

Prototipo de tubo de caracterización acústica “NQacoustics” para evaluación de materiales naturales y sintéticos

Acoustic characterization tube prototype “NQacoustics” for evaluation of natural and synthetic materials

Aristides M. Quintero G.¹, Adalberto X. Nieto P.¹, Nacari Marín², Francisco Canto^{1,}*

¹Universidad Tecnológica de Panamá, Centro Regional de Azuero, Facultad de ingeniería Eléctrica, Panamá

²Universidad Tecnológica de Panamá, Centro Regional de Azuero, ²Facultad de Ingeniería Mecánica, Panamá

Fecha de recepción: 21 de marzo de 2023. **Fecha de aceptación:** 23 de junio de 2023.

***Autor de correspondencia:** francisco.canto@utp.ac.pa

Resumen. En esta investigación se elabora un prototipo de tubo de caracterización acústica en el cual se colocan probetas de fibra de coco mezcladas con aglomerantes naturales y sintéticos, con el objetivo de verificar la reducción de los niveles de presión sonora en decibeles ponderación A al emitir un sonido, facilitando la selección de materiales al trabajar con escalas reducidas y permitiendo su evaluación para aplicarlos en proyectos de aislamiento y acondicionamiento acústico. De esta manera, luego de realizar los ensayos en el prototipo con diferentes cantidades de aglutinante en un material de prueba y seleccionar la mejor relación en base a los decibeles reducidos, se debe mantener la relación porcentual entre el material de estudio y el aglomerante utilizado para proyectos a mayor escala. Para el prototipo desarrollado se tomaron mediciones a una potencia sonora constante mediante un altavoz colocado en la entrada del tubo, variando la frecuencia entre 100 Hz y 2000 Hz. Se encontró un rango de frecuencia óptimo de trabajo entre 500 Hz y 2000 Hz para el prototipo, llegando a obtener una reducción de hasta 27.3 dB al emitir un sonido de entrada 93.3 dB para la mezcla fibra de coco-resina de poliéster y de 9.1 dB reducidos con 93.1 dB de entrada para la mezcla fibra de coco-almidón de yuca. Ambos resultados se obtuvieron a una frecuencia de 2000 Hz. Los resultados obtenidos son comparados con un aislante acústico comercial como lo es la espuma de poliuretano, dejando como conclusión el gran potencial que presenta este material de desecho para aislar sonido a frecuencias altas, mayores a 1000 Hz.

Palabras clave. Acústico, aislamiento, compuestos verdes, fibra de coco, sonómetros.

Abstract. In this investigation, a prototype of an acoustic characterization tube is elaborated in which coconut fiber test tubes mixed with natural and synthetic binders are placed, with the objective of verifying the reduction of sound pressure levels in A-weighted decibels when emitting a sound, facilitating the selection of materials when working with reduced scales and allowing their evaluation to apply them in acoustic insulation and conditioning projects. In this way, after carrying out the tests on the prototype with different amounts of binder in a test material and selecting the best relationship based on the reduced decibels, the percentage relationship between the study material and the binder used for the test must be maintained. larger scale projects. For the developed prototype, measurements were taken at a constant sound power through a speaker placed at the entrance of the tube, varying the frequency between 100 Hz and 2000 Hz. An optimal working frequency range between 500 Hz and 2000 Hz was found for the prototype, reaching a reduction of up to 27.3 dB when emitting an input sound of 93.3 dB for the coconut fiber-polyester resin mix and 9.1 dB reduced with 93.1 dB input for the coconut fiber-cassava starch mixture. Both results were obtained at a frequency of 2000 Hz. The results obtained are compared with a commercial acoustic insulator such as polyurethane foam, leaving as a conclusion the great potential that this waste material presents to insulate sound at high frequencies, greater than 1000 Hz.

Keywords. Acoustic, insulation, green compounds, coconut fiber, sound level meters.

1. Introducción

Según el artículo 3 del decreto ejecutivo 306 del 4 de septiembre de 2002 de Panamá, se define ruido como “todo sonido molesto o que causa molestia, que interfiere con el sueño y trabajo o lesione y dañe física o psíquicamente al individuo, flora, fauna y bienes de la nación o de particularidades” [1]. El ruido es una sensación auditiva desagradable que hoy en día se busca disminuir ya que causa impactos negativos a la salud, aunque pueda parecer inofensivo. Una constante exposición puede causar problemas tales como: estrés, depresión, perturbaciones del sueño, pérdida auditiva, acúfenos (zumbido en oídos), daños al sistema nervioso, problemas de comunicación, entre otros. El nivel de presión sonora se define como la variación de presión que se obtiene a partir de las ondas de sonido en un espacio. Esta presión es susceptible por el oído humano y existe un valor mínimo que es conocido como umbral auditivo y un máximo que es llamado umbral del dolor.

Estos niveles suelen ser valores muy grandes, por ende, para trabajar de una manera más sencilla se utiliza una escala logarítmica expresando en decibels dB los niveles de presión sonora, que para un valor mínimo se coloca 0 dB y para un máximo 120 dB, representando así el umbral auditivo y de dolor respectivamente, aunque se pueden obtener valores mayores que representa un ruido excesivo. [2]

Actualmente en Panamá se sobrepasa los niveles de presión sonora establecidos a nivel nacional e internacional cada día, desde pequeños detalles como el ruido de autos particulares, equipo pesado, ruido de industrias en las cercanías, aeropuertos y aspectos tan simples pero muy comunes como lo es el ruido excesivo de los equipos de sonido de vecinos en zonas tanto rurales como urbanas.

