



FIA 2020/22

XII CONGRESSO/CONGRESO IBEROAMERICANO DE ACÚSTICA

XXIX ENCONTRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ACÚSTICA - SOBRAC

Florianópolis, SC, Brasil

Caracterización acústica de fibras de culmo de *Zea Mays* (maíz) Acoustic characterization of culm fibers from *Zea Mays* (corn) for sound absorption.

Alvarez R, Y. P.¹; Ruiz H, J.A.²

¹ Arquitecta, Universidad La Gran Colombia, Bogotá D.C, Colombia, yalvarezr@ulagrancolombia.edu.co

² Arquitecto, Universidad La Gran Colombia, Bogotá D.C, Colombia, josealcides.ruiz@ugc.edu.co

Resumen

La siguiente investigación surge como una propuesta a la implementación de las fibras de culmos de *Zea Mays* en el desarrollo de un nuevo eco-material con propiedades acústicas, el objetivo fue medir el coeficiente de absorción basado en la norma internacional ISO 10534-1 determinación del coeficiente de absorción acústica e impedancia acústica en tubo de impedancia. Utilizando el tubo de impedancia para identificar los mínimos y máximos necesarios por medio de un procedimiento computacional en la herramienta de software MATLAB, y finalmente obtener los coeficientes de absorción acústica del material.

El proceso de medición se apoya en la implementación del tubo de impedancia, teniendo en cuenta medidas previas que avalan la veracidad de los datos tomados a través de este proceso, además de la medición del ruido de fondo para pasar estos valores y así garantizar la fiabilidad de los resultados de la medición, realizada con un sonómetro clase 1; Las fibras analizadas tuvieron un rango entre 0,73 y 0,95 de coeficiente de absorción en las bandas de 1000, 2000 y 4000 Hz, demostrando su eficacia en su aplicación como barrera acústica.

Palabras clave: Absorción, eco-material, fibras, maíz, acústica.

PACS: 43.55.Ev; 43.55.-n; 43.55.Ev

Abstract

The following research arises as a proposal to the implementation of *Zea Mays*' culm fibers in the development of a new eco-material with acoustic properties, the objective was to measure the absorption coefficient based on the international ISO standard 10534-1 Determination of the acoustic absorption coefficient and acoustic impedance in impedance tubes. Using the impedance tube to identify the minimums and maximums necessary to perform the computational procedure in the MATLAB software tool, and finally obtain the sound absorption coefficients of the material.

The measurement process is supported by the implementation of the impedance tube, taking all its consideration and previous measures that support the veracity of the data taken through this process, in addition to the measurement of background noise to pass these values to ensure reliable measurement results, performed with a class 1 sound level meter; The fibers analyzed had a range between 0,73 and 0,95 absorption coefficient in 1000, 2000 and 4000 Hz bands, demonstrating their effectiveness in their application as an acoustic barrier.

Keywords: absorption, eco-material, fibers, corn, acoustics.



1. INTRODUCCIÓN

La investigación principal se dirigió al uso de la biomasa producida por el culmo del *Zea mays* (planta de maíz) como insumo para el desarrollo de una barrera acústica con el fin de generar mejores condiciones de confort en las edificaciones.

El desarrollo de la investigación se plantea en la innovación del aprovechamiento de residuos agrícolas en la concepción de nuevos materiales de bajo impacto ambiental y bajo costo haciéndolo más accesible para la comunidad.

El análisis de las fibras se vuelve fundamental en el estudio de la acústica, debido a que estos permiten efectuar controles a los focos de ruido, además de crear ambientes adecuados para cada recinto. Por lo tanto, se deben contar con estudios y fundamentos científicos los cuales sirven como base para generar soluciones acústicas en problemáticas del día a día bajo el manto del fenómeno sonoro.

La caracterización acústica para la investigación tuvo como objetivo medir el coeficiente de absorción basándose en la norma internacional ISO 10534-1 **Determinación del coeficiente de absorción acústica y de la impedancia acústica en tubos de impedancia.**

Haciendo uso del tubo de impedancia para identificar los mínimos y máximos necesarios para realizar el procedimiento computacional en la herramienta software MATLAB, y finalmente obtener los coeficientes de absorción sonora del material.

El proceso de medición está sustentado por la implementación del tubo de impedancia, bajo diversos parámetros que soportan la veracidad de los datos tomados por medio de este proceso, además de que se efectuaron mediciones de ruido de fondo con el fin de sobrepasar estos valores para garantizar resultados fiables en la medición, realizados con un sonómetro de clase 1.

Las fibras analizadas presentaron un rango entre 0,73 y 0,95 de coeficiente de absorción en las bandas de 1000, 2000 y 4000 Hz, con lo que se prueba la efectividad en su implementación como barrera acústica, pues si se encuentra cerca de 1 indica que tiene un muy buen coeficiente de absorción y cerca de 0 indica que su coeficiente de absorción es bajo o nulo.

2. MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL

A continuación se encontrarán una serie de términos relacionados que abren puertas cognitivas en el campo de la acústica, los cuales son de gran importancia para llevar a cabo esta investigación, contextualizando conceptualmente la temática a tratar. Teniendo en cuenta la base conceptual se define: velocidad de partícula, intensidad de sonido, impedancia acústica, absorción y coeficiente de absorción.

Inicialmente se tuvo en cuenta la velocidad de partícula ($u(t)$) La cual describe el desplazamiento que tienen las partículas en el tiempo cuando salen de su punto de equilibrio (Sons, 2007). Como expresa magnitud y dirección del movimiento es una cantidad vectorial (Technologies, 2007). En las Ecuaciones (1) y (2) se expresa la velocidad de partícula para ondas planas y esféricas respectivamente, de manera armónica compleja:

$$u(x, t) = ux = \left| \frac{A}{\rho c} e^{j(\omega t - kx)} - \frac{B}{\rho c} e^{j(\omega t - kx)} \right| x = \frac{P(r, t)}{\rho c} \quad (1)$$

$$u(r, t)x = \frac{A}{j\omega\rho} \left(\frac{1}{r} + jk \right) \frac{e^{j(\omega t - kx)}}{r} = \frac{P(r, t)}{j\omega\rho} \left(\frac{1}{r} + jk \right) \quad (2)$$

Donde:

u : Vector de Velocidad de partícula [m/s]

x : Vector unitario en dirección del eje X

r : Distancia Fuente-Receptor

A, B : Amplitud compleja [Pa]

ω : Frecuencia Angular [rad/s]

K : Número de onda [ciclos/m]

Seguidamente se identificó la **Intensidad del sonido (I)** la cual es el valor medio de la velocidad de transmisión de la energía a través de un área unitaria perpendicular a una dirección determinada en un punto dado (Beranek, 1969), (Beranek, & Mellow, 2012). En una onda plana o esférica, libre y progresiva, la intensidad en la dirección de propagación es:

$$I \left| \frac{W}{m^2} \right| = \frac{P_{rms}}{\rho c} \quad (3)$$

Una vez identificados el cociente de presión acústica y velocidad de partícula se prosigue con la **impedancia Acústica (Z)**, la cual se define como la relación compleja de la presión acústica promedio eficaz sobre la superficie y la velocidad de volumen efectivo a través de ella (Benarek & Mellow, 2012), esta se muestra en la Ecuación (4)

$$Z_A = \frac{P}{U} \left[N \frac{s}{m^5} \right] \quad (4)$$

La impedancia acústica específica es la relación compleja de la presión sonora efectiva en un punto de un medio acústico sobre la velocidad de partícula efectiva en el mismo punto (Beranek, 1969), (Benarek & Mellow, 2012)

$$Z_s = \frac{P}{U} \left[N \frac{s}{m^3} \right] \quad (5)$$

La impedancia también es expresada como un parámetro complejo, donde la parte real es la resistencia y la parte imaginaria es la reactancia (Long, 1988)

$$Z_s = w_n + j x_n \quad (6)$$

La onda reflejada por una superficie plana depende de la impedancia superficial de esta. La impedancia superficial es entonces definida como el cociente complejo de la presión sonora en la superficie (P) y la velocidad de partícula normal a ella (u).

La impedancia característica es la relación de la presión sonora en un punto con la velocidad de partícula en un punto para una onda sonora progresiva plana (Benarek & Mellow, 2012).

