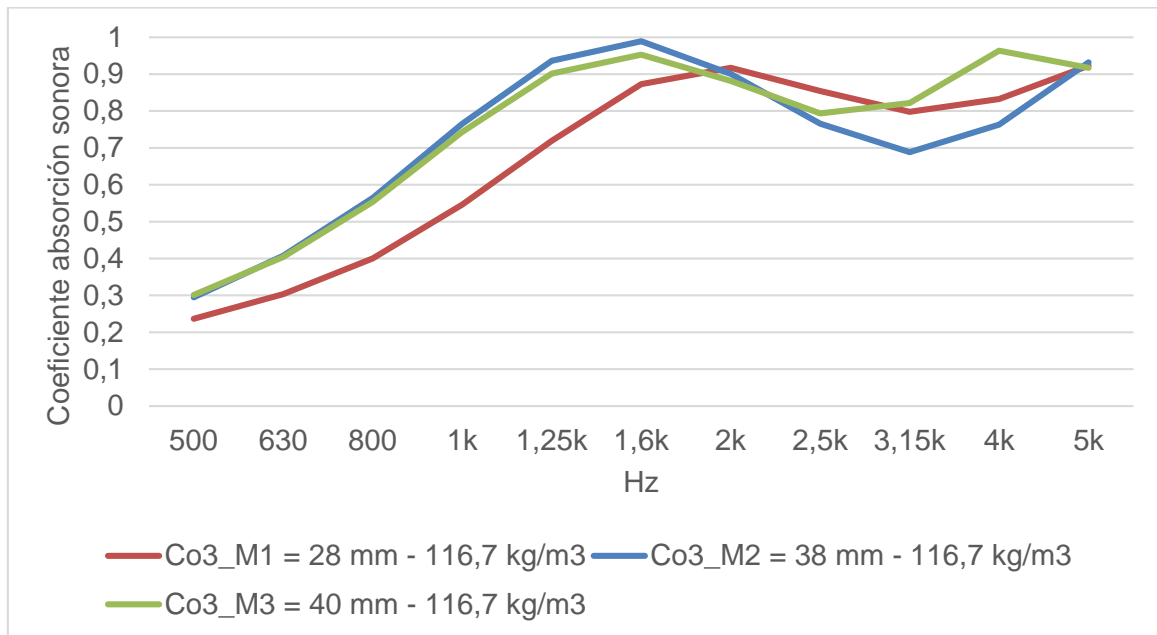


Figura 53. Coeficiente de absorción del panel N°3 de la fibra de coco, en un rango de 500 Hz a 5k Hz.

Tabla 17.

Coeficiente de reducción de ruido, desviación estándar y su densidad volumétrica, del panel de coco N°3.

	NRC	Desviación Estándar Global	Densidad Kg/m^3
Co3_M1 = 28 mm	0,46	0,002	116,7
Co3_M2 = 38 mm	0,52	0,001	
Co3_M3 = 40 mm	0,52	0,001	



Figura 54. Muestras cortadas para su análisis en el tubo de impedancias.

4.3.4. Panel N°4 – fibra de coco

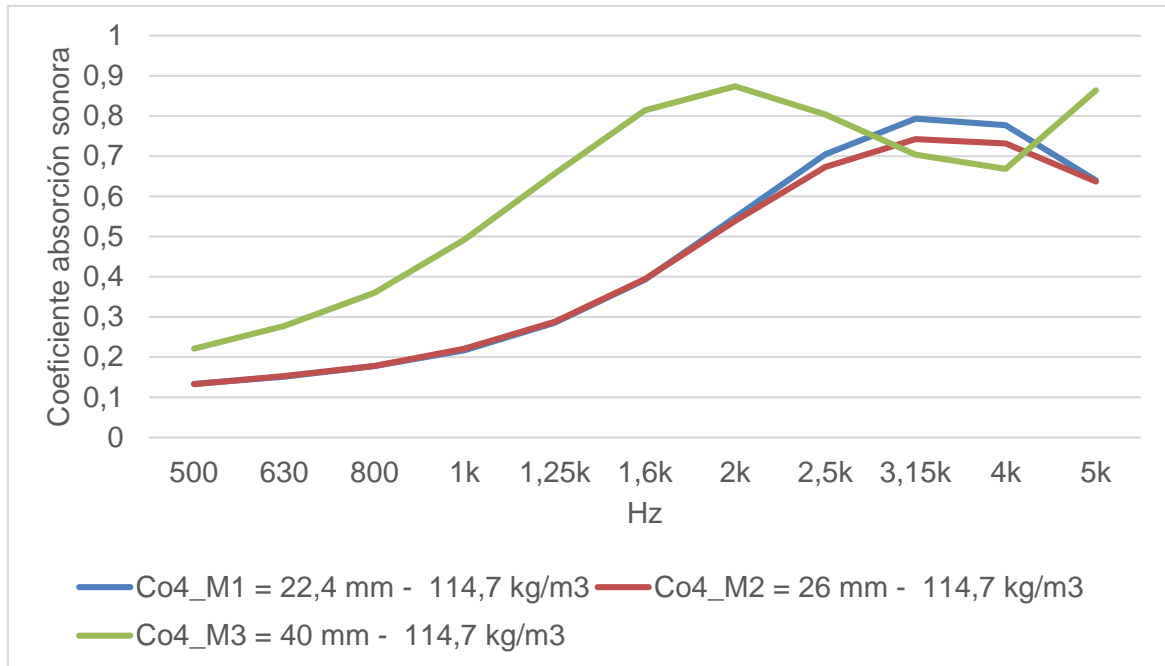


Figura 55. Coeficiente de absorción del panel N°4 de la fibra de coco, en un rango de 500 Hz a 5k Hz.

Tabla 18.

Coeficiente de reducción de ruido, desviación estándar y su densidad volumétrica, del panel de coco N°4.

	NRC	Desviación Estándar Global	Densidad Kg/m ³
Co4_M1 = 22,4 mm	0,25	0,003	114,7
Co4_M2 = 26 mm	0,25	0,004	
Co4_M3 = 40 mm	0,43	0,002	



Figura 56. Muestras cortadas para su análisis en el tubo de impedancias.

4.3.5. Comparación del coeficiente de absorción de los cuatro paneles de coco.

En la figura 57 se presenta la comparación de los cuatro paneles de coco con sus densidades. En general se cumple que el factor dominante en la absorción es el espesor.

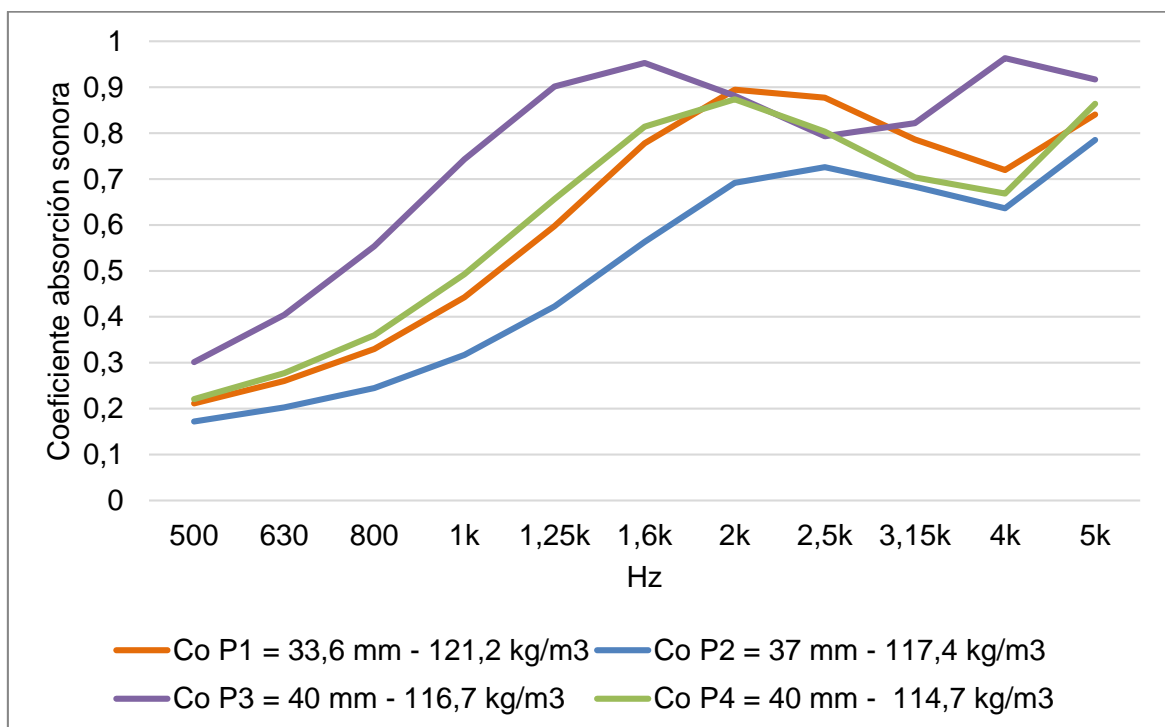


Figura 57. Comparación del coeficiente de absorción de los cuatro paneles de coco junto con sus espesores y densidades.

