



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS AGROPECUARIAS

LA CÁSCARA DE CACAO COMO MATERIAL ACÚSTICO: EVALUACIÓN
DE LAS PROPIEDADES ABSORBENTES DE MUESTRAS CON
DISTINTA DENSIDAD Y ESPESOR

AUTOR

LILIAN GISSELLE CAJAS CAMACHO

AÑO

2019



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS

LA CÁSCARA DE CACAO COMO MATERIAL ACÚSTICO:
EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES ABSORBENTES DE MUESTRAS CON
DISTINTA DENSIDAD Y ESPESOR

Trabajo de titulación presentado en conformidad con los requisitos establecidos
para optar por el título de Ingeniera en Sonido y Acústica.

Profesora Guía
PhD. Virginia Puyana Romero

Autora
Lilian Gisselle Cajas Camacho

Año
2019

DECLARACIÓN PROFESOR GUÍA

"Declaro haber dirigido el trabajo, la cáscara de cacao como material acústico: evaluación de las propiedades absorbentes de muestras con distinta densidad y espesor, a través de reuniones periódicas con el estudiante Lilian Gisselle Cajas Camacho, en el semestre 201920, 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".

Virginia Puyana Romero
Dottorato di Ricerca in Rappresentazione, Tutela e Sicurezza dell' Ambiente e
delle Strutture e Governo del Territorio
CI. 175898835-4

DECLARACIÓN DEL PROFESOR CORRECTOR

"Declaro haber revisado este trabajo, la cáscara de cacao como material acústico: evaluación de las propiedades absorbentes de muestras con distinta densidad y espesor, de Lilian Gisselle Cajas Camacho, en el semestre 201920, dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación".

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

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.”

Lilian Gisselle Cajas Camacho.
CI. 172342306-5

AGRADECIMIENTOS

Gracias a quienes apoyaron el inicio de este camino, a quienes me levantaron cuando caí, quienes estuvieron en los peores momentos, quienes se quedaron, quienes se fueron, a los que me enseñaron a levantarme por mí misma. Gracias a mi familia y a mis amigos, este mundo no sería igual sin ustedes.

DEDICATORIA

A mi madre, que anhela verme triunfar, que sueña con verme cantar y quien está conmigo a todo momento.

RESUMEN

Los materiales compuestos por componentes naturales se están convirtiendo en una alternativa a los materiales tradicionales sintéticos para el acondicionamiento de recintos. En el presente trabajo se describen los procesos de elaboración de un material hecho a base de cáscara de cacao y diferentes aglutinantes, se hacen muestras con distintas proporciones y con distintos espesores. Así también se describe el proceso de medición y evaluación de los coeficientes de absorción acústica del material.

Las mediciones usaron como base la segunda parte de la normativa UNE-EN ISO 10534-2 "Determinación del coeficiente de absorción acústica y de la impedancia acústica en tubos de impedancia". La norma garantiza la posible comparación con otras muestras hechas a base de fibra vegetal y evaluar en las condiciones que establece la norma.

Se realizó también un cálculo de la desviación estándar entre los valores obtenidos del coeficiente de absorción en función a la frecuencia de las muestras. Con los valores del coeficiente de absorción procesados se realizaron comparaciones entre las diferentes características de las muestras; su espesor, densidad y aglutinante.

ABSTRACT

The materials composed of natural components become an alternative to synthetic materials for the conditioning of enclosures. In the present work the processes of elaboration of a material made from cocoa husk and different binders are described, samples was made with different proportions and with different thicknesses. This document also describes the measurement process and the evaluation of the acoustic absorption coefficients of the material.

The measurements are based on the first part of the UNE-EN ISO 10534-1 standard "Determination of the acoustic absorption coefficient and the acoustic impedance in impedance tubes". The standard guarantees the possible comparison with other samples.

A calculation of the standard deviation was also made between the values obtained from the absorption coefficient based on the frequency of the samples. With the values of the absorption coefficient processed, comparisons were made between the different characteristics of the samples; its thickness, density and binder.

ÍNDICE

1. CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Antecedentes	1
1.2. Alcance	4
1.3. Justificación	5
1.4. Objetivos	6
1.4.1. Objetivo general	6
1.4.2. Objetivos específicos	6
2. CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	6
2.1. Conceptos teóricos.....	6
2.1.1. Longitud de onda	6
2.1.2. Acondicionamiento acústico.....	7
2.1.3. Coeficiente de absorción sonora.....	8
2.1.4. Absorción acústica	8
2.1.5. Reverberación y tiempo de reverberación	9
2.1.6. Inteligibilidad	10
2.2. Materiales absorbentes	11
2.2.1. Tipos de materiales absorbentes.....	12
2.3. Variaciones del coeficiente de absorción en materiales porosos	14
2.3.1. Coeficiente de absorción en función del espesor	14
2.4. Métodos de obtención de coeficiente de absorción sonora	16
2.4.1. Cámara reverberante	17
2.4.2. Tubo de impedancia.....	18
2.4.3. Campo libre, cámara anecoica.....	20
2.5. Fibras vegetales	21
2.5.1. Cacao	21
2.6. Materiales aglutinantes.....	22
2.6.1. Resinas compuestas.....	22

3. CAPÍTULO III. METODOLOGÍA	24
3.1. Componentes de las muestras	25
3.2. Tratamiento de la cáscara de cacao	26
3.3. Elaboración de muestras	28
3.4. Moldes	32
3.5. Desmoldado de muestra	32
3.6. Equipo de medición	33
3.6.1. Tubo de impedancia Spectronics ACUPRO 4	34
3.6.2. Sistema de medición Spectronics ACUPRO 4.....	34
3.6.3. Altavoz JBL 2426J	35
3.6.4. Micrófonos G.R.A.S.....	36
3.6.5. Interfaz Data Translation 9837	36
3.6.6. ACUPRO Software.....	37
3.7. Conexiones.....	38
3.8. Montaje de equipamiento.....	39
3.9. Montaje de muestras.....	40
3.10. Proceso de medición	42
3.10.1. Configuración del DAQ	42
3.10.2. Configuración del Setup.....	42
3.10.3. Configuración Calibration / TF Measurement	43
3.10.4. Calibración de fase de los micrófonos	43
3.10.5. Proceso de medición de coeficientes de absorción	46
4. CAPÍTULO IV. ANÁLISIS DE RESULTADOS	51
4.1. Comparación de diferentes densidades con el mismo aglutinante y espesor	53
4.2. Comparación diferentes espesores, mismo aglutinante y densidad	55
4.2.1. Material compuesto de cacao y caucho de silicona.....	55
4.2.2. Material compuesto de cacao y resina de poliéster.....	57
4.3. Comparación de aglutinantes en muestras con mismo espesor y densidad.....	59

4.4. Comparación con materiales en el mercado.....	61
4.5. Comparación con otros materiales de fibra vegetal	63
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	66
5.1. Conclusiones.....	66
5.2. Recomendaciones	68
REFERENCIAS	70
ANEXOS	72

1. CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

Existen varios tipos de fibras vegetales que pueden ser empleadas para ser procesadas y utilizadas como una alternativa diferente al uso común de otras fibras sintéticas a base de polímeros, que además de utilizar recursos extras para su elaboración crean más desechos. La producción de materiales absorbentes con la utilización de fibras naturales vegetales da un valor añadido al material al generar un producto sostenible ambientalmente (Merino, Alba, Del Rey, 2010).

El uso de materiales vegetales resulta una alternativa viable por su bajo costo, peso, propiedades mecánicas y a sus características biodegradables. Sus propiedades acústicas, su impedancia, admitancia, coeficiente de reflexión y absorción, hacen de estos materiales una tendencia mundial en el sector de la construcción (Páez, 2016).

Los materiales de construcción tienen propiedades absorbentes muy diferentes entre sí, lo que permite que tengan diferentes utilidades y características. Realizar tratamientos específicos para la optimización de las condiciones acústicas es necesario tanto en salas de grabación y monitoreo como en salas de espectáculos (Beranek, 1961).

La mayor parte de problemas acústicos como ecos, focalizaciones, excesiva reverberación o incluso excesiva sequedad en el ambiente sonoro, pueden ser solucionados con el acondicionamiento de la sala. Las normativas acústicas de construcciones que están disponibles dan un gran carácter prestacional y debido a esto han provocado una creciente oferta de materiales acústicos.

La utilización de algunos residuos puede significar reducir desechos que están destinados a deteriorarse y generar un ambiente con problemas de higiene y salubridad. Esto, unido a la necesidad de evaluar su posible toxicidad o potencial daño ambiental hace que se hayan realizado estudios de investigación sobre el reciclaje de residuos abundantes en la tierra tanto biodegradables como no biodegradables (Escobar, Sanz, Merás, Caballero & Arévalo, 2017).

El ser humano se encuentra en constante búsqueda de una sostenibilidad responsable y consciente de la fragilidad del medio ambiente, por lo que, el manejo de residuos sólidos es una de las principales acciones que la sociedad está dispuesta a realizar junto con el reciclaje que ya es parte de la vida de muchas familias y comunidades, tales como, empresas, instituciones públicas, privadas y de educación (Boada, 2014).

Hay diferentes formas de acceder al material necesario para la producción de las muestras del material y sus variaciones con respecto a espesor, densidad y componentes complementarios. Pero, para la producción en masa del material posiblemente apto para comercialización se provee los procesos iniciales que se deben hacer para la obtención de los residuos. Hay diferentes tipos de materiales potencialmente reciclables como los de pre-consumo y residuos post-consumo (Boada, 2014).

- Residuos pre-consumo: Es el resultante de procesos industriales. Es el utilizado por la empresa para la recuperación de materias primas.
- Residuo post-consumo: Requiere de mecanismos institucionales, en algunas ocasiones complejos, tales como permisos de recuperación, recolección y reutilización de materiales que se encuentran en empresas ajenas a los objetivos e intereses de la recolección del material.

En los últimos años, la utilización de materiales que se fabrican con metales, plásticos, cerámicos, vidrios y otros, ha ido disminuyendo por el cuidado al medio ambiente. Por este motivo, además de su fácil procesamiento, disponibilidad, bajo costo y peso, su alta resistencia y su propiedad biodegradable, se han investigado los usos y la forma de fabricar materiales a partir de recursos naturales (Navacerrada, Díaz, González, & García, 2008).

En los últimos años las fibras naturales y su utilización junto con materiales usuales como polímeros y fibras convencionales como fibras de vidrio y carbono que han tenido mucha acogida como una alternativa al común uso de materiales no degradables. Los materiales pueden estar compuestos en distintas proporciones de aglomerante y aglutinante (lo que une las partículas del material, componente encargado, en algunos casos, de variar la densidad del material elaborado), dando así las características acústicas de cada material.

La producción del cacao representa alrededor del 6.7 % del producto interno bruto o PIB, entre mercado nacional e internacional, lo que nos puede dar una idea de la actividad económica generada alrededor del área de producción del país. (Informe Anual de ALIMARKET, 2013, p. 309). En el Ecuador 23 de sus 24 provincias se dedican a la producción de cacao. La mayor concentración de su producción se encuentra en las provincias del litoral; Los Ríos, Guayas, Manabí, Esmeraldas y El Oro, así como las estribaciones de la cordillera Occidental de los Andes. En provincias como Orellana y Sucumbíos se estima que en los últimos años la superficie sembrada se ha incrementado (Secretaría Técnica del Comité Interinstitucional para el Cambio de la Matriz Productiva- Vicepresidencia del Ecuador, 2014).

Es destacable saber que en el Ecuador la producción de cacao está dominada por unidades productivas pequeñas (20 hectáreas o menos) y medianas (más de 20 hectáreas a 50).

La creciente oferta de materiales acústicos y la demanda de los mismos, ha generado la necesidad de afrontar la implementación de modelos que se encarguen de hacer más fácil la predicción del comportamiento de los materiales a evaluar, creando un software para las predicciones del acondicionamiento y aislamiento acústico. Los modelos disponibles más básicos hacen el intento de incluir y abordar el comportamiento en todas las frecuencias de cada uno de los materiales, teniendo como base conocida para el correspondiente despeje dos variables, siendo estas la impedancia característica y constante de propagación, que nos dan una pauta para predecir el comportamiento de propagación en los máximos y mínimos de las frecuencias incidentes en los materiales es decir en el comportamiento del seno de los mismos (Ramis, 2010).

En los últimos años se han desarrollado diferentes modelos empíricos para predecir el comportamiento acústico de materiales basados en ajustes de medida de los materiales a evaluar en ecuaciones lineales. En materiales como la lana de roca y de vidrio ya se ha estudiado este aspecto. Uno de los modelos que más se ha utilizado para esas predicciones es el de Delany - Bazley. También las colaboraciones intelectuales posteriores de Miki y diferentes trabajos expuestos a lo largo de los años donde se presentan y aparecen nuevos parámetros como la tortuosidad y factor de estructura, parámetros que están asociados a la distribución de las fibras o poros que caracterizan estos materiales. Como por ejemplo en la norma UNE-EN 12354-2003 "Determinación del coeficiente de absorción acústica y de la impedancia acústica en tubos de impedancia" de cualquier material fibroso con las formulas expuestas por Delany y Bazley (Alba, Ramis, Lorenzana, Del Rey, 2008).

1.2. Alcance

En este trabajo se buscó caracterizar las diferentes muestras que se realizaron a partir de desechos no muy conocidos, pero sí muy comunes en las zonas rurales

que se dedican a la agricultura en el Ecuador. La elaboración del material se centró en la obtención de cáscaras de cacao para la correspondiente elaboración de material absorbente y diferentes placas de muestras.

La investigación buscó evaluar el coeficiente de absorción del material y cómo este varía de acuerdo a las características adquiridas durante la elaboración. Las muestras de la cáscara de cacao tendrán sus respectivas variaciones de densidad y espesor, de manera que se realizarán comparaciones y registros de las evaluaciones.

A través de la norma UNE-EN ISO 10534 “Determinación del coeficiente de absorción acústica y de la impedancia acústica en tubos de impedancia” se planea tener una lista y guía donde se clasifiquen los coeficientes de absorción acústica de acuerdo a las diferentes características de las muestras, realizando también comparativas con cada una de ellas.

1.3. Justificación

En el país se tienen actividades económicas muy diversas, con diferentes objetivos, procesos, lugares de trabajo etc. La agricultura es uno de los más importantes del país y como en toda actividad se generan desechos, que pueden tener destinos muy variados. En el caso de nuestro material de estudio, el cacao, que es obtenido de manera tradicional y en zonas rurales, cuando es cosechado sólo se conserva la fruta, que es extraída en el mismo campo de cosecha. Posteriormente los desechos, en este caso es la cáscara, son arrojados en medio de la cosecha, y, como se ha dicho antes pueden convertirse en foco de enfermedades y de plagas.

En esta era existe una demanda creciente de materiales de construcción que satisfagan necesidades estructurales, ambientales, térmicas, de aislamiento y absorción acústica.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Evaluar el coeficiente de absorción sonora de un material hecho a base de cáscara de cacao a través de mediciones en un tubo de impedancia, considerando las características físicas de las muestras, es decir su espesor, densidad y aglutinante.

1.4.2. Objetivos específicos

- Elaborar diferentes tipos de muestras para encontrar las diferentes características acústicas y físicas (densidad)
- Realizar la caracterización de las diferentes muestras de material absorbente y sus distintos posibles espesores bajo la metodología de la norma UNE-EN ISO 12534.
- Realizar una comparación entre cada muestra caracterizando las mismas por espesor y densidad.

2. CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. Conceptos teóricos.

2.1.1. Longitud de onda

Definida como la distancia entre dos puntos consecutivos del campo sonoro, que se encuentran en el mismo estado de vibración en cualquier instante. Si en un tiempo dado, se toman dos puntos consecutivos donde los valores de presión sonora son máximos, la distancia entre esos dos puntos es precisamente la longitud de onda.

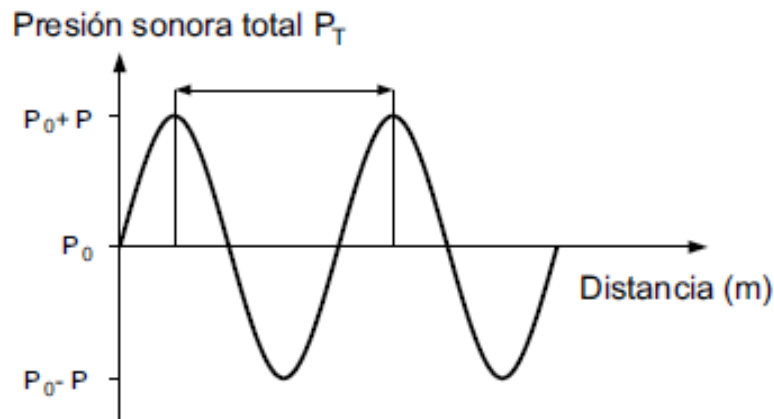


Figura 1. Longitud de onda (λ) del sonido.

Tomado de Llinares et al., 2008, p. 152.

Dicho de otra manera, es la relación de dos magnitudes: Frecuencia (f) y velocidad de propagación (c). Está dada por la siguiente expresión:

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

(Ecuación 1)

Desde otro punto de vista se puede ver que la longitud de onda y la frecuencia son inversamente proporcionales, es decir, mientras mayor sea la frecuencia, menor es la longitud de onda (λ) y viceversa (Carrión, 1998).

2.1.2. Acondicionamiento acústico.

El acondicionamiento acústico juega un papel muy importante en la acústica arquitectónica. Su objetivo es lograr que el sonido emitido por una o varias fuentes sonoras, sea irradiado con un máximo de difusión en todos los puntos del recinto y logre un campo difuso, es decir que el sonido llegue a todas las zonas del mismo. Busca conseguir que haya un equilibrio entre el sonido directo y el reverberado, lo

que implica que el sonido reflejado se minimice. El sonido reflejado provoca que el tiempo de reverberación sea más largo, lo que se traduce a una baja inteligibilidad. En cualquier recinto en donde se comunica y recibe un mensaje, la claridad con la que llega el mensaje al receptor define si la sala necesita o no acondicionamiento acústico (Llinares, et al., 2008).

2.1.3. Coeficiente de absorción sonora

Representado con α , el coeficiente de absorción sonora puede definirse como la relación de la energía sonora absorbida y la energía sonora incidente en una superficie conformada de cualquier tipo de material (Llinares, et al., 2008). En las superficies en las que inciden las ondas sonoras, se refleja una parte de la energía radiada por la fuente, mientras que la otra parte es transmitida a través de la superficie o disipada en la estructura de la superficie transformándose por diferentes mecanismos en energía calorífica. Depende de la impedancia del material, de la del aire y el ángulo de incidencia de la onda en la superficie.

$$\alpha = \frac{\text{Energía absorbida}}{\text{Energía incidente}}$$

(Ecuación 2)

Está en función del contenido frecuenciales de la onda incidente, debido a que la absorción depende de la velocidad de las partículas o de la presión acústica. Es decir, a mayor frecuencia mayor es la velocidad y la presión y consecuentemente mayor el coeficiente de absorción (Llinares, et al., 2008).

2.1.4. Absorción acústica

Cuando una onda sonora incide contra un material absorbente se reducen las reflexiones que se generarían si este fuera un material no absorbente. Es decir, la

disipación de energía sonora se realiza por pérdidas de energía. Parte de la energía, la otra se transmite en el segundo medio y se transforma por diferentes mecanismos de energía calorífica o movimiento, este proceso se denomina absorción acústica.