Para finalizar se identificó el nivel de **absorción y coeficiente de absorción**, siendo el coeficiente α de absorción la medida de la eficiencia de una superficie o material de absorber el sonido (Benarek & Mellow, 2012). El campo sonoro en una sala viaja en muchas direcciones, por lo que el cálculo de un coeficiente de absorción promedio debe establecerse bajo todos los ángulos de incidencia posibles.

Algunos autores, y en especial (Long, 1988) han señalado que existe una confusión generalizada en la acústica en relación con el coeficiente de absorción. Realmente existen dos tipos, uno basado en la media aritmética del coeficiente de reflexión de varias superficies absorbentes, a , y otro, el coeficiente medio geométrico de reflexión, α (Benarek & Mellow, 2012) que se relacionan a través de:

$$\text{Donde:} \quad \alpha = -\log_e(1-\alpha) \quad (7)$$

a : Coeficiente de absorción de Sabine
 α : Coeficiente de absorción de Energía

Este problema se puede disimular centrando la atención en el coeficiente de Sabine, a , el cual es usualmente el que en realidad se mide y está expuesto en las diferentes tablas de absorción de los materiales.

$$\alpha_{abs} = 1 - \left| \frac{\left(\frac{Z}{\rho c} \right) \cos \theta - 1}{\left(\frac{Z}{\rho c} \right) \cos \theta + 1} \right|^2 \quad (8)$$

Y en términos de las componentes de la impedancia compleja

$$\alpha_{abs} = \frac{4 \rho c w_n \cos \theta}{(w \cos \theta + \rho c)^2 + x^2 \cos^2 \theta} \quad (9)$$

3. METODOLOGÍA

El desarrollo de esta investigación contó con un enfoque cuantitativo, el cual tuvo como alcance la caracterización acústica de las fibras del culmo de *Zea Mays* (planta de maíz), el cual se caracterizó por lo siguiente:

Inicialmente se elaboraron las probetas con las fibras del culmo de *Zea Mays* (planta de maíz) de 8 cm de diámetro y con los diferentes espesores a analizar.



Figura 1: Elaboración probetas de *Zea Mays*.
Fuente: Elaboración propia

Posteriormente se recubrieron para que estas queden fijas en el tubo de impedancia y no se escapen las ondas del sonido.



Figura 2: Elaboración probetas de *Zea Mays*.
Fuente: Elaboración propia

En primera instancia al momento de realizar la prueba se preparó el cuarto de medición (Estudio A) para el tubo de impedancia, los elementos necesarios y las muestras a medir. Luego se montaron los elementos amplificadores, computador, interfaz y se conectó al flujo de señal.

Posteriormente se midió el ruido de fondo con el sonómetro del cuarto donde se iba a realizar la prueba, el micrófono dentro del tubo de impedancia y este totalmente cerrado. Esta primera medición se hizo durante 10 min con el cuarto solo y se obtuvo un valor de ruido de fondo promedio de 36,3 dB, esto con el fin de generar una señal que sobrepase estos niveles.

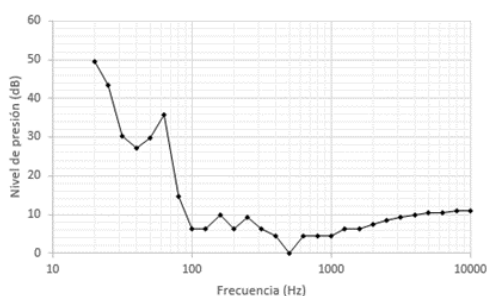


Figura 3: Grabación ruido de fondo por tercios de octava.
Fuente: Elaboración propia

Luego de medir el ruido de fondo del lugar se estableció el nivel de los tonos puros reproducidos por la caja acústica del tubo de resonancia, con el fin de cerciorarse que el nivel de presión sonora dentro del tubo durante la reproducción de los tonos estuviera por encima del ruido de fondo anteriormente medido.

Posteriormente se procedió a medir cada una de las muestras las cuales estaban compuestas por fibra de culmo de *Zea Mays* (maíz).



Figura 4: Montaje de las probetas.
Fuente: Elaboración propia

Para iniciar las mediciones se debía abrir el tubo y poner la muestra seleccionada, una vez puesta esta se procedió y se ajustó de manera tal que la probeta quedará al ras en la cara exterior con el tubo para de esta manera finalmente cerrar totalmente el tubo.

