



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE CUENCA

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PANEL FONOABSORBENTE
SOSTENIBLE PARA LA REDUCCIÓN DE RUIDO, UTILIZANDO PVC Y
CAUCHO RECICLADO.**

Trabajo de titulación previo a la obtención del

título de Ingeniero Ambiental

AUTOR: MAURICIO BOLÍVAR FRÍAS CRESPO

TUTOR: DR. TONY JESÚS VILORIA ÁVILA

Cuenca - Ecuador

2025

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUDITORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Mauricio Bolívar Frías Crespo con documento de identificación N° 070526131 manifiesto que:

Soy el autor y responsable del presente trabajo; y, autorizo a que, sin fines de lucro, la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el contenido de este trabajo.

Cuenca, 14 de julio de 2025

Atentamente,



Mauricio Bolívar Frías Crespo

0705261931

CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

Yo, Mauricio Bolívar Frías Crespo con documento de identificación N° 070526131, expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del Trabajo experimental: “Diseño y construcción de un panel fonoabsorbente sostenible para la reducción de ruido, utilizando PVC y caucho reciclado”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Ambiental, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribo este documento en el momento que hago la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 14 de julio de 2025

Atentamente,



Mauricio Bolívar Frías Crespo

0705261931

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Tony Jesús Viloría Ávila con documento de identificación N° 0151688264, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: **DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PANEL FONOAORBENTE SOSTENIBLE PARA LA REDUCCÓN DE RUIDO, UTILIZANDO PVC Y CAUCHO RECICLADO**, realizado por Mauricio Bolívar Frías Crespo con documento de identificación N° 0705261931, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Trabajo experimental que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 14 de julio del 2025

Atentamente,



Dr. Tony Jesús Viloría Ávila

0151688264

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo diseñar y construir un prototipo de panel fonoabsorbente sostenible para la reducción de ruido, utilizando PVC tipo Sintra y caucho provenientes de materiales reciclados, seleccionados por sus propiedades fonoabsorbentes. El diseño se enfocó en optimizar el rendimiento acústico en frecuencias bajas y medias.

Para validar la funcionalidad del panel, se realizaron pruebas mecánicas y acústicas tanto de los materiales por separado como del panel en su conjunto. Las evaluaciones se llevaron a cabo mediante el uso de un tubo de impedancia, una caja acústica, un cuarto de insonorización, el software REW (Room EQ Wizard) para la generación de señales de ruido rosa, así como un sonómetro y micrófonos calibrados para el registro de la presión sonora. El análisis estadístico se realizó con el software SPSS.

Los resultados obtenidos mostraron una reducción promedio del nivel de presión sonora (SPL) de hasta 12,67 dB y un coeficiente de absorción acústica (α) superior a 0,95, lo cual demuestra una alta eficiencia del panel como absorbente acústico. En cuanto a su comportamiento mecánico, se registró una resistencia promedio de 1,75 MPa y una deformación máxima del 60 %, lo que indica que el panel posee una estructura liviana con suficiente resistencia para aplicaciones no estructurales.

Finalmente, se realizó una comparación técnica con paneles fonoabsorbentes comerciales. El prototipo desarrollado presentó un índice de eficiencia acústica (IEA) de 0,80/1,00, posicionándose como una alternativa competitiva tanto en rendimiento como en costo, con el valor añadido de ser una solución sostenible con potencial de producción a escala.

Palabras clave: PVC Sintra, Caucho, reciclaje, fonoabsorbente, ruido rosa, acústica.

ABSTRACT

This research aimed to design and build a prototype of a sustainable sound-absorbing panel for noise reduction, using Sintra-type PVC and rubber derived from recycled materials, selected for their sound-absorbing properties. The design focused on optimizing performance in low and mid-frequency ranges.

To validate the panel's functionality, mechanical and acoustic tests were conducted both on the individual materials and on the complete panel. The evaluations were carried out using an impedance tube, an acoustic box, an anechoic chamber, REW (Room EQ Wizard) software to generate pink noise signals, as well as a sound level meter and calibrated microphones to measure sound pressure. Statistical analysis was performed using SPSS software.

The results showed an average reduction in sound pressure level (SPL) of up to 12.67 dB and a sound absorption coefficient (α) greater than 0.95, indicating high efficiency of the panel as a sound absorber. Regarding its mechanical behavior, the panel exhibited an average strength of 1.75 MPa and a maximum deformation of 60%, confirming it as a lightweight structure with adequate resistance for non-structural applications.

Finally, a technical comparison with commercial sound-absorbing panels was carried out. The developed prototype achieved a high acoustic efficiency index (AEI) of 0.80/1.00, positioning it as a competitive alternative in terms of both performance and cost, with the added value of being a sustainable solution with scalable production potential.

Keywords: PVC Sintra, Rubber, recycling, sound absorbing, pink noise, acoustics.

DEDICATORIAS

Dedico este esfuerzo a quienes, con su ejemplo y sacrificio, me enseñaron que los sueños se construyen con disciplina: este trabajo es fruto de largas horas, café y alguna falla de internet.

Dedicación a mis padres

A ustedes, mis pilares y motor de cada logro. Han sido mi inspiración desde el primer paso y mi refugio en cada tropiezo: sus llamadas nocturnas, aun viviendo a kilómetros de distancia, eran como esas pausas de café que me llenaban el ánimo justo cuando más lo necesitaba. No hubo examen, proyecto ni bajón universitario que no hubiera sido opacado con una palabra de aliento o un “¿ya desayunaste?” que, en realidad, era su forma de recordarme que están conmigo y cualquier cosa acuda a ellos. Gracias por creer en mí en esos días en que ni yo mismo sabía si podía seguir adelante; su confianza infundió valor donde yo encontré dudas. Cada abrazo al volver a casa o cada mensaje durante mi estadía universitaria fue un empujón silencioso que me llevó a cruzar la meta de este trabajo de titulación. Por todo ello, y por enseñarme que el éxito sabe mejor cuando se comparte con quienes siempre estuvieron ahí, este logro es tan suyo como mío.

Dedicación a mi novia

A ti, compañera infatigable de mis metas y confidente de mis ideas más disparatadas. Gracias por mantenerme cuerdo cuando los exámenes acechaban y por celebrar conmigo cada logro, por pequeño que fuera.

Mauricio Bolívar Frías Crespo

AGRADECIMIENTO

Quiero dar gracias de corazón,

A mis papás, por ser siempre mi base, por confiar en mí y en este título, que, sin su apoyo, se habría quedado solo en ganas.

A mis hermanos, por las bromas que me sacaban una risa justo cuando más lo necesitaba, y por cubrirme cuando ya no podía más.

A mi familia en general, por estar ahí, por apoyarme, aunque el tiempo se hacía largo en esta travesía de obtener mi título, muchas gracias.

A mis amigos, por las carcajadas, los cafés de última hora, y salidas para despejarme y recordarme que también hay vida fuera de los libros.

Y sobre todo, a mi novia y futura esposa, Stefany Sarmiento, por su paciencia, su apoyo diario y por ser, sin duda, el mejor regalo que la vida me ha dado.

Sin ustedes, ninguno de estos logros tendría el mismo valor ni sentido. ¡Gracias por ser parte de este logro!

Mauricio Bolívar Frías Crespo

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	17
1.1. Problema.....	18
1.2. Delimitación del problema	18
2. OBJETIVOS	19
2.1. Objetivo General.....	19
2.2. Objetivo Especifico	19
2.3. Hipótesis	19
3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA. MARCO TEÓRICO	20
3.1. Antecedentes teóricos	20
3.2. Fundamentos teóricos	22
3.2.1 Contaminación acústica.....	22
3.2.2 Generalidades acústicas.....	25
3.2.3 Resistencia de materiales	28
3.2.4 Materiales fonoabsorbentes.....	35
3.2.5 Diseño geométrico del panel	40
3.2.6 Medición de ruido	41
3.3. Marco legal	43
3.3.1 Normativa Nacional (INEN 2391-2011).....	43
3.3.2 Control local (Cuenca)	45
3.4. Normativa Internacional	46
4. MATERIALES Y MÉTODOS (METODOLOGÍA).....	47
4.1. Tipo de investigación.....	47
4.2. Enfoque de la investigación.....	47
4.3. Población, muestra y muestreo	47
4.3.1 Población.....	47
4.3.2 Muestra.....	48
4.3.3 Muestreo.....	49
4.3.4 Variables dependientes.....	49
4.3.5 Variables independientes.....	49
4.4. Materiales para la atenuación del ruido	49

4.5.	Elaboración de paneles acústicos	50
4.5.1	FASE 1: Pruebas mecánicas del PVC Sintra y caucho de llanta	50
4.5.2	FASE 2: Método de tubo de impedancia para evaluar la acústica del PVC Sintra vs Caucho.....	59
4.5.3	FASE 3: Método de tubo de impedancia para evaluar la acústica de los materiales en conjunto (el caucho en ángulos de 30° 40° 50°).....	61
4.5.4	FASE 4: Diseño geométrico del panel	62
4.5.5	FASE 5: Elaboración de prototipos finales	63
4.5.6	FASE 6: Prueba de Compresión de los prototipos finales	64
4.5.7	FASE 7: Método por caja acústica en sala de insonorización para evaluar la acústica de los prototipos finales	65
4.5.8	FASE 8: Comparación de los resultados obtenidos con otros paneles comerciales.	65
4.6.	Métodos de Experimentación	65
5.	RESULTADOS Y ESTUDIO ESTADÍSTICO	66
5.1.	Resultados y análisis de las mediciones de pruebas mecánico del PVC.....	67
5.1.1	Resultados del ensayo de flexión	67
5.1.2	Resultados del ensayo de tracción.....	68
5.1.3	Resultados del ensayo de dureza	69
5.1.4	Resultados del ensayo de impacto.....	70
5.2.	Resultados y análisis de las mediciones de pruebas mecánico del caucho	70
5.3.	Evaluación de presión sonora en tubo de impedancia de PVC vs Caucho (por separado).....	71
5.4.	Evaluación de presión sonora en tubo de impedancia de las muestras de PVC y Caucho (caucho en 30°, 40° y 50°	72
5.5.	Evaluación y determinación de la distribución de los materiales (PVC y Caucho)..	73
5.6.	Resultados de la implementación de los paneles fonoabsorbentes (mecánicas y acústicas)	74
5.7.	Análisis descriptivo	76
5.8.	Informe estadístico final	76
5.8.1	Objetivo del Análisis.....	76
5.8.2	Descripción de los datos.....	77
5.8.3	Evaluación de Supuestos	83
5.8.4	Prueba estadística aplicada.....	84
5.8.5	Pruebas Post-hoc (si hubo diferencias significativas)	85
5.8.6	Visualizaciones Finales	87

5.8.7	Conclusión estadística	88
6.	DISCUSIÓN	89
7.	CONCLUSIONES	92
8.	RECOMENDACIONES	92
9.	BIBLIOGRAFÍA	93
10.	ANEXOS.....	99

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Acción y efecto de absorber la energía de un campo acústico.....	26
Ilustración 2 Reflexión acústica	27
Ilustración 3 Proceso grafico de la obtención del caucho de llanta	36
Ilustración 4 Flujo de proceso de PVC (Reciclado químico).....	38
Ilustración 5 Flujograma de procesos de obtención de PVC (Proceso Mecánico)	38
Ilustración 6 Tubo de impedancia con dos posiciones de micrófonos	43
Ilustración 7 Prototipo de panel final	64
Ilustración 8 Resultados de Prueba de Compresión	64
Ilustración 9 Resultados ensayo de flexión (Fuerza vs Desplazamiento)	67
Ilustración 10 Resultados del equipo de tracción Fuerza vs Desplazamiento.....	68
Ilustración 11 Resultados Obtenidos por la aplicación REW para comparar la absorción de los materiales	71
Ilustración 12 Resultados de cantidad de distribución del caucho.....	72
Ilustración 13 Resultados de comportamiento acústico según el radio y cantidad de círculos	73
Ilustración 14 Resultados de las pruebas de compresión	74
Ilustración 15 Evaluación de presión sonora de los paneles finales	75
Ilustración 16 Histograma MUESTREO_1.....	80
Ilustración 17 Histograma MUESTREO_2.....	81
Ilustración 18 Histograma MUESTREO__3.....	82
Ilustración 19 Diagrama de caja y bigote (boxplot) de las muestras a evaluar	87

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Niveles Sonoros y Respuesta Humana.....	24
Tabla 2 Límites máximos de ruido permisibles según el uso del suelo	44
Tabla 3 Resultados del ensayo de flexión para PVC Sintra.....	51
Tabla 4 Evaluación estadística de resultados obtenidos.....	51
Tabla 5 Resultados de Esfuerzo de flexión máxima	51
Tabla 6 Resultados de la Pendiente de la zona elástica (m).....	52
Tabla 7 Resultados de módulo de elasticidad flexión máxima	52
Tabla 8 Margen de error del módulo de elasticidad de flexión.....	53
Tabla 9 Margen de error de la resistencia de flexión	53
Tabla 10 Resultados obtenidos de la prueba de tracción	53
Tabla 11 Evaluación estadística de resultados obtenidos.....	54
Tabla 12 Resultados de tensión.....	54
Tabla 13 Resultados de deformación unitaria	54
Tabla 14 Modulo de elasticidad	55
Tabla 15 Margen de error del módulo de elasticidad del PVC Sintra.....	55
Tabla 16 Margen de error de resistencia a la tracción.....	56
Tabla 17 Resultados obtenidos de la prueba de dureza.....	56
Tabla 18 Evaluación estadística de resultados obtenidos.....	56
Tabla 19 Margen de error del ensayo de dureza	57
Tabla 20 Resultados obtenidos de la prueba de Impacto	57
Tabla 21 Margen de error del ensayo de Impacto	57
Tabla 22 Resultados obtenidos de la prueba de dureza shore A	58
Tabla 23 Evaluación estadística de resultados obtenidos.....	58
Tabla 24 Margen de error del ensayo de dureza	58

Tabla 25 Análisis estadístico de la longitud de onda	59
Tabla 26 Absorción acústica por evaluación de presión sonora con y sin material.....	60
Tabla 27 Cálculos matemáticos en base a los requerimientos del análisis de acústico	60
Tabla 28 Absorción relativa, que muestra cuánto se reduce el nivel de presión sonora (SPL) y el pico máximo (en decibelios) de cada muestra en comparación con la muestra de control (SIN).....	62
Tabla 29 Determinación de cantidad de círculos de diferente radio	62
Tabla 30 Absorción acústica promedio de radio	63
Tabla 31 Características de compresión.....	65
Tabla 32 Evaluación de absorción del panel final.....	65
Tabla 33 Valor estimados de la presión sonora de las muestras	76
Tabla 34 Resultados del análisis descriptivo (Rangos promedio de Kruskal-Wallis)	77
Tabla 35 Resultado de la prueba de Normalidad para la toma de decisiones	83
Tabla 36 Prueba de normalidad Kolmogorov-Smirnov y Shapiro-Wilk	84
Tabla 37 Resultados de la prueba H de Kruskal-Wallis.....	85
Tabla 38 Comparativa de valores p por cada prueba	86
Tabla 39 Comparativa bibliográfica de paneles comerciales vs prototipo de panel	90

ÍNDICE DE ECUACIONES

(1)	25
(2)	25
(3)	26
(4)	26
(5)	27
(6)	27
(7)	28
(8)	28
(9)	28
(10)	29
(11)	29
(12)	29
(13)	30
(14)	30
(15)	30
(16)	31
(17)	31
(18)	32
(19)	32
(20)	32
(21)	40
(22)	41
(23)	65
(24)	76

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Ensayo de por método de tubo de impedancia y software REW para evaluación acústica	99
Anexo 2 Ensayo de determinación geométrica del panel comparando radio y cantidad de círculos.....	104
Anexo 3 Valores acústicos de prueba del panel final	110
Anexo 4 Pruebas de Análisis estadístico usando SPSS	114
Anexo 5 Pruebas Mecánicas de los materiales.....	116
Anexo 6 Pruebas acústicas de los materiales (Método tubo de impedancia y Room EQ Wizard).....	117
Anexo 7 Evaluaciones para selección del diseño del panel final (ángulo, distribución y tamaño de la muestra).....	118
Anexo 8 Selección del diseño final por radio.	118
Anexo 9 Evaluaciones acústicas y mecánicas del modelo final	119

1. INTRODUCCIÓN

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), la exposición prolongada a niveles de ruido mayores a 50 dB durante el día y 40 dB durante la noche podría generar efectos adversos en la salud como trastornos del sueño, enfermedades cardiovasculares y deterioro cognitivo (*La OMS publica una nueva norma para hacer frente a la creciente amenaza de la pérdida de audición*, 2022).

En la actualidad, la contaminación acústica es un problema ambiental que, a pesar de ser reconocida por la sociedad científica, sigue siendo subestimada a diferencia de otros tipos de contaminación. Si bien es cierto, el ruido es un factor contaminante que altera la vida humana y silvestre, sin embargo, no tiene características permanentes en el ambiente, eso quiere decir que puede ser eliminado llevando a cabo nuevas prácticas y formas de control a nivel urbano, productivo e industrial, disminuyendo gradualmente los impactos negativos (*Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica*, 2020).

La Ordenanza de Control, Regulación y Sanción de la Contaminación Ambiental Originada por la Emisión de Ruido Proveniente de Fuentes Fijas y Móviles en Cuenca, busca prevenir, regular, controlar y sancionar la contaminación ambiental generada por la emisión de ruido ambiental proveniente de fuentes fijas y móviles. Permitiendo que cualquier persona ya sea natural o jurídica pueda presentar denuncias por infracciones relativas a este tipo de contaminación (*Ordenanza de Control de la Contaminación Ambiental Originada por la Emisión de Ruido proveniente de Fuentes fijas y móviles. | GAD Municipal de Cuenca*, 2023).

1.1. Problema

En las zonas urbanas residenciales del cantón Cuenca, especialmente las que se encuentran ubicadas en avenidas principales o zonas con alta actividad comercial, la contaminación acústica se ha vuelto un problema creciente a causa del crecimiento urbano acelerado, el intenso flujo vehicular, operación de transporte público, centros deportivos y centros nocturnos de ocio. En estas zonas los niveles de ruido regularmente se encuentran entre los 60 a 70 dB durante el día y los 50 dB en la noche, superando los límites recomendados por la OMS. A pesar, de las normativas vigentes las medidas correctivas y preventivas no son suficientes. Por esa razón, se vuelve una necesidad el desarrollo de soluciones pasivas y accesibles que ayuden a mitigar el impacto sonoro tanto en espacios cerrados como en espacios abiertos. El enfoque de la presente investigación es el diseño de paneles acústicos elaborados con materiales de bajo costo, reciclables y sostenibles, que permitan la reducción de la transmisión de ondas sonoras. En el ámbito local no existen suficientes investigaciones aplicadas sobre la eficiencia acústica del PVC en conjunto al caucho de llanta.

1.2. Delimitación del problema

La investigación se encuentra delimitada geográficamente en zonas urbanas del cantón Cuenca, particularmente en los que hay mayor exposición de ruido, en el periodo mayo y julio del 2025. El estudio busca diseñar, fabricar y evaluar paneles acústicos para uso en interiores, empleando materiales de fácil acceso, reciclables, sostenibles y sobre todo de bajo costo. No incluye análisis de impacto psicológico ni evaluaciones clínicas de salud, sino que se centrará en soluciones físicas medibles, tomando como referencia los límites establecidos por la normativa INEN y la Ordenanza Municipal de Cuenca.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo General

Diseñar y construir un panel fonoabsorbente para la reducción de los niveles de contaminación sonora basado en PVC y caucho, procedente de materiales reciclados.

2.2. Objetivo Especifico

- Analizar las propiedades mecánico-acústicas del PVC y el caucho de llanta.
- Definir las características geométricas y la distribución de los materiales a utilizar en la construcción del panel, con el fin de obtener las mejores propiedades mecánico-acústicas de este.
- Evaluar las propiedades mecánicas-acústicas del panel resultante con los productos comerciales para similar propósito

2.3. Hipótesis

El emplear materiales reciclados en la fabricación de paneles acústicos, permite una atenuación efectiva del ruido urbano sin comprometer la sostenibilidad ni la accesibilidad económica en el diseño del panel.

3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA. MARCO TEÓRICO

3.1. Antecedentes teóricos

En Alemania, se considera a la contaminación acústica como problema ambiental prioritario, particularmente en zonas cercanas a autopistas y líneas ferroviarias. Para la reducción de efectos se usan barreras acústicas modulares y pantallas vegetales, combinadas con materiales fonoabsorbentes junto a elementos naturales que logren disminuir el ruido. Las medidas se encuentran regularizadas por la Ley Federal de Control de Inmisiones, esta establece límites de ruidos y exige soluciones de protección en proyectos infraestructura donde se superan los valores permisibles (BMUV, 2024).

En Piura-Perú se realizó una revisión documental basada en los efectos de la contaminación acústica urbana dentro de la ciudad, determinando que los niveles de ruido directamente por el tráfico vehicular y comercio informal superan los niveles recomendados por la OMS, lo que produce impactos negativos como estrés, alteraciones de sueño y pérdida auditiva. Además, destaca la escasa percepción social del ruido como problema ambiental y la escasa propuesta de estrategias efectivas de control. El estudio recomienda la implementación de barreras acústicas, de la mano de campañas de educación ambiental y la regularización local (Sánchez-Vivas, 2024).

Un estudio desarrollado en la ciudad de Portoviejo-Ecuador, identificó que existen altos niveles de ruido urbano, en zonas de tráfico intenso y en los que no se han desarrollado estrategias efectivas de monitoreo, ni de control de ruido dentro de la ciudad. Adicionalmente, propone el uso e implementación de sensores acústicos de bajo costo integrados a tecnologías de IoT como alternativa viable para medir y gestionar el ruido en

tiempo real. Además, el estudio señala la ausencia de estudios técnicos aplicados en ciudades ecuatorianas, demostrando que es una necesidad implementar soluciones tanto físicas como tecnológicas, como barreras o paneles acústicos que permitan mitigar el problema ambiental (Castro, 2025).

Por otro lado, un análisis llevado a cabo en la Unidad Educativa Velasco Ibarra (Ecuador), ubicada en una zona urbana de alta circulación vehicular. Mediante mediciones *in situ*, identificaron que los niveles de presión sonora superan los 70 dB en horarios pico, excediendo los límites permisibles establecidos según las normativas locales e internacionales. Este advierte que las exposiciones a estas frecuencias llegan a generar problemas en la salud auditiva y en la concentración de los estudiantes. Concluyendo que no se están realizando los controles adecuados y propone la instalación de barreras acústicas o la implementación de materiales absorbentes en los entornos escolares y zonas residenciales (Jaime & Zamora, 2024).

Angulo-Castro, Sinisterra-Cundumí y García-Noguera (2025), en su revisión de literatura, destacan que la contaminación acústica urbana es una problemática ambiental con efectos directos sobre la salud mental y física de la población, como estrés, fatiga, pérdida auditiva y dificultad de concentración. El estudio subraya que en ciudades latinoamericanas existe una limitada conciencia sobre este tipo de contaminación y una escasa aplicación de soluciones estructurales como barreras acústicas o materiales absorbentes. Además, hacen énfasis en la necesidad de integrar la gestión del ruido en políticas públicas y en la infraestructura de espacios sensibles, como escuelas y áreas residenciales.

3.2. Fundamentos teóricos

3.2.1 Contaminación acústica

3.2.1.1 Ruido

El ruido es la transmisión de una energía vibratoria de sonidos no deseados, que son provocados por actividades humanas, por la industria, transportes y actividades recreativas, estos son considerados perjudiciales para la salud y la calidad de vida. Las exposiciones a niveles muy elevados de ruido pueden causar sordera, daño temporal o permanente en el oído, adicionalmente se desarrollan problemas médicos como hipertensión, enfermedades cardíacas, pérdida de la memoria, insomnio, fatiga, entre otras (*Environmental Noise*, 2011).

3.2.1.2 Tipos de Ruido

- Ruido continuo: Es aquel que se mantiene estable o con fluctuaciones mínimas a lo largo del tiempo, este es generado por el trabajo ininterrumpido de maquinarias (utzong, 2021).
- Ruido intermitente: A diferencia del ruido continuo es variable o intermitente en una mezcla de periodos ruidosos o tranquilos, tienen a aumentar y disminuir rápidamente, estos se desarrollan por diferentes operaciones o fuentes de ruido que pueden hacer que el sonido cambie con el tiempo (utzong, 2021).
- Ruido impulsivo: También conocido como ruido de impacto, es una emisión sonora que se caracteriza por su aparición repentina de corta duración (menor a un segundo) y de alta intensidad con rápida variación en la presión acústica. Se diferencia de los otros por su carácter transitorio y la capacidad de generar molestas y daño auditivo, es

proveniente de fuentes industriales o urbanas como golpes de maquinaria, explosiones, impactos metálicos, entre otros (utzong, 2021).

- Ruido de baja frecuencia: Tiene ondas sonoras largas con alta capacidad de penetración en estructuras y ambientes cerrados y de percepción atenuada por el oído humano, es difícil de detectar, pero es potencialmente perjudicial para la salud. A pesar de que su nivel en decibeles (< 20 Hz) puede no ser alto su persistencia y capacidad de generar vibraciones lo convierten en un contaminante de relevancia (utzong, 2021).

3.2.1.3 Fuentes emisoras del ruido

- Fuentes fijas: Emiten sonido desde una ubicación permanente o que no cambia en el tiempo. Están ancladas a un punto físico específico y su emisión es continuo o intermitente. Son relevantes en entornos urbanos e industriales («Análisis ambientales de fuentes fijas de emisiones», 2019).
- Fuentes móviles: Estas fuentes cambian de posición con el tiempo, estas se desplazan junto a su emisora, son relevantes en zonas urbanas y vías de transporte («Análisis ambientales de fuentes fijas de emisiones», 2019).