En esta investigación se plantea el diseño, construcción y evaluación de un prototipo de tubo de caracterización acústica, el cual mediante diferentes probetas de 4 pulgadas de diámetro y espesores entre 1 centímetro y 5 centímetro, permita obtener datos de la cantidad de ruido que puede reducir un material, facilitando así los procesos de evaluación sonora al trabajar a escalas reducidas, permitiendo el análisis de su rentabilidad para futuras investigaciones en proyectos de aislamiento y acondicionamiento acústico, que por lo general requieren de una gran cantidad de material absorbente o aislante para ser aplicado en diversos recintos.

En este caso particular, se realizaron diferentes ensayos utilizando fibra de coco con aglomerantes naturales y sintéticos, buscando evaluar las cualidades de este prototipo y su potencial como una herramienta para el estudio acústico de materiales.

El uso principal del coco se centra en la industria de la alimentación; los subproductos del coco durante los últimos años vienen teniendo gran acogida en la agricultura debido al alto potencial en su utilización. Además, se han comenzado a explorar otras áreas que apuntan hacia contextos ingenieriles referentes a aislamiento térmico y acústico.

Este fruto es una drupa y está compuesto de cuatro partes: el exocarpio, que es una cáscara exterior gruesa y fibrosa color marrón, una capa intermedia llamada mesocarpio, también conocido como estopa, en donde se extrae la fibra y otra más fina conocida como endocarpio que tiene adherida la pulpa o endospermo; cada una de estas partes es utilizada en la industria para fines específicos [3] (ver figura 1).

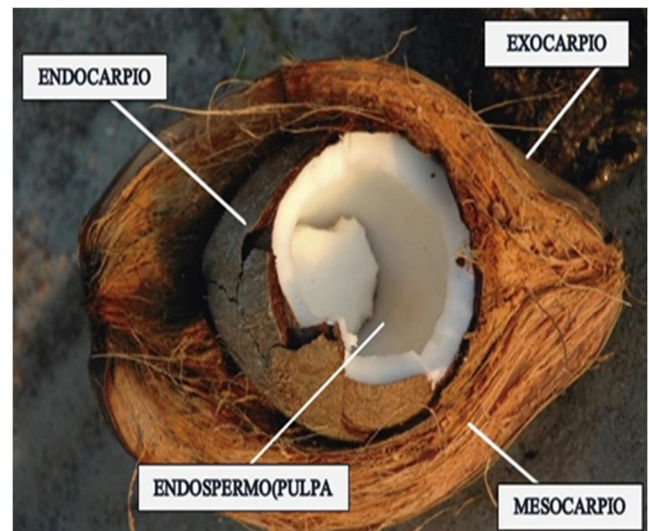


Figura 1. Partes del coco Partes del coco.

En la mayoría de las industrias sólo extraen el endospermo (pulpa) del coco, ya que es la parte comestible y la materia prima para muchos otros subproductos y el resto lo desechan. Para este proyecto se utiliza el mesocarpio que es la capa que contiene la fibra, por lo que se aprovecha una sección de este fruto que no es utilizable para fines alimenticios a la vez que se incentiva a la reutilización de este tipo de productos.

2. Materiales y Métodos

El primer paso para iniciar con este estudio fue la fase de diseño, en donde se decide el diámetro del tubo y por ende el de las muestras a utilizar, conociendo que, dependiendo del diámetro a utilizar variaría la frecuencia máxima con la que se podría experimentar. Se selecciona un diámetro de 4 pulgadas (0.1016 metros), con el cual se tendría una frecuencia máxima de trabajo de 1976 Hz, basándonos en la ecuación de

Ingrid y Deard considerando condiciones de temperatura estándar a 25°C y con ello una velocidad del sonido de 346.20 metros por segundo [4]. Las ecuaciones utilizadas se muestran a continuación (ecuaciones 1 y 2):

$$c_0 = 343.2 \sqrt{\frac{T}{293}} \quad (1)$$

$$fu < \frac{0.58c_0}{d} \quad (2)$$

En donde:

- c_0 : velocidad del sonido en metros por segundo (m/s)
- T: temperatura en grados kelvin (K)
- d: diámetro del tubo circular en metros (m)
- fu: frecuencia máxima utilizable en Hertz (Hz)

Luego de seleccionar el diámetro del prototipo, se procede a realizar el dibujo en 3D de las partes y accesorios que la complementan. Algunas de estas partes una vez dibujadas fueron llevadas a la realidad mediante una impresora 3D, como lo fue el caso de los soportes del tubo, moldes de probetas y soporte de altavoz.

Una vez se poseen todas las secciones del prototipo se procede a su ensamble, se fabrican probetas con ayuda de los moldes impresos adaptados a diámetro interno del tubo y se proceden a realizar las mediciones. El sonido de prueba es envidado mediante un altavoz y se envía la señal a una frecuencia específica con un software para computadora. Las mediciones se toman con un sonómetro clase 1 calibrado.

Para una explicación más detallada del procedimiento realizado se divide el contenido en las siguientes secciones y subsecciones:

- Diseño e impresión de moldes y accesorios
- Fabricación de probetas de fibra de coco
 - a. Proceso de extracción de fibra de coco
 - b. Proceso de preparación de almidón de yuca
 - c. Mezcla de fibra de coco con aglomerantes
 - d. Secado de probetas de fibra de coco con aglomerantes
- Metodología de funcionamiento de prototipo
- Construcción de prototipo

2.1 Diseño e impresión de moldes y accesorios

El diseño de moldes para probetas se realizó mediante el software Fusion 360 de Autodesk, el cual se posee licencia académica de la Universidad Tecnológica de Panamá hasta culminar estudios (ver figura 2).