Posteriormente se insertó el micrófono del sonómetro por la caja acústica hasta el tope (hasta que choque con la muestra) y se reprodujo la primera frecuencia a estudiar, en este caso 250 Hz.

Las frecuencias trabajadas van desde 250 Hz hasta 4 KHz, el siguiente proceso se realizó para cada frecuencia.

Como un primer paso se procedió a medir a cada frecuencia la amplitud de onda hasta encontrar el punto considerado como el mínimo 1, después con un flexómetro se tomó la distancia que había desde el punto de referencia hasta la parte de inicio.

Posteriormente se midió la amplitud de onda en cada frecuencia de onda hasta encontrar un

punto de máximo, este considerado como un Máximo 1 después con un flexómetro se tomó la distancia que hay desde el punto de referencia hasta la parte de inicio.

Finalmente se realizó el mismo procedimiento ya mencionado hasta encontrar un mínimo 2 y con un flexómetro se tomó la distancia que hay desde el punto de referencia hasta la parte de inicio.

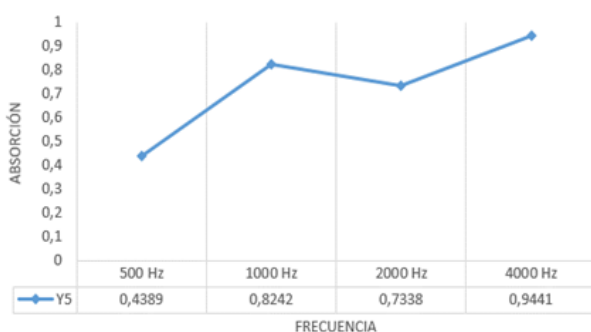
Estos datos se tomaron para cada frecuencia y para cada probeta del material repitiendo el mismo proceso las veces necesarias.

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los materiales analizados poseen absorciones muy variables con respecto a las frecuencias analizadas en las bandas de 500, 1000, 2000 y 4000 Hz, con lo que se identificaron propiedades positivas en las fibras para la implementación de estas de un nuevo eco-material en la creación de barreras acústicas.

Se prueban 4 probetas de fibras de *Zea Mays* (maíz), *y5*, *y6*, *y7*, *y8*, donde las probetas *y5*, *y6* tienen un espesor de 11cm y *y7*, *y8* tienen un espesor de 6cm, en las bandas de 500, 1000, 2000 y 4000 Hz.

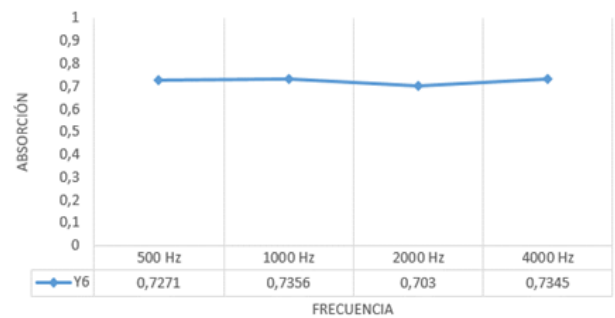
Probeta *y5*:



La probeta Y5 posee buenas absorciones en las bandas de 1000 Hz, 2000 Hz y 4000 Hz, con porcentajes de absorción desde 0,73 hasta un 0,94 siendo mucho más efectivos en 4000 Hz.

Y5 en la banda de 500 Hz posee una absorción baja siendo esta del 0,43.

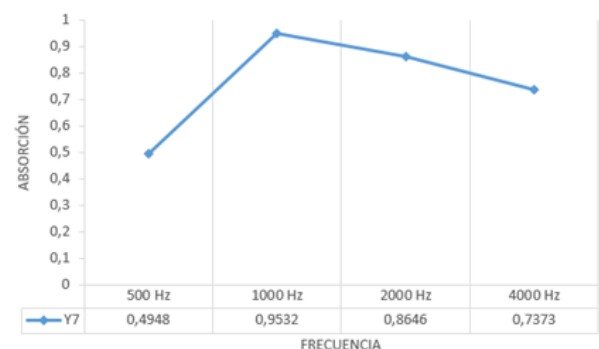
Probeta *y6*:



La probeta Y6 posee buenas absorciones en las bandas de 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz y 4000 Hz con porcentajes de absorción desde 0,70 a 0,73 siendo mucho más efectivos en 1000 Hz y 4000 Hz.