3.2.1.4 Niveles de ruido y la respuesta humana

La OMS reconoce al ruido ambiental como un riesgo importante para la salud pública. Por ende, recomienda no superar los 53 dB(A) durante el día y los 45 dB(A) por las noches en zonas residenciales para prevenir daños en la salud auditiva y fisiológica (*La OMS publica una nueva norma para hacer frente a la creciente amenaza de la pérdida de audición*, 2022)

Según *Noise Pollution Clearinghouse*, la tabla de decibeles (dB) a continuación compara algunos sonidos comunes y muestra cómo se clasifican desde el punto de vista del daño potencial para la audición (*Federico Miyara*, 2018)

Tabla 1 Niveles sonoros y respuesta humana

Niveles Sonoros y Respuesta Humana		
Sonidos característicos	Nivel de presión sonora (dB)	Efecto
Zona de lanzamiento de cohetes	180	Pérdida auditiva
Operación en pistas jets Sirena antiaérea	140	Dolorosamente fuerte
Trueno	130	
Despegue de jets (60m) Bocina de auto (1m)	120	Máximo esfuerzo vocal
Martillo neumático Concierto de rock	110	Extremadamente fuerte
Camión recolector Petardos	100	Muy fuerte
Camión pesado (15 m) Transito Urbano	90	Muy molesto Daño auditivo (8Hrs)
Reloj despertador (0,5m) Secador de cabello	80	Molesto
Restaurante ruidoso Tránsito de autopista Oficina de negocios	70	Difícil el uso del teléfono
Aire acondicionado, Conversación normal	60	Intrusivo
Tránsito vehicular livianos (30m)	50	Silencio
Living, Dormitorio, Oficina tranquila	40	
Biblioteca, Susurro a 5m	30	Muy Silencioso

Fuente: (*Biblioteca NPC: Manual de efectos de ruido*, 2022)

3.2.2 Generalidades acústicas

3.2.2.1 Definiciones Generales

- **Sonido:** Vibración que se propaga en un medio elástico. Para que este se produzca se requiere de la existencia de un cuerpo vibrante (foco) y medio elástico que transmita vibraciones (Características del sonido: Intensidad, tono, timbre y duración, s. f.).
- **Ondas Longitudinales:** Ondas que las partículas del medio vibran de un lado a otro en una misma dirección en la que se mueve la onda (saminef, 2020).
- **Ondas Transversales:** Ondas en las que las partículas del medio vibran de arriba hacia abajo (en ángulo recto) en dirección a la que se mueve la onda (saminef, 2020).
- **Amplitud de Onda:** Es la distancia entre el eje horizontal y el punto más alto de la onda o el punto más bajo de la depresión de la onda.
- **Longitud de Onda (λ):** Depende directamente de la frecuencia, es la distancia física entre dos puntos a partir de los cuales la onda se repite (Longitud de Onda y Frecuencia | Decodifica Imágenes enviadas desde la ISS, s. f.)

$$\lambda = \frac{V}{f} \quad (1)$$

V: velocidad

f: frecuencia

- **Frecuencia:** Es el número de veces en el que se repite una onda en determinado tiempo.

$$f = \frac{1}{T} \quad (2)$$

T: periodo

- Velocidad de propagación: La velocidad con que se transmite el sonido depende principalmente de la elasticidad del medio en que se transmite (AISTEC, 2013).

$$v = \sqrt{\frac{\beta \text{ (Pa)}}{\rho \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)}} \quad (3)$$

β : Modulo de elasticidad

ρ : densidad del medio

- Niveles de presión acústica: Presión que genera la onda sonora. El nivel de presión sonora de los sonidos audibles varía entre 0 dB y 120 dB. Los sonidos mayores de 120 dB pueden causar daños auditivos inmediatos e irreversibles (NIVELES SONOROS, s. f.). Se expresan como magnitud logarítmica que se define internacionalmente como:

$$L = 10 \log \left(\frac{p}{p_0} \right)^2 \text{ [dB]} \quad (4)$$

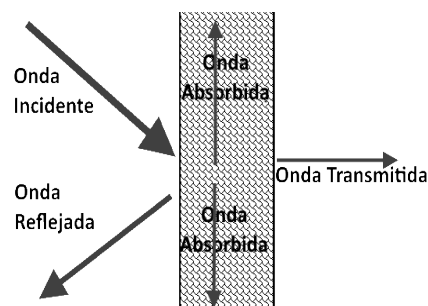
p : presión sonora en un punto

p_0 : presión sonora referencial (20 μ Pa)

3.2.2.2 Fenómenos que intervienen en la propagación del sonido

- Absorción: Ocurre cuando la onda sonora incide sobre una superficie y parte de su energía se refleja, y la otra fracción es absorbida por un nuevo medio. La absorción es un factor determinante en la atenuación del sonido (admin, 2023).

Ilustración 1 Acción y efecto de absorber la energía de un campo acústico.



Nota. Tomada de La revista universo del sonido por (Fenómenos – Universo del Sonido, 2022).

Fuente: <https://www.universodelsonido.cl/el-sonido/fenomenos/>

$$\alpha = 1 - \left| \frac{P_r}{P_i} \right|^2 \quad (5)$$

Pr: presión de onda reflejada

Pi: presión onda incidente

- Transmisión: Es la propagación de ondas de un espacio a otro por medio de elementos de construcción (paredes, pisos, techos, puertas y ventanas), se da cuando la energía del sonido se trasmite por una estructura física, esto permite que el sonido se escuche en otras habitaciones o áreas adyacentes (Ervine, 2023).

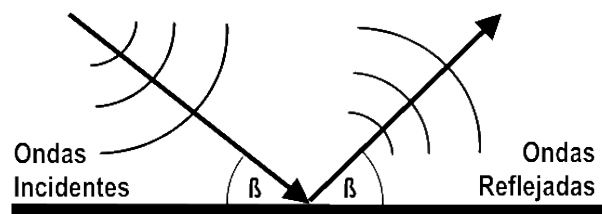
$$T(f): 20 \log_{10} \left(\frac{P_1}{P_2} \right) \quad (6)$$

P1: presión acústica antes del panel

P2: presión acústica con el panel

- Reflexión: Fenómeno en el que la onda acústica es devuelta por una superficie de separación entre dos medios, con un ángulo de reflexión igual al ángulo de incidencia.

Ilustración 2 Reflexión acústica



Nota. Tomada de La revista Universo del sonido por (Fenómenos – Universo del Sonido, 2022).

Fuente: <https://www.universodelsonido.cl/el-sonido/fenomenos/>

- Tiempo de Reverberación (T60): Es tiempo necesario para que la intensidad de un sonido disminuya a la millonésima parte de su valor

inicial o, lo que es lo mismo, que el nivel de intensidad acústica disminuya 60 decibelios por debajo del valor inicial del sonido (Tiempo de reverberación, s. f.). La fórmula de Sabine, se basa en el principio de un campo sonoro difuso y evalúa el tiempo de reverberación, usando la siguiente fórmula (admin, 2021).

$$T_{60} = 0.161 \left(\frac{V (m^3)}{A (m^2)} \right) \quad (7)$$

V: volumen de la habitación

A: área de absorción

3.2.3 Resistencia de materiales

3.2.3.1 Ensayo de flexión

- Fuerza máxima ($F_{\text{máx}}$): Es la carga máxima que un material llega a soportar antes del fallo por flexión. La fuerza puede generar fractura o deformación permanente (Flexural Modulus: Definition, Calculation, and Importance | Xometry, 2025).

$$F_{\text{máx}} = \text{máx}(F) \quad (8)$$

- Esfuerzo de flexión máximo (σ_f): Se genera cuando un objeto se dobla y las fibras en la parte superior se estiran (esfuerzo por tracción) y las fibras interiores se comprimen (esfuerzo por compresión) (Flexural Modulus: Definition, Calculation, and Importance | Xometry, 2025).

$$\sigma_f = \frac{3FL}{2bd^2} \text{ (MPa)} \quad (9)$$

F: Fuerza máxima aplicada (N)

L: luz del vano (mm)

b: ancho de la probeta (mm)

d: espesor de la probeta (mm)

- Pendiente en zona elástica (m): También conocida como el módulo de Young mide la rigidez del material y su resistencia a la deformación. En la curva de esfuerzo-deformación de un material (Flexural Modulus: Definition, Calculation, and Importance | Xometry, 2025).

$$m = \frac{\Delta F}{\Delta D} \left(\frac{N}{mm} \right) \quad (10)$$

ΔF : Incremento de la fuerza (N)

ΔD : Incremento del desplazamiento (mm)

- Módulo de elasticidad en flexión (E_f): Este se determina a partir de la pendiente de la curva de esfuerzo deformación en la zona elástica durante una prueba de flexión (Flexural Modulus: Definition, Calculation, and Importance | Xometry, 2025).

$$E_f = \frac{L^3 m}{4bd^3} \text{ (MPa)} \quad (11)$$

L: luz del vano (mm)

m: pendiente de la zona elástica (N/mm)

b: ancho de la probeta (mm)

d: espesor de la probeta (mm)

3.2.3.2 Ensayo de tracción

- Tensión (σ): Representa el esfuerzo que experimenta el material bajo tracción. Tiene como objetivo determinar la resistencia de ruptura (Sistemas, 2025).

$$\sigma = \frac{F}{A} \left(\frac{N}{mm^2} \right) \quad (12)$$

F: fuerza máxima aplicada (N)

A: área de la sección transversal de la probeta (mm²)

$$A = 12.7 \text{ mm} \times 3 \text{ mm} = 38.1 \text{ mm}^2 \quad (13)$$

- Deformación unitaria (ϵ): Permite encontrar la cantidad de estiramiento o alargamiento a la que es sometida la muestra durante la prueba de tracción. La deformación ingeniera representa el cambio de longitud y la longitud original (admin, 2024)

$$\epsilon = \frac{L - L_0}{L_0} = \frac{\Delta L}{L_0} \quad (14)$$

ΔL : Alargamiento absoluto

L_0 : Longitud inicial

- Módulo de elasticidad (E): Es una medida de la rigidez del material en el que solo se aplica en la región lineal inicial de la curva. Dentro esta región la carga de tracción puede retirarse de la muestra y el material puede volver al estado original.

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \text{ (MPa)} \quad (15)$$

σ : Tensión máxima

ϵ : deformación unitaria

3.2.4.3 Análisis bioestadístico

Bioestadística como herramienta de análisis científico

La bioestadística aplica principios estadísticos a fenómenos biológicos, médicos, ambientales y ciencias aplicadas, incluyendo áreas como la acústica ambiental y experimental. Tiene como objetivo organizar, describir, analizar e interpretar datos cuantitativos con el fin de extraer conclusiones objetivas y confiables sobre el comportamiento de las variables medidas. Está enfocado en:

- Describir distribuciones de datos

Media: El valor medio o valor central, representa al promedio de un conjunto de datos.

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (16)$$

Siendo $(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$ el conjunto de datos

n: el total de valores a evaluar

Desviación Estándar: Indica la dispersión de los datos, resultado elevado indica que los valores se encuentran muy dispersos, un valor pequeño es indicador de que los datos agrupados se encuentran cerca de la media.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}} \quad (17)$$

x_i : número i de la variable x

\bar{x} : media de la variable x

n: número de observaciones

Coeficiente de variación: Es útil para comparar la variabilidad de diferentes conjuntos de datos, especialmente cuando hay diferentes medidas. Cuando el resultado es menor indica que hay mayor precisión y confiabilidad de datos.

$$CV = \frac{\sigma}{\bar{x}} \times 100 \quad (18)$$

- Determinar grado de variabilidad (intervalos de confianza)

Confiabilidad: Es la consistencia y estabilidad de las mediciones.

Esta asegura que los resultados obtenidos sean válidos.

$$\text{Confiabilidad (\%)} = 100 - CV \quad (19)$$

Margen de error: Indica la posible diferencia entre los resultados de una muestra y la realidad de la población.

$$\text{Margen de error (\%)} = \left| \frac{\text{valor obtenido} - \text{valor normativo}}{\text{valor normativo}} \right| \times 100 \quad (20)$$

- Evaluar hipótesis estadísticas

ANOVA (Análisis de Varianza): Se presenta en normalidad de datos, homogeneidad de varianzas (igualdad entre grupos) y observaciones independientes. Esta se usa para comparar medidas de varios grupos cuando se cumple el supuesto de normalidad y homogeneidad. ANOVA unidireccional (una variable dependiente), ANOVA bidireccional (dos o varias variables dependientes) (Mishra et al., 2019).

ANOVA de Welch: No necesita de homogeneidad en las varianzas, se usa cuando hay sospecha de que las varianzas entre grupos sean diferentes pero se puede asumir normalidad en los datos (Mishra et al., 2019).

Kruskall-Wallis: Es un estudio no paramétrico, por lo que no se asume normalidad ni homogeneidad en las varianzas. Es usada cuando los supuestos de normalidad de ANOVA no se cumplen o se trabaje con datos ordinales (Mishra et al., 2019).

SPSS (Statistical Package for the Social Sciences)

Software estadístico usado para analizar datos y obtener resultados estadísticos, las funciones que se destacan en investigación experimental son (IBM SPSS Statistics Base 19, 2020):

- Análisis descriptivo: evalúa las medidas de tendencia central, dispersión, forma y outliers (Bioestadística Amigable, 2018).
- Pruebas de normalidad: Shapiro-Wilk, Kolmogorov-Smirnov, metodología, curtosis, histograma, diagrama de la caja, diagrama P-P, diagrama P-P, el diagrama Q-Q y la media con DE. Son métodos que se usan para el evaluar la normalidad (Mishra et al., 2019). Kolmogorov-Smirnov se usa normalmente en pruebas ($n > 50$) y Shapiro-Wilk pruebas ($n < 50$). Estas ayudan a determinar si los datos se ajustan a la distribución normal (Mishra et al., 2019).
- Intervalos de confianza (IC): Es el rango de valores que se calcula a partir de datos obtenido de muestras y se usa para estimar el

valor real de un parámetro poblacional (Bioestadística Amigable, 2018)

- Pruebas paramétricas: Pruebas basadas en supuestos sobre distribución de datos, asumiendo que los datos siguen una distribución normal (Prueba T, ANOVA, Regresión lineal) (Bioestadística Amigable, 2018).
- Visualización de datos: Este punto es crucial para ser interpretado, identificar patrones, detectar valores atípicos y describir los resultados gráficos (grafico de barras, diagrama de dispersión, diagrama de caja e histogramas)(Bioestadística Amigable, 2018).

3.2.4 Materiales fonoabsorbentes

3.2.4.1 Obtención del caucho del caucho de llanta

- Recolección y preparación de materia prima
 - Recolección de neumáticos usados procedentes preferiblemente de neumáticos usados de fácil adquisición.
 - Limpieza y desinfección para eliminar residuos y suciedad.
 - Destalonado (eliminar los aros de metal de los neumáticos)
- Procesamiento de materia prima
 - Trituración y granulado: En este punto se tritura mecánicamente para obtener granulados de caucho de diferentes tamaños, en el caso del caucho del panel se requieren partículas de entre 2-4mm, se realizaron 3 trituraciones y 4 tamizajes para obtener las partículas deseadas. (Basándonos en que existe mejor absorción acústica en losetas con este tamaño de partículas)
 - Mezclado con aditivos: El granulado obtenido anteriormente se mezcla con resinas, pigmentos y aditivos para la formación de losetas de caucho. Se busca obtener un combinado con durabilidad, resistencia y elasticidad.
 - Moldeado y Vulcanización: El preparado de granulado y mezcla se coloca en moldes para los acabados finales.

Ilustración 3 Proceso grafico de la obtención del caucho de llanta



Elaborado: Autor

3.2.4.2 Generalidades del caucho de llanta

El caucho granular se obtiene por trituración del caucho procedente del neumático de desecho y luego de eliminar la parte metal y textil. Los procesos de troceado y granulado permiten contar con diversas granulometrías de acuerdo con el uso posterior al que se destine el producto para: pistas deportivas, pavimentos, aditivos para asfaltos, calzado y como material absorbente acústico (Rodríguez Montejano, 2003).

- Propiedades acústicas

El caucho ofrece una solución muy eficiente, además de ser un excelente aislante de ruidos y sonido, se puede adquirir en panes de caucho aislantes del sonido que son más fáciles de colocar y manipular. Tiene alta capacidad de absorción acústica debido a su estructura celular y flexibilidad, esto permite que el material absorba y disipe eficazmente

las ondas sonoras, reduciendo significativamente el ruido (Junta23, 2024).

- **Propiedades físicas y mecánicas**

El caucho es un material aislante que inhibe la conducción de cargas eléctricas, evitando el flujo libre de electrones. Las propiedades de resistencia del caucho, o convierte en aislante ideal tanto térmico como acústico, de este modo nos ofrece (Aislamiento térmico y acústico de caucho, 2024)

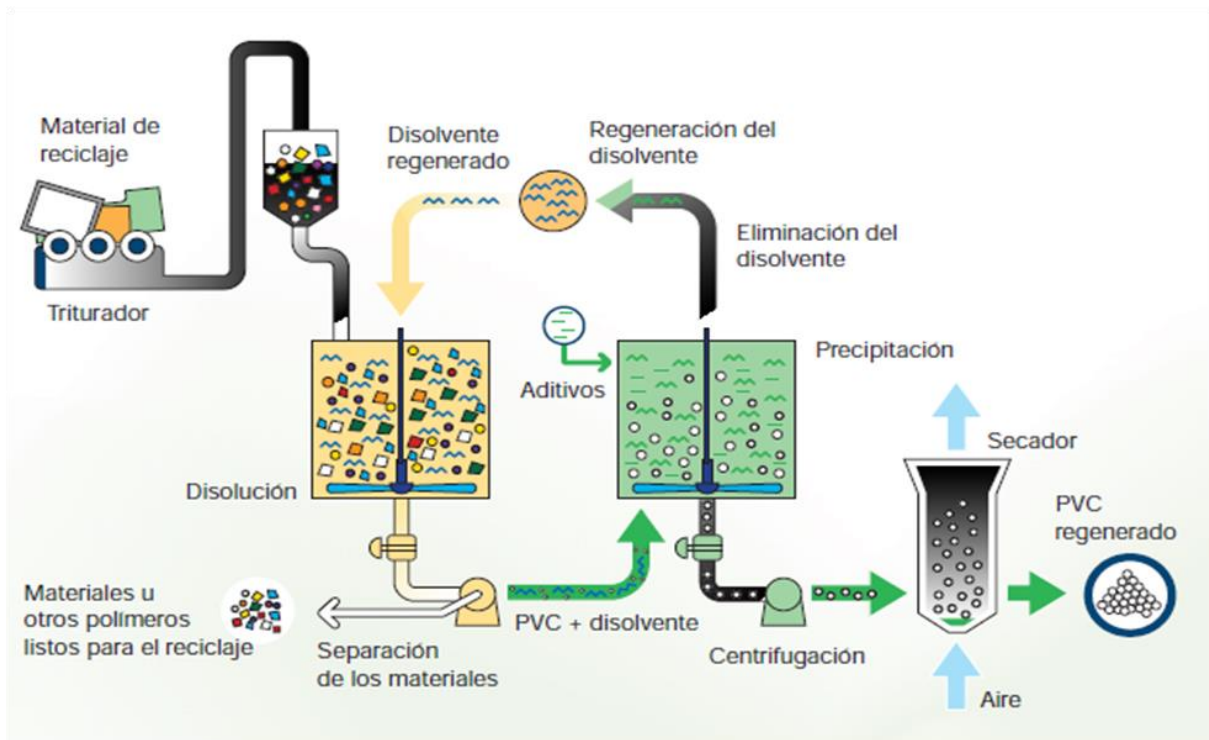
- **Impacto ambiental**

Las llantas desechadas liberan productos químicos tóxicos y gases dañinos al medio ambiente a medida que se descomponen. Estos contaminantes pueden afectar la calidad del aire y del agua, así como los ecosistemas circundantes. Además, el proceso de fabricación de llantas consume recursos naturales valiosos y energía, lo que amplifica aún más su huella ambiental (MKT, 2023).

3.2.4.3 Obtención del PVC

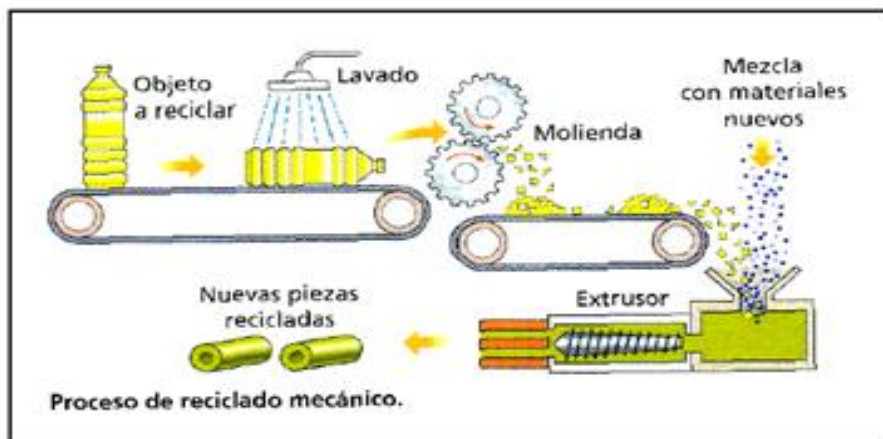
Para el presente proyecto se buscó una importadora de este material que trabaje con material reciclado en sus elaboraciones, debido al que el proceso de este material es de mucho más trabajo debido a procesos químicos. A continuación, se presenta el proceso esquemático de la preparación.

Ilustración 4 Flujo de proceso de PVC (Reciclado químico)



Fuente: (pegatilandia, 2013)

Ilustración 5 Flujo de procesos de obtención de PVC (Proceso Mecánico)



Fuente: («Tratamiento», 2014)

3.2.4.4 Generalidades del PVC

El Policloruro de vinilo también conocido como PVC es la combinación química de carbono, hidrogeno y cloro. Un polímero que se obtiene del petróleo bruto (43%) y sal (57%). Este plástico es de menor dependencia al petróleo, solo un 4% del consumo

total de este recurso no renovable se usa para la fabricación de materiales plásticos y de ellos una octava parte corresponde al PVC (Aapvc, 2022).

El PVC es un material versátil y de uso extendido, se usa en múltiples actividades, debido a que se trata de un material ligero, económico, reciclado, ignífugo, no degradable, químicamente resistente y de fácil transporte. Cuenta con propiedades de aislamiento térmico y acústico (Becosan, 2022).

- Propiedades acústicas

El PVC se considera una excelente opción para el aislamiento acústico, debido a su estructura multicapa, que le permite absorber las ondas sonoras y reducir su transmisión al interior de las construcciones. A diferencia de otros materiales, el PVC tiene una densidad que favorece la reducción del ruido exterior y ofrece en equilibrio óptimo entre aislamiento térmico y acústico (Glosojor, 2024)

- Propiedades físicas y mecánicas

- Baja conductividad térmica: Por su baja conductividad térmica, ayuda a mantener la temperatura en espacios interiores (Vivienda Saludable, 2011).
- Resistencia a la intemperie y durabilidad: Puede soportar condiciones climáticas sin degradarse (Vivienda Saludable, 2011).
- Resistencia mecánica y de impacto: junto con una elevada resistencia a la abrasión que lo hace ideal para la edificación y construcción, alcanzando una larga vida útil (Vivienda Saludable, 2011).

- Impacto ambiental

Las fábricas de ventanas de PVC están más comprometidas en mejorar las tasas de reciclaje, implementando procesos que facilitan la recuperación del material al final de su vida útil. Así que, aunque la producción inicial puede tener un impacto ambiental significativo, los avances en reciclaje y reutilización están ayudando a mitigar estos efectos. Al elegir productos fabricados con este material, es importante considerar tanto los beneficios en términos de eficiencia y durabilidad como los esfuerzos en sostenibilidad para asegurar que el impacto general sea positivo (AGS, 2024).

3.2.5 Diseño geométrico del panel

El diseño geométrico de los discos atenuadores se fundamenta en maximizar el coeficiente de absorción acústica y minimizar la reflexión y la transmisión del sonido. Para ello, se parte de la elección de un radio óptimo que permita una interacción eficiente con la onda incidente.

La experiencia empírica y la teoría del comportamiento ondulatorio en medios porosos sugieren que el radio óptimo r debe ser proporcional a la longitud de onda predominante λ del sonido que se desea atenuar. El valor más eficaz para la absorción es:

$$r = \frac{\lambda}{4} \quad (21)$$

r : radio

λ : absorción acústica

Este valor se justifica en la analogía con los tubos de resonancia cerrados, en los cuales se genera un máximo de velocidad de partícula y por ende máxima disipación energética a un cuarto de longitud de onda desde el borde.

Número óptimo de discos sobre un área determinada

Considerando una superficie de área A_{panel} , y deseando cubrir el 50 % de esta con discos de radio r , el número óptimo de discos N se calcula como:

$$N = \frac{0.5 \times A \text{ (área del panel)}}{\pi r^2} = \frac{8 \times A \text{ (área del panel)}}{\pi \lambda^2} \quad (22)$$

Esta fórmula integra tanto las necesidades de cobertura del panel como la interacción acústica óptima de cada disco con la longitud de onda predominante del sonido.

3.2.6 Medición de ruido

3.2.6.1 Instrumentos para la medición del ruido

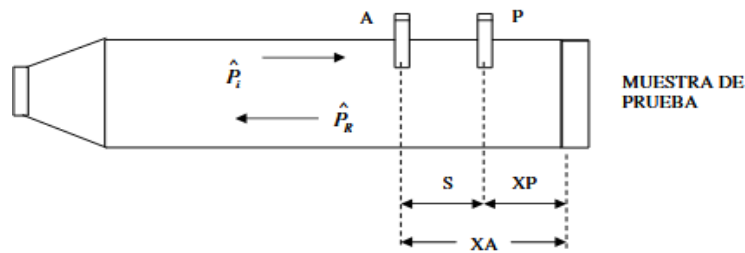
- **Sonómetro:** Es un instrumento portátil, diseñado para medir niveles de presión sonora en dB procedentes de distintas fuentes de sonido. Los componentes del sonómetro son (Salazar, 2023):
 - **Micrófono:** Es el sensor principal, se encarga de convertir las variaciones de presión sonora en señales eléctricas (Salazar, 2023).
 - **Amplificador:** Esta toma la señal eléctrica débil del micrófono u la amplifica sin distorsión. Está diseñada para minimizar al ruido interno y mantener una alta relación entre la señal/ruido (Salazar, 2023).

- Filtros de frecuencia: Realiza las correcciones a la respuesta en frecuencia para la percepción del oído humano. Los más comunes son; Ponderación A (dBA) este se ajusta a la sensibilidad del humano y es el más usado en las normas ambientales, Ponderación C (dBC) usado en sonidos de alta intensidad (Salazar, 2023).
- Detector de la señal (convertidor): Calcula el valor RMS de la señal en representación a la energía real contenida en el sonido. Las ponderaciones temporales; Fast (F) es el tiempo de integración de 125 ms (sonidos rápidos), Slow (S) se toman en 1 segundo para fluctuaciones lentas e Impulse (I) se usa para sonidos de corta duración, pero de alta energía (Salazar, 2023).
- Indicador: Son los que muestran los resultados de medición, estos pueden almacenarse o transmitirse para un análisis externo (Salazar, 2023).

3.2.6.2 Medición del tubo de impedancia

Este método es una técnica que se usa para medir el rendimiento de la absorción de sonido de los materiales acústicos, basándose en las especificaciones estándar de la ISO 10534-2. En la práctica, se coloca la muestra a un extremo de un tubo circular recto y al otro extremo se monta la fuente de sonido (altavoz) (Tubo de impedancia: una visión general de la historia. Temas ScienceDirect, 2020).

Ilustración 6 Tubo de impedancia con dos posiciones de micrófonos



Fuente: (Bernini et al., 2022)

3.2.6.3 REW Aplicación de emisión de sonido y medición de presión sonora

Es un software diseñado para analizar y ecualizar la acústica de una habitación. Se basa en el cálculo de ecualización/filtro e incorporaciones útiles como una calculadora de parámetros Thiele-Small (TSP), análisis de la Transformada Rápida de Fourier (FFT) en tiempo real, un generador de señales versátil, una calculadora de sala de modo medida, una herramienta de SPL y una herramienta captura de mediciones (Room EQ Wizard (REW) - Looking Back on Audio Measurement Software History, 2025).

3.3. Marco legal

3.3.1 Normativa Nacional (INEN 2391-2011)

Es parte del Sistema Nacional de Normalización Técnica de cumplimiento obligatorio, siendo base de las elaboraciones de ordenanzas municipales. Esta establece límites permisibles de la presión en distintas zonas, con la finalidad de asegurar una buena calidad de vida y prevenir la contaminación acústica. Tiene como Objetivo “Describir métodos y procedimientos para la determinación de niveles de ruido, establecer niveles permisibles de ruido en el ambiente y al interior proveniente de fuentes fijas, límites permisibles de emisiones de ruido desde vehículos y objetivos para

la calidad acústica para el ruido ambiental (NORMA CONTAMINACIÓN ACÚSTICA, 2020)”.

