

**MEJORAMIENTO DE LAS CONDICIONES DE CONFORT ACÚSTICO PARA VIVIENDA MEDIANTE PANELES
FABRICADOS A PARTIR DE RESIDUO TEXTIL**

Wilber Mejía Berrios, Brayan Nicolás Rodríguez Leyton



UNIVERSIDAD
La Gran Colombia

Vigilada MINEDICACIÓN

Arquitectura, Facultad Arquitectura

Universidad La Gran Colombia

Bogotá

2024

Mejoramiento de las condiciones de confort acústica para vivienda mediante paneles fabricados a partir de residuo textil.

Wilber Mejía Berrios, Brayan Nicolás Rodríguez Leyton

Trabajo de Grado presentado como requisito para optar al título de Arquitecto

Director, Mg, Esp, Arq. Edgar Eduardo Roa Castillo

Asesor, Mg, Arq. Manuel Fernando Martínez Forero



UNIVERSIDAD
La Gran Colombia

Vigilada MINEDUCACIÓN

Arquitectura, Facultad de Arquitectura

Universidad La Gran Colombia

Bogotá

2024

Dedicatoria

Con profundo agradecimiento, dedico este trabajo a mi querida familia. A mis hijos Sarah y Thiago, por su amor, apoyo y comprensión durante las largas jornadas de estudio. Ustedes son mi mayor motivación para ser cada día un mejor hombre. Y a mi abuela Graciela, por su ejemplo de tenacidad y rectitud, tan importante para mí vida. (Wilber Mejía).

Con total alegría y honra, dedico este trabajo de grado al mejor Arquitecto, diseñador y fuente de inspiración durante toda mi vida y mi carrera: a ti, papá Dios.

De igual manera, a mi mamá, cuyo apoyo incondicional y presencia constante me sostuvieron en cada momento difícil de este hermoso proceso. A mis hermanos, quienes con su motivación diaria me impulsaron a seguir adelante. Finalmente, a cada amigo que aportó un granito de arena para lograr este gran triunfo. (Nicolás Leyton).

Agradecimientos

Queremos expresar nuestro agradecimiento a la Universidad y a todos los docentes que han sido parte de nuestra formación académica. De manera especial, agradecemos al director, Mg. Esp. Arq. Edgar Eduardo Roa Castillo, y al asesor, Arq. Mg. en Construcción Manuel Fernando Martínez Forero, por su invaluable orientación, experiencia y conocimiento. Su apoyo constante ha sido fundamental para la consolidación de esta investigación.

También extendemos nuestra gratitud al laboratorio de Bioclimática, cuyo acompañamiento y recursos han sido esenciales durante este proceso.

Tabla de contenido

RESUMEN	10
ABSTRACT	11
INTRODUCCIÓN	12
MARCO CONCEPTUAL	14
CONTAMINACIÓN ACÚSTICA	14
CONFORT ACÚSTICO.....	19
POTENCIAL DE AISLAMIENTO ACÚSTICO	28
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	32
PREGUNTA PROBLEMA.....	34
JUSTIFICACIÓN.....	35
OBJETIVOS	36
OBJETIVO GENERAL	36
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	36
HIPÓTESIS	37
METODOLOGÍA.....	38
DESARROLLO DEL SISTEMA DE AISLAMIENTO ACÚSTICO	43
CAPÍTULO 1 - EVALUACIÓN DE MATERIALES DE RESIDUO INDUSTRIAL	43
CAPÍTULO 2 - CARACTERIZACIÓN DE LOS RESIDUOS TEXTILES	47
ORIGEN DE LOS RESIDUOS TEXTILES	47
IDENTIFICACIÓN DE CONTAMINANTES	48
COMPOSICIÓN DE LOS RESIDUOS TEXTILES.	48

MEJORAMIENTO DE LAS CONDICIONES DE CONFORT ACÚSTICO PARA VIVIENDA MEDIANTE PANELES

FABRICADOS A PARTIR DE RESIDUO TEXTIL

6

SEPARACIÓN POR DENSIDAD Y TAMAÑO	49
CAPÍTULO 3 - CONSOLIDACIÓN DE PROTOTIPO DE PANEL	50
CARACTERIZACIÓN DE LOS RESIDUOS RECOPIADOS DE LA INDUSTRIA TEXTIL	50
ELECCIÓN DE AGLOMERANTES	51
ELABORACIÓN DE MOLDES PARA MUESTRAS Y PROTOTIPOS	53
METODOLOGÍA PARA LA ELABORACIÓN DE MUESTRAS:.....	53
CAPÍTULO 4 - MEDICIÓN DE EFICIENCIA DEL PANEL POR MEDIO DE PRUEBAS DE LABORATORIO	58
PRUEBAS ACÚSTICAS	59
PRUEBAS FÍSICAS	65
PRUEBAS TÉRMICAS	71
PRUEBAS IGNÍFUGAS	73
CAPÍTULO 5 – DESARROLLO DEL SISTEMA CONSTRUCTIVO Y DE MONTAJE	79
1- SISTEMA DE JUNTAS	80
2- SISTEMA DE ANCLAJE A MUROS Y PLACAS	82
CONCLUSIONES.....	85
BIBLIOGRAFÍA	87
ANEXOS	95
1- COSTOS Y PRESUPUESTOS.....	95

Figura 1 <i>Características de la onda</i>	20
Figura 2 <i>Ruido aéreo</i>	21
Figura 3 <i>Transmisión ruido de impacto</i>	22
Figura 4 <i>Reflexión de onda</i>	22
Figura 5 <i>Reverberación de onda</i>	23
Figura 6 <i>Absorción acústica</i>	24
Figura 7 <i>Refracción de onda</i>	24
Figura 8 <i>Aislamiento acústico</i>	26
Figura 9 <i>Niveles aceptables y críticos de ruido</i>	27
Figura 10 <i>Flujograma metodología</i>	38
Figura 11 <i>Recolección de residuo textil pre consumo</i>	47
Figura 12 <i>Textil pre consumo</i>	49
Figura 13 <i>Molde primeras pruebas</i>	53
Figura 14 <i>Muestras de la 1 a la 4</i>	56
Figura 15 <i>Muestra número 8</i>	57
Figura 16 <i>Muestra 6,7,9 y 10</i>	57
Figura 17 <i>Moldes para paneles</i>	58
Figura 18 <i>Caja prueba acústica inicial</i>	60
Figura 19 <i>Caja prueba acústica final</i>	61
Figura 20 <i>Medición de viento con anemómetro</i>	62
Figura 21 <i>Registro fotográfico pruebas acústicas</i>	63
Figura 22 <i>Prensa multi-ensayo</i>	66
Figura 23 <i>Prueba de carga y deformación</i>	67

Figura 24 <i>Prueba de impacto.</i>	69
Figura 25 <i>Resultado prueba esclerómetro.</i>	70
Figura 26 <i>Prueba térmica.</i>	71
Figura 27 <i>Prueba termográfica.</i>	72
Figura 28 <i>Pruebas ignífugas.</i>	77
Figura 29 <i>Resultado pruebas ignífugas.</i>	78
Figura 30 <i>Sistemas de montaje de aislamiento acústico tradicionalmente usados</i>	80
Figura 31 <i>Sistema de ensamble Machi-Hembrado</i>	81
Figura 32 <i>Platinas sistema de anclaje</i>	83
Figura 33 <i>Arranque instalación del sistema</i>	83
Figura 34 <i>Continuidad de instalación del sistema.</i>	84

Lista de tablas

Tabla 1 Cantidad de dB por grupo de uso.....	33
Tabla 2 Principales productores de residuos de material en los procesos de producción industrializada.....	43
Tabla 3 Elección de residuos.	45
Tabla 4 Caracterización residuos textiles.....	51
Tabla 5 Códigos para pruebas	55
Tabla 6 Matriz evaluación de muestras.....	56
Tabla 7 Graficas pruebas acústicas.....	64
Tabla 8 Resumen graficas pruebas acústicas	65
Tabla 9 Resumen pruebas físicas de deformación.	68
Tabla 10 Clasificación del material según su característica de propagación de la llama.....	73
Tabla 11 Clasificación de algunos materiales utilizados para acabados interiores según índice de propagación.	74
Tabla 12 Clasificación requerida del índice de propagación de llama para acabados interiores de acuerdo con el grupo de ocupación de cada edificación.....	75

Resumen

La contaminación acústica representa un desafío significativo en áreas urbanas como Bogotá, donde los límites permitidos por las normativas nacionales e internacionales son sobrepasados, afectando la salud de los residentes de viviendas industrializadas. Estas estructuras presentan deficiencias acústicas adicionales debido a sus materiales de construcción. El objetivo general de esta investigación fue desarrollar un sistema de aislamiento acústico utilizando materiales residuales industriales para mejorar el confort acústico en dichas viviendas.

La metodología adoptada incluyó la caracterización de residuos, la consolidación de prototipos de paneles acústicos y la medición de su eficiencia. Además, se diseñó un sistema de montaje para implementar estos paneles y abordar así la problemática de la contaminación acústica en las viviendas.

Los resultados revelaron que los paneles fabricados con residuos textiles demostraron ser los más eficientes acústicamente, con un buen rendimiento en laboratorios de acústica, resistencia física y comportamiento frente al fuego.

En conclusión, el sistema de aislamiento acústico desarrollado muestra un rendimiento satisfactorio frente a los ruidos extremos de la ciudad y los vecinales. Además, su innovador sistema de montaje optimiza el espacio disponible en las viviendas. Este trabajo representa un avance significativo en la búsqueda de soluciones sostenibles y efectivas para mitigar los efectos nocivos de la contaminación acústica en entornos urbanos.

Palabras clave: Ruido, Contaminación acústica, Confort acústico, vivienda industrializada, residuo textil, aislamiento acústico

Abstract

Noise pollution represents a significant challenge in urban areas such as Bogotá, where the limits allowed by national and international regulations are exceeded, affecting the health of residents of industrialized housing. These structures present additional acoustic deficiencies due to their construction materials. The general objective of this research was to develop an acoustic insulation system using industrial waste materials to improve the acoustic comfort in these dwellings.

The methodology adopted included the characterization of waste, the consolidation of acoustic panel prototypes and the measurement of their efficiency. In addition, an assembly system was designed to implement these panels and thus address the problem of noise pollution in housing.

The results revealed that the panels made from textile waste proved to be the most acoustically efficient, with good performance in acoustics, physical resistance and fire performance laboratories.

In conclusion, the acoustic insulation system developed shows satisfactory performance against extreme city and neighborhood noise. In addition, its innovative mounting system optimizes the available space in the houses. This work represents a significant advance in the search for sustainable and effective solutions to mitigate the harmful effects of noise pollution in urban environments.

Keywords: Noise, Noise pollution, Acoustic comfort, industrialized housing, textile waste, soundproofing, sound insulation

Introducción

“La contaminación acústica es un grave problema ambiental y suele citarse como uno de los principales riesgos ambientales para la salud en todos los grupos de edad y sociales, y una carga adicional para la salud pública.” (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, 2022, p. 8). El constante zumbido de maquinarias, el estruendo del tráfico vehicular y las actividades industriales cercanas se filtran en los hogares, perturbando la tranquilidad y generando un entorno poco propicio para el descanso y el bienestar.

Esta problemática no solo impacta en el confort diario de los habitantes, sino que también tiene consecuencias directas en la salud física y mental de las personas. La exposición prolongada al ruido puede desencadenar una serie de trastornos, desde estrés y dificultades para conciliar el sueño hasta problemas de concentración, además de posibles afectaciones cardiovasculares y auditivas. (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, 2022).

En este contexto, surge la necesidad imperante de encontrar soluciones efectivas que mitiguen los efectos nocivos del ruido en las viviendas industrializadas. En esta investigación, nos proponemos abordar este desafío mediante la implementación de un enfoque cuantitativo y un método de estudio de caso, con el objetivo esencial de desarrollar un sistema de aislamiento acústico que permita mejorar las condiciones de confort en estos entornos.

Este trabajo tiene como objetivo ofrecer al lector una comprensión completa de la contaminación acústica en las viviendas industrializadas y sus impactos negativos en la salud humana. Se llevó a cabo un análisis exhaustivo y estructurado para identificar los principales factores que contribuyen a la propagación del ruido en estos entornos, así como para explorar soluciones potenciales que puedan mitigar este problema.

El desarrollo de un sistema de aislamiento acústico efectivo no solo implica la aplicación de conocimientos técnicos y científicos, sino también una comprensión profunda de las necesidades y demandas de los usuarios finales. Por lo tanto, en el desarrollo de este proyecto se llevará a cabo un detallado análisis a la evaluación de la eficiencia y viabilidad práctica de las soluciones propuestas, con el fin de garantizar su adecuación y aceptación en el contexto de las viviendas industrializadas.

Por último, este trabajo tiene como objetivo encontrar alternativas innovadoras para mejorar la calidad de vida de las personas en entornos afectados por la contaminación acústica mediante el desarrollo de sistemas de aislamiento acústico eficaces y fáciles de usar. Durante el transcurso del documento se desarrollan los objetivos de este estudio, los métodos utilizados y los resultados obtenidos, con la esperanza de contribuir al avance del conocimiento en esta importante área de investigación.

Marco conceptual

El concepto de contaminación acústica se rige como un pilar fundamental en esta investigación sobre el desarrollo de un sistema de aislamiento acústico para viviendas, dado su profundo impacto en la salud física y psicológica de los habitantes. Desde la perspectiva de la salud, la contaminación acústica representa una de las principales amenazas para el bienestar en ambientes residenciales, manifestándose de manera directa en la calidad de vida de las personas; la exposición continua a niveles altos de ruido puede provocar diversos trastornos físicos, así como también tener repercusiones psicológicas (Bizkaia et al., 2018). Por ende, comprender en profundidad el concepto de contaminación acústica desde una perspectiva de salud física y psicológica resulta crucial para el diseño e implementación efectiva de alternativas que fomenten ambientes residenciales más saludables y confortables.

Contaminación acústica

La contaminación acústica, que también se denomina contaminación sonora o ruido ambiental, ha emergido como un desafío cada vez más significativo tanto en entornos urbanos como rurales, este fenómeno se define por la presencia excesiva de ruidos no deseados, que tienen un efecto negativo en la calidad de vida de las personas y en el entorno que las rodea; este exceso de sonidos indeseados daña el bienestar general y crea un ambiente que daña la salud física y mental de las personas. Además, contribuye a la degradación del medio ambiente cercano, lo que tiene una serie de efectos perjudiciales que afectan la armonía y el equilibrio natural (Rodríguez, 2016); agregando a lo anterior, según Bizkaia et al., (2018) estiman que la contaminación acústica es perjudicial para la salud, contribuyendo a problemas como el estrés, la pérdida de sueño y otros trastornos físicos y mentales.

Para comprender la naturaleza de la contaminación acústica, es esencial explorar algunos conceptos fundamentales de la acústica que permiten entender mejor su significado y relación con la arquitectura.

En primer lugar, **el sonido** son ondas mecánicas que se producen cuando un objeto vibra a través de un medio líquido o elástico, dependiendo de su frecuencia, los seres vivos pueden detectar o no estas ondas, algunos sonidos sólo pueden ser escuchados por ciertas especies de animales, mientras que otros pueden ser escuchados por los oídos humanos. Los oídos captan estas ondas sonoras causadas por las fluctuaciones de la presión del aire y las envían al cerebro para su interpretación. Este proceso es esencial para la comunicación verbal humana. (Coluccio, 2022).

Por otro lado, **el ruido**, según Manual técnico acústico, Valero (s.f., p. 7) puede referirse a cualquier tipo de sonido no deseado o molesto que una persona pueda escuchar. Del mismo modo, Martínez (2015, p. 41) propone que el ruido abarca cualquier sonido no deseado o molesto que pueda percibir una persona; la percepción de lo que constituye un ruido no deseado puede ser subjetiva y variar de una persona a otra.

Siguiendo en el contexto del ruido, se pueden identificar dos categorías principales: **el ruido aéreo y el ruido de impacto**. De acuerdo a Bizkaia et al., (2018) el ruido aéreo proviene de vehículos, aviones, trenes y maquinaria industrial, siendo este tipo de ruido habitualmente continuo y perceptible tanto en ambientes exteriores como interiores. De otro modo, el **ruido de impacto** se produce cuando los objetos chocan directamente con la estructura del edificio; los sonidos derivados de los pasos, el cierre de puertas, el uso de herramientas como martillos o incluso el movimiento de muebles son ejemplos de este tipo de ruido. Estos sonidos se propagan a través de la vibración de las estructuras, creando ondas sonoras que atraviesan principalmente paredes y techos (I.R. Acústica, 2023).

Acorde con lo expuesto anteriormente, es pertinente hacer una contextualización sobre la **medición y evaluación del ruido**. Sin embargo, primero para entender la evaluación del ruido, se debe tener claro el concepto de **nivel de presión sonora**, este concepto es una medida cuantitativa que describe la intensidad del sonido en un lugar y momento específicos; se expresa en decibeles (dB) y se calcula mediante un instrumento llamado sonómetro, lo anterior basado en (Pulsar instruments plc, s.f.). Por otra parte, el **decibelio (dB)** es una unidad logarítmica utilizada para medir la intensidad relativa de un sonido. Esta escala logarítmica es fundamental para representar adecuadamente la amplia gama de niveles de presión sonora que el oído humano puede percibir. La fórmula fundamental para encontrar el nivel de presión sonora en decibelios es la siguiente:

$$L_{dB} = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{P}{P_{ref}} \right)$$

Donde:

(L_{dB}) es el nivel de presión sonora en decibelios.

(P) es la presión sonora.

(P_{ref}) es la presión de referencia, comúnmente 20 μPa, que se considera el umbral de la audición humana.

La escala logarítmica de decibeles refleja la apreciación subjetiva del sonido por parte del oído humano y varía desde niveles inaudibles hasta niveles que pueden causar daños auditivos.

Como el decibelio es una unidad logarítmica, las operaciones habituales no se pueden usar para operar con decibelios (suma, resta, etc.) Ejemplo: (Manual técnico acústico, Valero S.f., p.20):

55dB + 55dB No es igual a 110 dB, sino que son 58dB

Considerando lo expuesto anteriormente sobre la evaluación del nivel de presión sonora principalmente en decibelios (dB), y comprendiendo su característica de ser una medida logarítmica. Se puede afirmar que **la medición del ruido** implica determinar objetivamente los niveles de presión sonora en un entorno específico, los sonómetros son herramientas comúnmente empleadas para esta tarea, midiendo los niveles de presión sonora en decibelios (dB) (Svantek Academy, 2023).

De manera que, dichas mediciones suelen llevarse a cabo en la frecuencia (A), que se ajusta para reflejar la sensibilidad del oído humano a diferentes frecuencias; la duración y la variación temporal del ruido son aspectos clave en estas mediciones; esta evaluación puede realizarse tanto a corto plazo, mediante mediciones instantáneas o promedios horarios, como a largo plazo, a través de promedios diarios o mensuales (Miyara, 2006).

En conclusión, la medición del ruido proporciona una valiosa información sobre los niveles de presión sonora en entornos específicos, permitiendo una comprensión más profunda de los problemas de ruido y facilitando su abordaje. Sin embargo, para una gestión efectiva del sonido en un entorno, es necesario ir más allá de la simple medición y adentrarse en el concepto de evaluación de impacto acústico.

En relación con la **evaluación de impacto acústico**, es un proceso integral que va más allá de la medición del ruido en sí misma. incluye el análisis del impacto del ruido en los seres humanos y el medio

ambiente; se utilizan indicadores como el **Leq** (nivel de energía equivalente), que representa el nivel medio de ruido durante un período de tiempo determinado (Svantek Academia, 2023).

Además, se tienen en cuenta otros parámetros como el pico, la frecuencia, la duración y el período máximo del ruido; así mismo, la evaluación de la exposición al ruido también tiene como objetivo identificar comunidades sensibles, como zonas residenciales, escuelas y hospitales, donde la exposición al ruido puede causar efectos graves (Ingeniería CA&CCA, 2018).

En resumen, al combinar la medición del ruido, con la evaluación de impacto acústico, se obtiene una comprensión más completa de los efectos del ruido en un área determinada, esto permite tomar medidas preventivas o correctivas para mitigar los impactos negativos del ruido en la calidad de vida de las personas. Además, proporciona una base sólida para el diseño de políticas y regulaciones que promuevan un entorno acústico más saludable.

Por otra parte, en esta investigación es muy importante explorar el concepto de **confort acústico**, el cual desempeña un papel fundamental en el bienestar tanto físico como psicológico de aquellos que habitan en áreas residenciales. El impacto del ruido en la salud física y mental se refleja directamente en la calidad de vida de las personas; desde esta perspectiva, el confort acústico es una de las consideraciones más importantes en el diseño y la vida en el hogar, ya que el ruido puede causar una variedad de dolencias, por tanto, comprender y solucionar adecuadamente el confort acústico se convierte en el objetivo primordial a la hora de buscar soluciones efectivas para mejorar la calidad de vida del hogar (Oprea, 2021), este concepto justifica plenamente el análisis y desarrollo dentro de la investigación de un sistema de aislamiento acústico.

Confort acústico

El confort acústico incluye todos los aspectos relacionados con la calidad del sonido en el entorno en el que las personas desarrollan sus actividades diarias (Bizkaia et al., 2018). Se trata, en definitiva, de conseguir un equilibrio entre el nivel de ruido que se produce en un determinado espacio y las expectativas individuales o colectivas de sus habitantes; este equilibrio es necesario para crear un ambiente saludable, productivo y agradable. El estudio del confort acústico implica comprender cómo interactúan las ondas sonoras con el entorno construido, teniendo en cuenta su física y propiedades, acorde con (Bañuelos, 2021).

Conforme a lo anterior, es importante comprender la **física de la onda** sonora y cómo se comportan; en primer lugar, según lo dicho por, Pedro (2023) una **onda** se refiere a la transferencia de energía sin mover la materia. Es una perturbación o movimiento que se propaga en un medio específico y, después de pasar, deja ese medio en su estado original. Ahora bien, estas ondas poseen unas características específicas como lo son:

Amplitud: La amplitud se emplea para indicar el tamaño o la altura de una onda. En el Sistema Internacional (SI), la unidad de medida de la amplitud es el metro (m), aunque ocasionalmente también se utiliza el centímetro como medida. (European Acústica, 2024a)

Periodo: La duración de una onda o vibración completa, medida en segundos (s) y representada con la letra T mayúscula, también indica el periodo que una partícula requiere para completar una oscilación entera (Ardizzi, s.f.).

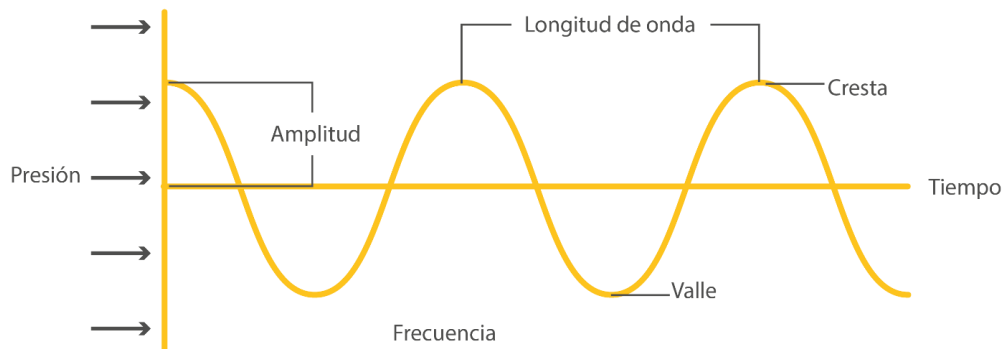
Frecuencia: La frecuencia, representada por la letra (f), es la cantidad de ciclos generados por segundo, se expresa en Hertz (Hz) o ciclos por segundo. Es equivalente al número de oscilaciones que un punto realiza por segundo al ser afectado por las ondas y está inversamente relacionada con el periodo (T) (Ardizzi, s.f.).

Longitud de onda: La longitud de onda se puede describir como la distancia recorrida por una onda durante un intervalo de tiempo T . Esta medida está conectada con la frecuencia f (que es el inverso del período T) a través de la velocidad de propagación del sonido (Ardizzi, s.f.).

Velocidad de propagación del sonido: La densidad y la elasticidad del medio en el que se propaga determinan la velocidad del sonido, siendo el aire el medio más común. En este caso, estas propiedades son afectadas por la presión atmosférica y la temperatura. La velocidad del sonido se estima en alrededor de 345 m/s en condiciones estándar de 1 atmósfera de presión y 22 oC, acorde con (Redonda, 2013).

Figura 1

Características de la onda



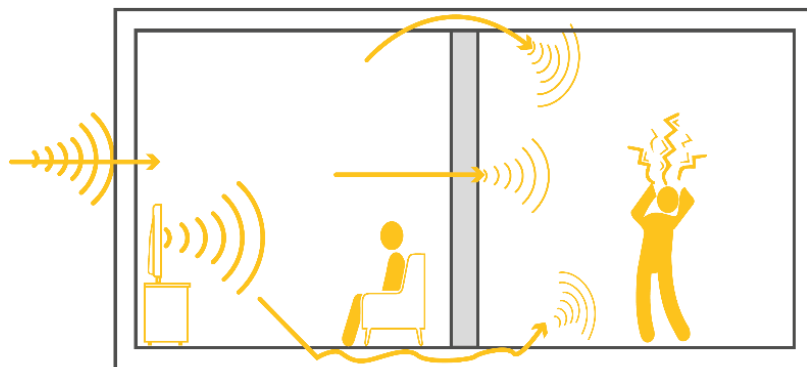
Nota. Elaboración propia.

Con base en la física de las ondas sonoras mencionada anteriormente y en el marco del confort acústico, es importante comprender estos fenómenos y cómo interactúan en un espacio específico para crear un ambiente acústicamente confortable, al estudiar el, Manual técnico acústico, Valero (S.f.). proporciona la siguiente información:

Transmisión del ruido aéreo: La transmisión del ruido aéreo es un fenómeno acústico que se refiere a la propagación del sonido a través del aire. Cuando se produce ruido en un lugar, las ondas sonoras se propagan a través del aire y pueden llegar a ser percibidas por una persona o un receptor en otro lugar.

Figura 2

Ruido aéreo

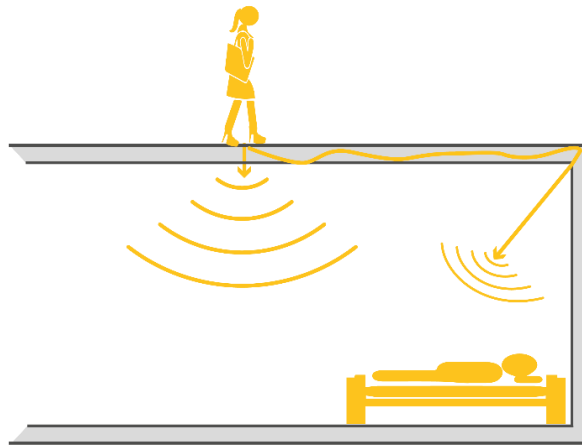


Nota: Elaboración propia

Transmisión del ruido de impacto: La transmisión del ruido de impacto es que se produce cuando una estructura rígida entra en vibración debido a un impacto, y parte de la energía generada se transfiere al edificio, a elementos constructivos conectados y finalmente a las partículas de aire adyacentes.

Figura 3

Transmisión ruido de impacto

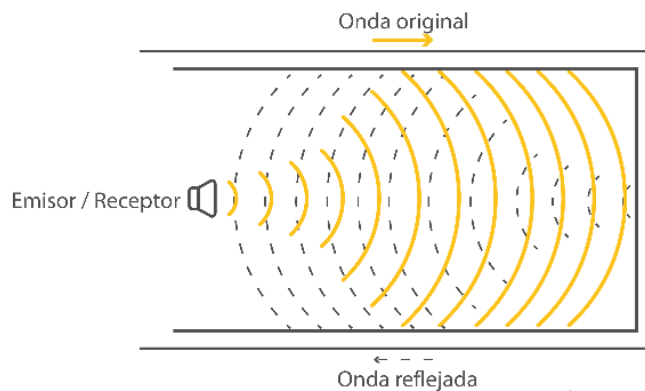


Nota: Elaboración propia

Reflexión: La ley de la reflexión acústica establece que el ángulo de incidencia de una onda sonora es igual al ángulo de reflexión. Este principio es similar a la reflexión de la luz y es importante para predecir el comportamiento de las ondas sonoras cuando chocan con superficies sólidas o límites entre diferentes medios.

Figura 4

Reflexión de onda

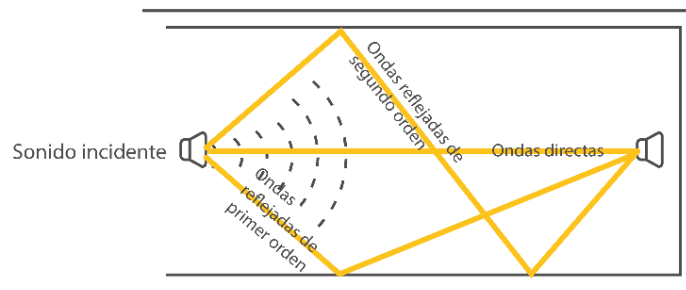


Nota: Elaboración propia

Reverberación: La reverberación acústica es un fenómeno que ocurre cuando el sonido se refleja en las superficies de las paredes, el suelo y el techo de un recinto, creando un efecto de eco y persistencia del sonido. Este efecto puede tener un impacto significativo en la calidad acústica de los espacios y afectar la usabilidad y la percepción de la propia sala.

Figura 5

Reverberación de onda

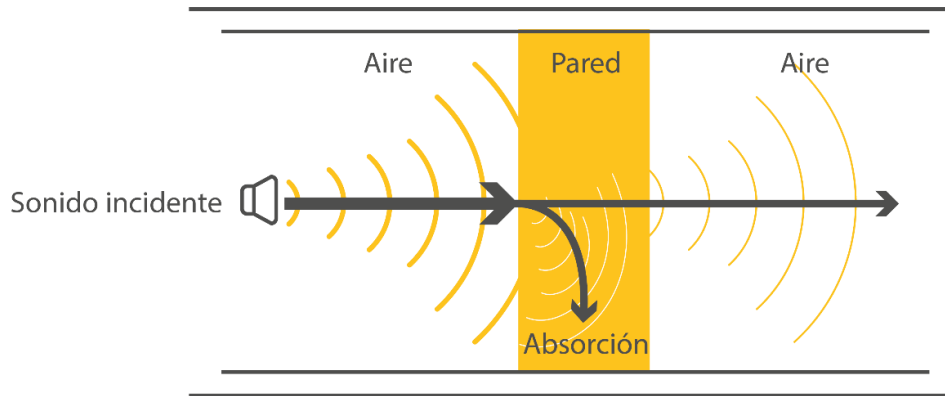


Nota: Elaboración propia

Absorción: La absorción acústica se refiere a la capacidad de un material para absorber parte de la energía cuando una onda sonora lo golpea, reduciendo así la energía sonora reflejada del material. Cuando las ondas sonoras inciden en una superficie, parte de la energía sonora se refleja, mientras que otra parte penetra en el material, es absorbida y convertida en energía térmica.

Figura 6

Absorción acústica

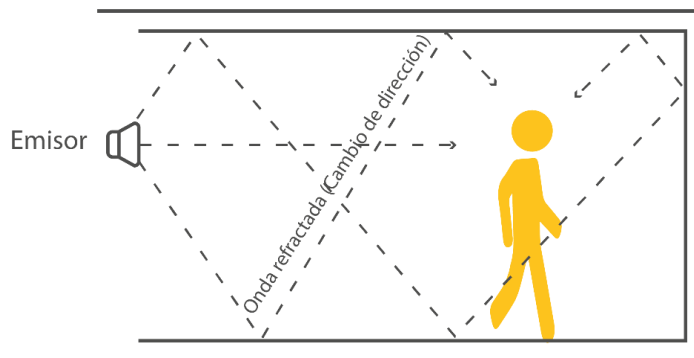


Nota: Elaboración propia

Refracción: La refracción del sonido es un fenómeno que se produce cuando las ondas sonoras cambian su trayectoria al viajar de un medio a otro a diferentes velocidades de transmisión. A diferencia de la reflexión, en la refracción el ángulo de refracción es diferente del ángulo de incidencia; este fenómeno puede ocurrir cuando las propiedades del medio ambiente no son uniformes.

Figura 7

Refracción de onda



Nota: Elaboración propia

Difracción: La difracción del sonido es un fenómeno en el que las ondas sonoras pueden rodear un obstáculo o atravesar un pequeño agujero. Este fenómeno se produce cuando las ondas sonoras chocan con un obstáculo opaco y son dispersadas por este obstáculo. La difracción se observa cuando las ondas sonoras se distorsionan al encontrar un obstáculo, alrededor de él o a través de una abertura, creando ondas difractadas. La cantidad de difracción depende del tamaño de la apertura y de la longitud de onda de la onda sonora.

Sintetizando, la física de las ondas y los fenómenos acústicos abarcan una variedad de conceptos clave, como la amplitud, el período, la frecuencia, la longitud de onda, la velocidad de propagación del sonido, etc. Estos elementos son fundamentales para comprender cómo el sonido se comporta en diferentes entornos y cómo interactúa con las estructuras que lo rodean.

Todo esto es fundamental para abordar el aislamiento acústico, ya que comprender cómo se comporta el sonido nos permite diseñar sistemas y materiales que minimizan la transmisión del ruido no deseado entre espacios; es posible crear métodos efectivos para reducir la transmisión del sonido, lo que resulta en entornos más productivos y agradables al aplicar los principios de la física acústica.

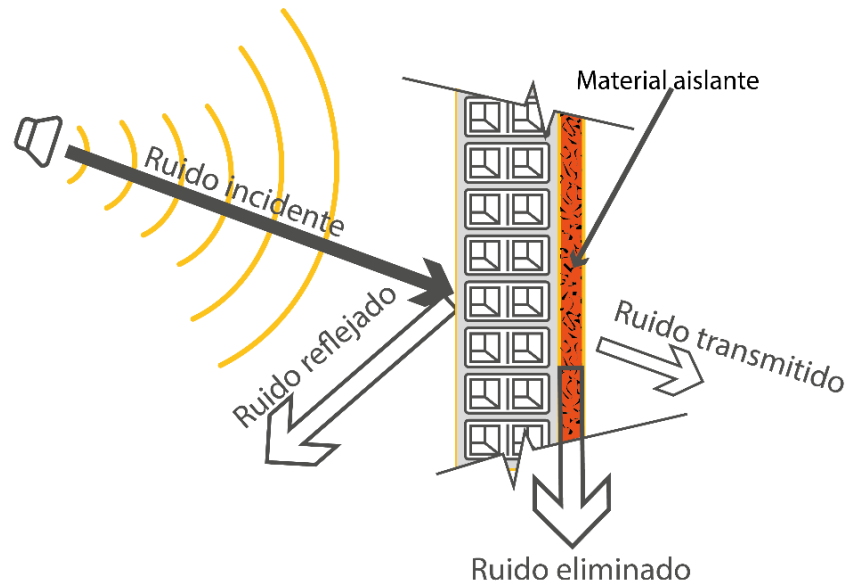
Por otra parte, y con base en lo mencionado anteriormente, **el aislamiento acústico**, según, Roblero, (2022) es una tecnología que se utiliza para reducir la transmisión de sonido entre diferentes espacios, lo que ayuda a garantizar el confort acústico del ambiente. Este concepto hace referencia a la salud y el bienestar de los ocupantes de un edificio o casa en relación con el entorno acústico, reduciendo el ruido no deseado y manteniendo la satisfacción de los ocupantes.

El aislamiento acústico se consigue mediante el uso de materiales y técnicas que reducen la transmisión del sonido, como el uso de paneles fonoabsorbentes, puertas insonorizadas y sistemas de

acondicionamiento acústico que ayudan a controlar y mantener el sonido, y a mantener el tiempo de reverberación en un nivel óptimo dependiendo en el medio ambiente (Rodríguez, 2023).

Figura 8

Aislamiento acústico



Nota: Elaboración propia

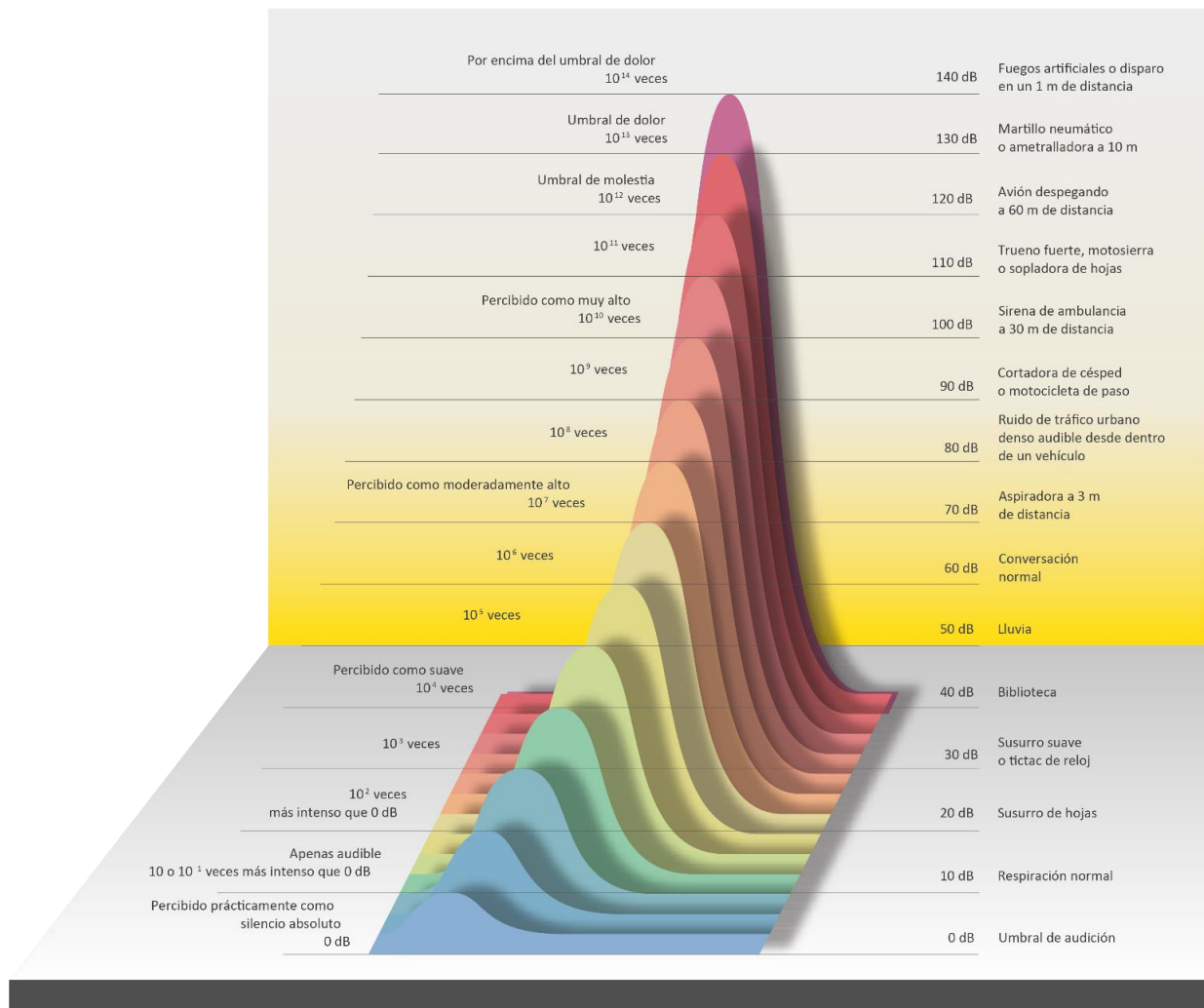
De manera que, para considerar un aislamiento acústico en un espacio, es pertinente tener en claro los niveles de confort acústico, de manera que, el nivel de confort acústico, es el nivel de ruido o sonido en un ambiente determinado que no causa molestias, inconvenientes o daño directo a la salud humana; Es el estado ambiental y psicológico en el que se encuentra una persona en un ambiente saludable, que dependiendo del nivel de ruido y otros factores puede perjudicar la concentración, la comunicación, el descanso o la buena salud (Fuksman, 2020).

Este nivel se mide en decibelios como se mencionaba anteriormente y, puede variar dependiendo del contexto y las actividades humanas que se realicen en ese entorno; existen rangos o

patrones de nivel sonoro que se consideran aceptables para mantener un nivel de confort acústico adecuado. (ver Figura 10) Es importante tener en cuenta que el nivel de ruido ambiental no es el único factor que determina las condiciones de confort acústico.

Figura 9

Niveles aceptables y críticos de ruido



Nota: Adaptado de “Ruido, llamas y desequilibrios – Nuevos temas de interés ambiental.” Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. (2022).

https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/38059/Frontiers2022_SP.pdf?sequence=5&isAllowed=y

En resumen, y retomando los puntos mencionados anteriormente, es importante destacar el segundo concepto clave de esta investigación, que ha sido abordado por, Armijos y Ávila (2023). Estos autores proponen una perspectiva que enfatiza el carácter subjetivo del confort acústico; en primer lugar, señalan que la percepción del confort acústico está estrechamente ligada a la actividad que se realiza en un momento determinado, esta actividad no sólo se ve afectada por el ambiente sonoro circundante, sino que también influye activamente en la percepción del individuo.

Finalmente, es fundamental abordar el concepto del **potencial de aislamiento acústico** de un material en el marco de esta investigación sobre el desarrollo de un sistema de aislamiento acústico para viviendas a partir de residuo textil; este enfoque se justifica desde la perspectiva de la salud física y psicológica de los habitantes, ya que la exposición al ruido en el entorno habitacional tiene un impacto directo y significativo en su bienestar. Por lo tanto, comprender el potencial de aislamiento acústico se vuelve crucial para diseñar soluciones efectivas que contribuyan a crear ambientes más confortables y saludables en las viviendas, desde esta perspectiva, explorar cómo los residuos textiles pueden ser aprovechados para mejorar el aislamiento acústico adquiere una relevancia aún mayor, ya que no solo se busca ofrecer una alternativa sostenible, sino también una solución que impacte positivamente en la salud y el bienestar de quienes habitan estos espacios.

Potencial de aislamiento acústico

El potencial de aislamiento acústico significa la capacidad que tiene un material de limitar la transmisión del sonido a través de él; La reducción o pérdida de transmisión del sonido a través de un material particular se define como la diferencia entre la potencia sonora aplicada al material y el nivel de potencia sonora transmitida a través de él; con base en (Valero, s.f.).

De manera similar, la **capacidad de aislamiento acústico** de un elemento de construcción depende de varios factores, como la frecuencia, el tamaño del tabique o pared y la capacidad de absorción acústica del espacio receptor. En general, los materiales utilizados para la insonorización suelen ser densos y duros, como el plomo, el hormigón y el acero. Por otro lado, los materiales absorbentes son más permeables para captar y retener las ondas sonoras, como el poliuretano y la lana de roca o de vidrio. (Carrascal & Romero, 2005).

Hay que mencionar que, existen dos características de materiales aislantes, como:

1- Materiales resonantes: Los materiales resonantes son aquellos capaces de resonar o vibrar a determinadas frecuencias, lo que afecta a su potencial de insonorización; en aplicaciones de aislamiento acústico se utilizan varios tipos de materiales resonantes, como paneles de madera, placas de yeso, espuma acústica, lana mineral y materiales compuestos. Estos materiales absorben y dispersan la energía del sonido, impidiendo que ésta viaje a través de ellos (European Acústica, 2024b).

2-Materiales no resonantes: Los materiales no resonantes son aquellos que no tienen una frecuencia natural de vibración similar a la del sonido.

El aislamiento acústico se logra mediante la capacidad de un material para absorber, reflejar o transmitir el sonido. En el caso de los materiales no resonantes, su estructura y composición no tienen una frecuencia de resonancia, lo que significa que no amplifican ni refuerzan las ondas sonoras; estos materiales suelen tener una alta densidad y una estructura más rígida, lo que ayuda a reducir la transmisión del sonido a través de ellos. Además, su capacidad para amortiguar las vibraciones y disipar la energía acústica contribuye a su efectividad como aislantes acústicos (Rodríguez, s.f.).

Algunos ejemplos de materiales no resonantes utilizados en el aislamiento acústico son la lana mineral, el poliuretano de alta densidad, el vidrio celular y el caucho sintético; estos materiales se utilizan en la construcción de paredes, techos y suelos, así como en la fabricación de paneles acústicos y materiales absorbentes. Lo anterior Según, (Delgado, 2017).

Por tal razón, es importante tener en cuenta que la eficacia del aislamiento acústico puede verse afectada por factores como la coincidencia de las frecuencias de resonancia entre el material y el recinto, y la calidad de la instalación de las ventanas y su sellado (Anboc Bioconstrucción Eficiente. s.f.).

En conclusión, El aislamiento acústico es esencial para crear espacios que promuevan la tranquilidad y la concentración; este se logra a través de una cuidadosa selección de materiales que absorban, reflejen o transmitan el sonido de manera efectiva. La diversidad de opciones, desde materiales resonantes, hasta materiales no resonantes, ofrece soluciones adaptadas a diversas necesidades y entornos. En última instancia, la combinación adecuada de estos materiales garantiza un ambiente acústicamente confortable y funcional.

Ahora bien, **la frecuencia de absorción acústica**, en específico del textil, varía en función de la frecuencia del sonido. El coeficiente de absorción de un material se especifica a diferentes frecuencias, generalmente a las frecuencias de 125, 250, 500, 630, 800, 1000, 1250, 2000, 2500, 3000, 3150 y 4000 Hz (Segura, 2020, p.100).

Los textiles proporcionan absorción acústica porosa, así como absorción acústica de alta frecuencia. En general, los textiles pueden presentar una mayor absorción de frecuencias altas, alcanzando un coeficiente de absorción de 1 aproximadamente para frecuencias altas (Segura, 2020).

Además, se ha observado que la absorción acústica de los textiles puede empeorar en alta frecuencia y mejorar en frecuencias medias, Por lo tanto, la capacidad de absorción acústica de un material textil puede variar según la frecuencia del sonido y el tipo de tejido utilizado (Delgado, 2017).

Como conclusión, la absorción acústica de los textiles es un fenómeno complejo que varía según la frecuencia del sonido y el tipo de tejido empleado. Aunque los textiles tienden a ofrecer una mayor absorción en frecuencias altas, su desempeño puede cambiar dependiendo del contexto y las características específicas del material. Es esencial considerar estos factores al diseñar espacios que requieran control de sonido para garantizar resultados óptimos.

Sin embargo, Es crucial encontrar un equilibrio apropiado entre el sonido directo y el sonido reverberante en espacios cerrados. Por tanto, un buen **acondicionamiento acústico** implica reducir al mínimo las ondas reflejadas, lo que depende de la capacidad de absorción de los materiales utilizados; Esto ayuda a minimizar las reverberaciones no deseadas o ecos que podrían interferir con la claridad de la comunicación auditiva (Almendros, 2012, P.27).

Simultáneamente, **el aislamiento acústico** se refiere al uso de diversas técnicas, materiales y procesos para reducir o bloquear el sonido en un espacio determinado para evitar que entre o salga ruido. Este método se utiliza para eliminar el ruido de estancias adyacentes, como oficinas industriales o zonas de edificios, o para mejorar la calidad del sonido en zonas como salas de conferencias, cines o teatros (Comaudi Industrial, Aislamiento Acústico y Control de ruido. s.f.)

Planteamiento del problema

Desde tiempos antiguos hasta la actualidad, el hogar ha sido un lugar de suma importancia al que acuden las personas para encontrar tranquilidad y descanso, ya que es donde suelen pasar la mayor parte de su tiempo de reposo (Bravo, 2015, p.196). Ahora bien, considerando la relevancia de la vivienda para el descanso de las personas, se han identificado a escala mundial efectos perjudiciales del ruido en la salud. Estos efectos son motivo de preocupación, especialmente en el ámbito de las viviendas industrializadas (Bizkaia et al., 2018).

Sin embargo, se ha observado que el ruido puede tener impactos perjudiciales en la salud, generando inquietudes a nivel global; acorde con, Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (2022) cada año, la exposición prolongada al ruido ambiental provoca 12.000 muertes prematuras y 48.000 nuevos casos de enfermedad coronaria. Además, 22 millones de personas sufren molestias crónicas relacionadas con el ruido, los efectos del ruido pueden variar desde molestias temporales hasta perturbaciones graves y crónicas.

El despertar del ruido puede crear reacciones fisiológicas y mentales para el estrés, porque el sueño es necesario para la regulación hormonal y la actividad adecuada de la enfermedad cardiovascular.

En pocas palabras, la contaminación acústica no solo perturba la paz del hogar, sino que también representa una amenaza significativa para la salud de todo el mundo; el ignorar esta gran problemática, conllevará a la afectación de la calidad de vida de las personas tanto física como psicológica; finalmente la conciencia y la acción en la mitigación de la contaminación acústica son esenciales para preservar la salud y la calidad de vida en los entornos residenciales.

Por otro lado, dentro de los reglamentos establecidos del control del ruido en Bogotá hay unos vacíos o inconsistencias que generan una vulnerabilidad para los habitantes de viviendas, Según

Resolución 627 (2006), establece la norma nacional de ruido, los rangos máximos considerados confortables para zonas residenciales son de 65 dB en el día y 55 dB en la noche (Art. 9); acorde con lo anterior, esta reglamentación tiene una particularidad y es que está establecida fuera de los parámetros estipulados por parte de la OMS, esto según (Secretaría Distrital de Planeación, 2022). Además, en el caso específico de Bogotá, la percepción del ruido de acuerdo a las mediciones hechas por el ministerio de ambiente, muestran que pueden superar los 83 dB en el día y 65 dB en la noche, relacionado con el mapa estratégico del ruido (Secretaría Distrital de Ambiente, 2021).

En concordancia con, el Acuerdo 20 de 1995, que adopta el código de construcción del Distrito Capital de Bogotá, se han establecido niveles máximos permisibles para distintos grupos de uso, incluyendo los límites para el grupo residencial.

En la Tabla 1, se presenta una comparativa entre los grupos de uso, haciendo referencia a las regulaciones del Acuerdo 20 de 1995 y las directrices de la Organización Mundial de la Salud (OMS). Esta comparación permite visualizar las diferencias entre las normativas locales y las recomendaciones internacionales en relación con los niveles permisibles en el ámbito residencial.

Tabla 1

Cantidad de dB por grupo de uso.

Grupo de Uso	Acuerdo 20 de 1995	OMS
Salud	65 día - 45 noche	35 día - 30 noche
Educacion	45 día - 45 noche	35 día - 35 noche
Residencial	65 día - 45 noche	50 día - 30 noche

Nota: Adaptado de “Acuerdo 20 de 1995” Secretaría Distrital de Planeación. 1995.

https://www.sdp.gov.co/sites/default/files/acuerdo_20_de_1995.pdf

Para concluir, es importante destacar que las empresas de construcción de vivienda no tienen una obligación estricta de cumplir con la Resolución 627 del 2006 ni las recomendaciones de la ONU, es esencial que incluyan estas medidas en sus proyectos; el propósito es proteger la salud de las personas y reducir la contaminación acústica.

En el contexto de la vivienda, es crucial considerar el sistema constructivo industrializado, que abarca el 54% de las viviendas en Colombia (Departamento administrativo nacional de estadística, 2023). Este dato es de suma importancia ya que se está abarcando una gran parte de la población colombiana. Al analizar este aspecto, es relevante examinar los materiales utilizados en este sistema y comprender cómo esas características afectan el entorno sonoro y la salud de los residentes.

Pregunta problema

¿cómo mejorar las condiciones acústicas en la vivienda industrializada, para llegar a un estado de confort?

Justificación

Es esencial abordar los problemas de calidad del ambiente sonoro en las viviendas, especialmente en el contexto de la creciente industrialización de la construcción; el confort acústico de una vivienda es un factor importante que afecta significativamente la calidad de vida y el bienestar de sus residentes (Sanfulgencio, 2022).

Por esta razón, las condiciones acústicas inadecuadas, que se caracterizan por la entrada de ruidos no deseados, representan una amenaza constante para la salud física y emocional de las personas que residen en dichos espacios.

Los ruidos no deseados en las viviendas pueden tener una amplia variedad de fuentes: desde el bullicio del tráfico en entornos urbanos hasta las actividades cotidianas en el interior de la vivienda; estos ruidos no solo interrumpen la tranquilidad de los ocupantes, sino que también pueden causar estrés, trastornos del sueño, y afectar la concentración y la productividad (Gerencia general de urbanismo, Obras e infraestructuras, 2011).

La exposición constante a niveles elevados de ruido está relacionada con problemas de salud, como la pérdida de audición, trastornos cardiovasculares, y problemas psicológicos (García, B. Francisco, S. s.f.).

Finalmente, el auge de las viviendas industrializadas, que se caracterizan por su construcción en serie y la utilización de materiales y técnicas estandarizadas, ha acentuado los desafíos relacionados con el confort acústico; estas viviendas, aunque presentan ventajas en términos de eficiencia en el proceso de construcción, a menudo carecen de elementos de diseño y materiales adecuados para el aislamiento acústico. Según, Daponte et al. (2011) la industrialización de la construcción ha ampliado la brecha en la calidad del ambiente sonoro en viviendas, ya que las soluciones tradicionalmente usadas de aislamiento acústico pueden no ser adecuadas para su aplicación en estos contextos.

Objetivos

Objetivo General

Desarrollar un sistema de aislamiento, que permita mejorar las condiciones de confort acústico en la vivienda industrializada a partir de materiales de residuo industrial.

Objetivos Específicos

- 1- Evaluar materiales de residuo industrial con criterios de sostenibilidad y potencial acústico.
- 2- Caracterizar los residuos textiles a partir de los siguientes aspectos:
 - Identificación de contaminantes
 - Composición
 - Densidad y tamaño
- 3- Consolidar un prototipo de panel aislante acústico a partir de la metodología de producción pensado en los sistemas industrializados
- 4- Medir la eficiencia del panel a través de pruebas de laboratorio y comprobaciones específicas.
- 5- Desarrollar los aspectos constructivos para la conformación de un sistema.

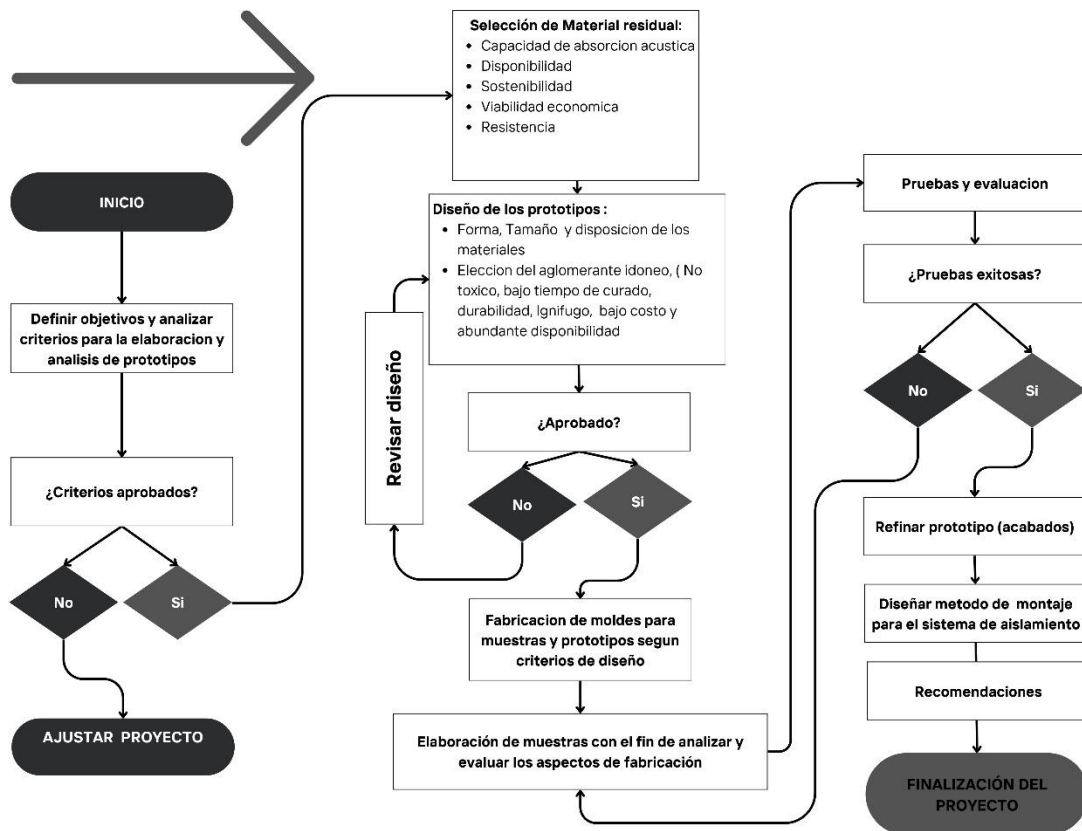
Hipótesis

A través del desarrollo de un sistema de aislamiento acústico basado en el uso eficiente de materiales residuales, se reduciría la exposición al ruido no deseado y mejorará las condiciones de confort acústico en las viviendas industrializadas.

Metodología

Figura 10

Flujograma metodología



Nota: Elaboración propia

Esta investigación tiene como objetivo principal la creación de sistema de aislamiento acústico eficiente mediante el uso de materiales residuales, cumpliendo con estándares de sostenibilidad, viabilidad económica y resistencia. Para ser logrado, se plantea la siguiente metodología:

- 1- Identificar y seleccionar materiales residuales con propiedades acústicas adecuadas.
- 2- Diseñar prototipos de paneles acústicos considerando criterios de absorción acústica, disponibilidad de materiales, sostenibilidad, viabilidad económica y resistencia.

- 3- Evaluar y comparar el rendimiento de los prototipos a través de pruebas acústicas y análisis de datos.

En cuanto a los criterios de aprobación, se establecieron estándares para medir la eficiencia acústica, la sostenibilidad, la viabilidad económica y la resistencia de los paneles desarrollados. Esto incluirá pruebas acústicas que demuestren una mejora significativa en la absorción del sonido, la selección de materiales ambientalmente sostenibles, un análisis de costos para garantizar la viabilidad económica y pruebas de resistencia para asegurar la durabilidad de los prototipos.

Los materiales residuales se seleccionarán en función de la capacidad de absorción acústica, la disponibilidad local, la sostenibilidad ambiental, la viabilidad económica y la sostenibilidad. Esto incluye pruebas de laboratorio para evaluar la capacidad de absorción acústica, análisis de disponibilidad local y regional, evaluación de la sostenibilidad en términos de origen y ciclo de vida, análisis de costos y pruebas de resistencia mecánica.

4- Diseño de los prototipos:

Para la etapa de diseño de los prototipos, se considerarán aspectos clave como la forma, tamaño y disposición de los materiales. La configuración de los paneles impactará directamente en su eficiencia acústica. Se buscará optimizar la disposición de los materiales residuales seleccionados para maximizar su capacidad de absorción, asegurando al mismo tiempo un diseño estéticamente atractivo y funcional.

Al mismo tiempo, se discutirá la elección del adhesivo, que es importante para la adherencia del material. El adhesivo ideal cumplirá una variedad de características, que incluyen:

- **No Toxicidad:** El aglomerante no debe presentar riesgos para la salud humana ni contribuir a la emisión de sustancias tóxicas.

- **Bajo Tiempo de Secado:** Se buscará un aglomerante con tiempos de secado reducidos para optimizar el proceso de fabricación.
- **Durabilidad:** El aglomerante deberá conferir resistencia y durabilidad al panel acústico para garantizar su vida útil a largo plazo.
- **Ignífugo:** Se dará preferencia a aglomerantes con propiedades ignífugas para mejorar la seguridad del producto final.
- **Bajo Costo y Abundante Disponibilidad:** La viabilidad económica se mantendrá como criterio, optando por aglomerantes que sean económicos y fácilmente accesibles en términos de disponibilidad.

5- Evaluación y aprobación de diseños de los prototipos:

Una vez completada la fase de diseño, se procederá a la presentación de los prototipos para su evaluación. Esta evaluación incluirá pruebas adicionales de eficiencia acústica y la revisión de las características del diseño. Si los prototipos cumplen con los criterios establecidos, se avanzará al siguiente paso. En caso contrario, se retrocederá al proceso de diseño para realizar ajustes, replantear estrategias y garantizar la optimización de los paneles acústicos.

6- Elaboración de Muestras para Análisis y Evaluación de Aspectos de Fabricación:

Una vez colocado el molde, se elaboran las muestras. Este paso le permitirá analizar y evaluar aspectos de la fabricación, garantizando la precisión entre el diseño inicial y el producto final. Se presta especial atención a la uniformidad del uso de adhesivos, colocación de materiales y todos los detalles relacionados con la producción.

7- Pruebas y evaluación de paneles:

La etapa de pruebas y evaluación será específica, cubriendo los aspectos más importantes para el panel acústico.

- **Pruebas de Eficiencia Acústica:** Se realizarán pruebas para validar la eficiencia acústica de los paneles, comparando los resultados con los estándares establecidos en la fase de diseño.
- **Pruebas de Dureza:** Se evaluará la resistencia y durabilidad del panel mediante pruebas de dureza, garantizando su capacidad para resistir condiciones ambientales adversas.
- **Prueba de Impacto:** Para asegurar la resistencia a impactos, se llevarán a cabo pruebas que simulen situaciones de uso cotidiano y evalúen la integridad estructural de los paneles.

En el caso de que las pruebas no cumplan con los estándares establecidos, el proceso regresará al paso (6- Elaboración de Muestras para Análisis y Evaluación de Aspectos de Fabricación). Se replanteará la elaboración de las muestras, ajustando el diseño y la fabricación según las lecciones aprendidas de las pruebas no aprobadas. Este ciclo se repetirá hasta que los paneles cumplan satisfactoriamente con los criterios de eficiencia, resistencia y durabilidad.

8- Refinamiento del prototipo:

Una vez que los paneles hayan superado todas las pruebas y evaluaciones, se procederá al refinamiento del prototipo en términos de acabados estéticos. Este paso es esencial para preparar los paneles para la comercialización. Se prestará atención a detalles como la textura, el color y cualquier aspecto estético que mejore la apariencia del producto final.

9- Diseño y método de montaje para los paneles.

Con los paneles acústicos refinados, se procederá al diseño detallado del método de montaje. Se definirán las especificaciones para la instalación eficiente de los paneles, considerando aspectos como la

disposición espacial, la fijación adecuada y cualquier requisito técnico necesario. Este diseño permitirá una implementación efectiva del sistema de aislamiento acústico en diferentes entornos.

10- Elaboración de un manual con recomendaciones para el sistema de aislamiento acústico:

Con el objetivo de brindar orientación a los usuarios y profesionales involucrados, se elaborará un manual exhaustivo que contenga recomendaciones para la instalación y mantenimiento del sistema completo de aislamiento acústico. Este documento incluirá instrucciones detalladas sobre el montaje de los paneles, consideraciones específicas para garantizar la eficacia acústica y pautas para maximizar la durabilidad del sistema.

Desarrollo del sistema de aislamiento acústico

Capítulo 1 - Evaluación de materiales de residuo industrial

La elección del algodón como material principal para la fabricación de paneles aislantes acústicos en esta investigación es resultado de un proceso cuidadoso de preselección de los principales materiales residuales procedentes de la producción industrial, guiado por los principios de la economía circular. Esta elección se justifica en múltiples aspectos, que recalcan la pertinencia y el impacto potencial de este enfoque innovador en la mejora del confort acústico en viviendas, así como en la sostenibilidad ambiental y la gestión eficiente de los recursos.

Tabla 2

Principales productores de residuos de material en los procesos de producción industrializada.

PRINCIPALES PRODUCTORES DE RESIDUOS DE MATERIAL EN LOS PROCESOS DE PRODUCCION INDUSTRIALIZADA						
	PAPEL	TEXTIL	METAL	PLASTICO	MADERA	ALIMENTOS
DESECHOS	4.3 Millones T/año	92 Millones T/año	2.7 Mil T/año	448 Millones T/año	1.6 mil T/año	9.3 Mil T/año
AMBIENTAL	Gasto de agua: 5% de consume 95% Se devuelve depurada	Es la tercer industria mas contaminante del mundo. 1.200 millones de toneladas de Co2 al año.	Contaminación del aire -Contaminación del agua -Contaminación del suelo -Consumo de energía	-Contaminacion de rios y oceanos, residuos no biodegradables	Contaminación del aire -Contaminación del agua -Emision de ruido -Consumo de energía	Contaminación del aire -Contaminación de los suelos -Generadores de Co2
POTENCIAL ACUSTICO	Bajo: Su estructura y composición no esta diseñados para este propósito	Alto: Su estructura y composición no esta diseñados para este propósito	Bajo: Su estructura y composición no esta diseñados para este propósito	Medio: Su portencial varia con referencia al tipo de plastico como el poliuretano que es usado como aislante acustico.	Alto: La madera es naturalmente amortiguadora del sonido, ofreciendo un excelente control del ruido	Bajo: Los desechos alimenticios no aplican para aislamientos acústicos.

Nota: Adaptado de “Proyecto de valorización de subproductos de la industria de transformación mecánica de la Madera” S. Böthig et al. s.f. (<http://surl.li/twoht>); “Coeficiente de absorción acústica ¿existe con valores superiores a 1?” J. Sastrón. 2017. (<http://surl.li/twoid>); “Reciclaje y gestión de residuos” Interempresas. 2022. (<http://surl.li/twoim>); “El reciclaje realmente hace que la moda rápida sea circular?” C. Garahee. 2023. (<http://surl.li/twoiv>); “Caracterización y uso de los residuos sólidos generados por empresas del sector metalmecánico en la ciudad de Manizales” O, Valencia. Y, Forero. 2018. (<http://surl.li/twoid>).

La Tabla 2, muestra la etapa inicial de pre selección de materiales residuales. Se tomaron en cuenta diferentes tipos de desechos y sus industrias eran las principales productoras de desechos industriales, de las cuales no dieron como resultado el papel, textil, metal, plástico, madera y alimentos. En esta etapa se evaluó la cantidad de desechos que producen, las consecuencias ambientales que generan y, finalmente, el elemento más importante y que tuvo una mayor trascendencia en la selección previa de los materiales, fue el potencial de aislamiento acústico de cada material.

Acorde con la tabla expuesta anteriormente, el textil, plástico y la madera se destacaron como opciones potenciales para el desarrollo del proyecto, debido a su potencial acústico y disponibilidad en el contexto industrial.

Tabla 3

Elección de residuos.

TABLA FINAL ELECCION DEL RESIDUO									
MATERIAL	MATERIA PRIMA	CARACTERISTICAS FISICAS	ABUNDANCIA Y FACILIDAD DE ACCESO	COEFICIENTE DE ABSORCION ACÚSTICA	REUTILIZAR	REPARAR	RECICLAR	RENOVAR	MATERIAL ELEGIDO
Textil	Algodón	Confortable, suave, buena conduccion de calor, higrotermico, transpirable, termoplastico.	92 Millones de toneladas anuales	0.95 ~ 9.5	7	8	9	6	39.5
Plastico	Polietileno	Resistente y flexible a temperaturas ordinarias, soporta bien cargas de tensión y compresión, es un material dielectrico.	448 millones de toneladas anuales	0.59 ~ 5.9	7	4	9	6	31.9
Madera	Aserrin	Material organico poli-disperso por particulas de 6mm aprox, ligero, porosidad del 80%, capacidad de retención del agua.	1.600 millones de toneladas anuales	0.88 ~8.8	8	6	9	7	38.8

Nota: Las casillas de color verde hacen parte de los criterios de economía circular. Elaboración propia

La evaluación de estos materiales se basó en factores como la materia prima, sus propiedades físicas, su abundancia, su facilidad de acceso y su coeficiente de absorción acústica, el cual fue el criterio más crucial. Además, se utilizaron criterios de economía circular, como la capacidad de reutilizar, reparar, reciclar y renovar.

Los materiales se calificaron con una puntuación de 1 a 10, siendo 1 el peor y 10 el mejor; los resultados indican que el textil es la elección óptima para la fabricación de paneles aislantes acústicos en función de los criterios de evaluación utilizados. Esta evaluación proporciona una sólida justificación para su elección como material principal en el proyecto. Su alta puntuación en el coeficiente de

absorción acústica, junto con su fuerte desempeño en términos de sostenibilidad, lo convierten en una elección sólida en términos de calidad y responsabilidad ambiental.

Como conclusión, la utilización de residuos textiles como materia prima para la fabricación de paneles aislantes acústicos no solo es un enfoque innovador, sino también una solución que se alinea con la sostenibilidad ambiental, al reducir la generación de residuos textiles industriales y promover su reutilización. Esta investigación busca contribuir a la calidad de vida de los habitantes de viviendas industrializadas al proporcionar una solución eficiente para mejorar las condiciones acústicas, al tiempo que aborda la problemática de la gestión de residuos textiles.

Capítulo 2 - Caracterización de los residuos textiles

Origen de los residuos textiles

La obtención de los residuos textiles fue posible gracias a una colaboración estratégica con una empresa local dedicada a la fabricación de productos textiles. En un esfuerzo por fomentar la sostenibilidad y promover prácticas eco-amigables, la empresa generosamente donó dos lonas completas que, inicialmente, estaban destinadas a ser desechadas. Esta asociación no solo estableció una conexión valiosa entre el ámbito académico y el sector empresarial local, sino que también destacó la importancia de la reutilización de materiales existentes para minimizar la generación de residuos.

La colaboración no se limitó simplemente a la donación de los materiales; se estableció un diálogo continuo con la empresa para comprender mejor las características y propiedades de los residuos textiles, lo que facilitó una integración más efectiva de los mismos en el proyecto.

Figura 11

Recolección de residuo textil pre consumo



Nota: Elaboración propia

Identificación de contaminantes

Tras la obtención de los residuos textiles, