

Ciencia Nicolaita 87

ISSN: 2007-7068



Universidad
Michoacana
de San Nicolás
de Hidalgo

Desarrollo de un panel con caucho reciclado para mejorar la absorción acústica

Development of a panel with recycled rubber to improve acoustic absorption

María de Jesús Olvera-Martínez,^{*} Teresa López-Lara, Juan Bosco Hernández-Zaragoza y Jaime Moisés Horta-Rangel

Para citar este artículo: Olvera-Martínez María de Jesús, López-Lara Teresa, Hernández-Zaragoza Juan Bosco y Horta-Rangel Jaime Moisés, 2023. Desarrollo de un panel con caucho reciclado para mejorar la absorción acústica. Ciencia Nicolaita no. 87, 43-60. DOI: <https://doi.org/10.35830/cn.vi87.631>



Historial del artículo:

Recibido: 21 de abril de 2022
Aceptado: 8 de octubre de 2022
Publicado en línea: abril de 2023



Ver material suplementario



Correspondencia de autor: arq.mj.olvera@gmail.com



Términos y condiciones de uso: <https://www.cic.cn.umich.mx/cn/about/privacy>



Envíe su manuscrito a esta revista: <https://www.cic.cn.umich.mx/cn/about/submissions>

Desarrollo de un panel con caucho reciclado para mejorar la absorción acústica

Development of a panel with recycled rubber to improve acoustic absorption

María de Jesús Olvera-Martínez,* Teresa López-Lara, Juan Bosco Hernández-Zaragoza y Jaime Moisés Horta-Rangel

Universidad Autónoma de Querétaro, Facultad de Ingeniería, División de Investigación y Posgrado

Resumen

Tradicionalmente, en el área de la construcción existen elementos y materiales prefabricados, los cuales cuentan con propiedades acústicas específicas que se utilizan ya sea para aislar o acondicionar un espacio. Este artículo presenta el rendimiento acústico de dos paneles: el primero se fabricó a partir de polímeros provenientes del reciclado de llantas que son migas de caucho de tamaños de entre 1 a 3 mm, mezclados con un agente aglutinante, ambos componentes se dosificaron y mezclaron completamente en una relación de 70% caucho y 30% resina; para el diseño se utilizó cartón de embalaje como base, con 28 perforaciones equidistantes donde se vació y confinó la mezcla de caucho-resina que fue el núcleo o material fonoabsorbente. El segundo panel acústico se fabricó con cartón de embalaje de similares dimensiones con la diferencia que este utiliza en su núcleo un material fonoabsorbente tradicional que es la esponja o espuma acústica, ambos paneles se colocaron en una caja-acústica; posteriormente, se midieron sus propiedades acústicas mediante un sonómetro. Los resultados de las pruebas indicaron que las propiedades de absorción mejoraron un 17.5% con el panel de caucho en comparación al panel de esponja acústica, representando aproximadamente 10 decibeles (dB) más de absorción.

Palabras clave: panel, acústico, reciclaje, caucho, absorción



Abstract

Traditionally in the construction area there are prefabricated elements and materials which have specific acoustic properties, which are used either to isolate or condition a space. This article presents the acoustic performance of two panels, the first one was made from polymers coming from the recycling of tires that are rubber crumbs of sizes between 1 to 3 mm, mixed with a binding agent, both components were dosed and mixed completely in a ratio of 70% rubber and 30% resin; For the design, packaging cardboard was used as a base with 28 equidistant perforations, where the rubber-resin mixture that was the core or sound-absorbing material was emptied and confined. The second acoustic panel was made with packaging cardboard of similar dimensions with the difference that it uses a traditional sound-absorbing material at its core, which is sponge or acoustic foam. Both panels were placed in an acoustic box; subsequently, its acoustic properties were measured using a sound level meter. Test results indicated that the absorption properties were improved by 17.5% with the rubber panel compared to the acoustic foam panel, representing approximately 10 decibels (dB) more absorption.

Keywords: panel, acoustic, recycling, rubber, absorption

Introducción

En la actualidad, existen dos problemáticas que van en aumento tanto en las sociedades en desarrollo como en las desarrolladas, estas son la gestión de residuos y la contaminación acústica (Maderuelo-Sanz *et al.*, 2012). Estados Unidos y Japón fueron los primeros dos países en abordar los peligros ambientales de las llantas de desecho y en establecer leyes al respecto (Irevna, 2016). Varios estudios demuestran que los neumáticos al final de su vida útil, principalmente se convierten en desperdicio, creando así un problema de contaminación ambiental cada vez más grave. Sin embargo, la investigación y explotación comercial asociados con el reciclaje, han contribuido a impulsar la innovación y la actividad de investigación hasta el punto en que existe una gran variedad de rutas potenciales para el reciclaje, principalmente en países desarrollados (Forrest, 2014).

De acuerdo con datos del International Rubber Study Group (IRSG, 2014), en todo el mundo se produjeron alrededor de 26 millones de toneladas de caucho en 2015; en ese año se estimó que la demanda mundial de caucho aumentó un 0.7% respecto del año anterior y que entre 2016 y hasta llegar al 2024, se pronostica que este consumo aumentará un 3.1% anualmente en promedio (Peláez *et al.*, 2017).

Herrera-Sosa *et al.* (2015) señalan que aproximadamente un 60% de los neumáticos de desecho se recicla en países como Alemania, Francia y Austria; por

otra parte, en México, debido a que no se cuenta con sistemas de control, de los aproximadamente 30 millones de llantas desechadas cada año, el 91% se arrojan en ríos, carreteras y en espacios abiertos. En la Figura 1 se muestra la disposición de llantas de desecho en México.

En consecuencia, esto representa hoy en día uno de los principales problemas asociados a la gestión y tratamiento de desechos sólidos, debido al impacto negativo directo que pueden tener sobre la salud humana y el medio ambiente, ya que contaminan el suelo, el agua y el aire (Peláez *et al.*, 2017).

Otra problemática que se suma a las ya citadas, es que según informes de la US Environmental Protection Agency (EPA, 1997), se demostró que la quema de llantas libera sustancias de máxima peligrosidad para el ser humano, tales como monóxido de carbono, furanos, tolueno, benceno y óxido de plomo.

Un informe de la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2011) muestra que la polución provocada por el problema del ruido y contaminación acústica ambiental, ocupa el segundo lugar, superado únicamente por la contaminación atmosférica.

Por otro lado, la OMS y la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE), son los principales organismos multilaterales que han generado mayor información y que han desarrollado sus propios métodos de evaluación sobre los efectos del

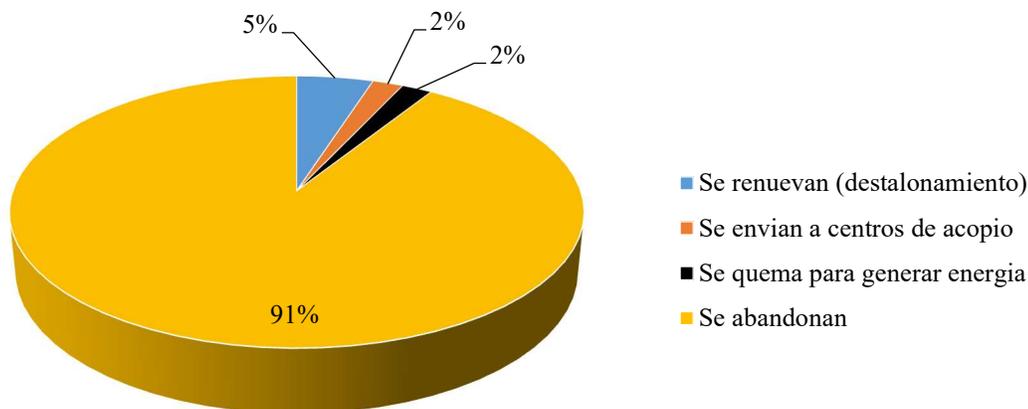


Figura 1. Disposición de llantas de desecho en México, adaptado del Instituto de Investigaciones en Materiales-Universidad Nacional Autónoma de México (Herrera-Sosa *et al.*, 2015).

ruido en la salud humana (Ecología y Desarrollo [ECODES], 2005).