Ahora se escogió paneles con un espesor parecido o igual, pero variando la densidad (figura 58). En este caso el parámetro con mayor influencia es el espesor del material.

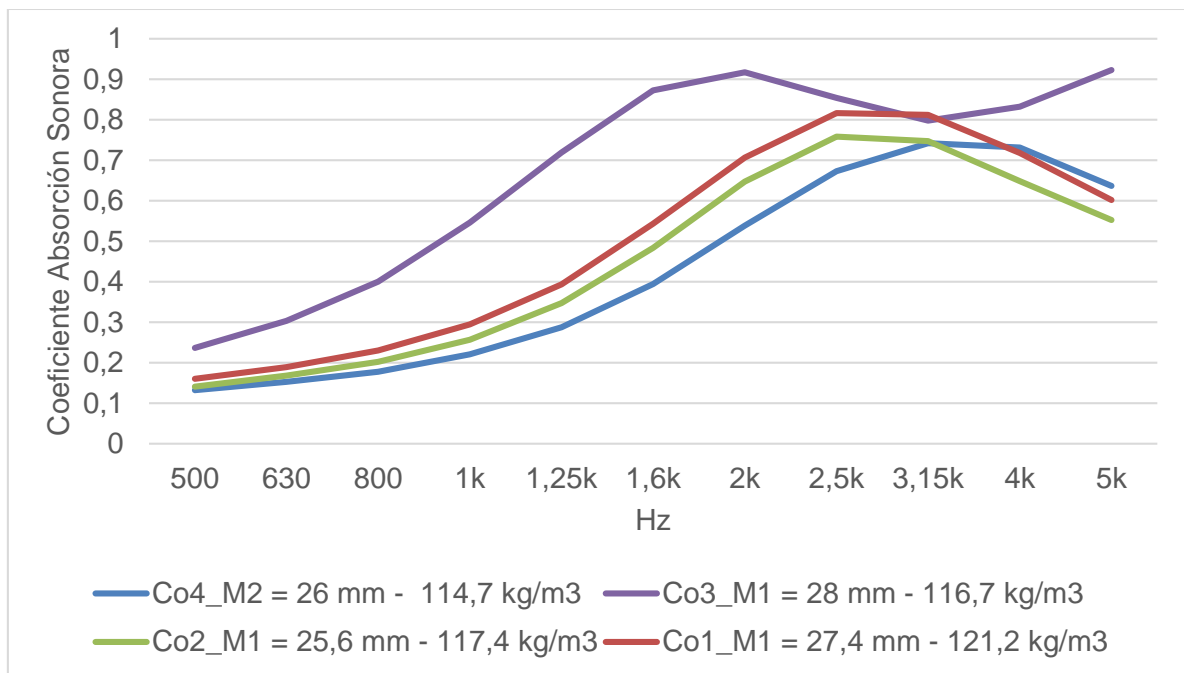


Figura 58. Coeficiente de absorción sonora de los cuatro paneles de coco, ordenados por su densidad de menor a mayor.

4.4. Comparación coeficiente de absorción – fibra de abacá, cabuya y coco

Ahora, se realizó un análisis comparativo con las tres fibras vegetales, las cuales tienen un espesor parecido (30 mm).

La fibra con mayor absorción entre los paneles es la de cabuya, con un valor de casi 0.5. (figura 60) la cual también tiene la menor densidad de los tres con un valor de 106.3 kg/m^3 (figura 59).

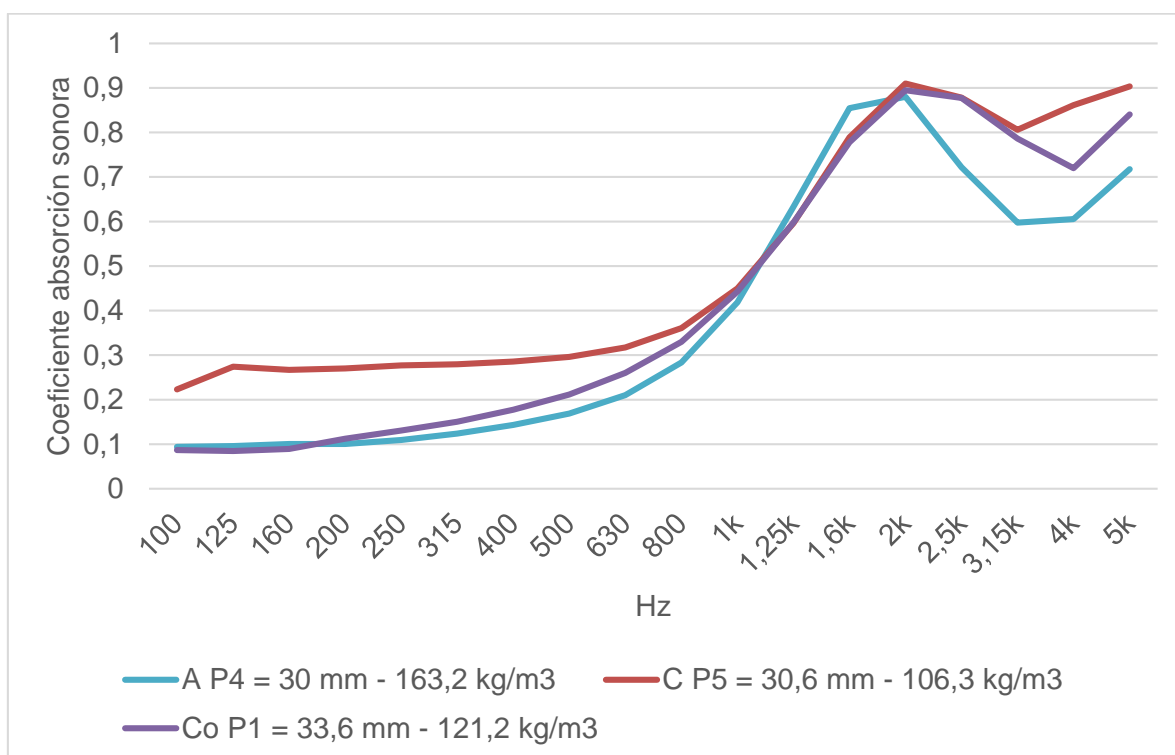


Figura 59. Coeficiente de absorción sonora del panel N°4 de abacá, panel N°5 de cabuya y panel N°1 de coco.

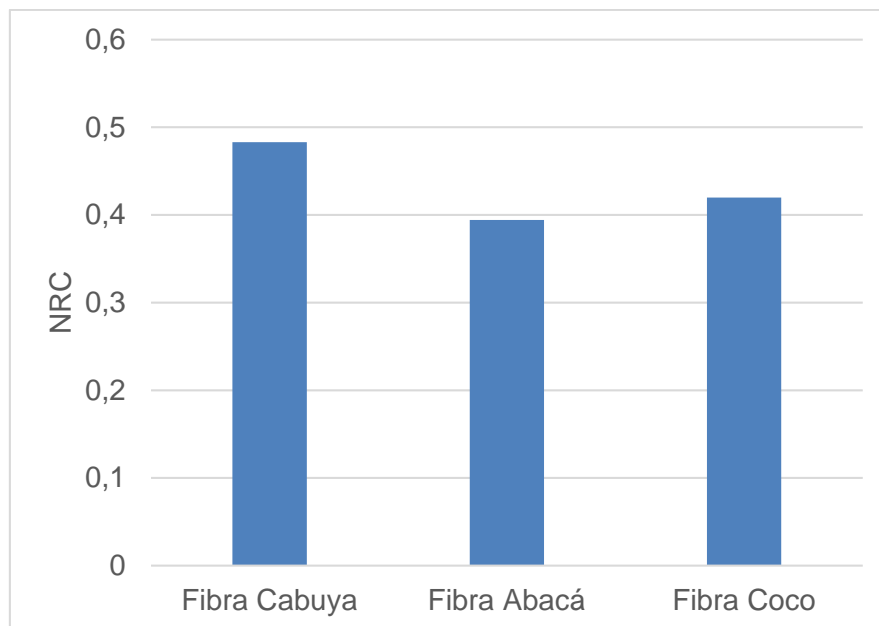


Figura 60. Coeficiente de reducción de ruido (NRC) de las fibras de cabuya, abacá y coco.