Esta norma articula instrumentos técnicos como:

- Norma sobre medición de ruido (INEN-ISO 1996): Define las magnitudes que se usan para la descripción de ruidos comunitarios y describe los procedimientos que se deben llevar a cabo para su medición, especifica los métodos de evaluación, directrices para predecir la respuesta potencial a molestias de una comunidad expuesta a distintos ruidos medioambientales a largo plazo, por ende, establece factores de corrección para ruidos con características diferentes (UNEISO, 2020).
- INEN 2391:2011: Plantea los valores máximos de presión sonora que pueden generarse en diferentes espacios durante el día y la noche, con el fin de proteger la salud humana y disminuir el impacto de ruido a nivel ambiental. Esta norma se aplica para evaluar el cumplimiento de los niveles de ruido en zonas urbanas y rurales, se deben realizar las mediciones con equipos técnicos certificados y bajo los criterios estandarizados. Esta norma se complementa con la INEN-ISO 1996 (TULSMA, 2019).

Tabla 2 Límites máximos de ruido permisibles según el uso del suelo

Tipo de zona según uso de suelo	Límites de presión sonora equivalente NPS eq [dB(A)]	
	De 06H00 a 20H00	De 20H00 a 06H00
Zona hospitalaria y educativa	55	45
Zona Residencial	60	50
Zona Residencial mixta	65	55
Zona Comercial	65	55
Zona Comercial	70	60

Mixta		
Zona Industrial	75	65
Zonas de preservación de habitad	60	50

Fuente: (Norma Técnica, 2020)

Estos valores sirven como respaldo legal a las acciones que tomen las autoridades al identificar el problema.

3.3.2 Control local (Cuenca)

En Cuenca el control local de la contaminación acústica se rige bajo, la Ley de Gestión Ambiental y la Norma INEN 2391. Lo que permite establecer límites de emisiones sonoras, procedimientos de fiscalización y sanciones, con el fin de proteger la calidad de vida de los moradores del cantón.

Normativa Municipal (Ordenanza que Regula la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental en el Cantón Cuenca-2017): Establecida por el Municipio de Cuenca, en la que señala puntos específicos para controlar la contaminación ambiental incluyendo al ruido ambiental como contaminación sujeta a sanción, las principales Disposiciones de la Normativa Capítulo III son (*Ordenanza de Control de la Contaminación Ambiental Originada por la Emisión de Ruido proveniente de Fuentes fijas y móviles.* / GAD Municipal de Cuenca, 2023):

Art 20. Define a la contaminación acústica como “Toda emisión sonora que exceda los límites permisibles establecidos por las normativas nacionales o internacionales”

Art 21. Establece las mediciones del ruido, equipos certificados y personal capacitado para evaluar los niveles de Presión sonora según la fuente de transmisión.

Art 23. Autoriza a la Dirección de Gestión Ambiental del municipio ejercer control y emitir sanciones en caso de infracciones.

Art 25. Refleja las sanciones económicas y posibles cierres temporales o definitivos a establecimientos o actividades que infrinjan los niveles establecidos.

3.4. Normativa Internacional

Norma	Lím. Diurno sugerido (dB)	Lim. Nocturno sugerido (dB)
OMS (2018)	53 (tráfico)	45
EPA (EE.UU)	55	45
Banco Municipal IFC	55	45
Unión Europea (Directiva)	Según zona de estudio	Según zona de estudio

Elaborado: Autor

Las normativas coinciden que la exposición prolongada a niveles superiores a 55 dB, producen daños significativos a la salud humana y bienestar. Estas se usan como bases técnicas en varios países, con el fin de elaborar medidas de control y regulación

4. MATERIALES Y MÉTODOS (METODOLOGÍA)

4.1. Tipo de investigación

Este estudio es una investigación de tipo aplicada y experimental, debido al diseño y construcción de un panel acústico mediante materiales reciclados (PVC y caucho de llanta), con la finalidad de evaluar su capacidad de absorción y aislamiento acústico, mediante pruebas acústicas y mecánicas bajo condiciones controladas, esto permitió la obtención de resultados cuantificables y aplicables a contextos reales de mitigación de ruido ambiental.

4.2. Enfoque de la investigación

La investigación tiene enfoque cuantitativo, se caracteriza por la recolección y análisis de datos numéricos y medibles con el fin de establecer relaciones objetivas entre las variables de estudio. Este enfoque permite validar la hipótesis mediante procedimientos estadísticos y experimentales. Es ideal para la investigación, dada la naturaleza del problema se requieren mediciones precisas de variables físicas y experimentales.

4.3. Población, muestra y muestreo

4.3.1 Población

La población de estudio, estuvo conformada por materiales alternativos de origen polimérico o reciclado con potencial aplicación en paneles acústicos, enfocados en los grupos: Tipos de caucho (caucho reciclado, caucho natural, caucho de nitrilo, EPDM, etc) y tipos de PVC (espumado, expandido, SINTRA) estos materiales fueron

usados en estudios previos por sus propiedades fonoabsorbentes, durabilidad y de fácil adquisición. El caucho de llanta reciclado y PVC Sintra fueron considerados por presentar características potenciales de absorción, disponibilidad local y versatilidad, en la fabricación de soluciones acústicas.

Materia	Tipo	Coef. de Absorción acústica (500Hz)	Densidad (kg/m ³)	Dureza (Shore A)
Caucho natural	Polímero natural	0.20 – 0.30	920 - 980	40 - 50
Caucho reciclado (llanta)	Caucho SBR + rellenos	0.45 – 0.60	1100 - 1200	60 – 70
EPDM	Caucho sintético	0.30 – 0.50	1300	60 – 80
PVC rígido	Polímero termoplástico	0.03 – 0.07	300 - 600	80 – 90
PVC expandido (espumado)	PVC celular	0.15 – 0.25	300 - 600	25 – 35
PVC Sintra	PVC espumado estructural	0.30 – 0.35	500 - 700	30 - 40

Fuente: (Fadul, 2023; Mexpolimeros, s. f.; UrzuaRangel et al., 2025)

Nota: Se presenta el coeficiente de absorción acústica a 500 Hz de los materiales empleados. El coeficiente de fonoabsorción es una característica de cualquier superficie y, en general, está indicado en las tablas de materiales de construcción o en los certificados de los materiales utilizados para el revestimiento de la habitación (admin, 2021).

4.3.2 Muestra

Las muestras constituyeron en 4 unidades físicas de paneles acústicos elaborados 50% PVC y 50% Caucho de llanta con dimensiones estándar de 35 x 35 cm, este diseño se seleccionó con base a criterios de disponibilidad, fácil adquisición y elaboración, evaluando propiedades acústicas, mecánicas y el costo-beneficio de su construcción.

4.3.3 Muestreo

Muestreo de tipo no probabilístico, debido a que la selección de materiales y del prototipo de materiales se seleccionaron bajo criterios técnicos, económicos y de viabilidad experimental. Es decir que se escogió un diseño que cumpliera con los objetivos de la investigación y permitiera la ejecución de pruebas acústicas y mecánicas bajo normativas técnicas.

4.3.4 Variables dependientes

- Tipo de Caucho
- Tipos de PVC
- Espesor del panel.
- Tracción, compresión, flexión, dureza, dureza portátil para caucho, impacto, torsión.

4.3.5 Variables independientes

- Aislamiento Acústico (dB)
- Propiedades acústicas y mecánicas de los materiales (PVC y caucho)

4.4. Materiales para la atenuación del ruido

Para la selección de los materiales para el diseño y construcción del panel fonoabsorbente, se hizo primero varias investigaciones bibliográficas de materiales que se hayan estudiado y tengan buena absorción y sean de fácil obtención y se optó por usar en conjunto al PVC Sintra y caucho debido a que ambos tenían las características que se buscaban en esta investigación. Luego se experimentó con los materiales para fabricar los prototipos de paneles fonoabsorbentes finales, que permitan reducir la

contaminación acústica en áreas residenciales mixtas. Se debe destacar, que no hay investigaciones previas sobre el uso de estos materiales en conjunto para la elaboración de paneles que permitan la reducción de ruido, lo que le da al estudio un carácter pionero.

4.5. Elaboración de paneles acústicos

Se desarrollaron varias Fases para llegar al diseño final del prototipo de paneles fonoabsorbente, con el fin de encontrar un diseño que cumpla con los objetivos de la investigación.

4.5.1 FASE 1: Pruebas mecánicas del PVC Sintra y caucho de llanta

En esta fase se realizaron ensayos mecánicos, con el objetivo de caracterizar las propiedades físicas y estructurales de los materiales (PVC Sintra y caucho de llanta). Estas pruebas se llevaron a cabo en los laboratorios de la Universidad Politécnica Salesiana, sede Cuenca, bajo condiciones controladas y siguiendo las normativas técnicas específicas para cada prueba y material.

- Pruebas mecánicas del PVC Sintra
 - Ensayo de flexión (Según la norma ASTM D790): Esta prueba se realizó con la ayuda de la máquina universal en condiciones controladas (L: 50.8 proporcional ente 16:1 al espesor de la muestra) y 4 probetas de PVC Sintra (longitud 50.8 mm y ancho de 12.7mm).

Tabla 3 Resultados del ensayo de flexión para PVC Sintra

Probeta	Tiempo (s)	Fuerza Promedio (N)	Fuerza máxima (N)	Deslizamiento (mm)
SIN_1	129.06	21.99	22.18	4.3
SIN_2	168.58	21.65	21.76	5.61
SIN_3	111.28	22.29	22.58	3.7
SIN_4	124.48	22.68	22.9	4.15

Elaborado: Autor

Con los datos obtenidos se evaluarán los parámetros mecánicos

Prueba de confiabilidad del ensayo de flexión

Para evaluar la confiabilidad del ensayo se usaran los datos de la Tabla 3 Resultados del ensayo de flexión para PVC Sintra, y las ecuaciones (16)(17)(18)(19), en los que se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 4 Evaluación estadística de resultados obtenidos

Media (N)	Desviación estándar	Coefficiente de variación (%)	Confiabilidad (%)
22.36	0.495	2.19	97.80%

Elaborado: Autor

Esfuerzo de flexión máximo (σ_f)

De la ecuación (9), reemplazando los valores de las variables (Fuerza máxima, luz del vano, ancho y espesor de la probeta) obtuvimos los siguientes resultados para cada probeta:

Tabla 5 Resultados de Esfuerzo de flexión máxima

Muestra	Esfuerzo máx (σ_f) MPa
SIN_1	14.79
SIN_2	14.51
SIN_3	15.05
SIN_4	15.26

Elaborado: Autor

Pendiente de la zona elástica (m)

De la ecuación (10), se obtuvieron los siguientes resultados para cada muestra:

Tabla 6 Resultados de la Pendiente de la zona elástica (m)

Muestra	Pendiente (m)
SIN_1	5.32
SIN_2	14.00
SIN_3	42.79
SIN_4	24.40

Elaborado: Autor

Módulo de elasticidad en flexión (E_f)

De la ecuación (11) se obtuvieron los siguientes resultados.

Tabla 7 Resultados de módulo de elasticidad flexión máxima

Muestra	Módulo de elasticidad de flexión máx (E_f) MPa
SIN_1	508.03
SIN_2	1337.20
SIN_3	4090.74
SIN_4	2331.56

Elaborado: Autor

Margen de error bajo la norma ASTM 790

Propiedad	Valor de referencia
Módulo de elasticidad de flexión (E_f)	700-900 MPa
Resistencia a la flexión (σ_f)	15-20 MPa
Densidad	0.55-0.70 g/cm ³

Fuente: (3A Composites GmbH, 2018)

- Margen de error del módulo de elasticidad de flexión usando la ecuación (20).

Tabla 8 Margen de error del módulo de elasticidad de flexión

Muestra	Ef (MPa)	Margen de error (%)
SIN_1	508.03	36.5
SIN_2	1337	67
SIN_3	4090.75	411
SIN_4	-2331.56	391

Elaborado: Autor

- Margen de error del esfuerzo máximo (σ_f)

σ_{norma} : 17.5 MPa (valor medio de 15-20)

Tabla 9 Margen de error de la resistencia de flexión

Muestra	σ_f (MPa)	Margen de error (%)
SIN_1	14.79	15.48
SIN_2	14.51	17.08
SIN_3	15.06	13.94
SIN_4	15.27	12.74

Elaborado: Autor

- Ensayo de tracción (Según la norma ASTM D638 para polímeros): En este ensayo se usó el equipo de tracción estandarizado para polímeros, Estos resultados permiten caracterizar el comportamiento del material frente a cargas de tracción. Área de la probeta

Tabla 10 Resultados obtenidos de la prueba de tracción

	Fuerza máx (N)	Tensión máx (N/mm ²)	Desplazamiento máx (mm)	Deformación máx (%)
SIN_1	80.87	2.06	1.54	7.70
SIN_2	88.44	2.15	2.59	12.95
SIN_3	96.05	2.41	2.03	10.17
SIN_4	102.98	2.58	1.96	9.78

Elaborado: Autor

Prueba de confiabilidad del ensayo de tracción

Para evaluar la confiabilidad del ensayo se usarán los datos en Tabla 10

Resultados obtenidos de la prueba de tracción y las ecuaciones

(16)(17)(18)(19)(20).

Tabla 11 Evaluación estadística de resultados obtenidos

Media	Desviación estándar	Coefficiente de variación (%)	Confiabilidad (%)
92.08	9.54	10.36	89.63

Elaborado: Autor

Tensión (σ)

Usando las ecuaciones (12) y (13), obtendremos los siguientes resultados:

Tabla 12 Resultados de tensión

Muestra	Tensión (MPa)
SIN_1	2.122
SIN_2	2.321
SIN_3	2.520
SIN_4	2.702

Elaborado: Autor

Deformación unitaria (ϵ)

Usando la ecuación (14) se obtuvieron los siguientes resultados.

Tabla 13 Resultados de deformación unitaria

Muestra	Deformación unitaria (ppm)
SIN_1	0.076
SIN_2	0.129
SIN_3	0.101
SIN_4	0.097

Elaborado: Autor

Módulo de elasticidad (E)

Reemplazando en la ecuación (15) los valores obtenidos, tenemos como resultado lo siguiente:

Tabla 14 Modulo de elasticidad

Muestra	Deformación unitaria (MPa)
SIN_1	25.714
SIN_2	16.598
SIN_3	23.728
SIN_4	26,331

Elaborado: Autor

Margen de error bajo la norma ASTM D638

Propiedad	Valor de referencia
Resistencia a la tracción (σ)	2.0- 2.6 MPa
Deformación máxima (%)	10-20 %
Módulo de elasticidad	50-100 MPa

Fuente: (3A Composites GmbH, 2018)

- Se evaluó el margen de error del módulo de elasticidad usando la ecuación (20).

V_{norma} : 75 MPa (rango 50-100 MPa) (Valor referencial)

Tabla 15 Margen de error del módulo de elasticidad del PVC Sintra

Muestra	E (MPa)	Margen de error (%)
SIN_1	26.7	64.4
SIN_2	16.6	77.9
SIN_3	23.7	68.4
SIN_4	26.3	64.9

Elaborado: Autor

- Margen de error del esfuerzo máximo elasticidad usando la ecuación (20).

σ norma: 2.3 MPa (rango 2.0-2.6 MPa) (valor referencial)

Tabla 16 Margen de error de resistencia a la tracción

Muestra	E (MPa)	Margen de error (%)
SIN_1	2.05	10.61
SIN_2	2.15	6.51
SIN_3	2.41	4.93
SIN_4	2.57	11.95

Elaborado: Autor

Ensayo de dureza (Según la norma ASTM D2240 escala shore D): En este ensayo se usó el durómetro estandarizado, este aplica una fuerza controlada que mide la profundidad de incidencia y la convierte en valor de dureza.

Tabla 17 Resultados obtenidos de la prueba de dureza

Muestra	Dureza 1 (Shore A)	Dureza 2 (Shore A)	Dureza 3 (Shore A)	Dureza 4 (Shore A)	Dureza 5 (Shore A)	Dureza Prom (Shore A)
SIN_1	23.00	22.00	22.00	20.00	22.00	21.80
SIN_2	22.00	21.00	22.00	22.00	24.00	22.20
SIN_3	21.00	20.00	20.00	19.00	18.00	19.60
SIN_4	23.00	23.00	24.00	24.00	22.00	23.20

Elaborado: Autor

Tabla 18 Evaluación estadística de resultados obtenidos

Media	Desviación estándar	Coficiente de variación (%)	Confiability (%)
21.8	0.97	4.49	95.50
22.2	0.97	4.41	95.58
19.6	1.01	5.20	94.79
23.2	0.74	3.22	96.77

Elaborado: Autor

Margen de error de la prueba de dureza según la norma ASTM D2240 escala shore A

$D_{norma}: 22 (\pm 2)$ (valor referencial)

Tabla 19 Margen de error del ensayo de dureza

Muestra	Dureza promedio (Shore A)	Margen de error (%)
SIN_1	21.8	0.91
SIN_2	22.2	0.91
SIN_3	19.6	10.91
SIN_4	23.2	5.45

Elaborado: Autor

Ensayo de impacto (Según la norma ASTM D256): Este ensayo de Impacto de Charpy es un método que mide la energía que se absorbe al generar un impacto.

Tabla 20 Resultados obtenidos de la prueba de Impacto

Muestra	Energía (J)	Angulo	R. Impacto (J)
SIN_1	0.80	155.80	1.60
SIN_2	0.80	155.80	1.60
SIN_3	0.80	155.80	1.60
SIN_4	0.80	155.80	1.60

Elaborado: Autor

Margen de error del ensayo de impacto por método charpy

Rnorma: 4.0 J (valor referencial)

Tabla 21 Margen de error del ensayo de Impacto

Impacto promedio (J)	Margen de error (%)
1.6	60

Elaborado: Autor

- PRUEBAS MECÁNICAS DEL CAUCHO
 - Ensayo de dureza (Según la norma ASTM D2240 escala shore A): Este ensayo tiene como finalidad medir la resistencia de materiales blandos,

se emplea un durómetro que aplica una carga específica sobre la masa midiendo la profundidad para identificar la dureza shore.

Tabla 22 Resultados obtenidos de la prueba de dureza shore A

Muestra	Dureza 1 (Shore A)	Dureza 2 (Shore A)	Dureza 3 (Shore A)	Dureza 4 (Shore A)	Dureza 5 (Shore A)	Dureza Prom (Shore A)
CAU_1	55.00	51.00	53.00	54.00	52.00	53.00
CAU_2	55.00	56.00	56.00	52.00	54.00	54.60
CAU_3	54.00	55.00	55.00	57.00	54.00	55.00
CAU_4	55.00	54.00	54.00	53.00	54.00	54.00

Elaborado: Autor

Tabla 23 Evaluación estadística de resultados obtenidos

Media	Desviación estándar	Coefficiente de variación (%)	Confiabilidad (%)
53.0	1.41	2.66	97.33
54.6	1.49	2.74	97.25
55.0	1.09	1.99	98.00
54.0	0.63	1.17	98.82

Elaborado: Autor

- Margen de error de la prueba de dureza según la norma ASTM D2240 escala shore A
 - Dnorma: 60 Shore A (valor referencial)

Tabla 24 Margen de error del ensayo de dureza

Muestra	Dureza promedio (Shore A)	Margen de error (%)
SIN_1	53.0	11.6
SIN_2	54.6	8.99
SIN_3	55.0	8.33
SIN_4	54.0	10.0

Elaborado: Autor

4.5.2 FASE 2: Método de tubo de impedancia para evaluar la acústica del PVC

Sintra vs Caucho

En esta fase se implementó un tubo de impedancia de dos micrófonos bajo los parámetros de la norma ISO 10534-2: 1998 y el software REW (Room EQ Wizard), para evaluar el coeficiente de absorción acústica de las muestras (PVC Sintra y Caucho de llanta). El resultado de esta fase es un conjunto de curvas del coeficiente de absorción en función a la frecuencia para cada muestra.

Con los resultados arrojados por la aplicación REW (véase Anexo 1 Ensayo de por método de tubo de impedancia y software REW para evaluación acústica), se pueden realizar los siguientes cálculos.

- Análisis de confiabilidad del ensayo

Mediante el análisis de longitud de onda, a partir de la frecuencia acústica, se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 25 Análisis estadístico de la longitud de onda

Media	3.19 m
Desviación Estándar	0.58 m
Coefficiente de variación	18.18%
Confiabilidad	81.82 %

Elaborado: Autor

- Absorción acústica (α): Según los datos obtenidos (véase Anexo 3) y la ecuación (5), se puede determinar la absorción de cada material a partir de los niveles de presión sonora (SPL) con y sin material. Lo que permite comparar la capacidad de absorción por frecuencia.

Tabla 26 Absorción acústica por evaluación de presión sonora con y sin material

Frecuencia (Hz)	α Caucho (dB)	α PVC (dB)
115.98	0.06	0.02
116.82	0.07	0.03
117.67	0.08	0.04
118.52	0.09	0.05
119.38	0.10	0.06
120.24	0.11	0.07
121.11	0.12	0.08
121.99	0.13	0.08
122.88	0.14	0.09
123.77	0.15	0.10
124.66	0.16	0.11
125.57	0.18	0.12
126.48	0.19	0.13
127.39	0.20	0.14
128.32	0.21	0.15
129.25	0.22	0.15
130.18	0.23	0.16
131.13	0.24	0.17
132.08	0.25	0.18
133.03	0.26	0.19
134.00	0.27	0.19
134.97	0.28	0.20
135.95	0.29	0.21

Elaborado: Autor

- Longitud de Onda, Velocidad de propagación y Tiempo de reverberación:
Usando los datos del Anexo 1 y las ecuaciones (1)(3)(7) se obtuvieron los siguientes resultados.

Tabla 27 Cálculos matemáticos en base a los requerimientos del análisis de acústico

Frecuencia (Hz)	Longitud de onda (m)	Velocidad de propagación (m/s)	Tiempo de reverberación (T60)
116.82	2.94	343.00	0.54
117.67	2.92	343.00	0.54
118.52	2.89	343.00	0.54
119.38	2.87	343.00	0.54
120.24	2.85	343.00	0.54

121.11	2.83	343.00	0.54
121.99	2.81	343.00	0.54
122.88	2.79	343.00	0.54
123.77	2.77	343.00	0.54
124.66	2.75	343.00	0.54
125.57	2.73	343.00	0.54
126.48	2.71	343.00	0.54
127.39	2.69	343.00	0.54
128.32	2.67	343.00	0.54
129.25	2.65	343.00	0.54
130.18	2.63	343.00	0.54
131.13	2.62	343.00	0.54
132.08	2.60	343.00	0.54
133.03	2.58	343.00	0.54
134.00	2.56	343.00	0.54
134.97	2.54	343.00	0.54
135.95	2.52	343.00	0.54

Elaborado: Autor

Margen de error mediante la comparativa de la norma y los valores obtenidos:

Para el cálculo se usará la velocidad de propagación del sonido en comparación con el valor establecido por la norma ISO 10534-2 (método del tubo de impedancia) Donde:

Vmedida: 343 m/s

Vestandar: 343.2 m/

Usando la ecuación (20)

Margen de error	0.058%
-----------------	--------

4.5.3 FASE 3: Método de tubo de impedancia para evaluar la acústica de los materiales en conjunto (el caucho en ángulos de 30° 40° 50°)

Luego de los dos análisis anteriores, se determinó que el Caucho sería el material principal para la atenuación del sonido, por ende, en este punto se busca evaluar el comportamiento del caucho en diferentes. Con los valores obtenidos gracias al software REW, calcularemos lo siguiente:

- Absorción acústica de SPL Promedio y SPL pico máximo: Este cálculo se llevó a cabo con el fin de medir el comportamiento acústico del caucho en diferentes proporciones de muestras, usando la ecuación (5).

Tabla 28 Absorción relativa, que muestra cuánto se reduce el nivel de presión sonora (SPL) y el pico máximo (en decibelios) de cada muestra en comparación con la muestra de control (SIN).

Comparaciones	SPL (prom) (dB)	Pico máx (dB)	Absorción SPL (dB)	Absorción pico máx (dB)
SIN	53.77	73.34	0	0
PVC 100% 1	45.30	57.72	8.47	15.62
PVC 100% 2	47.38	52.47	6.39	20.87
PVC 100% 3	45.24	55.86	8.53	17.48
PVC_CAUCHO 50/50 1	47.44	55.86	6.33	17.48
PVC_CAUCHO 50/50 1	44.73	56.04	9.04	17.3
PVC_CAUCHO 50/50 1	46.70	54.46	7.07	18.88
PVC_CAUCHO 30°_1	47.45	55.77	6.32	17.57
PVC_CAUCHO 30°_2	43.95	57.59	9.82	15.75
PVC_CAUCHO 30°_3	42.31	55.04	11.46	18.3
PVC_CAUCHO 40°_1	43.39	50.64	10.38	22.7
PVC_CAUCHO 40°_2	44.31	58.85	9.46	14.49
PVC_CAUCHO 40°_3	46.09	54.79	7.68	18.55
PVC_CAUCHO 50°_1	43.81	53.21	9.96	20.13
PVC_CAUCHO 50°_2	44.91	54.57	8.86	18.77
PVC_CAUCHO 50°_3	39.98	48.92	13.79	24.42

Elaborado: Autor

4.5.4 FASE 4: Diseño geométrico del panel

Usando la ecuación (22), se determinó que para cubrir el 50% del área del panel (612.5 m²) con caucho se necesita la siguiente cantidad de círculos.

Tabla 29 Determinación de cantidad de círculos de diferente radio

Radio	Nº círculos
4.20	11
3.10	20
2.40	33

Elaborado: Autor

Con estos valores se procede a evaluar ya en las planchas de PVC de 35 x 35cm, usando REW como software para analizar el comportamiento acústico y cómo influye la cantidad y el tamaño de los círculos (véase el Anexo 2) obtuvimos el siguiente análisis matemático.

- **Absorción Acústica:** En este punto se busca evaluar que muestra presenta mejor absorción a pesar de cubrir el mismo porcentaje de área del panel, se quiere identificar si el tamaño y cantidad de círculos influye en algún punto en la acústica.

Tabla 30 Absorción acústica promedio de radio

Muestra (cm)	Absorción Promedio (dB)
R (4.20)	0,678
R (3.10)	0.724
R (2.40)	0.947

Elaborado: Autor

4.5.5 FASE 5: Elaboración de prototipos finales

Luego de haber pasado por fases de evaluación en las que nos permitieron elegir el prototipo de panel acústico que se ajuste a nuestros objetivos. Se optó por diseñar un panel de dimensiones de 35 x 35 cm (estimado a evaluación) usando el área del 50% PVC Sintra y 50% caucho de llanta. El caucho de llanta se destacó con mejores características acústicas y mecánicas, por ende, predomina en el diseño siendo el material central.

Ilustración 7 Prototipo de panel final



Elaborado: Autor

Este diseño final cumplía con las expectativas de nuestros objetivos, tanto en beneficio acústico y mecánico como en costo.

4.5.6 FASE 6: Prueba de Compresión de los prototipos finales

Prueba final para determinar la resistencia del panel a naturalezas de compresión, se busca evaluar hasta que condiciones el panel es óptimo. Se obtuvieron los siguientes resultados:

Ilustración 8 Resultados de Prueba de Compresión

Nombre	Máx Fuerza (N)	Máx Tensión (N/mm ²)	Máx Desplazamiento (mm)	Máx Deformación (%)
P_1	941.37	1.95	15.07	60.30
P_2	891.68	1.85	15.22	60.89
P_3	710.77	1.47	15.39	61.56

Elaborado: Autor

Mediante el uso de las ecuaciones (12) y (15) se calcula la resistencia promedio del material y la deformación. Adicional se registra energía absorbida.