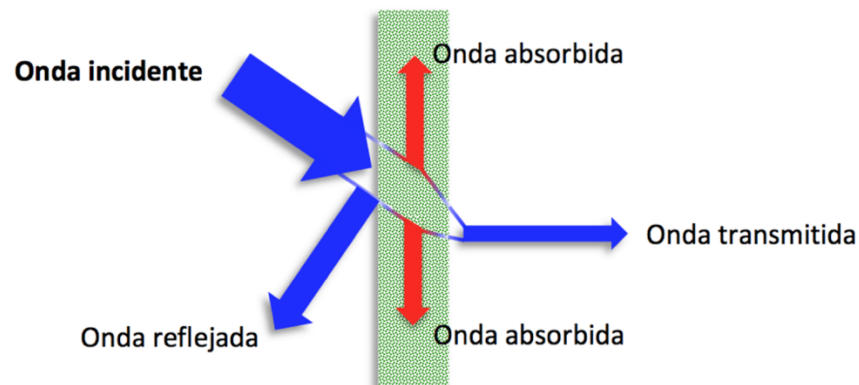


Figura 2. Onda incidente en una superficie.

Tomado de Arau, H., 1999, p.175.

La energía incidente (E_i) se puede calcular como muestra la siguiente Ecuación:

$$E_i = E_a + E_r$$

(Ecuación 3)

Donde:

E_i = Energía incidente.

E_a = Energía absorbida.

E_r = Energía reflejada.

E_t = Energía transmitida.

2.1.5. Reverberación y tiempo de reverberación

Existe un balance energético entre la energía total incidente en una superficie y las partes del sonido que se absorben, reflejan o transmiten. Por esta razón es preciso

evaluar y medir la energía que no es absorbida por las superficies de un recinto. La absorción y reflexión son fenómenos complementarios, es decir que la energía que no es absorbida al incidir en las superficies, es reflejada retornando al recinto. La energía reflejada puede ser reflejada de forma reflectiva o difusa. La permanencia de la energía reflejada dentro del recinto se denomina reverberación (Avilés & Perera, 2017).

2.1.5.1. Contribución de campo reverberante

Hay diferentes campos que se forman cuando una onda sonora interactúa con las superficies de un recinto. El área más cercana a la fuente es el campo próximo o cercano. En el campo cercano no existe una relación matemática entre presión e intensidad debido a que esta relación depende de la fuente emisora, su forma, intensidad y directividad.

Seguido al campo próximo o cercano se encuentra el campo lejano en el cual, dependiendo de la geometría del recinto, se encuentra el campo directo y el campo reverberante. En la mayoría de casos, en recintos dependiendo de la geometría y si la absorción no es excesiva, el campo reverberante puede ser perfectamente difuso (Avilés & Perera, 2017).

2.1.6. Inteligibilidad

La inteligibilidad es el fenómeno que define la claridad del mensaje oral emitido en una sala o recinto acústico tales como; salas de conferencias, teatros y aulas. Este parámetro acústico junto al tiempo de reverberación, es esencial en la determinación de la calidad de transmisión del mensaje. La inteligibilidad hace referencia a la correcta comprensión del mensaje oral por parte del receptor. Se necesita no solo un nivel de presión sonora adecuado, sino un mínimo de fidelidad respecto a la señal emitida por la fuente (Carrión, 1998).

2.2. Materiales absorbentes

Hay muchas variables en un material absorbente que pueden hacer de este mejor o peor para distintas situaciones o para el objetivo que se tiene al acondicionar un recinto.

Los materiales absorbentes generalmente son utilizados para:

- Obtener tiempos de reverberación adecuados en función de la actividad para la que será destinado el recinto a acondicionar.
- Prevenir de ecos.
- Reducir el nivel de campo reverberante.

Estos materiales presentan diferentes canales a través de los cuales la onda sonora puede penetrar. La energía se disipa en forma de calor cuando la onda entra en contacto con los límites de los canales nombrados, mayor el número de canales mayor absorción producida.

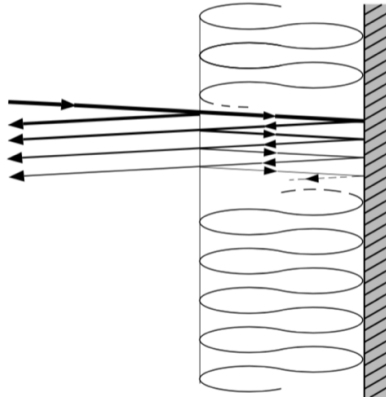


Figura 3. Disipación de energía en material poroso homogéneo, delante de una pared rígida.

Tomado de Carrión, 1998, p. 76

Hay factores relevantes en el proceso de absorción que deben ser tomados en cuenta:

- La porosidad se produce por las irregularidades en el material.

- La presencia de irregularidades en la superficie externa que puede dar ciertos efectos de difracción de la onda sonora incidente.
- El material puede presentar conductividad térmica entre las fibras y el aire.
- La viscosidad o pérdida sonora se da por el rozamiento en la estructura del material. se produce por una velocidad relativa causada por el flujo de aire en donde incide la onda sonora.

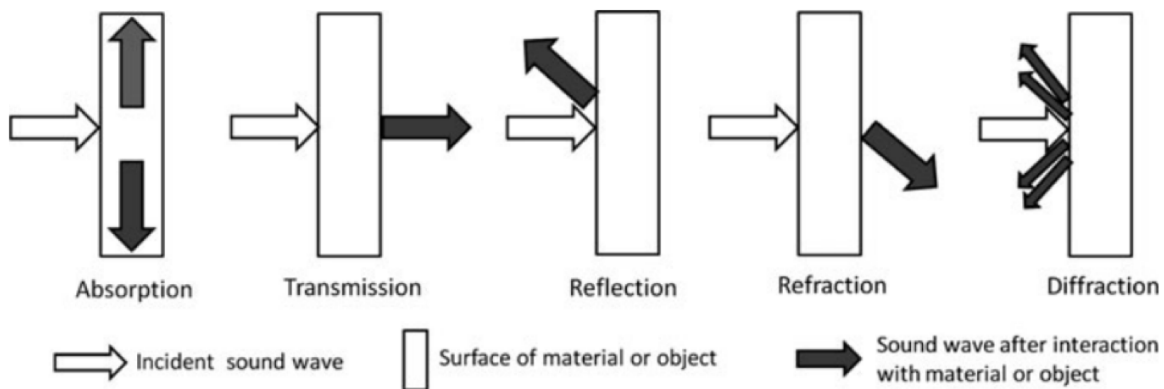


Figura 4. Interacción de la onda sonora con la superficie de un material.

Tomado de Arau, H., 1999, p.170.

2.2.1. Tipos de materiales absorbentes.

2.2.1.1. Materiales porosos

Estos materiales tienen una estructura granular o fibrosa de manera que a través de todo el espesor se forman espacios de aire incomunicados entre ellos y con el exterior. La disipación de la energía acústica se da cuando las ondas sonoras penetran el material y vibra el aire contenido dentro de los poros y, la viscosidad y rozamiento en las estructuras del material amortiguan la vibración y transforman la energía cinética en calor.

En las frecuencias altas, las pérdidas por rozamiento son más altas. Es decir, los materiales porosos son buenos absorbentes en frecuencias altas y deficientes en bajas (Avilés & Perera, 2017).

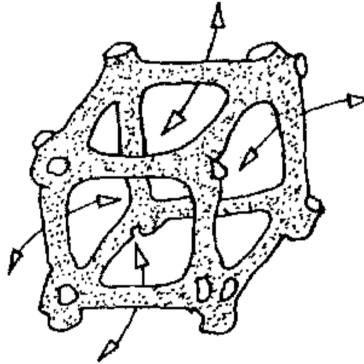


Figura 5. Material poroso.

Tomado de Llinares et al., 2008, p. 173.

Las partículas de aire que penetran el material, siguen vibrando dentro de los poros del material, estas vibraciones producen rozamientos con las paredes de estos espacios de aire (poros).

2.2.1.2. Material poroso flexible

En estos materiales porosos se produce menos rozamiento, por ende, menor pérdida por calor, ya que las paredes de los canales también estarán en vibración. En este caso se produce una pérdida de energía acústica por la transformación de esta a energía mecánica. Se estima que, a partir de cierto límite, al aumentar la densidad del material, este empieza a comportarse como material reflejante (Llinares et al., 2008).

2.2.1.3. Material poroso rígido

Su coeficiente de absorción al igual que en los porosos flexibles es bajo en frecuencias bajas. El proceso de absorción en los materiales porosos rígidos se

logra a partir de la viscosidad del aire contenido en el interior de los canales. Al producirse más rozamiento, la energía acústica se transforma en calor y por ende es eficiente como material de absorción acústica, sobre todo en frecuencias altas (Llinares et al., 2008).

2.3. Variaciones del coeficiente de absorción en materiales porosos

2.3.1. Coeficiente de absorción en función del espesor

Suponiendo que el material absorbente está en frente de una pared rígida y su espesor inicial es D , si D aumenta la absorción del material también aumenta, y el rango de frecuencias en el que actúa tiende a crecer, es decir se vuelve eficiente en frecuencias medias y medias bajas.

Se debe tener en cuenta que la absorción es baja en frecuencias para las que el espesor del material es menor a la longitud de onda λ del sonido emitido por la fuente. En la figura 6 muestra la evolución de la velocidad de las partículas.

El hecho de que la pared sea rígida hace que la onda no atraviese el material absorbente lo que provoca que las partículas de aire dentro de los canales del material tengan una velocidad “ u ” nula. Cuando la velocidad en los puntos del material absorbente es tan baja, la fricción de las partículas de aire con las paredes del material es deficiente. Esa reducida fricción provoca que la transformación de la energía sonora en energía calorífica sea mínima.

La velocidad tiende a cero mientras la longitud de onda de las frecuencias componentes del espectro incidente sea mayor al espesor del material, es decir:

$$D \ll \lambda$$

(Ecuación 4)

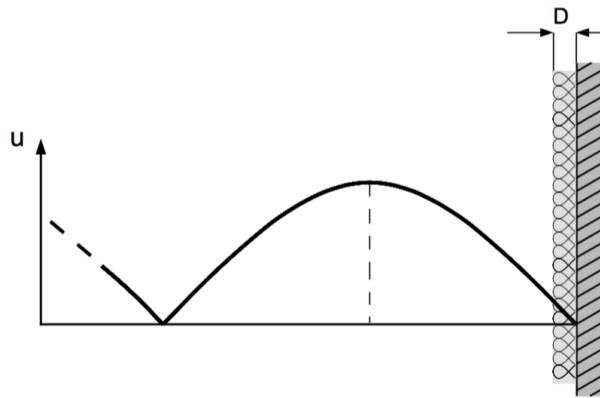


Figura 6. Evolución de la amplitud de la velocidad "u" de las partículas de aire en función de la distancia con la pared rígida.

Tomado de Carrión ,1998, p 78.

Consecuentemente, si la frecuencia aumenta, la longitud de onda disminuye. Si, λ tiende a ser igual o menor al espesor "D" del material, la velocidad "u" dentro de los canales del material absorbente irá aumentando y la energía sonora transformada a energía calorífica también, y consecuentemente su absorción.

Por otro lado, hay una variación de la velocidad de las partículas de aire en función de la distancia desde que empieza el material absorbente a la pared rígida. Esta variación se presentará en frecuencias en que $\lambda/4$ sea igual a "D" (Carrión, 1998).

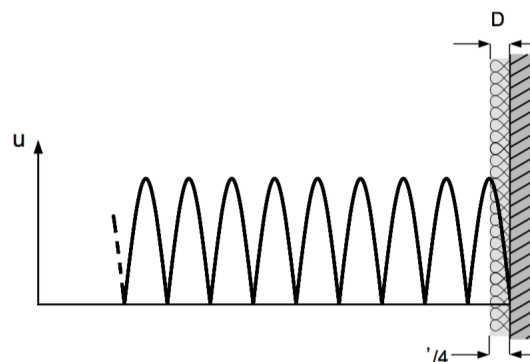


Figura 7. Velocidad "u" de las partículas de aire en función de la distancia a la pared rígida y $\lambda/4$.

Tomada de Carrión, 1998, p. 79.

El efecto del incremento del espesor en un material absorbente sonoro se muestra en la figura 8. Si el espesor del material es pequeño, la absorción para frecuencias bajas y medias es baja. Si el espesor es incrementado, la absorción aumenta para longitudes de onda más altas, es decir para frecuencias inferiores.

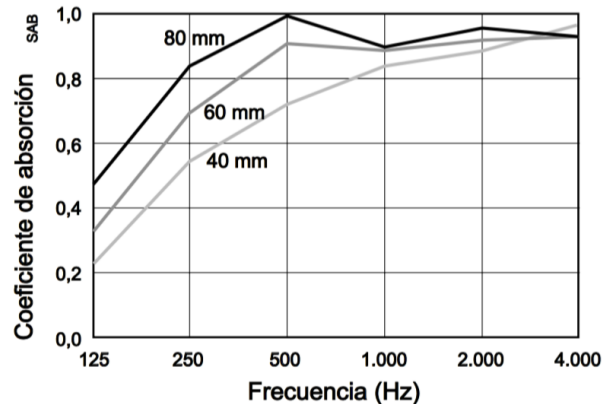


Figura 8. Variación de la absorción sonora en función a la frecuencia para diferentes espesores de un material absorbente hecho a base de lana de vidrio. Tomado de Carrión, 1998, p. 79.

El aumento de la absorción por el incremento del espesor también puede ser justificado teniendo en cuenta que el camino recorrido por la onda dentro del material con más espesor es mayor.

2.4. Métodos de obtención de coeficiente de absorción sonora.

Hay 3 métodos disponibles para realizar las mediciones del coeficiente de absorción.

- Cámara reverberante.
- Tubo de impedancia.
- Campo libre, cámara anecoica.

2.4.1. Cámara reverberante.

El método de cámara reverberante utiliza la norma UNE-EN ISO 354:2004, “Procedimiento para determinar el coeficiente de absorción sonora en campo difuso”. Esta norma tiene 2 métodos de medición de la absorción acústica en campo reverberante, uno de los métodos utiliza una fuente con señal de ruido interrumpido y el segundo una señal de ruido impulsivo.

Para el método de señal de ruido interrumpido se utiliza ruido rosa emitido por una fuente omnidireccional, con esta señal se mide la curva de decaimiento del ruido. Y, para el método de ruido impulsivo, se utiliza como fuente un ruido impulsivo; un disparo o una explosión de un globo, en distintas partes de la sala de forma que todo el rango de frecuencias sean excitadas.

Se mide el tiempo de reverberación, primero con el material ubicado en el recinto y después sin el material. Vale la pena destacar que el sonido incide aleatoriamente. Con los valores obtenidos, a partir de la ecuación del tiempo de reverberación de Sabine se obtiene el área de absorción y con ese valor el coeficiente de absorción del material (Alba, Del Rey, Arrébola, Berto, & Hervás, 2012).

$$T = \frac{0,161V}{A}$$

(Ecuación 5)

Donde:

TR=Tiempo de reverberación

V=Volumen de la sala

A=Absorción total de la sala

2.4.2. Tubo de impedancia

Para la normalización de procesos, obtención y manejo de resultados se utiliza la norma UNE-EN ISO 10534-2. Se obtienen los valores de coeficiente de absorción en función a la frecuencia, mediante un tubo el cual está conectado en un extremo a un parlante por donde se reproducen señales de ruido, y, en el otro extremo se encuentra la muestra objeto de evaluación. Dentro se forman ondas estacionarias y el nivel de las mismas es captada por dos micrófonos, el primero capta la señal que emite el altavoz y el segundo la señal reflejada.

En el tubo se generan máximos y mínimos de presión, en las frecuencias que están por debajo de la frecuencia de corte:

$$T = \frac{0,161V}{A}$$

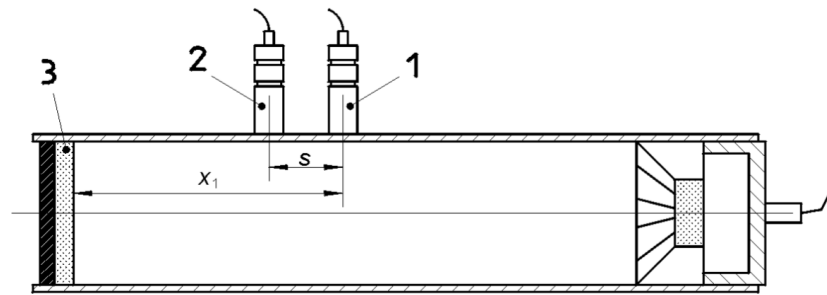
(Ecuación 6)

Donde:

c=velocidad del sonido

d= diámetro del tubo en metros

Para el método del tubo de impedancia hay problemas para evaluar y obtener resultados certeros en frecuencias bajas, esto sucede por el diámetro del tubo.



Leyenda

- 1 Micrófono A
- 2 Micrófono B
- 3 Muestra en ensayo

Figura 9. Posiciones de micrófonos y distancias.

Tomado de Normativa UNE-EN ISO 10534-2, p. 10.

2.4.2.1. Norma UNE-EN ISO 10534-2

Esta norma lleva el nombre de “Determinación del coeficiente de absorción acústica y de la impedancia acústica”. La norma describe el método de ensayo mediante el uso del tubo de impedancia. El tubo de impedancias utiliza dos micrófonos, que captan simultáneamente la señal enviada por el software ACUPRO. Así se calcula una FFT que determina la función de transferencia acústica compleja de la señal.

2.4.2.2. Software ACUPRO

Es un sistema informático desarrollado por Spectronics ACUPRO, utiliza normas internacionales como la UNE-EN ISO 10534-2 y ASTM E-1050-98 con las cuales se dan especificaciones e instrucciones para obtener la impedancia y absorción de materiales utilizando el tubo de impedancia. El software dispone de dos posibles mediciones con las correspondientes configuraciones del hardware (tubo de impedancia), con dos micrófonos y con cuatro micrófonos; para el coeficiente de absorción y la pérdida de transmisión, respectivamente. Su interfaz virtual cuenta con

un primer bloque que sirve para hacer una corrección de fase y para configurar la amplitud de los micrófonos. Un segundo bloque que permite la obtención de la medida de absorción, coeficientes de reflexión compleja y admitancia compleja. Y, el tercero dedicado a la medición de la pérdida de transmisión sonora.

2.4.3. Campo libre, cámara anecoica.

El método de la cámara anecoica, se basa en la medición de la respuesta al impulso acústico en la superficie de un material. A través de un solo micrófono se registra la respuesta acústica de una señal de secuencia máxima, reproducida por un altavoz en la superficie de un material (Ordóñez & Vélez, 2014).

Obtenidos los valores de niveles de presión en cada frecuencia, y, por medio de procesamiento digital, utilizando la transformada de Fourier, se obtiene los coeficientes de absorción acústica de la superficie que se está evaluando.

Las mediciones deben ser realizadas en un campo libre de reflexiones que provengan de cualquier superficie que no sea la superficie evaluada. Este método de medición está basado en la norma ISO 13472-1, "Measurement of sound absorption properties of road surfaces in situ". Para determinar el coeficiente de absorción sonora con este método se utiliza la siguiente ecuación:

$$\alpha = 1 - |R|^2$$

(Ecuación 7)

Donde:

α = *Coficiente de absorción acústica*

R = *Factor de reflexión*

2.5. Fibras vegetales

Son de origen vegetal o animal, son hiladas para obtener materia prima como; algodón, cáñamo, lino (fibras vegetales) y lana y cuero (fibras animales). Las fibras vegetales más comunes son hilos o algún tipo de hebra. Estos materiales son usualmente destinados al uso textil.