En 1986, la OCDE sugirió que entre 55-60 dB el ruido causa molestia, entre 60-65 dB la molestia aumenta considerablemente, y más de 65 dB debe evitarse, pues ocasiona perturbaciones en el comportamiento y afectaciones psicológicas. Por su parte, la OMS sugiere un límite fijo de 55 dB, publicado en 1999 en “Guidelines for Community Noise” (Berglund *et al.*, 1999).

En consecuencia, el desarrollo de materiales a partir de ciertos tipos de residuos como materiales absorbentes acústicos o laminados anti-impacto, pueden ayudar en la solución de dos de los principales proble-

mas ambientales en la actualidad: el ruido y la contaminación ambiental (Maderuelo-Sanz, 2014). La Figura 2 muestra las principales fuentes de ruido generadas en las ciudades, un problema a resolver en la sociedad moderna.

En respuesta a estas dos problemáticas crecientes, en la construcción se han empleado diferentes soluciones constructivas para minimizar los niveles de ruido en la construcción; en algunos otros estudios, se incluyen en sus componentes materiales que, debido a sus propiedades acústicas, garantizan una disminución de los niveles de ruido, siendo uno de estos materiales el caucho reciclado (European Tyre & Rubber Manufacturers Association [ETRMA], 2010). Además, estudios revelan que el uso de las migas de caucho en

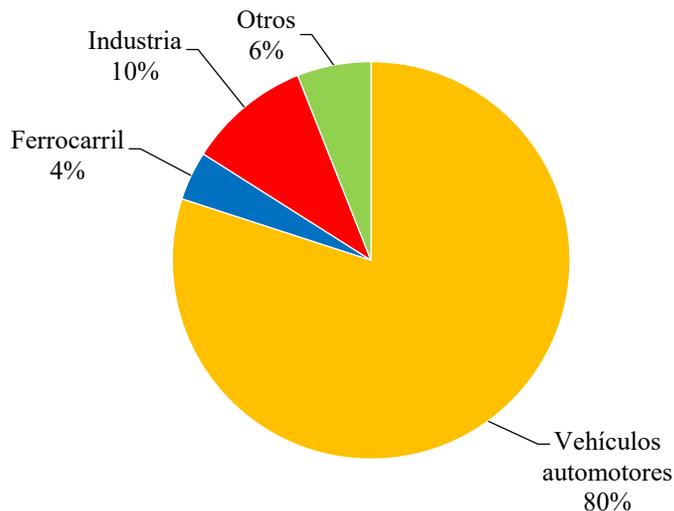


Figura 2. Fuentes generadoras de ruido (Alfie-Cohen & Salinas-Castillo, 2017; Ruza, 1988).

condiciones ambientales normales, a pesar de su composición, no induce ningún peligro en la salud humana ni en el medio ambiente (Instituto de Biomecánica de Valencia [IVB], s. f.; Servicios Deportivos Integrales Canarios [SERDICAN], 2016; Ibérica, 2016).

Algunos autores han concluido que se pueden usar materiales compuestos que contienen partículas de caucho reciclado para aplicaciones donde se busque absorción acústica (Pelaez-Arroyove *et al.*, 2017). Otros estudios demuestran que las migajas de goma, especialmente clasificadas y preparadas, pueden ser un buen material acústico (Pfretzschner & Rodríguez, 1999). Swift *et al.* (1999), encontraron en su estudio “Acoustic absorption in re-cycled rubber granulate”, que estos materiales pueden absorber el sonido de manera efectiva si el tamaño del agregado y el contenido del aglutinante se pueden seleccionar y su grosor ajustar al rango de frecuencia de interés. Segura-Alcazar *et al.* (2014), realizaron un estudio para evaluar la absorción acústica de nuevos paneles multicapa para su aplicación en campos como barreras acústicas. Los resultados mostraron que los paneles multicapa hechos de granulometría 2,2-4 mm, presentan una absorción acústica más alta en el rango de frecuencia estudiado (400-3500 Hz); para estos paneles utilizaron el proceso de fabricación conocido como sinterizado de piezas sólidas moldeadas.

Ashori *et al.* (2015), muestran que la tendencia general con el uso y aumento en el contenido de caucho reciclado, mejora las propiedades físicas como la absorción acústica en paneles compuestos. Por su parte, Xu *et al.* (2018), fabricaron un material acústico utilizando aserrín de caucho reciclado y tableros de fibra con polietileno de alta densidad (High-density polyethylene, por sus siglas en inglés HDPE) fresco como aglutinante, se experimentó con polímeros naturales o sintéticos reciclados, generalmente residuos de caucho, la mezcla se prensó en moldes que eran en paneles compuestos a 185 °C durante 20 minutos, bajo una presión de 1 MPa. El trabajo resume que en estos componentes se pueden encontrar nuevos usos en la producción de materiales acústicos por sus propiedades de impedancia.

El empleo de materiales obtenidos de la valorización de residuos para su uso como materiales acústicos en la construcción, ha sido una línea de investigación ampliamente desarrollada por diferentes grupos

de trabajo —a escala mundial— durante las últimas siete décadas (ETRMA, 2010).

En este contexto, el presente trabajo tiene por objetivo caracterizar el desempeño acústico de un panel fabricado a partir de migas de caucho reciclado de 1 a 3 mm mezclado con una resina utilizada como aglutinante, simplificando el proceso de elaboración al no utilizar técnicas de sinterizado o prensado a altas temperaturas. Para cumplir con dicho objetivo, se describe el proceso experimental y se documenta el rendimiento de la absorción acústica del panel fabricado con caucho, al tiempo que se compara contra un panel de similares características, solo modificando el material acústico por uno tradicional como es la esponja acústica.

Materiales y métodos

Materiales

La principal materia prima utilizada fueron partículas de caucho que procedían de desechos triturados con tamaños de 1 a 3 mm. Se utilizó una resina vinílica L-33 obtenida en el mercado local como aglutinante, que es un acetato de polivinilo de sólidos medios utilizada en la construcción para elaborar tirolés y pastas texturizantes. Para la base del panel se utilizó cartón ondulado de canal simple utilizado en la industria del embalaje. Los paneles se analizan en una caja acústica elaborada con el mismo material base de los paneles, es decir, con cartón de embalaje de corrugado sencillo. La caja acústica es de tipo más básico.

Los paneles acústicos son esencialmente un marco, ya sea de madera u otro material con un núcleo de componente absorbente formando una especie de sándwich de los cuales existen una gran variedad de diseños y formas en el mercado, lisos o perforados; no obstante, lo que realmente los hace un panel acústico son el núcleo con el que están rellenos, que ha de ser un material con propiedades fonoabsorbentes (Mabasa, 2020). Para este trabajo se realizaron dos prototipos de paneles, tal como se muestra en la Figura 3.