Tabla 31 Características de compresión

Tensión promedio (N/mm ²)	Elasticidad promedio (MPa)	Energía absorbida (mJ)
1,755	2,88	7,09

Elaborado: Autor

4.5.7 FASE 7: Método por caja acústica en sala de insonorización para evaluar la acústica de los prototipos finales

Tabla 32 Evaluación de absorción del panel final

Muestra	SPL (dB)	Reducción SPL (dB)	Absorción estimada
M_1	54.6	10.77	0.70
M_2	52.9	12.47	1.02
M_3	52.7	12.67	1.06

Elaborado: Autor

4.5.8 FASE 8: Comparación de los resultados obtenidos con otros paneles comerciales.

Para realizar la comparación de nuestro panel vs paneles que se encuentren en el mercado se propone evaluar un índice de eficiencia acústica (IEA) para realizar el desempeño relativo

Se propone un índice de eficiencia acústica (IEA) para comparar el desempeño relativo:

$$IEA = \frac{\alpha \text{ prom}}{RT60 \text{ promedio}} \times 100 \quad (23)$$

4.6. Métodos de Experimentación

Se recreó un tubo de impedancia de sección circular, con el uso de un tubo de PVC rígido de 1m de longitud y diámetro interno de 7.5cm, adicional se colocaron dos micrófonos de medición calibrada instalados dentro del tubo con una separación entre

sí de 4cm, separados de la fuente de sonido a una distancia de 90.5 y 94.5cm. Un extremo del tubo se encuentra cerrado por el material absorbente a evaluar (PVC Sintra o Caucho de llanta), mientras que al extremo opuesto se coloca el altavoz que va a emitir la señal sonora, en este caso se usó ruido rosa generado por el software (REW- Room EQ Wizard) y amplificado por un parlante conectado a la computadora. Este dispositivo se diseñó para medir el coeficiente de absorción acústica de materiales planos según la norma ISO 10534-2, que establece el método de medición en tubo de onda estacionaria, mediante análisis de transferencia.

- Normas técnicas aplicadas

Norma	Tipo de medición	Condiciones de evaluación	Objetivo de la norma
ASTM D790	Ensayo de Flexión en tres puntos	- Probeta rectangular (longitud 50.8 mm y ancho de 12.7mm) - Uso de la máquina universal en condiciones normales	Determinar las propiedades de flexión de plásticos reforzados y no reforzados.
ASTM D638	Ensayo de tracción	- Probetas en forma de mancuerna o hueso de perro (longitud total 155mm, longitud de sección calibrada 33mm, ancho 6mm, espesor 3mm).	Determinar la resistencia, módulo de elasticidad y elongación
ASTM D2240	Ensayo de dureza (Shore Ay D)	- Probeta rectangular (longitud 50.8 mm y ancho de 12.7mm). - Uso del durómetro	Evaluar la dureza superficial del material
ASTM D256	Ensayo de impacto (Charpy)	- Probeta rectangular (longitud 63.5mm, ancho 12.7mm, espesor 3.2mm, profundidad de la muesca 2.54mm y ángulo de la muesca 45°). - Uso del péndulo de Charpy	Medir la resistencia al impacto.
ISO 61672	Coeficiente de absorción (tubo de impedancia)	- Calibración del software REW - 3 muestras por material de evaluación	Calcular la absorción sonora por método de transferencia.
INEN 2395	Límite máximo de niveles de ruido ambiental (Ecuador)	Generales	Establecer niveles permisibles de exposición sonora.

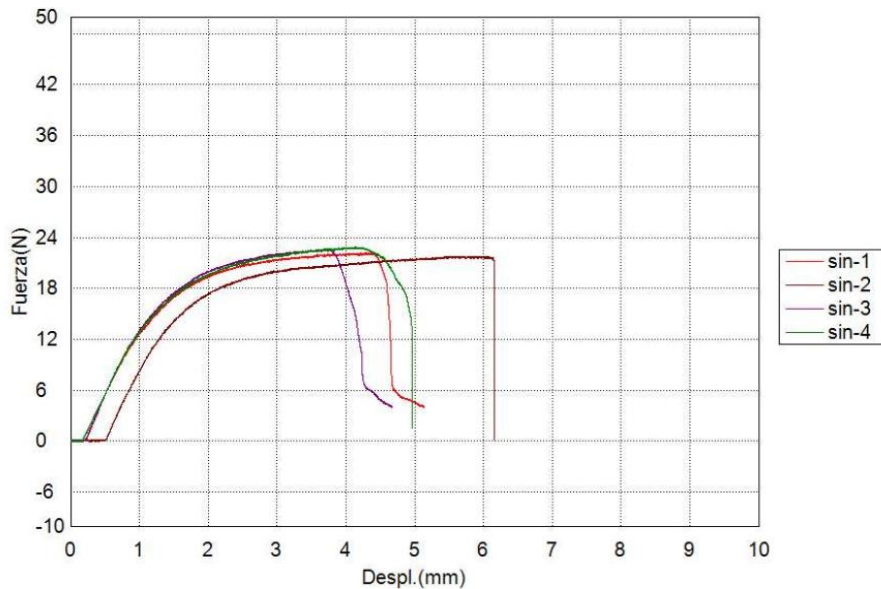
Elaborado: Autor

5. RESULTADOS Y ESTUDIO ESTADÍSTICO

5.1. Resultados y análisis de las mediciones de pruebas mecánico del PVC

5.1.1 Resultados del ensayo de flexión

Ilustración 9 Resultados ensayo de flexión (Fuerza vs Desplazamiento)



Elaborado: Autor

La grafica demuestra que el PVC Sintra presenta un comportamiento mecánico constante y consistente bajo carga de flexión, presenta ligeras variaciones entre muestras. Las diferencias en el modo de fractura brusca o progresiva nos permiten determinar que algunas muestras presentaron microdefectos o a su vez alguna variabilidad en la densidad. Según la *Tabla 4 Evaluación estadística de resultados obtenidos* la prueba tiene un 97.80% de confiabilidad. Los valores obtenidos de curva nos permitieron calcular lo siguiente:

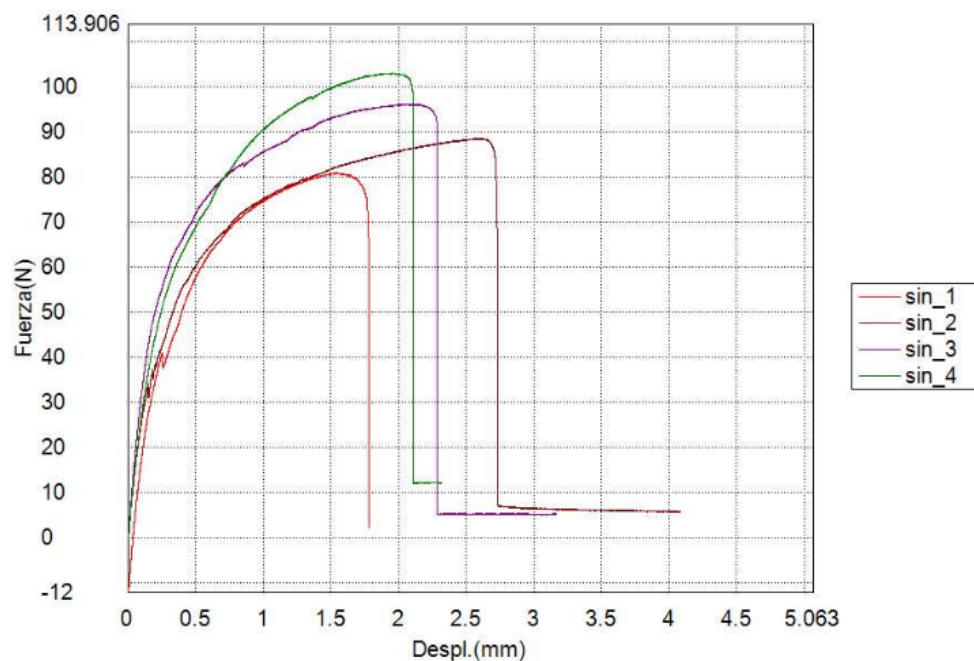
- Esfuerzo de flexión máxima: Según los valores de la *Tabla 8 Margen de error del módulo de elasticidad de flexión*. La muestra SIN_1 tiene un valor menor al valor referencial de la norma, presentando un margen de error de 36.5%, este resultado es aceptable debido que al ser un material reciclado hay la posibilidad de que existan estas variaciones. En la muestra SIN_2 se presenta un valor mayor a la norma referencial, con un margen de error de 67.2%, esto puede darse por una variación en la densidad,

compactación o aditivos, sin embargo, se encuentra aún en los valores permisibles. A diferencia de las muestras SIN_3 y SIN_4 que se descarta su análisis debido que durante la experimentación existieron errores técnicos, esto genera valores erróneos en los cálculos, por esa razón se descartan para ser analizadas.

- Resistencia de flexión: Los valores de la *Tabla 9 Margen de error de la resistencia de flexión*, La muestra SIN_1 presento Ef de 508.03 MPa, esto representa un 36.5% menos de la norma estándar, puede ser indicativo que tiene menor rigidez y mayor porosidad, a pesar de eso el valor sigue siendo aceptable. La muestra SIN_2 obtuvo Ef 1337.21 MPa superando en un 67.2% al valor estándar, esto se puede asociar a un mayor grado de compactación del material, este resultado es favorable presenta mayor estabilidad y soporte. Los valores de resistencia de flexión (SIN_1 y SIN_2) se encuentran dentro del rango aceptable ($\pm 20\%$) frente a la norma de referencia para PVC Sintra rígido, en este caso también se descartan los valores de las muestras SIN_3 y SIN_4.

5.1.2 Resultados del ensayo de tracción

Ilustración 10 Resultados del equipo de tracción Fuerza vs Desplazamiento



Elaborado: Autor

La grafica demuestra un comportamiento uniforme del material en la fase elástica, aunque presenta algunas diferencias en la resistencia máxima y en la elongación. Se puede observar que la muestra SIN_4 presenta un mejor desempeño mecánico, a diferencia de la SIN_1 que tiene menor resistencia. Todas las muestras presentan falla frágil o semiductil, esto es muy característico del PVC espumado. La Tabla 11 Evaluación estadística de resultados obtenidos arroja un valor de 89.63% de confiabilidad del ensayo. Los valores obtenidos en la prueba de tracción nos permiten el cálculo de:

- Tensión: Los valores obtenidos en la Tabla 16 Margen de error de resistencia a la tracción, representan un margen de error promedio bajo (<15%), los valores oscilaron entre 2.05 y 2.57 MPa en comparación con el valor estándar 2.3 MPa, esto señala que el PVC cumple con los estándares de resistencia de la norma
- Módulo de elasticidad: Lo valores de la Tabla 15 Margen de error del módulo de elasticidad del PVC Sintra, representan un desvío significativo lo que sugiere que el material posee una rigidez menor a la esperada, representado un error superior al 60%, se puede justificar que estos valores eran de esperarse porque se está trabajando con láminas recicladas lo que genera variabilidades características en la espuma.

5.1.3 Resultados del ensayo de dureza

Los resultados reflejados en la Tabla 17 Resultados obtenidos de la prueba de dureza, muestran que las muestras SIN_1, SIN_2 y SIN_4 cumplen con los criterios de calidad superficial necesarios para las aplicaciones no estructurales de PVC, es decir cumplen con los requerimientos del proyecto. A diferencia del SIN_3 que presento una desviación significativa por debajo de los valores mínimos técnicos, que pudo ser causada por factores característicos del material. El ensayo tuvo una confiabilidad promedio de 95.66%. A diferencia de las pruebas

anteriores estos resultados solo nos sirven para comparar los valores obtenidos con los de la norma ASTM D2240 y determinar si cumple o no cumple.

En la Tabla 19 Margen de error del ensayo de dureza, SIN_1 y SIN_2 presentan margen de error <1% (alta similitud al valor normativo), por otro SIN_3 tiene margen de error mayor (10.9%), puede darse por la variabilidad del espumado u medición atípica y SIN_4 supera al estándar en un rango aceptable de ($\pm 10\%$). En conjunto se puede considerar al PVC Sintra mecánicamente estable y apto para aplicaciones no estructurales con exigencias de resistencia superficial moderada.

5.1.4 Resultados del ensayo de impacto

La Tabla 20 Resultados obtenidos de la prueba de Impacto, demuestra que existe repetitividad en los resultados, por lo que no se requiere evaluar la dispersión sobre variables homogéneas. En la Tabla 21 Margen de error del ensayo de Impacto, el valor obtenido 1.60J representa un 60% menos a la resistencia de impacto referencial, indicando que el comportamiento del PVC Sintra a impactos es limitado y se debe considerar como material de baja tenacidad. A pesar del resultado, no representa problemas para ser aplicado en es construcciones estáticas o de recubrimiento.

5.2. Resultados y análisis de las mediciones de pruebas mecánico del caucho

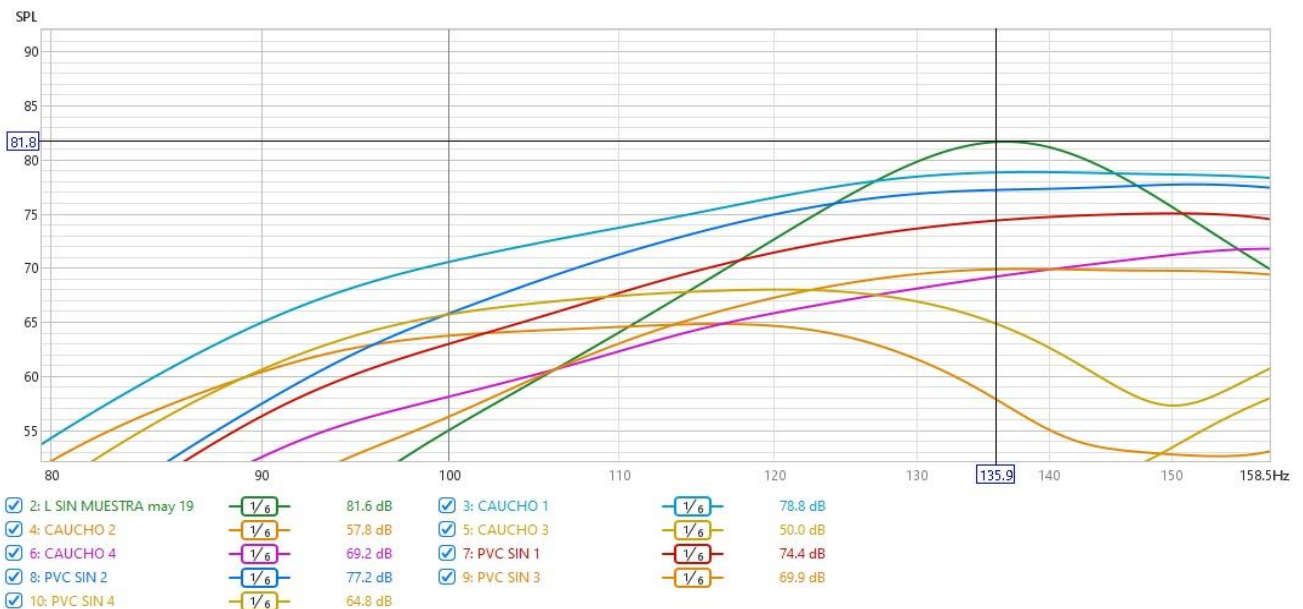
Se evaluó la dureza superficial de 4 muestras de caucho usando el método de shore. Los resultados de la Tabla 22 Resultados obtenidos de la prueba de dureza shore A presenta valores estables, consistentes y homogéneos, ligeramente por debajo del valor estándar (60-70 Shore D). Esta variación, puede pertenecer a la estructura

granular, proceso de compactación o el grado de vulcanización. Sin embargo, el material cumple con los requerimientos para ser usado en el diseño de panel fonoabsorbente.

En la Tabla 24 Margen de error del ensayo de dureza los resultados arrojaron márgenes de error <12%, siendo indicativo que el caucho sutilmente no cumple con la normativa, pero se encuentra en el rango técnicamente aceptable para ser usado en aplicaciones no estructurales.

5.3. Evaluación de presión sonora en tubo de impedancia de PVC vs Caucho (por separado)

Ilustración 11 Resultados Obtenidos por la aplicación REW para comparar la absorción de los materiales



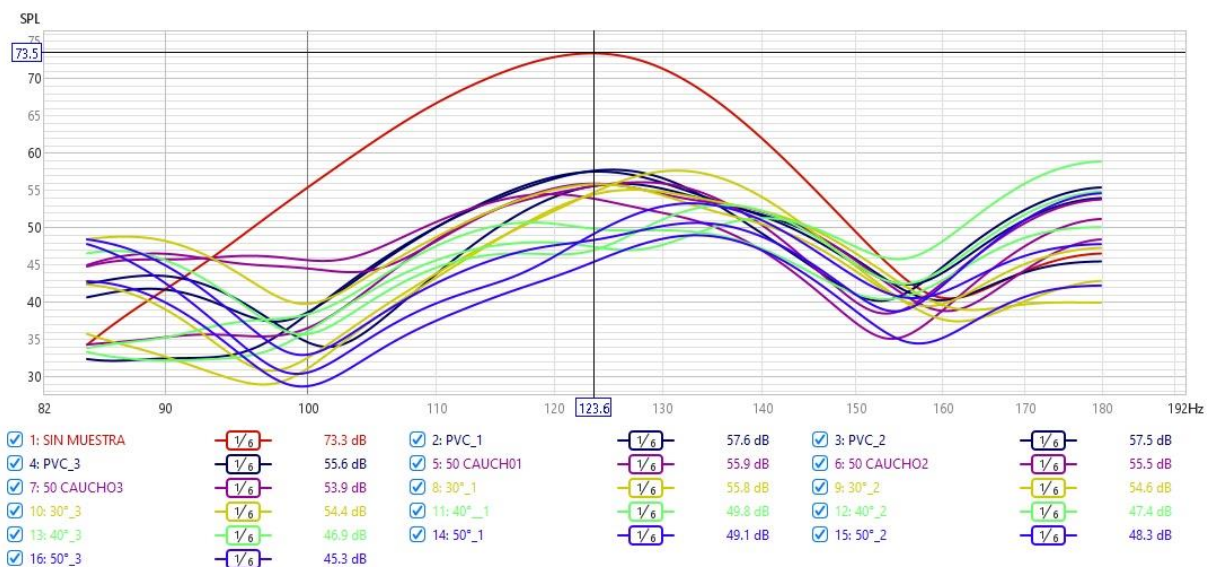
Elaborado: Autor

La grafica representa el comportamiento del nivel de presión sonora (SPL) en base a la frecuencia (Hz). Este resultado es tipo en ensayos de tubo de impedancia bajo la norma ISO 10534-2, usando REW para mandarla onda de ruido rosa con el fin de evaluar la absorción acústica. Se puede observar que la Muestra Caucho 3, presenta mejor comportamiento acústico, reduciendo más de 30 dB a los parámetros Sin Muestra. A diferencia de los valores de las muestras de PVC Sintra que muestran un desempeño más limitado. Esto quiere decir que el caucho es mejor aislante del sonido que el PVC Sintra.

En la Tabla 26, el caucho tiene curva de absorción creciente entre los 115 a 136 Hz alcanzando el máximo en 135.95 Hz con una absorción de 0.29, por lo que se lo considera funcional para control acústico en bajas frecuencias. A diferencia del PVC que alcanza a su máximo de absorción 0.21 a 135.95 Hz, se lo considera como material refractante o de recubrimiento, pero no para ser considerado como material absorbente principal.

5.4. Evaluación de presión sonora en tubo de impedancia de las muestras de PVC y Caucho (caucho en 30°, 40° y 50°)

Ilustración 12 Resultados de cantidad de distribución del caucho



Elaboración: Autor

La grafica presenta el análisis del nivel de presión sonora (SPL) vs frecuencia (Hz), lo que permite identificar las características fonoabsorbentes de las diferentes combinaciones de material en el que predomina el caucho de llanta, al ser sometidas a frecuencias entre 85 Hz y 190 Hz.

En la Tabla 28, el material de mayor absorción fue la muestra de PVC_CAUCHO 50°_3, este redujo de 13.79 dB en SPL promedio y 24.42 dB en pico máximo de SPL,

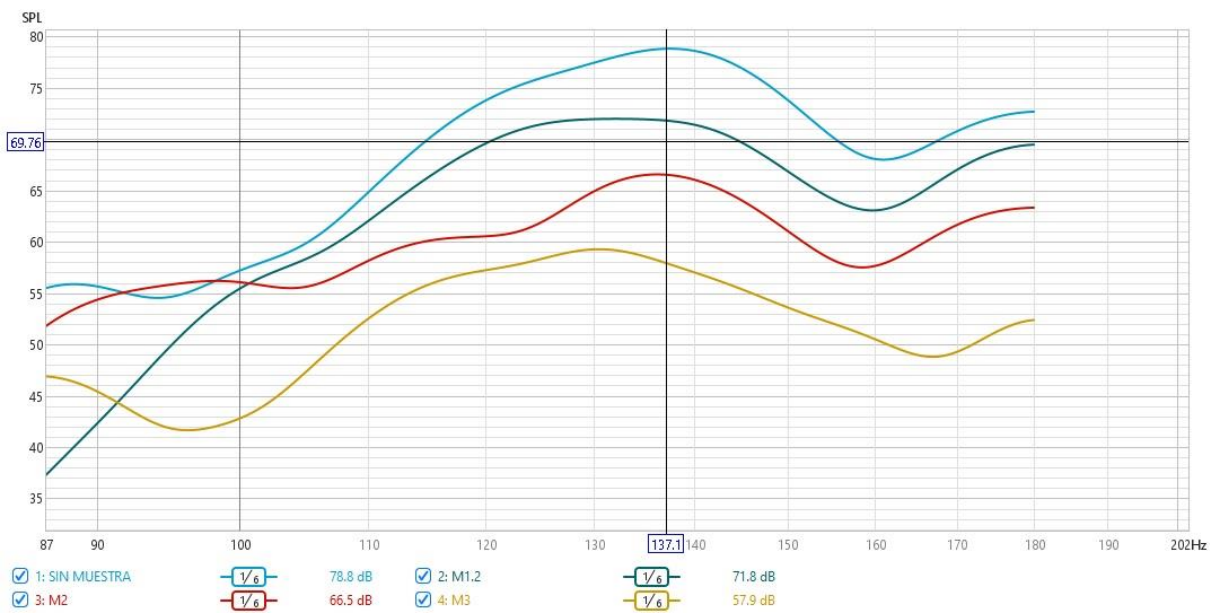
este resultado determino que el caucho en una inclinación de 50° en el PVC tiene mayor eficiencia fonoabsorbente, a diferencia de las otras muestras.

El promedio de las muestras PVC_CAUCHO 50°, en especial la muestra PVC_CAUCHO50°_3, presentan una atenuación significativa a niveles SPL que oscilan hasta 48.4 dB en la zona critica de la frecuencia. Evidenciando un comportamiento con mayor eficiencia en la absorción de ondas sonoras en bajas frecuencias, es decir el ángulo de 50° favorece la difracción y disipación de la energía sonora al interior del material. A diferencia del promedio de las muestras PVC_CAUCHO 30° y 40° sus niveles de reducción oscilan entre 50 y 56 dB en frecuencias de 110 y 140Hz, permite confirmar la hipótesis que el ángulo influye en el rendimiento fonoabsorbente.

5.5. Evaluación y determinación de la distribución de los materiales (PVC y Caucho)

El diseño geométrico de los discos atenuadores se fundamenta en maximizar el coeficiente de absorción acústica y minimizar la reflexión y la transmisión del sonido.

Ilustración 13 Resultados de comportamiento acústico según el radio y cantidad de círculos

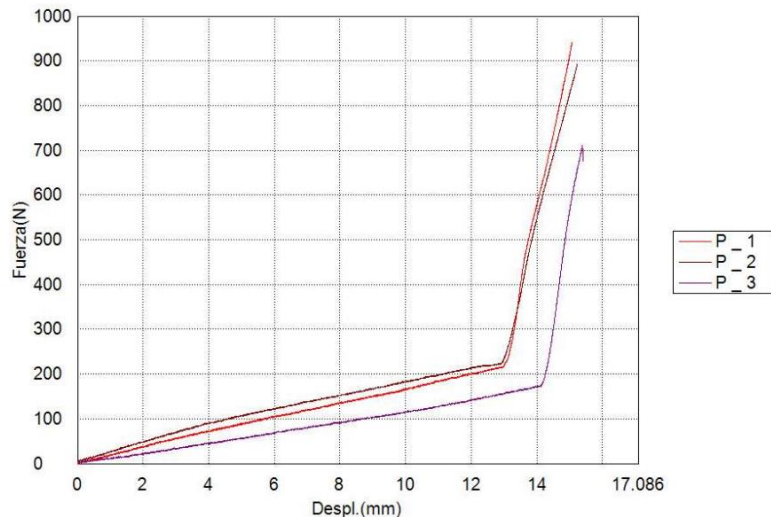


Elaborado: Autor

5.6. Resultados de la implementación de los paneles fonoabsorbentes (mecánicas y acústicas)

Prueba mecánica (compresión)

Ilustración 14 Resultados de las pruebas de compresión



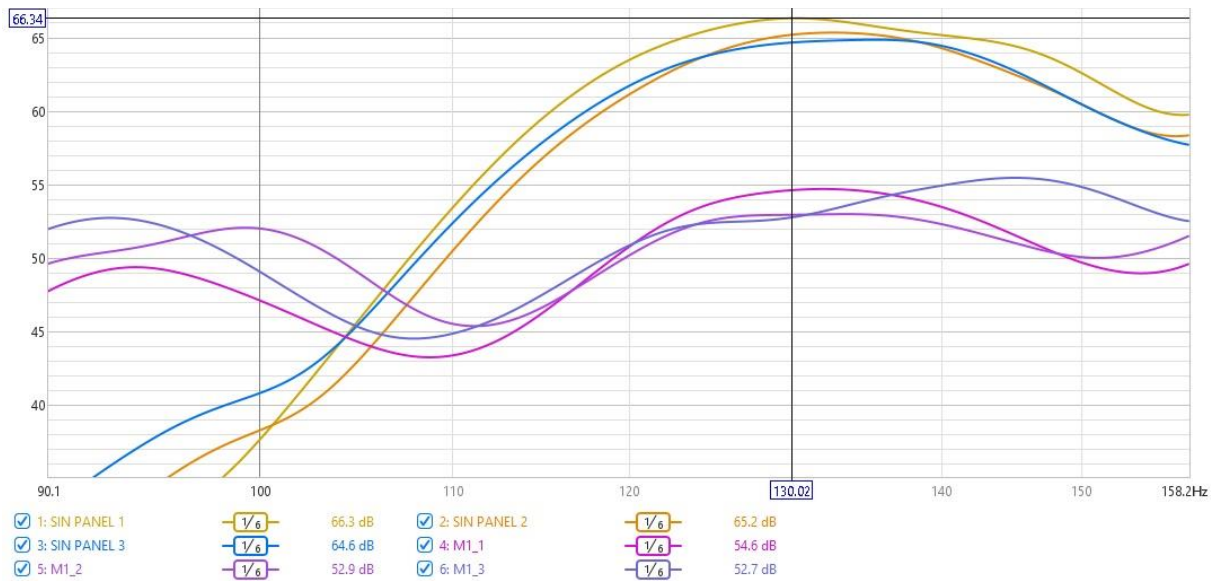
Elaborado: Autor

La evaluación de resistencia mecánica demuestra que el esfuerzo máximo se encuentra en un rango de 1,47 a 1,95 N/mm² (MPa), se considera moderadamente bajo, pero es aceptable para el tipo de materiales usados en el diseño, la deformación es superior al 60% lo que evidentemente señala como altamente dúctil o flexible, característicos de materiales absorbentes semirrígidos. Este panel es resistente a cargas de montaje, manipulación y presión moderada, tiende a deformarse sin generar fractura lo que lo hace ideal a instalaciones entre techo o muros falsos

Evaluación Acústica En Cuarto De Insonorización

Con el uso del sonómetro en cuarto de insonorización se busca adaptar la aplicación REW a emitir onda de sonido rosa que se estudie en rangos límites por el sonómetro, para luego ser evaluada dentro de la caja de prueba de estructura de madera MDF. Se conjugo los dos métodos de evaluación de presión sonora por Sonómetro y por el software REW con micrófonos calibrados y se tuvieron los siguientes resultados

Ilustración 15 Evaluación de presión sonora de los paneles finales



Elaborado: Autor

Las pruebas M2 y M3 señalan mejor rendimiento en absorción acústica, a pesar de que las muestras (M1, M2, M3) fueron las mismas se destaca que hubo alguna interferencia en las pruebas. Sin embargo, el panel se encuentra en valores aceptables para ser usado como fonoabsorbente.