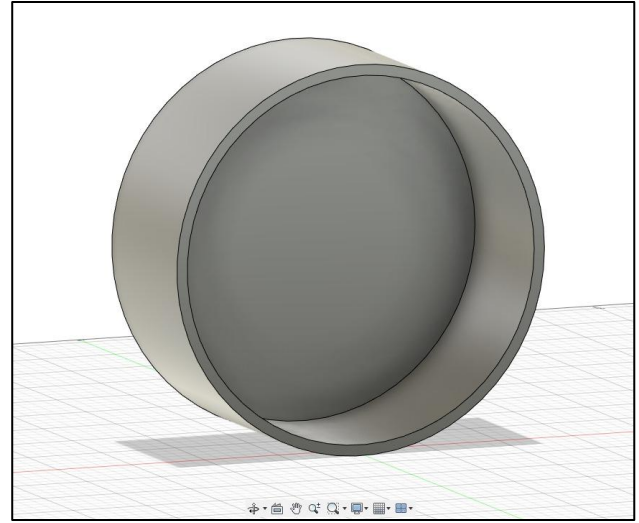


Figura 2. Diseño de molde de probetas en software Fusion 360.

Se elaboraron dos moldes de materiales diferentes para cada probeta, un molde de TPU (Poliuretano Termoplástico) que se colocó en el interior de un molde un poco más grande de PLA (Ácido Poliláctico) como se puede observar en la figura 3, ya que el TPU presenta mejores características para retirar los restos de los aglomerantes usados (resina de poliéster y almidón de yuca). Las dimensiones de ambos tipos de moldes se encuentran en la tabla 1.

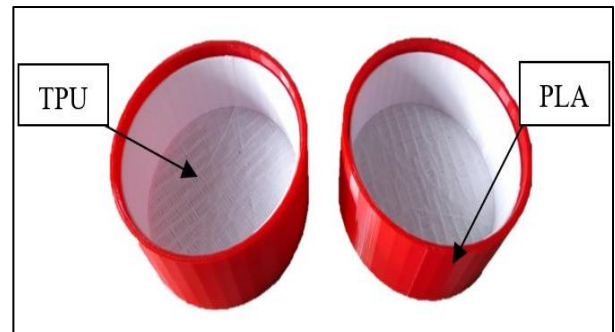


Figura 3. Moldes para probetas de TPU (blanco) y PLA (Rojo). Impresiones 3D realizadas en FABLAB-UTP Azuero.

Tabla 1. Dimensiones de moldes para probetas

Material	Diámetro(mm)	Alto(mm)	Espesor(mm)
PLA	125	55	3.5
TPU	115	45	1.5

Al culminar el diseño de los moldes, se extraen en formato obj y se pasan al software principal de la impresora 3D a utilizar, que, para este caso, se utilizó una impresora 3D marca FLSUN y el software Ultimaker Cura. Ya modelado el sistema en Ultimaker Cura, en conjunto con las características del material y diferentes condiciones térmicas de impresión, se extrae el diseño mediante una memoria USB y se inserta en la impresora 3D ya lista para procesar el molde. La duración de la impresión depende de la cantidad de relleno del material, que para estos moldes por ejemplo tardaba alrededor de tres horas y media (ver figuras 4 y 5).

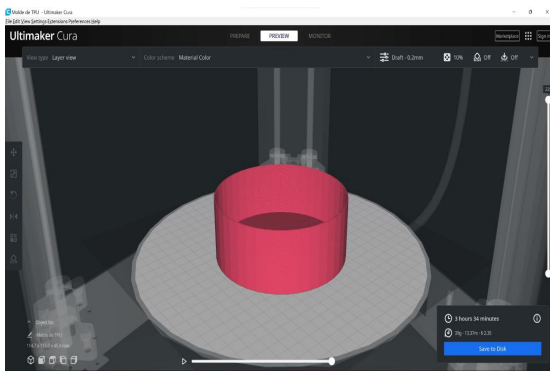


Figura 4. Vista de preimpresión 3D en software Ultimaker Cura.



Figura 5. Molde de TPU en impresora FLSUN. Impresión 3D realizadas en FABLAB-UTP Azuero.

El diseño general para esta primera versión del tubo de caracterización acústica se elaboró también en el software Fusion 360, en donde se incorpora las distintas secciones que constan de: caja de madera recubierta en su interior con esponjas de espuma de poliuretano y una bocina de 4W máximos de salida, tramo de tubo de PVC para entrada y salida

de sonido, sensor BMP180 programado para medir presión y temperatura mediante un Arduino, así como dos agujeros para colocar un sonómetro para tomar mediciones de decibles en ponderación A.

Además, se tiene la sección central en donde se coloca la probeta, y la tapa final rellena de espuma de poliuretano para atenuar la reflexión del sonido (ver figura 6).

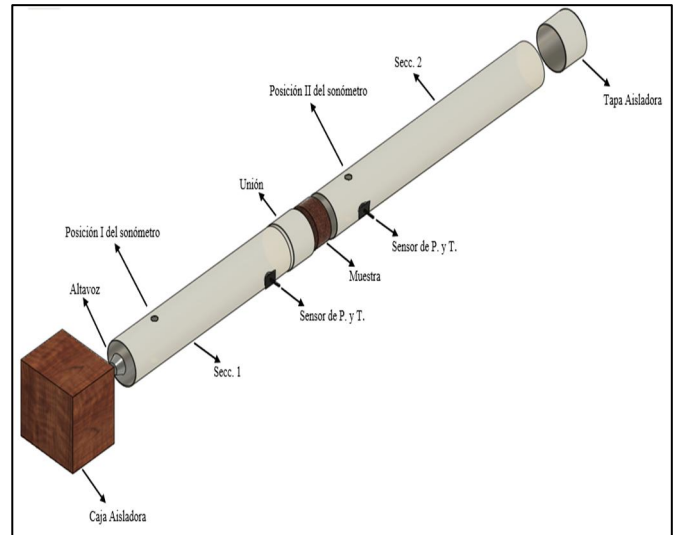


Figura 6. Diseño final de tubo de caracterización en software fusión 360.