4.5. Comparación del coeficiente de absorción de fibras vegetales con fibras sintéticas.

A continuación (figura 61), se presenta un análisis comparativo de las fibras vegetales de abacá, cabuya y coco en contraste con las fibras sintéticas de vidrio y roca, las mismas que en el mercado ecuatoriano son muy conocidas en el sector constructivo. Es necesario mencionar que para esta comparación se midió el coeficiente de absorción de las fibras sintéticas con el mismo procedimiento que las fibras vegetales.

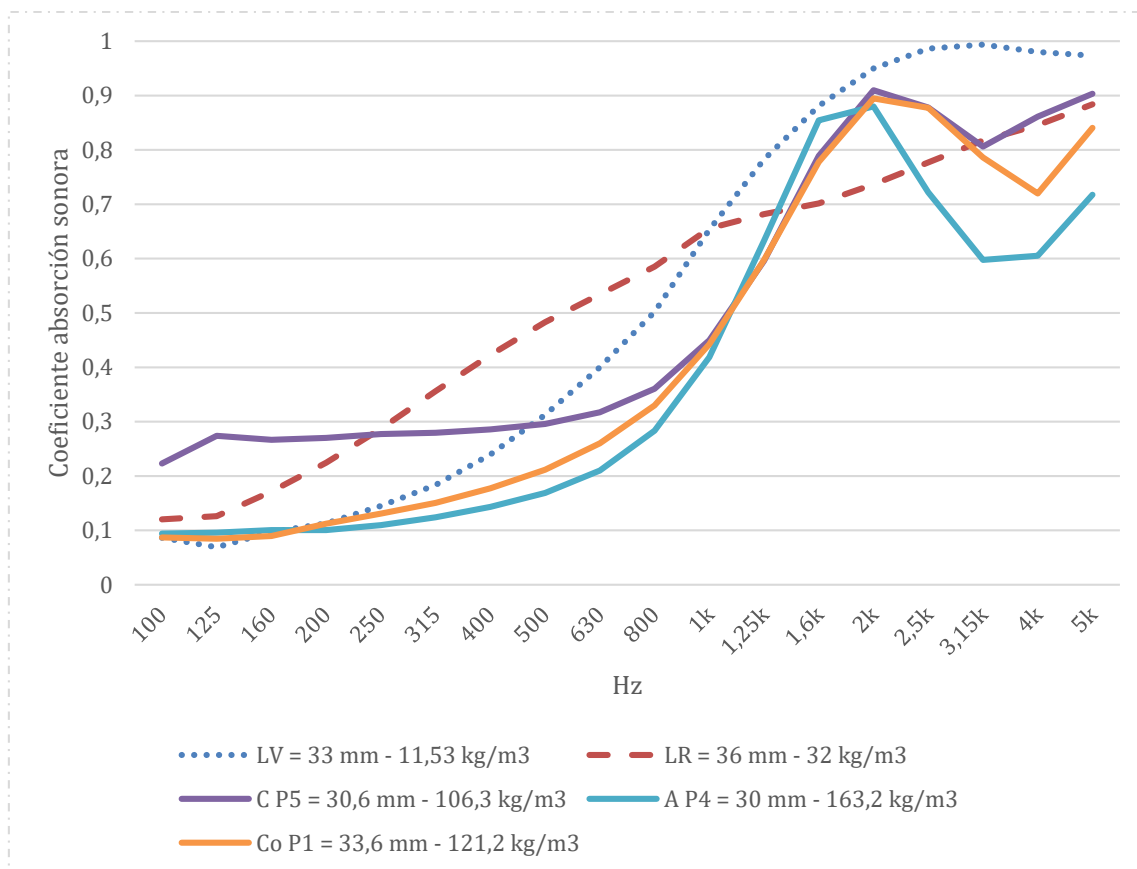


Figura 61. Coeficiente de absorción de lana de vidrio (LV), lana de roca (LR), fibra de cabuya (C P5), fibra de abacá (A P4) y fibra de coco (Co P1).

Según Carrión en 1998, comentó en su libro “Diseño Acústico de Espacios arquitectónicos” (pág. 80) que la densidad de un material debe estar entre el rango de 40 y 70 Kg/m^3 para que el mismo posea una buena absorción sonora. Esto debido a que, por debajo de este valor, las pérdidas por fricción son bajas y por encima de este valor, existe una menor penetración de la onda sonora en el material. Además, el valor de la densidad no debe superar en ningún caso los 100 Kg/m^3 . Con mención a esto, las fibras vegetales analizadas tienen una densidad mayor a 100 Kg/m^3 . La única fibra que se encuentra cerca del valor límite es el panel N°5 de cabuya con 106,3 kg/m^3 , el cual presenta en bajas frecuencias una absorción mayor a las demás.

También, el índice de reducción sonora (NRC) es bastante similar al de la lana de vidrio y de roca. Por el contrario, las fibras de abacá y coco presentan un coeficiente de absorción sonora por debajo de las demás fibras analizadas (figura 62).

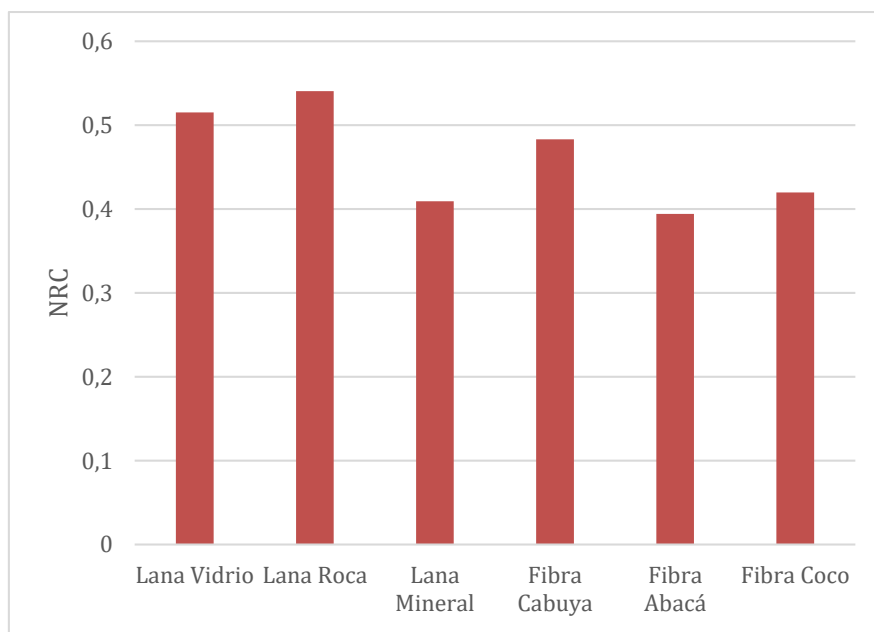


Figura 62. Coeficiente de reducción de ruido (NRC) de las fibras sintéticas (vidrio, roca y mineral) vs. las vegetales (abacá, cabuya y coco).

Ahora se presenta una comparación entre las fibras de cabuya y coco con la lana de vidrio y de roca (figura 63). Comprobando que la absorción de la fibra de coco y la lana de vidrio son bastante similares, sin embargo, su densidad y espesor no son iguales. La fibra de coco tiene una densidad 70% mayor y un espesor de 7 mm más que la lana de vidrio. Además, se puede observar en la figura 64 que la absorción es bastante parecida para los cuatro casos.