5.7. Análisis descriptivo

Este análisis nos permitiría observar la tendencia central, dispersión y distribución de los datos, en los que nos basaremos para la interpretación estadística. Se busca obtener valores aproximados para construir un intervalo de confianza alrededor de la media, usando el error estándar.

$$\text{Valor estimado} = \bar{x}(\text{media}) \pm E(\text{error estandar}) \quad (24)$$

El valor estándar se estableció al analizar la estadística por IBM SPSS Statistics (versión 28.0)

Tabla 33 Valor estimados de la presión sonora de las muestras

Condición	Media (dB)	Error estándar (dB)	Marge de error	Valor \pm estimado (dB)
Muestreo_1	48.07	± 0.49	$\pm 0,96$	$48,97 \pm 0.49$
Muestreo_2	49.24	± 0.39	$\pm 0,76$	49.24 ± 0.39
Muestreo_3	50.30	± 0.39	$\pm 0,77$	50.30 ± 0.39

Elaborado: Autor

Margen de error del panel: $\pm 0,83$

5.8. Informe estadístico final

5.8.1 Objetivo del Análisis

- ¿Qué se está evaluando?: El presente estudio tiene como objetivo principal evaluar el efecto de diferentes tipos de paneles fonoabsorbentes en la absorción acústica.
- ¿Qué variables o grupos se comparan?: Se compara la absorción acústica, cuantificada como Nivel de Presión Sonora (SPL en dB), entre seis muestras: SIN_PANELES_1, SIN_PANELES_2, SIN_PANELES_3, MUESTREO_1, MUESTREO_2, y MUESTREO_3.

- ¿Qué hipótesis se plantea?: Se plantea la hipótesis de que existen diferencias estadísticamente significativas en la absorción acústica (SPL en dB) entre al menos algunas muestras evaluadas. El propósito subyacente es identificar las propiedades mecánico-acústicas óptimas para la reducción de los niveles de contaminación sonora, contribuyendo al diseño de paneles fonoabsorbentes eficientes.

5.8.2 Descripción de los datos

- Cantidad de observaciones por grupo: Para el análisis, se dispuso de 96 observaciones válidas de SPL (dB) para cada uno de los 6 tipos de paneles, lo que resultó en un tamaño de muestra total de 576 observaciones.
- Estadísticas descriptivas

Tabla 34 Resultados del análisis descriptivo (Rangos promedio de Kruskal-Wallis)

Descriptivos					
TIPO_PANEL				Estadístico	Error estándar
SPL (dB)	SIN_PANELES_1	Media		49.7426	1.59488
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	46.5763	
			Límite superior	52.9088	
		Media recortada al 5%		50.2619	
		Mediana		57.3040	
		Varianza		244.191	
		Desviación estándar		15.62660	
		Mínimo		23.21	
		Máximo		66.29	
		Rango		43.07	
		Rango intercuartil		32.22	
		Asimetría		-.421	.246
	Curtosis		-1.526	.488	
	SIN_PANELES_2	Media		48.5792	1.52529
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	45.5511		

			Límite superior	51.6073	
		Media recortada al 5%		49.0351	
		Mediana		54.4980	
		Varianza		223.344	
		Desviación estándar		14.94471	
		Mínimo		23.31	
		Máximo		65.32	
		Rango		42.00	
		Rango intercuartil		28.15	
		Asimetría		-.394	.246
		Curtosis		-1.452	.488
	SIN_PANELES_3	Media		49.4803	1.48143
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	46.5393	
			Límite superior	52.4214	
		Media recortada al 5%		50.2266	
		Mediana		55.8715	
		Varianza		210.686	
		Desviación estándar		14.51503	
		Mínimo		19.37	
		Máximo		64.83	
		Rango		45.46	
		Rango intercuartil		25.09	
		Asimetría		-.580	.246
		Curtosis		-1.070	.488
	MUESTREO_1	Media		48.0682	.48923
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	47.0970	
			Límite superior	49.0395	
		Media recortada al 5%		48.3675	
		Mediana		48.9275	
		Varianza		22.978	
		Desviación estándar		4.79349	
		Mínimo		34.45	
		Máximo		54.68	
		Rango		20.24	
		Rango intercuartil		7.10	
		Asimetría		-.677	.246
	Curtosis		.240	.488	
	MUESTREO_2	Media		49.2363	.38585
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	48.4703	

			Límite superior	50.0023	
		Media recortada al 5%		49.6655	
		Mediana		50.3855	
		Varianza		14.292	
		Desviación estándar		3.78049	
		Mínimo		35.76	
		Máximo		52.98	
		Rango		17.21	
		Rango intercuartil		4.57	
		Asimetría		-1.647	.246
		Curtosis		2.715	.488
	MUESTREO_3	Media		50.3024	.39366
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	49.5209	
			Límite superior	51.0839	
		Media recortada al 5%		50.4953	
		Mediana		51.6280	
		Varianza		14.877	
		Desviación estándar		3.85709	
		Mínimo		40.08	
		Máximo		55.44	
		Rango		15.36	
		Rango intercuartil		5.93	
		Asimetría		-.653	.246
		Curtosis		-.528	.488

Fuente: IBM SPSS Statistics (versión 28.0)

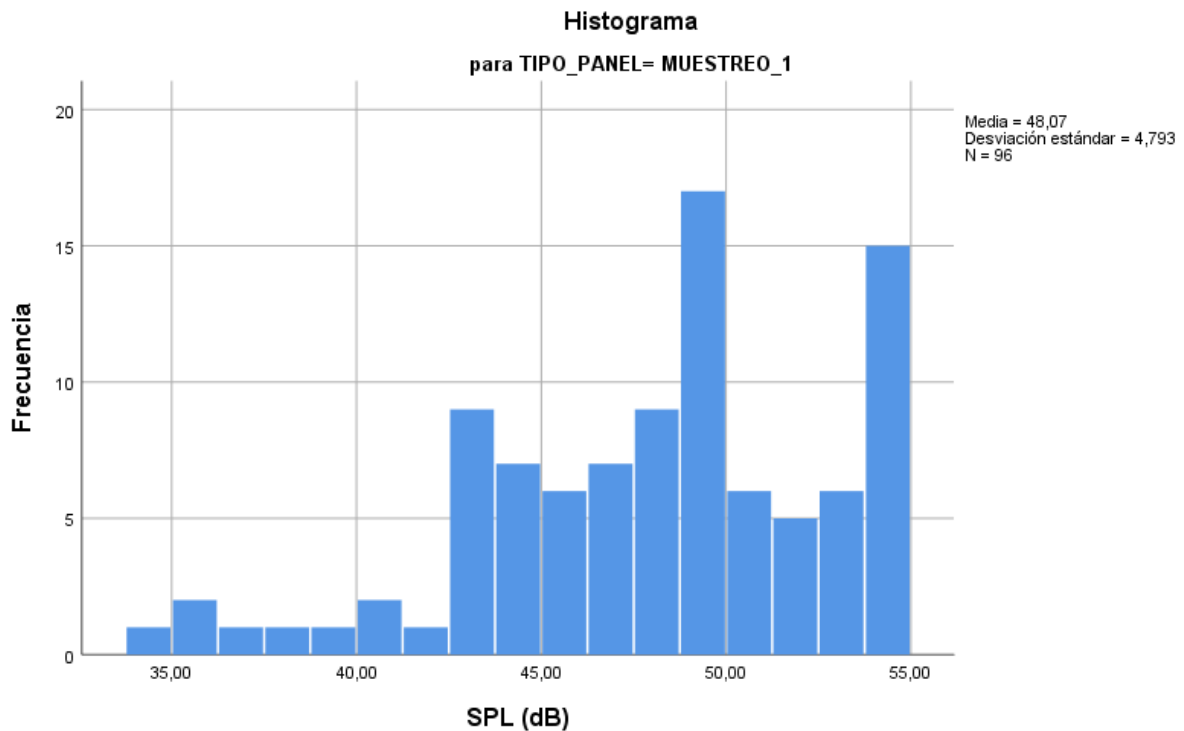
Como parte de la prueba no paramétrica, se obtuvieron los rangos promedio de SPL (dB) para cada grupo, los cuales ofrecen una indicación de la tendencia central de la absorción acústica en cada tipo de panel:

- SIN_PANELES_1: 318,78
- SIN_PANELES_2: 297,62
- SIN_PANELES_3: 306,80
- MUESTREO_1: 244,94
- MUESTREO_2: 267,93
- MUESTREO_3: 294,93

- Visualizaciones:

HISTOGRAMAS DE LAS PRUEBAS CON LOS PANELES

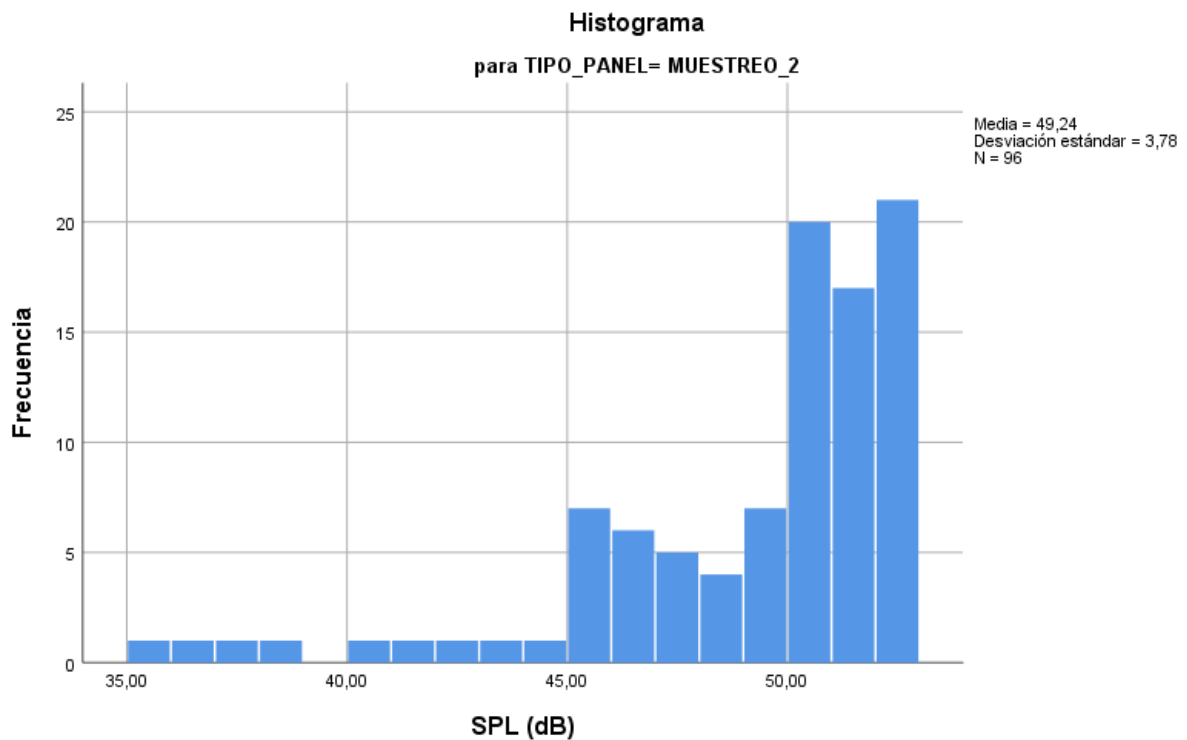
Ilustración 16 Histograma MUESTREO_1



Fuente: IBM SPSS Statistics (versión 28.0)

Interpretación: El histograma del **MUESTREO_1** indica que, en las condiciones experimentales en las que se encuentra, los niveles de presión sonora se distribuyen de manera relativamente uniforme en torno a la media 48 dB, simétricamente leve hacia valores bajos. Por lo que sugiere que el ambiente bajo análisis tiene comportamiento acústico controlado, con poca dispensación de ruido, destacando el acondicionamiento acústico de los materiales.

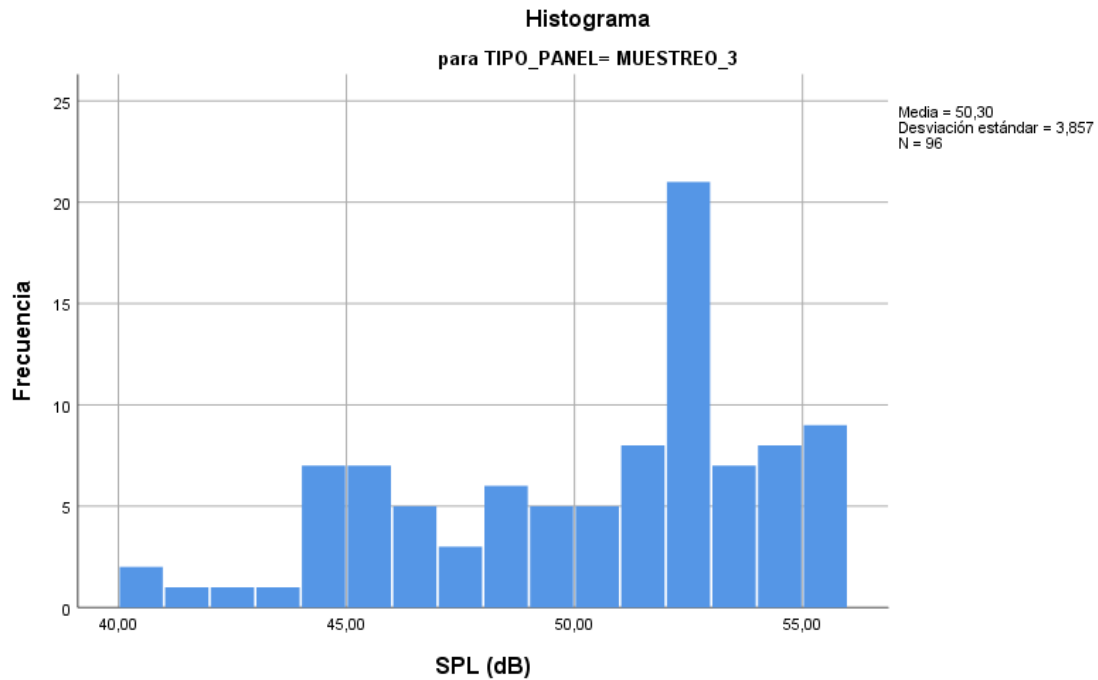
Ilustración 17 Histograma MUESTREO_2



Fuente: IBM SPSS Statistics (versión 28.0)

Interpretación: El histograma del **MUESTREO_2** destaca una distribución de los niveles de presión sonora centrado en los valores altos, con asimetría negativa significativa y curtosis elevada, señalando que la gran parte de las mediciones se encuentran cerca de la media pero pocos valores actúan a los extremos, lo que sugiere un entorno acústico altamente controlado, demostrando que la implementación acústicas en la que se encuentra es eficaz para estabilizar los niveles sonoros

Ilustración 18 Histograma MUESTREO_3



Fuente: Fuente: IBM SPSS Statistics (versión 28.0)

Interpretación: El histograma del **MUESTREO_3** enseña un perfil acústico controlado, cercana a una media de 50 dB y baja variabilidad sonora, por otro lado, la leve asimetría negativa es indicativo de que existe una tendencia mínima hacia valores inferiores, aunque mayormente concentrada en valores de frecuencias entre 51 y 55 dB, esto refleja estabilidad acústica adecuada para la configuración espacial que se encuentra sometida (tratamiento de paneles fonoabsorbentes)

5.8.3 Evaluación de Supuestos

5.8.3.1 Normalidad

- Prueba usada: Para evaluar el supuesto de normalidad de los datos de SPL (dB) en cada grupo, se aplicó las pruebas de Shapiro-Wilk.
- Valor p y decisión: Los resultados de las pruebas fueron los siguientes:
 - Para los grupos SIN_PANELES_1, SIN_PANELES_2, SIN_PANELES_3, MUESTREO_2 y MUESTREO_3, el valor p (Sig.) de la prueba fue 0.000.
 - Para el grupo MUESTREO_1, el valor p de Shapiro-Wilk fue 0.001.

Tabla 35 Resultados del análisis estadístico descriptivo.

Medidas	Sin Paneles_1	Sin Paneles_2	Sin Paneles_3	Muestreo_1	Muestreo_2	Muestreo_3
Media (dB)	49.7	48.6	49.5	48.1	49.2	50.3
Error estándar	1.6	1.5	1.5	0.5	0.4	0.4
IC 95% límite inferior	46.6	45.6	46.5	47.1	48.5	49.5
IC 95% límite superior	52.9	51.6	52.4	49.0	50.0	51.1

Fuente: IBM SPSS Statistics (versión 28.0)

- Decisión: Dado que la mayoría de los valores p obtenidos, son menores que el nivel de significancia de 0.05, se rechaza la hipótesis nula de normalidad. Por lo tanto, se concluye que los datos de absorción acústica (SPL en dB) no siguen una distribución normal en la mayoría de los grupos evaluados.

Tabla 36 Prueba de normalidad Shapiro-Wilk

TIPO_PANEL		SPL (dB)					
		SIN_PANELES _1	SIN_PANELES _2	SIN_PANELES _3	MUESTREO _1	MUESTREO _2	MUESTREO _3
Shapiro-Wilk	Estadístico	.834	.862	.873	.946	.827	.928
	gl	96	96	96	96	96	96
	Sig.	.000	.000	.000	.001	.000	.000

Fuente: IBM SPSS Statistics (versión 28.0)

5.8.3.2 Homogeneidad de Varianza

Este supuesto no se evaluó directamente mediante pruebas como la de Levene. La decisión de utilizar una prueba no paramétrica (Kruskal-Wallis) debido a la violación del supuesto de normalidad hace que la homogeneidad de varianza no sea un requisito estricto para la validez de la prueba.

5.8.4 Prueba estadística aplicada

- Nombre de la prueba: Debido a la no-normalidad de los datos y la comparación de más de dos grupos independientes, se aplicó la Prueba H de Kruskal-Wallis para K muestras independientes.
- Justificación de por qué se eligió esa prueba: Esta prueba no paramétrica es la alternativa adecuada al ANOVA de un factor cuando los datos de la variable dependiente no cumplen el supuesto de normalidad, como se confirmó en la evaluación de supuestos.
- Resultado de la prueba:

Tabla 37 Resultados de la prueba H de Kruskal-Wallis

Estadísticos de prueba^{a,b}	
	SPL (dB)
H de Kruskal-Wallis	12.814
gl	5
Sig. asintótica	.025
a. Prueba de Kruskal Wallis	
b. Variable de agrupación: TIPO_PANEL	

Fuente: IBM SPSS Statistics (versión 28.0)

- Estadístico de prueba (H de Kruskal-Wallis): 12,814
- Grados de libertad (gl): 5
- Valor p (Sig. asintótica): 0,025
- Decisión: Dado que el valor p (0,025) es menor que el nivel de significancia preestablecido de 0.05, se rechaza la hipótesis nula. Esto indica que existen diferencias estadísticamente significativas en la absorción acústica (SPL en dB) entre al menos algunos de los seis tipos de paneles evaluados.

5.8.5 Pruebas Post-hoc (si hubo diferencias significativas)

- Nombre de la prueba post-hoc: Para identificar qué pares específicos de grupos difieren significativamente, se realizaron pruebas U de Mann-Whitney por pares. Para controlar la tasa de error Tipo I (falsos positivos) debido a las múltiples comparaciones, se aplicó una corrección de Bonferroni.
- Nivel de significancia corregido (alfa): El nivel de significancia original (0.05) se dividió por el número total de comparaciones por pares (15), resultando en un umbral corregido de 0.0033 (0.05 / 15).

- Qué pares de grupos difieren: Tras realizar las 15 comparaciones por pares y aplicar la corrección de Bonferroni, se encontró solo una diferencia estadísticamente significativa:

- MUESTREO_1 vs. MUESTREO_3: El p-valor obtenido fue 0,001. Dado que 0,001 es menor que el umbral corregido de 0.0033, esta diferencia se considera estadísticamente significativa.

- Valor p para cada comparación

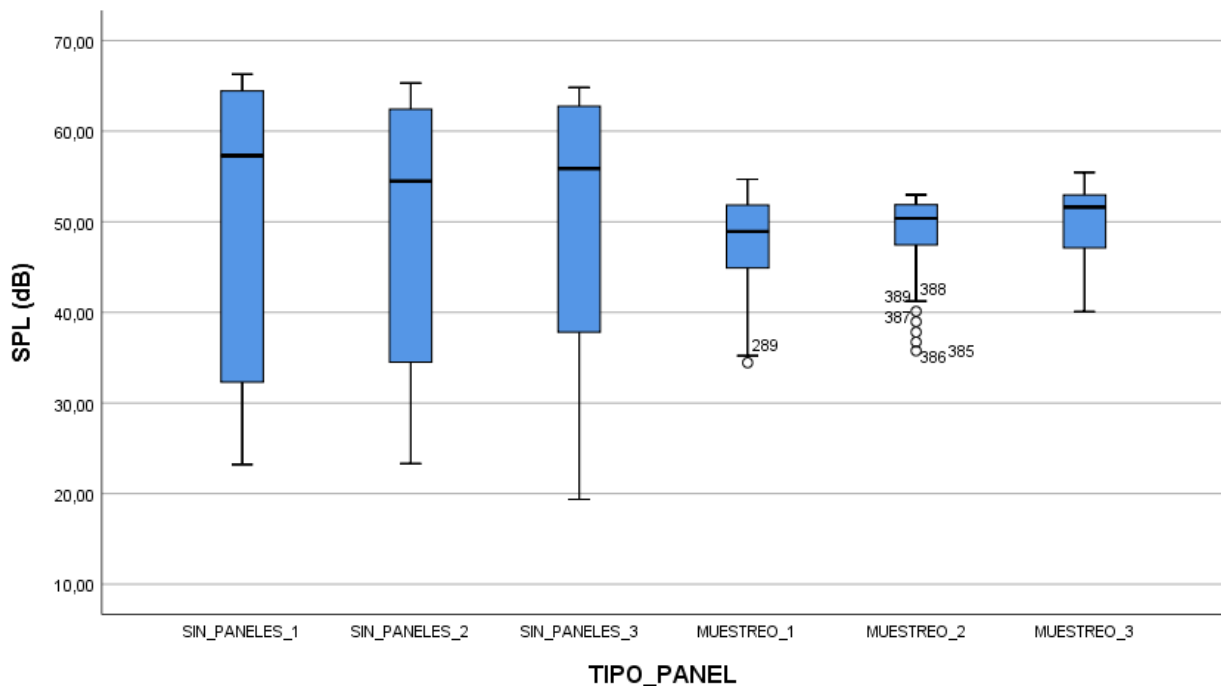
Tabla 38 Comparativa de valores p por cada prueba

U de Mann-Whitney	
Combinaciones	Sig. Asintótica (bilateral)
MUESTREO_1 vs MUESTREO_2	0,153
MUESTREO_1 vs MUESTREO_3	0,05
MUESTREO_2 vs MUESTREO_3	0,021

Fuente: IBM SPSS Statistics (versión 28.0)

5.8.6 Visualizaciones Finales

Ilustración 19 Diagrama de caja y bigote (boxplot) de las muestras a evaluar



Fuente: Fuente: IBM SPSS Statistics (versión 28.0)

Interpretación: Las pruebas evaluadas como grupo MUESTREO, evidencia la eficiencia de los paneles demostrando estabilidad de los niveles de presión sonora (SPL) en comparación a las condiciones de evaluación sin tratamiento. En las condiciones MUESTREO_2 se destaca una menor dispersión de los datos, señalando que existió mejor control del ruido en el momento de la prueba a pesar de tratarse de la misma muestra en todas las pruebas. Los resultados del grupo MUESTREO, indican que el tratamiento acústico contribuye significativamente a la reducción y estabilidad del ruido.

5.8.7 Conclusión estadística

- ¿Qué se concluye? Los resultados del análisis estadístico concluyen que el tipo de panel fonoabsorbente tiene un efecto estadísticamente significativo en la absorción acústica (SPL en dB).
- ¿Qué grupos son diferentes? Específicamente, las pruebas post-hoc revelaron que el panel MUESTREO_3 presenta una absorción acústica significativamente diferente y, al observar los rangos promedio, superior en comparación con el panel MUESTREO_1. No se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los demás pares de paneles evaluados.
- ¿Cómo se relaciona con tu objetivo inicial? Los hallazgos son fundamentales para el objetivo de evaluar las propiedades fonoabsorbentes. Indican que, si bien la mayoría de los diseños de paneles no muestran diferencias marcadas entre sí en cuanto a absorción acústica, la variación significativa entre MUESTREO_1 y MUESTREO_3 es un punto clave. Esto sugiere que ciertas configuraciones o composiciones específicas dentro de las muestras de "muestreo" podrían ofrecer un rendimiento de atenuación acústica superior, lo cual es crucial para la selección y diseño de materiales para la reducción de la contaminación sonora.

6. DISCUSIÓN

La Ecuación (23) nos permite estimar el índice de incidencia para evaluar el índice de eficiencia acústica (IEA) para analizar el desempeño relativo.

El panel de lana mineral, es uno de los materiales más usados para la elaboración de paneles acústicos por su alto coeficiente de absorción y su capacidad de aislamiento térmico. Compuesto por fibras inorgánicas entrelazadas (sílice, basalto o vidrio), estructura altamente porosa, que pueden atrapar el aire y disipar la energía sonora mediante fricción interna (Herranz García, 2018).

El panel de espuma de poliuretano acústica, en sus formas piramidal o anecoica, de bajo costo, peso liviano y facilidad de manipulación. Su estructura lleva celdas abiertas que permiten que el sonido penetre en el material y atenué por fricción, estas características lo hacen eficaz para frecuencias medias-altas, pero insignificante en graves (Maribel & Gustavo, 2019)

El panel acústico de madera perforada, su diseño se basa en el principio resonador de Helmholtz “Los orificios permite que el aire entre a una cavidad posterior, en donde la energía acústica se disipa”, es por ello que la efectividad depende de la relación entre perforación, espesor y profundidad de cámara (Narváez & Ximena, 2018).