2.3 Fabricación de probetas de fibra de coco

La confección de las probetas se ha dividido en cuatro partes: Extracción, preparación de aglomerante, mezcla de componentes y secado, similar a proyectos anteriormente realizados donde se manipula fibra de coco [5].

a. Proceso de extracción de fibra de coco

El proceso de fabricación de las probetas inicia con la selección de cocos maduros que presenten cortezas color marrón o grisáceas [6]. Los cocos para este proyecto fueron obtenidos como material de desecho de algunas panaderías de la localidad y de terrenos de familiares en donde esta fruta no es aprovechada.

Una vez seleccionados, se procede a cortarlos y colocarlos en cubetas con agua por 3 días. Esto con el objetivo de limpiar ciertas impurezas y principalmente que la fibra absorba este líquido, haciendo que su extracción sea más sencilla porque se hace de forma manual, ya que no se contaba con una trituradora mecánica.

Una vez pasado los 3 días, se retiran los cocos de las cubetas y se extrae la fibra de coco. Se coloca en bandejas de aluminio y se deja secando al sol por 2 días. Ya seca la fibra de coco se recorta con la ayuda de tijeras y se almacena en un lugar con poca humedad [5].

El proceso completo para la extracción de la fibra de coco se observa en la figura 7.



Figura 7. Proceso de selección (1), corte (2), limpieza (3), y trituración (4) de la fibra de coco.

b. Proceso de preparación de Almidón de Yuca

La yuca es descortezada y cortada en trozos pequeños puesto que el objetivo es obtener el líquido que desprende este tubérculo para preparar el adherente [7], [8].

Luego de tener pequeñas porciones, se licúa y filtra poco a poco para ir almacenando el almidón como se observa en la figura 8. seguido a esto, se procede a calentarlo en fuego lento por 15 minutos, batiendo constantemente hasta que se torne viscoso. Se deja enfriando 15 minutos más, quedando listo para aplicar a la fibra de coco.



Figura 8. Yuca descortezada y recortada para elaborar aglomerante (1), Filtrado de almidón yuca (2).

c. Mezcla de fibra de coco con aglomerantes

La fibra de coco extraída se coloca en el molde correspondiente de PLA para tener una aproximación de la cantidad de coco que se utilizará, puesto que al mezclarse con el aglomerante la cantidad de coco se compacta.

Para este caso se utiliza aproximadamente 40 g de fibra de coco de forma constante en las 4 probetas realizadas, y se varia la cantidad y tipo de aglomerante utilizado (ver tabla 2).

Se utilizó una báscula analógica marca Trends, la cual se tenía disponible en el momento para mediciones. Esta báscula tiene un rango de medición de 0 kg a 5 kg, siendo factible para nuestra investigación por relación calidad-precio (ver figura 9).

Tabla 2. Materiales utilizados para fabricación de probeta

Muestra	Material	Masa(g)
Probeta 1	Fibra de coco(seca)	40
	Almidón de Yuca (líquido)	454
Probeta 2	Fibra de coco(seca)	40
	Almidón de Yuca (líquido)	227
Probeta 3	Fibra de coco(seca)	40
	Resina de Poliéster(líquido)	114



Figura 10. Báscula utilizada para pesar materiales.

Se utilizaron guantes por precaución al manipular la resina de poliéster, colocando su respectivo catalizador y batiendo hasta que su color se tornara más claro, como se observa en la figura 11. Ocurrido esto, se adhiere poco a poco la resina a la fibra de coco para luego ser colocado en el molde de TPU [6].



Figura 11. Realizando mezcla de resina de poliéster con catalizador.

Los dos aglomerantes utilizados se amasaban conjunto a la fibra de coco y colocaban en los moldes correspondientes, como se observa en figura 12. Como se mencionó anteriormente el molde de TPU (blanco) se colocó dentro del molde de PLA (rojo), ya que el TPU presenta mejores características termoplásticas y el PLA al ser más rígido funcionaba como retenedor para evitar que al colocar la mezcla fibra-aglomerante la probeta se expanda. Obteniendo de esta manera probetas con dimensiones más consistentes.



Figura 12. Mezclando fibra de coco con almidón de yuca.

d. Secado de probetas de fibra de coco con aglomerantes

Para el secado de las probetas se construyó un pequeño invernadero a base de tubos, uniones y codos de PVC reciclados de media pulgada, así como de una cubierta plástica transparente que evitaba que se mojaran las probetas con las lluvias repentinas como se observa en figura 13.

Las probetas de fibra de coco-aglomerante se dejaban secando 1 semana, en la cual se procuraba girar la probeta cada día para optimizar su secado homogéneo (ver figura 14).



Figura 13. Probetas en sus respectivos moldes, secando en invernadero construido.



Figura 14. Probetas secas y listas para medición.

Cabe destacar que el peso del almidón de yuca y resina de poliéster colocado en la tabla 2 es cuando se encuentran en estado líquido, ya que al mezclarlo con la fibra y esperar su secado el peso total de la probeta no es la suma de del peso fibra-aglomerante inicial exactamente. Los pesos finales se pueden observar en la tabla 3.

Tabla 3. Peso final de las probetas luego de su secado

Muestra	Masa(g)
Probeta 1	56.70
Probeta 2	49.61
Probeta 3	141.75

2.4 Metodología de funcionamiento de prototipo

Esta primera versión del prototipo de tubo de caracterización acústica NQacoustics consta de un tubo de PVC de 1.40 m de largo por el cual se envía sonido a una potencia constante y distintas frecuencias mediante un altavoz colocado en un lateral. El sonido viaja a través del interior del tubo hasta chocar con la probeta de ensayo colocada a la mitad tubo. Seguido a esto, se procede a realizar la medición de los niveles de presión sonora antes de la ubicación de la probeta y después de ella. Esto se hace con el objetivo de conocer el nivel de presión sonora en dB ponderación A que llega a la muestra (que en teoría debe ser cercano al que se envía del altavoz), y luego el que atraviesa la muestra.