Los paneles acústicos se generan de dos formas diferentes: el primero que es el panel acústico elaborado principalmente de migas de caucho reciclado de 1 a 3 mm y resina L-33 como aglutinante en una relación 70 y 30%, la mezcla se confinó en una base de

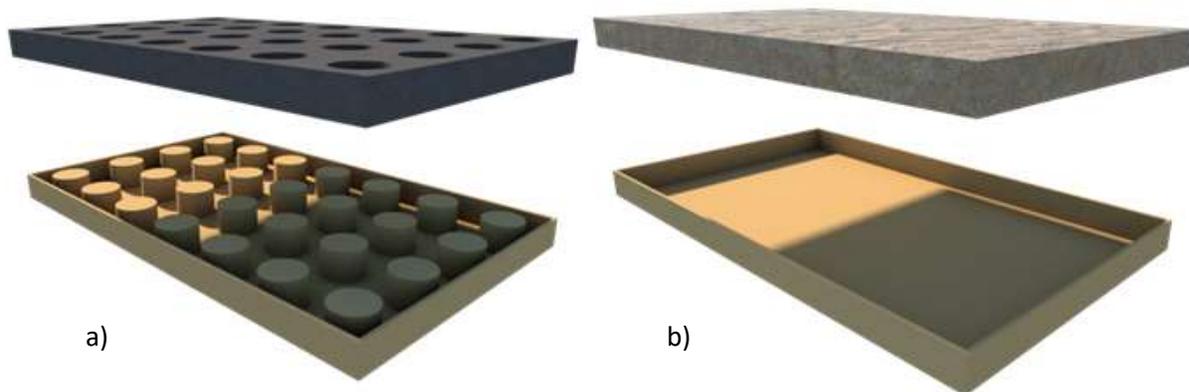


Figura 3. Prototipos de paneles acústicos de izquierda a derecha se muestra en el inciso a) el panel fabricado con migas de caucho reciclado como material absorbente y en el inciso b) el panel fabricado con esponja acústica.

cartón de embalaje reciclado con dimensiones de 610 mm por 360 mm por 35 mm de espesor, se colocaron 28 perforaciones moldeadas con cilindros de cartón igualmente reciclado de dos pulgadas de diámetro como se muestra en la Figura 3 inciso a. El segundo panel consta de dos piezas que son el marco de cartón de embalaje reciclado con las mismas dimensiones del primero, con la diferencia de que este consta de un núcleo de esponja acústica como material absorbente, como se muestra en la Figura 3 inciso b.

Mientras un panel utiliza un núcleo de esponja acústica, que es lo común en el mercado, el otro será un núcleo de migas de caucho reciclado con resina L-33 como aglutinante.

Procedimiento experimental: panel de caucho reciclado

En la Figura 4 se muestra el proceso de fabricación del prototipo de panel acústico con caucho reciclado

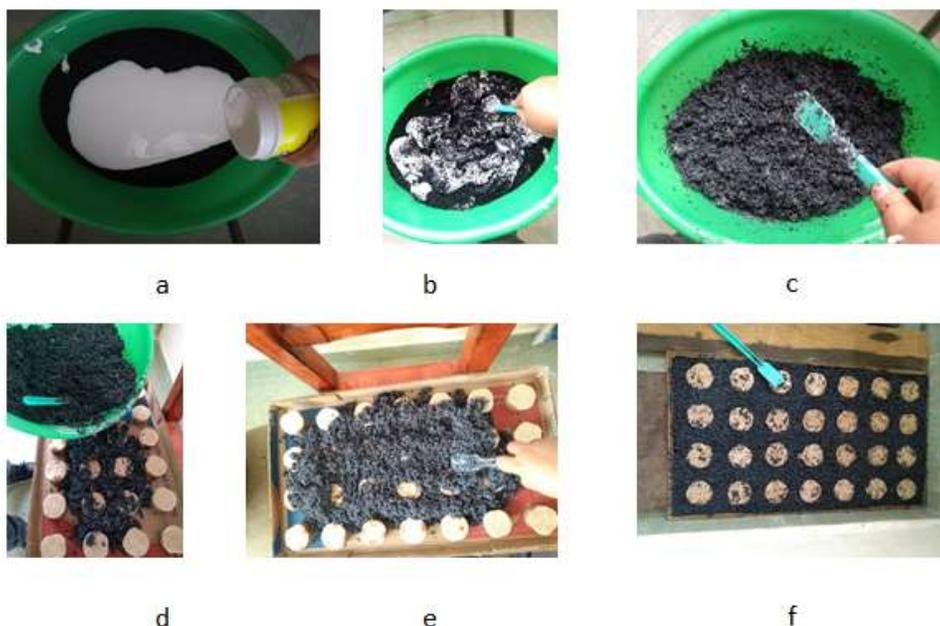


Figura 4. Proceso de fabricación del prototipo de panel acústico con caucho reciclado. Los incisos a, b y c corresponden al mezclado de la resina L-33 con las migas de caucho. Los incisos d y e, corresponden al vaciado de la mezcla caucho-resina en el molde de cartón de embalaje. El inciso f corresponde al secado a la intemperie.



Figura 5. Prototipo de panel con núcleo de esponja y prototipo de panel con núcleo de migas de caucho reciclado.

que consiste en el mezclado de migas de 1 a 3 mm con la resina L-33 en una proporción de 70 y 30%, formando una argamasa que se vació en el molde construido a base de cartón de embalaje donde quedó adherida y confinada la mezcla para su secado a la intemperie.

En el caso del panel de caucho se busca que la absorción sonora se produzca por los huecos que se generan entre las partículas del agregado, dando un grado de porosidad necesaria para la absorción (López-Recuero, 1999; Julia-Sanchis, 2008). Con los huecos o perforaciones de 2 pulgadas de diámetro, se busca aligerar el panel al no tener que rellenar toda la superficie con caucho, sino solo un 75% del volumen total. Sin embargo, cabe mencionar que estudios han demostrado que las perforaciones ofrecen una mayor resistencia acústica principalmente cuando estas son de tamaño sub-milimétrico de 0.5 a 1 milímetros, debido a que la fricción en las mismas se traduce en un aumento de la atenuación sonora a frecuencias bajas y medias (Carbajo *et al.*, 2012; Maa, 1998; Xu *et al.*, 2018).

Los dos paneles de diseños similares que se someterán a prueba para medir las propiedades fonoabsorbentes de cada material (núcleo), se muestran en la Figura 5. El panel que utiliza esponja cubre el 100% del volumen, mientras que el panel que utiliza caucho solo cubre el 75% del volumen total.

Caracterización acústica

Cuando una onda de sonido choca con una barrera que separa dos medios, por ejemplo, como una pared que está entre un medio de transmisión de sonido como el aire, ocurren tres fenómenos: absorción, reflexión y transmisión (Figura 6) (Sastrón, 2017).

Para medir el sonido transmitido a través de cada panel, se construyó una caja acústica (Figura 7) donde se colocó una fuente de ruido con el objetivo de que la onda de ruido generada, conocida como **sonido incidente**, recorra el interior de la caja y se focalice de manera unidireccional para así poder medir con el sonómetro colocado a una distancia constante de 60 centímetros, la cantidad de **sonido transmitido** al exterior medido en decibeles (dB).

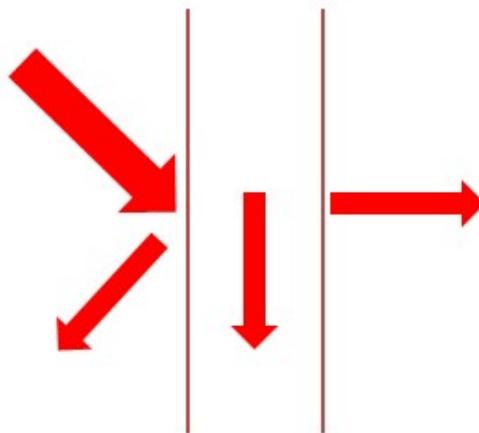


Figura 6. Fenómenos de absorción, reflexión y transmisión producidos al chocar una onda sonora contra un obstáculo