La espuma de melanina fue desarrollada por BASF y se caracteriza por tener baja densidad, alta absorción acústica y no ser inflamable. Su microestructura de celdas permite amplia absorción en todo el espectro, en frecuencias medias y altas (Guevara & Lizano, 2020).

Tabla 39 Comparativa bibliográfica de paneles comerciales vs prototipo de panel

Parámetro	Prototipo del autor	Panel de Lana Mineral ¹	Espuma PU ²	Madera perforada ³	Melamina (Basotect) ⁴
Coefficiente de absorción α (frecuencia media 125–4000 Hz)	0.95 \pm 0.05	1	0.7 - 0.8	0.5 – 0.6	0.8 1.0
SPL reducido (media dB)	12 \pm 1	10 - 12	8 - 10	5 - 7	10 - 12
Tiempo de reverberación (RT60) (s)	0.011 \pm 0.02	0.015	0.02	0.05	0.014
Resistencia a Compresión (MPa)	1.75 \pm 0.25	0.5 - 1.0	0.1	15 - 20	0.2
IEA	0.89	0.86	0.83	0.73	0.53
Módulo de deformación MPa	2.88 \pm 0.5	1 - 3	0.4	2000 - 4000	0.6
Deformabilidad (%)	60 \pm 2	20 -30	50-70	< 5	50 - 60
Peso Relativo (g/cm ³)	Medio	Medio-Alto	Bajo	Alto	Muy alto
Beneficios	Alta absorción y mecánica. sostenible	Excelente absorción, térmico	Económico y de fácil instalación	Resistente diseño arquitectónico	Muy ligero y eficaz
Costo estimado por m ² (USD)	12 - 15	13 - 18	8 -15	20 - 30	22 - 35

¹. Herranz García, 2018; ². Maribel & Gustavo, 2019; ³. Narváez & Ximena, 2018; ⁴. Guevara

& Lizano, 2020. Fuente: Autor

El prototipo de panel en desarrollo presenta rendimiento acústico superior con IEA de 0.89, superando los paneles convencionales. La capacidad de absorción es comparable a la del panel de lana mineral y espuma melanina, pero tiene mejor resistencia mecánica. En contraste con la madera perforada que ofrecen alta resistencia, pero poca capacidad de absorción y mayor dificultad de manipulación, se puede determinar que la propuesta combina rendimiento técnico y viabilidad económica.

7. CONCLUSIONES

El prototipo desarrollado demuestra un equilibrio entre desempeño acústico, resistencia mecánica y sostenibilidad ambiental, posicionándose como una alternativa viable frente a paneles comerciales, especialmente en espacios donde el costo, la resistencia al impacto y la reducción de reverberación en bajas frecuencias son factores prioritarios. Si bien el índice de absorción global puede ser ligeramente menor, este se compensa con el bajo costo, la durabilidad estructural y su carácter ecológico.

Los resultados obtenidos mediante pruebas de tubo de impedancia y análisis de entorno controlado demostraron que el panel presentó un coeficiente de absorción acústico superior a paneles comerciales lo que lo posiciona como una solución técnica y eficaz para el control de ruido. Por otro lado, el análisis costo-beneficio demostró que no solo ofrece excelente comportamiento acústico, sino que también representa a una alternativa económicamente viable, al aprovechar materiales reciclados de bajo costo.

8. RECOMENDACIONES

Para futuras investigaciones, se recomienda el uso de equipos estandarizados y debidamente calibrados, a fin de evitar interferencias que puedan afectar la validez de los resultados experimentales.

En cuanto al prototipo desarrollado, no se recomienda su uso en infraestructuras que únicamente reciben ruido del entorno, sino en aquellas donde existe transmisión directa del sonido desde y hacia el interior, como en el caso de centros de ocio, recintos deportivos, estadios, entre otros. El objetivo es ofrecer una alternativa sostenible y funcional para aplicaciones comerciales que requieran control acústico bidireccional.

9. BIBLIOGRAFÍA

- admin. (2021, abril 29). Tiempo de reverberación y formula de Sabine. *AcousticLab*.
<https://www.acousticlab.com/tiempo-de-reverberacion-y-formula-de-sabine/>
- admin. (2023, octubre 3). Fenómenos Físicos que Configuran la Propagación del Sonido. *Diseño Sonoro*. <https://disenosonoro.com/fenomenos-fisicos-que-configuran-la-propagacion-del-sonido/>
- admin. (2024, septiembre 3). *Cómo realizar un ensayo de tracción | Instron | Instron*.
<https://www.instron.com/es/resources/test-types/tensile-test/>
- Aislamiento térmico y acústico de caucho—Fabricación y venta. (s. f.). *Junta 3*. Recuperado 21 de octubre de 2024, de <https://junta3.com/aislamiento-termico-y-acustico-de-caucho-ventajas/>
- AISTEC. (2013, noviembre 29). ▷ *¿Cuál es la velocidad de propagación del sonido y cómo ocurre este fenómeno?* Aistec. <https://aistec.com/cual-es-la-velocidad-de-propagacion-del-sonido-y-como-ocurre-este-fenomeno/>
- Análisis ambientales de fuentes fijas de emisiones. (2019, agosto 27). *AGQ Labs Colombia*.
<https://agqlabs.co/2019/08/27/analisis-ambientales-de-fuentes-fijas/>
- Bernini, G., Salinas, F., & Delannoy, J. (s. f.). *Construcción e Implementación del Tubo de Impedancia para Determinar Coeficientes de Absorción Sonora*.
- Biblioteca NPC: Manual de efectos de ruido*. (s. f.). Recuperado 5 de julio de 2025, de <https://www.nonoise.org/library/handbook/handbook.htm>
- desarrollador. (2024, septiembre 22). *Impacto ambiental y sostenibilidad: Ventanas de PVC para un futuro ecológico*. AGS: Servicio de Carpintería Metálica.
<https://aluminiosags.com/2024/09/22/impacto-ambiental-sostenibilidad-ventanas-pvc-futuro-ecologico/>

El Proceso de Reciclaje de Llantas y su Impacto Ambiental—Pima Llantas—Solución + garantía sobre ruedas. (s. f.). Recuperado 21 de octubre de 2024, de <https://pimallantas.com/el-proceso-de-reciclaje-de-llantas-y-su-impacto-ambiental/?srsltid=AfmBOopLTwLVGpjY18YGJf323xRbkqPt2lyhgYuS8SUdsYpyCAiefFA1>

El PVC · Vivienda Saludable. (2011, julio 28). Vivienda Saludable.

<https://www.viviendasaludable.es/confort-bienestar/aislamiento-termico/el-pvc>

Environmental Noise. (2011). 476-488. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-52272-6.00252-X>

Ervine, M. (2023, septiembre 1). Sound Transmission Classes Explained. *Acoustiblok UK.*

<https://www.acoustiblok.co.uk/sound-transmission-classes-explained/>

Fadul, J. (2023). Evaluación y análisis de desempeño mecánico de un material a base de caucho reciclado granulado. *UTP.*

https://www.academia.edu/100671557/Evaluaci%C3%B3n_y_an%C3%A1lisis_de_desempe%C3%B1o_mec%C3%A1nico_de_un_material_a_base_de_caucho_reciclado_granulado

Fenómenos – Universo del Sonido. (s. f.). Recuperado 5 de julio de 2025, de

<https://www.universodelsonido.cl/el-sonido/fenomenos/>

Flexural Modulus: Definition, Calculation, and Importance | Xometry. (s. f.). Recuperado 6

de julio de 2025, de [https://www-xometry-com.translate.goog/resources/3d-](https://www-xometry-com.translate.goog/resources/3d-printing/flexural-modulus/?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=es&_x_tr_hl=es&_x_tr_pto=sge)

[printing/flexural-modulus/?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=es&_x_tr_hl=es&_x_tr_pto=sge](https://www-xometry-com.translate.goog/resources/3d-printing/flexural-modulus/?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=es&_x_tr_hl=es&_x_tr_pto=sge)

<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/25980/1/TTS1548.pdf>. (s. f.). Recuperado 10 de julio de 2025, de

<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/25980/1/TTS1548.pdf>

<https://www.cip.org.ec/attachments/article/1357/NORMA%20CONTAMINACION%20AC%20ASTICA.pdf>. (s. f.). Recuperado 9 de julio de 2025, de

<https://www.cip.org.ec/attachments/article/1357/NORMA%20CONTAMINACION%20%93N%20AC%20%9ASTICA.pdf>

IBM SPSS Statistics Base 19. (s. f.).

Indice-bioestadistica-amigable-3-edicion.pdf. (s. f.). Recuperado 10 de julio de 2025, de <https://www.unav.edu/documents/16089811/16155256/indice-bioestadistica-amigable-3-edicion.pdf>

La OMS publica una nueva norma para hacer frente a la creciente amenaza de la pérdida de audición. (s. f.). Recuperado 5 de julio de 2025, de <https://www.who.int/es/news/item/02-03-2022-who-releases-new-standard-to-tackle-rising-threat-of-hearing-loss>

Longitud de Onda y Frecuencia | Decodifica Imágenes enviadas desde la ISS. (s. f.). Recuperado 3 de diciembre de 2024, de https://esero.es/practicas-en-abierto/decodifica-imagenes-iss/longitud_de_onda_y_frecuencia.html

Maribel, A. C. B., & Gustavo, G. M. E. (s. f.). *ESTUDIO DE PANELES DE FIBROPOLIURETANO PARA USO EN MAMPOSTERÍAS.*

Mexpolimeros. (s. f.). *Absorción de sonido.* Polímeros termoplásticos, elastómeros y aditivos. Recuperado 10 de julio de 2025, de <https://www.mexpolimeros.com/absorcion-de-sonido.html>

Mishra, P., Pandey, C. M., Singh, U., Gupta, A., Sahu, C., & Keshri, A. (2019). Descriptive Statistics and Normality Tests for Statistical Data. *Annals of Cardiac Anaesthesia*, 22(1), 67-72. https://doi.org/10.4103/aca.ACA_157_18

NIVELES SONOROS. (s. f.). Recuperado 20 de octubre de 2024, de <https://www.fceia.unr.edu.ar/acustica/biblio/niveles.htm>

NORMA CONTAMINACIÓN ACÚSTICA.pdf. (s. f.). Recuperado 9 de julio de 2025, de <https://www.cip.org.ec/attachments/article/1357/NORMA%20CONTAMINACION%20ACUSTICA.pdf>

Ordenanza de Control de la Contaminación Ambiental Originada por la Emisión de Ruido proveniente de Fuentes fijas y móviles. / GAD Municipal de Cuenca. (s. f.).

Recuperado 2 de junio de 2025, de <https://www.cuenca.gob.ec/content/ordenanza-de-control-de-la-contaminacion-ambiental-originada-por-la-emision-de-ruido>

pegatilandia. (2013, mayo 8). El pvc y su reciclaje. *Pegatilandia*.

<https://pegatilandia.wordpress.com/2013/05/08/pvc-reciclaje/>

PVC como aislante acústico en entornos urbanos—Glosojor. (2024, septiembre 11).

<https://glosojor.com/blog/pvc-como-aislante-acustico-en-entornos-urbanos/>

¿Qué es el PVC? (s. f.). *BECOSAN®*. Recuperado 21 de octubre de 2024, de

<https://www.becosan.com/es/faq/que-es-el-pvc/>

Qué es el PVC – Aapvc. (s. f.). Recuperado 21 de octubre de 2024, de

<https://www.aapvc.org.ar/que-es-el-pvc/>

Rodríguez Montejano, R. M. (2003). *Propiedades acústica del caucho granular* [Phd, E.T.S.I. Industriales (UPM)]. <https://oa.upm.es/6304/>

Room EQ Wizard (REW)—Looking Back on Audio Measurement Software History. (2025, junio 10). audioXpress. <https://audioxpress.com/article/room-eq-wizard-rew-looking-back-on-audio-measurement-software-history>

Salazar, M. (2023, marzo 28). Sonómetros: Una guía completa para la medición y control del ruido. *Sodeintec*. <https://sodeintecas.com/sonometros-una-guia-completa-para-la-medicion-y-control-del-ruido/>

saminef. (2020, enero 10). El sonido y sus características. *European Acústica*.

<https://www.europeanacustica.com/el-sonido-caracteristicas/>

Sistemas, T. (s. f.). *La Prueba de Tensión*. Recuperado 6 de julio de 2025, de

<https://tecnopol.es/actualidad/la-prueba-de-tension>

Tiempo de reverberación. (s. f.). Recuperado 3 de diciembre de 2024, de

<https://www.ehu.eus/acustica/espanol/salas/tires/tires.html>

Tratamiento. (2014, octubre 1). *Proyecto Recicla 3D (Plabs 3D)*.

<https://recicla3dplabs.wordpress.com/tratamiento/>

Tubo de impedancia: Una visión general de la historia. *Temas ScienceDirect*. (s. f.).

Recuperado 6 de julio de 2025, de [https://www-sciencedirect-](https://www-sciencedirect-com.translate.goog/topics/engineering/impedance-tube?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=es&_x_tr_hl=es&_x_tr_pto=tc)

[com.translate.goog/topics/engineering/impedance-](https://www-sciencedirect-com.translate.goog/topics/engineering/impedance-tube?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=es&_x_tr_hl=es&_x_tr_pto=tc)

[tube?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=es&_x_tr_hl=es&_x_tr_pto=tc](https://www-sciencedirect-com.translate.goog/topics/engineering/impedance-tube?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=es&_x_tr_hl=es&_x_tr_pto=tc)

TULSMA.pdf. (s. f.). Recuperado 9 de julio de 2025, de [https://www.ambiente.gob.ec/wp-](https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/05/TULSMA.pdf)

[content/uploads/downloads/2018/05/TULSMA.pdf](https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/05/TULSMA.pdf)

UNEISO199612020.pdf. (s. f.). Recuperado 9 de julio de 2025, de

[https://isolucion.ambientebogota.gov.co/Isolucionesda/BancoConocimientoSDA/8/8c2](https://isolucion.ambientebogota.gov.co/Isolucionesda/BancoConocimientoSDA/8/8c286de8dce74c7da8a99cadf5177172/UNEISO199612020.pdf)

[86de8dce74c7da8a99cadf5177172/UNEISO199612020.pdf](https://isolucion.ambientebogota.gov.co/Isolucionesda/BancoConocimientoSDA/8/8c286de8dce74c7da8a99cadf5177172/UNEISO199612020.pdf)

UrzuaRangel, R. M., Ocampo, L. S. O., Castelar, R. O., Carpintero, E. de J. M., & Erazo, J.

Á. S. (2025). Caracterización de caucho reciclado alternativa de materia prima en la industria automotriz. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 9(2), Article 2. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v9i2.17599

utzong. (2021, octubre 5). Types of Noise—SoundEar Int. Believes in creating awareness

about noise. *SoundEar Int*. <https://soundear.com/types-of-noise/>

10. ANEXOS

Anexo 1 Ensayo de por método de tubo de impedancia y software REW para evaluación acústica

SIN MUESTRA			CAUCHO 1			CAUCHO 2			CAUCHO 3			CAUCHO 4			PVC 1			PVC 2			PVC 3			PVC 4		
FRECUEN CIA (Hz)	SPL (dB)	Fase s	FRECUEN CIA (Hz)	SPL (dB)	Fase s	FRECUEN CIA (Hz)	SPL (dB)	Fase s	FRECUEN CIA (Hz)	SPL (dB)	Fase s	FRECUEN CIA (Hz)	SPL (dB)	Fase s	FRECUEN CIA (Hz)	SPL (dB)	Fase s	FRECUEN CIA (Hz)	SPL (dB)	Fase s	FRECUEN CIA (Hz)	SPL (dB)	Fase s	FRECUEN CIA (Hz)	SPL (dB)	Fase s
80.25	23.2 1	177. 53	80.25	54.5 6	48.5 3	80.25	52.4 0	- 59.0 1	80.25	29.1 3	98.6 5	80.25	41.8 9	53.5 1	80.25	43.8 6	153. 60	80.25	44.7 3	123. 61	80.25	33.1 9	- 172. 19	80.25	49.9 2	- 170. 47
80.83	24.3 4	173. 31	80.83	55.3 0	42.7 1	80.83	53.0 5	- 65.3 1	80.83	30.0 0	99.7 5	80.83	42.7 1	47.9 0	80.83	44.7 7	149. 11	80.83	45.6 6	119. 07	80.83	34.3 0	- 173. 75	80.83	50.7 2	- 176. 17
81.42	25.4 9	169. 74	81.42	56.0 3	36.8 1	81.42	53.6 8	- 71.6 6	81.42	30.8 7	97.8 9	81.42	43.5 1	42.2 7	81.42	45.6 6	144. 52	81.42	46.5 6	114. 47	81.42	35.4 0	- 175. 50	81.42	51.5 1	178. 10
82.01	26.6 6	166. 97	82.01	56.7 4	30.8 0	82.01	54.2 8	- 78.0 6	82.01	31.7 2	94.8 2	82.01	44.2 8	36.6 1	82.01	46.5 3	139. 81	82.01	47.4 5	109. 82	82.01	36.4 8	- 177. 52	82.01	52.2 8	172. 35
82.60	27.8 6	165. 03	82.60	57.4 5	24.6 9	82.60	54.8 5	- 84.5 2	82.60	32.5 3	91.4 6	82.60	45.0 2	30.9 0	82.60	47.3 9	134. 96	82.60	48.3 2	105. 12	82.60	37.5 3	- 179. 89	82.60	53.0 3	166. 58
83.20	29.0 7	163. 81	83.20	58.1 4	18.4 8	83.20	55.4 1	- 91.0 4	83.20	33.3 0	88.2 8	83.20	45.7 4	25.1 3	83.20	48.2 3	129. 97	83.20	49.1 6	100. 35	83.20	38.5 7	177. 36	83.20	53.7 6	160. 79
83.81	30.3 1	163. 09	83.81	58.8 2	12.1 6	83.81	55.9 4	- 97.6 2	83.81	34.0 2	85.5 2	83.81	46.4 3	19.2 8	83.81	49.0 4	124. 84	83.81	49.9 9	95.5 0	83.81	39.5 7	174. 17	83.81	54.4 7	154. 97
84.41	31.5 6	162. 53	84.41	59.5 0	5.76	84.41	56.4 5	- 104. 27	84.41	34.6 7	83.3 1	84.41	47.1 0	13.3 2	84.41	49.8 4	119. 55	84.41	50.7 9	90.5 6	84.41	40.5 5	170. 53	84.41	55.1 7	149. 14
85.02	32.8 0	161. 77	85.02	60.1 6	- 0.71	85.02	56.9 5	- 110. 97	85.02	35.2 6	81.7 6	85.02	47.7 5	7.25	85.02	50.6 3	114. 12	85.02	51.5 8	85.5 2	85.02	41.5 0	166. 45	85.02	55.8 5	143. 29
85.64	34.0 4	160. 55	85.64	60.8 1	- 7.22	85.64	57.4 2	- 117. 72	85.64	35.7 8	80.9 6	85.64	48.3 8	1.03	85.64	51.3 9	108. 56	85.64	52.3 6	80.3 5	85.64	42.4 3	161. 94	85.64	56.5 1	137. 41
86.26	35.2 7	158. 70	86.26	61.4 5	- 13.7 5	86.26	57.8 8	- 124. 49	86.26	36.2 6	80.9 9	86.26	49.0 0	- 5.33	86.26	52.1 5	102. 87	86.26	53.1 2	75.0 3	86.26	43.3 3	157. 00	86.26	57.1 6	131. 51
86.89	36.4 8	156. 18	86.89	62.0 8	- 20.2 8	86.89	58.3 3	- 131. 27	86.89	36.6 9	81.9 0	86.89	49.6 0	- 11.8 4	86.89	52.8 8	97.0 8	86.89	53.8 7	69.5 6	86.89	44.2 1	151. 68	86.89	57.7 8	125. 57

87.52	37.6 8	153. 05	87.52	62.6 9	- 26.7 9	87.52	58.7 7	- 138. 04	87.52	37.1 1	83.6 8	87.52	50.2 0	- 18.4 8	87.52	53.6 1	91.2 0	87.52	54.6 1	63.9 3	87.52	45.0 6	146. 00	87.52	58.3 9	119. 59
88.15	38.8 5	149. 41	88.15	63.2 8	- 33.2 8	88.15	59.1 9	- 144. 79	88.15	37.5 2	86.2 5	88.15	50.8 0	- 25.2 4	88.15	54.3 1	85.2 4	88.15	55.3 4	58.1 5	88.15	45.8 9	139. 99	88.15	58.9 7	113. 57
88.79	39.9 9	145. 38	88.79	63.8 6	- 39.7 3	88.79	59.6 0	- 151. 50	88.79	37.9 5	89.4 0	88.79	51.3 8	- 32.1 1	88.79	55.0 0	79.2 4	88.79	56.0 5	52.2 1	88.79	46.6 9	133. 70	88.79	59.5 4	107. 50
89.43	41.1 2	141. 07	89.43	64.4 2	- 46.1 5	89.43	60.0 0	- 158. 18	89.43	38.4 2	92.8 4	89.43	51.9 6	- 39.0 6	89.43	55.6 6	73.2 0	89.43	56.7 6	46.1 4	89.43	47.4 7	127. 18	89.43	60.0 8	101. 37
90.08	42.2 1	136. 56	90.08	64.9 6	- 52.5 5	90.08	60.3 8	- 164. 81	90.08	38.9 3	96.2 6	90.08	52.5 2	- 46.0 8	90.08	56.3 0	67.1 5	90.08	57.4 6	39.9 4	90.08	48.2 2	120. 48	90.08	60.6 0	95.1 7
90.73	43.2 8	131. 93	90.73	65.4 8	- 58.9 3	90.73	60.7 5	- 171. 41	90.73	39.4 9	99.3 6	90.73	53.0 6	- 53.1 3	90.73	56.9 2	61.0 9	90.73	58.1 5	33.6 5	90.73	48.9 5	113. 62	90.73	61.1 0	88.9 1
91.39	44.3 2	127. 21	91.39	65.9 7	- 65.3 0	91.39	61.1 0	- 177. 97	91.39	40.0 9	101. 87	91.39	53.5 8	- 60.1 9	91.39	57.5 1	55.0 3	91.39	58.8 2	27.2 7	91.39	49.6 4	106. 62	91.39	61.5 8	82.5 8
92.05	45.3 4	122. 44	92.05	66.4 5	- 71.6 7	92.05	61.4 3	- 175. 49	92.05	40.7 5	103. 59	92.05	54.0 7	- 67.2 3	92.05	58.0 7	49.0 0	92.05	59.4 9	20.8 1	92.05	50.3 0	99.5 2	92.05	62.0 4	76.1 8
92.72	46.3 2	117. 63	92.72	66.9 0	- 78.0 4	92.72	61.7 4	- 168. 97	92.72	41.4 3	104. 40	92.72	54.5 3	- 74.2 3	92.72	58.6 0	42.9 9	92.72	60.1 4	14.2 9	92.72	50.9 3	92.3 1	92.72	62.4 8	69.7 3
93.39	47.2 8	112. 79	93.39	67.3 4	- 84.4 2	93.39	62.0 3	- 162. 48	93.39	42.1 3	104. 25	93.39	54.9 6	- 81.1 9	93.39	59.1 1	37.0 0	93.39	60.7 7	7.70	93.39	51.5 1	85.0 1	93.39	62.8 9	63.2 2
94.07	48.2 1	107. 91	94.07	67.7 5	- 90.8 2	94.07	62.3 0	- 156. 01	94.07	42.8 3	103. 20	94.07	55.3 6	- 88.0 7	94.07	59.5 9	31.0 4	94.07	61.3 8	1.05	94.07	52.0 7	77.6 6	94.07	63.2 8	56.6 8
94.75	49.1 1	102. 99	94.75	68.1 4	- 97.2 2	94.75	62.5 5	- 149. 56	94.75	43.5 1	101. 36	94.75	55.7 3	- 94.8 8	94.75	60.0 5	25.1 0	94.75	61.9 7	- 5.66	94.75	52.5 9	70.2 7	94.75	63.6 5	50.1 0
95.44	49.9 8	98.0 1	95.44	68.5 1	- 103. 63	95.44	62.7 7	- 143. 15	95.44	44.1 6	98.8 8	95.44	56.0 8	- 101. 62	95.44	60.4 9	19.1 6	95.44	62.5 4	- 12.4 2	95.44	53.0 8	62.8 8	95.44	63.9 9	43.5 0
96.13	50.8 2	92.9 8	96.13	68.8 7	- 110. 04	96.13	62.9 6	- 136. 77	96.13	44.7 6	95.9 1	96.13	56.4 1	- 108. 29	96.13	60.9 0	13.2 2	96.13	63.0 8	- 19.2 3	96.13	53.5 6	55.5 0	96.13	64.3 1	36.8 9
96.82	51.6 3	87.8 8	96.82	69.2 0	- 116. 45	96.82	63.1 4	- 130. 43	96.82	45.3 0	92.5 6	96.82	56.7 3	- 114. 90	96.82	61.3 0	7.27	96.82	63.6 1	- 26.0 7	96.82	54.0 4	48.1 7	96.82	64.6 1	30.2 9
97.53	52.4 1	82.7 3	97.53	69.5 2	- 122. 84	97.53	63.3 0	- 124. 14	97.53	45.7 9	88.9 4	97.53	57.0 4	- 121. 47	97.53	61.6 9	1.29	97.53	64.1 1	- 32.9 2	97.53	54.5 1	40.8 9	97.53	64.8 8	23.7 1
98.23	53.1 7	77.5 3	98.23	69.8 3	- 129. 22	98.23	63.4 3	- 117. 88	98.23	46.2 2	85.1 3	98.23	57.3 4	- 128. 02	98.23	62.0 7	- 4.73	98.23	64.6 0	- 39.7 7	98.23	54.9 9	33.6 7	98.23	65.1 4	17.1 5