El sonido al atravesar la probeta llega al extremo derecho del tubo el cual está recubierto en sus últimos 0.28m de espuma de poliuretano de 0.025 m de espesor en su superficie interna, con el propósito de evitar la reflexión del sonido hacia el interior del tubo nuevamente que pueda causar fluctuaciones en la medición del sonómetro al medir después de la muestra. Este proceso se puede apreciar de una forma más detallada en los esquemas ilustrativos elaborados en la figura 15 y 16.

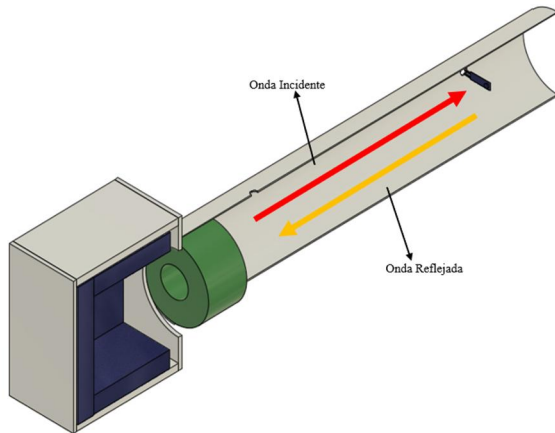


Figura 15. Esquema ilustrativo de onda incidente y reflejada en interior del tubo – sección de entrada de sonido.

La onda incidente es el sonido a una frecuencia específica enviada desde el altavoz, la onda reflejada es el sonido rechazado por la muestra. El sonómetro mide lo ocurrido en este primer tramo cerrando el segundo agujero. La onda que logra atravesar la muestra es la onda transmitida que es medida de igual forma con el sonómetro, cerrando el agujero opuesto. El material azul en la figura 16 representa la espuma de poliuretano colocada para evitar el rebote de la onda transmitida.

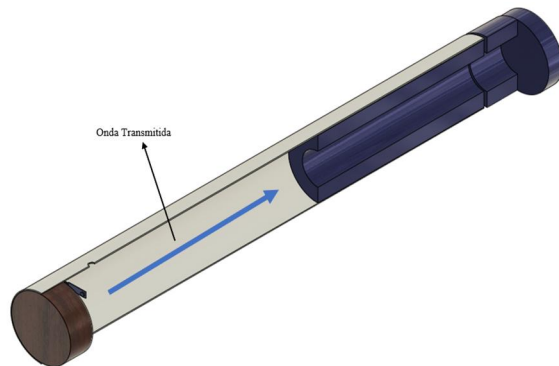


Figura 16. Esquema ilustrativo de onda transmitida en interior del tubo – sección de salida de sonido después de muestra.

El dispositivo de medición utilizado fue un sonómetro clase 1, marca Lutron, serie SL-4001 dotado con sistema de calibración interna y tolerancia de 0 dB, 1 dB, cumpliendo con las normas IEC 651, DIN45633, JIS 1502. Este equipo se colocaba en modo calibración antes de cada ensayo; al hacer esto, en el interior del equipo se generaba una onda a 94.1 dB fijos que funcionaba de referencia. Una vez calibrado, se procedían a realizar las mediciones (ver figura 17).

La generación de las ondas de frecuencia se realizó mediante el software RedCrabSonoG de uso libre. Se utilizaron frecuencias entre 100 Hz y 2000 Hz, ya que el tubo de PVC utilizado es de 0.1016 m (4 pulgadas) de diámetro y según la ecuación de Ingard y Dear, la frecuencia máxima que podríamos utilizar es de 1968 Hz, asegurando que la longitud de onda sea 1,7 veces mayor al diámetro del tubo [4], [9].



Figura 17. Sonómetro SL-4001.

2.5 Construcción de prototipo

Para evitar la reflexión del sonido al llegar al final del tubo se utiliza esponjas de espuma de poliuretano de 0,025 m de espesor adheridas al tubo mediante un pegamento comercial (ver figura 18).

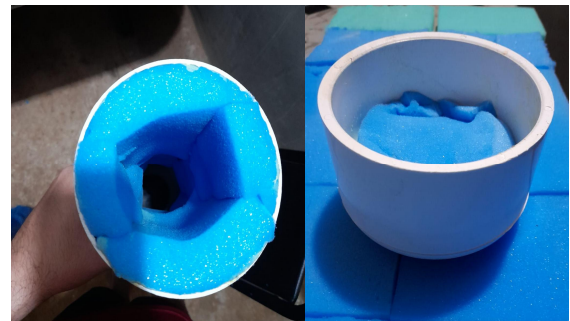


Figura 18. Esponja de espuma de poliuretano utilizada en paredes internas de tramo final del tubo y tapa de PVC.

Para acoplar el tubo a la caja de madera sin tener muchos escapes de sonido, se diseñó e imprimió un empaque de PLA

el cual entraba a presión. Además, para garantizar la estabilidad del prototipo se diseñaron e imprimieron unos soportes para el tubo y el propio altavoz, ayudando al empaque situado en la caja de madera a no recibir esfuerzos muy grandes por el aumento de peso provocado al agregar esponjas en el extremo derecho del tubo y el propio altavoz en el extremo izquierdo (Ver figura 19).



Figura 19. Ubicación de altavoz y su respectivo soporte.

Una vez instalados los soportes y empaque, se ensamblan todas las secciones a presión y se colocan los sensores en el interior del tubo mediante cables conectados a módulos de Arduino que pasan por dos agujeros sellados (Ver figura 20).