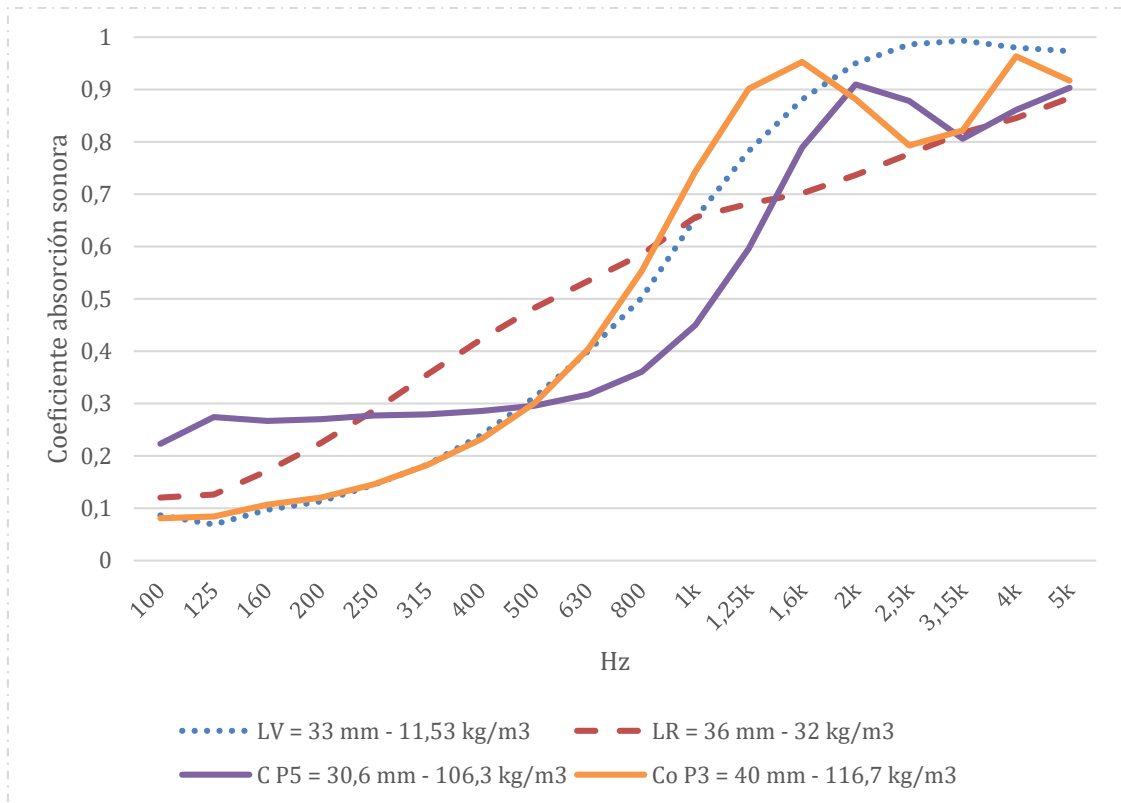


Figura 63. Coeficiente de absorción sonora de lanas sintéticas vs. fibras vegetales.

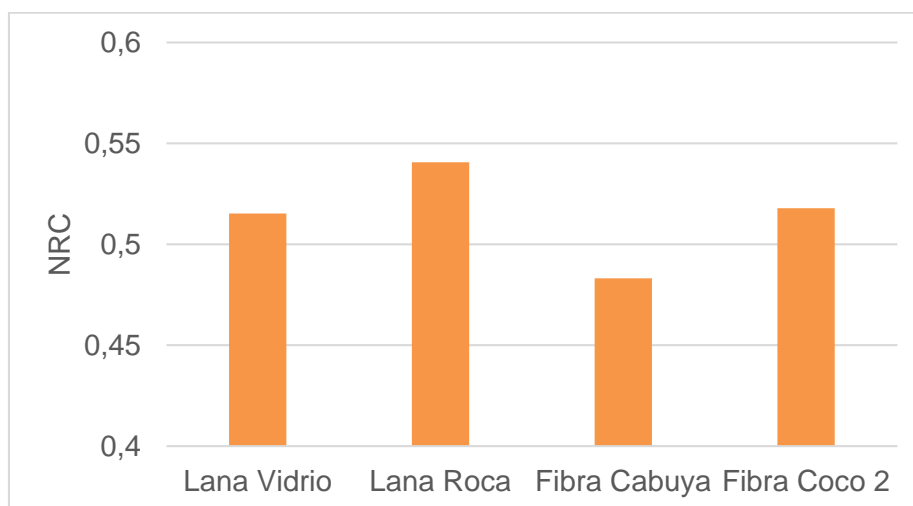


Figura 64. Coeficiente de reducción de ruido (NRC) de las fibras sintéticas (vidrio y roca) vs. las fibras vegetales (cabuya y coco).

4.6. Análisis de la desviación estándar de las mediciones

Para el cálculo de la desviación estándar, se cumple que en las frecuencias bajas (100-160 Hz) y en 5k Hz, la variación entre muestras es mayor. En las frecuencias bajas esto es debido a su longitud de onda, ya que, para el tubo de impedancias, procesar frecuencias bajas presenta un porcentaje mayor de error. En 5k Hz, esta variabilidad empieza a crecer, lo cual concuerda con las especificaciones del tubo de impedancias, el cual aconseja que no se mida por debajo de 100 Hz o por encima de 5k Hz.

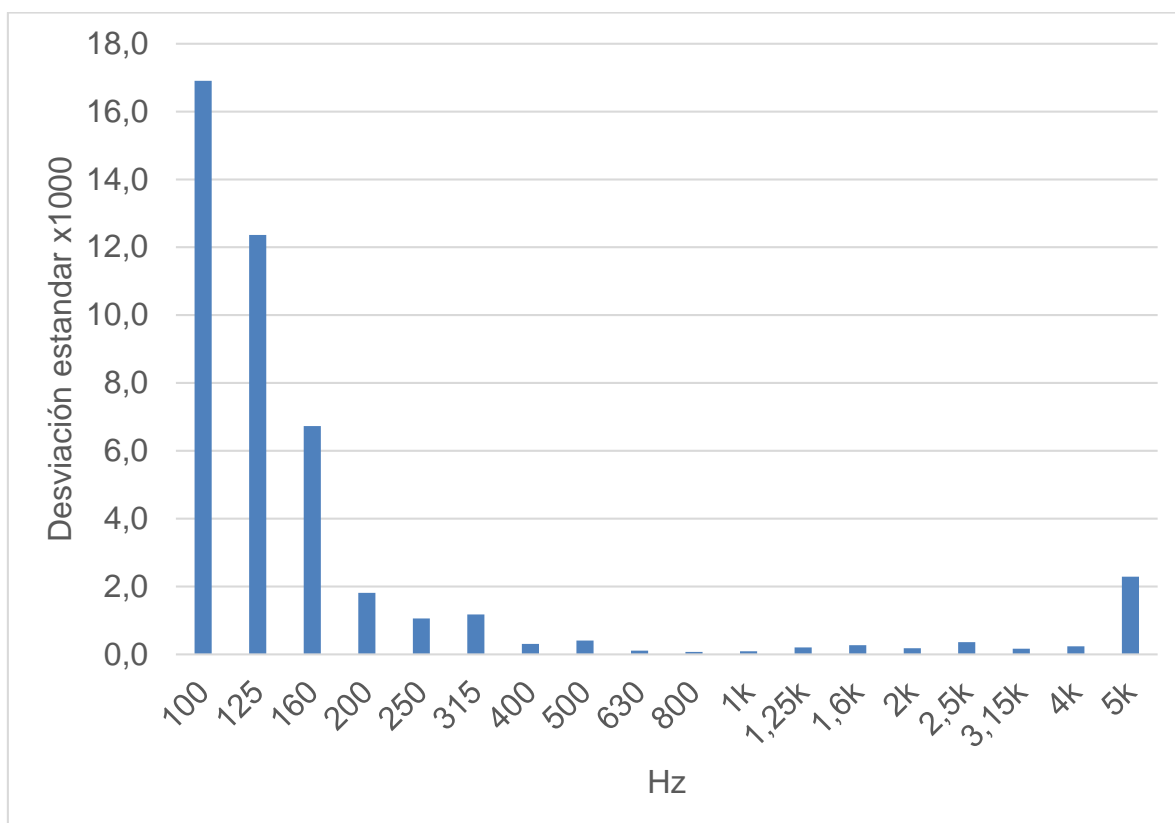


Figura 65. Comportamiento general de la desviación estándar en la medición del coeficiente de absorción de fibras vegetales.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

En la presente investigación se analizó con éxito la influencia que ejerce las propiedades físicas en las propiedades acústicas de fibras naturales como el abacá, cabuya y coco. Entre los parámetros analizados están la densidad volumétrica, espesor y coeficiente de absorción sonora.

El parámetro con mayor influencia en la absorción de las fibras naturales fue su espesor. Sin embargo, por debajo de 500Hz, la absorción sonora no es significativa, por lo que se concluye que el material no es adecuado para absorción en media y baja frecuencia. Lo cual es una característica de materiales similares (porosos).

Los paneles con mayor espesor y densidad media de la fibra de cabuya y coco presentan un buen comportamiento acústico, compitiendo en su absorción con fibras sintéticas de lana de vidrio y lana de roca, por lo cual sería interesante plantearla como un sustituto efectivo para la construcción en general. Sin embargo, se deberían realizar otros estudios como la temperatura de operación, conductividad térmica. Además del cumplimiento de varias normativas que son utilizadas a la hora de escoger un material como la “Resistencia a la combustión sin humo”, “Determinación de No-Combustibilidad”, “Propiedades de transmisión térmica”, etc.

Las fibras sintéticas como lana de vidrio y lana de roca presentan una densidad baja, lo cual según Carrión (1998, p. 80), no es aconsejable para un material absorbente. Sin embargo, se ha llegado a la conclusión de que este material no absorbe por la influencia de la densidad sino por su porosidad alta, la cual se

puede observar a simple vista. También, se puede mencionar que la absorción medida en el tubo de impedancias para estas fibras no concuerda con el dado por el fabricante porque no se usó el mismo procedimiento. Además, cuando se midió en el tubo de impedancias, la fibra se comprimió en el porta-muestras, por motivos de comparación.

También se comprobó en el software ACUPRO que a medida que aumentaba la impedancia del material, la absorción es menor. Como en la mayoría de las fibras analizadas la densidad fue mayor a 100 kg/m^3 las mismas presentaron un coeficiente de absorción sonora relativamente bajo. Además, según Carrión (1998, p.80) un material absorbente no debe sobrepasar en ningún caso los 100 kg/m^3 (revisar apartado 4.5.).

La presente investigación concluye con éxito varios hallazgos. En primer lugar, el coeficiente de absorción de las fibras es directamente proporcional al espesor. Dos, la densidad de los paneles es muy alta, lo cual dificulta el paso de la energía entre los poros, dando como resultado, una baja absorción sonora. Por último, los paneles con mayor espesor y densidad media de las fibras de cabuya y coco presentan propiedades acústicas similares a lanas sintéticas, por lo cual se promueve su investigación en otras áreas para posteriormente utilizarlas reemplazando a las fibras sintéticas en el sector constructivo.

5.2 Recomendaciones

No hubo un proceso definido a la hora de elaborar los paneles de fibra natural, esta elaboración fue experimental y artesanal. Por esta razón las muestras no fueron idénticas en su composición, algunas tenían mayor espesor en el centro y muy variado en los contornos. También la cantidad de aglutinante debería de ser un factor a analizar en futuras investigaciones ya que el mismo hace que la

fibra tenga mayor densidad y en general menor absorción. Por esto, sería recomendable que las mismas sean elaboradas y cortadas bajo un proceso industrial no manual.

Como futuras líneas de investigación se propone realizar paneles de las mismas fibras, pero con una composición no tan compacta. De tal manera que la densidad sea menor y se pueda tener mejores resultados en la absorción sonora.

REFERENCIAS

- Ahmad, F., Choi, H. S., & Park, M. K. (2015). *A review: natural fiber composites selection in view of mechanical, light weight, and economic properties. Macromolecular Materials and Engineering*, 300(1), 10-24.
- ASTM C423-17, *Standard Test Method for Sound Absorption and Sound Absorption Coefficients by the Reverberation Room Method*, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2017.
- ASTM D3776 / D3776M-09a (2017). *Standard Test Methods for Mass Per Unit Area (Weight) of Fabric*, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2017.
- ASTM D5034-09 (2017). *Standard Test Method for Breaking Strength and Elongation of Textile Fabrics (Grab Test)*, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2017.
- ASTM. (2009). ASTM E2611-09. *Standard Test Method for Measurement of Normal Incidence Sound Transmission of Acoustical Materials Based on the Transfer Matrix Method*. West Conshohocken, Pennsylvania, USA.
- Barros, M. M. (2009). *Ingeniería Acústica - Teoría y Aplicaciones 2nda Edición*. Heidelberg, New York: Springer.
- Beranek, L. (2005). *Noise And Vibration Control Engineering - Principles And Applications*. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Berardi, U., & Iannace, G. (2015). Acoustic characterization of natural fibers for sound absorption applications. *Building and Environment*, 94, 840-852.

- Berardi, U., & Iannace, G. (2017). Predicting the sound absorption of natural materials: Best-fit inverse laws for the acoustic impedance and the propagation constant. *Applied Acoustics*, 115, 131-138.
- Bermúdez, S. (2014). Comida típica de esmeraldas. Ecuador Travel. Recuperado el 08 de noviembre de 2018 de <https://ecuador.travel/es/comida-tipica-de-esmeraldas-coco-protagonista-mesa/>
- Carrión, A. I. (1998). Diseño acústico de espacios arquitectónicos. Barcelona: Talleres Gráficos Hostench, SA.
- Environmental Protection Agency (2014) *Global Greenhouse Gas Emissions Data*. Recuperado el 10 de diciembre de 2018 de: <https://www.epa.gov/ghgemissions/global-greenhouse-gas-emissions-data#Reference 1>
- Espinosa, M. V. (2016). Santo Domingo exporta abacá de calidad. Líderes. Recuperado el 09 de diciembre de 2018 de <https://www.revistalideres.ec/lideres/produccion-santodomingo-abaca-exportaciones>.
- Gerges, S. N. (1992). Ruído: Fundamentos y Control. Florianópolis - Brasil: Fábio F. Nunes.
- Göltenboth, F. and Mühlbauer, W. (2010) *Abacá – Cultivation, Extraction and Processing. Industrial Applications of Natural Fibres. Structural, Properties and Technical Applications/edited by Jörg Müssig*. Wiley and Sons.
- González, C. (2013) Diseño y cálculo de instalaciones de climatización. Cano Pina, SL.

- Guale, A. S. (2014). Futuro prometedor para el coco. Recuperado el 09 de diciembre de 2018 de <http://www.eldiario.ec/noticias-manabi-ecuador/304394-futuro-prometedor-para-el-coco/>.
- Ismail, L., Ghazali, M. I., Mahzan, S., & Zaidi, A. M. A. (2010). *Sound absorption of Arenga Pinnata natural fiber. World Academy of Science, Engineering and Technology*, 67, 804-806.
- Jagadeesh, D., Kanny, K., & Prashantha, K. (2015). *A review on research and development of green composites from plant protein-based polymers. Polymer Composites*.
- Kinsler, L.E., Frey, A. R., Coppens, A. B., & Sanders, J. V. (1992). *Fundamentos de Acústica*. México: Limusa.
- Korjenic, A., Zach, J., & Hroudová, J. (2016). *The use of insulating materials based on natural fibers in combination with plant facades in building constructions. Energy and Buildings*, 116, 45-58.
- Küçük, M., & Korkmaz, Y. (2012). *The effect of physical parameters on sound absorption properties of natural fiber mixed nonwoven composites. Textile Research Journal*, 82(20), 2043-2053.
- Llinares, J., Llopis, A. & Sancho, J. (2008). *Acústica Arquitectónica y Urbanística*. México: Limusa.
- Mishky Huarmy, (2018). Miske destilado de penco agave americano andino. Recuperado el 5 de noviembre de 2018 de <http://www.mishkyhuarmy.com/?tag=agave>

- Neubauer, F. (2010). *Insulation Materiales Based on Natural Fibres. Industrial Applications of Natural Fibres. Structural, Properties and Technical Applications/edited by Jörg Müssig*. Wiley and Sons.
- Padhye, R., & Nayak, R. (2016). *Acoustic Textiles*. Singapore: Springer Singapore.
- Pickering, K., Aruan Efendy, M., & Le, T. (2016). *A review of recent developments in natural fibre composites and their mechanical performance. Composites: Part A* 83 (2016) 98–112.
- El Productor, (2012). El abacá un cultivo de oportunidades para el Ecuador. Recuperado el 30 de octubre de 2018 de <http://elproductor.com/articulos-tecnicos/articulos-tecnicos-agricolas/el-abaca-un-cultivo-de-oportunidades-para-ecuador/>
- Ricciardi, P., Belloni, E., & Cotana, F. (2014). *Innovative panels with recycled materials: Thermal and acoustic performance and Life Cycle Assessment. Applied Energy*, 134, 150-162.
- Roldan, L. V., Pérez, L. G., Amores, L. F., & Ibarra, A. (2015). *Potential use of vegetal Biomass as insulation in extreme climates of Ecuador. Enfoque*, 23-41(19).
- Thilagavathi, G., Pradeep, E., Kannaian, T., & Sasikala, L. (2010). *Development of natural fiber nonwovens for application as car interiors for noise control. Journal of Industrial Textiles*, 39(3), 267-278.
- UNE. (2002). UNE EN 10534-2:2002. Determinación del coeficiente de absorción acústica y de la impedancia acústica en tubos de impedancia. Parte 2: Método de la función de transferencia. Madrid, España.

- UNE. (2004). UNE EN 354. Medición de la absorción acústica en una cámara reverberante. Madrid, España.
- UNE. (2008). UNE EN 3382-2:2008. Medición de parámetros acústicos en recintos. Parte 2: Tiempo de reverberación en recintos ordinarios. Madrid, España.
- Xiang, H. F., Wang, D., Liua, H. C., Zhao, N., & Xu, J. (2013). *Investigation on sound absorption properties of kapok fibers. Chinese Journal of Polymer Science*, 31(3), 521-529.

ANEXOS

Proceso de utilización software ACUPRO

Ahora se detalla el proceso para calibrar el tubo de impedancias con el software “ACUPRO”.

Una vez conectados todos los equipos se abre el software “ACUPRO”. La imagen que por lo general aparece es la que se puede observar en la figura 64.

Pestaña “DAQ”

En esta pestaña los parámetros que se pueden configurar son “Microphone Type”, el cual debe estar seleccionado en IEPE. Y el rango de voltaje para los micrófonos, el cual es recomendable que esté en +/- 2 V.