98.94	53.9 1	72.2 8	98.94	70.1 2	- 135. 57	98.94	63.5 6	111. 66	98.94	46.6 0	81.1 5	98.94	57.6 4	- 134. 55	98.94	62.4 3	- 10.7 9	98.94	65.0 8	- 46.6 1	98.94	55.4 8	26.5 0	98.94	65.3 7	10.6 3
99.66	54.6 3	67.0 1	99.66	70.4 0	- 141. 89	99.66	63.6 7	105. 45	99.66	46.9 3	77.0 3	99.66	57.9 4	- 141. 10	99.66	62.7 9	- 16.9 0	99.66	65.5 4	- 53.4 3	99.66	55.9 8	19.3 7	99.66	65.5 8	4.15
100.38	55.3 3	61.7 2	100.38	70.6 7	- 148. 15	100.38	63.7 6	99.2 6	100.38	47.2 0	72.7 5	100.38	58.2 3	- 147. 67	100.38	63.1 4	- 23.0 4	100.38	65.9 9	- 60.2 2	100.38	56.5 0	12.2 4	100.38	65.7 8	- 2.26
101.11	56.0 3	56.4 3	101.11	70.9 4	- 154. 37	101.11	63.8 5	93.0 6	101.11	47.4 3	68.3 0	101.11	58.5 3	- 154. 28	101.11	63.4 9	- 29.2 1	101.11	66.4 4	- 66.9 8	101.11	57.0 2	5.10	101.11	65.9 6	- 8.61
101.84	56.7 1	51.1 4	101.84	71.1 9	- 160. 53	101.84	63.9 3	86.8 4	101.84	47.6 1	63.6 6	101.84	58.8 3	- 160. 96	101.84	63.8 4	- 35.4 0	101.84	66.8 8	- 73.7 3	101.84	57.5 6	- 2.08	101.84	66.1 2	- 14.8 8
102.58	57.3 9	45.8 5	102.58	71.4 5	- 166. 64	102.58	64.0 0	80.6 0	102.58	47.7 6	58.8 0	102.58	59.1 3	- 167. 70	102.58	64.1 9	- 41.6 0	102.58	67.3 2	- 80.4 7	102.58	58.0 9	- 9.33	102.58	66.2 8	- 21.0 7
103.33	58.0 7	40.5 8	103.33	71.6 9	- 172. 71	103.33	64.0 6	74.3 3	103.33	47.8 7	53.7 1	103.33	59.4 4	- 174. 54	103.33	64.5 4	- 47.7 9	103.33	67.7 5	- 87.2 2	103.33	58.6 3	- 16.6 5	103.33	66.4 2	- 27.1 9
104.07	58.7 4	35.3 3	104.07	71.9 4	- 178. 73	104.07	64.1 2	68.0 2	104.07	47.9 6	48.3 5	104.07	59.7 4	- 178. 52	104.07	64.8 9	- 53.9 6	104.07	68.1 8	- 93.9 8	104.07	59.1 6	- 24.0 7	104.07	66.5 6	- 33.2 3
104.83	59.4 2	30.0 8	104.83	72.1 8	- 175. 26	104.83	64.1 8	61.6 5	104.83	48.0 3	42.7 2	104.83	60.0 5	- 171. 47	104.83	65.2 4	- 60.1 1	104.83	68.6 0	- 100. 76	104.83	59.6 9	- 31.5 6	104.83	66.6 9	- 39.2 1
105.59	60.1 0	24.8 4	105.59	72.4 1	- 169. 26	105.59	64.2 3	55.2 4	105.59	48.0 9	36.7 8	105.59	60.3 7	- 164. 31	105.59	65.6 0	- 66.2 3	105.59	69.0 1	- 107. 59	105.59	60.2 2	- 39.1 3	105.59	66.8 1	- 45.1 3
106.35	60.7 7	19.5 9	106.35	72.6 4	- 163. 25	106.35	64.2 8	48.7 7	106.35	48.1 4	30.5 1	106.35	60.6 9	- 157. 05	106.35	65.9 6	- 72.3 2	106.35	69.4 2	- 114. 48	106.35	60.7 3	- 46.7 5	106.35	66.9 2	- 51.0 2
107.12	61.4 5	14.3 1	107.12	72.8 7	- 157. 21	107.12	64.3 3	42.2 4	107.12	48.1 8	23.8 8	107.12	61.0 1	- 149. 71	107.12	66.3 2	- 78.3 8	107.12	69.8 2	- 121. 44	107.12	61.2 4	- 54.4 0	107.12	67.0 3	- 56.8 8
107.90	62.1 4	9.00	107.90	73.0 9	- 151. 11	107.90	64.3 8	35.6 5	107.90	48.2 4	16.8 6	107.90	61.3 4	- 142. 32	107.90	66.6 8	- 84.4 2	107.90	70.2 1	- 128. 47	107.90	61.7 3	- 62.0 7	107.90	67.1 4	- 62.7 3
108.68	62.8 3	3.63	108.68	73.3 2	- 144. 96	108.68	64.4 3	29.0 2	108.68	48.3 0	9.45	108.68	61.6 8	- 134. 94	108.68	67.0 5	- 90.4 3	108.68	70.5 9	- 135. 60	108.68	62.2 1	- 69.7 5	108.68	67.2 4	- 68.5 9
109.47	63.5 2	- 1.81	109.47	73.5 4	- 138. 72	109.47	64.4 9	22.3 6	109.47	48.3 8	1.67	109.47	62.0 2	- 127. 60	109.47	67.4 1	- 96.4 1	109.47	70.9 6	- 142. 82	109.47	62.6 7	- 77.4 2	109.47	67.3 3	- 74.4 8
110.26	64.2 2	- 7.35	110.26	73.7 6	- 132. 41	110.26	64.5 4	15.6 7	110.26	48.4 7	- 6.43	110.26	62.3 7	- 120. 34	110.26	67.7 6	- 102. 37	110.26	71.3 2	- 150. 14	110.26	63.1 2	- 85.0 9	110.26	67.4 2	- 80.4 2
111.06	64.9 1	- 12.9 8	111.06	73.9 8	- 126. 02	111.06	64.5 9	8.97	111.06	48.5 9	- 14.7 7	111.06	62.7 1	- 113. 20	111.06	68.1 2	- 108. 29	111.06	71.6 7	- 157. 56	111.06	63.5 5	- 92.7 7	111.06	67.5 0	- 86.4 3

111.87	65.6 2	- 18.7 3	111.87	74.2 1	119. 56	111.87	64.6 4	2.27	111.87	48.7 2	- 23.2 3	111.87	63.0 5	106. 19	111.87	68.4 7	- 114. 20	111.87	72.0 2	- 165. 06	111.87	63.9 7	- 100. 46	111.87	67.5 7	- 92.5 0
112.68	66.3 2	- 24.6 0	112.68	74.4 3	113. 04	112.68	64.6 9	- 4.43	112.68	48.8 6	- 31.6 6	112.68	63.3 9	99.3 1	112.68	68.8 1	- 120. 07	112.68	72.3 5	- 172. 65	112.68	64.3 6	- 108. 18	112.68	67.6 4	- 98.6 7
113.49	67.0 3	- 30.6 1	113.49	74.6 6	106. 48	113.49	64.7 3	- 11.1 3	113.49	49.0 1	- 39.9 2	113.49	63.7 1	92.5 4	113.49	69.1 4	- 125. 93	113.49	72.6 8	- 179. 72	113.49	64.7 5	- 115. 93	113.49	67.7 0	- 104. 93
114.32	67.7 4	- 36.7 6	114.32	74.9 0	99.8 9	114.32	64.7 6	- 17.8 4	114.32	49.1 5	- 47.9 2	114.32	64.0 2	85.8 5	114.32	69.4 7	- 131. 78	114.32	73.0 0	- 172. 04	114.32	65.1 1	- 123. 71	114.32	67.7 6	- 111. 27
115.14	68.4 6	- 43.0 5	115.14	75.1 3	93.3 0	115.14	64.7 9	- 24.5 8	115.14	49.2 8	- 55.5 6	115.14	64.3 2	79.2 0	115.14	69.7 8	- 137. 61	115.14	73.3 1	- 164. 35	115.14	65.4 6	- 131. 54	115.14	67.8 1	- 117. 71
115.98	69.1 8	- 49.5 0	115.98	75.3 7	86.7 2	115.98	64.8 0	- 31.3 4	115.98	49.3 8	- 62.8 4	115.98	64.6 1	72.5 5	115.98	70.0 9	- 143. 46	115.98	73.6 1	- 156. 67	115.98	65.8 0	- 139. 39	115.98	67.8 5	- 124. 21
116.82	69.9 0	- 56.1 0	116.82	75.6 0	80.1 6	116.82	64.7 9	- 38.1 6	116.82	49.4 5	- 69.7 6	116.82	64.8 8	65.8 9	116.82	70.3 8	- 149. 32	116.82	73.9 1	- 149. 02	116.82	66.1 2	- 147. 26	116.82	67.8 9	- 130. 77
117.67	70.6 2	- 62.8 5	117.67	75.8 4	73.6 4	117.67	64.7 8	- 45.0 1	117.67	49.4 8	- 76.4 1	117.67	65.1 4	59.1 9	117.67	70.6 7	- 155. 19	117.67	74.1 9	- 141. 39	117.67	66.4 4	- 155. 15	117.67	67.9 3	- 137. 37
118.52	71.3 5	- 69.7 5	118.52	76.0 8	67.1 5	118.52	64.7 4	- 51.9 1	118.52	49.4 8	- 82.8 6	118.52	65.3 8	52.4 3	118.52	70.9 4	- 161. 09	118.52	74.4 7	- 133. 81	118.52	66.7 3	- 163. 04	118.52	67.9 5	- 143. 99
119.38	72.0 7	- 76.8 2	119.38	76.3 1	60.6 9	119.38	64.6 8	- 58.8 1	119.38	49.4 4	- 89.2 2	119.38	65.6 2	45.6 3	119.38	71.2 0	- 167. 02	119.38	74.7 3	- 126. 27	119.38	67.0 2	- 170. 92	119.38	67.9 7	- 150. 62
120.24	72.7 9	- 84.0 3	120.24	76.5 4	54.2 6	120.24	64.6 0	- 65.6 9	120.24	49.3 7	- 95.5 8	120.24	65.8 5	38.8 0	120.24	71.4 6	- 172. 96	120.24	74.9 8	- 118. 78	120.24	67.2 9	- 178. 79	120.24	67.9 8	- 157. 26
121.11	73.5 1	- 91.4 1	121.11	76.7 6	47.8 4	121.11	64.4 9	- 72.5 3	121.11	49.2 7	- 102. 03	121.11	66.0 8	31.9 5	121.11	71.7 1	- 178. 91	121.11	75.2 1	- 111. 33	121.11	67.5 5	- 173. 36	121.11	67.9 8	- 163. 89
121.99	74.2 3	- 98.9 6	121.99	76.9 8	41.4 3	121.99	64.3 5	- 79.2 8	121.99	49.1 7	- 108. 63	121.99	66.3 0	25.0 9	121.99	71.9 4	- 175. 14	121.99	75.4 4	- 103. 92	121.99	67.8 0	- 165. 51	121.99	67.9 6	- 170. 53
122.88	74.9 3	- 106. 68	122.88	77.1 9	35.0 1	122.88	64.1 8	- 85.9 1	122.88	49.0 6	- 115. 42	122.88	66.5 1	18.2 4	122.88	72.1 7	- 169. 18	122.88	75.6 5	- 96.5 6	122.88	68.0 3	- 157. 68	122.88	67.9 2	- 177. 18
123.77	75.6 3	- 114. 58	123.77	77.3 9	28.6 0	123.77	63.9 7	- 92.3 9	123.77	48.9 6	- 122. 38	123.77	66.7 3	11.3 9	123.77	72.3 9	- 163. 23	123.77	75.8 5	- 89.2 3	123.77	68.2 5	- 149. 87	123.77	67.8 6	- 176. 16
124.66	76.3 1	- 122. 68	124.66	77.5 8	22.1 7	124.66	63.7 3	- 98.7 0	124.66	48.8 7	- 129. 46	124.66	66.9 4	4.54	124.66	72.6 0	- 157. 29	124.66	76.0 3	- 81.9 4	124.66	68.4 6	- 142. 06	124.66	67.7 9	- 169. 48
125.57	76.9 7	- 130. 99	125.57	77.7 5	15.7 4	125.57	63.4 5	- 104. 83	125.57	48.8 1	- 136. 54	125.57	67.1 4	- 2.31	125.57	72.8 0	- 151. 37	125.57	76.2 0	- 74.6 9	125.57	68.6 6	- 134. 27	125.57	67.6 9	- 162. 78

126.48	77.6 1	- 139. 52	126.48	77.9 2	9.30	126.48	63.1 2	- 110. 78	126.48	48.7 7	- 143. 52	126.48	67.3 4	- 9.16	126.48	72.9 9	145. 45	126.48	76.3 6	67.4 8	126.48	68.8 4	126. 48	126.48	67.5 7	156. 07
127.39	78.2 2	- 148. 28	127.39	78.0 7	2.87	127.39	62.7 6	- 116. 54	127.39	48.7 6	- 150. 30	127.39	67.5 4	- 16.0 2	127.39	73.1 7	139. 55	127.39	76.5 0	60.3 1	127.39	69.0 1	118. 71	127.39	67.4 3	149. 37
128.32	78.8 1	- 157. 28	128.32	78.2 1	- 3.57	128.32	62.3 7	- 122. 12	128.32	48.7 8	- 156. 81	128.32	67.7 3	- 22.8 8	128.32	73.3 3	133. 67	128.32	76.6 3	53.1 8	128.32	69.1 6	110. 95	128.32	67.2 6	142. 66
129.25	79.3 6	- 166. 52	129.25	78.3 3	- 10.0 1	129.25	61.9 3	- 127. 55	129.25	48.8 5	- 163. 04	129.25	67.9 2	- 29.7 6	129.25	73.4 9	127. 81	129.25	76.7 4	46.0 9	129.25	69.3 0	103. 20	129.25	67.0 7	135. 97
130.18	79.8 6	- 176. 01	130.18	78.4 4	- 16.4 3	130.18	61.4 7	- 132. 83	130.18	48.9 6	- 169. 04	130.18	68.1 0	- 36.6 6	130.18	73.6 4	121. 97	130.18	76.8 4	39.0 6	130.18	69.4 3	95.4 8	130.18	66.8 5	129. 30
131.13	80.3 2	- 174. 25	131.13	78.5 3	- 22.8 5	131.13	60.9 6	- 137. 98	131.13	49.1 1	- 174. 89	131.13	68.2 9	- 43.5 5	131.13	73.7 8	116. 16	131.13	76.9 3	32.0 8	131.13	69.5 3	87.8 0	131.13	66.5 9	122. 65
132.08	80.7 2	- 164. 27	132.08	78.6 1	- 29.2 4	132.08	60.4 1	- 142. 99	132.08	49.2 9	- 179. 31	132.08	68.4 7	- 50.4 6	132.08	73.9 1	110. 37	132.08	77.0 0	25.1 8	132.08	69.6 3	80.1 5	132.08	66.3 1	116. 02
133.03	81.0 6	- 154. 08	133.03	78.6 8	- 35.6 1	133.03	59.8 3	- 147. 84	133.03	49.4 9	- 173. 48	133.03	68.6 5	- 57.3 5	133.03	74.0 4	104. 62	133.03	77.0 6	18.3 4	133.03	69.7 0	72.5 6	133.03	66.0 0	109. 41
134.00	81.3 2	- 143. 69	134.00	78.7 3	- 41.9 4	134.00	59.2 0	- 152. 52	134.00	49.6 7	- 167. 59	134.00	68.8 3	- 64.2 3	134.00	74.1 5	98.9 1	134.00	77.1 1	11.5 9	134.00	69.7 7	65.0 3	134.00	65.6 5	102. 85
134.97	81.5 2	- 133. 14	134.97	78.7 8	- 48.2 3	134.97	58.5 3	- 156. 98	134.97	49.8 3	- 161. 64	134.97	69.0 0	- 71.0 6	134.97	74.2 6	93.2 2	134.97	77.1 5	4.93	134.97	69.8 2	57.5 7	134.97	65.2 6	96.3 2
135.95	81.6 2	- 122. 48	135.95	78.8 1	- 54.4 6	135.95	57.8 4	- 161. 20	135.95	49.9 5	- 155. 69	135.95	69.1 8	- 77.8 4	135.95	74.3 6	87.5 8	135.95	77.1 9	- 1.64	135.95	69.8 5	50.2 0	135.95	64.8 3	89.8 5
136.93	81.6 5	- 111. 77	136.93	78.8 3	- 60.6 2	136.93	57.1 3	- 165. 17	136.93	50.0 4	- 149. 82	136.93	69.3 4	- 84.5 4	136.93	74.4 5	81.9 8	136.93	77.2 2	- 8.11	136.93	69.8 7	42.9 2	136.93	64.3 6	83.4 5
137.92	81.5 8	- 101. 08	137.92	78.8 4	- 66.7 1	137.92	56.4 2	- 168. 92	137.92	50.0 9	- 144. 13	137.92	69.5 0	- 91.1 4	137.92	74.5 4	76.4 2	137.92	77.2 4	- 14.4 7	137.92	69.8 8	35.7 5	137.92	63.8 4	77.1 4
138.92	81.4 2	- 90.4 6	138.92	78.8 4	- 72.7 2	138.92	55.7 3	- 172. 51	138.92	50.1 1	- 138. 73	138.92	69.6 6	- 97.6 4	138.92	74.6 1	70.9 3	138.92	77.2 7	- 20.7 2	138.92	69.8 8	28.7 0	138.92	63.2 9	70.9 1
139.93	81.1 8	- 79.9 7	139.93	78.8 3	- 78.6 4	139.93	55.1 0	- 176. 08	139.93	50.1 2	- 133. 72	139.93	69.8 1	- 104. 03	139.93	74.6 8	65.5 0	139.93	77.2 9	- 26.8 7	139.93	69.8 7	21.7 9	139.93	62.6 9	64.7 9
140.94	80.8 5	- 69.6 8	140.94	78.8 2	- 84.4 7	140.94	54.5 4	- 179. 79	140.94	50.1 4	- 129. 20	140.94	69.9 6	- 110. 30	140.94	74.7 4	60.1 5	140.94	77.3 2	- 32.9 0	140.94	69.8 5	15.0 3	140.94	62.0 5	58.7 8
141.96	80.4 5	- 59.6 3	141.96	78.8 0	- 90.1 9	141.96	54.0 8	- 176. 21	141.96	50.2 0	- 125. 26	141.96	70.1 1	- 116. 48	141.96	74.8 0	54.9 0	141.96	77.3 5	- 38.8 1	141.96	69.8 3	8.42	141.96	61.3 7	52.9 0

142.99	79.9 8	49.8 4	142.99	78.7 8	- 95.8 2	142.99	53.7 1	171. 78	142.99	50.3 2	121. 91	142.99	70.2 5	- 122. 56	142.99	74.8 4	49.7 5	142.99	77.3 9	- 44.6 1	142.99	69.8 1	1.96	142.99	60.6 8	47.1 7
144.03	79.4 5	40.3 4	144.03	78.7 5	- 101. 34	144.03	53.4 4	166. 85	144.03	50.5 3	119. 11	144.03	70.3 9	- 128. 54	144.03	74.8 8	44.7 2	144.03	77.4 3	- 50.3 1	144.03	69.7 9	- 4.36	144.03	59.9 7	41.6 3
145.07	78.8 6	31.1 4	145.07	78.7 3	- 106. 78	145.07	53.2 4	161. 37	145.07	50.8 3	116. 72	145.07	70.5 4	- 134. 45	145.07	74.9 2	39.8 1	145.07	77.4 8	- 55.9 2	145.07	69.7 7	- 10.5 7	145.07	59.2 7	36.3 3
146.12	78.2 3	22.2 4	146.12	78.7 0	- 112. 14	146.12	53.1 0	155. 31	146.12	51.2 3	114. 50	146.12	70.6 8	- 140. 27	146.12	74.9 5	35.0 2	146.12	77.5 3	- 61.4 5	146.12	69.7 5	- 16.7 0	146.12	58.6 1	31.4 2
147.18	77.5 6	13.6 4	147.18	78.6 8	- 117. 43	147.18	52.9 8	148. 70	147.18	51.7 3	112. 20	147.18	70.8 2	- 146. 00	147.18	74.9 8	30.3 5	147.18	77.5 8	- 66.9 3	147.18	69.7 4	- 22.8 0	147.18	58.0 4	27.2 5
148.25	76.8 5	5.33	148.25	78.6 6	- 122. 68	148.25	52.8 8	141. 55	148.25	52.3 1	109. 59	148.25	70.9 6	- 151. 66	148.25	75.0 0	25.7 8	148.25	77.6 2	- 72.3 8	148.25	69.7 3	- 28.9 0	148.25	57.5 9	25.0 2
149.32	76.1 2	- 2.70	149.32	78.6 4	- 127. 89	149.32	52.8 0	133. 93	149.32	52.9 3	106. 57	149.32	71.1 0	- 157. 23	149.32	75.0 2	21.3 1	149.32	77.6 6	- 77.8 0	149.32	69.7 3	- 35.0 4	149.32	57.3 3	32.2 5

Anexo 2 Ensayo de determinación geométrica del panel comparando radio y cantidad de círculos

SIN MUESTRA			MUESTRA R (4.2)			MUESTRA R(3.10)			MUESTRA R(2.4)		
FRECUENCIA (Hz)	SPL (dB)	FASES	FRECUENCIA (Hz)	SPL (dB)	FASES	FRECUENCIA (Hz)	SPL (dB)	FASES	FRECUENCIA (Hz)	SPL (dB)	FASES
80.20	48.56	- 141.97	80.20	30.87	112.20	80.20	41.62	-47.40	80.20	44.40	-85.55
80.78	49.22	- 149.55	80.78	31.00	110.57	80.78	42.52	-54.39	80.78	44.65	-90.04
81.37	49.99	- 157.84	81.37	31.21	109.76	81.37	43.55	-61.64	81.37	44.96	-95.31
81.96	50.81	- 166.32	81.96	31.50	109.79	81.96	44.63	-69.11	81.96	45.31	- 101.19
82.55	51.62	- 174.70	82.55	31.91	110.59	82.55	45.71	-76.80	82.55	45.66	- 107.51
83.15	52.40	177.12	83.15	32.45	111.93	83.15	46.77	-84.70	83.15	46.00	- 114.12

83.75	53.13	169.17	83.75	33.10	113.41	83.75	47.78	-92.82	83.75	46.30	- 120.91
84.36	53.78	161.42	84.36	33.87	114.50	84.36	48.74	- 101.11	84.36	46.56	- 127.77
84.97	54.36	153.84	84.97	34.71	114.72	84.97	49.65	- 109.53	84.97	46.75	- 134.61
85.58	54.85	146.37	85.58	35.61	113.82	85.58	50.48	- 118.00	85.58	46.87	- 141.36
86.21	55.24	139.00	86.21	36.55	111.78	86.21	51.25	- 126.44	86.21	46.91	- 147.95
86.83	55.54	131.68	86.83	37.50	108.80	86.83	51.94	- 134.75	86.83	46.87	- 154.33
87.46	55.74	124.39	87.46	38.45	105.17	87.46	52.56	- 142.84	87.46	46.74	- 160.46
88.09	55.85	117.10	88.09	39.41	101.19	88.09	53.10	- 150.67	88.09	46.53	- 166.33
88.73	55.86	109.78	88.73	40.36	97.11	88.73	53.58	- 158.18	88.73	46.24	- 171.94
89.37	55.79	102.38	89.37	41.32	93.08	89.37	53.99	- 165.39	89.37	45.87	- 177.33
90.02	55.65	94.85	90.02	42.29	89.24	90.02	54.34	- 172.32	90.02	45.42	177.42
90.67	55.45	87.16	90.67	43.26	85.62	90.67	54.64	- 179.04	90.67	44.93	172.19
91.33	55.22	79.25	91.33	44.25	82.21	91.33	54.90	174.38	91.33	44.38	166.82
91.99	54.98	71.12	91.99	45.26	78.93	91.99	55.11	167.84	91.99	43.82	161.09
92.66	54.77	62.77	92.66	46.28	75.67	92.66	55.30	161.25	92.66	43.27	154.79
93.33	54.61	54.28	93.33	47.30	72.27	93.33	55.47	154.53	93.33	42.75	147.71
94.01	54.53	45.76	94.01	48.32	68.56	94.01	55.62	147.62	94.01	42.30	139.74
94.69	54.57	37.35	94.69	49.32	64.41	94.69	55.75	140.48	94.69	41.96	130.96
95.37	54.72	29.21	95.37	50.30	59.76	95.37	55.88	133.10	95.37	41.74	121.65
96.07	54.97	21.45	96.07	51.23	54.61	96.07	55.99	125.53	96.07	41.64	112.22

116.74	71.51	- 123.63	116.74	67.57	-39.04	116.74	60.34	-49.63	116.74	56.47	- 105.22
117.59	72.17	- 131.26	117.59	68.14	-43.80	117.59	60.41	-59.01	117.59	56.71	- 113.88
118.44	72.78	- 138.93	118.44	68.69	-48.59	118.44	60.46	-68.12	118.44	56.92	- 122.73
119.30	73.34	- 146.65	119.30	69.20	-53.36	119.30	60.50	-76.78	119.30	57.10	- 131.98
120.16	73.86	- 154.42	120.16	69.67	-58.09	120.16	60.54	-84.81	120.16	57.26	- 141.87
121.04	74.33	- 162.26	121.04	70.09	-62.77	121.04	60.62	-92.00	121.04	57.42	- 152.70
121.91	74.75	- 170.16	121.91	70.48	-67.37	121.91	60.75	-98.22	121.91	57.59	- 164.77
122.80	75.13	- 178.15	122.80	70.81	-71.87	122.80	60.96	- 103.42	122.80	57.77	- 178.33
123.69	75.48	173.79	123.69	71.10	-76.27	123.69	61.26	- 107.76	123.69	57.98	166.60
124.58	75.80	165.64	124.58	71.34	-80.54	124.58	61.67	- 111.60	124.58	58.21	150.41
125.48	76.10	157.43	125.48	71.53	-84.66	125.48	62.16	- 115.42	125.48	58.45	133.82
126.39	76.38	149.14	126.39	71.67	-88.62	126.39	62.71	- 119.66	126.39	58.68	117.65
127.31	76.65	140.78	127.31	71.78	-92.39	127.31	63.29	- 124.57	127.31	58.89	102.40
128.23	76.92	132.37	128.23	71.86	-95.98	128.23	63.88	- 130.23	128.23	59.07	88.18
129.16	77.19	123.91	129.16	71.91	-99.38	129.16	64.44	- 136.58	129.16	59.20	74.80
130.10	77.46	115.43	130.10	71.94	- 102.64	130.10	64.96	- 143.50	130.10	59.26	61.98

131.04	77.73	106.95	131.04	71.96	- 105.79	131.04	65.42	- 150.87	131.04	59.25	49.38
131.99	77.98	98.51	131.99	71.97	- 108.90	131.99	65.81	- 158.59	131.99	59.18	36.65
132.95	78.22	90.12	132.95	71.97	- 112.02	132.95	66.11	- 166.56	132.95	59.03	23.22
133.91	78.43	81.80	133.91	71.95	- 115.20	133.91	66.34	- 174.72	133.91	58.83	7.70
134.88	78.60	73.57	134.88	71.93	- 118.46	134.88	66.49	176.99	134.88	58.59	-15.42
135.86	78.72	65.41	135.86	71.88	- 121.83	135.86	66.55	168.60	135.86	58.31	-77.70
136.84	78.79	57.35	136.84	71.82	- 125.33	136.84	66.54	160.15	136.84	58.00	- 150.51
137.83	78.80	49.39	137.83	71.73	- 128.94	137.83	66.46	151.63	137.83	57.69	- 175.21
138.83	78.74	41.53	138.83	71.60	- 132.66	138.83	66.30	143.02	138.83	57.38	170.65
139.84	78.62	33.79	139.84	71.43	- 136.47	139.84	66.08	134.29	139.84	57.07	159.71
140.85	78.42	26.19	140.85	71.20	- 140.35	140.85	65.79	125.40	140.85	56.75	150.17
141.87	78.16	18.71	141.87	70.91	- 144.23	141.87	65.44	116.30	141.87	56.43	141.34
142.90	77.81	11.38	142.90	70.56	- 148.08	142.90	65.03	106.97	142.90	56.09	132.87
143.94	77.40	4.19	143.94	70.15	- 151.81	143.94	64.56	97.36	143.94	55.74	124.58
144.98	76.91	-2.88	144.98	69.67	- 155.36	144.98	64.04	87.45	144.98	55.38	116.33
146.03	76.36	-9.83	146.03	69.14	- 158.64	146.03	63.46	77.26	146.03	55.00	108.06