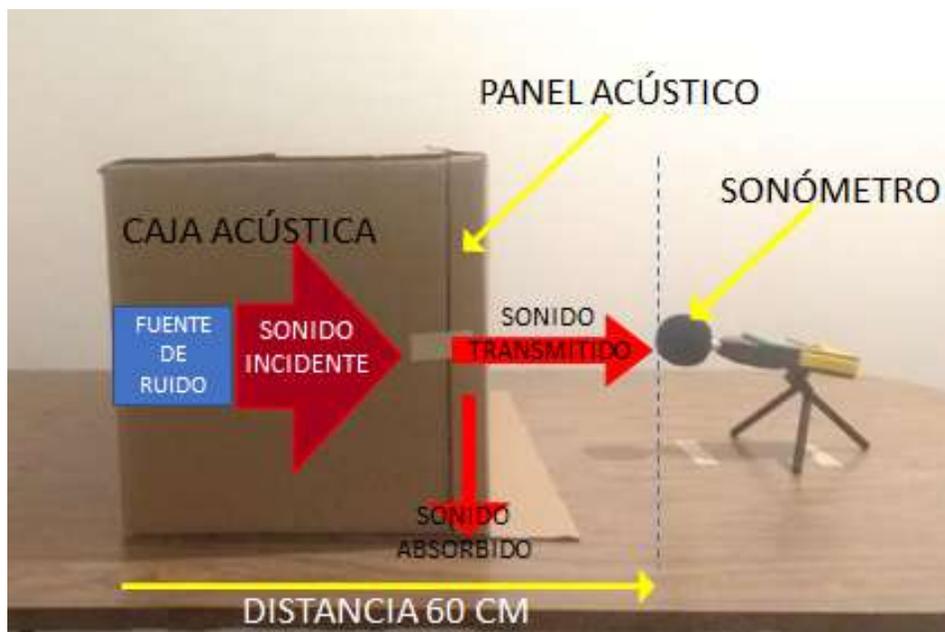


Figura 7. Caja acústica y colocación del panel, así como del sonómetro para la medición del sonido transmitido.

En la Figura 8 se muestran las especificaciones de la fuente de ruido y la pista que se reprodujo. La caracterización acústica de los paneles consistió en que lo único que se interpuso entre el sonido incidente que se generó en el interior de la caja acústica, fueron los paneles acústicos fabricados para este experimento.

En la Figura 9 se muestra el altavoz colocado al fondo de la caja acústica, la cual se selló con el panel correspondiente; seguidamente, se accionó la pista seleccionada para este experimento, y se procedió a tomar las lecturas indicadas en el sonómetro de la cantidad de sonido transmitido que se filtró a través de cada uno de los paneles. Se tomaron

dos tipos de registro: el primero en modo de ponderaciones cada dos segundos, y el segundo en modo tiempo real que es el primer y mayor sonido transmitido detectado por el sonómetro.

Características del recinto para las pruebas acústicas

El recinto utilizado para las pruebas acústicas, fue una habitación de 5.0 x 5.0 metros de lado y 2.7 metros de alto. En la Tabla 1 se muestran los niveles de ruido en este tipo de recintos, los cuales van de los 30 dB a los 50 dB clasificados como lugares poco ruidosos. Debido a la situación de emergencia sanitaria, se realizaron las pruebas en una habitación

Fuente de ruido	Especificaciones	Pista/detonación
	<p>ALTAVOZ Bluetooth KTS-1102-C Tamaño de la unidad de altavoz: 3 pulgadas. Potencia de salida: 5 w Respuesta de frecuencia 100 Hz-20K Hz. Relación Señal/Ruido: >85 dB.</p>	<p>Se reprodujo en el altavoz una pista que consistió en un efecto de sonido que provocó un globo al estallar/detonar, el cual se repitió tres veces con una duración de siete segundos. El sonido generado fue un ruido de impacto de 70 dB a 93 dB.</p>

Figura 8. Especificaciones técnicas de la fuente de ruido.



Figura 9. Colocación de la fuente de ruido y de ambos paneles en la caja acústica.

que cumpliera con características tales que no interfirieran con la toma de muestras.

De igual manera, en la Tabla 1 se muestra la descripción de los niveles de ruido que generan algunas actividades, basado en la escala con filtro de ponderación A. Esta tabla sirve como referencia de niveles aproximados de ruido, esto debido a la naturaleza compleja del ruido, pues los sonidos son variables y temporales dependiendo el tiempo y el lugar, así como la dimensión subjetiva de quien define cuando un ruido resulta más o menos perjudicial (Alfie-Cohen & Salinas-Castillo, 2017).

La ponderación del sufijo A

Las dos curvas de ponderación normalizadas internacionalmente de uso común son la “A” y “C”, y

sus características se especifican en la norma IEC 60651.

La ponderación del sufijo (A) de dB(A), es porque para la medición se utiliza un filtro de ponderación para el oído humano (Morales-Alanis, 2012). Esta ponderación se ajusta, con mayor precisión que otras, a la capacidad subjetiva del oído humano para percibir sonidos con independencia del nivel acústico existente. Es por esto que la ponderación (A) es la más utilizada para estudios y mediciones acústicas (López-Fachal, 2012). En la Figura 10 se muestra el sonómetro utilizado para la experimentación, el cual cuenta con la función A/C para elegir el tipo de ponderación con la que se requiere que opere, en este caso con la ponderación A.

Tabla 1
Niveles de ruido según la actividad con información de OSMAN (2010), *La Nación* (2012), Alfie-Cohen & Salinas-Castillo (2017).

ACTIVIDAD	Ruido en decibeles con ponderación A dB(A)	Percepción del ambiente
Pisadas	10	Ambiente silencioso
Cámaras de laboratorio	10	
Viento de los árboles	20	
Estudio de grabación	20	
Conversación en voz baja	30	Ambiente poco ruidoso
Dormitorio	30	
Biblioteca	40	
Oficina	50	
Despacho tranquilo	50	
Nivel propuesto por la OMS al aire libre, 55 dB(A)		
Conversación	60	



Especificaciones

Sonómetro STEREN®
 Modelo: HER-403
 Rango de medición: 30-130 dB
 Ponderación: A
 Sonómetro clase 2: Para la toma de medidas generales en trabajos de campo.

Figura 10. Decibelímetro o sonómetro HER-403 digital para la lectura de la intensidad del sonido.

Acústica arquitectónica y normativa

La acústica arquitectónica es considerada hasta ahora una ciencia relativamente nueva; es una parte de la ciencia física que estudia la generación, la propagación y la transmisión del sonido en todos los espacios cerrados o abiertos donde realiza sus actividades el ser humano (Saad-Eljure, 1996).

En México, existen regulaciones como la Norma Oficial Mexicana NOM-081-SEMARNAT-1994, la cual establece los límites permitidos de ruido para fuentes fijas y el método de medición por el cual se determina su nivel emitido hacia el ambiente. Adicionalmente, la Norma Oficial Mexicana NOM-080-ECOL-1994, establece los límites máximos permisibles de emisión de ruido proveniente del escape de vehículos automotores, motocicletas y triciclos motorizados en circulación y su método de medición.

Asimismo, la Norma Oficial Mexicana NOM-081-SEMARNAT-1994, fija estos límites de niveles de ruido permitido en relación al horario durante el

que se lleva a cabo una actividad. Como se muestra en la Tabla 2, el ruido debería disminuir al acercarse las horas de descanso, con base en esto, se fijaron tres distintos horarios para la toma de muestras: matutino, vespertino y nocturno, ya que los elementos que se implementan como sistemas de aislamiento y acondicionamiento acústico, tienen como objetivo principal ayudar a bloquear estos niveles de ruido, con el propósito de mantener los niveles más cercanos al confort acústico recomendados por las normativas.

Actualmente, estos reglamentos solo son recomendaciones técnicas y/o exigencias de leyes que fueron establecidas por entidades federales de protección ambiental y su cumplimiento ha sido delegado a los gobiernos estatales y municipales (Alfie-Cohen & Salinas-Castillo, 2017).

Las normativas no regulan específicamente la construcción y diseño de un panel acústico, puesto que gran parte de ellos son marcos de madera u

Tabla 2
 Límites máximos permisibles de ruido de acuerdo a la Norma Oficial Mexicana NOM-081-SEMARNAT-1994.