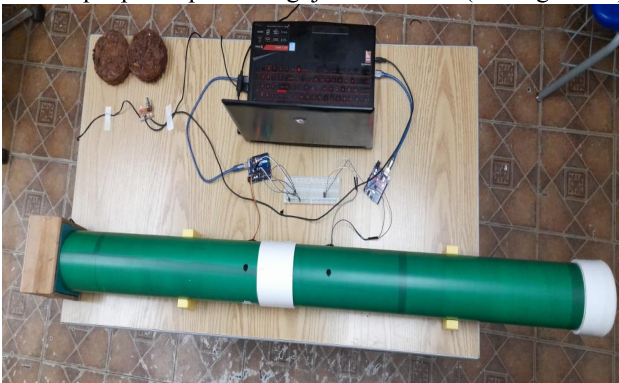


Figura 20. Primera versión del prototipo, agujero 1 a 0.52 metros del altavoz.

El altavoz era alimentado mediante la entrada USB de 5 V de una computadora portátil, por la cual se enviaba la onda de sonido mediante el software RedCrabSonoG.

Se realizaron dos versiones del tubo de caracterización, la primera versión con el orificio para medir nivel de presión sonora de entrada a 0.52 metros de la caja de madera y la segunda versión con el orificio a 0.15 metros.

Esto debido a que al tomar las primeras mediciones para algunas frecuencias los decibeles medidos en el punto 1 eran menores a las del punto 2, por lo que consideramos que esta anomalía era a causa del rebote de las ondas incidentes y reflejadas cerca a la probeta que provocaban fluctuaciones en las mediciones tomadas en el sonómetro, por lo que se fabricó otro primer tramo con un orificio a 0.15 metros del altavoz, asegurando que la medición 1 mostrará el nivel de presión sonora de entrada (ver figura 21).

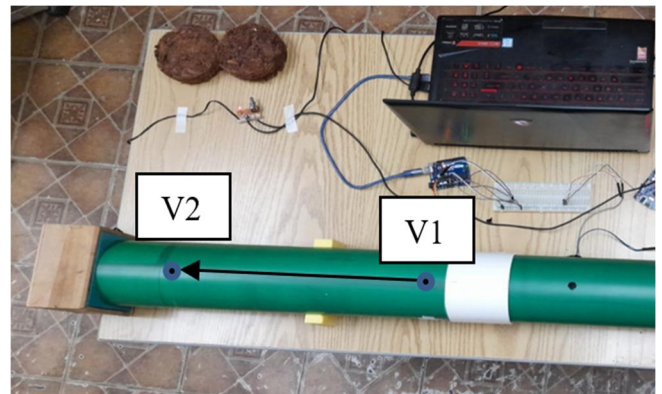


Figura 21. Posición de orificios para primera y segunda versión.

Cabe destacar, que el aislamiento acústico, ocurre cuando se desea insonorizar un recinto o disminuir la cantidad de ruido que entra o sale de él, por esta razón el prototipo elaborado, tiene un formato aire-probeta-aire en el interior del tubo, simulando aspectos de la vida real, como, por ejemplo: aire-pared-aire. En cambio, al hablar de absorción de sonido, el principal aspecto que se busca es disminuir el tiempo de reverberación y conocer el coeficiente de absorción acústica.

El tiempo de reverberación es el tiempo en que el sonido tarda en decaer 60 dB, por esto es frecuente encontrar que el “TR” es representado como TR60. El tiempo de reverberación afecta la cantidad de “eco” que existe en un lugar determinado, ya que entre mayor es este tiempo, mayor “eco” existiría. Disminuyendo este valor, también se reduce el tiempo en el que un ruido que provenga del exterior o interior del recinto rebote y aumente su intensidad [10], [11].

3. Resultados y discusión

Las mediciones de temperatura y presión para conocer las condiciones ambientales del ensayo se realizaron con dos sensores BMP180 colocados uno en la entrada y otro en salida del tubo, que mediante el monitor serie de Arduino lanzaba los datos cada segundo, conociendo de esta manera la temperatura y presión ambiental en la que nos encontrábamos.

En la tabla 4 y tabla 5 se muestran los resultados obtenidos de temperatura y presión para cada ensayo, siendo la primera prueba a frecuencias entre 100 Hz y 1200 Hz y la segunda prueba entre 125 Hz a 2000 Hz, enfocados en frecuencias a banda de octava, es decir, a 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1000 Hz y 2000 Hz, buscando realizar una caracterización más comercial.

El punto de medición 1 es diferente en el ensayo 1 y 2, como ya se mencionó, variando la posición del sonómetro en la sección 1 del tubo de 0,52 m a 0,15 m de la entrada respectivamente. Cabe destacar que se mencionará P1 cuando se utilice 680 g almidón de yuca (líquido), P2 con 454 g almidón de yuca (líquido) y P3 al utilizar 114 g resina de poliéster, todas con 40 g de fibra de coco constantes.

Tabla 4. Resultados de mediciones de condiciones ambientales para primer ensayo

P.	T. Ent.	Des.	Pres. Ent.	Des.	T. Sal.	Des.	Pres. Sal.	Des.
	°C	S	atm	S	°C	S	atm	S
1	28.52	0.89	1.000	4E-04	27.38	0.77	0.998	8E-05
2	30.94	0.17	1.000	3E-03	28.63	0.25	0.998	3E-04
3	30.19	0.44	1.001	3E-04	28.42	0.16	0.998	8E-05

Tabla 5. Resultados de mediciones de condiciones ambientales para segundo ensayo, versión corregida

P.	T. Ent.	Des.	Pres. Ent.	Des.	T. Sal.	Des.	Pres. Sal.	Des.
	°c	S	atm	S	°c	S	atm	S
1	33.84	0.05	1.001	4E-05	34.4	0.08	0.998	2E-05
2	33.76	0.05	1.001	2E-05	34.5	0.10	0.998	1E-04
3	33.98	0.04	1.001	4E-05	34.4	0.05	0.998	9E-05

Las condiciones ambientales no presentaron variaciones tan amplias, en el caso de la presión atmosférica, se encontraba alrededor de 1 atm, mientras que la temperatura se encontraba entre 28.52°C y 33.98°C que equivaldrían a una velocidad del sonido de 348.15 m/s y 351.29 m/s.