147.09	75.74	-16.68	147.09	68.57	- 161.57	147.09	62.85	66.77	147.09	54.62	99.74
148.15	75.07	-23.46	148.15	67.96	- 164.08	148.15	62.21	56.03	148.15	54.24	91.34
149.23	74.35	-30.18	149.23	67.33	- 166.12	149.23	61.54	45.04	149.23	53.87	82.86
150.31	73.59	-36.87	150.31	66.68	- 167.69	150.31	60.86	33.84	150.31	53.50	74.31
151.40	72.80	-43.54	151.40	66.05	- 168.81	151.40	60.18	22.47	151.40	53.14	65.68
152.49	72.00	-50.20	152.49	65.43	- 169.51	152.49	59.53	10.96	152.49	52.80	57.02
153.60	71.21	-56.83	153.60	64.84	- 169.84	153.60	58.92	-0.62	153.60	52.47	48.39
154.71	70.43	-63.40	154.71	64.31	- 169.74	154.71	58.39	-12.20	154.71	52.15	39.86
155.83	69.72	-69.82	155.83	63.84	- 169.09	155.83	57.95	-23.68	155.83	51.82	31.55
156.96	69.08	-76.00	156.96	63.47	- 167.57	156.96	57.65	-34.93	156.96	51.48	23.55
158.10	68.57	-81.84	158.10	63.20	- 164.66	158.10	57.51	-45.86	158.10	51.13	15.97
159.25	68.21	-87.26	159.25	63.07	- 159.64	159.25	57.53	-56.39	159.25	50.76	8.88
160.40	68.02	-92.24	160.40	63.08	- 151.87	160.40	57.72	-66.51	160.40	50.37	2.34
161.56	68.01	-96.85	161.56	63.25	- 141.58	161.56	58.04	-76.28	161.56	49.97	-3.55
162.73	68.17	- 101.23	162.73	63.57	- 130.73	162.73	58.48	-85.79	162.73	49.59	-8.68
163.91	68.47	- 105.56	163.91	64.02	- 121.94	163.91	58.98	-95.18	163.91	49.24	-12.83

165.10	68.87	- 110.01	165.10	64.56	- 116.52	165.10	59.53	- 104.58	165.10	48.97	-15.71
166.30	69.32	- 114.70	166.30	65.16	- 114.23	166.30	60.09	- 114.12	166.30	48.82	-16.86
167.50	69.80	- 119.70	167.50	65.77	- 114.32	167.50	60.63	- 123.87	167.50	48.81	-15.82
168.72	70.28	- 125.01	168.72	66.39	- 116.09	168.72	61.14	- 133.88	168.72	48.96	-12.34
169.94	70.73	- 130.59	169.94	66.97	- 119.04	169.94	61.61	- 144.15	169.94	49.26	-6.85
171.17	71.15	- 136.37	171.17	67.51	- 122.86	171.17	62.02	- 154.67	171.17	49.67	-0.66
172.41	71.52	- 142.29	172.41	67.99	- 127.33	172.41	62.37	- 165.41	172.41	50.16	4.70
173.66	71.85	- 148.26	173.66	68.41	- 132.37	173.66	62.67	- 176.33	173.66	50.68	8.26
174.92	72.12	- 154.24	174.92	68.76	- 137.90	174.92	62.90	172.60	174.92	51.18	9.85
176.19	72.34	- 160.17	176.19	69.04	- 143.93	176.19	63.08	161.43	176.19	51.62	9.72
177.46	72.51	- 166.00	177.46	69.25	- 150.45	177.46	63.20	150.17	177.46	51.99	8.23
178.75	72.62	- 171.71	178.75	69.39	- 157.48	178.75	63.28	138.85	178.75	52.24	5.66
180.04	72.67	- 177.26	180.04	69.46	- 165.06	180.04	63.32	127.47	180.04	52.38	2.23

Anexo 3 Valores acústicos de prueba del panel final

MUESTREO 1			MUESTREO 2			MUESTREO 3		
FRECUENCIA (Hz)	SPL (dB)	FASES	FRECUENCIA (Hz)	SPL (dB)	FASES	FRECUENCIA (Hz)	SPL (dB)	FASES
80.20	34.45	-85.09	80.20	35.76	82.37	80.20	40.08	-76.80

80.78	35.21	-95.79	80.78	36.73	16.78	80.78	40.86	-135.51
81.37	36.11	-106.59	81.37	37.82	-49.37	81.37	41.76	161.60
81.96	37.07	-117.58	81.96	38.97	-116.36	81.96	42.72	81.12
82.55	38.06	-128.83	82.55	40.12	175.80	82.55	43.68	-46.51
83.15	39.05	-140.29	83.15	41.25	107.25	83.15	44.64	-130.35
83.75	40.03	-151.72	83.75	42.35	38.22	83.75	45.55	169.88
84.36	40.97	-162.55	84.36	43.40	-31.08	84.36	46.43	117.26
84.97	41.89	-171.69	84.97	44.39	-100.50	84.97	47.25	68.34
85.58	42.76	-176.72	85.58	45.32	-169.94	85.58	48.03	21.37
86.21	43.59	-172.26	86.21	46.18	120.65	86.21	48.75	-25.17
86.83	44.39	-154.24	86.83	46.96	51.29	86.83	49.41	-72.18
87.46	45.13	-140.26	87.46	47.66	-18.04	87.46	50.03	-119.40
88.09	45.84	-141.46	88.09	48.27	-87.41	88.09	50.59	-165.09
88.73	46.50	-151.66	88.73	48.79	-156.92	88.73	51.09	154.49
89.37	47.11	-166.42	89.37	49.22	133.24	89.37	51.53	123.62
90.02	47.66	176.18	90.02	49.57	62.76	90.02	51.92	95.53
90.67	48.15	157.04	90.67	49.84	-8.84	90.67	52.23	56.83
91.33	48.57	136.63	91.33	50.05	-82.28	91.33	52.47	8.27
91.99	48.90	115.27	91.99	50.22	-158.62	91.99	52.64	-45.51
92.66	49.15	93.16	92.66	50.37	120.65	92.66	52.71	-101.60
93.33	49.31	70.47	93.33	50.51	33.93	93.33	52.70	-157.98
94.01	49.37	47.32	94.01	50.67	-58.78	94.01	52.60	147.44
94.69	49.33	23.82	94.69	50.86	-153.65	94.69	52.43	97.34
95.37	49.20	0.08	95.37	51.08	113.96	95.37	52.17	53.13
96.07	49.00	-23.76	96.07	51.31	25.13	96.07	51.85	9.05
96.76	48.75	-47.53	96.76	51.55	-61.13	96.76	51.47	-42.92
97.46	48.44	-70.99	97.46	51.76	-145.83	97.46	51.02	-103.22
98.17	48.10	-93.89	98.17	51.93	130.40	98.17	50.53	-169.09
98.88	47.73	-116.02	98.88	52.03	47.18	98.88	49.99	121.73

99.60	47.34	-137.25	99.60	52.04	-35.82	99.60	49.41	50.65
100.32	46.94	-157.50	100.32	51.95	-118.92	100.32	48.82	-21.66
101.05	46.52	-176.76	101.05	51.74	157.46	101.05	48.20	-95.24
101.78	46.09	164.96	101.78	51.41	72.91	101.78	47.59	-170.75
102.52	45.65	147.53	102.52	50.98	-13.02	102.52	47.00	111.17
103.26	45.22	130.80	103.26	50.46	-100.72	103.26	46.43	30.83
104.01	44.80	114.54	104.01	49.86	169.61	104.01	45.90	-50.35
104.76	44.41	98.51	104.76	49.21	77.96	104.76	45.44	-131.12
105.52	44.04	82.44	105.52	48.53	-15.31	105.52	45.05	148.90
106.28	43.73	66.12	106.28	47.84	-109.58	106.28	44.76	69.49
107.05	43.48	49.39	107.05	47.18	155.89	107.05	44.58	-9.62
107.83	43.32	32.14	107.83	46.59	61.77	107.83	44.51	-88.51
108.61	43.24	14.31	108.61	46.09	-31.55	108.61	44.55	-167.17
109.40	43.27	-4.14	109.40	45.72	-123.94	109.40	44.69	114.53
110.19	43.41	-23.30	110.19	45.47	144.44	110.19	44.91	36.72
110.99	43.65	-43.36	110.99	45.37	53.22	110.99	45.20	-40.38
111.79	44.00	-64.82	111.79	45.40	-38.09	111.79	45.56	-116.58
112.60	44.45	-88.79	112.60	45.55	-130.00	112.60	45.98	168.17
113.42	45.00	-117.72	113.42	45.83	137.00	113.42	46.46	93.43
114.24	45.63	-156.67	114.24	46.21	42.58	114.24	46.99	18.30
115.07	46.32	151.63	115.07	46.68	-53.46	115.07	47.55	-58.04
115.90	47.06	103.09	115.90	47.23	-151.17	115.90	48.13	-135.86
116.74	47.83	67.38	116.74	47.82	109.45	116.74	48.73	145.03
117.59	48.61	39.32	117.59	48.43	8.36	117.59	49.32	64.96
118.44	49.39	14.78	118.44	49.05	-94.49	118.44	49.89	-15.81
119.30	50.15	-8.20	119.30	49.67	160.87	119.30	50.43	-97.22
120.16	50.87	-30.72	120.16	50.26	54.57	120.16	50.92	-179.33
121.04	51.55	-53.55	121.04	50.82	-53.00	121.04	51.36	97.73
121.91	52.16	-77.40	121.91	51.33	-161.33	121.91	51.72	13.87

122.80	52.70	-102.95	122.80	51.78	90.05	122.80	52.01	-70.94
123.69	53.16	-130.81	123.69	52.15	-18.64	123.69	52.21	-156.64
124.58	53.55	-161.26	124.58	52.44	-127.39	124.58	52.34	116.85
125.48	53.85	166.25	125.48	52.65	123.69	125.48	52.42	29.54
126.39	54.09	133.20	126.39	52.79	14.49	126.39	52.46	-58.67
127.31	54.27	101.31	127.31	52.87	-95.02	127.31	52.49	-148.09
128.23	54.41	71.51	128.23	52.90	155.24	128.23	52.54	120.65
129.16	54.53	43.81	129.16	52.92	45.31	129.16	52.63	26.76
130.10	54.61	17.78	130.10	52.93	-64.77	130.10	52.76	-70.25
131.04	54.66	-7.09	131.04	52.94	-175.19	131.04	52.94	-170.02
131.99	54.68	-31.25	131.99	52.96	73.72	131.99	53.15	88.87
132.95	54.67	-55.06	132.95	52.97	-38.50	132.95	53.38	-11.99
133.91	54.62	-78.82	133.91	52.98	-152.12	133.91	53.63	-111.76
134.88	54.53	-102.77	134.88	52.96	92.98	134.88	53.87	149.79
135.86	54.41	-127.12	135.86	52.90	-22.74	135.86	54.11	52.79
136.84	54.24	-152.09	136.84	52.82	-138.49	136.84	54.32	-42.26
137.83	54.04	-178.02	137.83	52.69	106.64	137.83	54.52	-134.23
138.83	53.80	154.38	138.83	52.53	-6.65	138.83	54.71	139.16
139.84	53.52	123.16	139.84	52.33	-118.26	139.84	54.88	61.13
140.85	53.20	81.13	140.85	52.11	130.83	140.85	55.05	-10.16
141.87	52.85	5.18	141.87	51.87	18.77	141.87	55.19	-86.00
142.90	52.47	-66.89	142.90	51.61	-96.06	142.90	55.32	-170.96
143.94	52.05	-107.18	143.94	51.34	145.76	143.94	55.40	97.89
144.98	51.63	-137.96	144.98	51.06	24.46	144.98	55.44	3.23
146.03	51.19	-165.61	146.03	50.80	-99.41	146.03	55.43	-93.49
147.09	50.76	167.86	147.09	50.54	134.79	147.09	55.35	168.49
148.15	50.34	141.45	148.15	50.32	7.56	148.15	55.21	69.60
149.23	49.95	114.34	149.23	50.15	-120.93	149.23	55.01	-29.87
150.31	49.61	85.66	150.31	50.03	109.18	150.31	54.76	-129.69

151.40	49.33	54.52	151.40	50.00	-22.41	151.40	54.45	130.46
152.49	49.11	20.33	152.49	50.05	-155.79	152.49	54.10	30.99
153.60	48.99	-16.54	153.60	50.19	69.17	153.60	53.73	-67.78
154.71	48.95	-54.16	154.71	50.40	-67.29	154.71	53.36	-166.15
155.83	49.03	-90.16	155.83	50.69	154.99	155.83	53.01	94.39
156.96	49.23	-123.31	156.96	51.04	16.08	156.96	52.72	-8.63
158.10	49.56	-153.75	158.10	51.45	-124.09	158.10	52.51	-118.10
159.25	50.03	177.79	159.25	51.92	94.33	159.25	52.44	119.55

Anexo 4 Pruebas de Análisis estadístico usando SPSS

EXAMINE VARIABLES=SPL(dB) BY TIPO_PANEL
/FLOT BOXPLOT HISTOGRAM NFPLOT
/COMPARE GROUPS
/STATISTICS DESCRIPTIVES
/CINTERVAL 95
/MISSING LISTWISE
/NOTOTAL.

Explorar

TIPO_PANEL

Resumen de procesamiento de casos

TIPO_PANEL	Válido		Perdidos		Total	
	N	Porcentaje	N	Porcentaje	N	Porcentaje
SPL (dB) SIN_PANELES_1	96	100,0%	0	0,0%	96	100,0%
SIN_PANELES_2	96	100,0%	0	0,0%	96	100,0%
SIN_PANELES_3	96	100,0%	0	0,0%	96	100,0%
MUESTREO_1	96	100,0%	0	0,0%	96	100,0%
MUESTREO_2	96	100,0%	0	0,0%	96	100,0%
MUESTREO_3	96	100,0%	0	0,0%	96	100,0%

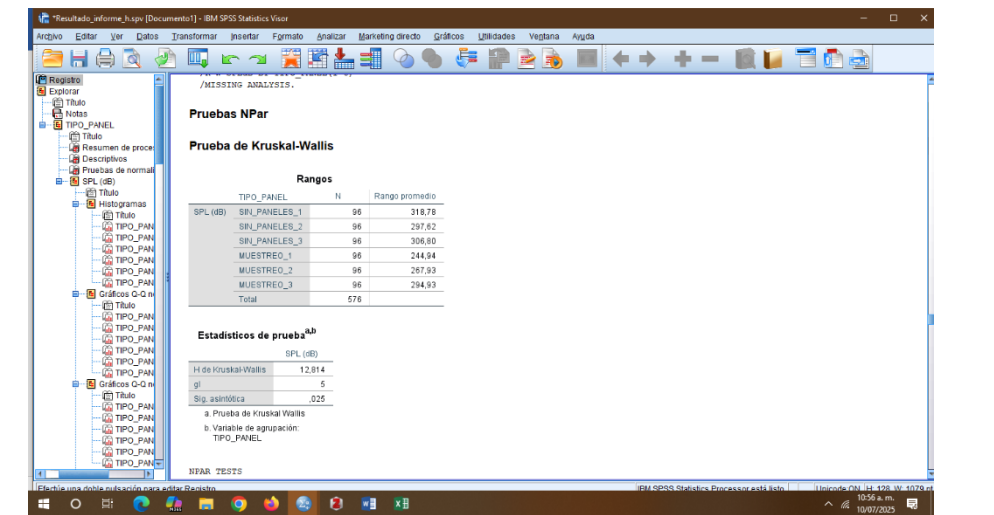
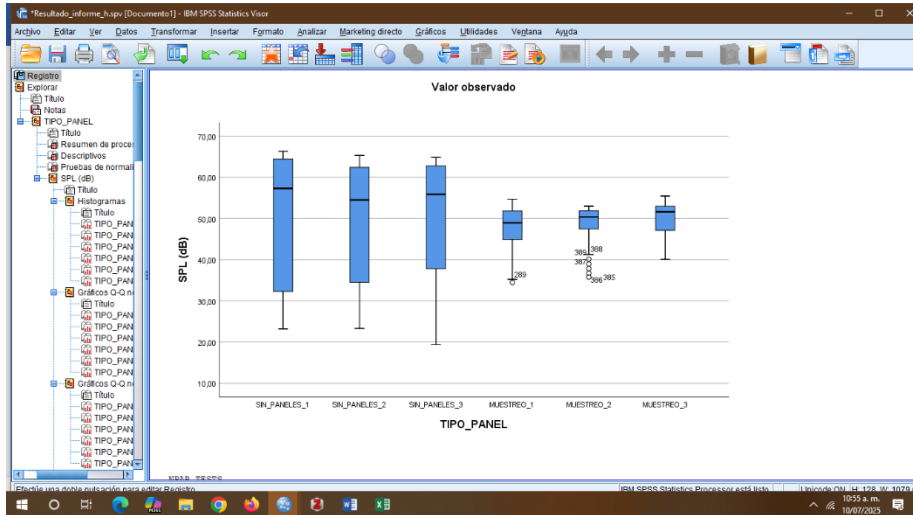
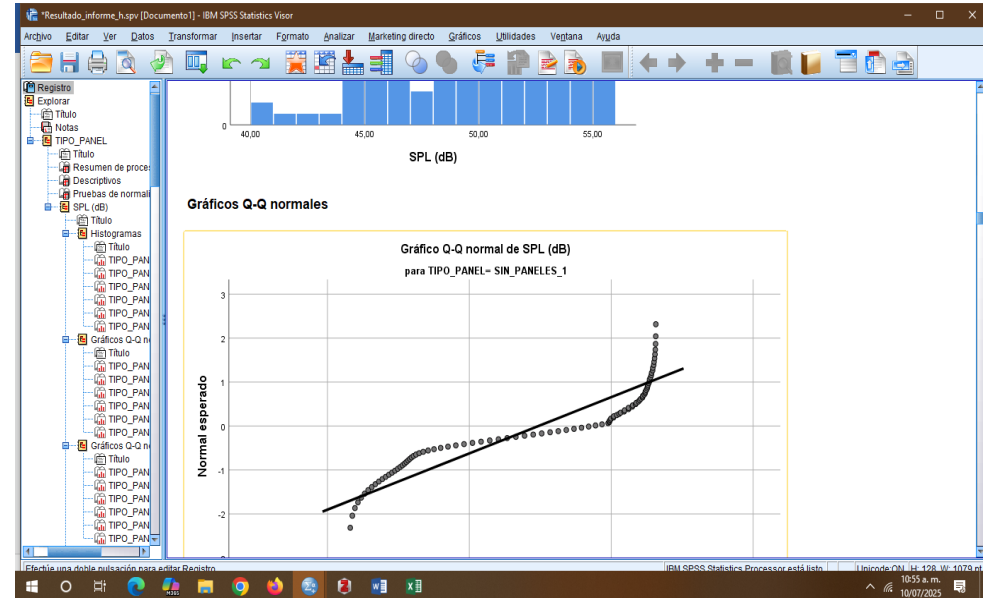
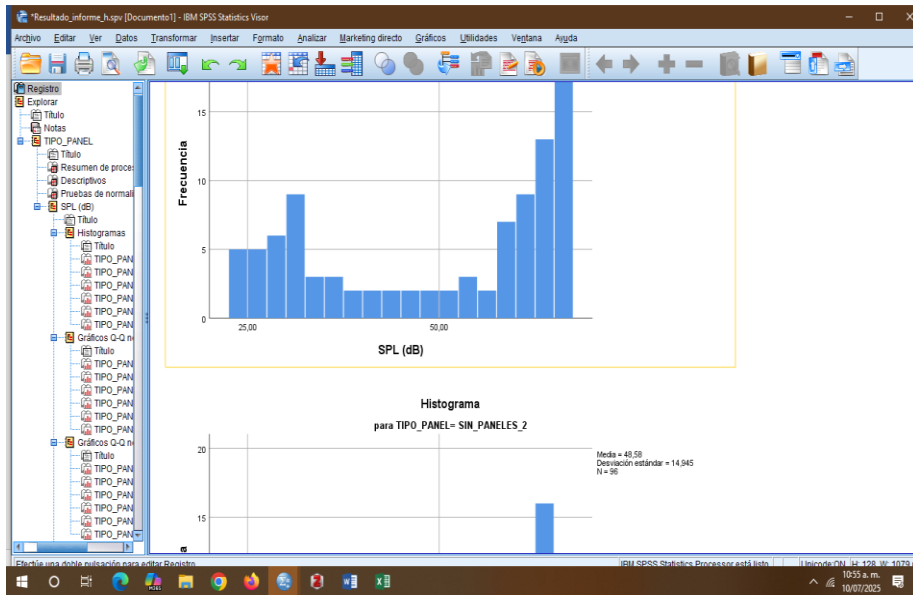
Descriptivos

TIPO_PANEL	Estadístico	Error estándar
SPL (dB) SIN_PANELES_1	Media	49,7426
	95% de intervalo de confianza para la media	
	Limite inferior	46,5763
	Limite superior	52,9088
	Media recortada al 5%	50,2619
	Mediana	57,3040
	Varianza	244,191
	Desviación estándar	15,62660
	Mínimo	23,21
	Máximo	66,29
	Rango	43,07
	Rango intercuantil	32,22
	Asimetría	-1,421
	Error estándar	,246
	Curstosis	-1,526
	Error estándar	,488
SIN_PANELES_2	Media	48,5792
	95% de intervalo de confianza para la media	
	Limite inferior	45,5511
	Limite superior	51,6073
	Media recortada al 5%	49,0351
	Mediana	54,4980
	Varianza	223,344

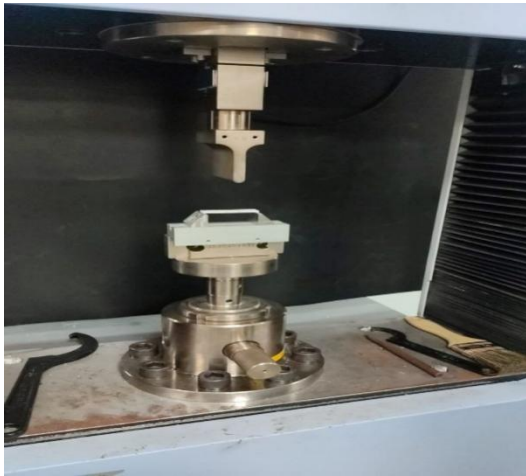
SIN_PANELES_2	96	100,0%	0	0,0%	96	100,0%
SIN_PANELES_3	96	100,0%	0	0,0%	96	100,0%
MUESTREO_1	96	100,0%	0	0,0%	96	100,0%
MUESTREO_2	96	100,0%	0	0,0%	96	100,0%
MUESTREO_3	96	100,0%	0	0,0%	96	100,0%

Descriptivos

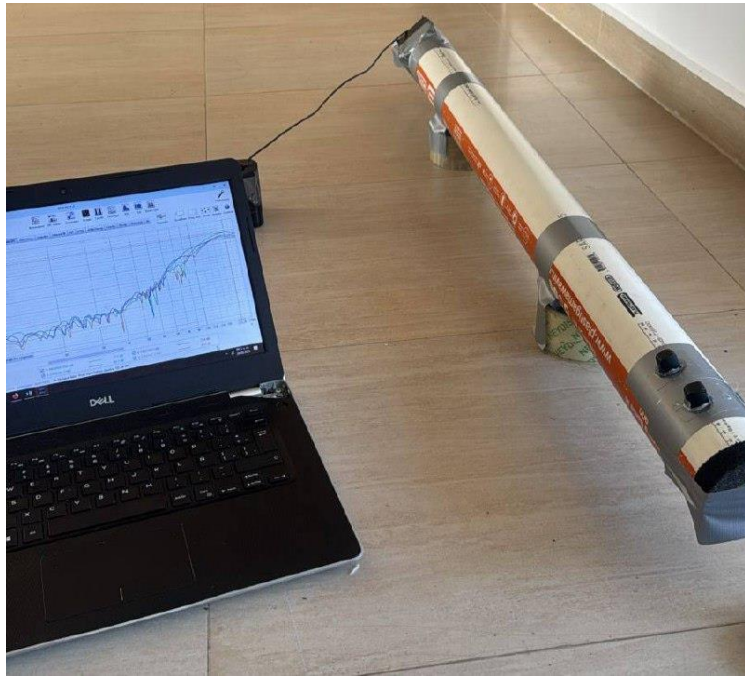
TIPO_PANEL	Estadístico	Error estándar
SPL (dB) SIN_PANELES_1	Media	49,7426
	95% de intervalo de confianza para la media	
	Limite inferior	46,5763
	Limite superior	52,9088
	Media recortada al 5%	50,2619
	Mediana	57,3040
	Varianza	244,191
	Desviación estándar	15,62660
	Mínimo	23,21
	Máximo	66,29
	Rango	43,07
	Rango intercuantil	32,22
	Asimetría	-1,421
	Error estándar	,246
	Curstosis	-1,526
	Error estándar	,488
SIN_PANELES_2	Media	48,5792
	95% de intervalo de confianza para la media	
	Limite inferior	45,5511
	Limite superior	51,6073
	Media recortada al 5%	49,0351
	Mediana	54,4980
	Varianza	223,344



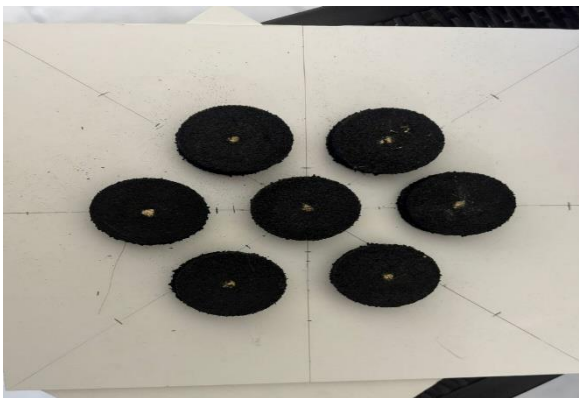
Anexo 5 Pruebas Mecánicas de los materiales



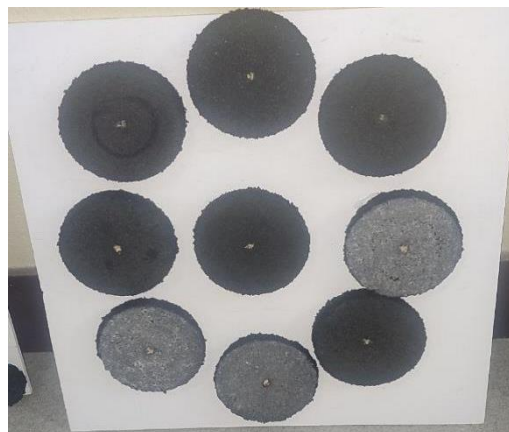
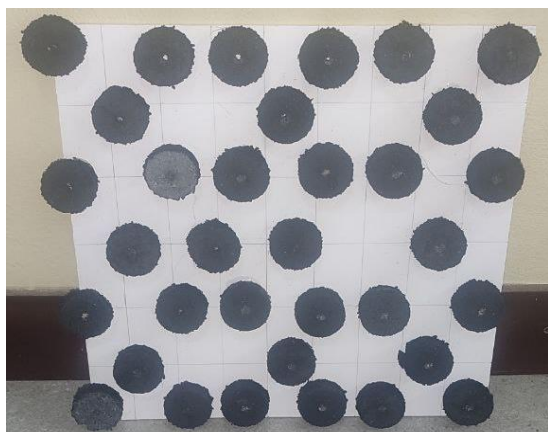
Anexo 6 Pruebas acústicas de los materiales (Método tubo de impedancia y Room EQ Wizard)



Anexo 7 Evaluaciones para selección del diseño del panel final (ángulo, distribución y tamaño de la muestra)



Anexo 8 Selección del diseño final por radio.



Anexo 9 Evaluaciones acústicas y mecánicas del modelo final