Las fibras naturales como, el bagazo de la caña de azúcar y del tallo del maíz, la tusa de maíz, cascarilla de arroz, hilos provenientes del tronco y hojas del plátano y la cáscara del banano, penco, cabuya y totora, son residuos potenciales para producir materiales para construcción sustentables. Su uso está ligado a la utilización de aglutinantes como yeso o barro para aumentar su densidad y propiedades de aislamiento.

2.5.1. Cacao

Su nombre científico es *Theobroma cacao*, en griego significa “alimento de los dioses”. Es una planta de hoja perenne de la familia Malvaceae, considerada uno de los principales productos en América Latina. La producción de cacao en el Ecuador está localizada en 23 de sus 24 provincias y se produce como cultivo solo o cultivo asociado junto a otras especies. La producción de semielaborados se encarga de la elaboración de productos intermedios como (manteca, pasta, licor, polvo) y son destinados al mercado externo. Estos productos son destinados principalmente a la exportación y es dominada por grandes empresas, entre las que se encuentran, Nestlé, Cafiesa, Infelersa, Ecuacocoa y Ferrero.

Los granos de cacao están cubiertos por una cáscara gruesa conformada por una parte blanda y una parte dura, similar a una corteza tierna (Secretaría Técnica del Comité Interinstitucional para el Cambio de la Matriz Productiva- Vicepresidencia del Ecuador, 2014).



Figura 10. Corteza de cacao.

2.6. Materiales aglutinantes

2.6.1. Resinas compuestas

Son combinaciones tridimensionales, tienen por lo menos 2 materiales químicamente diferentes, con una interface distinta, obteniendo propiedades superiores a las que presentan sus constituyentes de manera individual.

Comúnmente se encuentran en estado líquido y para que se transformen en sólido se produce una reacción química con un catalizador.

2.6.1.1. Resina de Poliéster.

Es un compuesto de mediana reactividad y mediana viscosidad. Se activa y convierte a sólido rígido añadiendo dos componentes. Un catalizador y un acelerador. La cantidad de los dos componentes es considerablemente menor a la cantidad de resina líquida que compone la mezcla, el catalizador debe tener una partición de 2cm^3 por kilo de resina y el acelerador 12cm^3 por kilo de resina. Junto a los componentes



Figura 11. Resina de poliéster.



Figura 12. Usos de la resina.

2.6.1.2. Caucho de silicona

Compuesto de alta reactividad y alta viscosidad. Se presenta en estado líquido y necesita un catalizador para que pase a un estado sólido flexible, el catalizador se usa en particiones de 2cm^3 por kilo.



Figura 13. Caucho de silicona.



Figura 14. Aplicación de caucho de silicona.

3. CAPÍTULO III. METODOLOGÍA

El desarrollo de la investigación y caracterización de cada muestra de material absorbente compuesto por fibra de cacao, fue llevado a cabo con base en una metodología de investigación cuantitativa, ya que se realizaron mediciones de diferentes muestras para la posterior clasificación de su comportamiento de acuerdo al espesor y densidad.

La densidad de las muestras depende en gran medida de los diferentes aglutinantes y las proporciones que hay entre el mismo y la cáscara de cacao.

Junto al método del tiempo de reverberación, el método de medición en el tubo de impedancia es el más utilizado para este tipo de evaluaciones en materiales ya que este determina el coeficiente de absorción a partir de la impedancia superficial del material bajo incidencia normal.

Es importante realizar estas mediciones de manera normalizada para obtener valores comparables con datos obtenidos en otras investigaciones, pudiendo realizar así, comparaciones entre materiales y el desempeño de cada uno. Por esta razón para las mediciones se utiliza como base la norma UNE-EN-ISO 10534-2:

2003, “Determinación del coeficiente de absorción acústica y de la impedancia acústica en tubos de impedancia”

3.1. Componentes de las muestras

Las variables de las muestras son el espesor, la densidad y el aglutinante.

Para lograr las diferentes densidades se han utilizado distintas proporciones de los aglutinantes, los cuales fueron mezclados a distintos porcentajes con el material a evaluar (cáscara de cacao). Los dos aglutinantes utilizados, son los siguientes:

- Caucho de silicona
- Resina de poliéster.



Figura 15. Aglutinantes.

- a) Caucho de silicona.
- b) Resina de poliéster.

La relación entre el aglutinante y la cáscara de cacao se expresó mediante porcentajes, para poder analizar esta proporción respecto a su espesor y al aglutinante del que está compuesto.

Inicialmente, se realizaron análisis previos para definir cómo elaborar las muestras. En un principio el cacao solo sería mezclado con un aglutinante hecho de 2 partes iguales de cola blanca y de agua, lo cual, era perfecto para dar diferentes espesores, más no ayudaba a caracterizar las muestras con diferentes densidades. La conformación que tiene el cacao como material, con partículas rígidas y no fibrosas, hacía difícil la compresión del material, puesto que el material al no ser elástico sufría una ruptura en su estructura al querer comprimirlo.

Posteriormente se estableció que lo que daría la variación de densidad, sería los aglutinantes que se utilizarían en lugar de la cola blanca y agua. Y estos, al contar con más densidad volumétrica ocuparán el espacio entre las partículas, dándole así, más densidad a las muestras elaboradas.

3.2. Tratamiento de la cáscara de cacao

El estado correcto del cacao para elaborar las muestras es cuando esté seco, para evitar que con el tiempo y naturalmente, empiece su desintegración. Para este proceso se cortó la cáscara de cacao en pedazos pequeños, y se pusieron en un horno por 30 minutos, para luego dejarlos reposar un par de días hasta que los pedazos estén completamente secos.



Figura 16. Cáscara de cacao cortado.



Figura 17. Horno de pan utilizado para secar la cáscara de cacao.



Figura 18. Cáscara de cacao seca.

Posterior al proceso de secado del cacao, se utilizó un molino manual para cereales y granos. El disco del molino, determina el grado de trituración del grano, este se dispone de manera que, los pedazos triturados no resulten en polvo, si no, que también contenga pedazos pequeños y que el resultado sea un complemento de los dos.



Figura 19. Molino de granos utilizado para triturar el cacao.



Figura 20. Cáscara de cacao triturado.

3.3. Elaboración de muestras

Para realizar las muestras se usaron dos diferentes tipos de aglutinantes y se analizó las características acústicas de las muestras compuestas por distintas proporciones de aglutinante y de material base de cáscara de cacao.

Los nombres de las muestras son códigos que denotan sus características según se muestra en la figura 21.

$$\begin{array}{c} \text{b} \\ \text{1A90E25} \\ \text{a} \qquad \qquad \text{c} \end{array}$$

- a. Aglutinante parte de la composición de la muestra.
1. Caucho de silicona.
 2. Resina de poliéster.
- b. Proporción de cacao en la muestra.
- c. Espesor de la muestra en milímetros

Figura 21. Nomenclatura muestras.

Se elaboraron diferentes muestras, las cuales están especificadas en las siguientes tablas.

Tabla 1.

Nombres de las muestras con aglutinante caucho de silicona.

Cáscara de cacao %	Caucho de silicona	Espesor 25mm	Espesor 10mm
90	10	1A90E25	1A90E10
75	25	1A75E25	1A75E10
50	50	1A50E25	1A50E10
25	75	1A25E25	1A25E10

Tabla 2.

Nombres de las muestras con aglutinante resina de poliéster.

Cáscara de cacao %	Resina de poliéster	Espesor 25mm	Espesor 10mm
90	10	2A90E25	2A90E10
75	25	2A75E25	2A75E10
50	50	2A50E25	2A50E10
25	75	2A25E25	2A25E10

Las proporciones fueron establecidas no por peso sino por volumen, es decir por el espacio ocupado por aglutinante y cáscara de cacao.

En el caso de los dos aglutinantes, su densidad volumétrica es alta en comparación a la cáscara de cacao, siendo una parte del aglutinante equivalente a tres partes de cacao. Teniendo presente este criterio, se ha podido modificar la densidad de las muestras a realizarse.

Para lograr particiones iguales se utilizaron 4 contenedores pequeños de mismo tamaño, haciendo que el contenido de cada uno de ellos represente el 25% del volumen de la muestra.



Figura 22. Contenedores para espesor 25mm y 10 mm

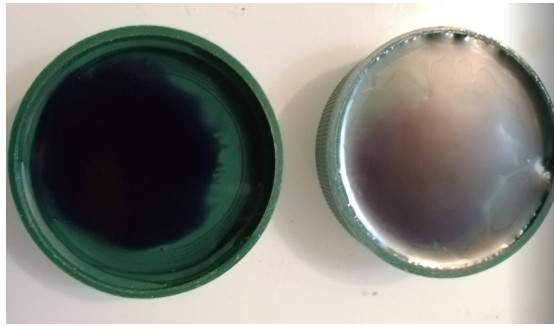


Figura 23. Aglutinante, resina de poliéster.

Usando cuatro contenedores se logró medir las particiones para cada muestra. Además, otra variable a analizar es el espesor, y para lograr que este sea menor se contaba con contenedores de la mitad de capacidad.

Las 4 particiones para obtener las muestras fueron las siguientes:

Tabla 3.

Tabla de proporciones.

Muestra de cacao al %	Cacao	Aglutinante
90%	3,9	0,1
75%	3	1
50%	2	2
25%	1	3

Para la muestra de cacao al 90% se midió con una jeringa el 15% restante.

Con las cantidades utilizadas los espesores obtenidos son 25mm y 10mm.

Se debe recordar que los dos aglutinantes utilizados tienen una estructura diferente, lo que da una característica extra a las muestras, siendo la resina de poliéster responsable de que la muestra sea rígida, a diferencia de la resina de caucho de silicona que provoca que la muestra sea un poco más flexible.

3.4. Moldes

Aglutinantes rígidos como la resina de poliéster pueden resultar muy difíciles de cortar, más aún si, tienen un espesor grande. Razón por la cual se improvisaron moldes con cortes de tubos PVC los que tenían un diámetro de 34,8 mm, el diámetro del porta muestras del tubo de impedancia.



Figura 24. Mezcla de cacao con aglutinante dentro del molde

La producción de planchas del material absorbente necesitaría otro tipo de molde y posiblemente cortes.

3.5. Desmoldado de muestra

Es importante hacer un apartado para hablar sobre el desmoldado de las muestras, ya que, al ser materiales que en un principio son líquidos, cuando se sequen estos pueden adherirse a la superficie del molde de manera definitiva.



Figura 25. Desmontaje de muestra del molde.

Una vez puestos los reactantes necesarios a la resina base, como en el caso por ejemplo del poliéster, que es complementado con un catalizador y un acelerador, da un resultado rígido y es cuestión de unos cuantos minutos para que parezca plástico duro.

El caucho de silicona es un polímero elástico por lo que su desmolde puede ser más fácil. Tratando de desmoldarlo antes de que la muestra esté completamente endurecida para que los bordes no se quiebren por su adherencia a los bordes del PVC.

Se debe tener en cuenta que las dimensiones de las muestras después de su elaboración tienen un margen de error de ± 2 mm en su espesor.

3.6. Equipo de medición

A continuación, se enumera y detalla el equipo utilizado para las mediciones y posterior análisis de las muestras.

3.6.1. Tubo de impedancia Spectronics ACUPRO 4

El tubo de impedancia que se utilizó para las mediciones del coeficiente de absorción es el que se encuentra en el laboratorio de la carrera de Ingeniería en Sonido y Acústica en la “Universidad de Las Américas”

Tabla 4.

Especificaciones tubo de impedancia ACUPRO 4

Normas base	ISO 10534-2 y ASTM E1050-98
Rango de frecuencias	50 Hz - 5700 Hz
Altavoz integrado	JBL 2426J Nivel máximo en tubo 150dB
Nivel ambiente dentro del tubo	<30 Dba
Longitud	1,20 m - 1,50 (con extensión para medición de TL), las dos longitudes incluyen el porta muestras
Diámetro exterior	41,3mm
Diámetro interior	34,9mm
Altura	0,25 m
Peso	10,5 kg
Longitud máxima de muestra	14 cm

3.6.2. Sistema de medición Spectronics ACUPRO 4

Este sistema de medición Spectronics ACUPRO 4 permite la medición del coeficiente de absorción y el coeficiente de la pérdida de transmisión. Este software obtiene los valores por medio de los micrófonos conectados a la interfaz y

posicionados en el tubo de impedancia. La señal que reciben y registran los micrófonos es reproducida por el altavoz y la misma es enviada desde el sistema ACUPRO a la interfaz, para posteriormente ser amplificada para ser enviada con la amplitud de voltaje necesaria.

El número de micrófonos a utilizar definen el parámetro a medir. Cuando se usan dos micrófonos la configuración se establece para medir la absorción. Y, cuando se utilizan 4 micrófonos, a la configuración física del tubo de impedancia se le añade una extensión que deja una cámara de aire detrás de la muestra que se encuentra ubicada en la primera parte del tubo.

3.6.3. Altavoz JBL 2426J

- Es el encargado de generar una onda estacionaria dentro del tubo.
- El altavoz está aislado mecánicamente para que no tenga vibraciones estructurales.

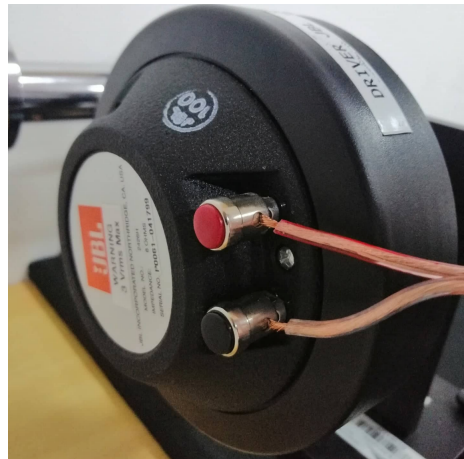


Figura 26. Altavoz JBL 2426J

3.6.4. Micrófonos G.R.A.S.

- El sistema de medición Spectronics ACUPRO 4 utiliza micrófonos de presión ordinaria $\frac{1}{2}$ y $\frac{1}{4}$ de pulgada.
- El software ACUPRO y su modo de calibración evita la implementación de micrófonos especiales de corrección de fase.



Figura 27. Micrófonos G.R.A.S

3.6.5. Interfaz Data Translation 9837

- La interfaz cuenta con cuatro canales de entrada para la conversión y correspondiente registro de datos. Un canal de salida para el envío de la señal desde el computador a través del sistema de medición y su reproducción en el altavoz JBL.
- La interfaz se conecta al computador por USB B y está totalmente integrada con el software del sistema de medición, ACUPRO.

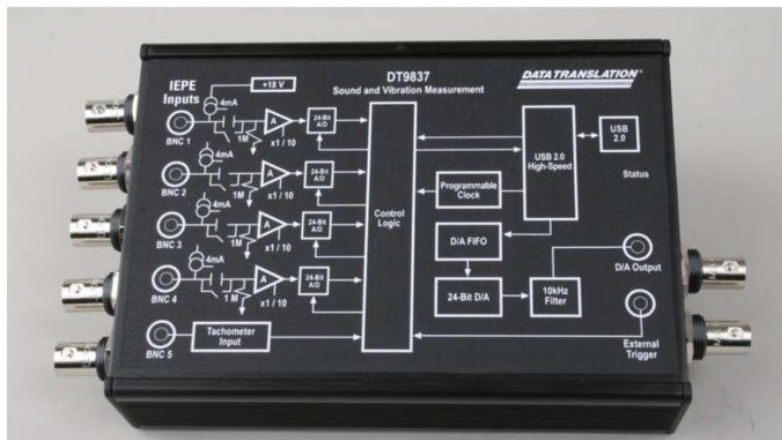


Figura 28. Interfaz Data Translation 9837.



Figura 29. Cable USB B

3.6.6. ACUPRO Software

El software ACUPRO 4 sirve para obtener datos como:

- Coeficiente de absorción
- Pérdida de transmisión.
- Coeficiente de reflexión compleja
- Admitancia compleja de materiales

Además, entrega los gráficos de los valores medidos en función a la frecuencia.

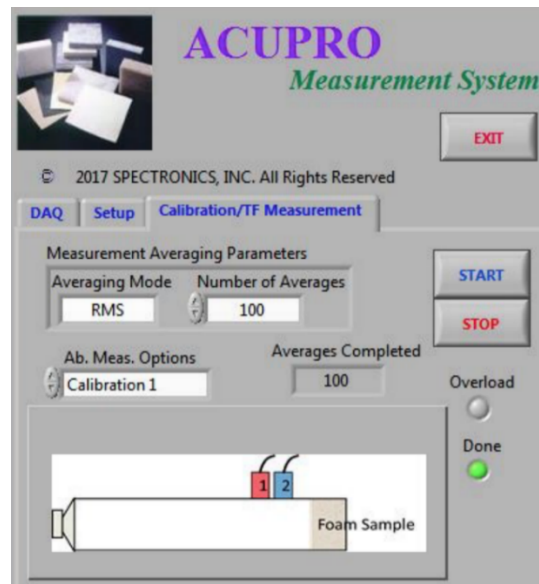


Figura 30. Interfaz ACUPRO, sección calibración.

3.7. Conexiones

La conexión para el correcto y óptimo funcionamiento del sistema incluye el equipamiento nombrado anteriormente, y la configuración establecida en la figura 31.

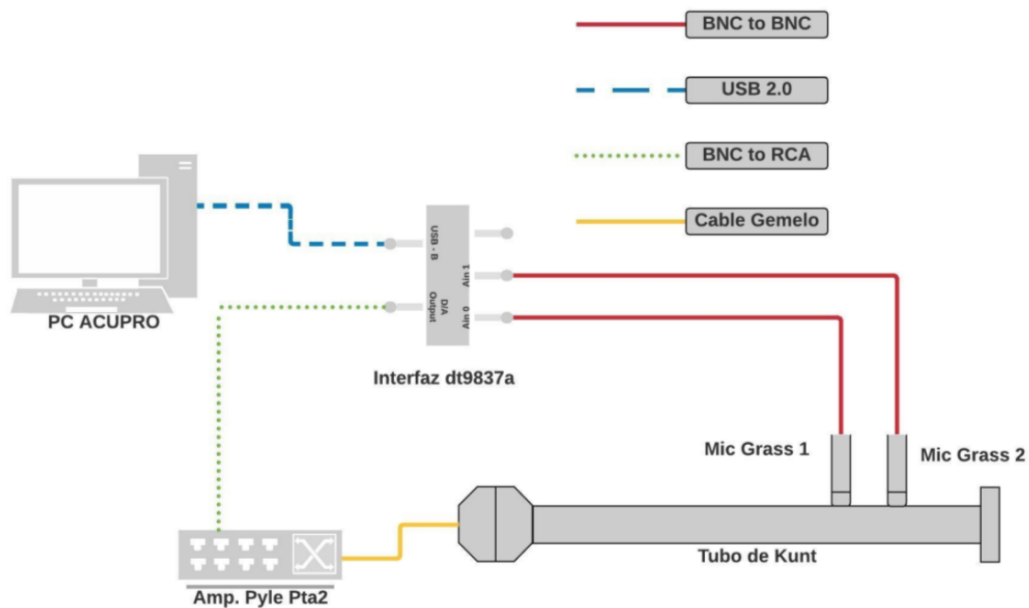


Figura 31. Cadena de conexión de sistema de medición.