ZONA	HORARIO	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE dB (A)
Residencial (exteriores)	6:00 a 22:00	55
	22:00 a 6:00	50
Industriales y comerciales	6:00 a 22:00	68
	22:00 a 6:00	65
Escuelas (áreas exteriores de juego)	Durante el juego	55

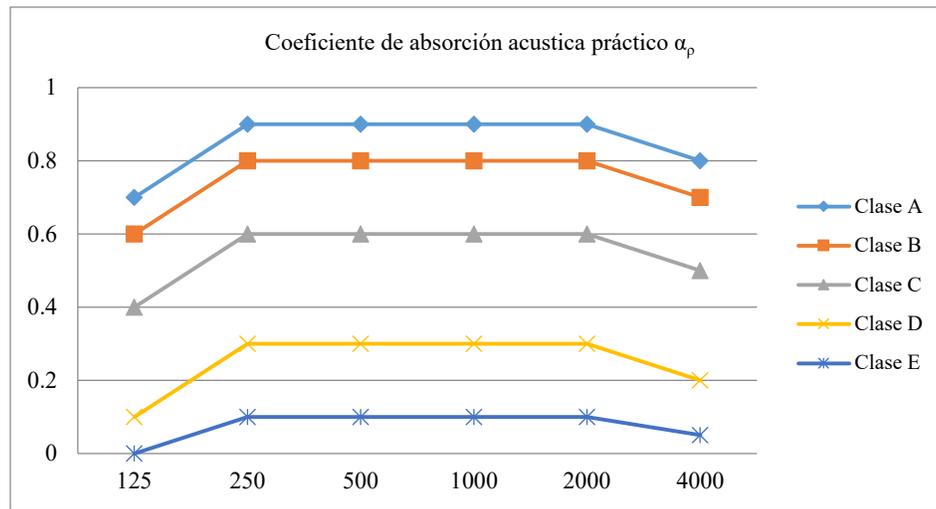


Figura 11. Gráfica con la clasificación de materiales absorbentes acústicos según UNE-EN ISO 11654:1998.

otros materiales con un núcleo de componentes absorbentes, con diversos diseños geométricos o perforados. La función de absorbente se la da, principalmente, el material con el que es fabricado, así como su geometría, para tener un ejemplo, unos paneles acústicos simples bien podrían ser colchones, cojines y esponjas en general.

Dentro de la normativa para los materiales absorbentes y su clasificación, está la norma UNE-EN ISO 11654:1998 que clasifica los productos en materiales absorbentes de sonido de acuerdo con los valores especiales del coeficiente de absorción de sonido, tal como se muestra en la Figura 11, donde se establece una clasificación de estos materiales según las clases A, B, C, D y E, siendo A los que obtienen mejores resultados como se indica en la Tabla 2 (López-Fachal, 2012).

La efectividad del material se mide mediante el coeficiente de absorción, expresado con el símbolo α , con valores dentro de una escala de 0 a 1 como se muestra en la Figura 11. Donde 1 significa el 100% de absorción de la energía sonora incidente y 0 el 0% de la energía incidente.

El procedimiento para medir la absorción acústica de un material se hace mediante el tubo de impedancia acústica que se basa en la norma ISO 10534-2, la cual trata sobre la determinación del coeficiente de absorción acústica y de la impedancia acústica en tubos de impedancia.

Según Rodríguez-Montejano (2003), el coeficiente de absorción de las migas de caucho se encuentra en una clasificación de entre E hasta A, según la clasificación de la Tabla 3, en donde afirma que este material granular pueden absorber el sonido de manera efectiva en función del tamaño del agregado (caucho granular), el contenido del aglutinante, así como la selección del grosor para el rango de frecuencia de interés.

Resultados y discusión

Los siguientes gráficos muestran los resultados obtenidos de la medición de sonido transmitido que atravesó por los paneles al exterior de la caja acústica y que se probaron en tres distintos horarios.

Tabla 3
Clasificación de materiales absorbentes acústicos según UNE-EN ISO 11654:1998.

Clase de absorción acústica	Coeficiente de absorción acústica práctico α_p
A	0,90; 0,95; 1,00
B	0,80; 0,85
C	0,60; 0,65; 0,70; 0,75
D	0,30; 0,35; 0,40; 0,45; 0,50; 0,55
E	0,25; 0,20; 0,15
Sin clasificar	0,1; 0,05; 0,00

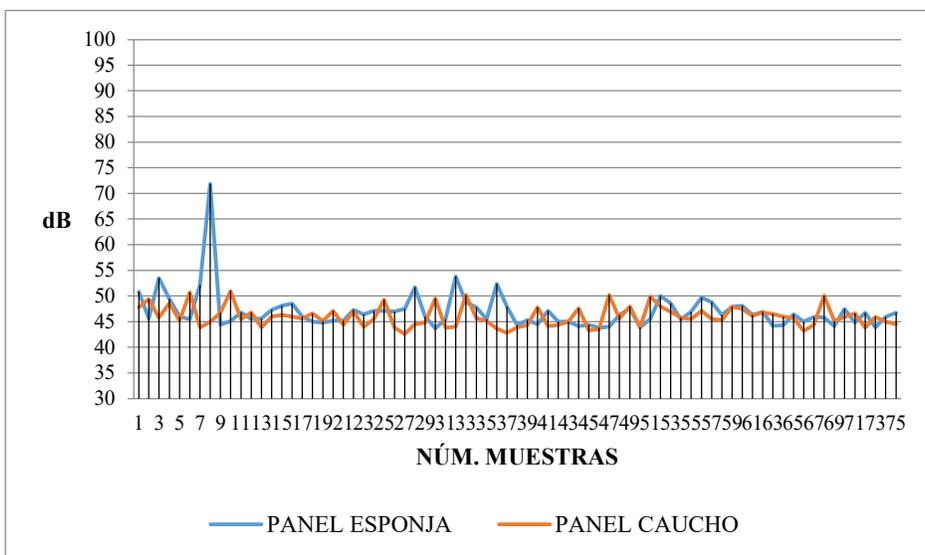


Figura 12. Gráfica de lecturas de sonido transmitido y registrado en el sonómetro en modo de lectura; relación de muestras dos veces por segundo en horario matutino.

El ruido estudiado fue un golpe de impacto generado por la fuente de ruido que oscilaba entre los 70 y 93 dB con una duración de siete segundos a una distancia de 60 centímetros alejado del sonómetro. La configuración del sonómetro fue en ponderación (A) que, como ya se mencionó, es la más útil para una medición de ruido general, haciendo que el sonómetro responda igual que el oído humano ante cualquier sonido con un rango de frecuencia de 30-130 dB.

En la Figura 12 se muestra la gráfica de las primeras 75 muestras tomadas en horario matutino; el sonido registrado osciló entre 40 y 55 dB para ambos paneles.

Se puede ver que los resultados obtenidos para cada uno de ellos son muy similares; sin embargo, con el panel de esponja se registran algunos picos ligeramente altos.

En la Figura 13 se muestra la gráfica, igualmente de las segundas 75 muestras tomadas en horario matutino; no obstante, la diferencia radica en el modo de lectura que se utilizó, ya que fue el denominado tiempo real, esto es que el sonómetro obtuvo el valor máximo de un sonido. Los registros oscilaron entre 80 y 93 dB y se observó que la diferencia entre cada panel

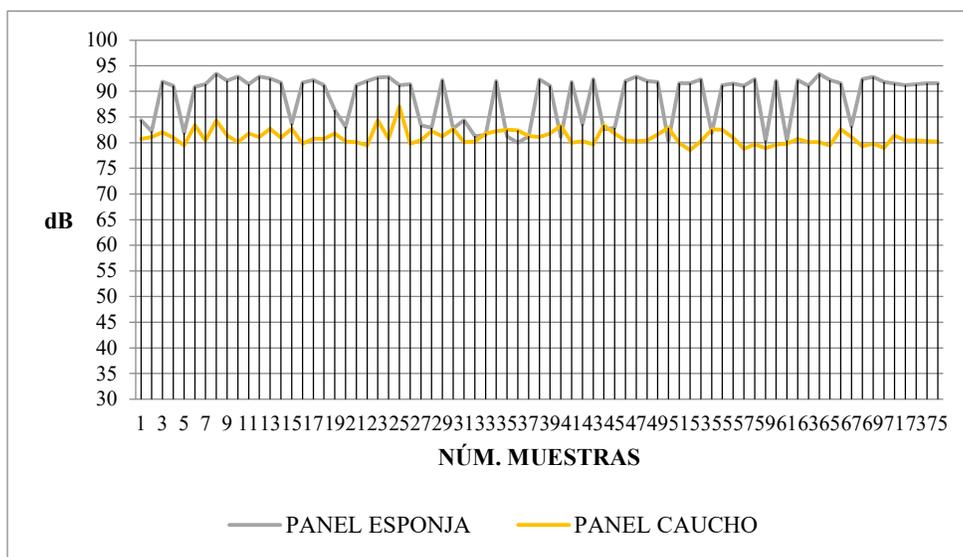


Figura 13. Gráfica de lecturas de sonido transmitido y registrado en el sonómetro en modo de lectura en tiempo real en horario matutino.