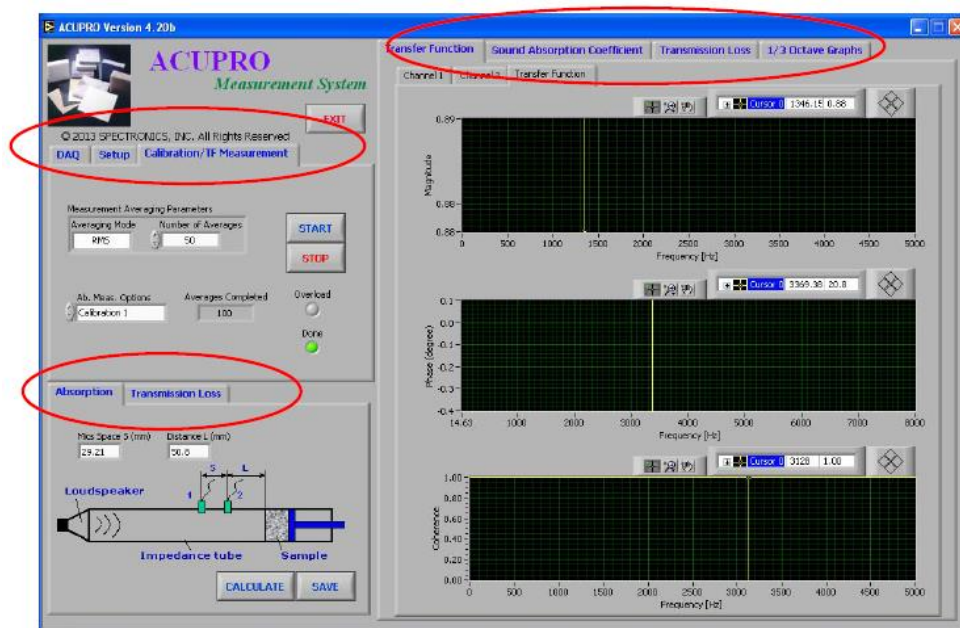


Figura 66. Pestaña que se abre al iniciar el software “ACUPRO”

Pestaña “Setup”

En esta pestaña los parámetros que son modificables son los siguientes:

“Job Description”. - (Aquí se añade el nombre el trabajo)

“Analysis Freq”. - (Es recomendable según el fabricante que se mida en un rango de 100 a 5000 Hz).

“Number of Lines”. - (Detalla el número de puntos en el dominio de la frecuencia para las mediciones de función de transferencia). Para las mediciones del coeficiente de absorción sonora, se utilizó una resolución de 3200.

“Ambient Temperature”. - Temperatura medio ambiente

“Ambient Pressure (kPa)”. - Temperatura ambiente en kilo Pascales.

Pestaña “Calibration/TF Measurement”

Esta es la última pestaña de configuración, en esta se escogió 100 promedios (Number of Averages) para la medición.

Para tener una correcta medición el equipo necesita una calibración de fase entre los micrófonos, la calibración es la siguiente:

“**Calibration 1**”. - se ubican los micrófonos en la posición inicial y se da en “Start” y luego “ok”. Se debe obtener un resultado similar al de la figura 67.

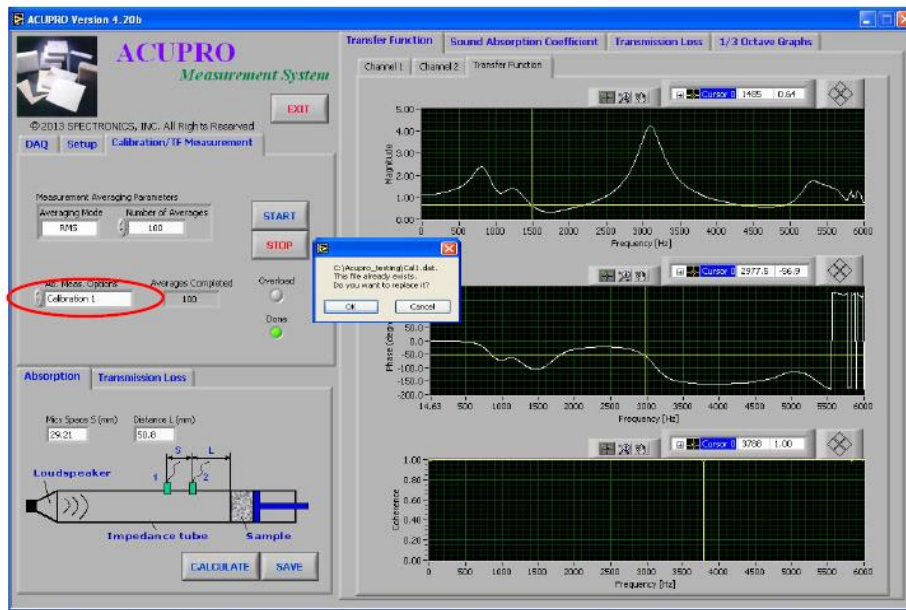


Figura 67. Resultados de la primera calibración del equipo dada por el fabricante.

Calibración 2. - Ahora se intercambia la posición de los micrófonos, el N#1 se conecta en el agujero 2 y viceversa. Luego “Start” y “Ok”. Se debe tener un resultado similar al de la figura 68.

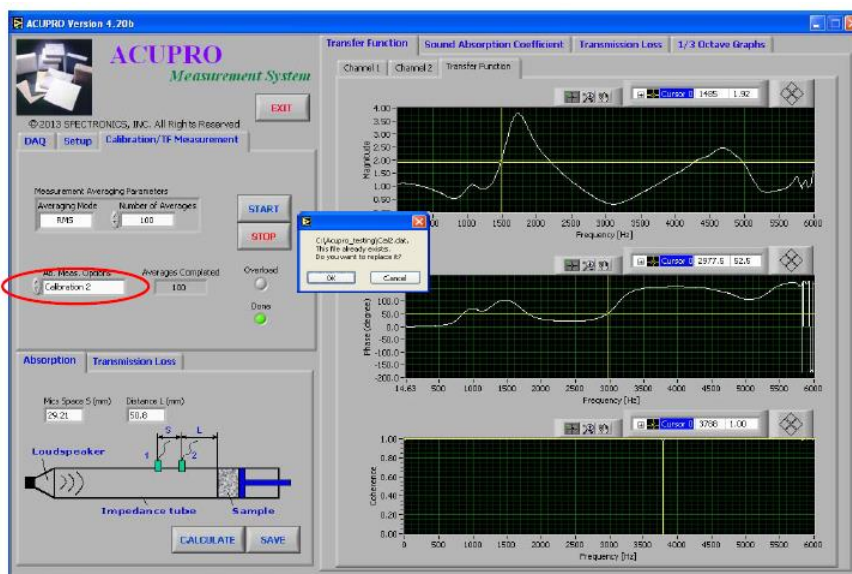


Figura 68. Resultados de la segunda calibración del equipo dada por el fabricante.

“Absortion Sample”.- ahora se intercambia otra vez la posición de los micrófonos, dejándolos en la posición inicial. También se introduce la muestra dada por el fabricante (esponja de 12mm), luego “Start” y “Ok”. El resultado debe ser similar al de la figura 69.

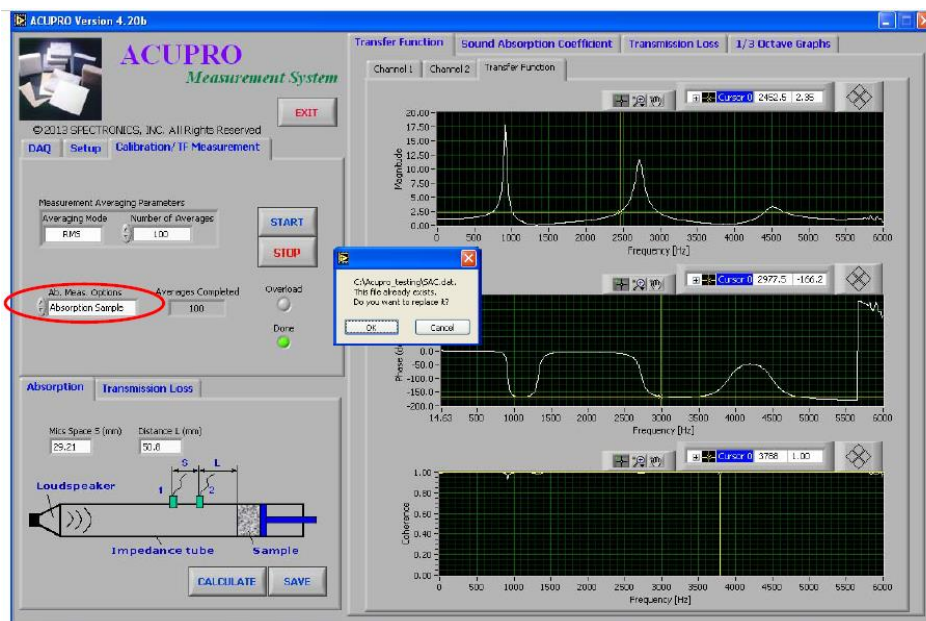


Figura 69. Resultados de la segunda calibración “Absortion Sample”, dada por el fabricante.