3.8. Montaje de equipamiento

- Los micrófonos 1 y 2 se conectaron a la interfaz DT9837A con cable BNC en las entradas Ain 0 y Ain 1 respectivamente. (La posición del micrófono 1 en el tubo de impedancia es la más cercana al altavoz)
- El micrófono debe ser montado con su diafragma coincidiendo con la superficie interior del tubo.

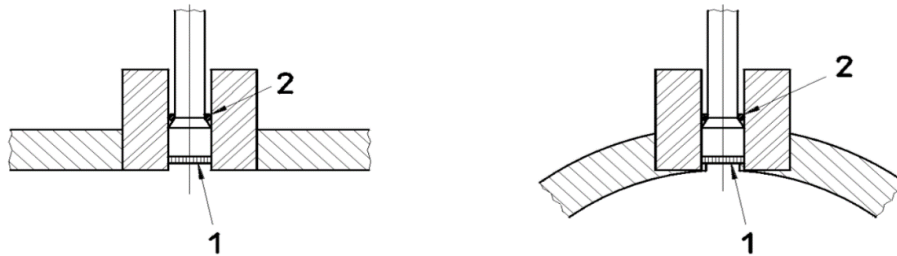


Figura 32. Montaje correcto micrófonos.

- La salida D/A de la interfaz es la que envía la señal al altavoz con un voltaje aproximado a 100mV. Previamente la señal fue llevada al amplificador de potencia Pyle Pta2, mediante un cable BNC-RCA, para proporcionar la intensidad necesaria para las pruebas acústicas. Es importante recomendar que la señal amplificada no debe sobrepasar los 3V. Se aconseja utilizar un multímetro para comprobarlo.
- Se conecta un cable gemelo en las salidas positiva y negativa del amplificador Pyle Pta2 a las entradas positivas y negativas del altavoz JBL del tubo de impedancia.
- Para la interpretación de los datos de las mediciones en el software ACUPRO, se conecta la interfaz DT9837A al ordenador con el programa instalado mediante cable USB.

3.9. Montaje de muestras

Como se comentó en el apartado 3.4, las muestras se realizaron en moldes de las dimensiones necesarias para que pueda ser introducida en el porta muestras sin problema.

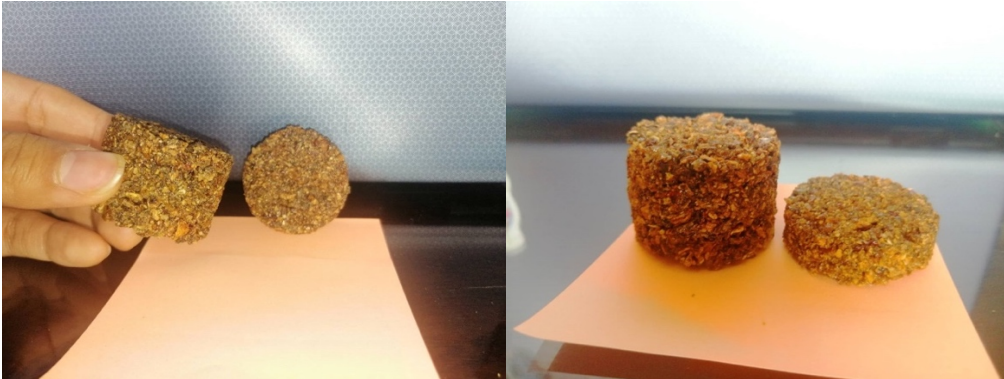


Figura 33. Muestras con distintas dimensiones.

La norma ISO 10534-2 establece que las muestras de ensayo deben ajustarse bien al porta muestras, evitando su compresión exagerada que provoque la pérdida de su forma original o bien que no cubra las dimensiones del soporte de muestras.

En el caso de que las muestras dejen un espacio de aire entre el tubo, la muestra deberá ser rodeada por cinta o por silicona para evitar su inestabilidad. Este es el caso de muestras con materiales rígidos que no se acoplan a las superficies del tubo.

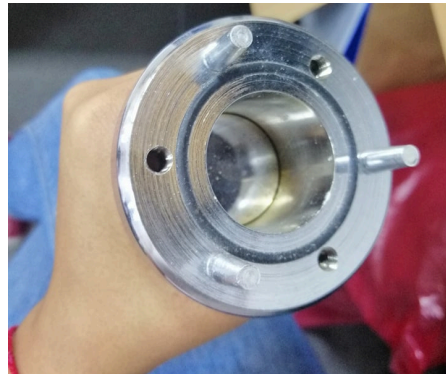


Figura 34. Porta muestras o soporte para muestras.

Además de las medidas correctas de las muestras se debe tomar en cuenta el lado de la muestra que está siendo medido. En el caso de las muestras a evaluar el lado del que sea medido no causa una diferencia de resultados. Sin embargo, para futuros estudios en los cuales se combinan materiales por capas, las propiedades podrían diferir dependiendo del lado evaluado.



Figura 35. Muestra colocada correctamente en el soporte de muestra.

El porta muestras posee un pistón en su parte trasera para ajustar el espesor del material a la cavidad del soporte y no tener espacios de aire perpendiculares al material. La muestra debe encontrarse al ras del borde del porta muestras, como se muestra en la figura 35. Ubicada la muestra se procedió a colocar el soporte de las

muestras en el tubo de impedancias y ajustarlo con los tornillos hasta que quede sujeto.

3.10. Proceso de medición

En el software hay varias pestañas por ajustar y que deben ser establecidas correctamente para la obtención de datos. En algunas de las pestañas encontramos varios valores que vienen establecidos por default en el programa.

3.10.1. Configuración del DAQ

En el DAQ (Data Acquisition) se debe establecer el tipo de micrófono y en el caso de esta investigación se utilizaron los micrófonos pre-polarizados GRASS, por lo que se debe seleccionar IEPE que hace referencia a micrófonos integrados piezoeléctricos. En el input channel se deben elegir, Ain 0:1 para el uso de los dos micrófonos (configuración utilizada para las mediciones del coeficiente de absorción). Según la norma el rango de voltaje a utilizar es +/- 1 ó +/- 2.

El resto de parámetros en la pestaña del DAQ, como el tipo de onda (ruido blanco) o la amplitud de salida por el D/A de la interfaz DT9837A (alrededor de 2,5 V) no pueden ser alterados.

3.10.2. Configuración del Setup

Al llegar a la pestaña del Setup en el parámetro "Analysis Freq" el valor a establecer para la investigación es de 6000. Asimismo en el parámetro del número de líneas se escogió un valor de 320, valor adecuado para obtener una correcta frecuencia de resolución.

3.10.3. Configuración Calibration / TF Measurement

Por último, se deben calibrar los parámetros de la pestaña Calibration / TF Measurement, el valor de “Number of Averages” o número de promedio, parámetro que es posible editar por el usuario. La cantidad de promedios a utilizar es 100.

3.10.4. Calibración de fase de los micrófonos

El primer paso antes de las mediciones del coeficiente de absorción es la calibración de las fases de los micrófonos que pueden ser causantes de errores en los resultados de las mediciones de las propiedades del material de estudio.

En el porta muestras se inserta el material contenido en el paquete del sistema ACUPRO, muestra recomendada por la norma para las calibraciones previas a las mediciones. La muestra del material tiene 25mm de espesor y 34,9mm de diámetro.

Las muestras colocadas dentro del soporte se deben ajustar de tal manera que no estén exageradamente apretadas o que queden espacios de aire en los bordes. Ya colocado el material se debe ajustar con los tornillos el soporte de la muestra al tubo de impedancia.



Figura 36. Soporte de muestras colocado en el tubo de impedancia.

Asimismo, como se menciona en el apartado 3.9 hay que evitar que se forme una cámara de aire en la parte trasera de la muestra. Esto se evita moviendo el pistón que se encuentra en el porta muestras hasta el límite de la muestra.

Para la calibración debe estar conectado todo el sistema del tubo de impedancia y los periféricos antes mencionados en el apartado 3.6. para el envío y transporte correcto de la señal.

Seguidamente en la pestaña de Calibration / TF Measurement se selecciona la opción “Calibration 1” en el menú desplegable “Abs. Meas. Options”. La calibración se divide en dos; “Calibration 1” y “Calibration 2”.

Para la calibración 1, se montó el micrófono conectado a la salida Ain 0, en el tubo de impedancia es la posición más cercana al altavoz. En el parámetro “Number Averages” se ingresó el valor de 100 promedios. Al presionar “START”, se esperó los resultados y gráficas generadas al finalizar el promedio total. Se obtuvieron los valores mostrados en la figura 37. Para la calibración se utiliza una muestra suministrada por Spectronics y debe ser montada como se indica en el apartado 3.9.

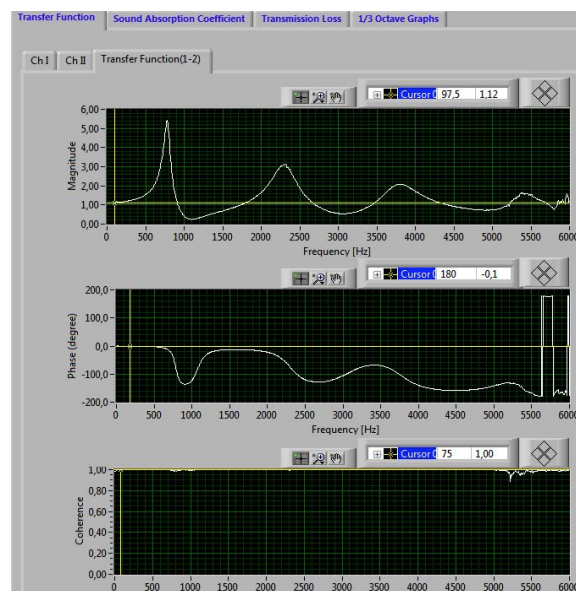


Figura 37. Gráfica de función de transferencia, calibración 1.

Al terminar la calibración se despliega una ventana donde se acepta reemplazar el archivo que se encuentra en la carpeta `c:/ACUPRO_testing` con el nombre "Cal1.dat". Si la gráfica de coherencia se mantiene relativamente encima o alrededor de 0,9 en el rango de frecuencias de 50Hz 5700Hz, se presiona "OK". Caso contrario "CANCEL" y se procede a realizar la calibración de nuevo, solucionando los posibles problemas que generan esa baja coherencia, mala posición de la muestra o de micrófonos.



Figura 38. Soportes de micrófonos.

Para la "Calibration 2" se debe intercambiar la posición de los micrófonos, en la figura 38 se muestran los soportes de los micrófonos, se deben intercambiar los micrófonos al soporte. Es importante recalcar que lo que se debe intercambiar es la posición de los micrófonos nunca las conexiones de los cables a la interfaz. En el menú desplegable se selecciona "Calibration 2" y se repite el proceso anterior con el archivo "Cal2.dat".

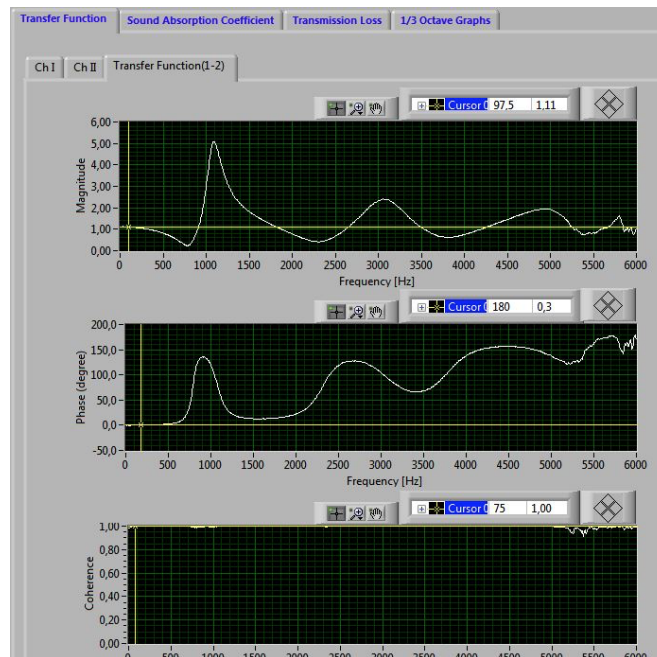


Figura 39. Gráfica de función de transferencia, calibración 2.

Es bastante evidente que en las dos calibraciones se obtienen fases contrarias, y ese es un indicador de que la calibración se realizó correctamente.

Además, es importante mencionar, si algún parámetro de la pestaña Set up pretende ser cambiado, se debe repetir el proceso de calibración de micrófonos.

3.10.5. Proceso de medición de coeficientes de absorción

Para las mediciones y obtención de coeficientes de absorción se debe realizar la calibración especificada en el apartado 3.10. La posición de los micrófonos debe volver a la posición inicial con el micrófono conectado a la salida Ain 0 de la interfaz en la posición más cercana al altavoz en el tubo de impedancias (posición estándar).

Con el tubo de impedancias en las condiciones indicadas a lo largo del proceso de montaje, la muestra y porta muestras montada al final del tubo y posterior a todos

los procesos previos, se procedió al cálculo del coeficiente de absorción sonora del material bajo prueba.

A continuación, en el menú desplegable de “Abs. Meas. Options” se selecciona la opción “Absorption Sample” y se presiona “START” en la pestaña de “Calibration/TF Measurement”. En ese momento el driver empieza a emitir una señal y se comienza a registrar el número de promedios establecidos. Al detenerse el driver, se presiona el botón “CALCULATE”, el cual genera las gráficas y los valores que pueden ser grabados por el usuario.

Se repitió el proceso de la obtención del coeficiente de absorción 5 veces en cada muestra, para tener un valor promedio final y realizar cálculos que muestren la desviación que puede haber en cada medición.

Tabla 5.

Mediciones coeficientes de absorción, muestra 1A90E25.

Caucho de silicona 90% cacao 25mm							
Freq	Medición 1	Medición 2	Medición 3	Medición 4	Medición 5	Desviación estándar	Promedio
100	0,275	0,112	0,098	0,066	0,348	0,111	0,180
125	0,074	0,072	0,100	0,099	0,285	0,080	0,126
160	0,094	0,067	0,125	0,111	0,143	0,026	0,108
200	0,108	0,116	0,111	0,133	0,115	0,009	0,117
250	0,125	0,093	0,124	0,137	0,130	0,015	0,122
315	0,152	0,127	0,134	0,141	0,133	0,008	0,137
400	0,160	0,153	0,160	0,162	0,158	0,003	0,159
500	0,193	0,189	0,191	0,196	0,189	0,003	0,192
630	0,269	0,270	0,270	0,270	0,271	0,001	0,270
800	0,406	0,405	0,405	0,407	0,406	0,001	0,406

1000	0,650	0,650	0,649	0,650	0,650	0,000	0,650
1250	0,668	0,666	0,663	0,664	0,664	0,002	0,665
1600	0,429	0,428	0,426	0,425	0,425	0,002	0,427
2000	0,296	0,297	0,297	0,296	0,297	0,000	0,296
2500	0,293	0,295	0,295	0,295	0,296	0,001	0,295
3150	0,408	0,408	0,408	0,408	0,409	0,000	0,408
4000	0,525	0,524	0,522	0,523	0,522	0,001	0,523
5000	0,500	0,497	0,501	0,510	0,513	0,006	0,504

Después de los cálculos mencionados se realizaron gráficas de cada muestra con sus promedios y su correspondiente desviación. Al igual que comparaciones entre espesores densidades y aglutinantes. Algunos de los gráficos se mostrarán en el apartado de resultado y análisis y otros en los anexos como material de apoyo.

El análisis que se realizó en el siguiente apartado es con base a las distintas variables de las muestras, como son; espesor, aglutinante y densidad. Se tiene dos espesores, dos aglutinantes y cuatro diferentes proporciones entre aglutinante y material base. Las proporciones ya nombradas son las que definen la densidad de la muestra. Y, para poder realizar los cálculos de densidad se necesita saber valores constantes en las muestras como su volumen, que en el caso de las muestras de 25mm su volumen es de $23,7 \times 10^{-6} (\text{m}^3)$ y en la de 10mm es $9,51 \times 10^{-6} (\text{m}^3)$

Las densidades con las que se realizarán los análisis de las muestras se muestran en las siguientes tablas.

Tabla 6.

Densidades, muestras compuestas de caucho de silicona, distintas proporciones.

Caucho de silicona 25mm		
Proporción cacao	Peso (kg)	Densidad (kg/m ³)
90%	0,017	717,3
75%	0,023	970,5
50%	0,026	1097,0
25%	0,029	1223,6

Caucho de silicona 10mm		
Proporción cacao	Peso (kg)	Densidad (kg/m ³)
90%	0,008	841,1
75%	0,009	946,3
50%	0,013	1366,8
25%	0,015	1577,1

Tabla 7.

Densidades de muestras compuestas con resina de poliéster, distintas proporciones.

Resina de poliéster 25mm		
Proporción cacao	Peso (kg)	Densidad (kg/m ³)
90%	0,016	675,1
75%	0,02	843,9

50%	0,024	1012,7
25%	0,028	1181,4

Resina de poliéster 10mm		
Proporción cacao	Peso (kg)	Densidad (kg/m ³)
90%	0,007	736,0
75%	0,009	946,3
50%	0,011	1156,6
25%	0,013	1366,8

4. CAPÍTULO IV. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En el capítulo cuatro se analizan los datos obtenidos durante las mediciones hechas mediante el procedimiento detallado en el capítulo anterior.

Los resultados de los cálculos del coeficiente de absorción, en primer lugar, mostraron desviaciones en frecuencias bajas. Entre las 5 mediciones por muestra, el rango de frecuencias donde se encuentran desviaciones es desde 100Hz a 315Hz, como se muestra en la figura 40. Lo que puede ser explicado con varios factores tanto de condiciones del laboratorio e incluso condiciones del tubo de impedancia.

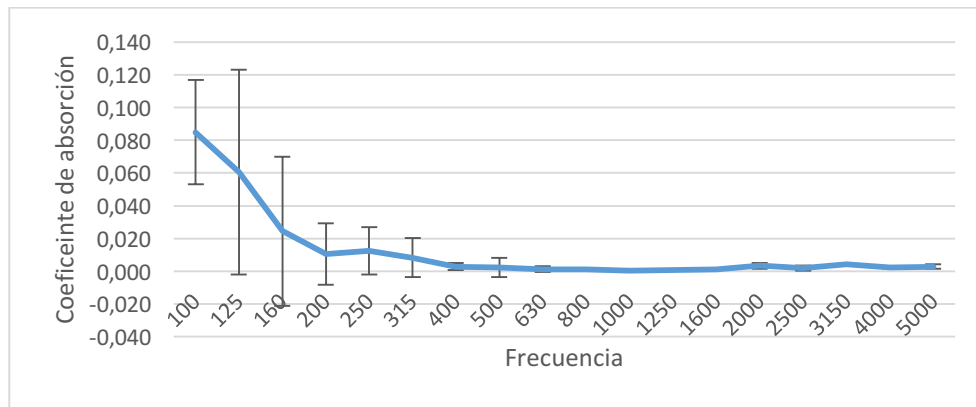


Figura 40. Desviación promedio del coeficiente de absorción en cada frecuencia.

Los resultados del coeficiente de absorción tienen una desviación mayor en frecuencias bajas esto se ve claramente reflejado en la figura 40. Visto a que el laboratorio de acústica de la Universidad de Las Américas está ubicado en el subsuelo junto al parqueadero, eventualmente se sienten las vibraciones y sonidos en bajas frecuencias dentro del laboratorio, lo que puede ser una explicación para las desviaciones. También, las dimensiones del tubo de impedancia puede ser un factor relevante, al tener medidas muy pequeñas los valores obtenidos en frecuencias bajas no son muy exactos ya que su longitud de onda sobrepasa las dimensiones del tubo.

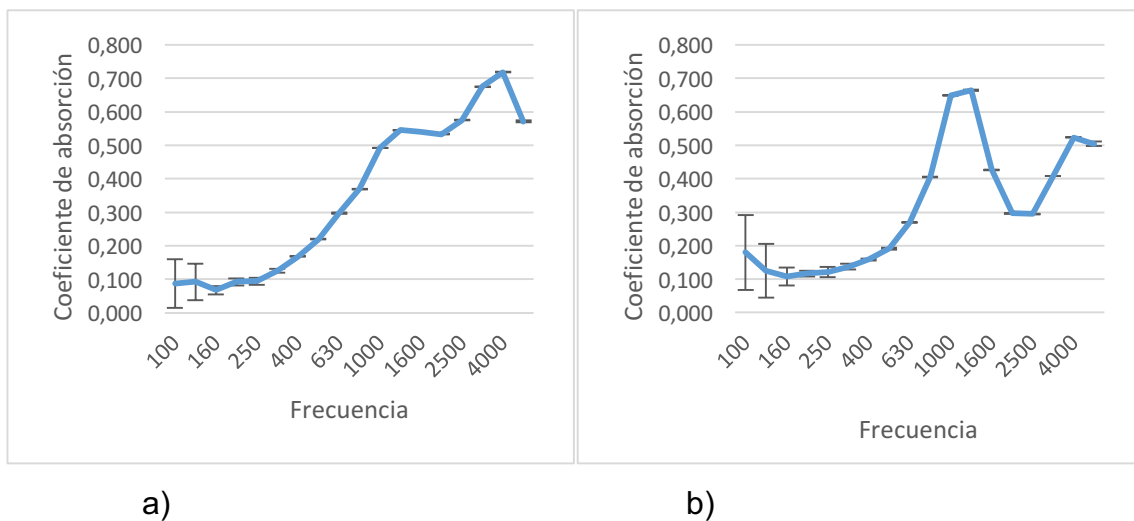


Figura 41. Desviación en coeficiente de absorción en función a la frecuencia de cada muestra.

a) Muestra compuesta con resina de poliéster al 90 % de cacao de 25mm.

b) Muestra compuesta con caucho de silicona al 90 % de cacao de 25mm.

En la figura 41 se presenta la desviación de las muestras que cuentan con mayor cantidad de cáscara de cacao. En los resultados presentados en las gráficas por simple inspección podemos observar que el material tiene mayor absorción en altas frecuencias. Desde los 630Hz los valores de coeficiente de absorción tienden a aumentar y si el espesor disminuye la curva del coeficiente de absorción evoluciona, desplazándose hacia frecuencias más altas, disminuyendo la amplitud de frecuencias en las que actúa y el nivel de absorción que tiene en cada rango.

También en la figura 41 las muestras presentadas son las que tienen mejor comportamiento del coeficiente de absorción con respecto a la frecuencia. A primera vista y por los valores arrojados por el ACUPRO se puede decir que las muestras con mayor proporción de cacao y mayor espesor tienen coeficientes de absorción más altos. Los comportamientos de la curva en las muestras con menor proporción de cacao se muestran en los anexos y en los siguientes apartados donde se hacen comparaciones entre el comportamiento del coeficiente de absorción en función a la frecuencia de cada muestra.

Es importante recalcar que la densidad, en el caso de las muestras de esta investigación, es la que define la porosidad del material, por simple observación se llega a la conclusión que mientras la proporción de aglutinante aumenta, los espacios de aire o canales del material son ocupados por el mismo como se muestra en la figura 42.



Figura 42. Muestras compuestas por caucho de silicona, al porcentaje 90% cacao 10% aglutinante y 50% cacao 50% aglutinante.

A partir del análisis previo de los coeficientes de absorción y su comportamiento en frecuencia, se realizaron diferentes comparaciones del material absorbente acústico, respecto a las características; espesor, densidad y aglutinante. Resulta difícil e incompleto realizar las comparaciones sin relacionar una característica con otra. En los siguientes apartados se presentan las comparaciones realizadas.

4.1. Comparación de diferentes densidades con el mismo aglutinante y espesor.

En la figura 43 se presentan las muestras con distinta proporción de aglutinante y de cacao, cada curva representa una de las proporciones en una muestra compuesta por un mismo aglutinante y con un mismo espesor. Por ejemplo, en el gráfico (b) de la figura se puede ver el comportamiento de la curva de las 4 distintas proporciones; al 90%, 75%, 50% y 25% de cacao, en una muestra compuesta por caucho de silicona en un espesor de 10mm.

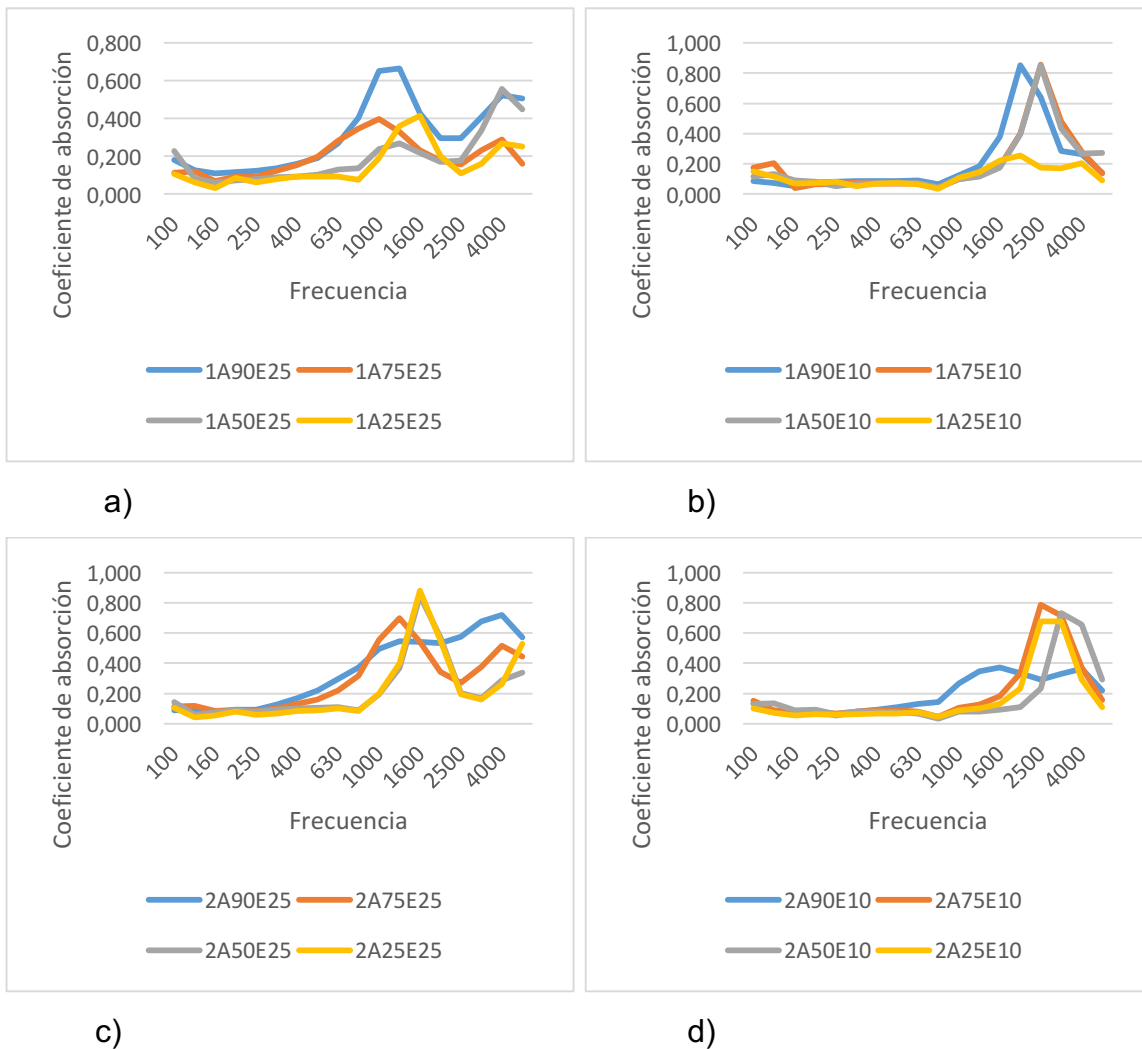


Figura 43. Curvas de coeficientes de absorción entre muestras con distintas proporciones.

a) Silicona 25mm.

b) Silicona 10mm.

c) Resina de poliéster 25mm.

d) Resina de poliéster 10mm.

Las muestras con mejor comportamiento frecuencial con respecto a la proporción (se recuerda que la proporción de aglutinante define la porosidad que presenta la muestra), son las de proporciones a 90% cacao y 10% aglutinante con 25mm de espesor y compuesta con resina de poliéster (2A90E25), mantiene una respuesta relativamente más plana respecto a la frecuencia, con valores de coeficientes de

absorción por encima de 0,5 y un pico por encima de 0,7 alrededor de la frecuencia de 4000Hz.

Como se explicó en el marco teórico en el apartado 2.2.1, de materiales porosos, los materiales porosos rígidos suelen tener un coeficiente de absorción más alto con respecto a los flexibles. Ya que la energía acústica que incide en su estructura provoca que el material vibre más y que la energía acústica se transforme en calor por un mayor rozamiento

Tomando como ejemplo la muestra descrita (2A90E25), se puede observar que la curva del coeficiente de absorción se vuelve más angosta mientras las proporciones de aglutinante van aumentando, es decir en las muestras, 2A75E25, 2A50E25, y 2A25E25.

4.2. Comparación diferentes espesores, mismo aglutinante y densidad

En este apartado se analizará como el espesor influye en el coeficiente de absorción haciendo una comparación de espesores.

A continuación, se puede observar cómo cambia la curva con los diferentes espesores a evaluar, manteniéndose constante el aglutinante y la proporción entre material base y aglutinante. En esta sección se muestran las curvas de los diferentes espesores y cómo evoluciona en el rango frecuencial de 100Hz a 5000Hz.

4.2.1. Material compuesto de cacao y caucho de silicona.

A continuación en la figura 44 se presenta una comparación entre las curvas de coeficiente de absorción entre las muestras con los dos distintos espesores. Cada curva representa uno de los espesores en una muestra compuesta por el mismo aglutinante y con las mismas proporciones cacao. Tomando como ejemplo el gráfico

(a) de la figura 44, se puede ver el comportamiento de la curva entre los dos distintos espesores, en una muestra compuesta por caucho de silicona y mismas proporciones; 90% de cacao y 10% de aglutinante.

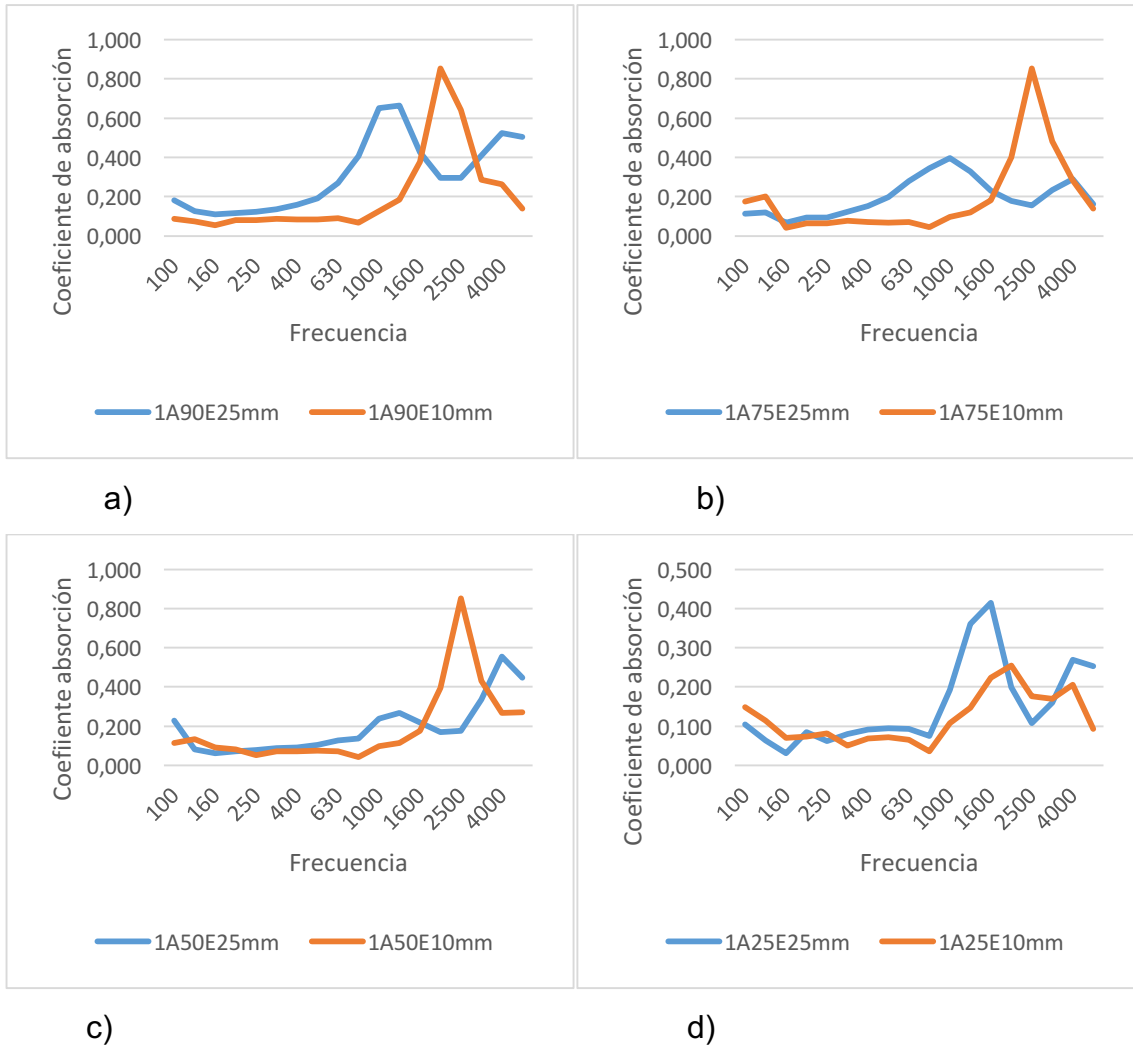


Figura 44. Comparación de coeficiente de absorción en función a la frecuencia para muestras compuestas con caucho de silicona de igual proporción de cacao y distinto espesor.

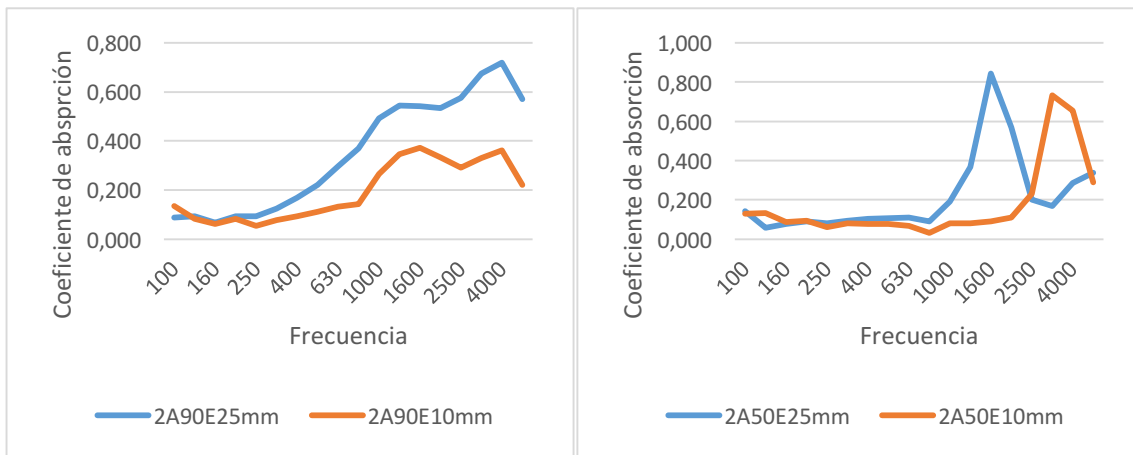
- a) 90% cacao.
- b) 75% cacao.
- c) 50% cacao.
- d) 25% cacao.

En la figura 44, se puede observar cómo el espesor influye en el comportamiento de la curva de coeficiente de absorción. La proporción con la que cuenta el material define también como actúa el espesor, es decir, para materiales con proporciones bajas de aglutinantes, la absorción es notablemente mejor por la porosidad que tiene el material. Teniendo esto en cuenta, los espesores que tienen una densidad baja son los que mejor absorción muestran.

En el caso de la muestra 1A90E25 la curva de absorción abarca más frecuencias, teniendo picos en frecuencias medias bajas. Y en la muestra 1A90E10 la curva se desplaza a la derecha abarcando menos frecuencias. Este comportamiento se puede traducir a que mientras la muestra tenga más espesor resulta más eficiente en frecuencias menores.

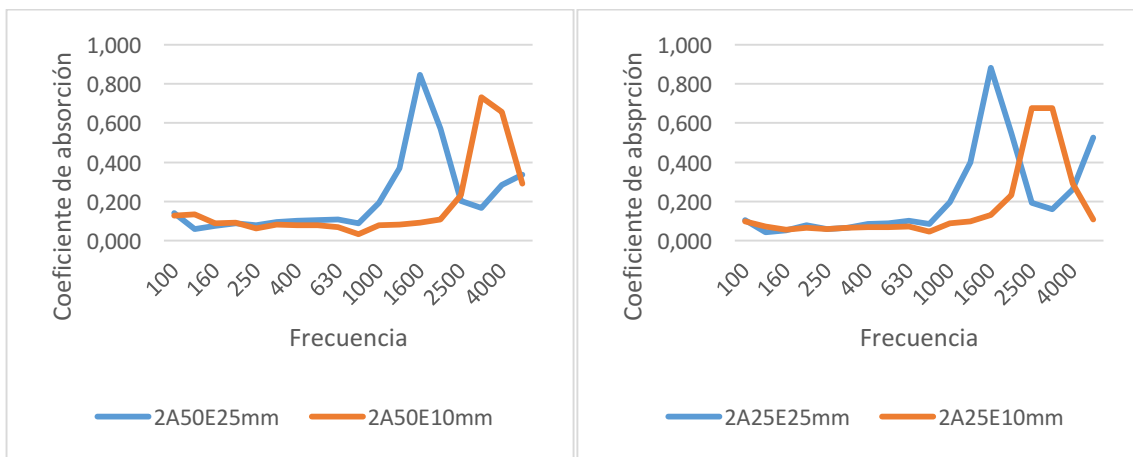
4.2.2. Material compuesto de cacao y resina de poliéster.

En la figura 45 se presenta una comparación entre las curvas de coeficiente de absorción entre las muestras con los dos distintos espesores. Cada curva representa uno de los espesores en una muestra compuesta por el mismo aglutinante y con las mismas proporciones cacao y aglutinante. Tomando como ejemplo el gráfico (a) de la figura 45, se puede ver el comportamiento de la curva entre los dos distintos espesores, en una muestra compuesta por resina de poliéster y mismas proporciones; 90% de cacao y 10% de aglutinante.



a)

b)



c)

d)

Figura 45. Comparación de coeficiente de absorción en función a la frecuencia para muestras compuestas con resina de poliéster de igual proporción de cacao y distinto espesor.

- a) 90% cacao.
- b) 75% cacao.
- c) 50% cacao.
- d) 25% cacao.

En el caso de las muestras evaluadas la curva del coeficiente de absorción va cambiando de una curva que cubre frecuencias desde 630Hz a 4000Hz aproximadamente, en un pico que cubre menos frecuencias mientras el espesor va

disminuyendo y pierde sus propiedades de absorción en el resto de frecuencias a diferencia de la muestra de mayor espesor. Esos picos se dan por las características del aglutinante, ya que, mientras más denso es el material, más proporción de aglutinante tiene.

4.3. Comparación de aglutinantes en muestras con mismo espesor y densidad

Los aglutinantes le dieron la característica de rigidez o flexibilidad a las muestras. En la figura 46 y 47 se puede observar, sobre todo en las muestras con mayor proporción de cacao, que la estructura rígida de las muestras (resina de poliéster), da como resultado coeficientes de absorción más altos. La onda sonora incidente en el material poroso rígido tiene mayor rozamiento contra las paredes de los canales en la estructura del material, por lo que la transformación de energía acústica en energía calorífica es más efectiva. Mientras las proporciones cambian, la curva del coeficiente de absorción también evoluciona. Es decir, mientras la muestra esté compuesta con más proporciones de aglutinante, la muestra se hace más densa, y sus características de absorción cambian, ese cambio no se da solo por su rigidez (como sabemos los materiales más rígidos tienen mejor absorción por transformación de energía acústica a energía calorífica) o flexibilidad, sino también por la porosidad que se define por la cantidad de aglutinante en una muestra como se puede ver en el apartado 4.1 en la comparación de distintas densidades.

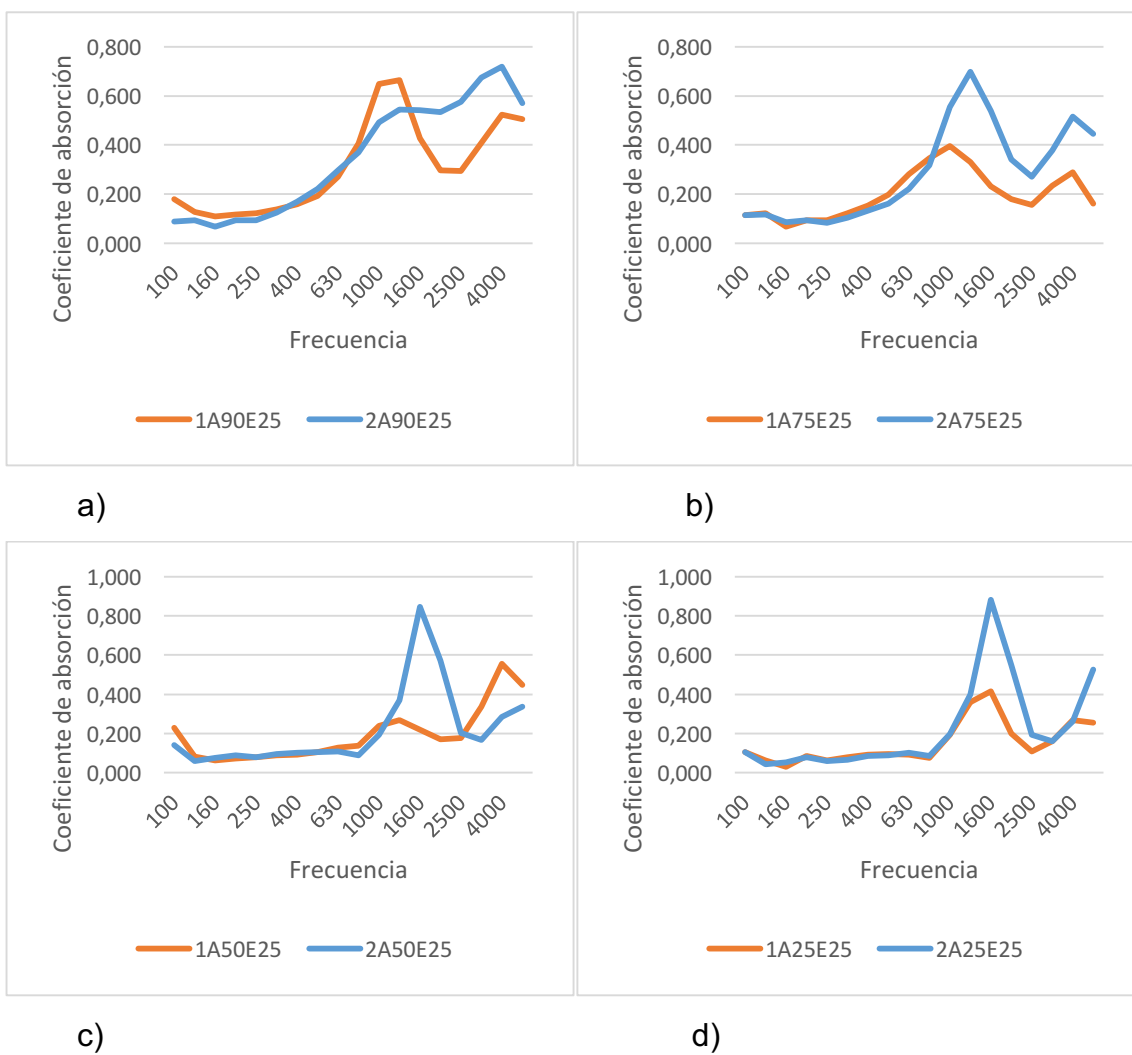


Figura 46. Comparación de coeficiente de absorción en función a la frecuencia para muestras de 25mm con misma proporción de cacao y distinto aglutinante.

- a) 90% cacao.
- b) 75% cacao.
- c) 50% cacao.
- d) 25% cacao.

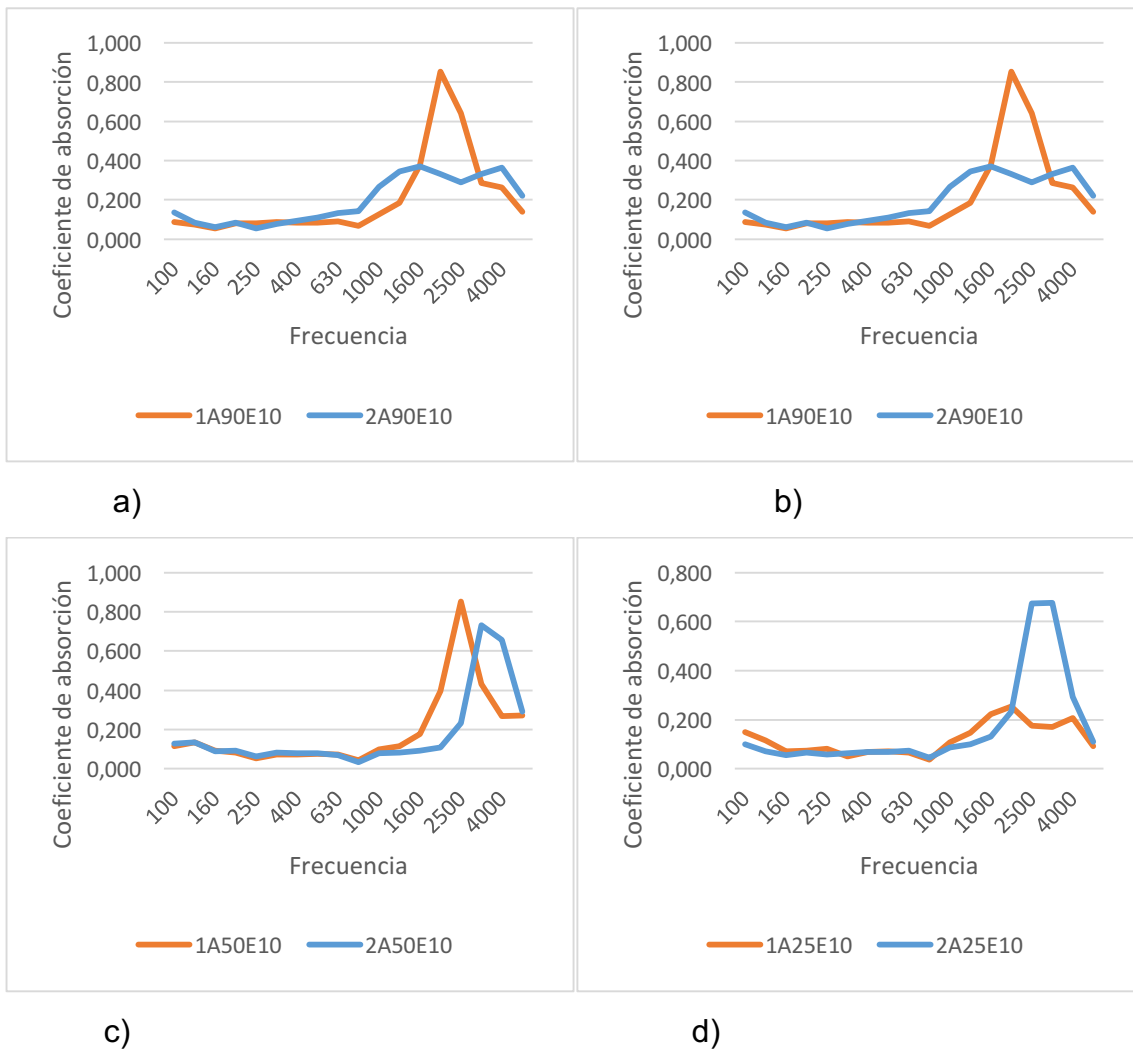


Figura 47. Comparación de coeficiente de absorción en función a la frecuencia para muestras de 10mm con misma proporción de cacao y distinto aglutinante.

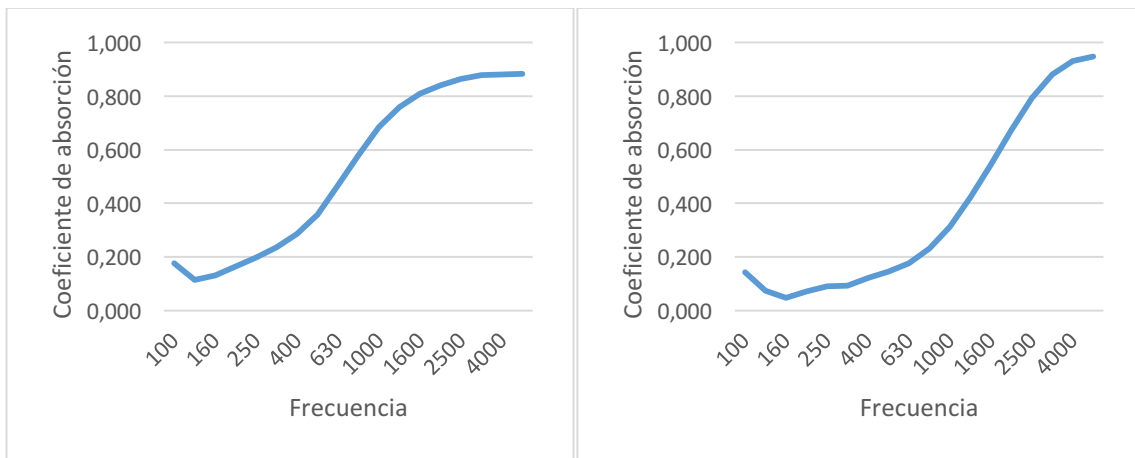
- a) 90% cacao.
- b) 75% cacao.
- c) 50% cacao.
- d) 25% cacao.

4.4. Comparación con materiales en el mercado

En el mercado se comercializan varios materiales, que tienen distintos comportamientos de absorción sonora, definidos por su estructura, densidad y

espesor. La lana de roca es uno de los materiales más conocidos, utilizados para ser colocados como superficies absorbentes, paneles flotantes, velos acústicos y también se utilizados para aislamiento de ruido (Carrión, 1998).

Para comprar los valores de coeficientes de absorción de las muestras se realizaron mediciones de muestras de lana de vidrio obteniendo los siguientes valores de coeficiente de absorción en los dos espesores evaluados también en las muestras elaboradas de cáscara de cacao.



a.

b.

Figura 48. Coeficientes de absorción lana de roca

a) 25mm.

b) 10mm.

La lana de roca tiene un coeficiente de absorción en función a la frecuencia bastante equilibrado en las frecuencias altas, manteniéndose por encima de 0,8 desde 1600Hz en 25mm. En las mediciones de la muestra de 10mm se puede ver cómo la curva se desplaza a la derecha cubriendo menos frecuencias. Es decir el espesor tiene mucho que ver en la frecuencia desde donde empieza a tener una absorción efectiva.

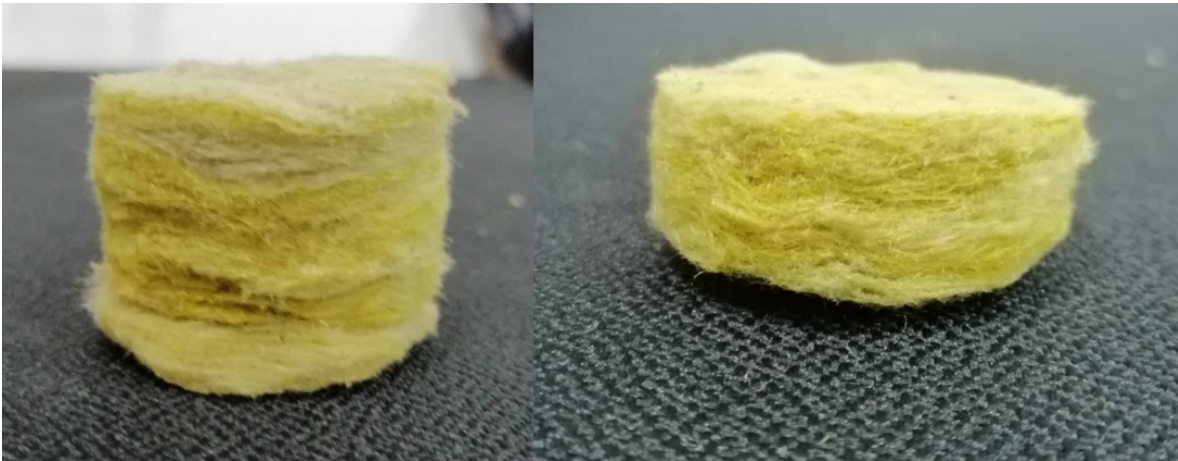


Figura 49. Muestras de lana de roca.

4.5. Comparación con otros materiales de fibra vegetal

Existen varias investigaciones sobre otros materiales hechos a base de fibra vegetal. En este apartado se analizarán y compararán algunos de ellos con el material a base de cáscara de cacao analizado a lo largo del documento.

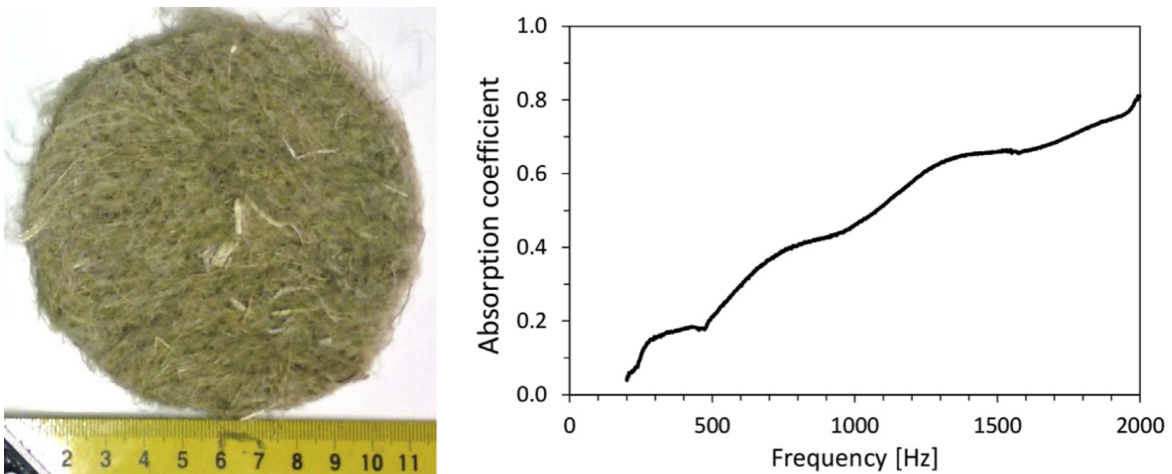


Figura 50. Coeficiente de absorción fibra de cáñamo 30mm

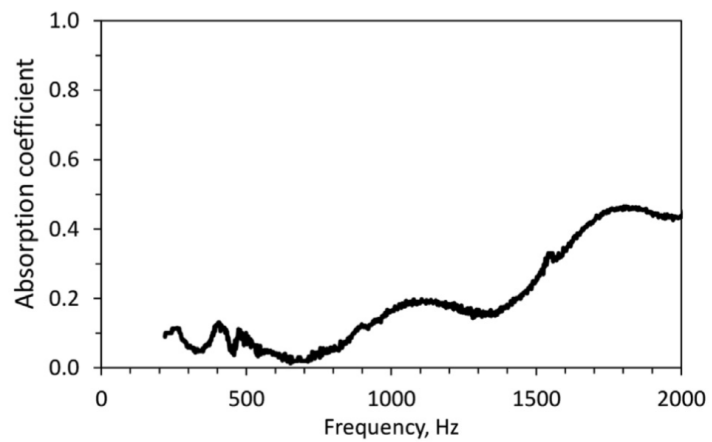


Figura 51. Coeficiente de absorción madera mineralizada 30mm

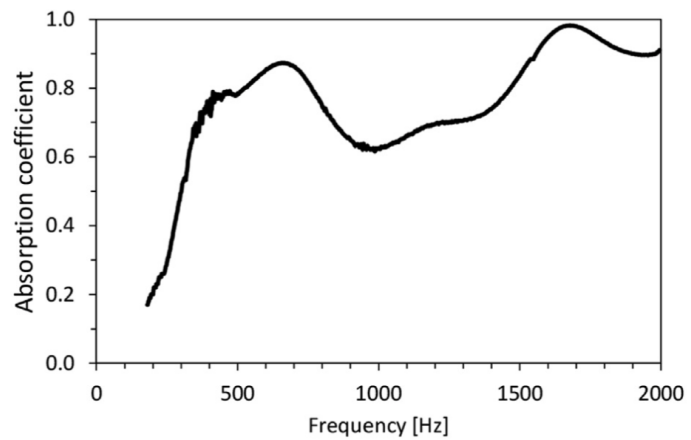


Figura 52. Coeficiente de absorción de fibra de madera 60mm.

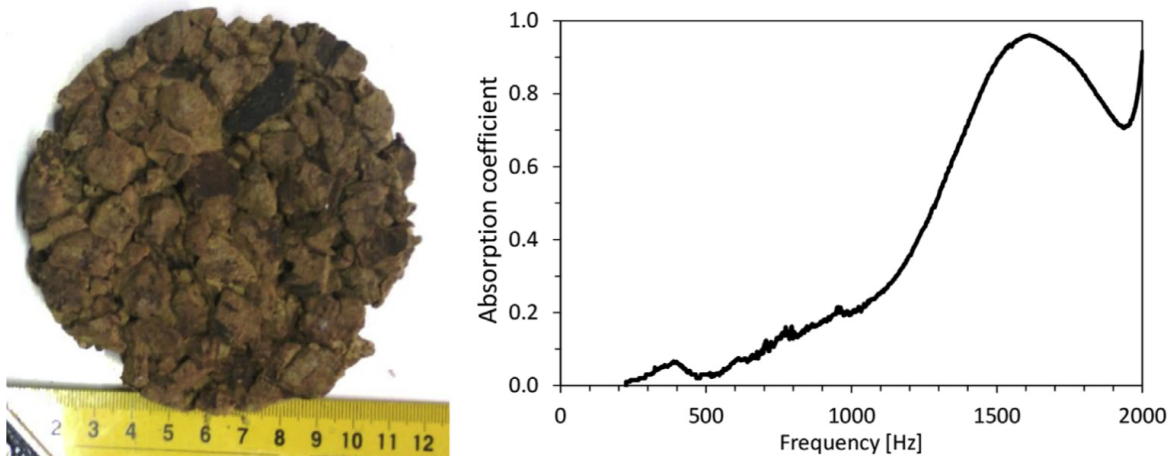


Figura 53. Coeficiente de absorción de corcho 30mm

En las figuras mostradas anteriormente se puede observar un patrón similar al material compuesto con cacao. El coeficiente de absorción es más eficiente en frecuencias altas y empieza a bajar a medida que la amplitud de onda se hace más grande, es decir en frecuencias más bajas (Berardi & Iannace, 2015).

Además, la figura 52 es un ejemplo muy evidente de cómo influencia el espesor en la absorción del material. Tiene un coeficiente de absorción más alto en frecuencias medias bajas, y eso podría darse porque a diferencia del resto de ejemplos (figura 50, 51 y 53) de 30mm, esta tiene 60mm.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Se analizó y evaluó exitosamente cómo influyen las propiedades físicas del material en las propiedades acústicas en materiales elaborados a base de cáscara de cacao. Las propiedades físicas variables fueron correctamente evaluadas y comparadas entre sí. Las distintas comparaciones realizadas, analizaron el cambio que tiene la curva del coeficiente de absorción sonora entre, las cuatro distintas proporciones (densidades) con el mismo aglutinante y espesor, los dos espesores con el mismo aglutinante y proporción (densidad), los dos aglutinantes con el mismo espesor y proporción (densidad).

Respecto a los parámetros citados anteriormente no hay un parámetro que influya independientemente del otro en la absorción, es decir, por ejemplo, si se tiene un espesor grande con una proporción de aglutinante alto (75% aglutinante) pueden perder gran parte de las cualidades de absorción que tiene un material con espesor grande, pero con mayor proporción de cacao que de aglutinante.

Las muestras con proporciones mayores de cacao tienden a tener mejor absorción, ya que los poros del material no son ocupados por el aglutinante. Es decir que cuando la onda incida en el material, por el rozamiento que hay entre la misma y las paredes de los poros, la transformación de energía acústica a energía calorífica será mayor.

De igual manera la comparación de la influencia que ejerce en el coeficiente de absorción de cada aglutinante, tiene mucho que ver con las proporciones con las que está compuesto el material. Los dos aglutinantes forman distintas estructuras del material. Por ejemplo, las muestras que tienen proporciones de caucho de silicona tienen una estructura flexible, se debe tener en cuenta que un material flexible tiene menor eficacia en su coeficiente de absorción en comparación con un

material con estructura rígida, ya que cuando la onda incide en la superficie de un material flexible, esta puede entrar en resonancia con los poros de la muestra. Esta resonancia provoca una vibración que hace que la transformación de energía acústica a energía calorífica sea menor, por ende, los valores de coeficiente de absorción también son más bajos. En cambio, las muestras compuestas por proporciones de resina de poliéster, tienen una estructura rígida y gracias al rozamiento de la onda con las paredes de los poros del material, la absorción sonora por el incremento de energía calorífica resulta más eficiente en comparación con las estructuras flexibles.

Los materiales elaborados a base de cáscara de cacao, tienen valores de coeficiente de absorción con una tendencia que coincide con los valores de coeficientes de absorción de otras fibras naturales. Estos materiales presentan una buena absorción en frecuencias altas, sin embargo, por debajo de 700Hz la curva del coeficiente de absorción empieza a decaer, llegando a valores menores a 0,2.

Al utilizar como base la norma UNE-EN ISO 10534-2, se pudo establecer una metodología del coeficiente de absorción repetible, para realizar investigaciones con materiales de similar procedencia y así obtener valores confiables y comparables entre materiales. Con la norma y la metodología establecida, se obtuvieron los valores del coeficiente de absorción sonora para caracterizar cómo cada variable (proporción, espesor, aglutinante), es la influyente para el comportamiento del coeficiente frecuencialmente.

Si bien es cierto los valores de coeficiente de absorción obtenidos en las mediciones del material, no son precisamente una cualidad muy destacable, a pesar de eso, el material puede ser considerado en el diseño de un recinto sonoro. Los resultados muestran que el material compuesto por cáscara de cacao empieza a absorber en el mismo rango de frecuencias que la lana de roca. La curva de absorción que tiene este material disminuye numéricamente 0,3 en su coeficiente de absorción en las

frecuencias altas en comparación con el mencionado material ya comercializado (lana de roca). A pesar de que absorben un rango de frecuencias parecido, su comportamiento es menos plano y más variable a lo largo del rango de frecuencias desde donde empieza a actuar.

Si se regresa a los anteriores apartados se observa que las muestras 1A90E25 y 2A90E25 son las que tienen mayores niveles de absorción acústica

Estas muestras corresponden a las compuestas por resina de poliéster con una proporción de 90% de cacao y 25mm y a la compuesta por caucho de silicona con una proporción de 90% de cacao y 25mm respectivamente.

El material aun no puede competir con los materiales absorbentes ya comercializados, ya que necesita más estabilidad en las frecuencias que absorbe. La curva del coeficiente de absorción en el rango de frecuencias podría ser más lineal. De esta manera se evita dejar frecuencias sin absorber y por ende no utilizar otros tipos de materiales para absorber las frecuencias en las que el material hecho a base de fibra de cacao es deficiente. A demás se podrían hacer diseños de recintos con predicciones más certeras.

5.2. Recomendaciones

Para estudios posteriores se recomienda, evaluar muestras con mayor espesor, para ver qué sucede con la curva del coeficiente de absorción, en qué frecuencias actúa y cómo evoluciona cambiando las características físicas del material. Además, se pueden añadir otras capas de materiales distintos a la cáscara de cacao que mejore las características de absorción del material bajo estudio.

En el proceso de obtención de datos, se deben realizar algunas mediciones a la misma muestra para tener valores confiables y tener expectativa de las variaciones que pueden tener los resultados y en qué rango de frecuencia.

Respecto a la elaboración de las muestras a base de fibras vegetales, se recomienda realizar una guía de tratamiento de la materia prima, con el fin de que todo el proceso de evaluación del material, desde su elaboración hasta el manejo y obtención de datos, tenga un proceso estándar. Así se evita que los resultados sean afectados por los distintos procesos de elaboración que puede darse de una muestra a otra.

Finalmente, en futuros estudios se recomienda obtener valores del coeficiente de absorción con distintos métodos, como el de la cámara reverberante, para también entender como varía la respuesta del coeficiente de absorción cuando la onda es emitida en un espacio que no cuenta con condiciones ideales.

REFERENCIAS

- Alba, J., Del Rey, R., Arrébola, F., Berto, L., & Hervás, C. (2012). Cámara reverberante a escala para el estudio de pantallas acústicas. *VIII Congreso Ibero-americano de Acústica*. Simposio llevado a cabo en Sociedad portuguesa de Acústica, Évora. Recuperado el 20 de abril de 2019 de <http://www.sea-acustica.es/fileadmin/Evora12/97.pdf>
- Alba, J., Ramis, J., Lorenzana, T & Del Rey, R. (2008). Propuesta de modelo empírico para materiales absorbentes acústicos. *Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería*. Volumen (24), p.10. Valencia. Recuperado el 22 de Junio de 2019 de <https://core.ac.uk/download/pdf/41787604.pdf>
- Avilés, R., & Perera, R. (2017). *Manual de acústica ambiental y arquitectónica*. Paraninfo, Ed. (Primera). Madrid.
- Beranek, L. (1961). *Acústica*. Editorial Hispano Americana, Ed. (Primera). Buenos Aires.
- Berardi, U., & Iannace, G. (2015). Acoustic characterization of natural fibers for sound absorption applications. *Building and Environment*. Volumen 163 Ontario. Recuperado el 22 de Febrero de 2019 de <https://www.elsevier.com/locate/buildenv>
- Boada, A. (2014). *Ecología y sostenibilidad lingüística*. Editorial in Memoriam. Barcelona.
- Carrión, A. (1998). *Diseño acústico de espacios arquitectónicos*. UPC, Ed. (Primera). Barcelona.
- Escobar, G., Sanz, M., Merás, D., Arévalo, M., Caballero, A., & Ortiz, M. (2017). ¿usar colillas como absorbentes acústicos?. *48º Congreso español de acústica encuentro ibérico de acústica european symposium on underwater acoustics applications european*. Simposio de construcciones acústicas con sostenibilidad. Cáceres. Recuperado el 22 de Junio de 2019 de http://www.sea-acustica.es/fileadmin/publicaciones/AED-2_012_02.pdf

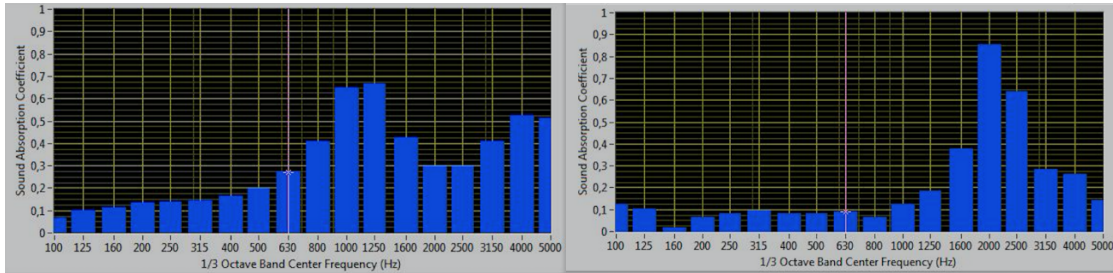
- Llinares, G., Llopis, A., & Sancho, J. (2008). *Acústica arquitectónica y urbanística*. Limusa. México.
- Merino, E., Alba, J., Del Rey, R. (2010). *Nuevas pantallas acústicas a partir de materiales reciclados*. Universidad Politécnica de Valencia. Recuperado el 15 de Mayo de 2019 de [https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/10335/Tesina Master_Eva Merino Porta.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/10335/Tesina_Master_Eva_Merino_Porta.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Navacerrada, M., Díaz, C., González, A., & García, L. (2008). *Absorción acústica de espumas de aluminio*. Recuperado el 20 de Junio de 2019 de http://oa.upm.es/2296/1/INVE_MEM_2008_54538.pdf
- Ordóñez, C., & Vélez, P. (2014). *Estudio, diseño e implementación de una cámara anecoica para el análisis acústico de sistemas mecánicos del motor de combustión interna alternativo*. Cuenca. Recuperado el 22 de Febrero de 2019 de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/7461/1/UPS-CT004412.pdf>
- Páez, D. (2016). *Caracterización de las propiedades de absorción acústica de la fibra de guadua*. Universidad Nacional de Colombia. Recuperado el 15 de Junio de 2019 de <http://www.bdigital.unal.edu.co/54981/>
- Ramis, J., Alba, J., Del Rey, R., Escuder, E., & Sanchís, V. J. (2010). Nuevos materiales absorbentes acústicos basados en fibra de kenaf. *Materiales de Construcción*, 60(299). Alicante. Recuperado el 18 de Junio de 2019 de <https://doi.org/10.3989/mc.2010.50809>
- Secretaríaactiva- Vicepresidencia del Ecuador. (2014). Diagnóstico de la Cadena Productiva del Cacao en el Ecuador. Recuperao el 23 de Febrero de 2019 de <https://www.vicepresidencia.gob.ec/wp-content/uploads/2015/07/Resumen-Cadena-de-Cacao-rev.pdf>

ANEXOS

ANEXO 1. Gráficas de coeficiente de absorción, material compuesto de cacao y caucho de silicona.

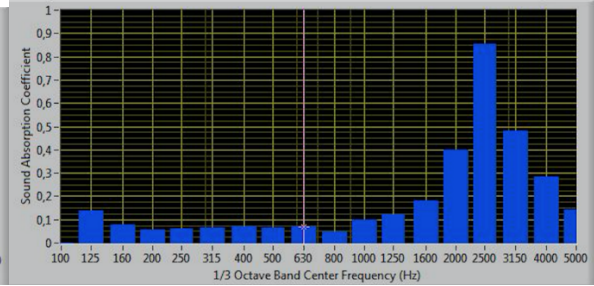
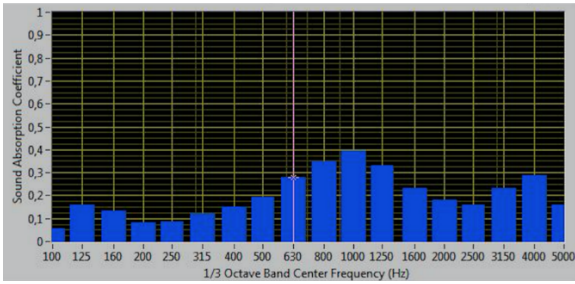
Proporción 90, 10

Muestra 1A90E25 y 1A90E10



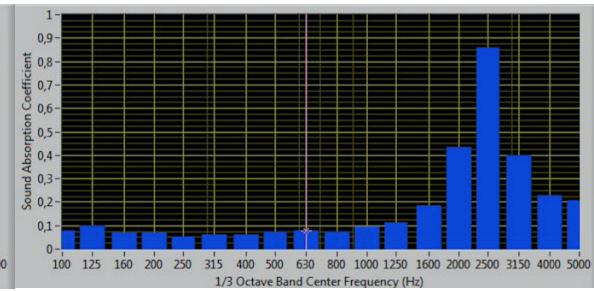
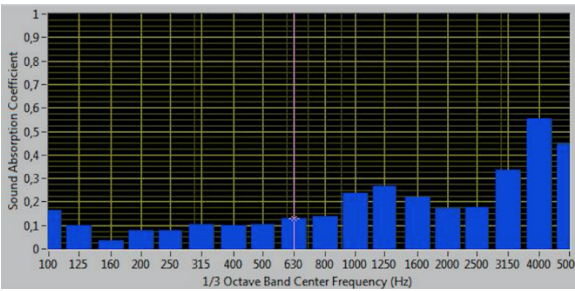
Proporción 75, 25

Muestra 1A75E25 y 1A75E10



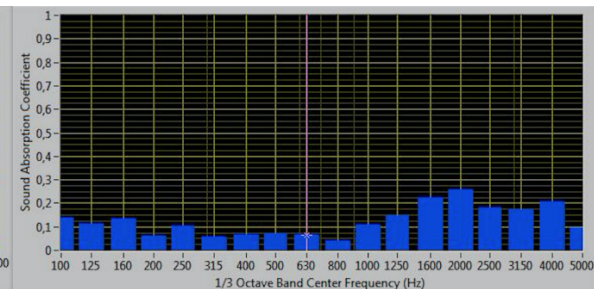
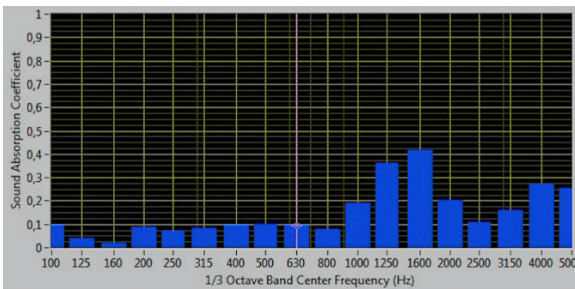
Proporción 50, 50

Muestra 1A50E25 y 1A50E10



Proporción 25, 75

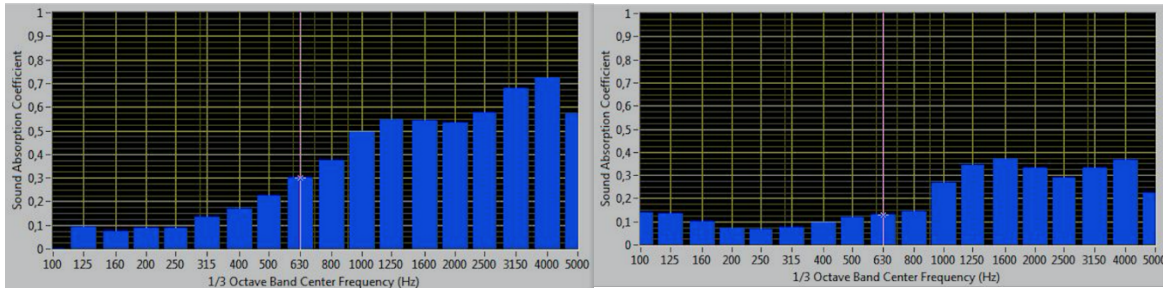
Muestra 1A25E25 y 1A25E10



ANEXO 2. Gráficas de coeficiente de absorción, material compuesto de cacao y resina de poliéster.

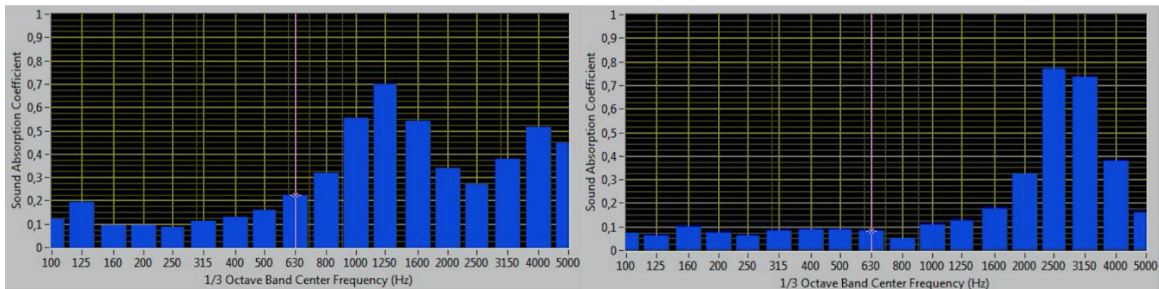
Proporción 90, 10

Muestra 2A90E25 y 2A90E10



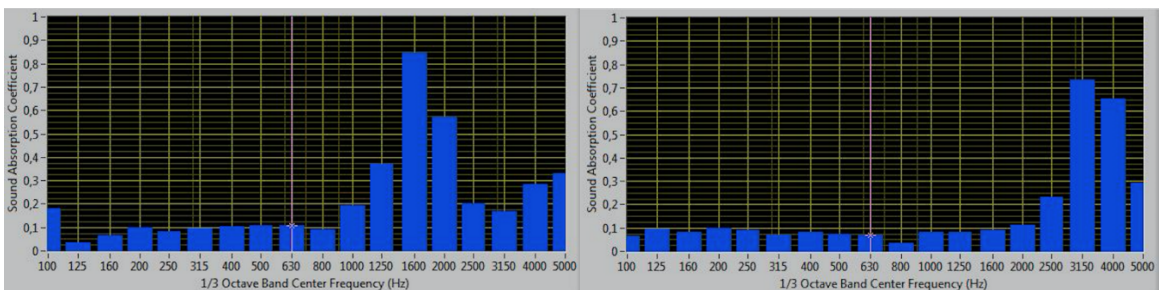
Proporción 75, 25

Muestra 2A75E25 y 2A75E10



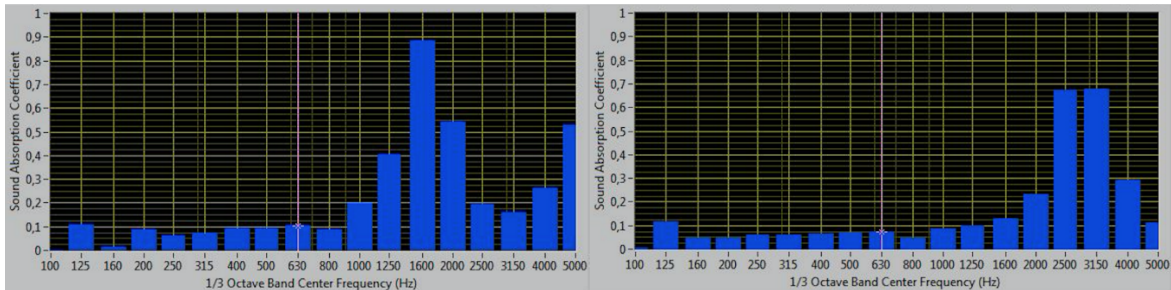
Proporción 50, 50

Muestra 2A50E25 y 2A50E10



Proporción 25, 75

Muestra 2A25E25 y 2A25E10



Anexo 2: Base de datos de las 5 mediciones obtenidos por muestra.