En lo que respecta a las mediciones de los niveles de presión sonora de entrada y salida, fueron obtenidos mediante el sonómetro antes mencionado, restando el nivel de presión de entrada menos el de salida para cada frecuencia. Se enviaba el sonido a medir a una frecuencia constante, es decir, si quería caracterizar la muestra a 500 Hz, se enviaba la onda mediante el software RedCrabSonoG y se procedía a medir ambos puntos. Este proceso se repetía para cada frecuencia en la que se deseaba caracterizar.

En la figura 21 se observan los resultados del primer ensayo, donde la gráfica presentan fluctuaciones poco comunes, y se puede notar la anomalía al analizar el comportamiento de los decibels reducidos en vacío. Por lo que una vez corregido este error se procede a realizar el segundo ensayo, donde ya el comportamiento en vacío mejora, y solo presenta irregularidades en frecuencias bajas, cosa que es correcta, ya que para el diseño de prototipos de caracterización acústica se debe poseer un rango de frecuencias de trabajo, para este caso sería en frecuencias entre 500 Hz y 2000 Hz. La frecuencia mínima de 500 Hz se obtiene de forma experimental observando la figura 23, en el punto donde la onda se torna lo más constante posible. En la en la figura 24 se puede observar ya los resultados finales corregidos.

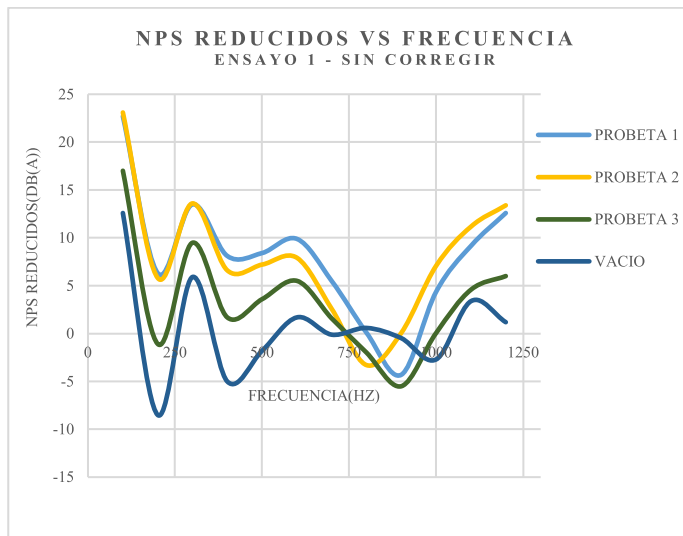


Figura 22. Nivel de presión sonora reducido en función de la frecuencia para ensayo 1 (Anomalías en onda de sonido al vacío).

En el ensayo 2, se utilizó una potencia sonora constante en el altavoz, es decir, no se subió o bajo el volumen, sin embargo, dependiendo de la frecuencia se tenían diferentes magnitudes de decibeles en la entrada que variaban entre 93 dB y 108 dB, y en la salida entre 66 dB y 105dB que si dependen de que tan buen aislante es el material para la frecuencia dada. Los resultados se pueden analizar en la tabla 6 y la figura 24.

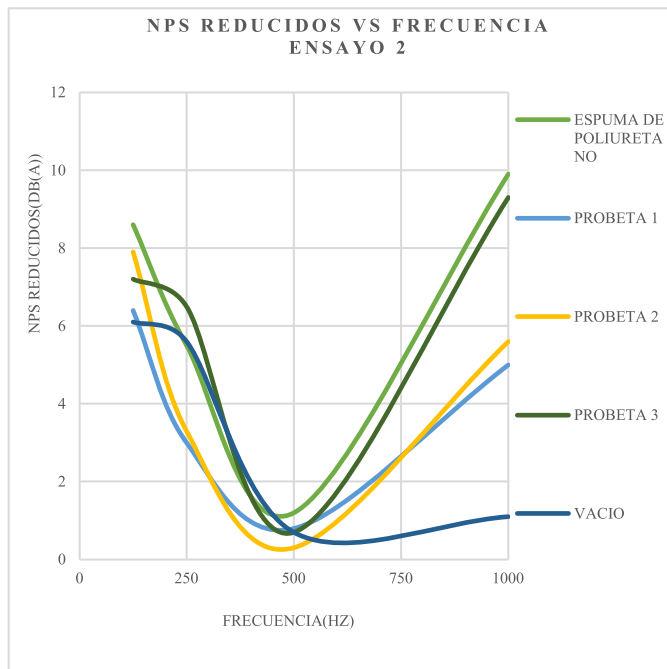


Figura 23. Nivel de presión sonora reducido en función de la frecuencia para ensayo 2 sin corregir rango óptimo de frecuencias.

Tabla 6. Resultados de niveles de presión sonora para el ensayo 2, con el rango óptimo de frecuencias en banda de octava de 500 Hz a 2000Hz.

Probeta	Frecuencia	Nps entrada	Nps salida	Nps reducidos
	Hz	Db(A)	Db(A)	Db(A)
Espuma de Poliuretano	500	97.0	95.8	1.2
	1000	108.3	98.4	9.9
	2000	93.1	84.0	9.1
1	500	100.0	99.2	0.8
	1000	106.5	101.5	5.0
	2000	92.0	86.9	5.1
2	500	100.0	99.7	0.3
	1000	107.4	101.8	5.6
	2000	93.1	83.4	9.7
3	500	99.3	98.6	0.7
	1000	108.1	98.8	9.3
	2000	93.3	66.0	27.3
Vacío	500	103.6	102.9	0.7
	1000	106.5	105.4	1.1
	2000	96.0	94.0	2.0