Lo que sigue es darle clic en el botón “CALCULATE”, y observar que el resultado obtenido, sea similar al de la figura 70.

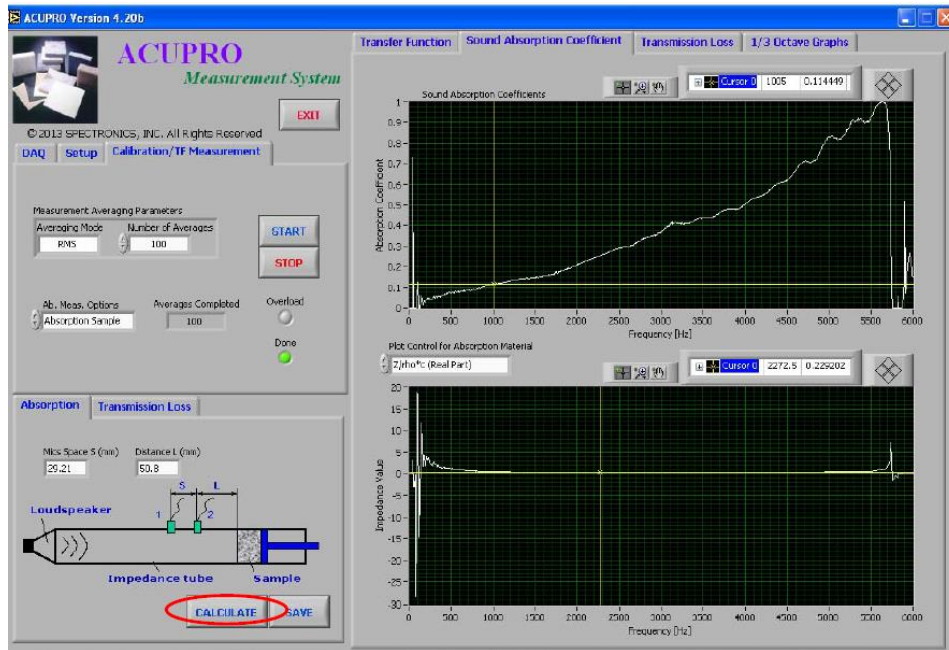


Figura 70. Curva del coeficiente de absorción de una muestra de espuma de 12mm.


Con esta calibración, el equipo está listo para empezar a medir. Tras esta calibración, se obtuvieron los resultados para las fibras de coco, cabuya y abacá.

Ficha técnica de la lana de vidrio "Frescasa" (Colombia)

Productos para construir mejor calidad de vida



CERTIFICADO ISO 9001





Tratamiento Acústico - Térmico

CLASSIFIED

 Fila R25157 - FORM A
 Unfaced Batts and Blankets
 Surface Burning Characteristics
 ISSUE NO: EL-6256
 FMC 25/50

DESCRIPCIÓN

Es un aislamiento Acústico y Térmico, diseñado para controlar el ruido y la temperatura de los espacios. Frescasa de Fiberglass es la solución para lograr el máximo confort en áreas residenciales, comerciales e industriales.

USOS

Como aislante acústico

- Con coeficiente de absorción hasta de 0,95 ideal para instalar entre las paredes divisorias de los sistemas constructivos livianos, como un tratamiento acústico.
- Por ser una manta de celda abierta, absorbe entre sus cavidades el sonido, y reduce su intensidad.

Como aislamiento térmico

- Regula y mantiene estables los rangos de temperatura interna.
- Proporciona niveles de temperatura confortable en la vivienda, locales comerciales, la industria y cualquier espacio interno en general.
- Previene la excesiva pérdida de calor en tiempo frío, así como la excesiva ganancia de calor en el verano.
- Otorga el máximo nivel de confort térmico y contribuye al ahorro de energía.

Como barrera de vapor

- En su presentación con recubrimiento de Foil de Aluminio o Papel kraft, actúa como barrera de vapor previniendo el efecto de condensación en los cielo rasos y en la superficie de las paredes exteriores.
- Mantiene condiciones especiales de humedad relativa para el caso de determinadas industrias.

Control Acústico




Pérdida de transmisión por frecuencias para un muro de construcción liviana con Frescasa

Control Térmico



www.fiberglasscolombia.com



Una empresa SAINT-GOBAIN

Figura 71. Ficha técnica de la lana de vidrio página 1.

DESEMPEÑO ACÚSTICO

Frecuencias en Bandas de Octava

FRESCASA 3 1/2" SIN PAPEL*	Montaje	125	250	500	1000	2000	4000	NRC**
	4	0,34	0,85	1,09	0,97	0,97	1,12	0,95

Montaje 4: Material ubicado cerca a un muro sólido, como una pared de ladrillo.
 (*) Material expuesto al sonido
 (**) NRC = Valor típico esperado de acuerdo a la evaluación de productos de diseño comparable.

CARACTERÍSTICAS



- Aislante térmico.
- Absorción acústica.
- Incombustible.
- Peso liviano.
- Inorgánico.
- No crea bacterias ni hongos.
- No genera olores.
- Dimensionalmente estable.
- Fácil de instalar.
- Mantiene en el interior la temperatura confortable.
- Mantiene los niveles adecuados de humedad.
- Reduce la transmisión de sonidos y controla el ruido.

ESPECIFICACIONES

	SIN PAPEL	CON PAPEL	CON FOIL
DIMENSIONES	15,24m (600") largo x 1.22m (48") ancho x 3.5" y 2.5" espesor <i>65mm</i>	15,24m (600") largo x 1.22m (48") ancho x 3.5" espesor	15,24m (600") largo x 1.22m (48") ancho x 3.5" espesor
RESISTENCIA TÉRMICA (°F.ft ² .h/BTU)	R = 11 (3.5") R = 8 (2.5")	R = 11	R = 11
COEFICIENTE DE REDUCCIÓN DE RUIDO (NRC)*	0,85 (2.5") 1.05 (3.5") Montaje A	0,80 Montaje A	0,80 Montaje A
CARACTERÍSTICAS DE QUEMADO SUPERFICIAL	Norma ASTM E 84 FS/SD 25/50		
EMPAQUE	Rollo en bolsa de polietileno		
PRODUCTOS CON SELLO UL	 <small> FILE #22127 - FORM A Fiberglass Batts and Blankets Various Surface Characteristics ULSP 800 41-4204 1997-2004 </small>		

BENEFICIOS

- Entrega inmediata.
- Asesoría y capacitación.
- Disponibilidad permanente.
- Distribución a nivel nacional.



Una empresa SAINT-GOBAIN

www.fiberglasscolombia.com




Productos para construir mejor
 calidad de vida

Figura 72. Ficha técnica de la lana de vidrio página 2.

4. REQUERIMIENTOS DEL PRODUCTO :

PRODUCTO	LONGITUD m (± 150mm)	ANCHO mm (-0+13)	ESPESO R mm (*)	NRC valores típicos por ASTM C423 (**)	RESISTENCIA TERMICA (aislamiento)(***)	DENSIDAD kg/m3 lbs/pie3	PESO kg/m2 ± 10% g/ft2
Frescasa 600"x48"x3.5"	15.24± 150mm	1219	89	1,05 Montaje A, 1,00 Montaje E-405, aislamiento expuesto al sonido	R-11 (*F.ft ² .h/ BTU)	9,93 kg/m3 (0,62 lbs/pie3)	0,88kg/m2 (82g/ft2)
Frescasa 600"x48"x2.5"	15.24± 150mm	1219	63,5	0,85 Montaje A, 0,90 Montaje E-405, aislamiento expuesto al sonido	R-8 (*F.ft ² .h/ BTU)	11,53 kg/m3 (0,72 lbs/pie3)	0,73kg/m2 (68g/ft2)
MBI 600"x48"x3.5"	15.24± 150mm	1219	89	0,80 Montaje A, acabado expuesto al sonido	R-11 (*F.ft ² .h/ BTU)	9,93 kg/m3 (0,62 lbs/pie3)	1,02kg/m2 (95g/ft2)
MBI 600"x48"x2.5"	15.24± 150mm	1219	63,5	0,85 Montaje A, 0,90 Montaje E-405, aislamiento expuesto al sonido	R-8 (*F.ft ² .h/ BTU)	11,53 kg/m3 (0,72 lbs/pie3)	0,88kg/m2 (81,5g/ft2)
Frescasa con foil 600"x48"x3.5"	15.24± 150mm	1219	89	0,80 Montaje A, acabado expuesto al sonido	R-11 (*F.ft ² .h/ BTU) R100=194 (m ² C / W)	9,93 kg/m3 (0,62 lbs/pie3)	1,00kg/m2 (93,5g/ft2)
Frescasa con papel 600"x48"x3.5"	15.24± 150mm	1219	89	0,80 Montaje A, acabado expuesto al sonido	R-11 (*F.ft ² .h/ BTU) R100=194 (m ² C / W)	9,93 kg/m3 (0,62 lbs/pie3)	1,02kg/m2 (95g/ft2)
Frescasa sin papel 600" x 50cm x 2"	15.24± 150mm	500	50	No se tienen datos disponibles	R-6,35 (*F.ft ² .h/ BTU) R100=112 (m ² C / W)	12,50 kg/m3 (0,78 lbs/pie3)	0,65kg/m2 (59g/ft2)
SAB 24" x 96 x 50mm R-6,35	2,438 ± 25mm	610	50	No se tienen datos disponibles	R-6,35 (*F.ft ² .h/ BTU) R100=112 (m ² C / W)	12,50 kg/m3 (0,78 lbs/pie3)	0,65kg/m2 (59g/ft2)
SAB	2,438 ±	610	63,5	0,85 Montaje A,	R-8(*F.ft ² .h/ BTU)	11,53 kg/m3	0,73kg/m2

Figura 73. Ficha técnica de la lana de vidrio página 3.