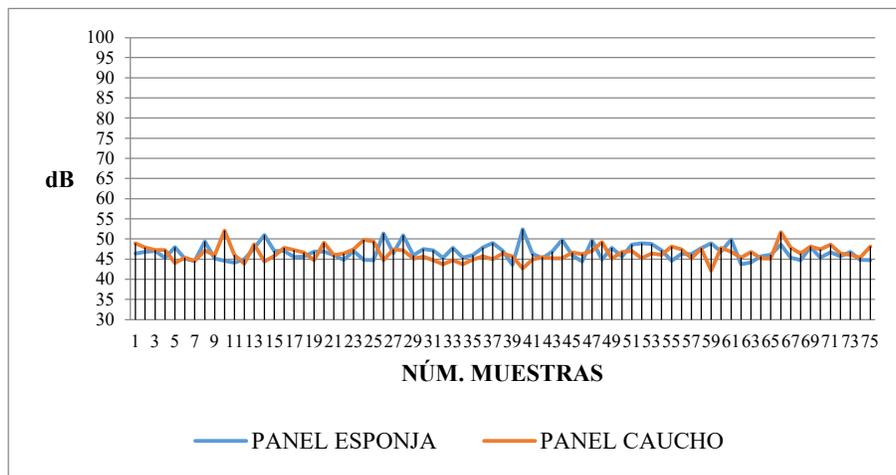


Figura 14. Gráfica de lecturas de sonido transmitido y registrado en el sonómetro en modo de lectura relación de muestras; dos veces por segundo en horario vespertino.

fue más notoria: el panel de caucho muestra una tendencia más baja y constante entre 80 y 83 dB sin tantos picos, mientras que el panel de esponja sigue una tendencia más irregular con picos entre 83 y 93 dB.

En la Figura 14 se muestra la gráfica de las primeras 75 muestras tomadas en horario vespertino, el sonido registrado osciló entre 45 y 50 dB para ambos paneles.

En la Figura 15 se observa la gráfica de las segundas 75 muestras tomadas en horario vespertino en el modo de lectura tiempo real, es decir, se obtuvo el valor máximo de un sonido; la diferencia entre las muestras de cada panel, como se observa, fueron que el panel de caucho muestra una tendencia levemente más baja y constante al inicio entre los 80 y 83 dB, aumentando eventualmente con algunos picos de entre los

80 y 93 dB. En el panel de esponja se observó desde el inicio y hasta el final, una tendencia irregular de entre los 83 y 93 dB.

En la Figura 16 se muestra la gráfica de las 75 muestras tomadas en horario nocturno; el sonido registrado osciló entre 45 y 50 dB en modo de lectura relación de muestras dos veces por segundo; se registraron resultados para cada panel muy similares y también se observaron algunos picos cercanos a los 55 dB con el panel de esponja.

En la Figura 17 se muestra la gráfica de las segundas 75 muestras tomadas en horario nocturno en el modo de lectura en tiempo real. Se observó que ambos paneles mantuvieron una tendencia inicial de entre los 80 y 83 dB. El panel de esponja incrementó esta

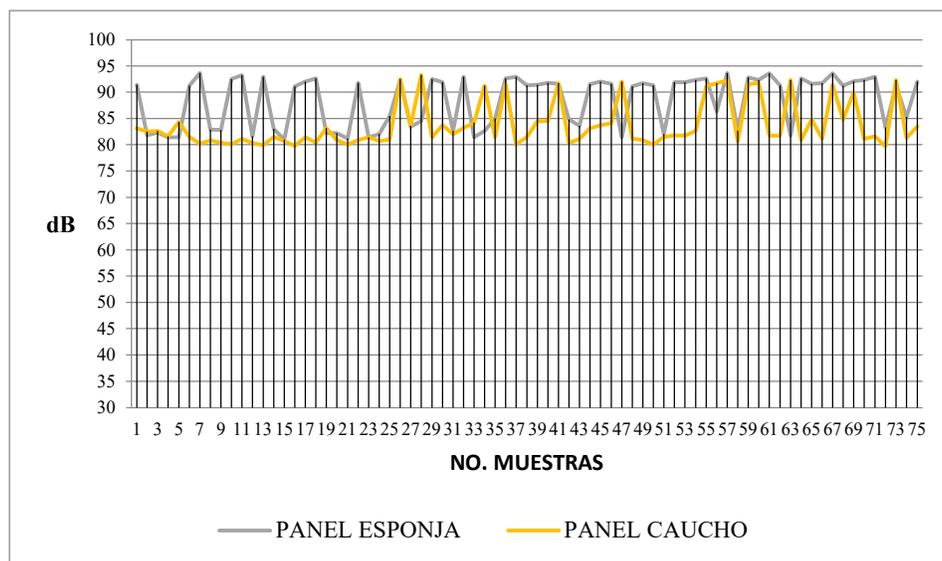


Figura 15. Gráfica de lecturas de sonido transmitido y registrado en el sonómetro en modo de lectura en tiempo real en horario vespertino.

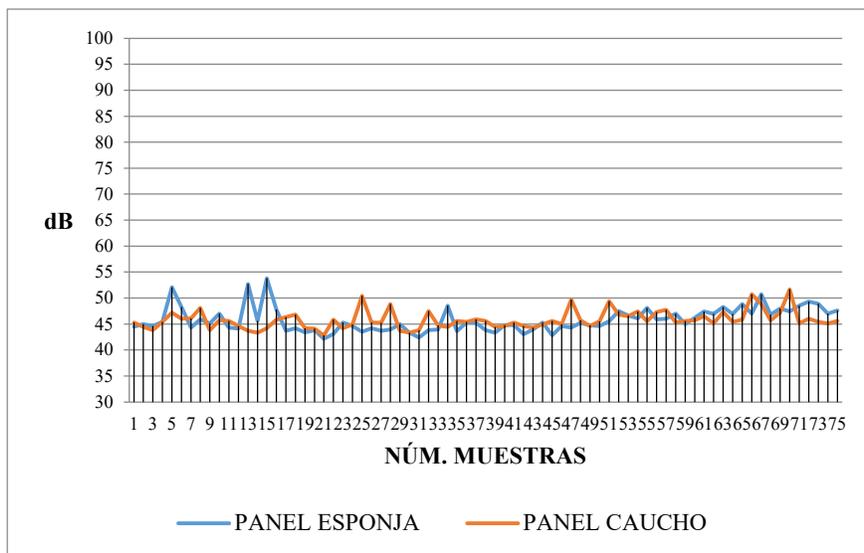


Figura 16. Gráfica de lecturas de sonido transmitido y registrado en el sonómetro en modo de lectura relación de muestras dos veces por segundo en horario nocturno.

tendencia superando los 90 dB y manteniéndose casi constante, por su parte, el panel de caucho mostró una tendencia de 80 dB con picos entre 90 y 93 dB.

El mecanismo de absorción acústica de un material se basa en la resistencia que ofrece al flujo de aire, reduciendo la amplitud de la onda sonora, las superficies porosas tienen la capacidad de absorber parcialmente las ondas sonoras para después disipar dicha energía en dosis de calor.

La esponja acústica, de acuerdo a sus características porosas, se encuentra ubicada generalmente entre B y A, según la Tabla 3, es decir, tiene una alta capacidad de absorber casi todas las ondas sonoras.

Las migas de caucho, en cambio, como se ha citado, se encuentra en un rango de E hasta A; sin embargo, esta clasificación depende y está en función del tamaño del agregado, del aglutinante y del grosor del panel o capa de material. En el caso específico de este trabajo, el diseño de mezcla con el que se experimentó —que fue un agregado de migas de caucho reciclado con tamaños de 1 a 3 mm y una resina como aglutinante en una relación de 70 y 30% con un grosor de 35 mm—, obtuvo resultados superiores a los de la esponja acústica, con esta disposición específica de diseño de mezcla y dimensiones como se describe en las gráficas de las figuras 12, 13, 14, 15, 16 y 17, respectivamente.

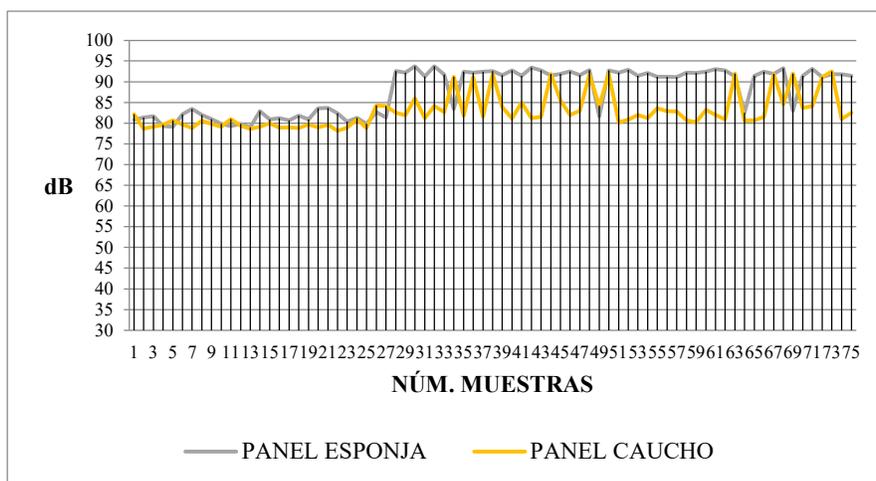


Figura 17. Gráfica de lecturas de sonido transmitido y registrado en el sonómetro en modo de lectura en tiempo real en horario nocturno.



Tabla 5

Medidas de tendencia central para los paneles en modo de lectura relación de muestras dos veces por segundo.

Medidas de tendencia central para el panel de esponja		
Media	46.36	dB
Mediana	46.00	dB
Moda	47.00	dB
Medidas de tendencia central para el panel de caucho		
Media	46.07	dB
Mediana	45.70	dB
Moda	45.60	dB

Se registraron 225 mediciones en modo de lectura relación de muestras dos veces por segundo, realizadas por el sonómetro. Las medidas de tendencia central que se calcularon se muestran en la Tabla 4, resultando una Media de 46.07 dB para el panel de caucho contra 46.36 dB respecto del panel de esponja, lo que significa una diferencia de 0.29 dB. Una Mediana para el panel de caucho de 45.70 dB, es decir, la mitad de las muestras están por debajo de este rango, mientras que con el panel de esponja se obtuvo 46.00 dB, indicando que la mitad de las muestras recolectadas estuvieron por debajo de ese mismo rango. Finalmente, la medida con mayor frecuencia o Moda, fue de 45.60 dB para el

panel de caucho y 47.00 dB para el panel de esponja.

Fueron tomadas otras 225 en el modo de lectura tiempo real que realiza el sonómetro como se muestra en la Tabla 5, resultando una Media de 82.55 dB para el panel de caucho y de 88.32 dB para el panel de esponja, teniendo una diferencia de 5.768 dB. Por otra parte, se obtuvo una Mediana de 81.40 dB para el panel de caucho siendo la mitad de estas muestras por debajo de este rango, mientras que para el panel de esponja se obtuvo 91.40 dB, resultando una diferencia de 10 dB en comparación al panel de caucho. Por último, la medida con mayor frecuencia o Moda fue de 80.70 dB para el panel de caucho y 91.40 dB para el panel de esponja.

Tabla 4

Medidas de tendencia central para los paneles en modo de lectura en tiempo real.

Medidas de tendencia central para el panel de esponja		
Media	88.32	dB
Mediana	91.40	dB
Moda	91.40	dB
Medidas de tendencia central para el panel de caucho		
Media	82.55	dB
Mediana	81.40	dB
Moda	80.70	dB

Con el análisis de las medidas de tendencia central se puede decir que el panel de caucho reciclado obtuvo un mejor desempeño al bloquear alrededor 10 dB más que el panel fabricado con esponja, indicando con esto que su absorción fue superior.

Conclusiones

Los resultados obtenidos de las pruebas realizadas con el panel de caucho reciclado diseñado con perforaciones de 2 pulgadas, a partir de los datos de sonido registrados en el sonómetro en el modo de lectura de dos ponderaciones por segundo, arrojó resultados similares, e incluso menores con respecto al panel de esponja tradicional, lo que quiere decir que, a pesar de ser un material rígido en comparación a la esponja, no se volvió un elemento reflexivo, conservando así propiedades de poca o nula reflexión que tiene los materiales blandos y porosos como es la esponja, evitando que un sonido se vuelva molesto o perjudicial.

Con respecto a los datos obtenidos en la prueba en modo de lectura en tiempo real, se puede concluir que el panel de caucho tuvo una transmisión de sonido menor que el panel de esponja, ya que de acuerdo a los registros de lectura con el panel de caucho, se logró bloquear 10 dB más que con el panel de esponja, esto quiere decir que aumentó su absorción alrededor de 17.5%.

Con los 28 huecos o perforaciones equidistantes de 2 pulgadas de diámetro, se logró aligerar el panel de caucho al no tener que rellenar toda la superficie con el material, cubriendo solo un 75% del volumen total.

Se puede concluir también que las partículas del agregado seco, en este caso migas de caucho reciclado con tamaños de 1 a 3 mm, al unirse con el aglutinante líquido formaron una argamasa que al secarse adquirió un grado de porosidad necesaria para servir como material absorbente, mostrando así que este panel y su diseño de mezcla caucho-resina, puede ser una alternativa fonoabsorbente.

Referencias

Alfie-Cohen, M. and Salinas-Castillo, O., 2017, Ruido en la ciudad. Contaminación auditiva y ciudad caminable: *Estudios demográficos y urbanos*, 32(1), 65-96. ISSN 0186-7210 (print) ISSN 2448-6515 (web).

<https://www.scielo.org.mx/pdf/educm/v32n1/2448-6515-educm-32-01-00065.pdf>

Ashori, A., Ghofrani, M., Rezvani, M. H. and Khojasteh Khosro, S., 2015, Utilization of waste tire rubber in hybrid plywood composite panel: *Polymers for Advanced Technologies*, 26(8), 1034-1040.

<https://doi.org/10.1002/pat.3528>

Berglund, B., Lindvall, T., Schwela, D.H. and Organización Mundial de la Salud, 1999, "Guidelines for Community Noise". <file:///C:/Users/Angel/Downloads/a68672.pdf>

Carbajo, J., Cardenas, W., Torres, J., Ramis, J. and Molina, D., 2012, Una alternativa para el estudio acústico de paneles perforados: *VIII Congreso Ibero-americano de acústica, Sea-Acustica*, Évora, Portugal. <http://ftp.sea-acustica.es/fileadmin/publicaciones/101.pdf>

Diario Oficial de la Federación, 1994, "Norma Oficial Mexicana NOM-081-SEMARNAT-1994".

https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=4706988&fecha=22/06/1994#gsc.tab=0

Diario Oficial de la Federación, 2004, "Norma Oficial Mexicana NOM-080-ECOL-1994".

https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=4866669&fecha=13/01/1995#gsc.tab=0

ECODES, 2005, "Niveles de exposición al ruido". <https://archivo.ecodes.org/web/noticias/niveles-de-exposicion-al-ruido>, [consultado el 19 de agosto de 2022]

EPA. United States Environmental Protection Agency, 1997, "Exposure Factors Handbook (Final Report)".

https://cfpub.epa.gov/si/si_public_record_report.cfm?Lab=NCEA&dirEntryId=12464, [consultado el 25 de marzo de 2021].

European Tyre & Rubber Manufacturers' Association, 2010, "End of life tyres. A valuable resource with growing potential". https://www.signus.es/wp-content/uploads/2017/06/Etrma_elt_management_brochure_final_2010.pdf, [consultado el 10 de agosto de 2022].

European Tyre & Rubber Manufacturers' Association, 2014, "Statics Booklet". Bruselas.

Forrest, M., 2014, Recycling and Re-use of Waste Rubber: *Shrewsbury, Reino Unido, Smithers Rapra Technology*, pp. 135-233. ISBN: 978-184735-682-6.

Herrera-Sosa, E.S., Martínez-Barrera, G., Barrera-Díaz, C. and Cruz-Zaragoza, E., 2015, "Materiales reciclados de llantas automotrices y la radiación gamma en el mejoramiento del concreto", en G. Martínez-Barrera, J.B. Hernández-Zaragoza, T. López-Lara and C. Menchaca-Campos (eds.). *Materiales sustentables y reciclados en*



- la construcción*, Barcelona, España, OmniaScience, pp. 73-93. <http://dx.doi.org/10.3926/oms.245>
- Ibérica, M., 2016, El césped artificial de Mondo cumple con el reglamento europeo para sustancias químicas: *Mondo Ibérica - News*. <https://news.mondoiberica.com/es/el-cesped-artificial-de-mondo-cumple-con-el-reglamento-europeo-para-sustancias-quimicas/>
- Instituto de Biomecánica de Valencia, s. f., "Study of the Incidence of Recycled Rubber from Tyres in Environment and Human Health". http://www.iss-sportsurfacescience.org/downloads/documents/muw7lmt0wh_ibv.pdf, [consultado el 12 de agosto de 2022].
- International Rubber Study Group, 2014, "Latest World Rubber Industry Outlook now available from IRSG". <http://www.rubberstudy.com/news-article.aspx?id=5081&b=earlier-news.aspx>, [consultado el 28 de noviembre de 2020].
- Irevna, 2016, "Tire Recycling Industry: A Global View". <https://docplayer.net/20869018-Tire-recycling-industry-a-global-view.html>, [consultado el 9 de Agosto de 2022].
- Julia-Sanchis, E., 2008, Modelización, simulación y caracterización acústica de materiales para su uso en acústica arquitectónica: PhD thesis, *Universidad Politécnica de Valencia*, 36 pp.
- López-Fachal, P., 2012, Comparación de los criterios de calidad acústica con los estándares de confort admitidos por las sociedades de clasificación en mediciones de ruidos a bordo de buques. Exposición laboral, confort acústico y control del ruido: PhD thesis, *Universidad de Coruña*, pp. 72-80.
- López-Recuero, M., 1999, Acústica arquitectónica aplicada: *Ediciones Paraninfo*. ISBN: 9788428325714.
- Maa, D.Y., 1998, Potential of microperforated panel absorber: *The Journal of the Acoustical Society of America*, 104(5), 2861-2866. <https://doi.org/10.1121/1.423870>
- Mabasa, 2020, "Panel acústico fonoabsorbente en módulos". <https://mabasa.com.mx/barreras-acusticas-cons-truccion/> [consultado el 1 de abril de 2022].
- Maderuelo-Sanz, R., 2014, Investigaciones sobre la aplicabilidad en edificación de materiales acústicos procedentes de la valorización de residuos: PhD thesis, *Universidad de Extremadura, Departamento de Física Aplicada*.
- Maderuelo-Sanz, R., Nadal-Gisbert, A.V., Crespo-Amorós, J.E. and Parres-García, F., 2012, A novel sound absorber with recycled fibers coming from end of life tires (ELTs): *Applied Acoustics*, 73(4), 402-408. ISSN 0003-682X. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2011.12.001>
- Morales-Alanis, J., 2012, Acústica en espacios y en los volúmenes arquitectónicos: *Trillas*. ISBN 978-607-17-1275-2.
- Observatorio de Salud y Medio Ambiente de Andalucía, 2010, "Ruido y salud. Guías profesionales". <https://www.osman.es/project/ruido-y-salud-2/>
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos, 2012, "Pedestrian safety, urban space and health". <https://www.oecd.org/publications/pedestrian-safety-urban-space-and-health-9789282103654-en.htm>
- Peláez-Arroyave, G.J., Velásquez-Restrepo, S.M. and Giraldo Vásquez, D.H., 2017, Aplicaciones de caucho reciclado: Una revisión de la literatura: *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 27(2), 27-50. <https://doi.org/10.18359/rcin.2143>
- Pfretzschner, J. and Rodríguez, R., 1999, Acoustic properties of rubber crumbs: *Polymer Testing*, 18(2), 81-92. [https://doi.org/10.1016/S0142-9418\(98\)00009-9](https://doi.org/10.1016/S0142-9418(98)00009-9)
- "Prueban que el ruido alto afecta la memoria", *La Nación*, Buenos Aires, 11 de julio de 2012. <http://www.lanacion.com.ar/1489554-prueban-que-el-ruido-altoafecta-la-memoria> [consultado el 17 de agosto de 2022].
- Rodríguez-Montejano, R.M., 2003, Propiedades acústicas del caucho granular: PhD thesis, *Universidad Politécnica de Madrid*.
- Ruza, F., 1988, El ruido del tráfico: evaluación y corrección de su impacto: *Simposio sobre Impacto Ambiental de Carreteras, España, PIARC*.
- Saad-Eljure, E., 1996, Acústica Arquitectónica: MSc thesis, *Universidad Nacional Autónoma de México*. <http://132.248.9.195/ppt1997/0242675/0242675.pdf> [consultado el 9 agosto de 2022].
- Salinas-Castillo, O., 2015, Mucho ruido y pocas soluciones. Los corredores peatonales en el Centro Histórico de la Ciudad de México y su impacto en la contaminación auditiva y políticas de ciudad caminable: MSc thesis, *Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco*.
- Sastrón, J., 2017, "Coeficiente de absorción acústica ¿Existe con valores superiores a 1?". <https://www.produccioneselotano.com/coeficiente-de-absorcion-acustica/> [consultado el 5 de marzo de 2022].

- Segura-Alcaraz, J., Crespo Amoros, J.E., Julia Sanchis, E., Nadal Gisbert, A. and Gadea Borrell, J.M., 2014, Estimación de la absorción acústica de paneles fabricados con neumáticos reciclados: *Dyna*, 89(3), 106-111. <https://doi.org/10.6036/5796>
- Servicios Deportivos Integrales Canarios, 2016, “El césped artificial de Mondo cumple con el reglamento europeo para sustancias químicas”. <https://serdican.es/el-cesped-artificial-de-mondo-cumple-con-el-reglamento-europeo-para-sustancias-quimicas/>
- Swift, M., Bris, P. and Horoshenko, K., 1999, Acoustic absorption in re-cycled rubber granulate: *Applied Acoustics*, 57(3), 203-212. [https://doi.org/10.1016/S0003-682X\(98\)00061-9](https://doi.org/10.1016/S0003-682X(98)00061-9)
- World Health Organization, 2011, Burden of disease from environmental noise. Quantification of healthy life years lost in Europe: *Ginebra, World Health Organization*. ISBN: 978 92 890 0229 5. https://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0008/136466/e94888.pdf
- Xu, X., Wang, H., Sun., Y., Han, J. and Huang, R., 2018, Sound absorbing properties of perforated composite panels of recycled rubber, fiberboard sawdust, and high density polyethylene: *Journal of Cleaner Production*, 187, 215-221. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.03.174>