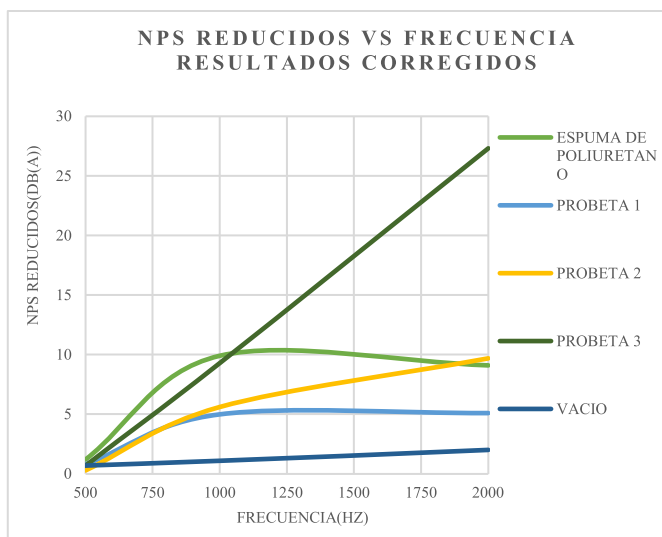


Figura 24. Nivel de presión sonora reducido en función de la frecuencia para ensayo 2, Resultados corregidos, rango de frecuencia óptimo.

4. Conclusiones

Los niveles de presión sonora reducidos, los cuales se expresaron como “NPS Reducidos”, es equivalente a los decibeles que puede aislar el material y no su absorción, la cual es obtenida por otros métodos. La reducción más notable se

produjo para la mezcla fibra de coco – resina de poliéster, con 27.3 dB reducidos seguidos por la de un material comercial como lo es la espuma de poliuretano con 9.1 dB reducidos para frecuencias altas como lo son 2000 Hz, que representan un sonido agudo. En el caso de las probetas aglomeradas con almidón de yuca, para aislar a 2000 Hz presentaban reducciones de 5.1 dB para la probeta 1 dB y de 9.7 dB para la probeta 2, lo que concuerda con lo que se esperaba, ya que en la probeta 2 se coloca mayor cantidad de almidón de yuca, cerrando los microporos que se forman en la probeta, favoreciendo el aislamiento de sonido.

Con estos resultados se puede decir que la fibra de coco mezclada con resina de poliéster presenta mejores características para el aislamiento de sonido que con almidón de yuca, sin embargo, este aglomerante natural podría probarse con el material de estudio en proyectos de absorción, ya que las pruebas de aislamiento y absorción son totalmente distintas una de otra y los materiales pueden poseer características aislantes y de absorción al mismo tiempo, por lo que no es descartado para futuros proyectos. También se puede mencionar que todos los materiales estudiados presentan mejor características de aislamiento en frecuencias altas, mayores a 1000 Hz, ya que de por sí para frecuencias bajas destacan materiales con espesores mayores al utilizado (4 cm).

En cuanto a precio el almidón de yuca es más económico que la resina de poliéster comercial, por lo que un proyecto con este aglomerante implicaría costos más elevados. Además, la probeta elaborada con este aglutinante sintético pesaba casi el triple que las elaboradas con el aglomerante natural, por lo que los esfuerzos que causaría una pared de fibra de coco con resina de poliéster a una estructura serían mayores.

También, se puede decir, que se cumple el objetivo del prototipo, que es facilitar la selección de materiales para ensayos acústicos al realizar mediciones a escalas reducidas, brindando de esta manera las relaciones porcentuales del material-aglomerante para futuros proyectos. El prototipo diseñado y construido, aún se encuentra en fase de pruebas y se tiene planteado realizar mejoras en su geometría e incorporar pantallas LCD que muestren los resultados sin la necesidad de conectar una computadora portátil.

AGRADECIMIENTOS

A el FABLAB UTP-Azuero por su orientación y el servicio brindado en la impresión de accesorios. Al compañero Thomas Rodríguez, por su asesoría en la impresión de las piezas.

CONFLICTO DE INTERESES

- Los autores declaran no tener algún conflicto de interés.

REFERENCIAS

- [1] Decreto ejecutivo del 4 de septiembre de 2002, “*Que adopta el reglamento para el control de los ruidos en espacios públicos, áreas residenciales o de habitación, así como en ambientes laborales*, Panamá”, 2002.
- [2] F. Miraya, “Niveles Sonoros”, Universidad Nacional de Rosario, FCEIA, Argentina. S. F, 2022.
- [3] M. Lizano, Guía técnica del cultivo de coco, El Salvador: Programa Nacional de Frutas de El Salvador, 2013.
- [4] D.J Criado, W.F Castillejo, “Diseño y construcción de un tubo de impedancia basado en la norma ISO 10534-2;2001 para la determinación del coeficiente de absorción acústica para materiales aislantes”, Colombia, 2019.
- [5] A. Quintero, A. Nieto, R. Rios y N. Marín, “Aprovechamiento de la fibra de coco y cajas de huevo como aislantes acústicos residenciales” Panamá, 2021.
- [6] R. M. García, “Proceso de Obtención de Fibra de Coco para Fabricar Colchones Ecológicos Hipoalergénicos en la Comuna “Sacachún”, 2017.
- [7] L. A. Cigarruista Solís, “Evaluación del potencial térmico de la cascarilla de arroz como aislante aplicado en los techos residenciales” Panamá, 2021.
- [8] R. Del Rey, J. Alba, J. Crespo, J. Fontoba “Estudio de la influencia del tipo de fibra y resina en composites como soluciones ligeras para aislamiento acústico”, España, 2017.
- [9] E. Sanchis, “Modelización, simulación y caracterización acústica de materiales para su uso en acústica arquitectónica”, España, 2008.
- [10] L. Lancón, “Caracterización de la absorción sonora en modelos físicos a escala”, México, 2012.
- [11] C.M. Harris, Manual de medidas acústicas y control de ruido, McGraw-Hill. Tercera Edición, 1995.