



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS AGROPECUARIAS

CARACTERIZACIÓN DE LA ABSORCIÓN ACÚSTICA DE MATERIALES
PARA LA CONSTRUCCIÓN FABRICADOS EN ECUADOR.



AUTORES

MARCELA ALEJANDRA CAZORLA VALENCIA

RICARDO DAVID CÓRDOVA ZURITA

AÑO

2017



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS AGROPECUARIAS

CARACTERIZACIÓN DE LA ABSORCIÓN ACÚSTICA DE MATERIALES
PARA LA CONSTRUCCIÓN FABRICADOS EN ECUADOR

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

Profesor guía

MSc. María Bertomeu Rodríguez

Autores

Marcela Alejandra Cazorla Valencia

Ricardo David Córdova Zurita

Año

2017

DECLARACIÓN DEL PROFESOR GUÍA

“Declaro haber dirigido este trabajo a través de reuniones periódicas con el estudiante, 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.”

María Bertomeu Rodríguez

Máster en Gestión y Evaluación de la Contaminación Acústica

C.I 1756773162

DECLARACIÓN DEL PROFESOR CORRECTOR

“Declaro haber revisado este trabajo, dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación”.

Christiam Santiago Garzón Pico

Máster en Acústica

C.I 1713644621

DECLARACIÓN DE AUTORÍA DE LOS ESTUDIANTES

“Declaramos que este trabajo es original, de nuestra 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.”

Marcela Alejandra Cazorla Valencia
C.I. 0604080044

Ricardo David Córdova Zurita
C.I. 1723001721

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos el apoyo incondicional por parte de nuestra tutora María Bertomeu y nuestro director de carrera Christiam Garzón, también a nuestros amigos que han estado presentes anímica y profesionalmente durante el desarrollo de este trabajo.

DEDICATORIA

Esta investigación va dedicada a mis padres y familia que me han brindado su apoyo incondicional durante este camino de formación profesional, también a aquellas personas que se han quedado conmigo en los buenos y malos momentos.

Marcela C.

DEDICATORIA

Este trabajo de titulación va dedicado especialmente a mis padres y abuelitos, quienes han estado incondicionalmente en los momentos más difíciles, dándome su apoyo y amor para salir adelante.

Ricardo C.

RESUMEN

Ecuador no presenta un registro o base de datos de los coeficientes de absorción de materia prima nacional, por lo que se decidió llevar a cabo la caracterización de la absorción de 17 materiales con el método de tubo de *Kundt* basados bajo la Norma UNE-EN ISO 10534-2 “Determinación del coeficiente de absorción acústica y de la impedancia acústica en tubos de impedancia”.

Estos materiales podrían ser aplicados en el campo de la construcción para el acondicionamiento acústico, sin la necesidad de recurrir a la importación de materiales que pueden presentar características similares de absorción, lo cual se logrará a través de un análisis de resultados y comparación entre materiales caracterizados y los analizados en el presente trabajo de titulación.

Además, se proporcionará una base de datos de los materiales caracterizados, de tal modo que se pueda obtener las características de los materiales como: espesor, peso, coeficiente de absorción, junto a una descripción de los mismos.

Con el propósito de tener una idea más amplia de los resultados obtenidos, se llevará a cabo una comparación de los materiales caracterizados con sus pares similares o materiales que posean algún tipo de similitud, teniendo en cuenta las características antes mencionadas que influyen en la medición. Por otro lado, se realizará un cálculo estadístico de la desviación entre las dos bases de datos.

ABSTRACT

In Ecuador there is no record or database of the absorption coefficients of national raw material, so it was decided to carry out the characterization of the absorption of 17 materials with the *Kundt* tube method based on the Normative UNE-EN ISO 10534-2 "Determination of acoustic absorption coefficient and acoustic impedance in impedance tubes".

These materials could be applied in the field of construction for acoustic conditioning, without the need to appeal to the importation of materials that may have similar characteristics of absorption, which will be achieved through an analysis of results and comparison between characterized materials and those analyzed in the present titling work.

In addition, a database of the featured materials will be provided, in such a way that the characteristics of the materials can be obtained thickness, weight, absorption coefficient, together with a description of them.

With the purpose of have a broader idea of the results obtained, it will be carried out a comparison of the characterized materials with similar pairs and materials with some kind of similarity, taking into account main characteristics that influence the measurement. On the other hand, will be held a statistical calculation of the deviation between the two databases.

ÍNDICE

1. INTRODUCCION.....	1
1.1 Antecedentes	1
1.1.1 Alcance	3
1.1.2 Justificación.....	4
1.2 Objetivo General	5
1.3 Objetivos Específicos	5
1.4 Hipótesis.....	5
2. MARCO TEÓRICO	6
2.1 Conceptos técnicos	6
2.1.1 Aislamiento acústico	6
2.1.2 Acondicionamiento acústico.....	6
2.1.3 Fenómeno de la absorción acústica	6
2.1.3.1 Absorción sonora de un material.....	7
2.1.3.2 Coeficiente de absorción (α).....	8
2.1.3.3 Factor de transmisión sonora (τ).....	8
2.1.3.4 Impedancia acústica de materiales	8
2.1.3.5 Resistencia al flujo de aire.....	9
2.2 Clasificación de materiales absorbentes.....	10
2.3 Tubo de <i>Kundt</i> o Tubo de Impedancia	11
2.3.1 <i>Software</i> ACUPRO.....	12
2.3.1.1 Dispositivo de adquisición de datos (DAQ)	12
3. DESCRIPCIÓN DE LOS MATERIALES	12
3.1 Descripción de la situación actual	12
3.2 Investigación de materiales a caracterizar	13
3.2.1 Adobe	13

3.2.2 Ladrillo.....	14
3.2.3 Bloque.....	14
3.2.4 Placa de Yeso (Gypsum).....	15
3.2.5 Tatora.....	16
3.2.5 Estera.....	16
3.2.7 Paja Seca.....	17
3.2.8 Alfombra de lana de alpaca.....	17
3.2.9 Fibra de Cabuya.....	18
3.2.10 Fibra de Yute.....	19
3.2.11 Bambú (Tunda).....	19
3.2.12 Textiles reciclados.....	20
3.2.13 Tablero de fibra de densidad media (MDF).....	20
3.2.14 Corcho aglomerado.....	21
3.3 Recopilación de datos existentes.....	21
4. METODOLOGÍA.....	23
4.1 Procedimiento de medición y caracterización.....	23
4.2 Medios utilizados.....	29
4.3 Procedimiento del cálculo del coeficiente de absorción de los materiales en EXCEL.....	30
5. RESULTADOS Y COMPARACIÓN.....	31
5.1 Materiales y sus características.....	31
5.2 Descripción de resultados.....	33
5.2.1 PAJA.....	33
5.2.2 TOTORA.....	34
5.2.3 ESTERA.....	35
5.2.4 FIBRA DE CABUYA.....	36
5.2.5 FIBRA DE YUTE.....	37
5.2.6 LADRILLO.....	38

5.2.7	LADRILLO ENLUCIDO	39
5.2.8	ADOBE	40
5.2.9	ADOBE PINTADO	41
5.2.10	ALFOMBRA DE LANA DE ALPACA.....	42
5.2.11	TEXTIL RECICLADO	43
5.2.12	CORCHO DE 2.7mm	44
5.2.13	CORCHO DE 5mm	45
5.2.14	TUNDA.....	46
5.2.15	PLACA DE YESO	47
5.2.16	BLOQUE	48
5.2.17	TABLERO DE FIBRA DE DENSIDAD MEDIA (MDF).....	49
5.2.18	RESULTADOS GLOBALES.....	50
5.3	...Comparación entre los resultados obtenidos y base de datos.	52
5.3.1	Alfombra de lana de alpaca 23.1 mm Vs. Alfombra hilada 24 mm ...	52
5.3.2	Textil reciclado 10.3 mm Vs. Lana de roca 25mm y lana de vidrio 25 mm	53
5.3.3	Ladrillo Vs Ladrillo enlucido	54
5.3.4	Adobe Vs Ladrillo	54
5.3.5	Bloque Vs Hormigón ligero poroso	55
5.3.6	Cabuya 15 mm Vs fibra vegetal (estera).....	56
5.3.7	Yute 19.7 mm Vs Fibra vegetal (estera)	56
5.3.8	Totora 16.1 mm Vs Fibra vegetal (estera)	57
5.3.9	Estera 5.6 mm Vs Fibra vegetal (estera)	57
5.3.10	Corcho de 2mm y 5mm Vs Corcho 15mm	58
5.4	...Cálculo estadístico de la incertidumbre entre los dos datos....	58
5.4.1	Incertidumbre Adobe	59
5.4.2	Incertidumbre Adobe Pintado.....	60
5.4.3	Incertidumbre Ladrillo.....	60
5.4.4	Incertidumbre Ladrillo enlucido	61

5.4.5 Incertidumbre Bloque	61
5.4.6 Incertidumbre Placa de Yeso	62
5.4.7 Incertidumbre MDF	62
5.4.8 Incertidumbre Corcho 2mm.....	63
5.4.9 Incertidumbre Corcho 5mm.....	63
5.4.10 Incertidumbre Textil reciclado	64
5.4.11 Incertidumbre Alfombra de alpaca	64
5.4.12 Incertidumbre Tunda	65
5.4.13 Incertidumbre Totora.....	65
5.4.14 Incertidumbre Estera	66
5.4.15 Incertidumbre Cabuya.....	66
5.4.16 Incertidumbre Yute	67
5.4.17 Incertidumbre Paja	67
6. POSIBLES AMPLIACIONES DEL PROYECTO	68
6.1 Contribución en el mercado laboral.....	68
6.2 Implementación de los materiales analizados dentro del área de construcción	69
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	70
7.1 Conclusiones.....	70
7.2 Recomendaciones.....	71
REFERENCIAS	73
ANEXOS	75

1. INTRODUCCION

1.1 Antecedentes

En las últimas décadas, América Latina se ha encontrado inmersa en la experimentación y variaciones de su perfil demográfico, lo que ha conllevado a consecuencias dentro de la gestión y planeación de servicios sociales. La temática de la vivienda vincula una alta inequidad social y una falta de atención hacia las necesidades de la población.

Se pueden establecer cinco categorías de necesidades, las cuales se encuentran organizadas en dos bloques, ubicándolas en una escala ascendente en secuencia creciente y acumulativa de lo más objetivo a lo más subjetivo. Los individuos deberán ir cubriendo las necesidades desde los niveles más bajos (necesidades objetivas) para satisfacer las necesidades superiores (necesidades subjetivas) (Maslow, 1943).

En el primer bloque se propone tres tipos de necesidades, en el segundo bloque se propone *meta necesidades* que sugieren aspectos de carácter psicológico, individualista y subjetivo:

1. **Necesidades fisiológicas.** Necesidades básicas que requieren elementos materiales para su satisfacción, y cuya ausencia amenaza la supervivencia humana. Observando desde un aspecto arquitectónico, hablamos de una vivienda de infraestructura mínima para cumplir actividades fisiológicas básicas en un espacio.
2. **Necesidades de salud y seguridad.** Una vez que se obtenga una vivienda dentro de un hábitat apropiado para habitar, se debería acceder a una vida segura, ordenada, ausente de peligros que atenten a la propia integridad y a la familiar.
3. **Necesidades sociales.** Hace referencia a ser reconocido y reconocer a los demás, sintiéndose parte de un grupo, dentro de un ambiente urbano que haga posible el contacto humano, sociabilidad, amistad e integración de las personas.

Calidad de vida y habitabilidad urbana

Al hablar de habitabilidad se remite a la calidad de vida, asociando fenómenos globales y de crecimiento económico (Clarke, 1977), nivel de vida, bienestar (Dasgupta, 1988), expansión demográfica (Lassonde, 1997), la vida en las ciudades (Velásquez, editor: 1988), participación social y comunitaria, práctica de vida saludable, espiritualidad, búsqueda de satisfacción y felicidad o necesidades individuales.

Aristóteles proponía que las acciones que cada individuo tome para la satisfacción de sus necesidades se deben expresar en logros cuantitativos y cualitativos. Con el concepto de calidad de vida y de habitabilidad surge el interés para mejorar la vivienda, ya que, gracias al aumento de la población, su déficit genera exigencia en la construcción.

Durante la última década, el uso de materiales fabricados a partir de metales, plásticos cerámicos, entre otros, ha ido disminuyendo a causa del cuidado del medio ambiente, por esta razón se han investigado nuevas formas, usos y procesados de materiales fabricados a partir de recursos naturales, por lo que las fibras naturales, gracias a su fácil procesamiento, disponibilidad, bajo peso, bajo costo, alta resistencia y biodegradabilidad, han presentado una excelente alternativa para muchas otras aplicaciones (Navacerreda, Díaz, González, 2013)

La creciente aparición de materiales enfocados a solucionar problemáticas acústicas, provienen de materiales reciclados como de industrias textiles y fibras naturales, además de ladrillo, adobe y bloque, a través del desarrollo de diferentes teorías y modelos matemáticos para la predicción del comportamiento acústico de estos materiales (Juliá, 2008), provocando una revolución en el campo de la construcción.

Los materiales típicamente empleados como absorbentes acústicos son los basados en fibras de vidrio, lanas de roca y foams (Maderuelo, Na., Ma., Cr., Pá., 2011), es así que el reciclado de productos como fibras o textiles fuera de uso es un asunto pendiente, particularmente importante en los países en vías

de crecimiento. Ecuador, teniendo una gran riqueza ecológica que se vincula a su tradición en el uso de fibras naturales y residuos orgánicos, los cuales se pueden emplear tanto para relleno, refuerzo o aislamiento en la construcción de viviendas (Roldán, Pé., Am., Ib., 2015), por otro lado, cabe recalcar que la variabilidad climática y nivel económico de los habitantes obliga al uso de materiales de construcción locales, muchos de ellos de bajo costo, amigables con el medio ambiente y reciclables.

Con anteriormente mencionado muchos investigadores han ido experimentando con diferentes materiales reciclados, de origen vegetal, aplicando procesos de menor impacto medioambiental y que cumplan con los mejores parámetros de absorción acústica. Para caracterizar los nuevos materiales, se suele elegir entre dos métodos: la medición directa con un tubo de impedancia o el modelado de este coeficiente utilizando modelos de propagación sonora en materiales (Othmani, Ta., Za., Ha., Da., El., Ha., 2017).

1.1.1 Alcance

El presente trabajo de titulación pretende caracterizar acústicamente materiales que se pueden encontrar en Ecuador tanto de forma natural, como la totora, bambú, fibras naturales, hasta los elaborados como: placa de yeso, ladrillo, bloque, adobe, mdf, estera, alfombras, entre otros, que se derivan de los materiales mencionados, centrándose esta investigación específicamente en el coeficiente de absorción de cada uno de los materiales en cuestión.

A través de la Norma UNE-EN ISO 10534-2: 2002 "Determinación del coeficiente de absorción acústica y de la impedancia acústica en tubos de impedancia", se pretende tener una guía de almacenamiento de coeficientes de absorción de los materiales propuestos para su uso posterior para el acondicionamiento dentro de la construcción, llegando a obtener información verídica de los materiales utilizados.

Cabe recalcar que se va a realizar una comparación de los materiales ecuatorianos y sus materiales comercializados de índoles semejantes, de tal

modo que tengamos una idea de la diferencia que existe con los valores de coeficientes de materiales caracterizados en otros países.

1.1.2 Justificación

Al ser un país que se encuentra en procesos de adaptación dentro de lo que es una ciudad inteligente: "... ciudad que aplica tecnologías de la información y de la comunicación para proveer una infraestructura que garantice desarrollo sostenible, incremento de la calidad de vida de los ciudadanos, mayor eficiencia de los recursos disponibles y participación ciudadana activa, en otras palabras ciudades sostenibles económica, social y medioambientalmente" (Endensa Educa, 2016), por lo que es importante que Ecuador se suma el concepto de ciudad inteligente, dando utilidad a ciertos materiales que no se aplican específicamente en el área constructiva, aplicándolos en aislamiento o acondicionamiento acústico. Por esta razón se ha decidido recolectar una lista significativa de materiales que se pueden encontrar en Ecuador o que se elaboren en este país, darles una caracterización de absorción acústica y de esta forma enfocarlos hacia una nueva línea de utilización, que ha futuro se pueden convertir en líneas de investigación empresarial, con lo que se pretende que Ecuador tenga una base de datos de materiales más sólida que ayuden al mejoramiento de la construcción en base a una mejor calidad de vida.

Otro punto que se debe destacar para la realización de esta investigación es que la mayoría de materiales utilizados para aislamiento y acondicionamiento acústico, son importados, muchos de estos con un costo elevado debido a los aranceles. Teniendo caracterizados los materiales de origen nacional se contribuirá a reducir costos de acondicionamiento acústico, ya que habrá disponibilidad de materiales de construcción nacional, reduciendo las necesidades de importación.

1.2 Objetivo General

Caracterizar la absorción acústica de materiales elaborados en Ecuador, a través de mediciones de impedancia en tubo de *Kundt*, para su posterior aplicación en el acondicionamiento y aislamiento acústico.

1.3 Objetivos Específicos

- Obtener las muestras de los materiales para su respectiva evaluación.
- Realizar la caracterización de las muestras bajo la metodología de tubo de *Kundt* y basados bajo la Norma UNE-EN ISO 10534-2 “Determinación del coeficiente de absorción acústica y de la impedancia acústica en tubos de impedancia”.
- Analizar estadísticamente los resultados que proporciona el *software* ACUPRO.
- Realizar una comparación entre los resultados obtenidos con sus pares similares.

1.4 Hipótesis

La caracterización acústica de materiales de Ecuador, nos permite obtener sus coeficientes de absorción para la elaboración de una base de datos y su aplicación al acondicionamiento acústico, dichos materiales no poseen los mismos coeficientes de absorción que los que han sido caracterizados en otros países, esto se debe a que sus propiedades físicas varían.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Conceptos técnicos

2.1.1 Aislamiento acústico

Se considera la técnica realizada para evitar la transmisión de ruido no deseado dentro de un recinto, dichas fuentes de ruido pueden estar ubicadas tanto en el interior como en el exterior de un recinto. Para poder contrarrestar el ruido y tomar una decisión, se debe conocer la naturaleza de la fuente emisora de ruido. El ruido afecta a los recintos principalmente por dos vías:

- Ruido aéreo: es la pérdida transmisión energética que se produce por la perturbación en el aire de las ondas sonoras generadas por el choque contra superficies.
- Ruido por impactos: es generado por golpes provocados en una superficie, debido a la rigidez de materiales de construcción, esta entra en vibración generando nuevos focos sonoros.

2.1.2 Acondicionamiento acústico

Es la técnica utilizada para lograr que el sonido emitido por una o varias fuentes sea irradiado con un grado máximo de difusión en todos los puntos de un recinto, de tal forma que se logre un campo difuso ideal. Dentro de los recintos cerrados, el objetivo es conseguir el equilibrio entre el sonido directo y el reverberado, lo que implica que las ondas reflejadas se minimicen, en donde la absorción de los materiales minimizará la reverberación o ecos que dificultan la ininteligibilidad de la palabra.

2.1.3 Fenómeno de la absorción acústica

La energía sonora, al chocar contra algún material absorbente, disminuye en comparación a un material sin tratamiento de absorción, por lo que la disipación de energía sonora se realiza a través de las pérdidas de energía. Parte de la energía se refleja, mientras que la restante se transmite al segundo medio, pero una porción de la transmitida al segundo medio se transforma por diferentes mecanismos en energía calorífica o movimiento, denominando a

este proceso como absorción acústica.

La energía total incidente (E_i) se puede calcular de la siguiente forma:

$$E_i = E_a + E_r + E_t \quad (\text{Ecuación 1})$$

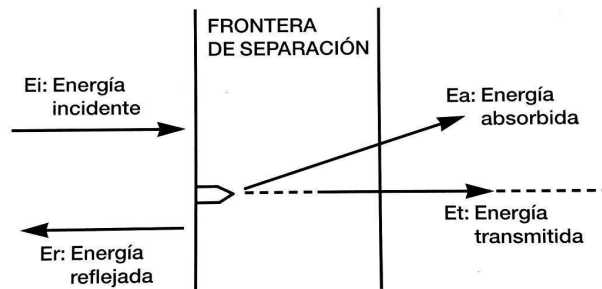


Figura 1. Proceso de absorción en el balance energético
Tomado de Arau, H., 1999, 175.

Donde:

E_a = es la energía absorbida

E_r = es la energía reflejada

E_t = es la energía transmitida

Al reemplazar la fórmula anterior obtenemos lo siguiente:

$$1 = \alpha + r + \tau \quad (\text{Ecuación 2})$$

Donde:

$\alpha = \frac{E_a}{E_i}$ = Coeficiente de absorción acústica

$r = \frac{E_r}{E_i}$ = Coeficiente de absorción acústica

$\tau = \frac{E_t}{E_i}$ = coeficiente de transmisión o de transmisividad

2.1.3.1 Absorción sonora de un material

Existen factores de relevancia dentro de este proceso de absorción acústica que se debe tener en cuenta:

- Los elementos que se caracterizan por su porosidad, fibras e hilos

pueden presentar ciertas irregularidades en la superficie del material.

- La presencia de entramados, los cuales pueden dar ciertos efectos de difracción de la onda sonora que va a incidir por accidentes superficiales del material.
- Entre fibras y el aire se puede dar un efecto de conductividad térmica.
- Existe una velocidad relativa causada por flujo de aire en donde incide la onda sonora, lo que causa un efecto de viscosidad o pérdida de energía sonora por el rozamiento en la fibra del material.

2.1.3.2 Coeficiente de absorción (α)

Se define como la relación entre la energía absorbida (disipada más transmitida) y la energía incidente (reflejada). El porcentaje de absorción de un material en un tanto a uno, por ejemplo, si tenemos un material que absorbe el 85%, quiere decir que su coeficiente de absorción es de 0.85, aplicando esta relación de tanto por uno, ya que matemáticamente sólo se puede dar valores entre 0 y 1.

2.1.3.3 Factor de transmisión sonora (τ)

Se lo puede describir como la relación que existe entre la potencia sonora transmitida y la incidente, al tener dos medios en perturbación por un movimiento vibratorio:

$$\tau = \frac{W_T}{W_i} \quad (\text{Ecuación 3})$$

Donde:

W_T es la potencia transmitida

W_i es la potencia incidente

2.1.3.4 Impedancia acústica de materiales

$$Z = \frac{P}{c} \quad (\text{Ecuación 4})$$

También puede ser expresada de la siguiente manera en el caso de ondas planas:

$$Z = \rho C \quad (\text{Ecuación 5})$$

Donde:

ρ = Masa volumétrica

C = Velocidad de propagación

2.1.3.5 Resistencia al flujo de aire

Este es un factor que nos permite conocer si un material es idóneo acústicamente o no, siendo la relación entre la impedancia acústica del material y la capacidad de absorción del mismo. Es decir, se tiene en cuenta la resistencia que el material presente frente al paso de aire por él, dicha resistencia va provocar un rozamiento entre las fibras del material y el aire, por lo que la energía se va a disipar entre la fibra y una zona estrecha de aire del material.

$$R = Re T \quad (\text{Ecuación 6})$$

$$R = \Delta p / u \quad (\text{Ecuación 7})$$

Donde:

Δp = es la caída de presión

T = es el espesor del material

u = es la velocidad del aire

$Re = \Delta p / Tu$ (MKS Rayls/m) es la resistencia específica

En este factor entra en juego la densidad del material, mientras esta sea mayor, mejor va a ser la absorción, así como también el espesor con un efecto importante dentro de la transmisión de sonido, mientras mayor sea el espacio ocupado por el material mayor será la pérdida de sonido, por lo que la atenuación de transmisión de sonido se elevará conforme a las características físicas de los materiales. Esto tiene un limitante, en ciertos casos con una gran densidad se producirá reflexiones.

2.2 Clasificación de materiales absorbentes

Se los puede clasificar en cuatro grupos:

- Materiales porosos flexibles y no flexibles: su absorción se debe a la viscosidad del aire, provocando una vibración interna de los poros del material, estimulando a la disipación de la energía en calor por la fricción entre el aire y el esqueleto flexible o no del material. Dentro de estos materiales podemos encontrar a los bloques de hormigón porosos, fieltros, lana de roca, fibra de vidrio, entre otros.

Los factores que juegan un rol dentro de este proceso de transformación son:

- Espesor del material
- Porosidad
- Frecuencia sonora
- Resistencia al flujo de aire
- Estructura del material

- Materiales flexibles de superficie no porosa e interior poroso: este proceso de absorción depende de toda la estructura del material, puesto que va a existir rozamiento tanto interno del aire en la cavidad porosa y en la superficie elástica, provocando un intercambio de calor entre los dos medios.

Los factores de este mecanismo de absorción son:

- Porosidad, rigidez y densidad del esqueleto
- Espesor de la capa flexible y densidad de la misma
- Resistencia al paso del flujo de aire
- Frecuencia de sonido

- Paneles ligeros o de membrana (Panel- aire- pared rígida): posee una frecuencia de resonancia que entra en sintonía a la onda sonora que incide en el material. su proceso de absorción se debe a la fricción interna del panel, energía cinética del movimiento de la placa y pérdidas de energía por el sistema de sujeción.

Los factores que juegan un rol en este proceso son:

- Masa del panel
 - Espesor de la cavidad de aire
 - Amortiguamiento por fricción
- Resonadores de *Helmholtz* múltiples: son láminas o placas perforadas, en cuyo interior pueden o no estar revestidos de algún tipo de material poroso. El proceso de absorción viene dado por el movimiento del panel pesado por la onda incidente, en las cavidades se va a dar una vibración del aire, además este sistema posee una frecuencia de resonancia que se puede controlar o variar según la profundidad de la cavidad, tamaño y forma de perforaciones.

Los factores que se deben tener en cuenta son:

- Geometría de las perforaciones
- Espesor de la lámina frontal
- Espesor de la cavidad de aire
- En caso de tener material poroso va a existir un efecto de disipación

2.3 Tubo de *Kundt* o Tubo de Impedancia

Instrumento creado por *August Kundt* en el que se podía visualizar las ondas sonoras en un tubo de vidrio. En principio se utilizó para estudiar ondas estacionarias, determinando la velocidad del sonido. Ahora este instrumento es más utilizado para la determinación del coeficiente de absorción e impedancia acústica de materiales, en la que se ubican pequeñas muestras sobre las que el sonido incidirá perpendicularmente. Debido a que el tamaño del porta muestras es pequeño, este solamente deberá ser utilizado con materiales porosos y paneles perforados absorbentes. En el caso de los absorbentes de membrana, resonadores de *Helmholtz* simples se deberá utilizar otra técnica para la medición del coeficiente de absorción ya que estos dependen de su tamaño.

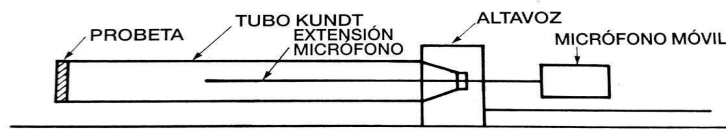


Figura 2. Esquema del tubo de Kundt
Tomado de Arau, H., 1999, 189.

2.3.1 Software ACUPRO

Realiza la implementación de normas internacionales, ISO 10534-2 Y ASTM E-1050-98, los cuales realizan un análisis para obtener la impedancia y la absorción de materiales empleando un tubo de *kundt* con dos micrófonos. El software facilita controlar los procesos que se mencionan en las normas mencionadas. Con una interfaz amigable de usuario, la cual provee un módulo de caracterización acústica, en la que se obtienen coeficientes de absorción, coeficiente complejo de reflexión impedancia superficial compleja y admitancia superficial compleja. Además, aplica correcciones de fase y amplitud de los micrófonos, así como la corrección de la absorción latente del tubo (Grupo Alava Ingenieros, 2017).

2.3.1.1 Dispositivo de adquisición de datos (DAQ)

Dispositivo que consiste en sensores, al que van conectados los elementos que conforman la manera de interpretación de datos en el tubo de *kundt*, gracias a su conexión a una PC con software programable, captando un fenómeno eléctrico como sonido.

3. DESCRIPCIÓN DE LOS MATERIALES

3.1 Descripción de la situación actual

En Ecuador, la descripción de las propiedades acústicas de los materiales que son utilizados para la construcción son proporcionadas desde otros países, por lo que no se posee un registro o base de datos de dichas propiedades acústicas de materiales elaborados o que se pueden obtener en el país. Obtener los coeficientes de absorción de materiales existentes en Ecuador podrían solventar la situación económica actual, contribuyendo a la mejora del

país a través de la exportación de los materiales a ser caracterizados, como proporcionar información para diseñadores acústicos.

Se debe destacar que una de las mayores ventajas que se tiene en el país es la abundante biodiversidad, es por esto que se desea aprovechar tales recursos como son las fibras naturales que están presentes en cada región, las cuales podrían tener un nuevo uso.

Como último punto, hacer uso de fibras en los últimos años ha tenido un pujante y tenaz crecimiento en la industria artesanal ecuatoriana, muchos empresarios expresan, es un negocio atractivo y con espacio para la innovación, a partir de esto y en conjunto con el concepto de ciudades inteligentes que año a año toma más relevancia, muchos sectores empresariales han apostado por la elaboración de nuevos materiales.

3.2 Investigación de materiales a caracterizar

Los materiales a caracterizar han sido elegidos cuidadosamente, teniendo en cuenta que Ecuador es un país rico en fibras naturales, con los que se elaboran artesanías, siendo de fácil acceso, de características físicas que dependerán del piso climático en el que se encuentren. Además, se tienen manos de obra que se han dedicado a la fabricación de diferentes tipos de materiales.

3.2.1 Adobe

Es un material aplicado en la construcción, utilizado sin una previa cocción, formado a partir de una masa de arcilla, arena y algunos materiales aditivos, el cual es secado al aire libre bajo el sol. En América, principalmente en la parte latina las casas de adobe son consideradas patrimonio de algunas familias humildes. Actualmente, algunos arquitectos siguen utilizando muros de adobe combinándolos con cimientos, columnas y losas de hormigón, siendo un material de fácil acceso y bajo costo, además de su gran resistividad a grandes pesos.

Este material consiste de aproximadamente del 20% arcilla y 80% arena, con la combinación de agua se convierte en una mezcla fluida, lo que permite colocarla en moldes de dimensiones consideradas como tradicionales.

La fabricación de este material es económica, pero la conservación de la

superficie de este no es fácil, ya que al ser arcilla el agua lo puede destruir con facilidad.



Figura 3. Adobe
Adaptado de Nvinoticias (s.f.)

3.2.2 Ladrillo

Este es un material común de construcción, el cual consiste en el adobe puesto a cocción en grandes hornos de leña, es decir, luego de que el adobe se ha secado por completo al aire libre y bajo el sol, lo cual dará la consistencia dura, siendo este un material a prueba de fuego, y teniendo una mayor resistividad al agua, por lo que la conservación de su superficie es mucho más fácil. Cabe recalcar que este por lo general es enlucido con capas de cemento, haciéndolo resistente tanto al agua como al fuego.



Figura 4. Ladrillo
Adaptado de Evisos (s.f.)

3.2.3 Bloque

Es un mampuesto prefabricado el cual está compuesto por una mezcla de agregados pétreos, arena, y cemento, donde su compactación es por un proceso vibratorio y la resistencia de ellos dependerá o estará sujeta a las normativas de cada país.

Ecuador posee la normativa NTE INEN 643 Bloques Huecos De Hormigón (Normas Técnicas Ecuatorianas, INEN, Quito), que únicamente lo toman en cuenta fabricantes a nivel industrial, mas no a los fabricantes artesanales, y aunque durante la última década ha habido un declive en la producción artesanal del mismo, aún existe un número considerable de fabricación de este tipo.

Para este trabajo de titulación se ha elegido el bloque de fabricación artesanal y se lo ha elegido debido a que su uso en la construcción en general es aún muy significativo ya que este tiene un bajo costo.



Figura 5. Bloque
Adaptado de Chutku (s.f.)

3.2.4 Placa de Yeso (Gypsum)

Consiste en una placa de yeso formado por un núcleo de roca de yeso hidratado, que consta en dos caras de celulosa resistente. “Cuando el sulfato de calcio desarrolla sus cristales entre las fibras del papel, se produce una unión muy fuerte de yeso con celulosa, lo que resulta ser un material ideal para la construcción” (Arquin S.A., 2008).

El Gypsum se aplica en diferentes campos de la construcción como diseño, remodelación de tumbados hasta divisiones de interiores y exteriores, siendo un material resistente que cumple con las normas de seguridad como la anti-humedad. Además, se puede colocar sobre estructuras de madera o metal, to para recubrir superficies de concreto o madera.



Figura 6. Placa de Yeso
Adaptado de Isolana (s.f.)

3.2.5 Tatora

Planta acuática, perteneciente a la familia de las ciperáceas, se la encuentra en esteros, lagunas y pantanos de América del Sur. La tatora es recurso natural que Ecuador presenta en gran cantidad, principalmente se encuentra en la zona andina. Los indígenas de estas zonas la aplicaban en diversas actividades, desde utensilios de cocina hasta embarcaciones para navegación.



Figura 7. Tatora
Adaptado de Mindenpictures (s.f.)

3.2.5 Estera

Es un producto derivado de la tatora, la cual era puesta a secar para tejerla posteriormente, consiste en alargados de tatora seca, gruesa y fuerte, tejida por manos indígenas, golpeada con una pequeña piedra de río, para que la unión sea más estable. En las orillas el remate se realiza al doblar los fillos que no han sido tejidos, sucesivamente hasta terminar todos los fillos, forman una orilla firme que no se deshace.

En la historia su utilización data en la época prehispánica, los indios de la

Comarca de Quito empleaban las esteras como cama de dormir y como mantel para poner alimentos.



Figura 8. Estera
Adaptado de Ecuadoracolors (s.f.)

3.2.7 Paja Seca

Es el tallo seco de algunos cereales como el trigo, la avena, el centeno, la cebada, el arroz, este es cortado y generalmente desechado una vez que se a separado el grano o la semilla de alguno de los productos anteriormente mencionados. Es utilizada para elaborar diferentes artesanías como cestos, entre otros. Los indígenas la utilizan para cubrir los techos de sus casas, como anteriormente se menciona en el abode es un aditivo que se introduce en su elaboración.



Figura 9. Paja seca
Adaptado de 123rf (s.f.)

3.2.8 Alfombra de lana de alpaca

En el cantón Guano, en la provincia de Chimborazo, Ecuador, se tejen alfombras de lana de borrego a mano por manos de los artesanos, muchas de ellas se encuentran en organismos internacionales como la Organización de las

Naciones Unidas (ONU), Organización de Estados Americanos (OEA), el Vaticano, casas, palacios presidenciales en varios países del mundo.

Su elaboración empieza en telares verticales de madera, tejiéndolas con herramientas rudimentarias, sobre urdiembres de algodón y con hilos de lana de diversos colores, rigiéndose en modelos previamente dibujados, logrando replicar pinturas hasta alfombras orientales. La lana de alpaca posee características más rígidas que otros tipos de lanas utilizados para la elaboración de alfombras.



Figura 10. Lana de alpaca
Adaptado de Cuscostores (s.f.)

3.2.9 Fibra de Cabuya

La cabuya es una planta típica de las vertientes occidentales andinas, el cual posee múltiples usos, fue una de las primeras fibras vegetales que se procesó para la manufactura de tejidos.

Esta fibra se caracteriza por ser dura, por lo que no es óptima para la fabricación de ropa, por lo que es común utilizarla para la fabricación de sogas, actualmente también se lo puede aplicar dentro de materiales para construcción.



Figura 11. Cabuya
Adaptado de Semana (s.f.)

3.2.10 Fibra de Yute

El yute se extrae de la corteza de la planta del yute blanco, siendo este una de las fibras naturales más largas, blanda y brillante, usada en diversas aplicaciones textiles. Estas fibras de yute se componen de celulosa y lignina, extrayéndose de forma biológica.

En los últimos años el Fondo Común para los Productos Básicos (FCPB) se encuentra desarrollando proyectos en *Bangladesh* con el fin de desarrollar y probar industrialmente compuestos termoplásticos reforzados con fibra de yute para diversos usos con el fin de reemplazar la fibra de vidrio y otros productos.



Figura 12. Yute

Adaptado de Deyute (s.f.)

3.2.11 Bambú (Tunda)

El Bambú es una de las plantas más versátiles por sus múltiples campos, incluyendo la construcción. Existen cerca de 280 tipos de bambúes nativos del Ecuador, como el carrizo (*Aulolemia longiaristata*), siksi (*Cortaderia*), la tunda (*Aulolemia queko*). Los bambúes se caracterizan por ser livianos y/o fuertes, flexibles, y resistentes a grandes esfuerzos físico-mecánicos, por lo que se está investigando su resistencia sísmica, cabe recalcar que absorbe sonido, resiste altas temperaturas, y cuenta con grandes cualidades estéticas.



Figura 13. Tunda

Adaptado de Pinterest (s.f.)

3.2.12 Textiles reciclados

Los residuos de textiles pueden ser utilizados en la elaboración de nueva materia prima, mediante su clasificación para después desmontarla e hilarla de nuevo.

El material textil reciclado se puede clasificar en:

- Post-industriales: son subproductos de tejidos para la fabricación y venta de productos textiles.
- Post-consumo: provienen de vestimentas, artículos textiles de hogar y productos textiles de uso específico como los borradores de tiza líquida.



Figura 14. Textil reciclado
Tomado de Compraseficientes (s.f.)

3.2.13 Tablero de fibra de densidad media (MDF)

Sus siglas en inglés significan “*médium density fibreboard*”, material elaborado a base de fibras de madera, el MDF se construye a partir de un polvo de madera fino, pegando entre sí las fibras con resina o pegamento, posteriormente esto se somete a una compresión a altas temperaturas. No es apto su aplicación si se lo va a exponer a condiciones de humedad extrema, puesto que va a tener a hincharse. Se utiliza para elaboración de muebles funcionales o artísticos.



Figura 15. MDF
Tomado de Masisa (s.f.)

3.2.14 Corcho aglomerado

El corcho se deriva de la corteza de árbol de alcornoque, ésta los protege ante condiciones de clima extremas como sequía, altas temperaturas y hasta incendios, este se extrae cuando el árbol posee aproximadamente 25 años, dependiendo también de las condiciones climáticas de la etapa de crecimiento. Este árbol brinda un corcho de mejor calidad al cumplir los 45 años, puesto que la calidad de su suavidad mejora, cabe recalcar que se puede obtener corcho por más de dos siglos si el alcornoque se lo tiene bien cuidado. En Ecuador se lo encuentra en Ambato, en 1914 Augusto N. Martínez desde Chile trajo dos árboles para sembrarlos en su finca, de los cuales sólo uno se quedó en sus tierras.

Las láminas de corcho se las procesa mediante la recopilación del corcho de peor calidad hasta restos de láminas de buen corcho, posteriormente se las limpian, trituran y finalmente se prensan obteniendo un aglomerado de corcho. Presenta varios usos como material aislante, o en paneles acústicos o decorativos. Cabe recalcar que su fabricación no es ecológica, pues la regeneración de su corteza dura aproximadamente 9 años.



Figura 16. Corcho aglomerado
Adaptado de Curtidosnervion (s.f.)

3.3 Recopilación de datos existentes

La siguiente tabla representa los pares similares de nuestra investigación, materiales semejantes que se han implementado para su uso acústico en otros países. Además, lanas minerales cuya tendencia es ir desapareciendo por materiales de fabricación más sustentables y más inocuos, con el fin de poder realizar una comparación y lograr concluir cuáles podrían ser los factores predominantes para que exista diferencias entre la base de datos recopilada con nuestra investigación, en el caso de que existiera dicha diferencia.

Tabla 1.

Base de datos de coeficientes absorción de materiales

Material	125	250	500	1000	2000	4000
Corcho 15 mm	0.04	0.04	0.15	0.15	0.14	14
Vibra vegetal, estera	0.08	0.13	0.17	0.24	0.30	0.43
Alfombra tejida de lazos lana, 24 mm	0.10	0.16	0.11	0.30	0.50	0.47
Bloque de hormigón ligero poroso	0.36	0.44	0.31	0.29	0.39	0.25
Lana de vidrio 25mm	0.15	0.25	0.40	0.50	0.65	0.70
Madera aglomerada en panel	0.47	0.52	0.50	0.55	0.58	0.63
Lana de roca 25mm	0.10	0.40	0.65	0.70	0.75	0.80

4. METODOLOGÍA

4.1 Procedimiento de medición y caracterización

Para el desarrollo de la presente investigación acerca de la caracterización de la absorción acústica de materiales constructivos fabricados en Ecuador, se utilizará una metodología investigativa cuantitativa, ya que se realizarán mediciones de varias muestras pequeñas de cada material, seguido de la interpretación de los datos obtenidos, contrastándolas con sus pares similares.

Para la caracterización de la absorción acústica de materiales existen tres métodos principales: método de medida en tubo de *Kundt*, método de medición en cámara reverberante y medición en campo libre. El método de medida en tubos de *Kundt* es el que más se ha utilizado durante muchos años, ya que determina el coeficiente de absorción a partir de la impedancia superficial de un material bajo incidencia normal.

Según lo mencionado se realizará esta investigación en base de lo que establece la Norma UNE-EN ISO 10534-2: 2002 “Determinación del coeficiente de absorción acústica y de la impedancia acústica en tubos de impedancia”.

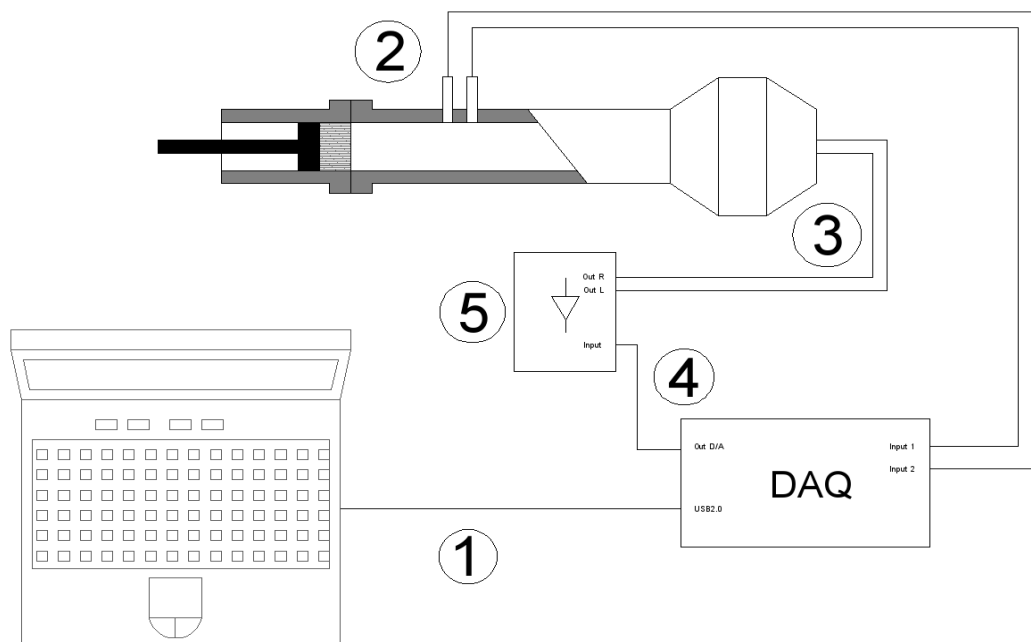


Figura 17. Cadena electroacústica para el funcionamiento del tubo de *Kundt*

Antes de comenzar con los ensayos, es de suma importancia el proceso de conexión de los componentes del tubo de *Kundt*, ya que va a depender de este proceso para que funcione con un estándar de calidad.

- El proceso de encendido comenzaría desde la conexión del dispositivo de adquisición de datos (DAQ (1)) con la computadora por medio de un cable USB 2.0.

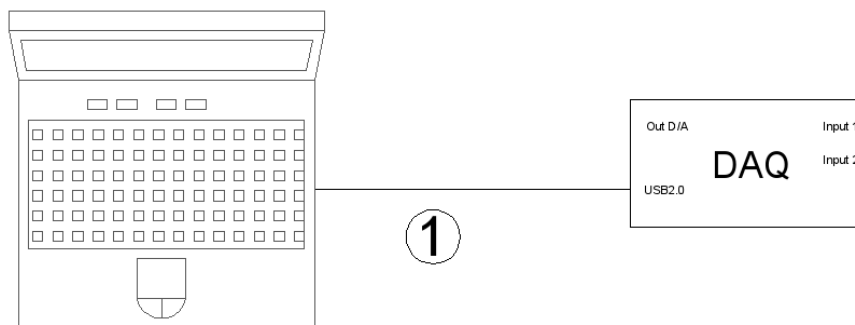


Figura 18. Conexión 1

- A continuación, se procede a la conexión de la (DAQ (1)), de los Output 1 y 2, se conectan a con los micrófonos (2).

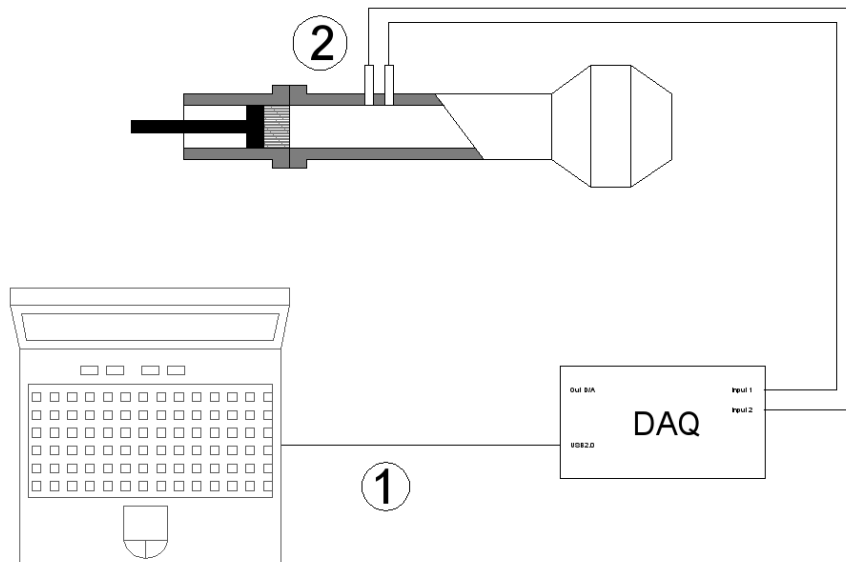


Figura 19. Conexión 2

- Posteriormente, de las salidas del amplificador, output L y R, se deberá conectar a las entradas del *driver* (3).

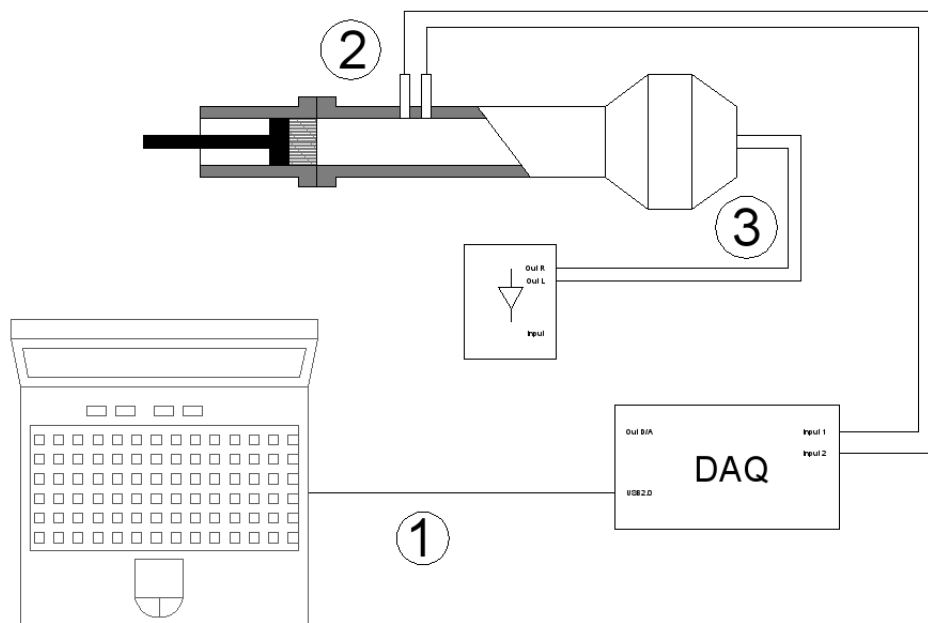


Figura 20. Conexión 3

- Por último, se conecta la DAQ (4) con el amplificador, del *output* D/A hacia el *input* del amplificador, para su posterior encendido (5), lo que ayudará a una mejor amplitud del ruido rosa generado por la DAQ.

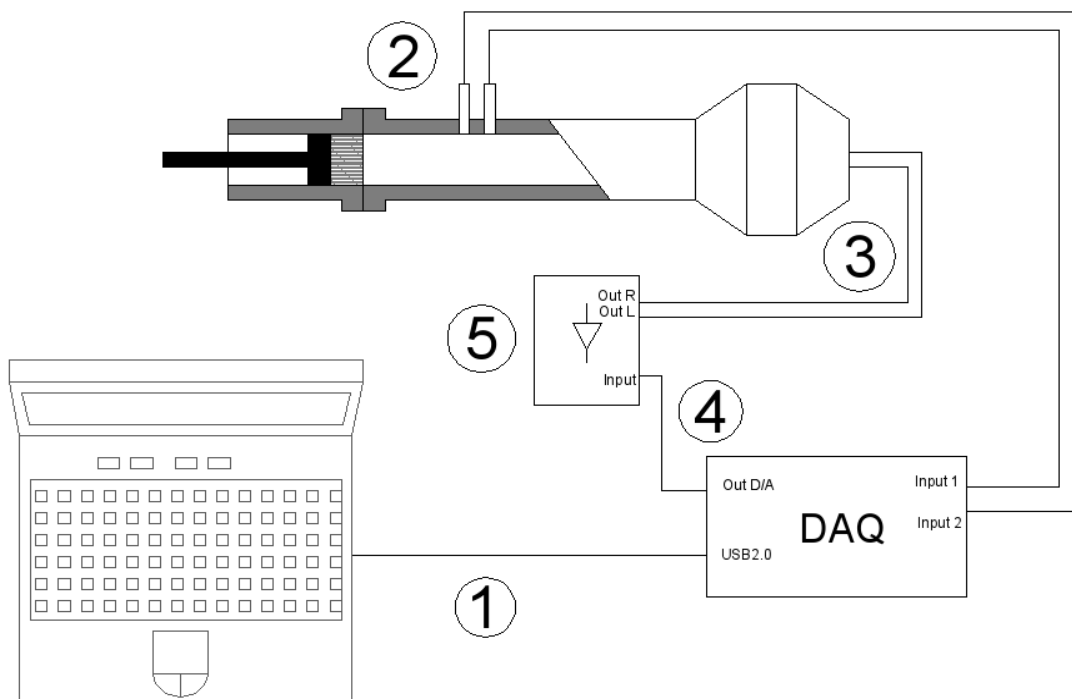


Figura 21. Conexión 4

Esta investigación se realizará bajo el uso del método de dos micrófonos. Previo a las mediciones se realizará la respectiva calibración antes de la medición de cada muestra, lo que consiste en la repetición de las mediciones con los canales intercambiados, esto con el fin de controlar diferencias que pueden existir en referencia a la amplitud y fase de los dos micrófonos.

- Primero nombraremos al micrófono que se encuentra más próximo al driver como el primero, por lo tanto, el que se encuentra más próximo a las muestras se lo determinará como el segundo.

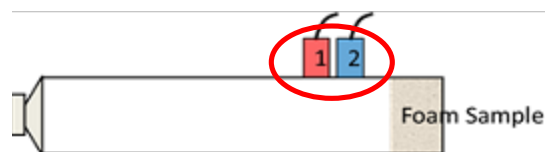


Figura 22. Posicionamiento principal de micrófonos en tubo de Kundt

- Para la primera calibración cada micrófono debe estar posicionado en su respectivo lugar. A través del *Software* ACUPRO se enviará la calibración número uno, la que consiste en emitir ruido rosa impulsivamente, hasta completar 100 muestras.

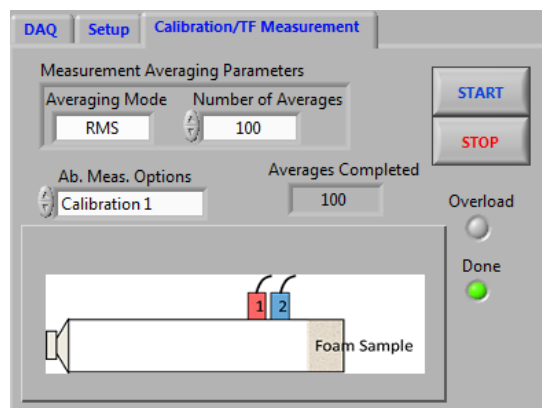


Figura 23. Calibración 1

- Luego se posicionan los micrófonos de tal modo que sus lugares queden intercambiados, es decir, el segundo micrófono en la primera posición y el primero en el lugar del segundo micrófono, lo que va a permitir mandar desde el *software* ACUPRO en modo calibración 2, el ruido rosa para realizar las comparaciones de fase respectivas.

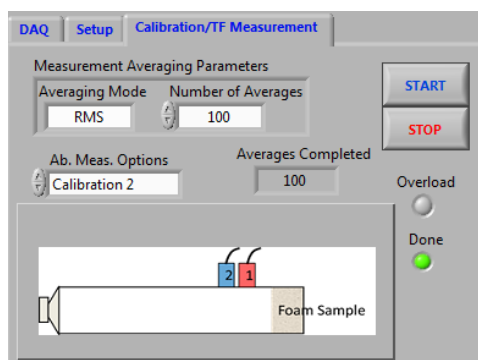


Figura 24. Calibración 2

Teniendo claro el procedimiento, se empleará para las mediciones de las muestras, aplicándolo cada vez que se va a cambiar el material del tubo, logrando tener un bajo porcentaje de incertidumbre.

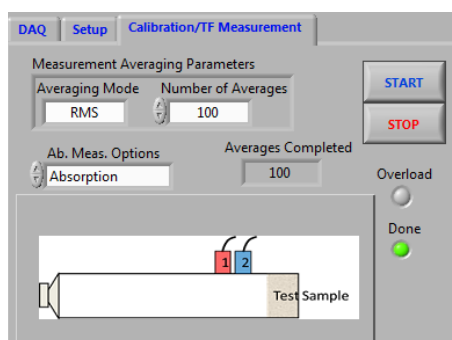


Figura 25. Inicio de medición del coeficiente de absorción

Una vez que se haya completado las 100 muestras se deberá seleccionar la opción de "Calculate" en el software para que éste nos de la información necesaria y seguidamente se deberá seleccionar la opción "Save" para que el software nos entregue un documento en Excel y en hoja de texto los valores en tercio de octava

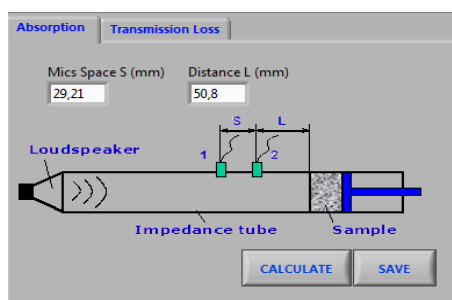


Figura 26. Recepción de datos del software ACUPRO

Se debe establecer el número de muestras por cada material a medir. En este caso de investigación en el que se van a utilizar varios materiales de superficies variadas, es recomendable realizar mediciones sucesivas utilizando las mismas condiciones de montaje. El número de muestras que se estableció para la caracterización de cada material fue de tres, es decir que si tenemos un material cualquiera se va a proceder a tener tres muestras de este, procurando que todas sean iguales o similares en todos sus aspectos, por lo que para cada muestra se deberá realizar tres mediciones, teniendo así un total de nueve mediciones por material, así se logra reducir la incertidumbre de las mediciones.

Para obtener los resultados de las mediciones se debe tener en consideración los siguientes puntos que podrían afectar a los resultados finales. A estos los hemos dividido en dos:

- Factores ambientales: los factores ambientales tales como el ruido de fondo y un lugar no aislado completamente para realizar las mediciones pueden hacer que dentro de las bajas frecuencias existiera un valor de incertidumbre más elevado, ya que los micrófonos de medición al ser muy sensibles captan ciertas frecuencias externas que contribuyen a que estos errores sean frecuentes, como frecuencias de los carros y ciertas vibraciones que generan un ruido no identificado.
- Factores del campo de trabajo:
 - Se debe tener en cuenta que la potencia con la que el ruido rosa será emitido por el driver no será lo suficientemente buena para poder enmascarar ciertas frecuencias ambientales que se podrían colar durante las mediciones, por lo que nos veremos en la necesidad de implementar un amplificador al *driver*, de tal modo que, al obtener mayor nivel de ruido rosa generado por el DAQ, los micrófonos de medición puedan captar de mejor manera las frecuencias que posiblemente darán error.
 - Otro factor que se deberá tener en consideración es el rango de frecuencias en los que se obtendrán los resultados, lo que implica tener cuidado con la longitud del tubo, cuestión que también

advierte el manual, las frecuencias con más errores podrían ser desde los 315 Hz hacia abajo, especialmente en la frecuencia de 200Hz, cuya longitud de onda es de 1.71m, longitud que el tubo no posee, por lo que muchas de las mediciones pueden resultar con un elevado e ilógico rango de error de un mismo material.

4.2 Medios utilizados

Tabla 2.

Especificaciones técnicas de equipos utilizados

Nº	Equipo	Marca/ Tipo	Características y Aplicaciones
2	Micrófonos de medición	Grass	<ul style="list-style-type: none"> • Dos de 1/2" (media pulgada). • Sensibilidad: 12mV/Pa a 250Hz • Respuesta de frecuencia a ± 1dB: 5Hz a 12.5 KHz • Respuesta de frecuencia a ± 2dB: 3.15Hz a 20KHz • Rango dinámico: de 25dBA a 150dB a 20μPa
1	Tubo de <i>Kundt</i>	SPECTRONICS	<ul style="list-style-type: none"> • Basado en las normas ISO 10534-2 y ASTM E1050-98 • Rango en frecuencia: 50Hz a 5700 Hz • Longitud total del tubo: 1.20 m
1	Altavoz	JBL2426J	<ul style="list-style-type: none"> • Nivel máximo presión sonora en el tubo: 150 dB • Potencia: 70 watts continuos a 800 Hz. • Potencia: 100 watts continuos sobre 1.2 kHz. • Sensibilidad: 107 dB SPL, 1W @ 1m.
1	DAQ		<ul style="list-style-type: none"> • Cuatro entradas para conexión de micrófonos. • Tarjeta de sonido que emite ruido rosa.

1	Amplificador	PYLE PTA2	<ul style="list-style-type: none"> ● Amplificador stereo ● Dos canales auxiliares ● 2 x 40 Watt Máximo a 4 Ohm ● Control Balanceado
3	Cables de conexión	BNC	<ul style="list-style-type: none"> ● Dos para la conexión de los micrófonos a la DAQ ● Uno para la conexión de la DAQ al amplificador
1	Cable de comunicación	USB 2.0	<ul style="list-style-type: none"> ● Para la interconexión de la DAQ a la PC.
1	<i>Laptop</i>	HP	<ul style="list-style-type: none"> ● Probook ● Core i5
1	<i>Software</i>	ACUPRO	<ul style="list-style-type: none"> ● Permite la corrección de fase y amplitud de micrófonos. ● Determinación del coeficiente de absorción sonora, coeficiente de reflexión compleja, impedancia superficial compleja.

4.3 Procedimiento del cálculo del coeficiente de absorción de los materiales en EXCEL

Para el cálculo del coeficiente de absorción de los materiales destinados a caracterizar nos hemos basado en la norma española UNE EN ISO 11654:1997 "Acústica. Absorbentes para su utilización en edificios. Evaluación de la absorción acústica (ISO 11654:1997)".

1. Se realiza el cálculo del coeficiente de absorción práctico (α_p), el cual depende de la frecuencia, medido en tercios de octava a través de un promediado de todos los resultados por banda de tercio de octava de las nueve mediciones para cada material a caracterizar, dejando un valor final con dos decimales.
2. Después se prosigue al cálculo del coeficiente de absorción ponderado (α_w) cuyo valor es uno solo, correspondiente al valor obtenido en 500

Hz de la curva de referencia desplazada, siguiendo los procedimientos que en la norma UNE EN ISO 11654 se especifica.

3. Finalmente se implementa indicadores de forma *low* (L), *medium* (M) y *high* (H), lo que va a dar paso a conocer en qué frecuencia los coeficientes de absorción acústica prácticos exceden la curva de referencia desplazada. Si el exceso de absorción corresponde a 250 Hz su indicador será L, si el exceso es a 500 Hz o 1000 Hz el indicador es M, mientras que si el exceso es a las frecuencias de 2000 Hz o 4000 Hz se denotará con H.
4. Una vez realizados los diferentes cálculos de los parámetros de interés se pueden mostrar resultados y gráficas de la investigación.

5. RESULTADOS Y COMPARACIÓN

5.1 Materiales y sus características

Tabla 3.

Características físicas de materiales medidos

	Materiales	Muestras Espesor (cm)	Muestras Peso (gr)	Densidad (gr/cm ³)
1	Paja	0,31	1,27	0,43
2	Cabuya	1,5	2,33	0,16
3	Yute	1,97	2,33	0,12
4	Totora	1,61	3,33	0,22
5	Estera	0,56	1,6	0,3
6	Tunda	0,27	0,6	0,23
7	Alfombra de alpaca	2,31	3,67	0,17
8	Textil reciclado	1,03	2,5	0,25
9	Corcho lámina delgada	0,27	0,6	0,23
10	Corcho lámina gruesa	0,5	1,33	0,28
11	Placa de yeso	1,18	5,67	0,5
12	MDF	0,56	4	0,75
13	Bloque	2,17	23	1,11
14	Ladrillo	2,2	28	1,33
15	Ladrillo enlucido	2,37	31,33	1,38
16	Adobe	2,37	31,33	1,388
17	Adobe pintado	2,38	31,67	1,39

Los materiales fueron adaptados al cortador de muestras proporcionado por los fabricantes del tubo de *Kundt*, de tal modo que éstas tengan las dimensiones necesarias para ser puestas dentro del tubo. A continuación, se hará una breve descripción del proceso en que se utilizó los materiales para las mediciones.

- La paja consta de dos capas una aglomerada en forma horizontal y una segunda en forma vertical.
- Las fibras de cabuya y yute se han aglomerado como esfera, colocando con silicona en la unión final para que esté bien sujeto el material de muestra.
- La estera consiste en la totora seca, por lo que ésta es tejida, al igual que la tunda que es un tipo de bambú al que se lo ha tejido.
- La totora se ha pegado de tal modo que se ha medido la parte porosa de su estructura.
- La alfombra de alpaca ha sido hilada a mano.
- El textil reciclado medido corresponde a las fibras con las que se construye los borradores de pizarra de tiza líquida.
- El bloque, ladrillo y adobe son materiales específicamente fabricados con la arcilla, tierra y demás componentes con los que cada uno es fabricado proveniente de la sierra de Ecuador y de forma artesanal.
- El gypsum corresponde a una fábrica de placas de yeso ecuatoriana, sin introducción de materiales importados, al igual que el MDF.
- Las láminas de corcho se consiguieron de fábricas que los manufacturaban con la corteza de árboles del país.
- Al ladrillo se lo enlució con una capa de cemento Holcim propio de Ecuador, añadiendo arena liviana y agua.
- Al adobe se lo pintó con cementina blanco y un poco de agua.

5.2 Descripción de resultados

5.2.1 PAJA

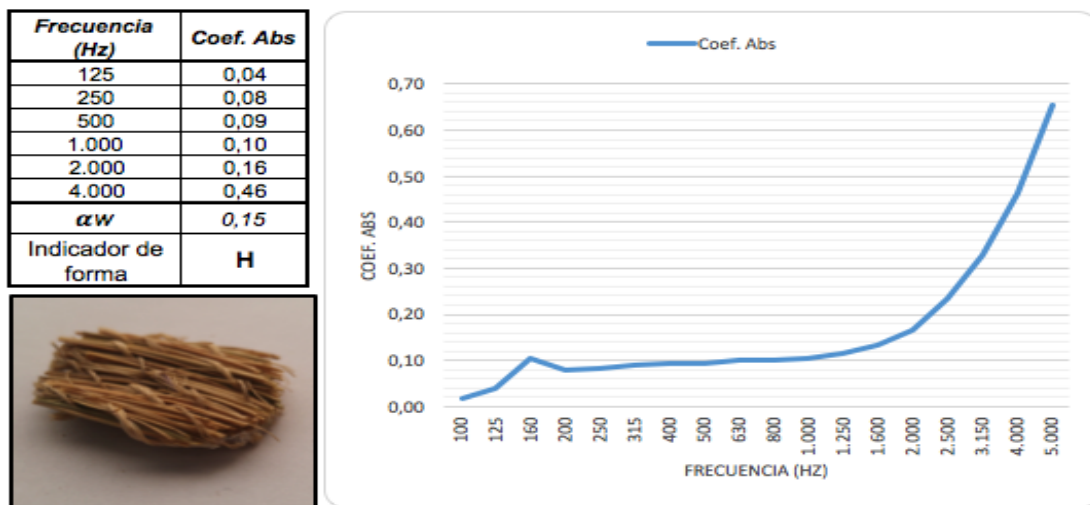


Figura 27. Coeficiente de absorción de paja

La paja al ser un material que posee baja densidad y/o espesor, lo que contribuye a que su comportamiento, donde todo el rango de frecuencias es malo con excepción de las bandas de 4000 Hz y 5000 Hz, pues su coeficiente de absorción es mejor. Esta afirmación también se la puede observar en el coeficiente global, donde su valor no es óptimo para la utilización dentro de aplicaciones acústicas en su uso simple. La pérdida de energía en este material se da por rozamiento, lo que convierte a la energía sonora en calor.

5.2.2 TOTORA

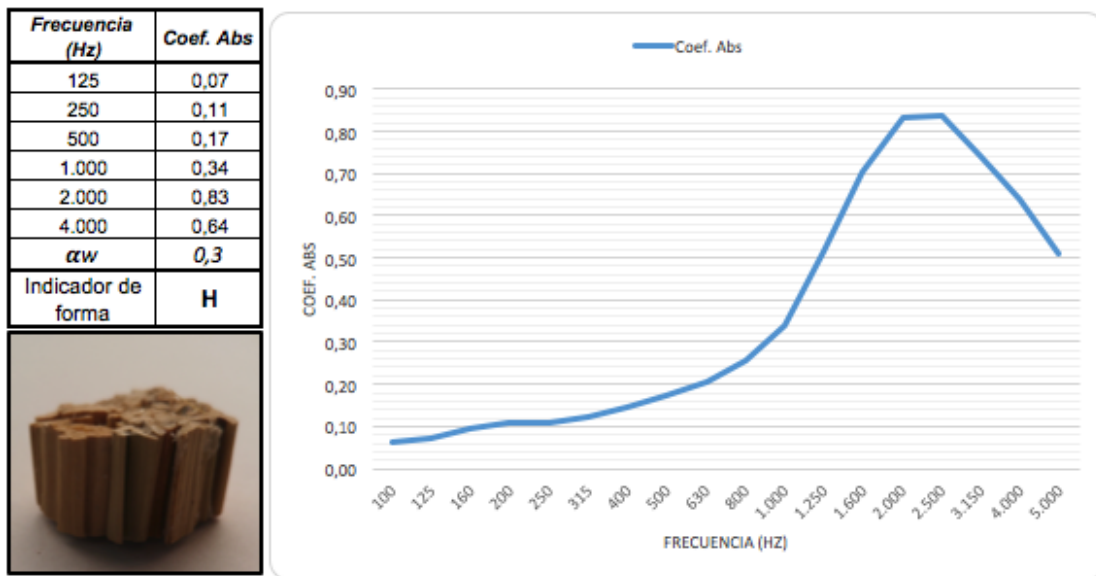


Figura 28. Coeficiente de absorción de totora

Debido a su espesor, peso que a simple vista posee esta fibra natural, se puede observar que su comportamiento a partir de 1000 Hz crece notablemente. Debido a que este material es muy poroso como se explica en el marco teórico en el comportamiento típico de este tipo de materiales, el comportamiento en medias y bajas frecuencias es muy bajo.

5.2.3 ESTERA

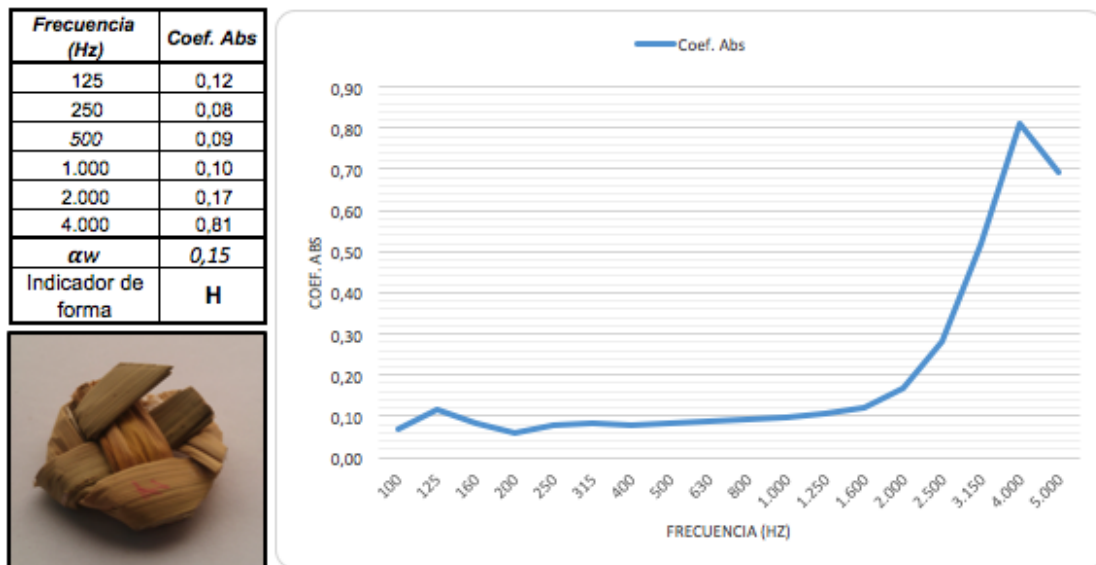


Figura 29. Coeficiente de absorción de estera

El comportamiento del coeficiente de absorción de la estera en todo el rango de frecuencias se mantiene casi constante, con excepción de las bandas desde 2500 Hz a 4000 Hz donde empieza una crecida en su curva de absorción, lo que se debe a sus características: espesor, peso y densidad, estas poseen valores bajos lo que hace que no pueda comportarse de forma óptima en todas las frecuencias, posee la misma particularidad que la paja.

5.2.4 FIBRA DE CABUYA

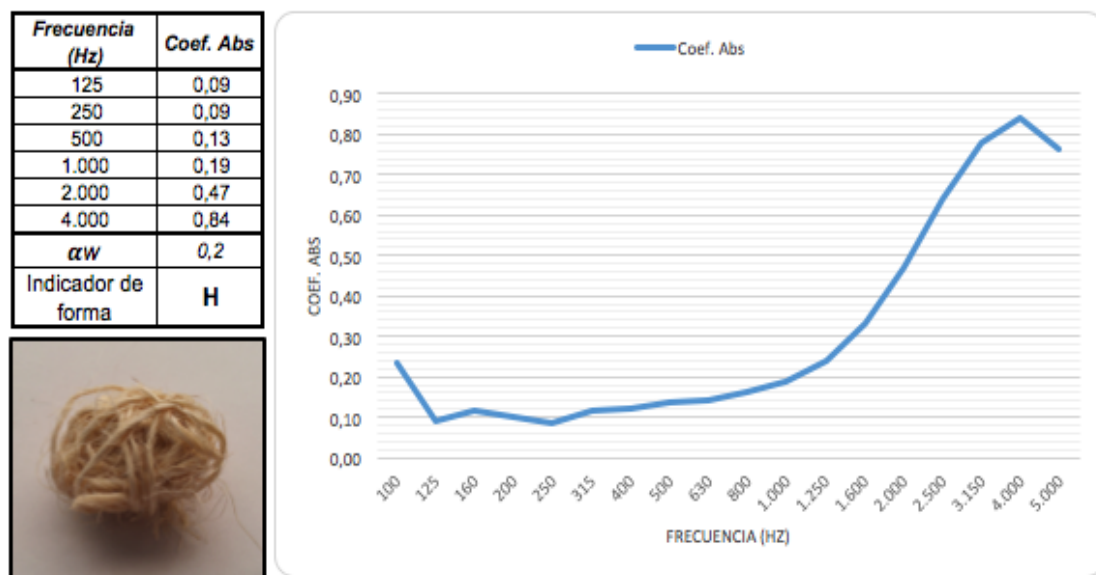


Figura 30. Coeficiente de absorción de cabuya

Esta fibra presenta una pequeña elevación de su coeficiente de absorción en 100Hz, decayendo a 125Hz, retomando una crecida en su coeficiente de absorción a partir de los 1000 Hz en adelante de una forma óptima, por lo general todos los materiales son buenos en absorción a altas frecuencias, por la longitud de onda que poseen este tipo de frecuencias. Presentando el típico comportamiento de las fibras, siendo más absorbentes a altas frecuencias por su porosidad y pérdida de energía por calor.

5.2.5 FIBRA DE YUTE

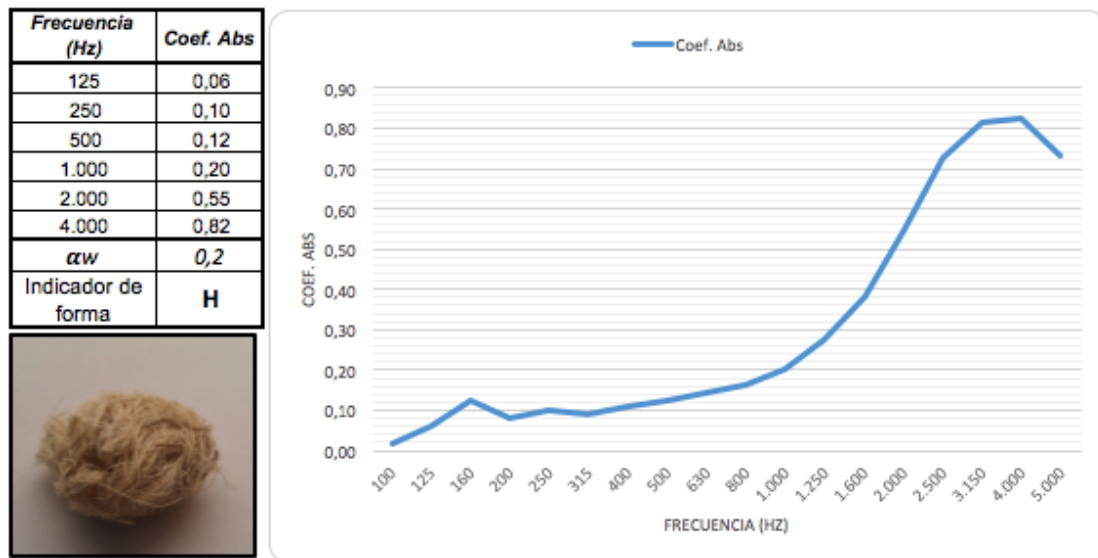


Figura 31. Coeficiente de absorción de yute

Esta fibra al contrario a la de cabuya presenta un valor muy bajo del coeficiente de absorción en 100Hz, pero al igual que la cabuya va retomando una crecida en su coeficiente de absorción a partir de los 1000 Hz en adelante de una forma óptima, siendo muy bueno en la absorción a altas frecuencias, por la longitud de onda que presentan estas frecuencias. Al ser una fibra presenta mayor absorción a altas frecuencias por sus características de porosidad con pérdida de energía por calor.

5.2.6 LADRILLO

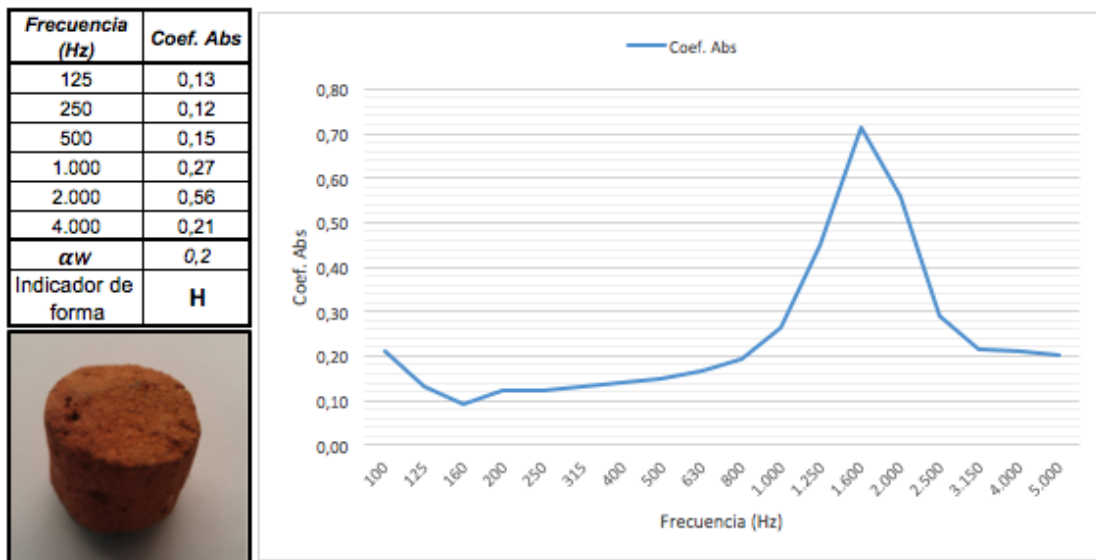


Figura 32. Coeficiente de absorción de ladrillo

Este es un material rígido, el cual por sus características de densidad y rigidez hace que la pérdida de energía sea por movimiento mas no por calor, presentando un pico de absorción de un ancho de banda limitado y pequeño como podemos observar en la gráfica, en donde inicia desde los 1000 Hz hasta los 2500 Hz.

5.2.7 LADRILLO ENLUCIDO

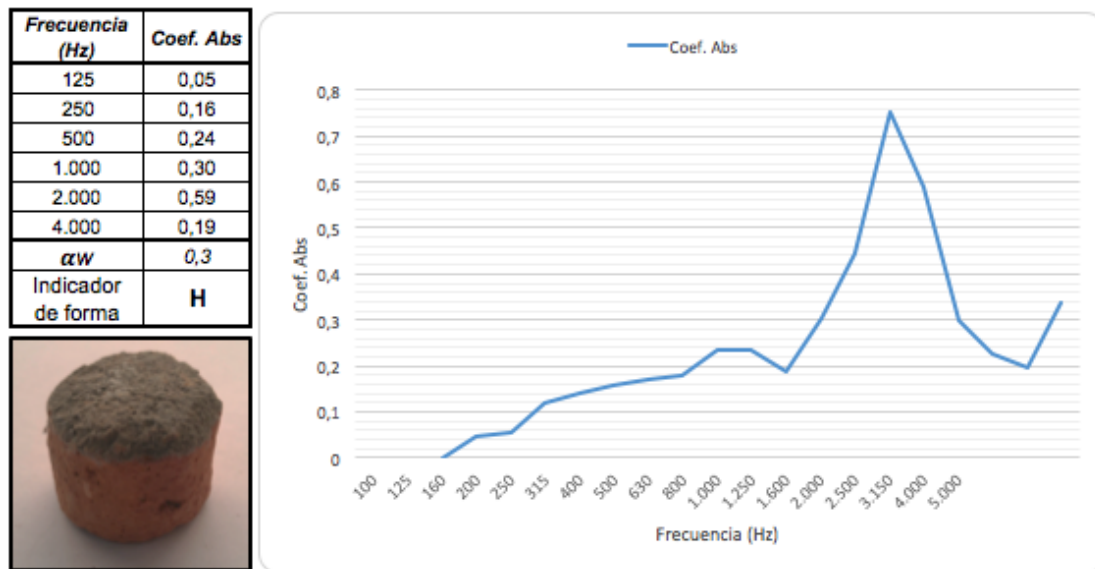


Figura 33. Coeficiente de absorción de ladrillo enlucido

Este sólo se lo ha enlucido con una ligera capa de cemento, que también tiene un comportamiento de pérdida de energía por movimiento, por lo que se presenta un pico de absorción de un ancho de banda limitado y pequeño como podemos observar en la gráfica, en donde inicia desde los 1600 Hz hasta los 5000 Hz, este caso su ancho de banda es más amplio ya que se han combinado dos materiales, mejorando en ciertas frecuencias la absorción que va a presentar.

5.2.8 ADOBE

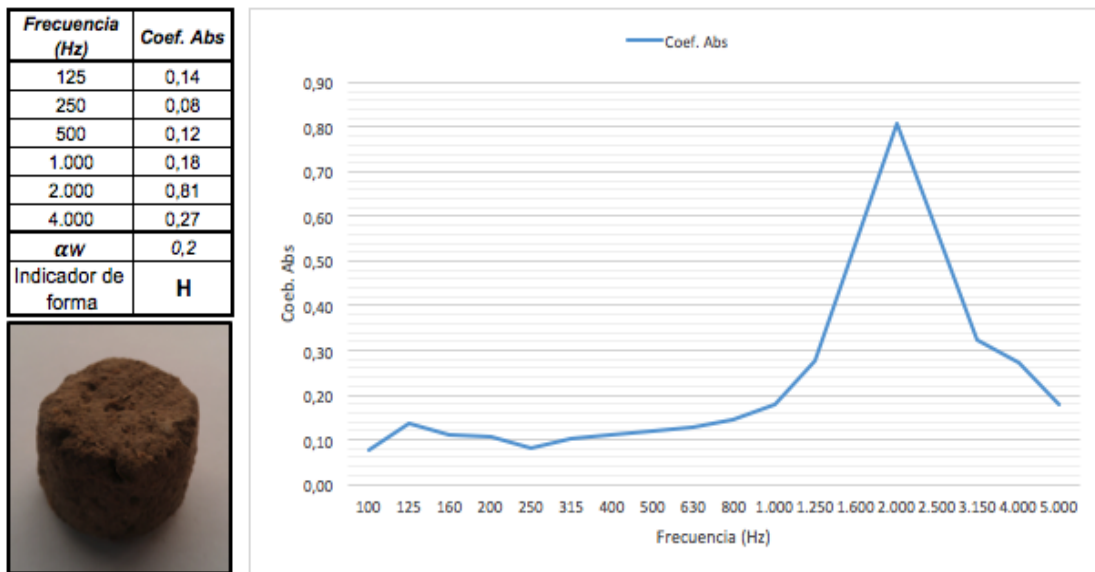


Figura 34. Coeficiente de absorción de adobe

Este presenta un comportamiento similar al ladrillo, pero con mayor absorción, puesto que es el ladrillo antes de ser puesto a cocción presentando pérdida de energía por movimiento gracias a su rigidez, con un pico de absorción de un ancho de banda limitado y pequeño como podemos observar en la gráfica, en donde inicia desde los 1250 Hz hasta los 3150 Hz, este caso la banda de frecuencia de absorción cambia por las características del material.

5.2.9 ADOBE PINTADO

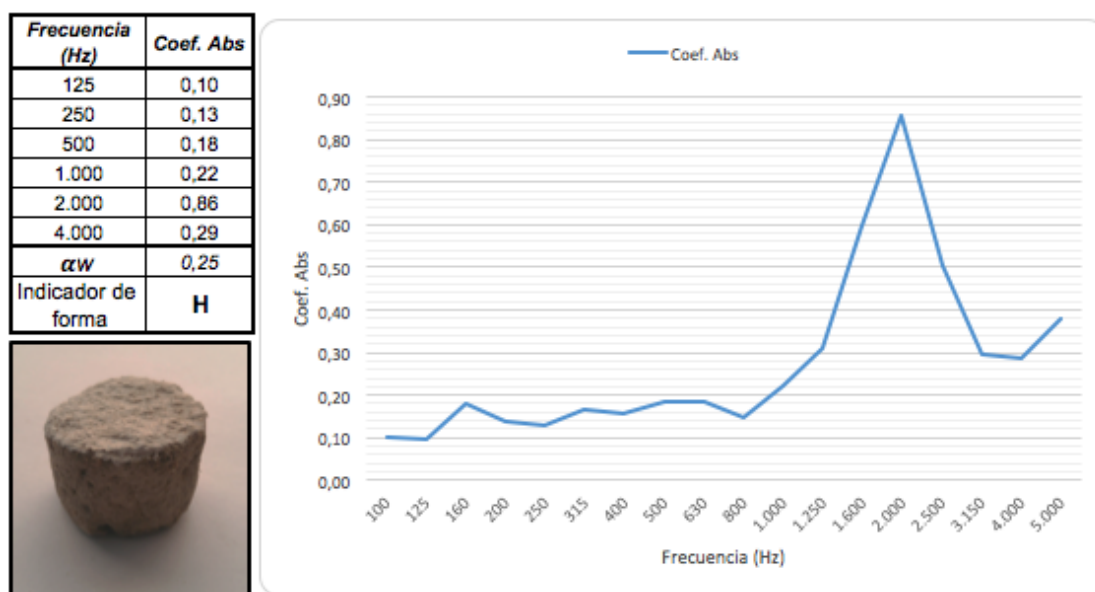


Figura 35. Coeficiente de absorción de adobe pintado

Es muy similar al Adobe sin pintar, ya que la capa de pintura a cubierto los poros del material, podemos apreciar una sutil subida en los coeficientes de absorción en las bajas frecuencias, apreciando un pico de absorción de un ancho de banda limitado y angosto como podemos observar en la gráfica, este inicia en los 1250 Hz hasta los 3150 Hz, conservando el mismo ancho de banda que el adobe normal.

5.2.10 ALFOMBRA DE LANA DE ALPACA

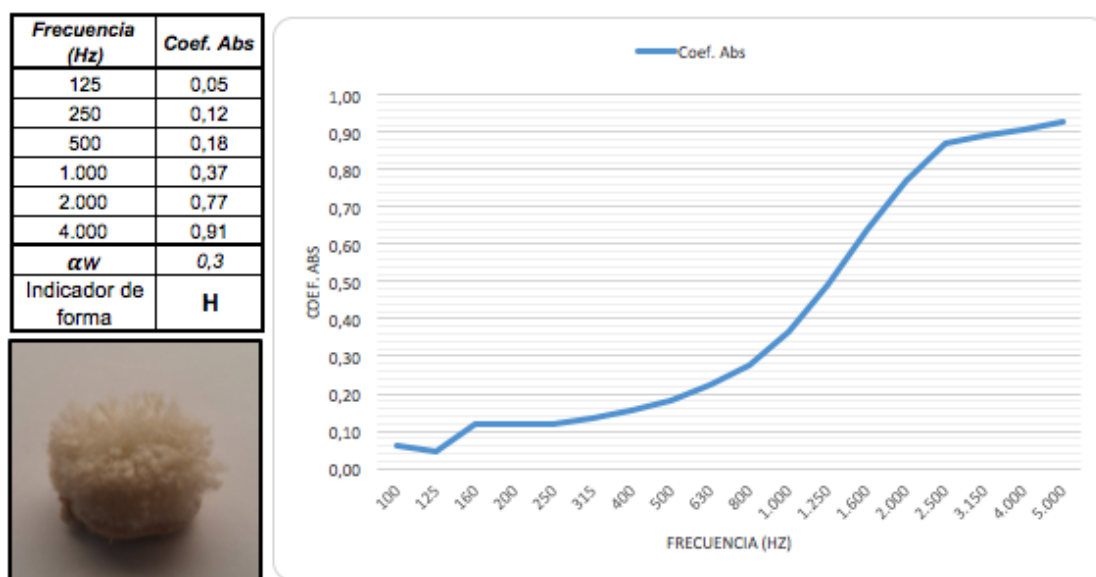


Figura 36. Coeficiente de absorción de alfombra de lana de alpaca

Esta alfombra tiene la característica de poseer un gran espesor, además que está compuesta de muchos trozos de lana, lo cual va a contribuir a una mayor absorción gracias a su forma de elaboración, presentando pérdida de energía por calor, es decir que al roce con las lanas que conforman la alfombra el sonido se va a ir atenuando. A partir de los 315 Hz podemos apreciar que el coeficiente absorción va a ir en creciente, llegando a una gran absorción de 0.91 en altas frecuencias, de casi 1 que vendría a ser la máxima absorción de un material.

5.2.11 TEXTIL RECICLADO

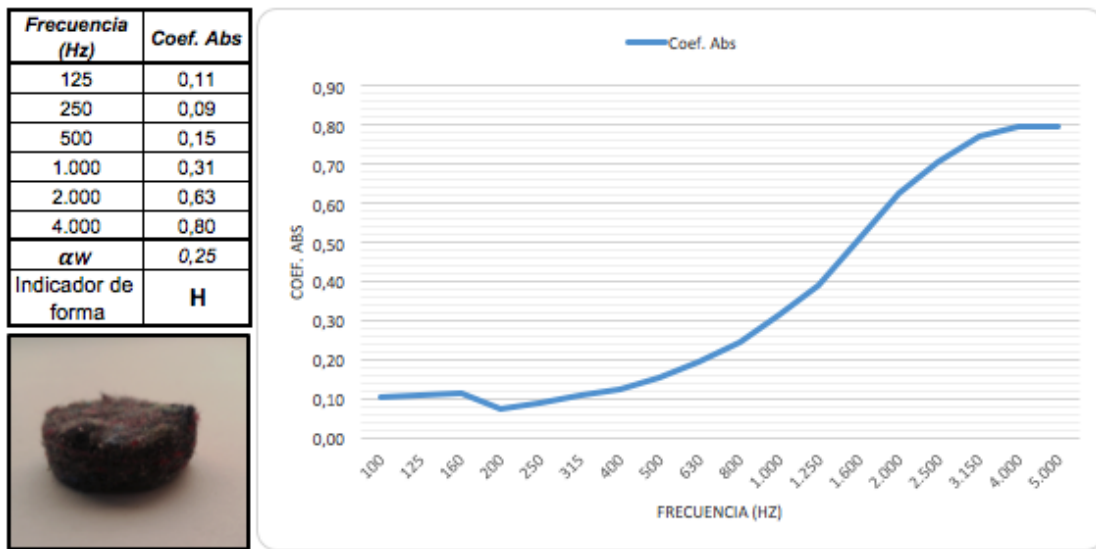


Figura 37. Coeficiente de absorción de textil reciclado

Compuesto por muchas fibras de textil reciclado, posee un espesor parecido al de la alfombra anteriormente nombrada, pero con mayor densidad, lo que va a contribuir a una mayor absorción de sonido a través de la pérdida de energía por calor. A partir de los 200 Hz podemos apreciar que el coeficiente de absorción va a ir en creciente, llegando a 0.80 una gran absorción en altas frecuencias un poco menos que la alfombra.

5.2.12 CORCHO DE 2.7mm

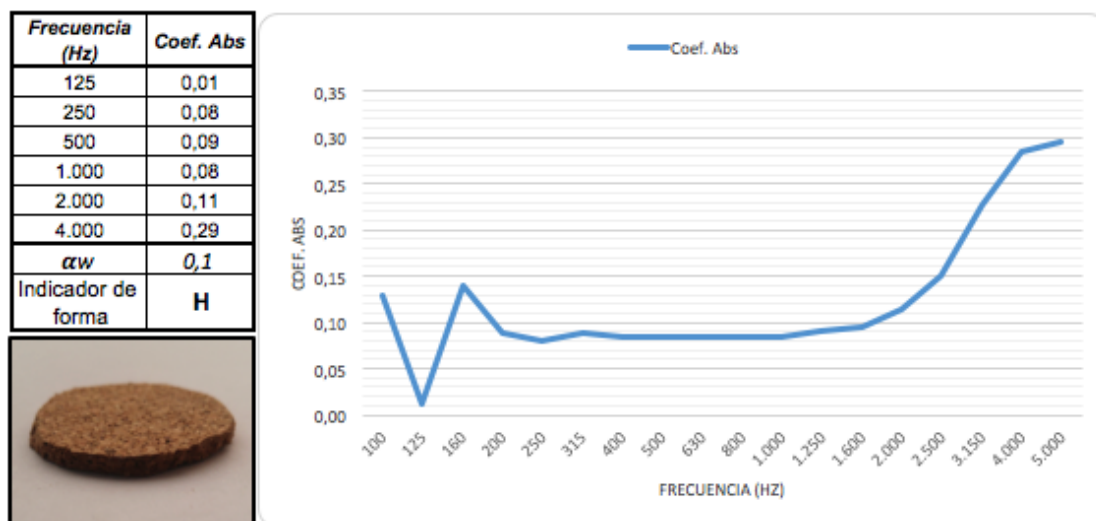


Figura 38. Coeficiente de absorción de corcho 2.7mm

Este material es flexible por el espesor que posee, el proceso de absorción depende de toda la estructura del material, por rozamiento tanto interno del aire en la cavidad porosa y en la superficie elástica, provocando un intercambio de calor entre los dos medios, presentando un pico de absorción de un ancho de banda limitado muy pequeño como podemos observar en la gráfica, de los 125 Hz a 200 Hz, manteniéndose casi constante desde los 200 Hz a los 2000 Hz en donde empieza a tener una creciente, presentando una mayor absorción en altas frecuencias.

5.2.13 CORCHO DE 5mm

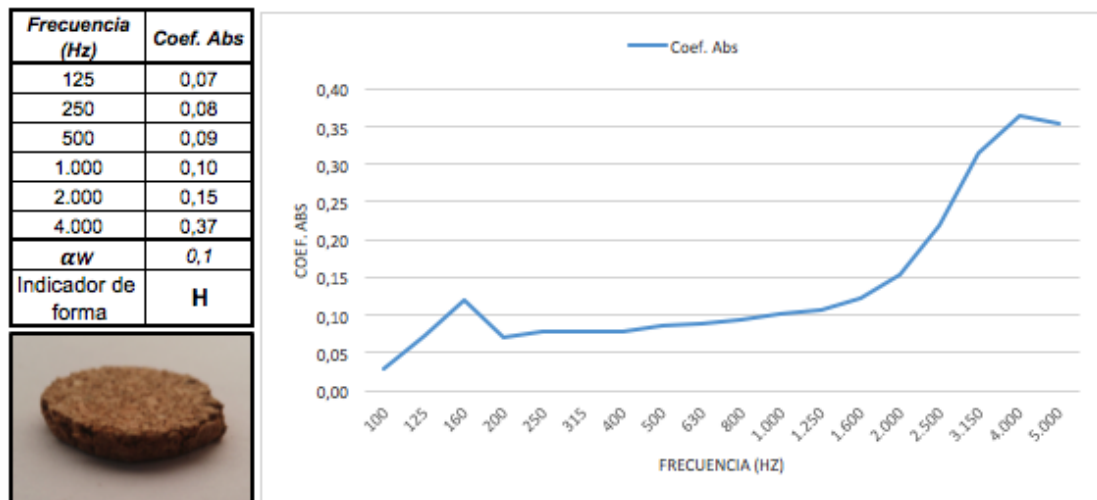


Figura 39. Coeficiente de absorción de corcho 5mm

Al igual que el corcho anterior es flexible, pero con el doble de espesor, presentando pérdida de energía por movimiento y rozamiento por su flexibilidad, con un pico de absorción de un ancho de banda limitado muy pequeño como podemos observar en la gráfica, de los 100 Hz a 200 Hz, manteniéndose casi constante desde los 200 Hz a los 2000 Hz en donde empieza a tener una creciente, presentando una mayor absorción en altas frecuencias.

5.2.14 TUNDA

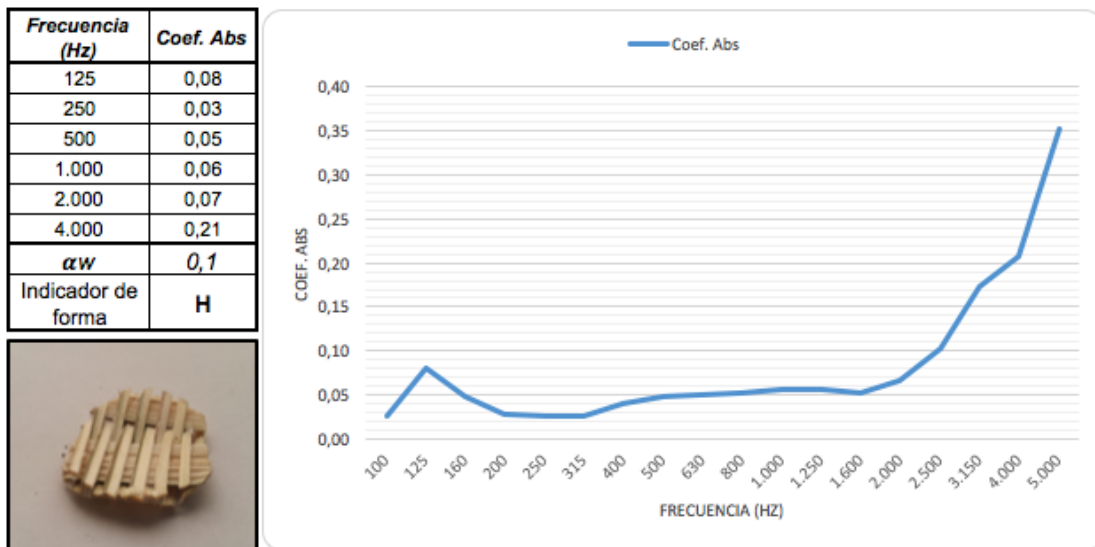


Figura 40. Coeficiente de absorción de tunda

De los materiales fibrosos que se ha analizado, este posee el menor coeficiente de absorción en todas las bandas frecuenciales, debido a que al estar entrelazadas las fibras y al ser estas muy delgadas, no poseen las cualidades físicas para que exista una buena absorción, lo que se puede mejorar aumentando su espesor y/o realizando una aglomeración más compacta. La pérdida de energía que se produce es en forma de calor no muy óptima debido a las características mencionadas.

5.2.15 PLACA DE YESO

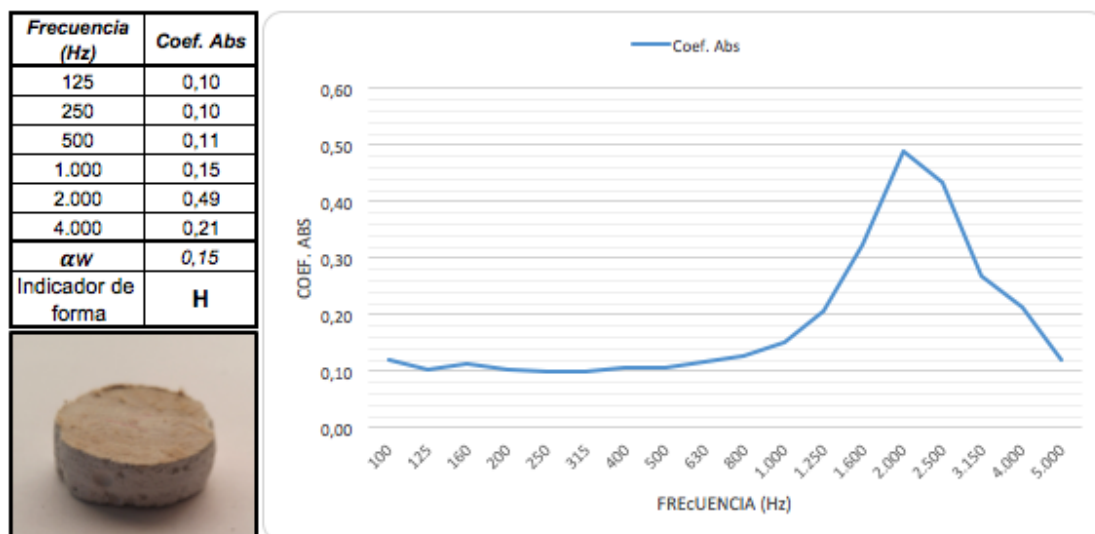


Figura 41. Coeficiente de absorción de placa de yeso

El gypsum es un material con características de densidad y rigidez que hacen que la pérdida de energía sea por movimiento mas no por calor, presentando un pico de absorción con un ancho de banda limitado como podemos observar en la gráfica, el cual inicia en 1000 Hz hasta los 5000 Hz.

5.2.16 BLOQUE

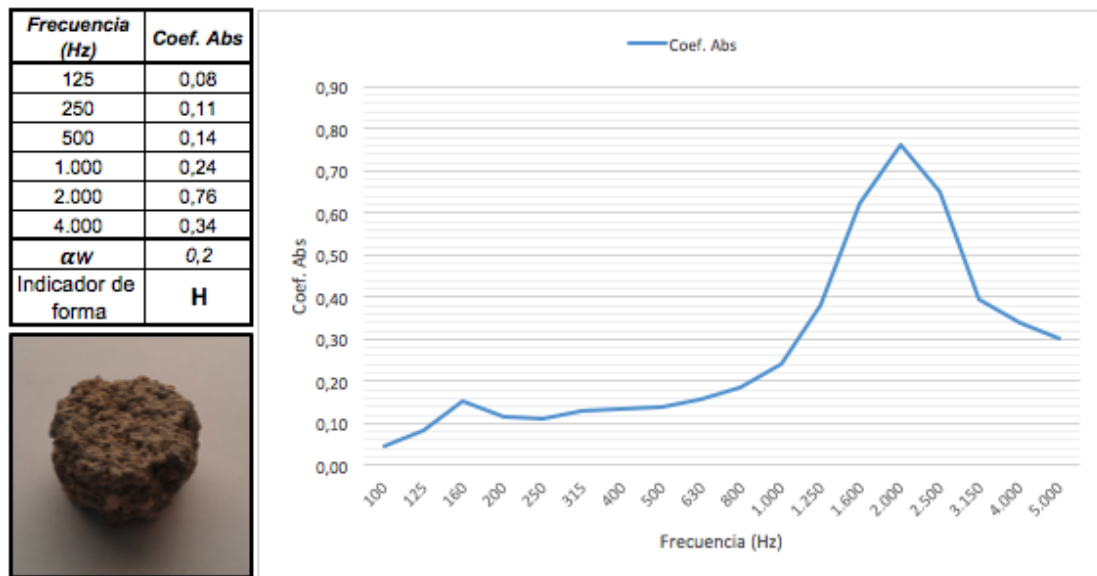


Figura 42. Coeficiente de absorción de bloque

El bloque presenta una gran rigidez, además de poseer una gran densidad y espesor, provocando una pérdida de energía por movimiento mas no por calor, presentando un pico de absorción con un ancho de banda limitado como podemos observar en la gráfica, el cual inicia en 1000 Hz hasta los 3150 Hz.

5.2.17 TABLERO DE FIBRA DE DENSIDAD MEDIA (MDF)

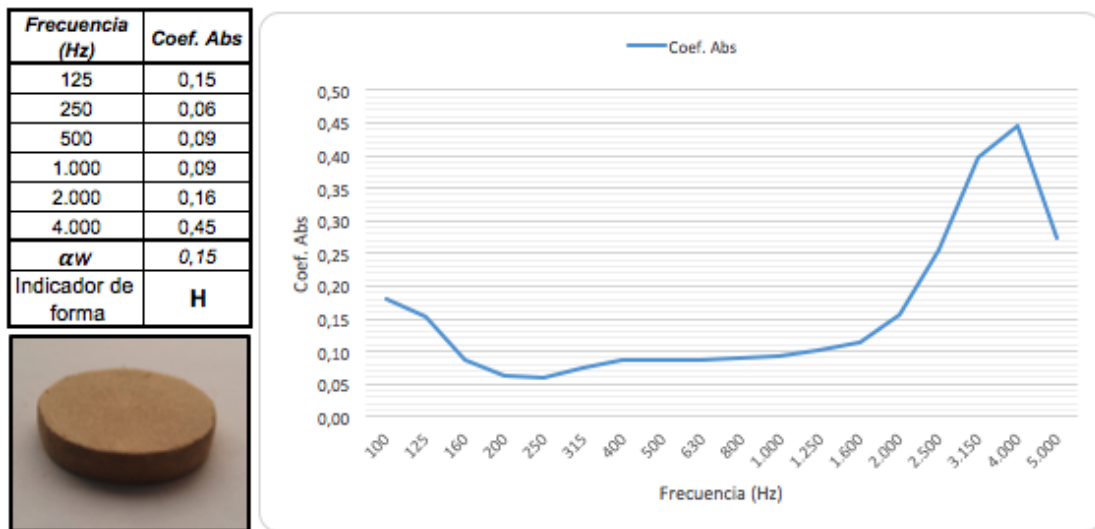


Figura 43. Coeficiente de absorción de MDF

El MDF también es un material rígido, por lo que también va a presentar pérdida de energía por movimiento, con un pico que va desde los 2000 Hz a 5000 Hz, a diferencia de los materiales rígidos anteriores presenta también una mejor absorción bajas frecuencias como podemos observar desde los 100 Hz a 160 Hz donde presenta la baja de coeficiente de absorción.

5.2.18 RESULTADOS GLOBALES

Tabla 4.

Coefficientes globales de absorción de los materiales medidos

Freq. Central (Hz)	COEFICIENTE DE ABSORCIÓN																
	Paja	Cabuya	Yute	Totora	Estera	Tunda	Alfombra de alpaca	Textil reciclado	Corcho delgado	Corcho grueso	Gypsum	MDF	Bloque	Ladrillo enlucido	Ladrillo	Adobe pintado	Adobe
100	0,02	0,23	0,02	0,06	0,07	0,03	0,06	0,10	0,13	0,03	0,12	0,18	0,05	0,21	0,04	0,08	0,10
125	0,04	0,09	0,06	0,07	0,12	0,08	0,05	0,11	0,01	0,07	0,10	0,15	0,08	0,13	0,05	0,14	0,10
160	0,10	0,12	0,12	0,10	0,08	0,05	0,12	0,11	0,14	0,12	0,11	0,09	0,15	0,09	0,12	0,11	0,18
200	0,08	0,10	0,08	0,11	0,06	0,03	0,12	0,07	0,09	0,07	0,10	0,06	0,12	0,12	0,14	0,11	0,14
250	0,08	0,09	0,10	0,11	0,08	0,03	0,12	0,09	0,08	0,08	0,10	0,06	0,11	0,12	0,16	0,08	0,13
315	0,09	0,12	0,09	0,12	0,08	0,03	0,14	0,11	0,09	0,08	0,10	0,07	0,13	0,13	0,17	0,10	0,16
400	0,09	0,12	0,11	0,15	0,08	0,04	0,15	0,12	0,08	0,08	0,11	0,09	0,13	0,14	0,18	0,11	0,15
500	0,09	0,13	0,12	0,17	0,09	0,05	0,18	0,15	0,09	0,09	0,11	0,09	0,14	0,15	0,24	0,12	0,18
630	0,10	0,14	0,14	0,21	0,09	0,05	0,22	0,19	0,08	0,09	0,12	0,09	0,16	0,17	0,23	0,13	0,18
800	0,10	0,16	0,16	0,25	0,09	0,05	0,28	0,25	0,08	0,09	0,13	0,09	0,18	0,20	0,19	0,14	0,15
1.000	0,10	0,19	0,20	0,34	0,10	0,06	0,37	0,31	0,08	0,10	0,15	0,09	0,24	0,27	0,30	0,18	0,22
1.250	0,12	0,24	0,27	0,51	0,10	0,06	0,49	0,39	0,09	0,11	0,21	0,10	0,38	0,45	0,44	0,28	0,31
1.600	0,13	0,33	0,38	0,70	0,12	0,05	0,64	0,51	0,10	0,12	0,32	0,11	0,62	0,71	0,75	0,54	0,60
2.000	0,16	0,47	0,55	0,83	0,17	0,07	0,77	0,63	0,11	0,15	0,49	0,16	0,76	0,56	0,59	0,81	0,86
2.500	0,24	0,64	0,73	0,84	0,28	0,10	0,87	0,70	0,15	0,22	0,44	0,26	0,65	0,29	0,30	0,56	0,51
3.150	0,33	0,78	0,81	0,74	0,52	0,17	0,89	0,77	0,23	0,31	0,27	0,40	0,40	0,21	0,23	0,33	0,30
4.000	0,46	0,84	0,82	0,64	0,81	0,21	0,91	0,80	0,29	0,37	0,21	0,45	0,34	0,21	0,19	0,27	0,29
5.000	0,65	0,77	0,73	0,51	0,69	0,35	0,93	0,80	0,30	0,35	0,12	0,27	0,30	0,20	0,34	0,18	0,38

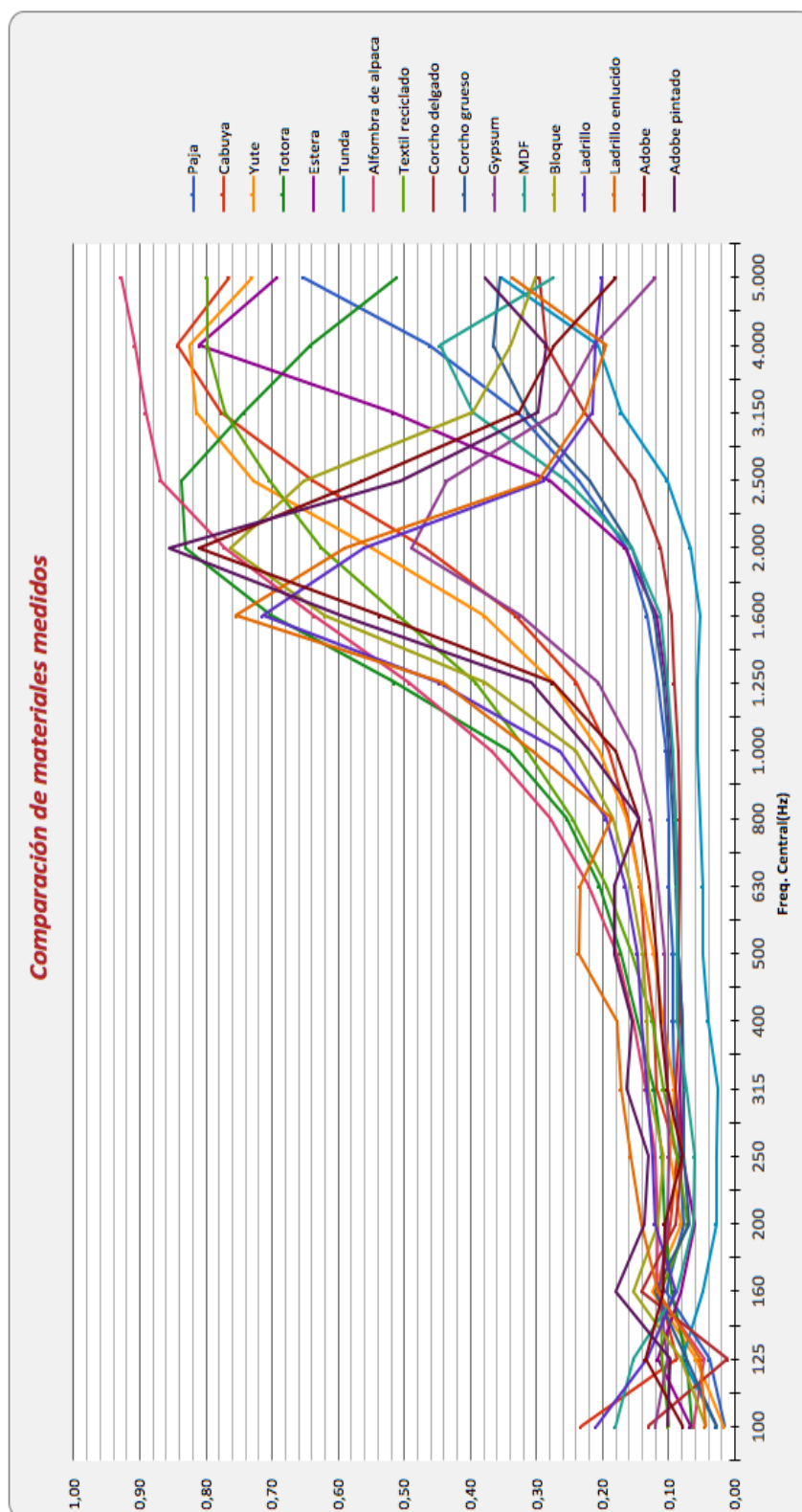


Figura 44. Gráfico de los coeficientes globales de absorción de los materiales medidos

Al obtener los resultados globales de los materiales medidos, se puede observar claramente que todos poseen un mejor comportamiento en altas frecuencias. Esto se debe principalmente a las características físicas de las muestras, espesor, densidad y porosidad, ya que como se fueron describiendo anteriormente estas no cumplían los requisitos necesarios para que puedan absorber en bajas frecuencias.

Para una frecuencia de 100Hz es necesario que la muestra por lo menos tenga 0.85 cm de espesor, lo que corresponde a $\lambda/4$. Además, se debe tener en cuenta la porosidad del material y a la par de su tortuosidad.

Según la gráfica global podemos identificar que la alfombra de lana de alpaca es la que presenta un mejor coeficiente de absorción, sin embargo, hay que dividir los materiales, ya que no todos son porosos, rígidos o flexibles. Es así que dentro de los materiales rígidos el que mejor coeficiente de absorción presenta es el adobe, mientras que en los fibrosos es el yute, en cuanto a los textiles como se mencionó es la alfombra y como es visible por su doble espesor dentro de los materiales flexibles, el corcho de 5mm es el que mejor comportamiento posee.

5.3 Comparación entre los resultados obtenidos y base de datos

5.3.1 Alfombra de lana de alpaca 23.1 mm Vs. Alfombra hilada 24 mm

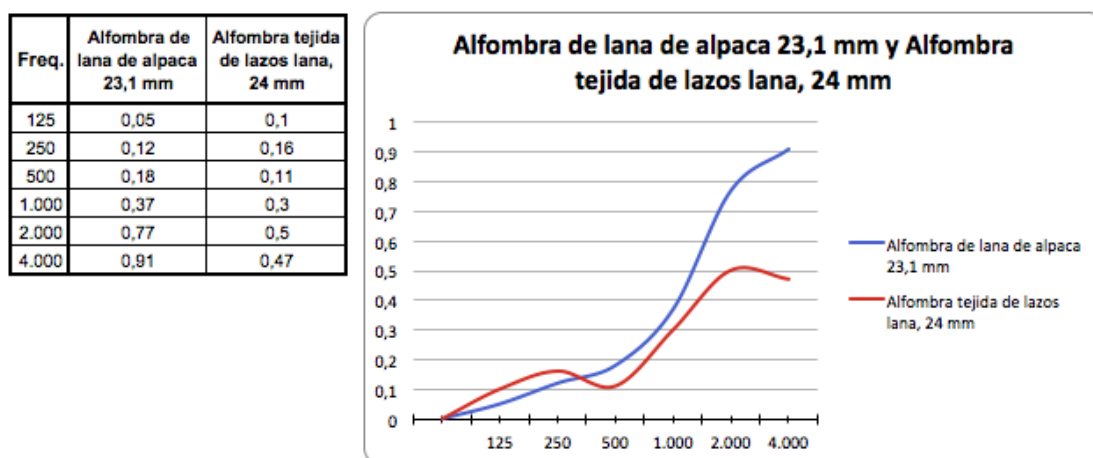


Figura 45. Comparación entre alfombra de lana de alpaca y alfombra hilada

La combinación de la alpaca con el hilo de la base de esta alfombra hace que la energía sonora pase por don diferentes medios de impedancia, por lo que el coeficiente absorción a a ser mejor, además de que esta es más fibrosa, sin embargo, en 125 Hz y 250 Hz aún es bajo el coeficiente de absorción a comparación de la alfombra que se comercializa, lo que se debe a las características físicas de esta alfombra, siendo una lana mucho más rígida.

5.3.2 Textil reciclado 10.3 mm Vs. Lana de roca 25mm y lana de vidrio 25 mm

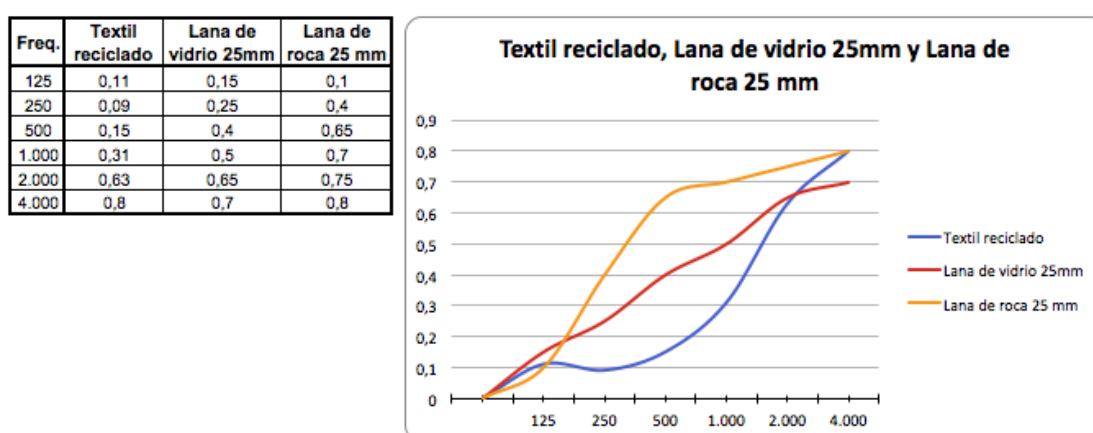


Figura 46. Comparación entre textil reciclado 10.3 mm, lana de roca 25mm y lana de vidrio 25 mm

La diferencia que podemos ver en la curva del coeficiente de absorción del textil reciclado caracterizado en nuestra investigación en comparación a la lana de vidrio y de roca es claramente por el espesor de nuestro material, por lo que si se aumenta su espesor se podría mejorar la curva de absorción en las frecuencias que no cubre el textil por el momento. Sin embargo con este espesor el textil reciclado es mucho mejor que la lana de roca a 125 Hz e igual a 4000 Hz, en cuanto a la lana de vidrio el textil reciclado es parecido a 125 Hz y mejor a los 4000 Hz.

5.3.3 Ladrillo Vs Ladrillo enlucido

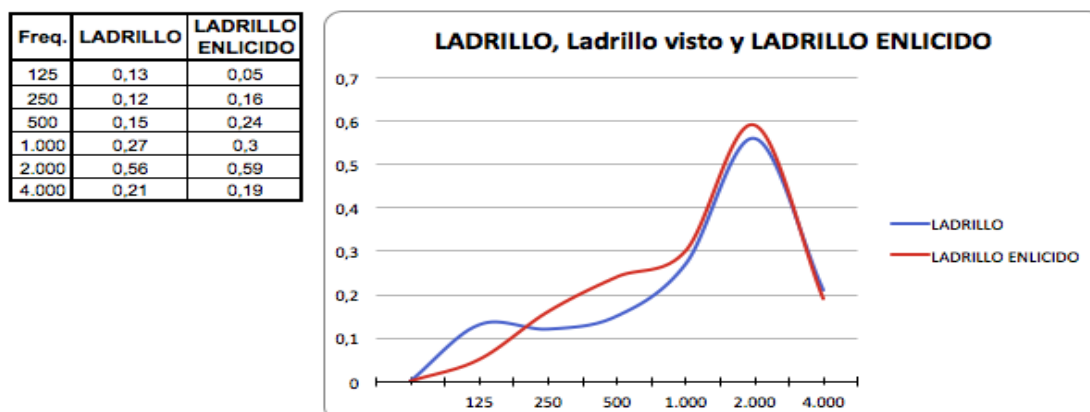


Figura 47. Comparación entre ladrillo y ladrillo enlucido

Esta comparación se ha realizado con los dos elementos medidos, ya que los consultados han sido caracterizados de una diferente forma en cámara reverberante, lo que va a variar las condiciones en las que se caracterizan los materiales. La diferencia que podemos ver en la curva del coeficiente de absorción se debe a que el ladrillo enlucido presenta una capa de cemento, lo que va a mejorar su espesor y densidad, reaccionando de mejor manera a partir de los 250 Hz en adelante.

5.3.4 Adobe Vs Ladrillo

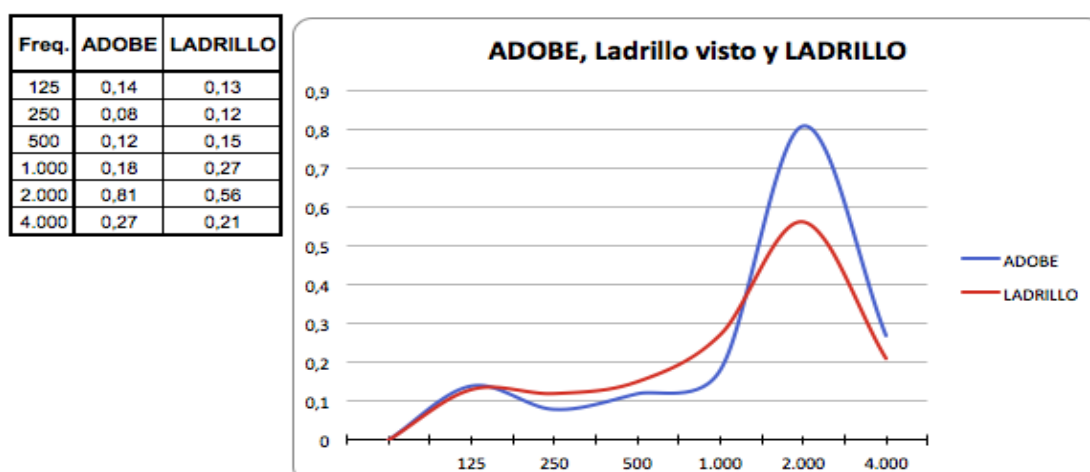


Figura 48. Comparación entre adobe y ladrillo

Al igual que la comparación anterior, estas se realizó entre el adobe y ladrillo de nuestra investigación, llegando a la conclusión de que el adobe se comporta de mejor manera desde los 1000 Hz a los 4000 Hz ya que al no ser sometido a cocción, este es más suave, por lo que la pérdida de energía en su mayoría va aportar en altas frecuencias, mientras que el ladrillo al ser sometido a cocción presenta nuevas características físicas, con un mejor coeficiente de absorción en las bajas frecuencias.

5.3.5 Bloque Vs Hormigón ligero poroso

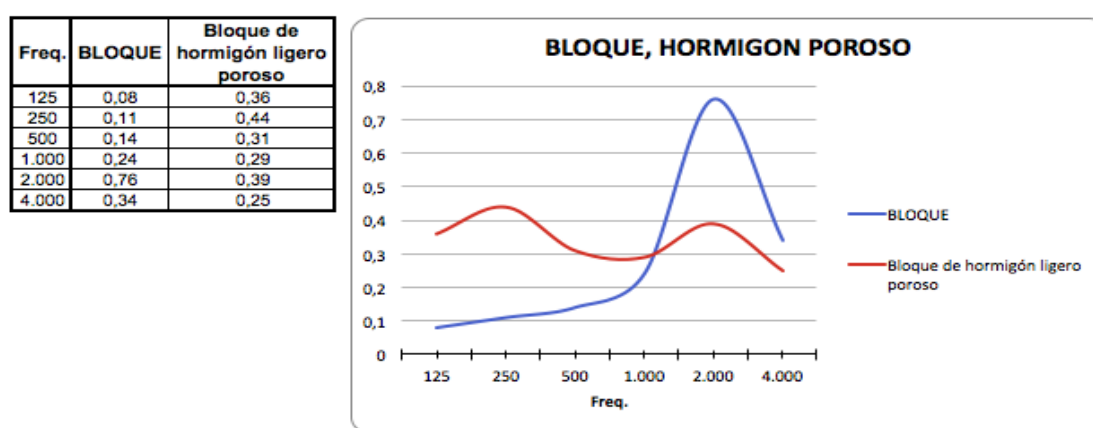


Figura 49. Comparación entre bloque y hormigón ligero poroso

No se ha encontrado la caracterización del bloque, pero se puede decir que es parecido en características físicas al hormigón poroso, sin embargo, está muy lejos de poseer coeficientes de absorción similares, sin embargo, el bloque es mejor a partir de los 2000 Hz en adelante, mientras que en bajas frecuencias no es muy bueno, lo que puede ser por sus características físicas

5.3.6 Cabuya 15 mm Vs fibra vegetal (estera)

Freq.	CABUYA	Fibra vegetal, estera
125	0,09	0,08
250	0,09	0,13
500	0,13	0,17
1.000	0,19	0,24
2.000	0,47	0,30
4.000	0,84	0,43

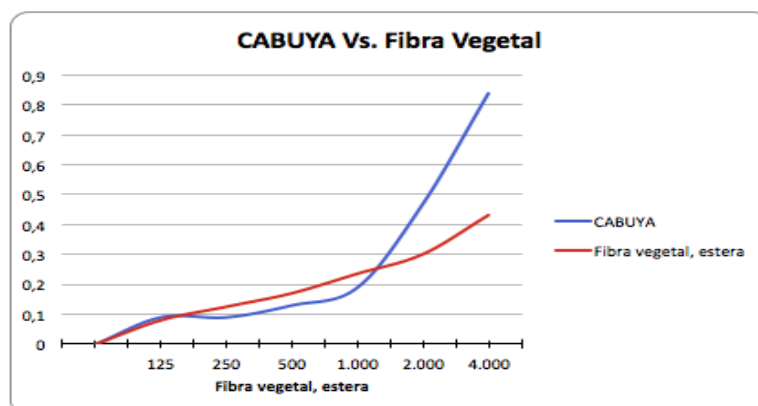


Figura 50. Comparación entre cabuya 15 mm y fibra vegetal

La fibra de cabuya al ser un poco más rígida que la estera con la que se está comparando es un poco mejor en 125 Hz, sin embargo, por su espesor, desde 250 a 1000 Hz la fibra que se encuentra en el medio resulta con una mejor respuesta, pero de 2000 Hz en adelante la cabuya retoma un mejor coeficiente de absorción, característico de los materiales porosos y del tipo de aglomeración de la cabuya.

5.3.7 Yute 19.7 mm Vs Fibra vegetal (estera)

Freq.	YUTE	Fibra vegetal, estera
125	0,06	0,08
250	0,1	0,13
500	0,12	0,17
1.000	0,2	0,24
2.000	0,55	0,30
4.000	0,82	0,43

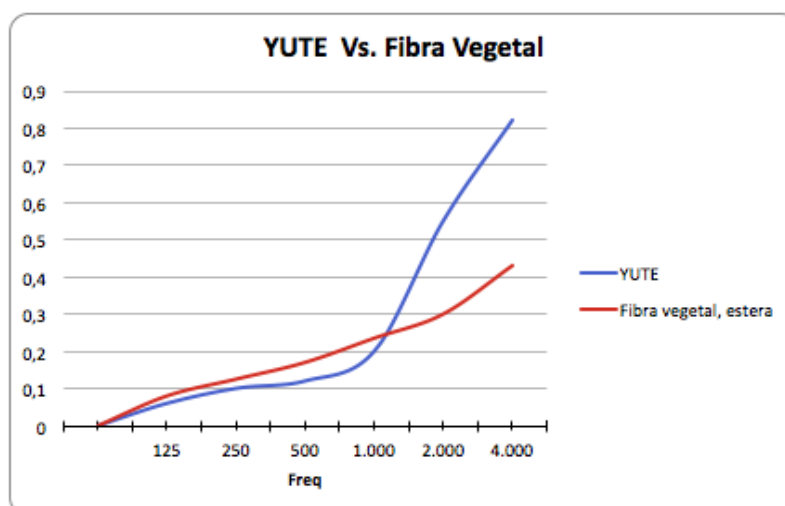


Figura 51. Comparación entre yute 19.7mm y fibra vegetal

La fibra de yute presenta un mayor espesor, por lo que su respuesta en bajas frecuencias va a ser un poco mejor en comparación a la cabuya, aun así no supera la fibra consultada, pero de 2000 Hz en adelante el yute empieza a tener mejor coeficiente de absorción.

5.3.8 Totora 16.1 mm Vs Fibra vegetal (estera)

Freq.	TOTORA	Fibra vegetal, estera
125	0,07	0,08
250	0,11	0,13
500	0,17	0,17
1.000	0,34	0,24
2.000	0,83	0,3
4.000	0,64	0,43

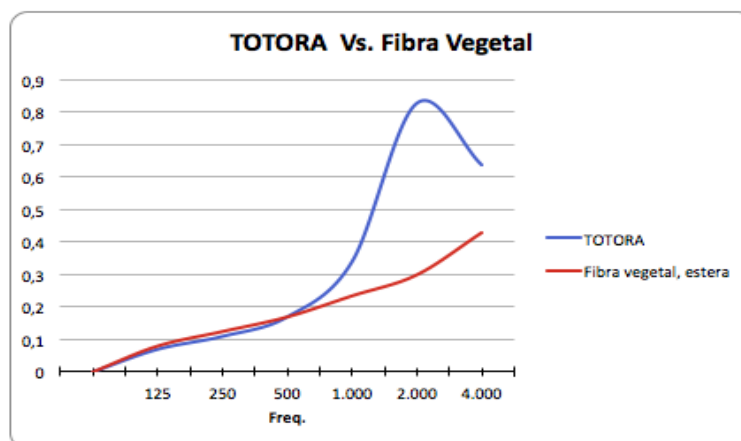


Figura 52. Comparación entre totora 16.1 mm y fibra vegetal

La totora en sí no es una fibra, pero es un elemento natural, con una curva similar, en bajas frecuencias no supera el coeficiente de absorción de la fibra, pero no está muy alejada, en cambio la partir de los 500 Hz en adelante va a responder de una mejor manera.

5.3.9 Estera 5.6 mm Vs Fibra vegetal (estera)

Freq.	ESTERA	Fibra vegetal, estera
125	0,12	0,08
250	0,08	0,13
500	0,09	0,17
1.000	0,1	0,24
2.000	0,17	0,30
4.000	0,81	0,43

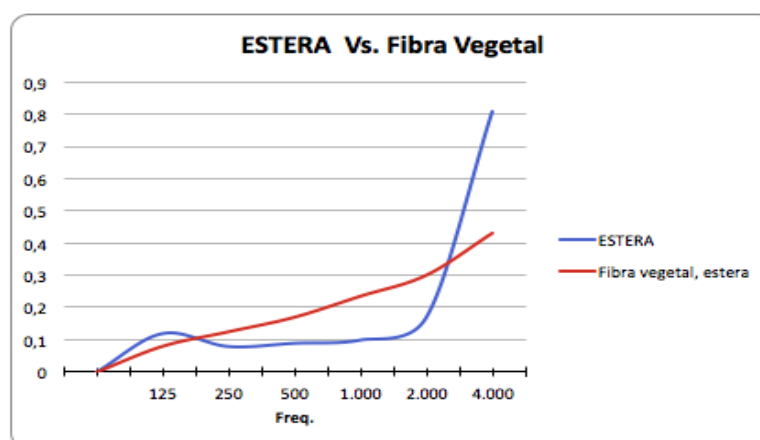


Figura 53. Comparación entre estera 5.6 mm y fibra vegetal

Al estar formada de totora pero de forma tejida va a presentar una curva de absorción diferente, donde la estera es mejor en 125 Hz por la forma en la que está elaborada, puesto que al estar entrelazada presentará pequeñas aberturas, dando una similitud de poros, y con esto mayor pérdida de energía por calor. Sin embargo, hasta los 2000 Hz no presenta mejora en la absorción.

5.3.10 Corcho de 2mm y 5mm Vs Corcho 15mm

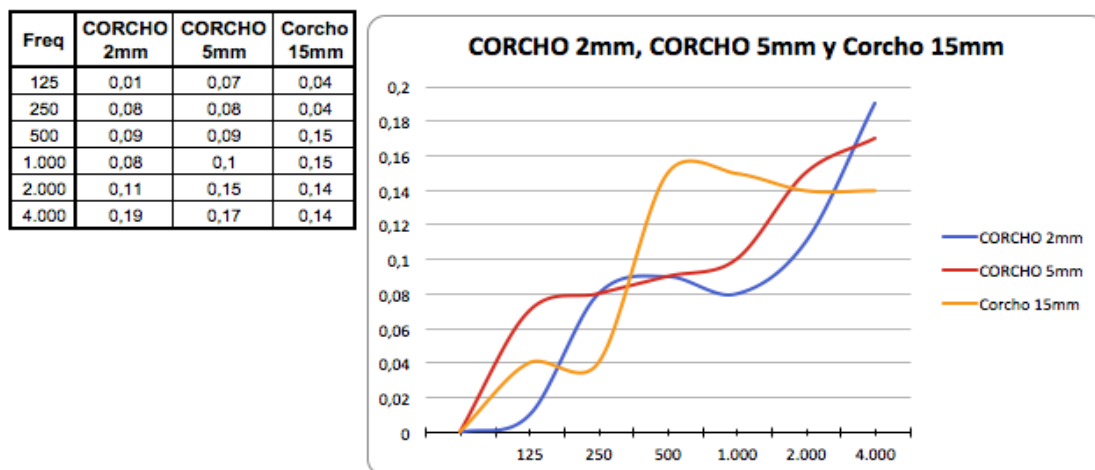


Figura 54. Comparación entre corcho de 2mm, 5mm y corcho de 15mm

El corcho caracterizado de 5mm va a tener mejor respuesta de absorción que el de 2mm por el espesor y densidad, respondiendo mejor que el corcho comercializado de 15mm en bajas frecuencias de 125 a 250 Hz y de 2000 Hz en adelante Hz.

5.4 Cálculo estadístico de la incertidumbre entre los dos datos

En nuestro caso vamos a realizar el cálculo de la incertidumbre típica Tipo A, esta hace referencia las repeticiones. Con esta medida vamos a determinar la fluctuación del promedio aritmético de los datos con referencia a la media. Son incertidumbres que se determinan por las repeticiones a las que se considerarán como objetivas o estadísticamente rigurosas, esto quiere decir, que pueden evaluarse a través de fórmulas estadísticas de las repeticiones.

Este cálculo se realizó en base al documento del gobierno de España del ministerio de industria, turismo y comercio “Evaluación de datos de medición. Guía para la Expresión de la Incertidumbre de Medida”

Fórmula de la Varianza (σ):

$$\sigma = \frac{x_1+x_2+\dots+x_n}{N} \quad (\text{Ecuación 8})$$

Donde x_1, x_2, x_n corresponde a cada muestra de forma frecuencial

Fórmula de la desviación (Incertidumbre típica) frecuencial:

$$s = \sqrt{\sigma} \quad (\text{Ecuación 9})$$

Donde σ corresponde a la varianza anteriormente mencionada

Incertidumbre típica Tipo A global: Corresponde al promedio de todas las desviaciones típicas.

5.4.1 Incertidumbre Adobe

Frecuencia (Hz)	Varianza	Desviación típica	Media
100	0,00326	0,06	0,08
125	0,00251	0,05	0,14
160	0,00053	0,02	0,11
200	0,00003	0,01	0,11
250	0,00013	0,01	0,08
315	0,00003	0,01	0,10
400	0,00001	0,00	0,11
500	0,00002	0,00	0,12
630	0,00005	0,01	0,13
800	0,00019	0,01	0,14
1.000	0,00077	0,03	0,18
1.250	0,00641	0,08	0,28
1.600	0,03869	0,20	0,54
2.000	0,00427	0,07	0,81
2.500	0,02378	0,15	0,56
3.150	0,00143	0,04	0,33
4.000	0,00145	0,04	0,27
5.000	0,00948	0,10	0,18
Incertidumbre		0,05	

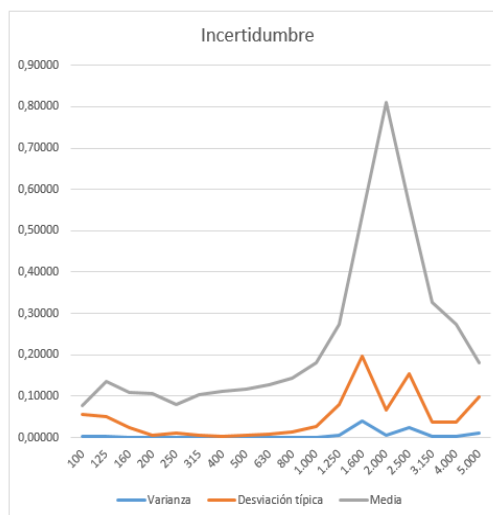


Figura 55. Incertidumbre adobe

En este caso la incertidumbre corresponde al 5%, por lo que se comprueba que en general es fiable el resultado, salvo en 1600 Hz, 2500 Hz y 500 Hz, dejando claro que la mayor incertidumbre se da en los límites del pico del ancho de banda.

5.4.2 Incertidumbre Adobe Pintado

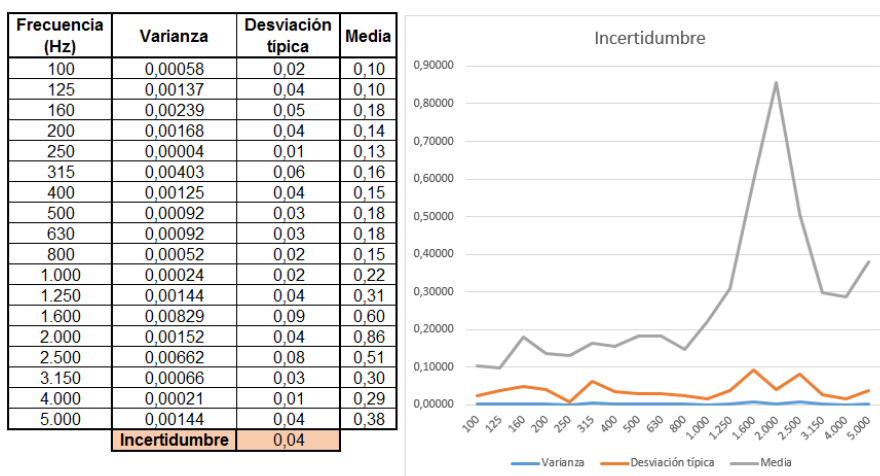


Figura 56. Incertidumbre adobe pintado

En este caso la incertidumbre corresponde al 4%, por lo que se comprueba que en general es fiable el resultado, salvo en 2500 Hz donde se tiene una incertidumbre del 8%, esto puede ser por la del ancho de banda en donde se encuentra una subida drástica.

5.4.3 Incertidumbre Ladrillo

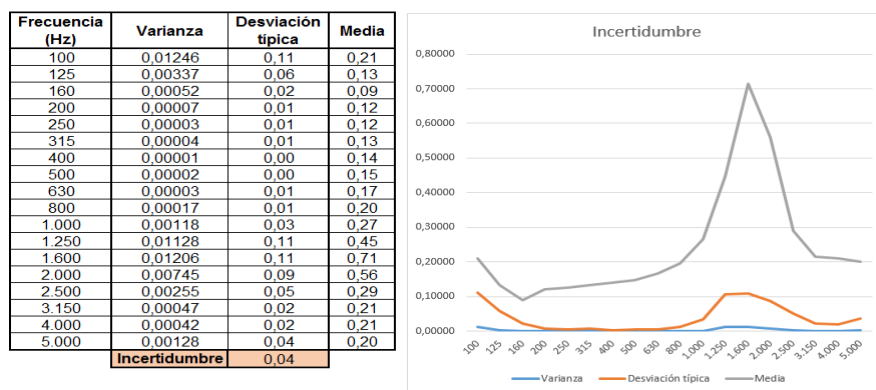


Figura 57. Incertidumbre ladrillo

En este caso la incertidumbre corresponde al 4%, por lo que se comprueba que en general es fiable el resultado, excepto en 100 Hz, 1250 Hz y 1600 Hz donde se tiene una incertidumbre del 11%, siendo su pico de ancho de banda en donde encontramos mayor incertidumbre.

5.4.4 Incertidumbre Ladrillo enlucido

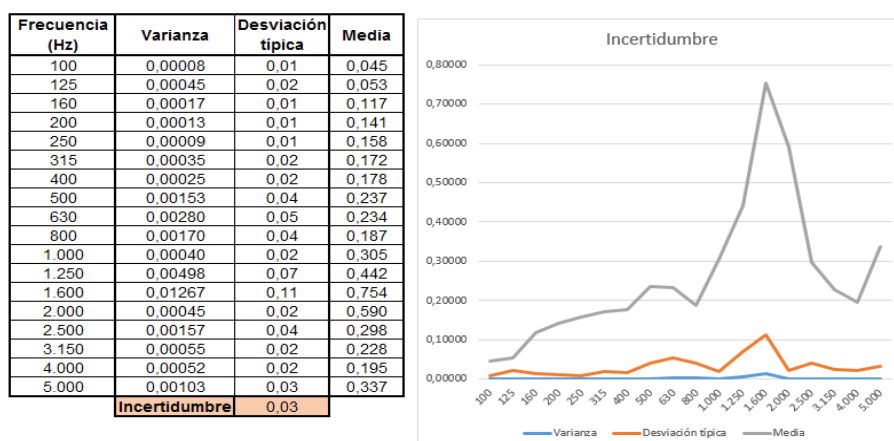


Figura 58. Incertidumbre ladrillo enlucido

En este caso la incertidumbre corresponde al 3%, por lo que se comprueba que en general es fiable el resultado, excepto en 1250 Hz y 1600 Hz.

5.4.5 Incertidumbre Bloque

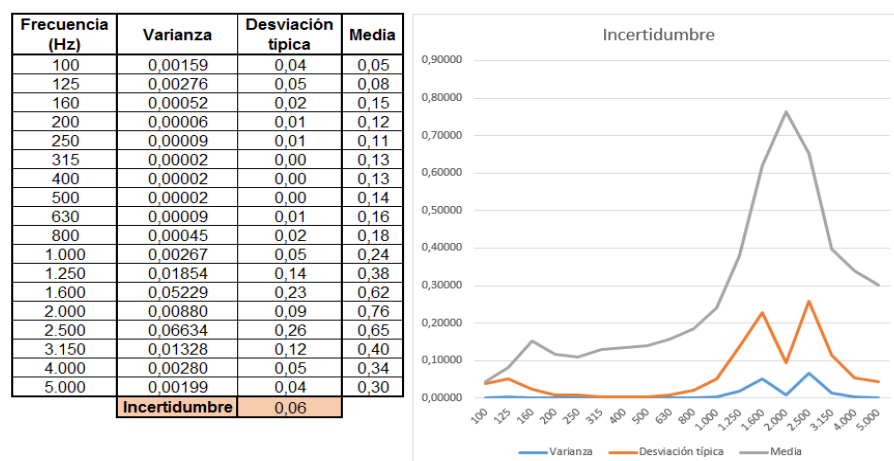


Figura 59. Incertidumbre bloque

En este caso la incertidumbre corresponde al 6%, por lo que se comprueba que en general es fiable el resultado, salvo en 1250 Hz a 3150 Hz, que corresponde a una mayor incertidumbre en los límites del pico del ancho de banda de coeficiente de absorción.

5.4.6 Incertidumbre Placa de Yeso

Frecuencia (Hz)	Varianza	Desviación típica	Media
100	0,01575	0,13	0,12
125	0,00222	0,05	0,10
160	0,00047	0,02	0,11
200	0,00032	0,02	0,10
250	0,00010	0,01	0,10
315	0,00010	0,01	0,10
400	0,00002	0,00	0,11
500	0,00002	0,00	0,11
630	0,00001	0,00	0,12
800	0,00001	0,00	0,13
1.000	0,00002	0,00	0,15
1.250	0,00001	0,00	0,21
1.600	0,00006	0,01	0,32
2.000	0,00192	0,04	0,49
2.500	0,00670	0,08	0,44
3.150	0,00145	0,04	0,27
4.000	0,00034	0,02	0,21
5.000	0,00010	0,01	0,12
Incertidumbre		0,03	

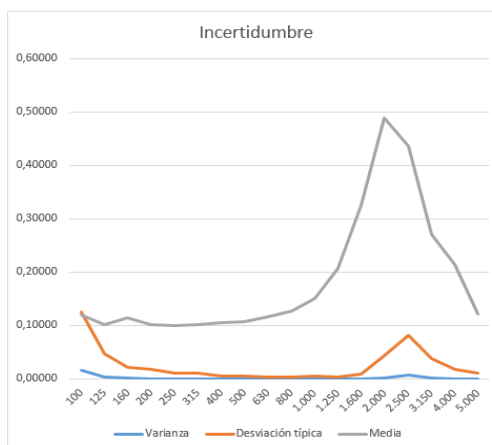


Figura 60. Incertidumbre placa de yeso

En este caso la incertidumbre corresponde al 3%, siendo en general un resultado fiable, salvo en 100 Hz con una incertidumbre del 13%, lo que puede darse a que a bajas frecuencias se necesita un mayor espesor de material para controlar estas frecuencias y en 2500 Hz con un error del 8%.

5.4.7 Incertidumbre MDF

Frecuencia (Hz)	Varianza	Desviación típica	Media
100	0,00312	0,06	0,18
125	0,00725	0,09	0,15
160	0,00064	0,03	0,09
200	0,00011	0,01	0,06
250	0,00041	0,02	0,06
315	0,00002	0,00	0,07
400	0,00001	0,00	0,09
500	0,00000	0,00	0,09
630	0,00000	0,00	0,09
800	0,00000	0,00	0,09
1.000	0,00000	0,00	0,09
1.250	0,00002	0,00	0,10
1.600	0,00009	0,01	0,11
2.000	0,00061	0,02	0,16
2.500	0,00310	0,06	0,26
3.150	0,00712	0,08	0,40
4.000	0,00137	0,04	0,45
5.000	0,00104	0,03	0,27
Incertidumbre		0,03	

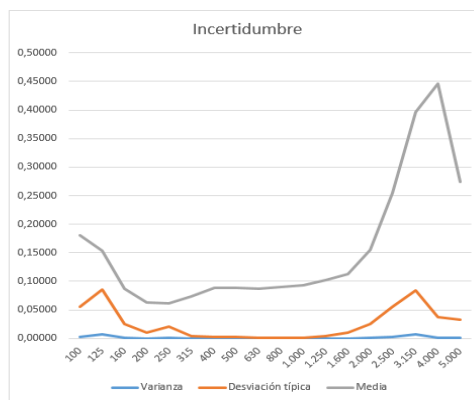


Figura 61. Incertidumbre MDF

Para el MDF también existe una incertidumbre del 3%, considerando un resultado fiable, salvo en 125 Hz con una incertidumbre del 9%, lo que puede darse a que a bajas frecuencias se necesita un mayor espesor de material para controlar estas frecuencias y en 3150 Hz con un error del 8%.

5.4.8 Incertidumbre Corcho 2mm

Freq. Central(Hz)	Varianza	Desviación típica	Media
100	0,00421	0,06	0,13
125	0,00026	0,02	0,01
160	0,00094	0,03	0,14
200	0,00013	0,01	0,09
250	0,00031	0,02	0,08
315	0,00008	0,01	0,09
400	0,00003	0,01	0,08
500	0,00002	0,00	0,09
630	0,00001	0,00	0,08
800	0,00001	0,00	0,08
1.000	0,00001	0,00	0,08
1.250	0,00001	0,00	0,09
1.600	0,00002	0,00	0,10
2.000	0,00003	0,01	0,11
2.500	0,00012	0,01	0,15
3.150	0,00017	0,01	0,23
4.000	0,00035	0,02	0,29
5.000	0,00216	0,05	0,30
Incertidumbre		0,02	

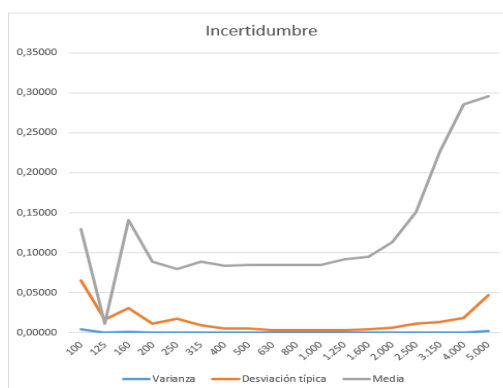


Figura 62. Incertidumbre corcho 2mm

Éste corcho presenta un buen resultado de incertidumbre con un 2%, salvo en 100 Hz con una incertidumbre del 6%, lo que puede darse a que a bajas frecuencias se necesita un mayor espesor de material para controlar esta frecuencia.

5.4.9 Incertidumbre Corcho 5mm

Freq. Central(Hz)	Varianza	Desviación típica	Media
100	0,00315	0,06	0,03
125	0,00239	0,05	0,07
160	0,00125	0,04	0,12
200	0,00008	0,01	0,07
250	0,00033	0,02	0,08
315	0,00007	0,01	0,08
400	0,00001	0,00	0,08
500	0,00001	0,00	0,09
630	0,00001	0,00	0,09
800	0,00000	0,00	0,09
1.000	0,00000	0,00	0,10
1.250	0,00000	0,00	0,11
1.600	0,00004	0,01	0,12
2.000	0,00035	0,02	0,15
2.500	0,00103	0,03	0,22
3.150	0,00155	0,04	0,31
4.000	0,00038	0,02	0,37
5.000	0,00075	0,03	0,35
Incertidumbre		0,02	

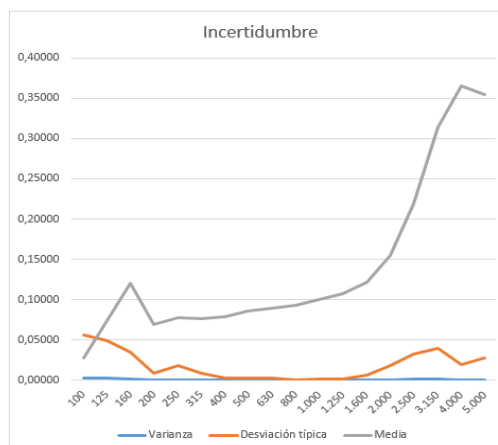


Figura 63. Incertidumbre corcho 5 mm

Al igual que el corcho anterior se obtuvo un buen resultado de incertidumbre del 2%, salvo en 100 Hz con una incertidumbre del 6%, lo que implica que para controlar de mejor manera esta frecuencia se necesita mayor espesor del material.

5.4.10 Incertidumbre Textil reciclado

Frecuencia (Hz)	Varianza	Desviación típica	Media
100	0,00465	0,07	0,10
125	0,00127	0,04	0,11
160	0,00032	0,02	0,11
200	0,00010	0,01	0,07
250	0,00008	0,01	0,09
315	0,00004	0,01	0,11
400	0,00008	0,01	0,12
500	0,00015	0,01	0,15
630	0,00034	0,02	0,19
800	0,00055	0,02	0,25
1.000	0,00086	0,03	0,31
1.250	0,00063	0,03	0,39
1.600	0,00021	0,01	0,51
2.000	0,00004	0,01	0,63
2.500	0,00025	0,02	0,70
3.150	0,00084	0,03	0,77
4.000	0,00096	0,03	0,80
5.000	0,00135	0,04	0,80
Incertidumbre		0,02	

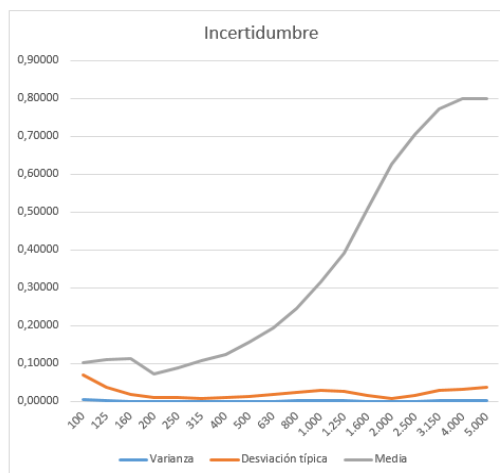


Figura 64. Incertidumbre textil reciclado

El textil reciclado resultó con una incertidumbre del 2%, lo cual es bueno ya que no existe mayor error, y al igual que en la mayoría de materiales el problema se presenta a los 100 Hz con una incertidumbre del 7%, por el espesor de las muestras.

5.4.11 Incertidumbre Alfombra de alpaca

Frecuencia (Hz)	Varianza	Desviación típica	Media
100	0,00414	0,06	0,06
125	0,00099	0,03	0,05
160	0,00010	0,01	0,12
200	0,00006	0,01	0,12
250	0,00003	0,01	0,12
315	0,00001	0,00	0,14
400	0,00001	0,00	0,15
500	0,00001	0,00	0,18
630	0,00003	0,01	0,22
800	0,00015	0,01	0,28
1.000	0,00037	0,02	0,37
1.250	0,00033	0,02	0,49
1.600	0,00002	0,00	0,64
2.000	0,00115	0,03	0,77
2.500	0,00332	0,06	0,87
3.150	0,00605	0,08	0,89
4.000	0,00422	0,06	0,91
5.000	0,00079	0,03	0,93
Incertidumbre		0,03	

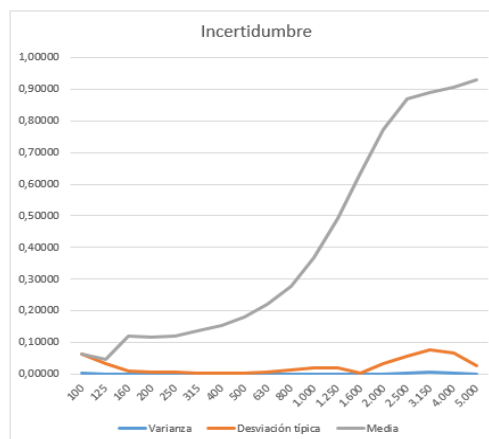


Figura 65. Incertidumbre alfombra de alpaca

Este tipo de alfombra presenta en sus resultados una incertidumbre de 3%, siendo el problema los 100 Hz con una incertidumbre del 6%, por el espesor de las muestras, además un error de 6% en 2500 Hz y 8% en 3150 Hz.

5.4.12 Incertidumbre Tunda

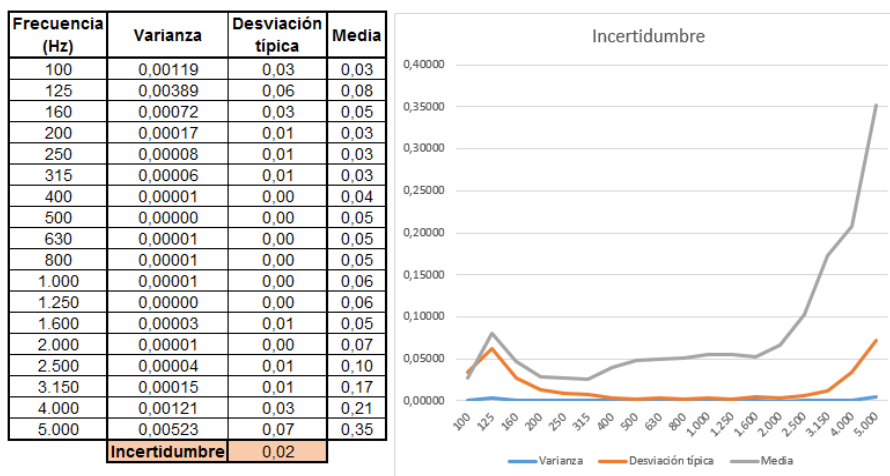


Figura 66. Incertidumbre tunda

La tunda expresa una incertidumbre del 2%, un bueno resultado para que no exista mayor error, con una incertidumbre de 6% a los 125 Hz por el espesor de las muestras, y del 7% a los 5000 Hz, lo cual no es problemático para las frecuencias importantes y audibles.

5.4.13 Incertidumbre Totora

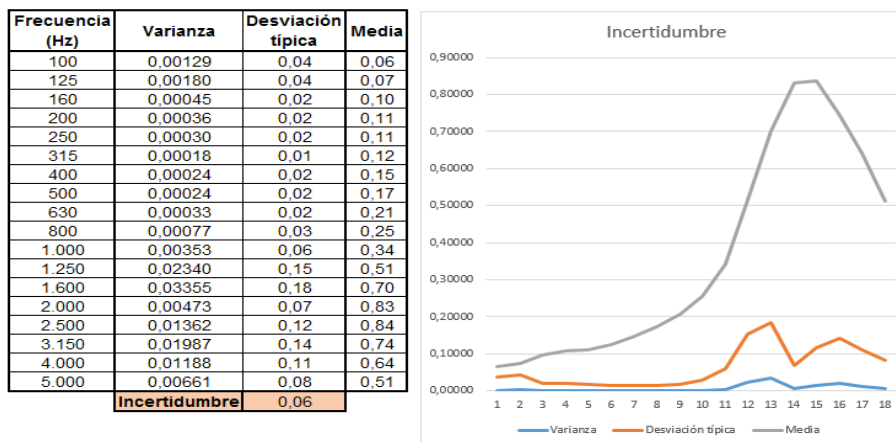


Figura 67. Incertidumbre totora

La totora expresa la mayor incertidumbre del trabajo con 6%, lo que puede ser por su composición porosa interna y lisa externa, presentando valores aleatorios.

5.4.14 Incertidumbre Estera

Frecuencia (Hz)	Varianza	Desviación típica	Media
100	0,00367	0,06	0,07
125	0,00480	0,07	0,12
160	0,00132	0,04	0,08
200	0,00025	0,02	0,06
250	0,00046	0,02	0,08
315	0,00010	0,01	0,08
400	0,00017	0,01	0,08
500	0,00017	0,01	0,09
630	0,00016	0,01	0,09
800	0,00013	0,01	0,09
1.000	0,00015	0,01	0,10
1.250	0,00028	0,02	0,10
1.600	0,00059	0,02	0,12
2.000	0,00131	0,04	0,17
2.500	0,00487	0,07	0,28
3.150	0,02333	0,15	0,52
4.000	0,02753	0,17	0,81
5.000	0,00691	0,08	0,69
Incertidumbre		0,05	

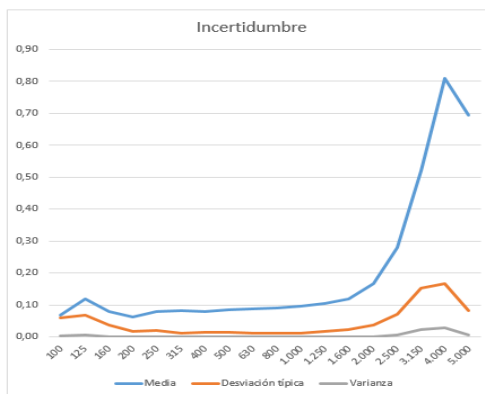


Figura 68. Incertidumbre estera

La estera expresa una incertidumbre del 5% menos que la totora, al ser el mismo material, pero de forma diferente baja 1% la incertidumbre, con mayor error en las frecuencias de 100 Hz y 125 Hz por el espesor, y de 2500 Hz a 5000 Hz, donde se ve un aumento drástico en el coeficiente de absorción del material.

5.4.15 Incertidumbre Cabuya

Frecuencia (Hz)	Varianza	Desviación típica	Media
100	0,00319	0,06	0,23
125	0,00410	0,06	0,09
160	0,00095	0,03	0,12
200	0,00009	0,01	0,10
250	0,00005	0,01	0,09
315	0,00002	0,00	0,12
400	0,00001	0,00	0,12
500	0,00001	0,00	0,13
630	0,00005	0,01	0,14
800	0,00019	0,01	0,16
1.000	0,00058	0,02	0,19
1.250	0,00182	0,04	0,24
1.600	0,00522	0,07	0,33
2.000	0,01226	0,11	0,47
2.500	0,01969	0,14	0,64
3.150	0,01662	0,13	0,78
4.000	0,00643	0,08	0,84
5.000	0,00098	0,03	0,77
Incertidumbre		0,05	

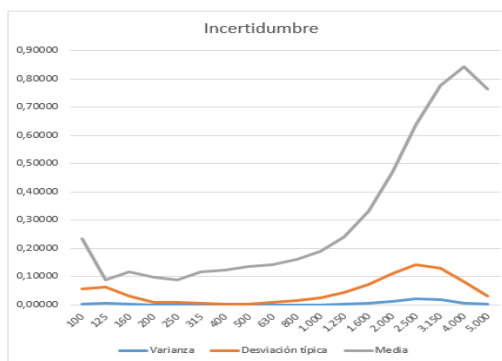


Figura 69. Incertidumbre cabuya

La cabuya con una incertidumbre de 5% es aceptable, ya que la composición de las fibras no es exactamente la misma siempre, con mayor error en las frecuencias de 100 Hz y 125 Hz del 6% por el espesor de las muestras, y de 1600 Hz a 4000 Hz, donde se ve un aumento drástico en el coeficiente de absorción del material.

5.4.16 Incertidumbre Yute

Frecuencia (Hz)	Varianza	Desviación típica	Media
100	0.00039	0.02	0.02
125	0.00032	0.02	0.06
160	0.00018	0.01	0.12
200	0.00007	0.01	0.08
250	0.00010	0.01	0.10
315	0.00005	0.01	0.09
400	0.00003	0.01	0.11
500	0.00008	0.01	0.12
630	0.00019	0.01	0.14
800	0.00042	0.02	0.16
1.000	0.00130	0.04	0.20
1.250	0.00419	0.06	0.27
1.600	0.00966	0.10	0.38
2.000	0.01972	0.14	0.55
2.500	0.02154	0.15	0.73
3.150	0.01043	0.10	0.81
4.000	0.00078	0.03	0.82
5.000	0.00188	0.04	0.73
Incertidumbre		0.04	

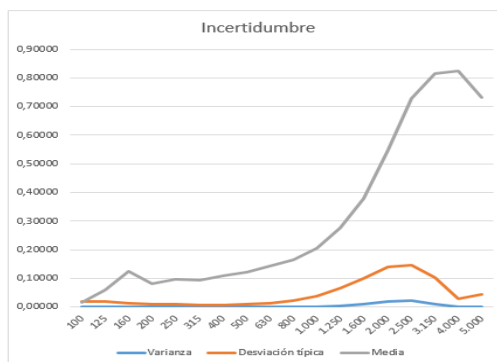


Figura 70. Incertidumbre yute

El yute presenta una incertidumbre más baja que la cabuya con el 4%, con mayor error en las frecuencias de 1250 Hz a 3150 Hz, donde se ve un aumento drástico en el coeficiente de absorción del material, por las características físicas de las fibras.

5.4.17 Incertidumbre Paja

Frecuencia (Hz)	Varianza	Desviación típica	Media
100	0.00063	0.03	0.02
125	0.00046	0.02	0.04
160	0.00190	0.04	0.10
200	0.00036	0.02	0.08
250	0.00021	0.01	0.08
315	0.00009	0.01	0.09
400	0.00006	0.01	0.09
500	0.00004	0.01	0.09
630	0.00002	0.00	0.10
800	0.00001	0.00	0.10
1.000	0.00000	0.00	0.10
1.250	0.00001	0.00	0.12
1.600	0.00006	0.01	0.13
2.000	0.00000	0.00	0.16
2.500	0.00001	0.00	0.24
3.150	0.00029	0.02	0.33
4.000	0.00003	0.01	0.46
5.000	0.00090	0.03	0.65
Incertidumbre		0.01	

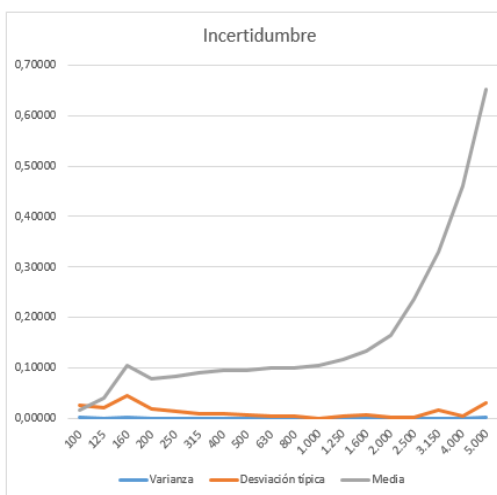


Figura 71. Incertidumbre paja

La paja es el material que menos incertidumbre presenta en esta investigación, siendo esta del 1%, ya que su composición es mucho más estable y parecida que el de las fibras.

6. POSIBLES AMPLIACIONES DEL PROYECTO

6.1 Contribución en el mercado laboral

Actualmente se están buscando ideas ecológicas o alternativas para la construcción, lo que puede generar fuentes de trabajo al integrar a gente que se encuentra tanto en el cultivo como en la fabricación de la materia prima que se puede implementar. Las fibras naturales han sido utilizadas por campesinos e indígenas ecuatorianos para la elaboración de artesanías desde la antigüedad, ahora estos pueden transformarse en un opción para conseguir recursos, beneficiando a diversos sectores que se han visto afectados por la crisis económica.

En el caso de la cabuya y el yute, se las consideran como naturales, resistentes, de característica áspera y de larga duración. Su cultivo se localiza principalmente en provincias de la serranía como Carchi, Imbabura, Pichincha, Tungurahua, Chimborazo, Azuay, Cañar, y provincias de la costa como son Guayas y Manabí. Generalmente son usadas para la fabricación de papel, filtros, colchones, tapetes y tapicería, reforzando materiales compuestos de plástico como partes de automóviles.

Los valores FOB corresponden al valor de mercado de exportaciones de mercancías y bienes. En el período del 2004 al 2008 las exportaciones ecuatorianas de fibras y agave creció en promedio 484% en valor FOB, siendo un crecimiento progresivo, llegando a ser un material con gran potencial para exportación según el Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Industrial de Fibras Naturales de Ibarra, las fibras naturales están reemplazando varios materiales en el mercado internacional, aumentando su demanda en los últimos años en los países industrializados del Norte del continente sustituyendo fibras sintéticas, que han causado impactos negativos para el medio ambiente.

La totora es una planta que se da en las lagunas, lagos, entre otros, como la laguna de Colta en la provincia de Chimborazo, la cuenca del lago San Pablo, en Imbabura, siendo beneficiados más de 1.000 indígenas con su cultivo y

cosecha y elaboración de esteras que se venden al público en diferentes ferias artesanales o mercados, a las que acuden cientos de turistas europeos o estadounidenses, comercio ecuatoriano y de Colombia.

Si se llega a profundizar la investigación sobre las fibras vegetales, plantas propias de la región o materiales que se fabriquen en Ecuador se puede conseguir una salida creativa a la situación económica, a través de fomentar nuevas industrias que estén en la capacidad de exportar los materiales, además de contratar más gente para trabajar en las mismas, generando nuevas plazas de empleo.

6.2 Implementación de los materiales analizados dentro del área de construcción

Para la implementación de los materiales caracterizados en este trabajo de investigación es esencial que se realicen los estudios necesarios para que estos puedan ser utilizados. Los materiales para construcción deben ser evaluados y verificados por organismos competentes, los mismos que se encargan de que éstos cumplan con los requisitos, de acuerdo al Reglamento Técnico Ecuatoriano (RTE INEN) y la Norma Técnica Ecuatoriana (NTE INEN) vigentes; en caso de que no existan requisitos a cumplir para algún material o las RTE INEN ó la NTE INEN estén desactualizadas, se debe basar en los requisitos de las normas ASTM "*International American Society for Testing and Materials*", esta es una de las organizaciones internacionales donde se desarrollan normas con la participación de usuarios, productores, consumidores de todo el mundo.

En caso de que algún material no cumpla con los requisitos para su aplicación en la construcción y sufra algún cambio mediante la implementación de alguna sustancia que lo haga válido para su implementación, su coeficiente de absorción va a variar, ya que sus características principales con las que se han realizado los cálculos presentes en esta investigación de coeficiente de absorción cambiarán, por lo que se deberá realizar nuevamente su caracterización.

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 Conclusiones

Las muestras que se analizaron son de fácil acceso, y costo no elevado, por lo que si se desea realizar más pruebas para aplicar a la construcción no va a ser difícil su obtención, además son fibras naturales y materiales fabricados en Ecuador.

Para tener menor incertidumbre en la caracterización del coeficiente de absorción de los materiales es indispensable realizar previamente la calibración de cada uno de los instrumentos que se va a utilizar, basándose en la Norma UNE-EN ISO 10534-2 “Determinación del coeficiente de absorción acústica y de la impedancia acústica en tubos de impedancia”.

Los pisos climáticos que Ecuador posee hace que se pueda trabajar con fibras, plantas y otros recursos naturales de fácil acceso y sin tener que importar materiales, que se pueden emplear para relleno, refuerzo o aislamiento en la construcción de viviendas, absorción en cajas acústicas, trampas de bajos, entre otros.

Si comparamos el textil reciclado con la lana de roca o lana de vidrio, se determina que en bajas frecuencias estos son mejores, por sus características físicas, pero al poder combinar el textil reciclado con otro material, como una placa de yeso, se puede mejorar su absorción en bajas frecuencias, ya que este al ser un material rígido y al aumentar el espesor la pérdida energética aumentará.

Los materiales, al modificar cualquiera de sus características físicas o características propias del material, se obtendrá una variación en el resultado de coeficiente de absorción, como en el caso del ladrillo o del adobe, en donde los dos fueron modificados, al uno añadiéndole una capa de enlucido (ladrillo),

y al otro una capa de pintura (adobe), por lo que el ancho de banda de absorción fue desplazado. En el caso del adobe su absorción bajó en altas frecuencias, ya que la pintura tapó cierto porcentaje de poros, lo que ayuda a la atenuación en dichas frecuencias, mientras que el ladrillo enlucido, aumentó su absorción en bajas frecuencias, ya que su espesor incrementó, además de que se desplazó su pico de absorción.

Las fibras hacen que la pérdida de energía sonora sea por rozamiento, convirtiendo dicha energía en calor, gracias a los poros que estas poseen, mientras que los materiales no rígidos pierden energía por movimiento ya que estos materiales van a comportarse como una membrana. Por otro lado, el corcho al ser flexible va a vibrar y también la energía va a pasar por los poros, atenuando la energía tanto por movimiento como por calor.

Se puede evidenciar que en la familia de las fibras naturales, el yute y la totora tienen el mejor coeficiente de absorción. Su comportamiento es similar debido a las propiedades físicas con las que se realizaron las pruebas, es decir su peso, densidad y sus dimensiones.

Dentro de lo que es la absorción de los materiales se debe tener en consideración los coeficientes de absorción de las frecuencias que se están atenuando, puesto que lo que se desea que en el acondicionamiento es tenga una buena inteligibilidad de la palabra, lo cual oscila entre los 500 Hz a los 4500 Hz, por lo que si se llega a tener demasiada absorción dentro de este rango de frecuencias puede que no sea adecuado para un buen acondicionamiento, perdiendo la inteligibilidad.

7.2 Recomendaciones

Si se desea conseguir mayor absorción a bajas frecuencias se debe procurar que los espesores de los materiales cumplan con $\lambda/4$ dependiendo de la frecuencia en la que se esté empeñado en aumentar el coeficiente de absorción.

Realizar nuevamente la caracterización del coeficiente de absorción de los materiales si estos han sufrido cualquier tipo de modificación, por más mínima

que sea, ya que se está alterando las cualidades naturales con las que se han obtenido los resultados presentes en este trabajo.

Realizar más caracterizaciones del coeficiente de absorción de fibras naturales que se encuentra en Ecuador, además del cálculo de TL "*transmission loss*" para poder tener conocimiento del aislamiento acústico que el material ofrece.

Para realizar caracterización de materiales se debe procurar que todas las muestras de un mismo material presenten en lo posible las mismas características, caso contrario el resultado no va a ser muy fiable.

Para futuras investigaciones se debe tomar en cuenta que las probetas de las muestras medidas deben estar estandarizadas bajo normas internacionales, ya que con eso se va a lograr mayor fidelidad en resultados de las mediciones e igualdad entre muestras.

REFERENCIAS

- Alexandra, C. (2012). Alfombras de Guano. Recuperado el 17 de abril del 2017 de <http://canton-guano.blogspot.com/>
- Barnakork, S.L. (sf.). ¿Qué es el corcho? recuperado el 24 de abril del 2017 de <http://www.barnacork.com/el-corcho/ique-es-el-corcho.html>
- Castro, R., Scioli, M. (sf.). ¿Es reciclable? Textiles. Recuperado el 24 de abril del 2017 de <http://reciclario.com.ar/indice/textiles/>
- CICO. (2009). Perfiles de mercado. Perfil de las demás cuerdas y cordajes del género agave (Fibras de cabuya, sisal, etc.). Recuperado el 8 de abril del 2017 de <http://www.pucesi.edu.ec/pdf/cabuya.pdf>
- FAO. (2017). Fibras del futuro. Yute. Recuperado el 17 de abril del 2017 de <http://www.fao.org/economic/futurefibres/fibres/jute/es/>
- Grupo Alava Ingenieros. (2017). Tubo impedancia- *kundt* spectronics acupro características técnicas. Recuperado el 24 de abril del 2017 de <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0ahUKEwiR84PiiMXTAhVGKCYKHQf6BpMQFggjMAA&url=http%3A%2F%2Fwww.grupoalava.com%2Frepositorio%2F2a50%2Fpdf%2F3418%2F2%2Ftubo-impedancia-kundt-spectronics-acupro-caracteristicas-tecnicas.pdf%3Fd%3D1&usg=AFQjCNHYFFXEW2vMeFn36vzgdYgyk4UsXg&sig2=uGZQcJbr27T8hgxCgX0CKg>
- Infomaderas.com (2016). ¿Qué es el aglomerado de madera MDF? Recuperado el 24 de abril del 2017 de <http://infomaderas.com/2014/05/19/que-es-el-aglomerado-de-madera-mdf/>
- Intag. (2011). Conozca los beneficios del Bambue. Recuperado el 17 de abril del 2017 de <https://www.intagnewspaper.org/articles/conozca-los->

beneficios-del-bambue

- JCGM. (2008). Evaluación de datos de medición. Guía para la expresión de incertidumbre de medida.
- Joseph. (2005). La totora, factor de desarrollo social y económico. Recuperado el 17 de abril del 2017 de <http://totoraecuador.blogspot.com/>
- Lucas, K. (2017). ECUADOR: Creativo potencial económico de las fibras vegetales. Recuperado el 8 de abril del 2017 de <http://www.ipsnoticias.net/2000/04/ecuador-creativo-potencial-economico-de-las-fibras-vegetales/>
- Lupercio, Z., & Alberto, W. (2015). Apoyar al sector microempresarial mediante un estudio de factibilidad para la implementación de una empresa dedicada a la decoración de interiores a base de moldes de yeso y gypsum ubicada en la parroquia del condado al norte del distrito metropolitano de quito 2015 (Bachelor's thesis).
- MIDUVI. (2015). Norma Ecuatoriana de la Construcción- NEC - SE - HM. Quito.
- Tolliver, B. (2012). Fundamentos de acústica. Control de ruido y calidad de sonido. Recuperado el 1 de mayo del 2017 de <http://owenscorning.com.br/pdf/FundamentosdeacusticaES.pdf>
- Salgado, J. F. T., Negrete, O. L., Núñez, R. Z., García, F. J. L., Alvarado, A. F. A., & Jáuregui, J. A. C. (2016). Aplicación de Mezclas de Alcóxidos de Silicio en la Conservación de Adobe. *Naturaleza y Tecnología*, 2(7).
- Yépez, L., Esparta, M. (2009). Perfil de las demás cuerdas y cordajes del género agave (fibras de cabuya, sisal, etc.). Recuperado el 17 de abril del 2017 de <http://www.pucesi.edu.ec/pdf/cabuya.pdf>

ANEXOS

ANEXO 1

Tabla 5.

Tabla de costos

Materiales Caracterizados			Materiales Existentes		
Material	Unidad	Costo \$ (Dólares)	Material	Unidad	Costo \$ (Dólares)
Adobe	1	0.10			
Ladrillo	1	0.20			
Bloque (12cm x 20cm x 40cm)	1	0.47	Hormigón ligero poroso (12cm x 20cm x 40cm)	1	0.75
Placa de Yeso (1.22m x 2.44 m x 12 mm)	1	12.00			
Tablero de Fibra de Densidad media (MDF) (2.13 m x 2.44m x 0.56 mm)	1	25.00	Madera aglomerada en pane (2.6m x 1.83m x 10mm)	1	9.50

Corcho 2mm (30 cm x40 cm)	1	3.50	Corcho de 15 mm	1	10.30
Corcho (5mm x 30 cm x 40 cm)	1	5.48			
Paja 3m	1	1.50	Fibra vegetal (60cm x 19.5cm x 0.16cm)	1	5.50
Cabuya (2m ²)	1	1.00			
Yute (2m ²)	1	1.50			
Totora (1m x 20cm)	1	2.00			
Estera (3m x 3m)	1	4.50			
Tunda (1m ²)	1	2.00			
Alfombra de alpaca (30cm x 30cm)	1	30.00	Alfombra hilada	1	20.00
Textil reciclado	1	0.51	Lana de roca(24" x 96" x 1.5")	1	43.93
			Lana de vidrio 2"	1	46.00

ANEXO 2



Figura 72. Conexión de tubo de Kundt con amplificador y DAQ. Muestras utilizadas para la investigación.

ANEXO 3

Tabla 6.

Tabla de bibliografía del coeficiente de absorción de materiales para la comparación

Material	Bibliografía
Corcho 15 mm	Arau, H., (1999). ABC de la acústica arquitectónica (336). Grupo Editorial Ceac, ISBN: 84-329-2017-7.
Vibra vegetal, estera	Arau, H., (1999). ABC de la acústica arquitectónica (336). Grupo Editorial Ceac, ISBN: 84-329-2017-7.
Alfombra tejida de lazos lana, 24 mm	Arau, H., (1999). ABC de la acústica arquitectónica (336). Grupo Editorial Ceac, ISBN: 84-329-2017-7.
Bloque de hormigón ligero poroso	Arau, H., (1999). ABC de la acústica arquitectónica (336). Grupo Editorial Ceac, ISBN: 84-329-2017-7.
Lana de vidrio 25mm	EASA. (2017). Proforma de materiales. Recuperado el 28 de mayo del 2017 de http://easa-ec.com/
Madera aglomerada en panel	EASA. (2017). Proforma de materiales. Recuperado el 28 de mayo del 2017 de http://easa-ec.com/
Lana de roca 25mm	EASA. (2017). Proforma de materiales. Recuperado el 28 de mayo del 2017 de http://easa-ec.com/

ANEXO 4

DATA SHEET DE MATERIALES

001

Lugar de medida: Laboratorio de acústica de la Universidad de las Américas – Quito (UDLA), Av. De los granados y Colimes.

Ensayo realizado: Caracterización de la absorción acústica de materiales para la construcción fabricados en Ecuador.

Elaborado por: Marcela Cazorla y Ricardo Córdova

Supervisado por: MSc. María Bertomeu

Aprobado por: MSc. Christiam Garzón

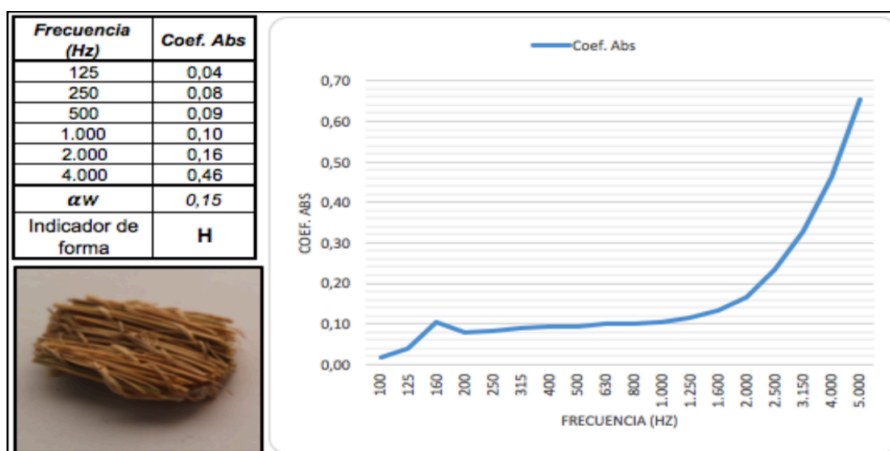
Fecha: 24 de abril del 2017

Composición de la muestra: Paja

Densidad de la muestra (gr/cm³): 0.43

Temperatura y humedad: No se considera para este ensayo

Norma: UNE-EN ISO 10534-2 “Determinación del coeficiente de absorción acústica y de la impedancia acústica en tubos de impedancia”. : UNE-EN ISO 11654:1997 “Acústica. Absorbentes para su utilización en edificios. Evaluación de la absorción acústica”.



Elaborado por

 Marcela Cazorla

 Ricardo Córdova

Supervisado por
 MSc. María Bertomeu

Aprobado por
 MSc. Christiam Garzón

002

Lugar de medida: Laboratorio de acústica de la Universidad de las Américas – Quito (UDLA), Av. De los granados y Colimes.

Ensayo realizado: Caracterización de la absorción acústica de materiales para la construcción fabricados en Ecuador.

Elaborado por: Marcela Cazorla y Ricardo Córdova

Supervisado por: MSc. María Bertomeu

Aprobado por: MSc. Christiam Garzón

Fecha: 24 de abril del 2017

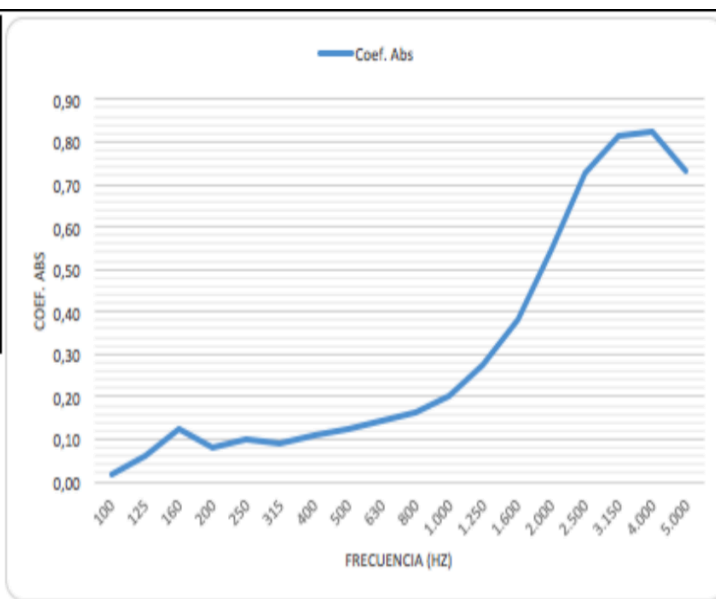
Composición de la muestra: Cabuya

Densidad de la muestra (gr/cm^3): 0.16

Temperatura y humedad: No se considera para este ensayo

Norma: UNE-EN ISO 10534-2 “Determinación del coeficiente de absorción acústica y de la impedancia acústica en tubos de impedancia”. : UNE-EN ISO 11654:1997 “Acústica. Absorbentes para su utilización en edificios. Evaluación de la absorción acústica”.

Frecuencia (Hz)	Coef. Abs
125	0,06
250	0,10
500	0,12
1.000	0,20
2.000	0,55
4.000	0,82
α_w	0,2
Indicador de forma	H



Elaborado por

Marcela Cazorla

Ricardo Córdova

Supervisado por
MSc. María Bertomeu

Aprobado por
MSc. Christiam Garzón

003

Lugar de medida: Laboratorio de acústica de la Universidad de las Américas – Quito (UDLA), Av. De los granados y Colimes.

Ensayo realizado: Caracterización de la absorción acústica de materiales para la construcción fabricados en Ecuador.

Elaborado por: Marcela Cazorla y Ricardo Córdova

Supervisado por: MSc. María Bertomeu

Aprobado por: MSc. Christiam Garzón

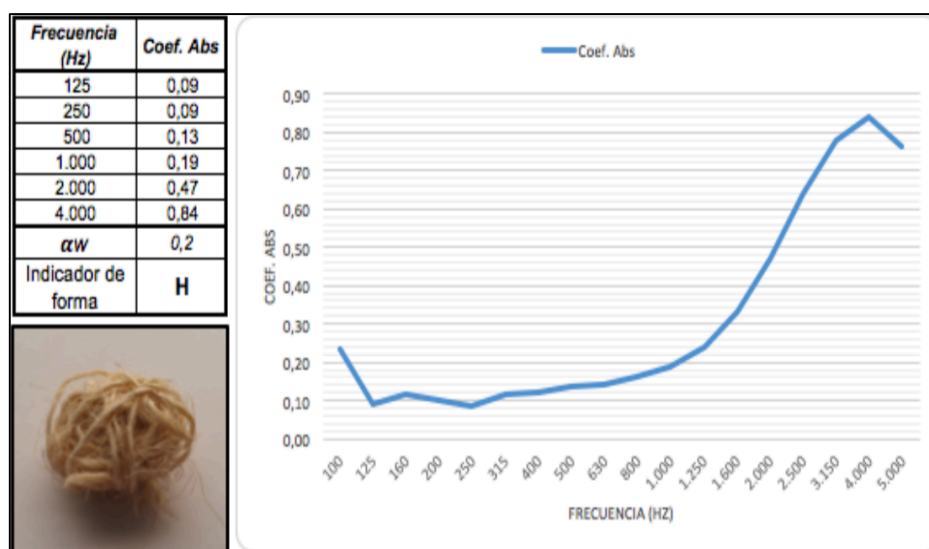
Fecha: 24 de abril del 2017

Composición de la muestra: Yute

Densidad de la muestra (gr/cm^3): 0.12

Temperatura y humedad: No se considera para este ensayo

Norma: UNE-EN ISO 10534-2 “Determinación del coeficiente de absorción acústica y de la impedancia acústica en tubos de impedancia”. : UNE-EN ISO 11654:1997 “Acústica. Absorbentes para su utilización en edificios. Evaluación de la absorción acústica”.



Elaborado por

Marcela Cazorla

Ricardo Córdova

Supervisado por
MSc. María Bertomeu

Aprobado por
MSc. Christiam Garzón

004

Lugar de medida: Laboratorio de acústica de la Universidad de las Américas – Quito (UDLA), Av. De los granados y Colimes.

Ensayo realizado: Caracterización de la absorción acústica de materiales para la construcción fabricados en Ecuador.

Elaborado por: Marcela Cazorla y Ricardo Córdova

Supervisado por: MSc. María Bertomeu

Aprobado por: MSc. Christiam Garzón

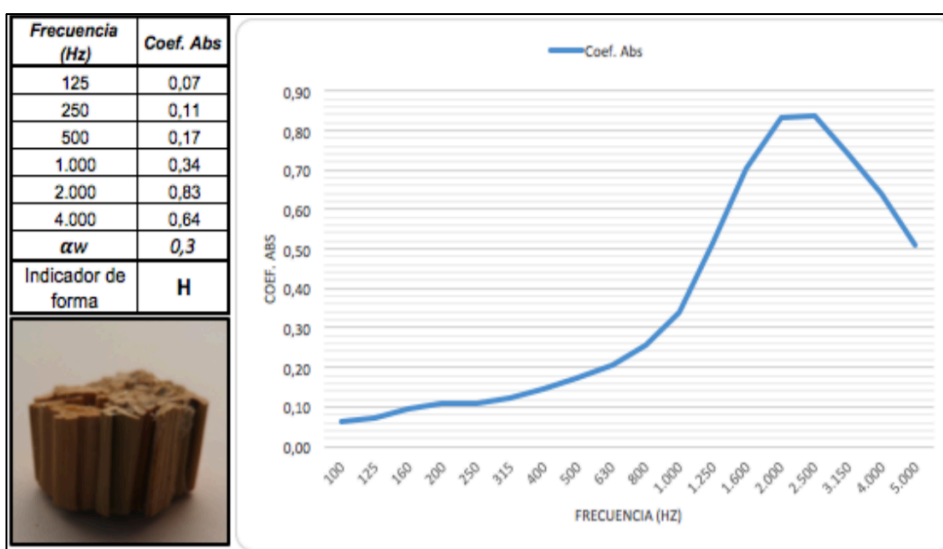
Fecha: 24 de abril del 2017

Composición de la muestra: Totora

Densidad de la muestra (gr/cm^3): 0.22

Temperatura y humedad: No se considera para este ensayo

Norma: UNE-EN ISO 10534-2 “Determinación del coeficiente de absorción acústica y de la impedancia acústica en tubos de impedancia”. : UNE-EN ISO 11654:1997 “Acústica. Absorbentes para su utilización en edificios. Evaluación de la absorción acústica”.



Elaborado por

Marcela Cazorla

Ricardo Córdova

Supervisado por
MSc. María Bertomeu

Aprobado por
MSc. Christiam Garzón

005

Lugar de medida: Laboratorio de acústica de la Universidad de las Américas – Quito (UDLA), Av. De los granados y Colimes.

Ensayo realizado: Caracterización de la absorción acústica de materiales para la construcción fabricados en Ecuador.

Elaborado por: Marcela Cazorla y Ricardo Córdova

Supervisado por: MSc. María Bertomeu

Aprobado por: MSc. Christiam Garzón

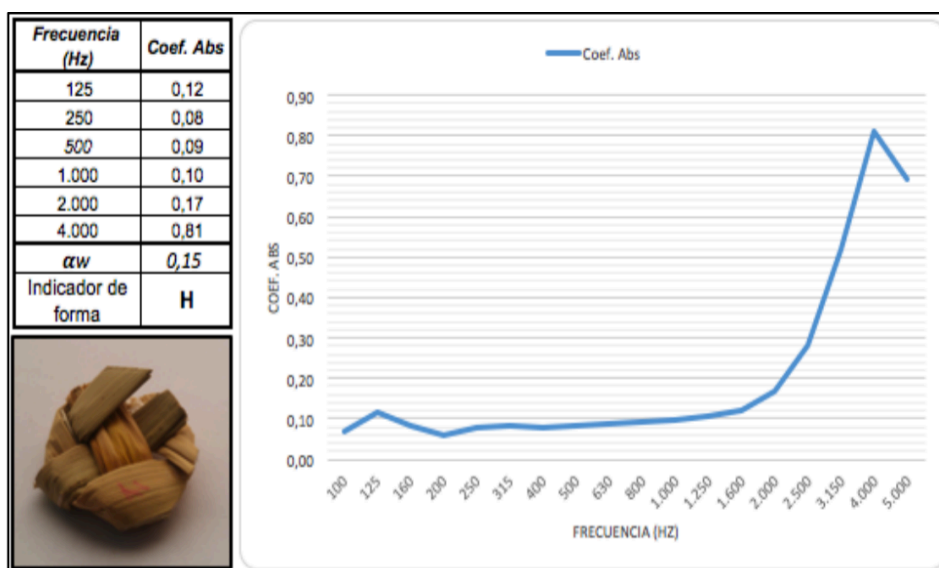
Fecha: 24 de abril del 2017

Composición de la muestra: Estera

Densidad de la muestra (gr/cm^3): 0.3

Temperatura y humedad: No se considera para este ensayo

Norma: UNE-EN ISO 10534-2 “Determinación del coeficiente de absorción acústica y de la impedancia acústica en tubos de impedancia”. : UNE-EN ISO 11654:1997 “Acústica. Absorbentes para su utilización en edificios. Evaluación de la absorción acústica”.



Elaborado por

Marcela Cazorla

Ricardo Córdova

Supervisado por
MSc. María Bertomeu

Aprobado por
MSc. Christiam Garzón

006

Lugar de medida: Laboratorio de acústica de la Universidad de las Américas – Quito (UDLA), Av. De los granados y Colimes.

Ensayo realizado: Caracterización de la absorción acústica de materiales para la construcción fabricados en Ecuador.

Elaborado por: Marcela Cazorla y Ricardo Córdova

Supervisado por: MSc. María Bertomeu

Aprobado por: MSc. Christiam Garzón

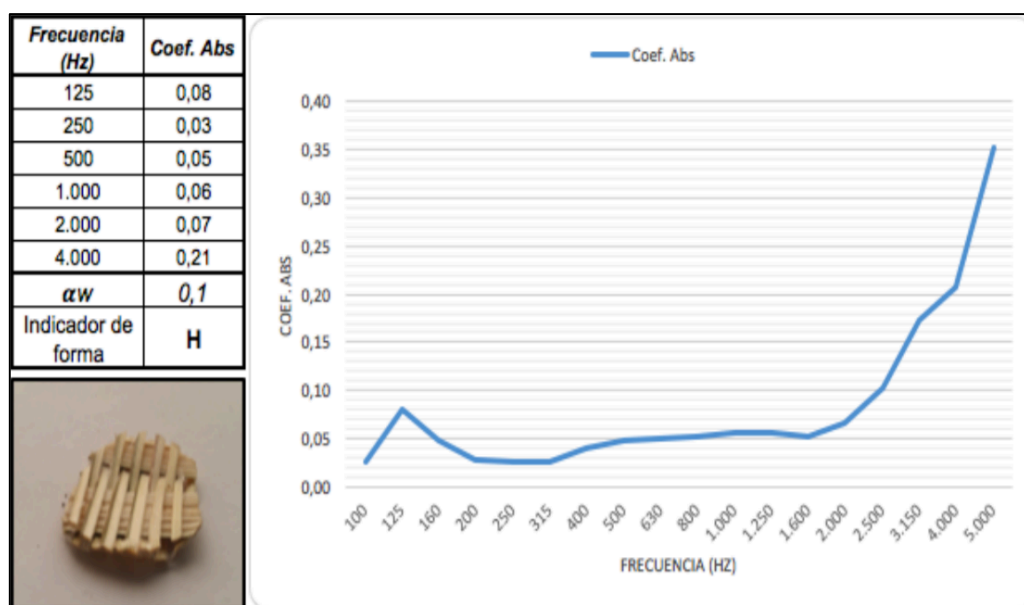
Fecha: 24 de abril del 2017

Composición de la muestra: Tunda

Densidad de la muestra (gr/cm^3): 0.23

Temperatura y humedad: No se considera para este ensayo

Norma: UNE-EN ISO 10534-2 “Determinación del coeficiente de absorción acústica y de la impedancia acústica en tubos de impedancia”. : UNE-EN ISO 11654:1997 “Acústica. Absorbentes para su utilización en edificios. Evaluación de la absorción acústica”.



Elaborado por

Marcela Cazorla

Ricardo Córdova

Supervisado por
MSc. María Bertomeu

Aprobado por
MSc. Christiam Garzón

007

Lugar de medida: Laboratorio de acústica de la Universidad de las Américas – Quito (UDLA), Av. De los granados y Colimes.

Ensayo realizado: Caracterización de la absorción acústica de materiales para la construcción fabricados en Ecuador.

Elaborado por: Marcela Cazorla y Ricardo Córdova

Supervisado por: MSc. María Bertomeu

Aprobado por: MSc. Christiam Garzón

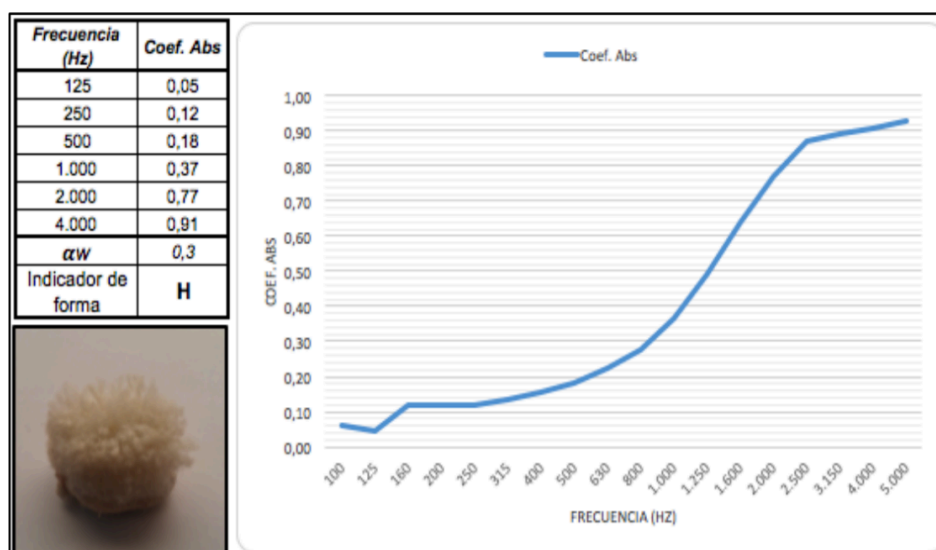
Fecha: 24 de abril del 2017

Composición de la muestra: Alfombra de alpaca

Densidad de la muestra (gr/cm³): 0.17

Temperatura y humedad: No se considera para este ensayo

Norma: UNE-EN ISO 10534-2 “Determinación del coeficiente de absorción acústica y de la impedancia acústica en tubos de impedancia”. : UNE-EN ISO 11654:1997 “Acústica. Absorbentes para su utilización en edificios. Evaluación de la absorción acústica”.



Elaborado por

Marcela Cazorla

Ricardo Córdova

Supervisado por
MSc. María Bertomeu

Aprobado por
MSc. Christiam Garzón

008

Lugar de medida: Laboratorio de acústica de la Universidad de las Américas – Quito (UDLA), Av. De los granados y Colimes.

Ensayo realizado: Caracterización de la absorción acústica de materiales para la construcción fabricados en Ecuador.

Elaborado por: Marcela Cazorla y Ricardo Córdova

Supervisado por: MSc. María Bertomeu

Aprobado por: MSc. Christiam Garzón

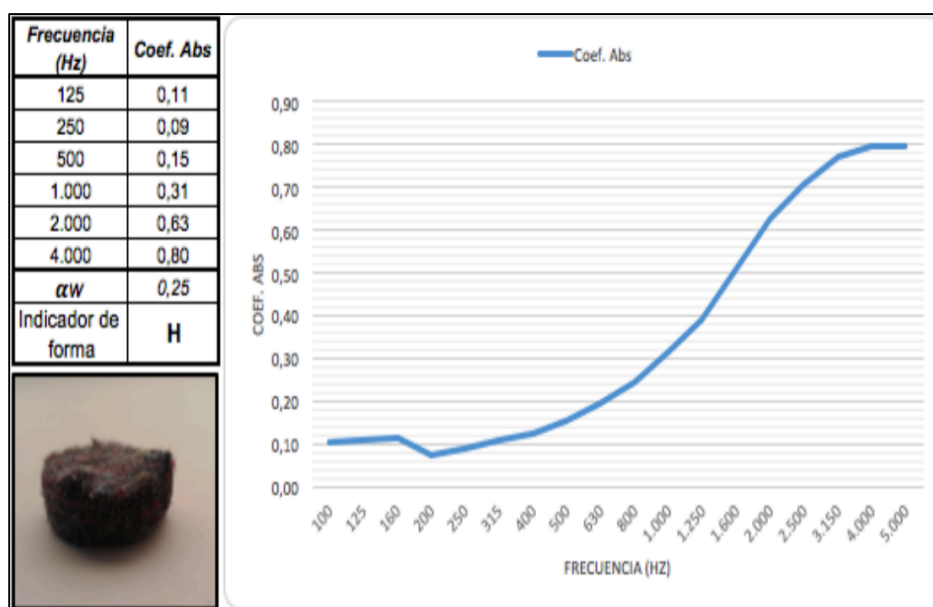
Fecha: 24 de abril del 2017

Composición de la muestra: Textil reciclado

Densidad de la muestra (gr/cm³): 0.25

Temperatura y humedad: No se considera para este ensayo

Norma: UNE-EN ISO 10534-2 “Determinación del coeficiente de absorción acústica y de la impedancia acústica en tubos de impedancia”. : UNE-EN ISO 11654:1997 “Acústica. Absorbentes para su utilización en edificios. Evaluación de la absorción acústica”.



Elaborado por

Marcela Cazorla

Ricardo Córdova

Supervisado por
MSc. María Bertomeu

Aprobado por
MSc. Christiam Garzón

009

Lugar de medida: Laboratorio de acústica de la Universidad de las Américas – Quito (UDLA), Av. De los granados y Colimes.

Ensayo realizado: Caracterización de la absorción acústica de materiales para la construcción fabricados en Ecuador.

Elaborado por: Marcela Cazorla y Ricardo Córdova

Supervisado por: MSc. María Bertomeu

Aprobado por: MSc. Christiam Garzón

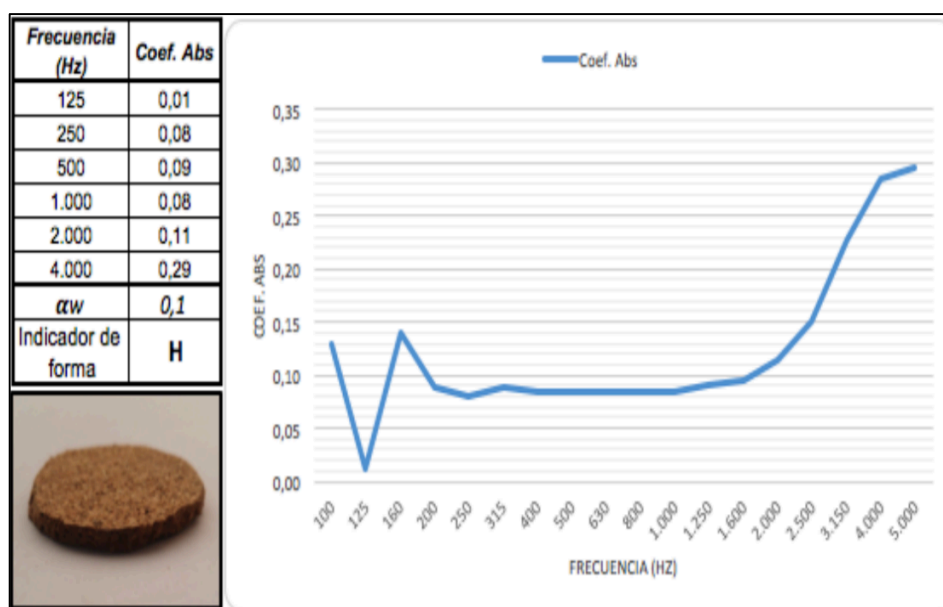
Fecha: 24 de abril del 2017

Composición de la muestra: Corcho lámina 2.7 mm

Densidad de la muestra (gr/cm^3): 0.23

Temperatura y humedad: No se considera para este ensayo

Norma: UNE-EN ISO 10534-2 “Determinación del coeficiente de absorción acústica y de la impedancia acústica en tubos de impedancia”. : UNE-EN ISO 11654:1997 “Acústica. Absorbentes para su utilización en edificios. Evaluación de la absorción acústica”.



Elaborado por

Marcela Cazorla

Ricardo Córdova

Supervisado por
MSc. María Bertomeu

Aprobado por
MSc. Christiam Garzón

010

Lugar de medida: Laboratorio de acústica de la Universidad de las Américas – Quito (UDLA), Av. De los granados y Colimes.

Ensayo realizado: Caracterización de la absorción acústica de materiales para la construcción fabricados en Ecuador.

Elaborado por: Marcela Cazorla y Ricardo Córdova

Supervisado por: MSc. María Bertomeu

Aprobado por: MSc. Christiam Garzón

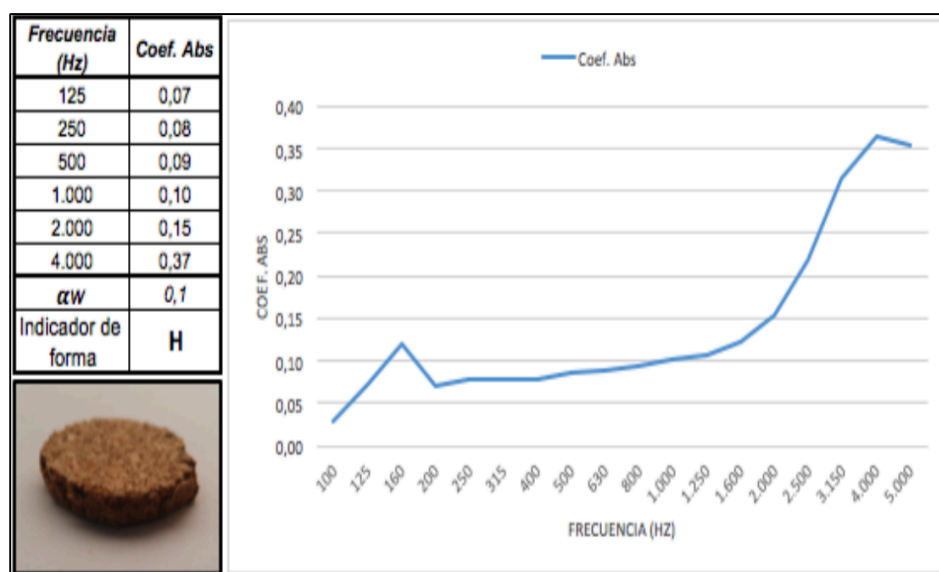
Fecha: 24 de abril del 2017

Composición de la muestra: Corcho lámina 5 mm

Densidad de la muestra (gr/cm^3): 0.28

Temperatura y humedad: No se considera para este ensayo

Norma: UNE-EN ISO 10534-2 “Determinación del coeficiente de absorción acústica y de la impedancia acústica en tubos de impedancia”. : UNE-EN ISO 11654:1997 “Acústica. Absorbentes para su utilización en edificios. Evaluación de la absorción acústica”.



Elaborado por

Marcela Cazorla

Ricardo Córdova

Supervisado por
MSc. María Bertomeu

Aprobado por
MSc. Christiam Garzón

011

Lugar de medida: Laboratorio de acústica de la Universidad de las Américas – Quito (UDLA), Av. De los granados y Colimes.

Ensayo realizado: Caracterización de la absorción acústica de materiales para la construcción fabricados en Ecuador.

Elaborado por: Marcela Cazorla y Ricardo Córdova

Supervisado por: MSc. María Bertomeu

Aprobado por: MSc. Christiam Garzón

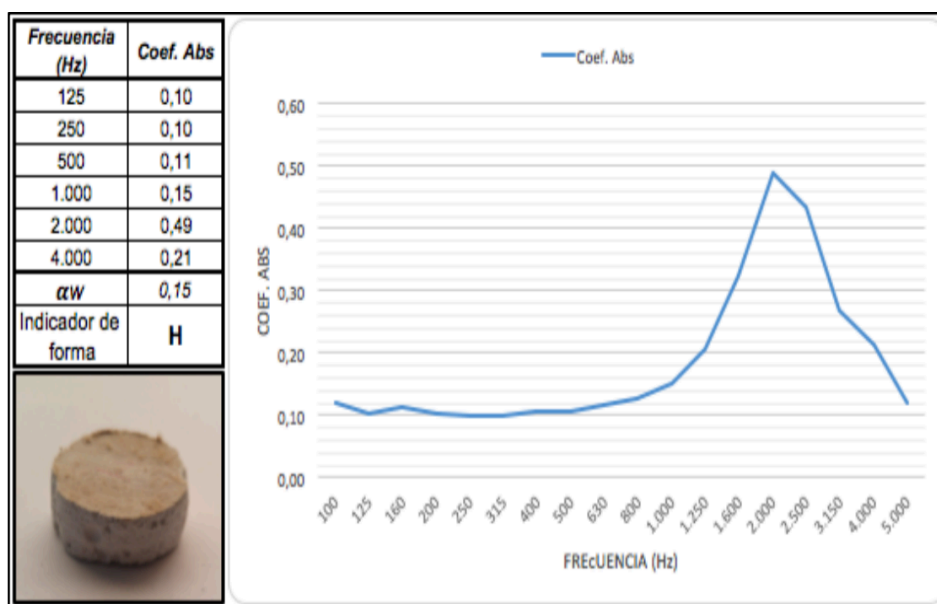
Fecha: 24 de abril del 2017

Composición de la muestra: Placa de yeso

Densidad de la muestra (gr/cm^3): 0.5

Temperatura y humedad: No se considera para este ensayo

Norma: UNE-EN ISO 10534-2 “Determinación del coeficiente de absorción acústica y de la impedancia acústica en tubos de impedancia”. : UNE-EN ISO 11654:1997 “Acústica. Absorbentes para su utilización en edificios. Evaluación de la absorción acústica”.



Elaborado por

Marcela Cazorla

Ricardo Córdova

Supervisado por
MSc. María Bertomeu

Aprobado por
MSc. Christiam Garzón

012

Lugar de medida: Laboratorio de acústica de la Universidad de las Américas – Quito (UDLA), Av. De los granados y Colimes.

Ensayo realizado: Caracterización de la absorción acústica de materiales para la construcción fabricados en Ecuador.

Elaborado por: Marcela Cazorla y Ricardo Córdova

Supervisado por: MSc. María Bertomeu

Aprobado por: MSc. Christiam Garzón

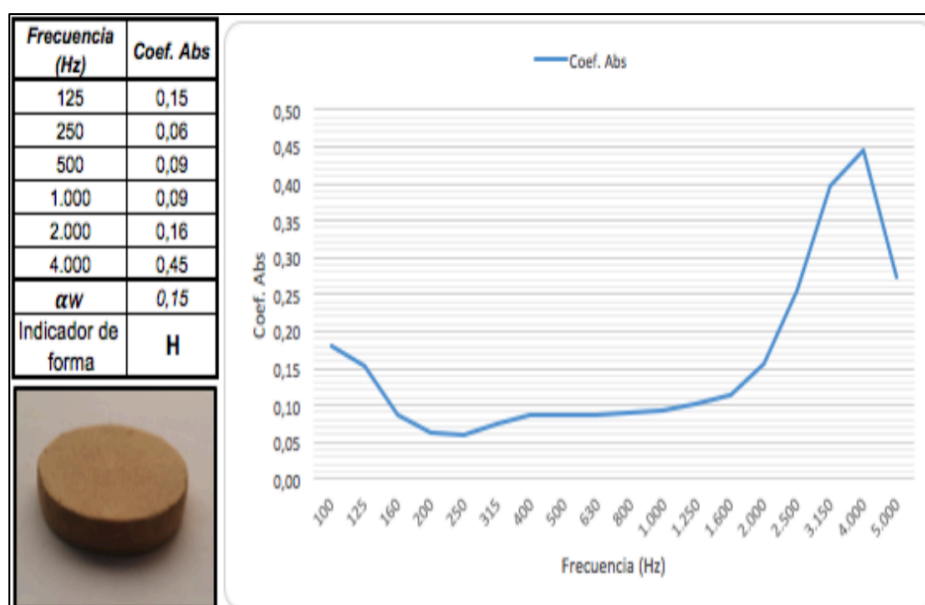
Fecha: 24 de abril del 2017

Composición de la muestra: Tablero de fibra de densidad media (MDF)

Densidad de la muestra (gr/cm^3): 0.75

Temperatura y humedad: No se considera para este ensayo

Norma: UNE-EN ISO 10534-2 “Determinación del coeficiente de absorción acústica y de la impedancia acústica en tubos de impedancia”. : UNE-EN ISO 11654:1997 “Acústica. Absorbentes para su utilización en edificios. Evaluación de la absorción acústica”.



Elaborado por

Marcela Cazorla

Ricardo Córdova

Supervisado por
MSc. María Bertomeu

Aprobado por
MSc. Christiam Garzón

013

Lugar de medida: Laboratorio de acústica de la Universidad de las Américas – Quito (UDLA), Av. De los granados y Colimes.

Ensayo realizado: Caracterización de la absorción acústica de materiales para la construcción fabricados en Ecuador.

Elaborado por: Marcela Cazorla y Ricardo Córdova

Supervisado por: MSc. María Bertomeu

Aprobado por: MSc. Christiam Garzón

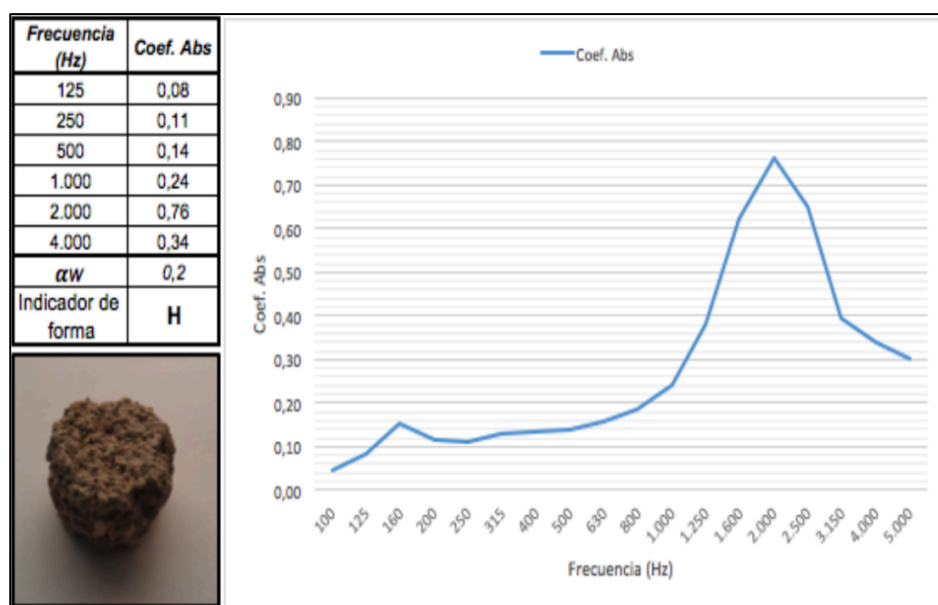
Fecha: 24 de abril del 2017

Composición de la muestra: Bloque

Densidad de la muestra (gr/cm^3): 1.11

Temperatura y humedad: No se considera para este ensayo

Norma: UNE-EN ISO 10534-2 “Determinación del coeficiente de absorción acústica y de la impedancia acústica en tubos de impedancia”. : UNE-EN ISO 11654:1997 “Acústica. Absorbentes para su utilización en edificios. Evaluación de la absorción acústica”.



Elaborado por

Marcela Cazorla

Ricardo Córdova

Supervisado por
MSc. María Bertomeu

Aprobado por
MSc. Christiam Garzón

014

Lugar de medida: Laboratorio de acústica de la Universidad de las Américas – Quito (UDLA), Av. De los granados y Colimes.

Ensayo realizado: Caracterización de la absorción acústica de materiales para la construcción fabricados en Ecuador.

Elaborado por: Marcela Cazorla y Ricardo Córdova

Supervisado por: MSc. María Bertomeu

Aprobado por: MSc. Christiam Garzón

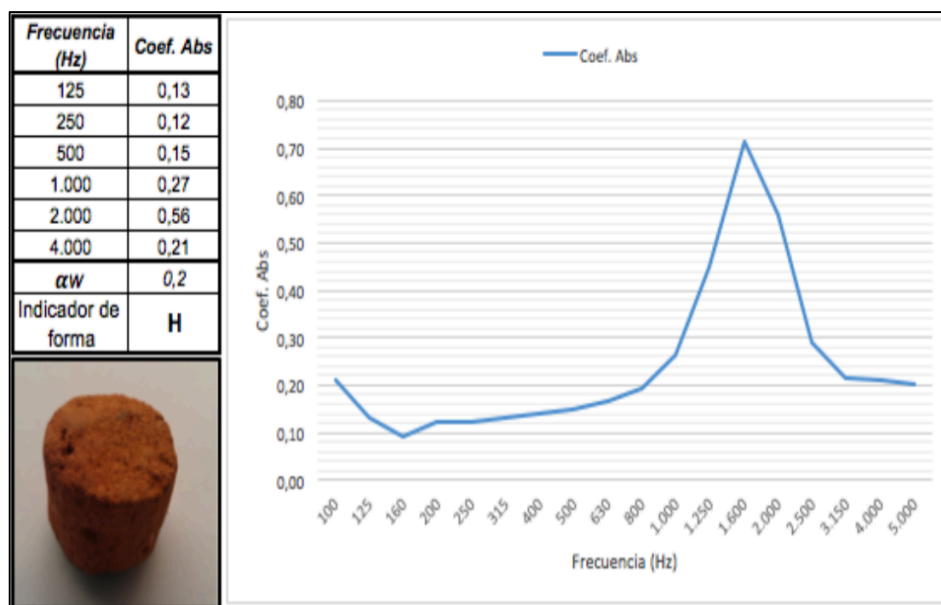
Fecha: 24 de abril del 2017

Composición de la muestra: Ladrillo

Densidad de la muestra (gr/cm^3): 1.33

Temperatura y humedad: No se considera para este ensayo

Norma: UNE-EN ISO 10534-2 “Determinación del coeficiente de absorción acústica y de la impedancia acústica en tubos de impedancia”. : UNE-EN ISO 11654:1997 “Acústica. Absorbentes para su utilización en edificios. Evaluación de la absorción acústica”.



Elaborado por

Marcela Cazorla

Ricardo Córdova

Supervisado por
MSc. María Bertomeu

Aprobado por
MSc. Christiam Garzón

015

Lugar de medida: Laboratorio de acústica de la Universidad de las Américas – Quito (UDLA), Av. De los granados y Colimes.

Ensayo realizado: Caracterización de la absorción acústica de materiales para la construcción fabricados en Ecuador.

Elaborado por: Marcela Cazorla y Ricardo Córdova

Supervisado por: MSc. María Bertomeu

Aprobado por: MSc. Christiam Garzón

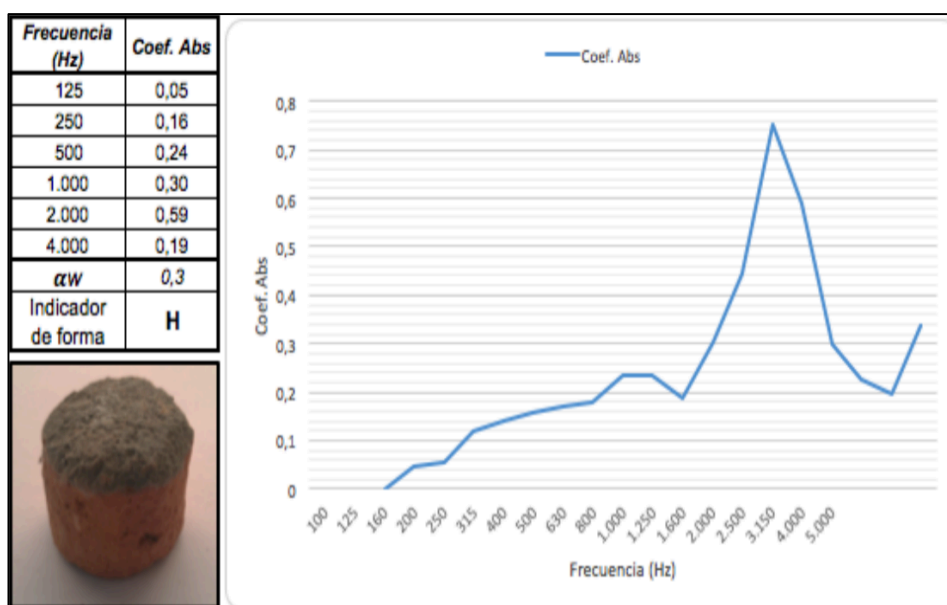
Fecha: 24 de abril del 2017

Composición de la muestra: Ladrillo enlucido

Densidad de la muestra (gr/cm³): 1.38

Temperatura y humedad: No se considera para este ensayo

Norma: UNE-EN ISO 10534-2 “Determinación del coeficiente de absorción acústica y de la impedancia acústica en tubos de impedancia”. : UNE-EN ISO 11654:1997 “Acústica. Absorbentes para su utilización en edificios. Evaluación de la absorción acústica”.



Elaborado por

Marcela Cazorla

Ricardo Córdova

Supervisado por
MSc. María Bertomeu

Aprobado por
MSc. Christiam Garzón

016

Lugar de medida: Laboratorio de acústica de la Universidad de las Américas – Quito (UDLA), Av. De los granados y Colimes.

Ensayo realizado: Caracterización de la absorción acústica de materiales para la construcción fabricados en Ecuador.

Elaborado por: Marcela Cazorla y Ricardo Córdova

Supervisado por: MSc. María Bertomeu

Aprobado por: MSc. Christiam Garzón

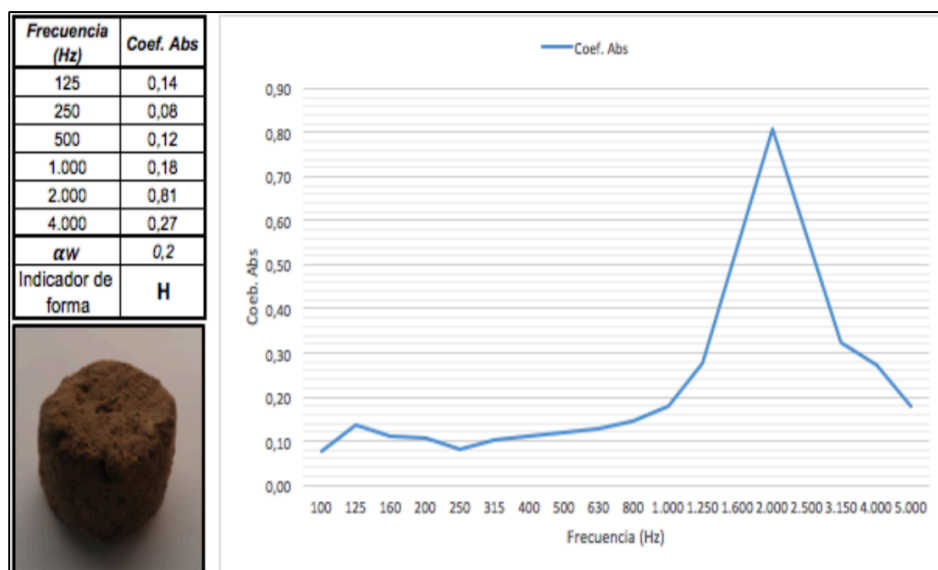
Fecha: 24 de abril del 2017

Composición de la muestra: Adobe

Densidad de la muestra (gr/cm³): 1.39

Temperatura y humedad: No se considera para este ensayo

Norma: UNE-EN ISO 10534-2 “Determinación del coeficiente de absorción acústica y de la impedancia acústica en tubos de impedancia”. : UNE-EN ISO 11654:1997 “Acústica. Absorbentes para su utilización en edificios. Evaluación de la absorción acústica”.



Elaborado por

Marcela Cazorla

Ricardo Córdova

Supervisado por
MSc. María Bertomeu

Aprobado por
MSc. Christiam Garzón

017

Lugar de medida: Laboratorio de acústica de la Universidad de las Américas – Quito (UDLA), Av. De los granados y Colimes.

Ensayo realizado: Caracterización de la absorción acústica de materiales para la construcción fabricados en Ecuador.

Elaborado por: Marcela Cazorla y Ricardo Córdova

Supervisado por: MSc. María Bertomeu

Aprobado por: MSc. Christiam Garzón

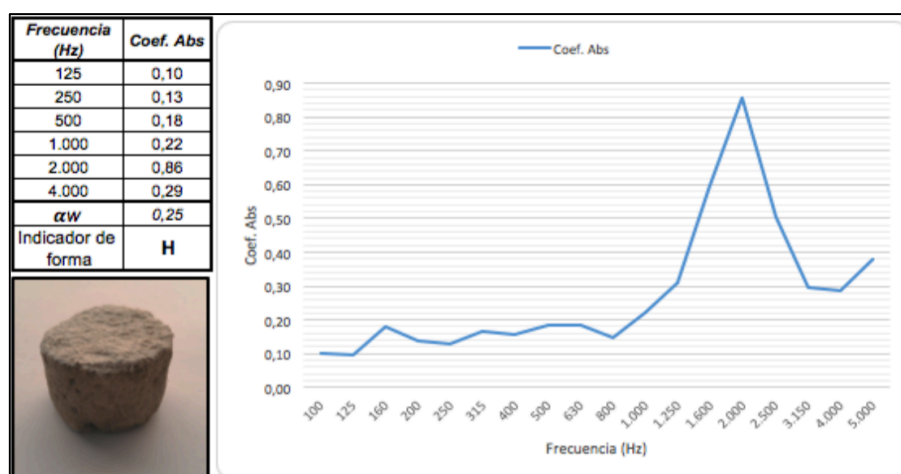
Fecha: 24 de abril del 2017

Composición de la muestra: Adobe pintado

Densidad de la muestra (gr/cm^3): 1.39

Temperatura y humedad: No se considera para este ensayo

Norma: UNE-EN ISO 10534-2 “Determinación del coeficiente de absorción acústica y de la impedancia acústica en tubos de impedancia”. : UNE-EN ISO 11654:1997 “Acústica. Absorbentes para su utilización en edificios. Evaluación de la absorción acústica”.



Elaborado por

Marcela Cazorla

Ricardo Córdova

Supervisado por
MSc. María Bertomeu

Aprobado por
MSc. Christiam Garzón