Ficha técnica de la lana de roca "Calorcol" (Colombia)



CALORCOL
Expertos en Ingeniería de Aislamientos

Ficha Técnica

SONOWALL SAFB



Material fibroso elaborado de Lana Mineral de Roca con un punto de fusión aproximado a 1.177°C.

Especificaciones Técnicas

Densidad	32 kg/m ³ 60 kg/m ³
Dimensiones	0,61 m x 1,22 m
Espesor	2in a 4in con incrementos de ½in
Temperatura de operación	Hasta 454 °C
Conductividad térmica	0.22 BTU.in/ft 2.h. °F a >100 °F




Soluciones de aislamiento



Térmica



Acústica



Cortafuego

Descripción

El Sonowall SAFB consiste en finas fibras de Lana Mineral de Roca elástica y aglutinada, en forma de placas, con un espesor y una densidad constante sin ningún tipo de recubrimiento, actúa como barrera al paso de calor y del ruido, mejora la pérdida por transmisión, absorbiendo el sonido en la cavidad de la partición e incrementando la masa total de la misma.

Aplicaciones

- El Sonowall SAFB ha sido diseñado como material de aislamiento acústico, térmico y protección contra incendios en particiones verticales y horizontales en sistemas de construcción liviana o tradicional

Ventajas

- El Sonowall SAFB es un producto totalmente inorgánico, por lo tanto no es hábitat para roedores, insectos, bacterias y hongos, a la vez que no corroe ni ataca los sustratos donde son aplicados
- Es 100% libre de asbesto
- Es un producto clasificado como incombustible
- Permanece inalterable en el tiempo sin perder sus propiedades físicas
- Es fácil de instalar
- Absorción de humedad <0.01% del volumen

El SONOWALL SAFB tiene muy baja conductividad térmica, minimizando la transferencia de calor en una partición, lo que ayuda a reducir el consumo total de energía en más del 50%.

DESEMPEÑO ACÚSTICO ASTM 423


Coeficientes de Absorción por Frecuencia

Espesor	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 KHz	2 KHz	4 KHz	NRC
1in	0.14	0.25	0.65	0.9	1.01	1.01	0.7
1.5in	0.18	0.44	0.94	1.04	1.02	1.03	0.85
2.5in <i>50mm</i>	0.28	0.6	1.09	1.09	1.05	1.07	0.95
3.5in	0.52	0.96	1.18	1.07	1.05	1.05	1.05
4in	0.86	1.11	1.2	1.07	1.08	1.07	1.1

www.calorcol.com

Figura 74. Ficha técnica de la lana de roca página 1.

Informes de abacá, cabuya y coco dados por el instituto de investigación geológico y energético del Guayas.

	INFORME DE CONDUCTIVIDAD	INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN GEOLÓGICO Y ENERGÉTICO
	DIRECCIÓN DE SERVICIOS ESPECIALIZADOS Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA LABORATORIO DE ENSAYOS TÉRMICOS Y EFICIENCIA ENERGÉTICA	

Equipamiento: S18-046

Equipo: Medidor de conductividad térmica de placa caliente, Lambda-Messtechnik
Modelo: λ-Meter EP500e, Version C.
Accesorio: No se aplicó
Muestra de Verificación: Glas210
Verificación: 2017-01-15

Condiciones de la(s) Muestra(s):

	Código	Largo (mm)	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Peso (g)	Dens. kg/m ³	Otros (Color, composición)
1	1810016	206,6	210	32,83	179,15	125,78	Bloques de fibras de abacá
2	1810017	206,6	201,6	32,46	178,70	132,18	
3	1810018	206,6	211,6	29,88	213,20	163,22	
4	1810019	210	188,3	22,73	118,65	132,01	
5	1810020	306,6	303,3	26,36	404,13	164,87	

Acondicionamiento de la(s) Muestra(s):

24 horas a 23°C, humedad bajo 80%

Modificaciones al procedimiento o a las muestras:


- 1.- Configuración adaptada a materiales de construcción no aislantes
- 2.- Fue necesario utilizar almohadillas de compensación y sensores de temperatura adicionales para minimizar las irregularidades superficiales.

Condiciones ambientales de ensayo:

Temperatura Ambiente Promedio: 19,5 °C
Humedad Relativa: 53,3 %



Figura 75. Datos técnicos de la fibra de abacá.

	INFORME DE CONDUCTIVIDAD	INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN GEOLÓGICO Y ENERGÉTICO
	DIRECCIÓN DE SERVICIOS ESPECIALIZADOS Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA LABORATORIO DE ENSAYOS TÉRMICOS Y EFICIENCIA ENERGÉTICA	

Equipamiento: S18-044

Equipo: Medidor de conductividad térmica de placa caliente, Lambda-Messtechnik
 Modelo: λ-Meter EP500e, Version C.
 Accesorio: No se aplicó
 Muestra de Verificación: Glas210
 Verificación: 2017-01-15

Condiciones de la(s) Muestra(s):

	Código	Largo (mm)	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Peso (g)	Dens. kg/m ³	Otros (Color, composición)
1	1810006	310	305	45,10	363,60	85,27	Bloque de fibras de cabuya
2	1810007	295	295	28,30	306,80	124,57	
3	1810008	293	302	28,20	265,35	106,34	
4	1810009	309	293	19,90	333,50	185,10	
5	1810010	295	292	32,70	278,10	98,73	

Acondicionamiento de la(s) Muestra(s):

24 horas a 23°C, humedad bajo 80%

Modificaciones al procedimiento o a las muestras:

- 1.- Configuración adaptada a materiales de construcción no aislantes
- 2.- Fue necesario utilizar almohadillas de compensación y sensores de temperatura adicionales para minimizar las irregularidades superficiales.


Condiciones ambientales de ensayo:

Temperatura Ambiente Promedio: 19,0 °C

Humedad Relativa: 54,9 %



Figura 75. Datos técnicos de la fibra de cabuya.

	INFORME DE CONDUCTIVIDAD	INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN GEOLOGICO Y ENERGÉTICO
	DIRECCIÓN DE SERVICIOS ESPECIALIZADOS Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA LABORATORIO DE ENSAYOS TÉRMICOS Y EFICIENCIA ENERGÉTICA	

Equipamiento: S18-043

Equipo: Medidor de conductividad térmica de placa caliente, Lambda-Messtechnik
 Modelo: λ-Meter EP500e, Version C.
 Accesorio: No se aplicó
 Muestra de Verificación: Glas210
 Verificación: 2017-01-15

Condiciones de la(s) Muestra(s):

	Código	Largo (mm)	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Peso (g)	Dens. kg/m ³	Otros (Color, composición)
1	1810001	296,7	296,7	56,65	571,90	114,68	Bloques hecho con fibras de coco
2	1810002	296,7	296,7	53,50	552,90	117,40	
3	1810003	293,3	219,6	40,42	304,90	117,12	
4	1810004	290	291,6	55,30	566,75	121,19	
5	1810005	287	302	52,90	535,00	116,68	

Acondicionamiento de la(s) Muestra(s):

24 horas a 23°C, humedad bajo 80%

Modificaciones al procedimiento o a las muestras:

- 1.- Configuración adaptada a materiales de construcción no tradicionales
- 2.- Se aplicó el uso de almohadillas de compensación y sensores de temperatura tipo película para el efecto de la irregularidad superficial.

Condiciones ambientales de ensayo:

Temperatura Ambiente Promedio: 20,8 °C

Humedad Relativa: 56,6 %

4

Figura 75. Datos técnicos de la fibra de coco.