Caucho de silicona

Caucho de silicona 90 % cacao 25mm					
Freq	Medición 1	Medición 2	Medición 3	Medición 4	Medición 5
100	0,275	0,112	0,098	0,066	0,348
125	0,074	0,072	0,100	0,099	0,285
160	0,094	0,067	0,125	0,111	0,143
200	0,108	0,116	0,111	0,133	0,115
250	0,125	0,093	0,124	0,137	0,130
315	0,152	0,127	0,134	0,141	0,133
400	0,160	0,153	0,160	0,162	0,158
500	0,193	0,189	0,191	0,196	0,189
630	0,269	0,270	0,270	0,270	0,271
800	0,406	0,405	0,405	0,407	0,406
1000	0,650	0,650	0,649	0,650	0,650
1250	0,668	0,666	0,663	0,664	0,664
1600	0,429	0,428	0,426	0,425	0,425
2000	0,296	0,297	0,297	0,296	0,297
2500	0,293	0,295	0,295	0,295	0,296
3150	0,408	0,408	0,408	0,408	0,409
4000	0,525	0,524	0,522	0,523	0,522

5000	0,500	0,497	0,501	0,510	0,513
------	-------	-------	-------	-------	-------

Caucho de silicona 90 % cacao 10mm					
Freq	Medición 1	Medición 2	Medición 3	Medición 4	Medición 5
100	0,007	0,124	0,117	0,085	0,097
125	0,055	0,105	0,047	0,058	0,100
160	0,056	0,017	0,069	0,076	0,046
200	0,078	0,066	0,080	0,077	0,097
250	0,067	0,080	0,091	0,090	0,081
315	0,094	0,095	0,083	0,082	0,084
400	0,089	0,081	0,085	0,085	0,084
500	0,083	0,082	0,089	0,082	0,085
630	0,088	0,090	0,088	0,090	0,089
800	0,067	0,066	0,065	0,068	0,066
1000	0,125	0,126	0,126	0,126	0,126
1250	0,186	0,185	0,185	0,185	0,185
1600	0,377	0,376	0,375	0,377	0,376
2000	0,854	0,854	0,854	0,854	0,854
2500	0,641	0,641	0,641	0,640	0,640
3150	0,285	0,285	0,285	0,284	0,285
4000	0,264	0,263	0,264	0,262	0,264
5000	0,138	0,139	0,138	0,139	0,141

Caucho de silicona 75 % cacao 25mm					
Freq	Medición 1	Medición 2	Medición 3	Medición 4	Medición 5
100	0,332	0,052	0,052	0,055	0,075
125	0,187	0,120	0,120	0,159	0,018
160	0,048	0,057	0,057	0,131	0,047
200	0,112	0,090	0,090	0,081	0,097
250	0,115	0,093	0,093	0,086	0,075
315	0,117	0,136	0,136	0,119	0,108
400	0,152	0,152	0,152	0,152	0,154
500	0,199	0,200	0,200	0,193	0,196
630	0,280	0,282	0,282	0,280	0,282
800	0,346	0,345	0,345	0,346	0,346
1000	0,399	0,397	0,397	0,396	0,395

1250	0,331	0,329	0,329	0,329	0,328
1600	0,231	0,230	0,230	0,230	0,230
2000	0,180	0,179	0,179	0,179	0,179
2500	0,156	0,156	0,156	0,157	0,156
3150	0,233	0,233	0,233	0,233	0,233
4000	0,290	0,290	0,290	0,289	0,289
5000	0,161	0,161	0,161	0,158	0,162

Caucho de silicona 75 % cacao 10mm					
Freq	Medición 1	Medición 2	Medición 3	Medición 4	Medición 5
100	0,255	0,143	0,261	0,000	0,215
125	0,062	0,041	0,674	0,136	0,100
160	0,035	0,046	0,015	0,079	0,030
200	0,072	0,072	0,042	0,055	0,079
250	0,051	0,090	0,089	0,060	0,024
315	0,071	0,073	0,098	0,065	0,074
400	0,073	0,067	0,078	0,070	0,068
500	0,070	0,069	0,066	0,066	0,071
630	0,072	0,068	0,068	0,071	0,069
800	0,047	0,045	0,045	0,046	0,047
1000	0,098	0,098	0,097	0,098	0,098
1250	0,120	0,120	0,120	0,120	0,120
1600	0,182	0,182	0,182	0,182	0,182
2000	0,399	0,399	0,398	0,399	0,399
2500	0,855	0,855	0,854	0,853	0,855
3150	0,480	0,481	0,481	0,479	0,480
4000	0,280	0,282	0,283	0,283	0,283
5000	0,138	0,139	0,138	0,140	0,140

Caucho de silicona 50% cacao 25mm					
Freq	Medición 1	Medición 2	Medición 3	Medición 4	Medición 5
100	0,074	0,327	0,503	0,076	0,163
125	0,000	0,049	0,078	0,178	0,100
160	0,074	0,061	0,079	0,067	0,035
200	0,078	0,067	0,081	0,062	0,077
250	0,084	0,074	0,086	0,075	0,077

315	0,095	0,091	0,061	0,093	0,102
400	0,092	0,087	0,093	0,090	0,098
500	0,105	0,105	0,100	0,105	0,102
630	0,130	0,125	0,130	0,127	0,130
800	0,136	0,137	0,139	0,137	0,137
1000	0,236	0,238	0,237	0,237	0,237
1250	0,271	0,269	0,268	0,268	0,268
1600	0,221	0,218	0,219	0,219	0,218
2000	0,172	0,170	0,171	0,171	0,171
2500	0,179	0,177	0,177	0,177	0,178
3150	0,336	0,336	0,335	0,336	0,335
4000	0,555	0,555	0,555	0,555	0,554
5000	0,447	0,452	0,449	0,448	0,447

Caucho de silicona 50 % cacao 10mm					
Freq	Medición 1	Medición 2	Medición 3	Medición 4	Medición 5
100	0,279	0,032	0,243	0,016	0,000
125	0,111	0,000	0,209	0,167	0,183
160	0,082	0,076	0,125	0,047	0,124
200	0,087	0,078	0,071	0,095	0,082
250	0,045	0,077	0,036	0,059	0,039
315	0,085	0,070	0,072	0,050	0,076
400	0,072	0,066	0,073	0,079	0,077
500	0,074	0,075	0,074	0,077	0,076
630	0,075	0,074	0,069	0,071	0,069
800	0,049	0,048	0,038	0,038	0,038
1000	0,099	0,099	0,098	0,099	0,098
1250	0,119	0,119	0,114	0,114	0,114
1600	0,186	0,185	0,169	0,168	0,169
2000	0,442	0,441	0,368	0,366	0,364
2500	0,861	0,861	0,845	0,844	0,844
3150	0,377	0,377	0,468	0,468	0,468
4000	0,250	0,250	0,278	0,280	0,279
5000	0,249	0,252	0,286	0,284	0,286

Caucho de silicona 25% cacao 25mm

Freq	Medición 1	Medición 2	Medición 3	Medición 4	Medición 5
100	0,094	0,147	0,060	0,090	0,134
125	0,040	0,087	0,048	0,080	0,059
160	0,017	0,040	0,039	0,017	0,040
200	0,088	0,082	0,107	0,099	0,052
250	0,068	0,069	0,046	0,084	0,047
315	0,081	0,075	0,084	0,077	0,085
400	0,094	0,091	0,086	0,093	0,098
500	0,097	0,094	0,090	0,096	0,094
630	0,095	0,092	0,095	0,090	0,091
800	0,076	0,075	0,075	0,075	0,075
1000	0,190	0,193	0,192	0,192	0,193
1250	0,359	0,360	0,361	0,361	0,361
1600	0,416	0,414	0,413	0,413	0,413
2000	0,202	0,200	0,199	0,199	0,198
2500	0,108	0,108	0,108	0,108	0,107
3150	0,160	0,161	0,161	0,160	0,161
4000	0,270	0,269	0,269	0,269	0,270
5000	0,255	0,254	0,253	0,252	0,254

Caucho de silicona 25% cacao 10mm					
Freq	Medición 1	Medición 2	Medición 3	Medición 4	Medición 5
100	0,137	0,207	0,115	0,150	0,130
125	0,113	0,000	0,176	0,166	0,117
160	0,134	0,000	0,045	0,075	0,097
200	0,060	0,102	0,056	0,059	0,088
250	0,105	0,088	0,080	0,060	0,077
315	0,056	0,039	0,044	0,045	0,072
400	0,065	0,068	0,070	0,071	0,069
500	0,067	0,067	0,069	0,083	0,071
630	0,066	0,062	0,066	0,064	0,066
800	0,037	0,036	0,035	0,036	0,036
1000	0,108	0,109	0,108	0,108	0,108
1250	0,147	0,147	0,147	0,147	0,148
1600	0,224	0,224	0,223	0,223	0,222
2000	0,257	0,254	0,254	0,252	0,252
2500	0,179	0,176	0,176	0,174	0,176
3150	0,170	0,169	0,168	0,169	0,169

4000	0,208	0,206	0,206	0,205	0,206
5000	0,093	0,091	0,091	0,094	0,094

Resina de poliéster

Resina de poliéster 90% cacao 25mm					
Freq	Medición 1	Medición 2	Medición 3	Medición 4	Medición 5
100	0,123	0,172	0,002	0,000	0,144
125	0,021	0,186	0,103	0,091	0,062
160	0,082	0,076	0,060	0,071	0,048
200	0,091	0,110	0,093	0,087	0,079
250	0,104	0,090	0,084	0,084	0,108
315	0,130	0,124	0,124	0,133	0,117
400	0,168	0,168	0,166	0,169	0,168
500	0,218	0,219	0,220	0,221	0,221
630	0,296	0,298	0,296	0,299	0,297
800	0,369	0,369	0,370	0,371	0,369
1000	0,492	0,492	0,493	0,493	0,493
1250	0,545	0,545	0,545	0,545	0,545
1600	0,543	0,541	0,540	0,540	0,540
2000	0,535	0,534	0,533	0,532	0,532
2500	0,573	0,576	0,576	0,576	0,576
3150	0,672	0,675	0,676	0,676	0,676
4000	0,717	0,718	0,719	0,719	0,719
5000	0,570	0,573	0,574	0,572	0,569

Resina de poliéster 90% cacao 10mm					
Freq	Medición 1	Medición 2	Medición 3	Medición 4	Medición 5
100	0,032	0,273	0,083	0,155	0,135
125	0,105	0,057	0,000	0,123	0,134
160	0,023	0,056	0,109	0,025	0,099
200	0,082	0,083	0,094	0,085	0,068
250	0,069	0,047	0,026	0,067	0,064
315	0,097	0,082	0,058	0,080	0,074
400	0,100	0,097	0,087	0,095	0,093
500	0,110	0,112	0,106	0,112	0,114
630	0,131	0,131	0,133	0,132	0,131
800	0,142	0,143	0,143	0,143	0,142

1000	0,265	0,265	0,265	0,265	0,265
1250	0,346	0,346	0,345	0,345	0,345
1600	0,372	0,372	0,370	0,371	0,370
2000	0,334	0,334	0,333	0,332	0,332
2500	0,291	0,291	0,290	0,289	0,290
3150	0,332	0,331	0,331	0,331	0,331
4000	0,363	0,363	0,363	0,362	0,363
5000	0,219	0,222	0,220	0,220	0,225

Resina de poliéster 75% cacao 25mm					
Freq	Medición 1	Medición 2	Medición 3	Medición 4	Medición 5
100	0,162	0,120	0,043	0,011	0,228
125	0,043	0,195	0,128	0,096	0,125
160	0,129	0,094	0,089	0,059	0,055
200	0,090	0,095	0,095	0,086	0,102
250	0,081	0,086	0,080	0,100	0,066
315	0,103	0,111	0,110	0,088	0,101
400	0,136	0,130	0,132	0,130	0,135
500	0,162	0,160	0,160	0,162	0,162
630	0,220	0,222	0,222	0,219	0,218
800	0,316	0,316	0,316	0,318	0,316
1000	0,555	0,555	0,555	0,553	0,555
1250	0,701	0,699	0,698	0,698	0,697
1600	0,542	0,540	0,540	0,539	0,539
2000	0,342	0,341	0,340	0,341	0,340
2500	0,270	0,269	0,269	0,269	0,270
3150	0,378	0,378	0,378	0,378	0,378
4000	0,516	0,516	0,515	0,516	0,516
5000	0,441	0,446	0,447	0,447	0,442

Resina de poliéster 75% cacao 10mm					
Freq	Medición 1	Medición 2	Medición 3	Medición 4	Medición 5
100	0,374	0,123	0,200	0,000	0,070
125	0,177	0,157	0,009	0,040	0,058
160	0,056	0,036	0,091	0,117	0,097
200	0,092	0,072	0,082	0,086	0,073

250	0,062	0,054	0,053	0,098	0,060
315	0,083	0,067	0,090	0,084	0,083
400	0,084	0,090	0,091	0,081	0,086
500	0,091	0,087	0,086	0,080	0,087
630	0,080	0,077	0,081	0,082	0,080
800	0,046	0,047	0,046	0,046	0,046
1000	0,107	0,107	0,107	0,107	0,106
1250	0,127	0,127	0,128	0,128	0,125
1600	0,180	0,181	0,182	0,182	0,177
2000	0,330	0,335	0,336	0,337	0,321
2500	0,785	0,794	0,795	0,796	0,770
3150	0,718	0,709	0,708	0,708	0,732
4000	0,371	0,368	0,368	0,369	0,376
5000	0,157	0,155	0,156	0,154	0,157

Resina de poliéster 50% cacao 25mm					
Freq	Medición 1	Medición 2	Medición 3	Medición 4	Medición 5
100	0,094	0,294	0,053	0,091	0,179
125	0,070	0,044	0,117	0,025	0,036
160	0,074	0,080	0,046	0,114	0,064
200	0,099	0,068	0,103	0,078	0,099
250	0,074	0,078	0,091	0,076	0,081
315	0,095	0,100	0,095	0,090	0,092
400	0,102	0,106	0,100	0,103	0,103
500	0,105	0,105	0,103	0,106	0,106
630	0,110	0,110	0,109	0,109	0,109
800	0,089	0,089	0,089	0,089	0,091
1000	0,192	0,192	0,193	0,194	0,191
1250	0,368	0,368	0,369	0,370	0,368
1600	0,844	0,845	0,846	0,846	0,845
2000	0,571	0,571	0,570	0,568	0,570
2500	0,203	0,202	0,201	0,201	0,203
3150	0,169	0,168	0,169	0,168	0,169
4000	0,285	0,285	0,286	0,286	0,285
5000	0,331	0,342	0,339	0,340	0,333

Resina de poliéster 50% cacao 10mm					
Freq	Medición 1	Medición 2	Medición 3	Medición 4	Medición 5
100	0,226	0,065	0,000	0,223	0,226
125	0,088	0,096	0,145	0,201	0,096
160	0,073	0,081	0,067	0,128	0,067
200	0,110	0,100	0,084	0,074	0,074
250	0,063	0,091	0,040	0,053	0,040
315	0,091	0,068	0,084	0,079	0,068
400	0,087	0,080	0,071	0,074	0,087
500	0,077	0,072	0,077	0,083	0,072
630	0,069	0,068	0,069	0,066	0,069
800	0,030	0,032	0,032	0,032	0,032
1000	0,080	0,080	0,080	0,080	0,080
1250	0,081	0,082	0,082	0,082	0,082
1600	0,091	0,092	0,092	0,093	0,091
2000	0,107	0,110	0,110	0,110	0,110
2500	0,225	0,232	0,236	0,236	0,236
3150	0,714	0,732	0,740	0,743	0,743
4000	0,674	0,654	0,648	0,645	0,648
5000	0,293	0,290	0,290	0,290	0,290

Resina de poliéster 25% cacao 25mm					
Freq	Medición 1	Medición 2	Medición 3	Medición 4	Medición 5
100	0,078	0,237	0,000	0,000	0,203
125	0,004	0,085	0,108	0,014	0,000
160	0,033	0,080	0,011	0,058	0,083
200	0,083	0,091	0,085	0,073	0,070
250	0,033	0,093	0,058	0,071	0,036
315	0,080	0,065	0,068	0,072	0,047
400	0,084	0,086	0,088	0,089	0,080
500	0,093	0,094	0,088	0,087	0,089
630	0,102	0,099	0,101	0,103	0,100
800	0,087	0,087	0,088	0,086	0,082
1000	0,199	0,200	0,198	0,199	0,189
1250	0,405	0,404	0,404	0,404	0,369
1600	0,886	0,886	0,886	0,886	0,857
2000	0,539	0,540	0,540	0,540	0,590
2500	0,191	0,191	0,192	0,191	0,206

3150	0,160	0,161	0,160	0,160	0,164
4000	0,263	0,264	0,262	0,263	0,260
5000	0,532	0,532	0,530	0,533	0,506

Resina de poliéster 25% cacao 10mm					
Freq	Medición 1	Medición 2	Medición 3	Medición 4	Medición 5
100	0,005	0,103	0,152	0,139	0,005
125	0,117	0,046	0,093	0,028	0,093
160	0,045	0,016	0,097	0,068	0,016
200	0,047	0,072	0,067	0,073	0,067
250	0,060	0,065	0,060	0,050	0,050
315	0,061	0,067	0,057	0,072	0,067
400	0,066	0,068	0,070	0,067	0,070
500	0,068	0,068	0,074	0,065	0,068
630	0,075	0,070	0,075	0,074	0,070
800	0,046	0,046	0,046	0,045	0,046
1000	0,088	0,087	0,087	0,088	0,087
1250	0,099	0,099	0,099	0,099	0,099
1600	0,130	0,130	0,130	0,129	0,129
2000	0,232	0,233	0,233	0,232	0,232
2500	0,674	0,675	0,675	0,675	0,675
3150	0,677	0,676	0,676	0,675	0,676
4000	0,292	0,292	0,292	0,290	0,290
5000	0,110	0,109	0,109	0,109	0,109