Y6 en la banda de 500 Hz posee una absorción baja siendo esta del 0,70.

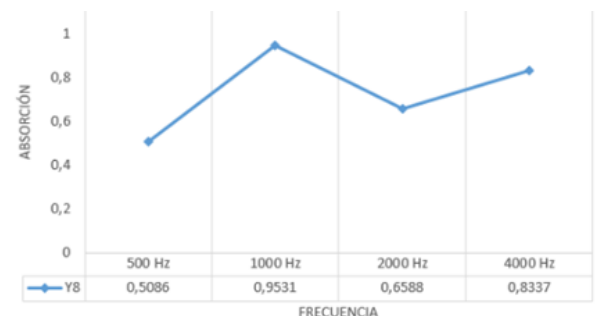
Probeta *y7*:



La probeta Y7 posee buenas absorciones en las bandas de 1000 Hz, 2000 Hz y 4000 Hz, con porcentajes de absorción desde 0,73 hasta un 0,95 siendo mucho más efectivos en 4000 Hz.

Y7 en la banda de 500 Hz posee una absorción baja siendo esta del 0,49.

Probeta *y8*:





La probeta Y8 posee buenas absorciones en las bandas de 1000 Hz y 4000 Hz, con porcentajes de absorción desde 0,83 hasta un 0,95 siendo mucho más efectivos en 4000 Hz.

Y8 en la banda de 500 Hz y 2000 Hz posee una absorción baja siendo esta entre 0,50 y 0,65.

5. CONCLUSIONES

Inicialmente se pudo observar como en las probetas **y5** y **y6**, que tenían un espesor de 11cm para las frecuencias de 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz y 4000 Hz la media de coeficiente de absorción fueron:

Frecuencia HZ	Coefficiente de absorción
500Hz	0.583
1000Hz	0.7799
2000Hz	0.7184
4000Hz	0.8393

Posteriormente se observó como en las probetas **y7** y **y8**, que tenían un espesor de 6cm para las frecuencias de 500Hz, 1000Hz, 2000Hz y 4000Hz la media de coeficiente de absorción fueron:

Frecuencia HZ	Coefficiente de absorción
500Hz	0.5017
1000Hz	0.95315
2000Hz	0.7617
4000Hz	0.7855

Las probetas analizadas mostraron **y5**, **y6**, **y7**, y **y8**, propiedades acústicas aplicables a la creación de barreras acústicas, debido a que sus porcentajes de absorción son considerablemente buenos ya que se encuentran entre el 0,71 y 0,95 en las bandas de 1000 Hz, 2000 Hz y 3000 Hz, además de poseer diversas características que abre el panorama de aplicación.

Para concluir se pudo observar que al aumentar el espesor de las probetas la diferencia del coeficiente de absorción es mínima, lo que va indicando una posible estandarización de espesores.

6. AGRADECIMIENTOS

Principalmente agradezco al consejo directivo de la FIA por su estímulo y oportunidad de hacer parte de este evento, al ingeniero Jonathan Ochoa por su colaboración en la realización de las pruebas en la Universidad San Buenaventura de Medellín, al arquitecto Jose Alcides por su constante apoyo y a la Universidad La Gran Colombia por incentivar me en el camino de la investigación; por otro lado agradezco a cada una de las personas que están tras el desarrollo de este evento que nos brinda grandes oportunidades.

7. REFERENCIAS

Beraneck, L. (1969). *Acústica*. Segunda Ed. Editorial Hispano America S.A.

Long, M. (1988). *Architectural Acoustics*. Elsevier.

Mellow, L. B. (2012). *Acoustics: Sound Fields and Transducer* (Vol. No 2). Elsevier.

UNE-EN ISO 10534-1 (2002) Determinación del coeficiente de absorción acústica y de la impedancia acústica en tubos de impedancia.

Sons, J. W. (2007). *Handbook of Noise and Vibration Control*. John Wiley & Sons.

Technologies, M. (2007). "Chapter 6: Impedance measurements" in *The Microflow*. E-Book.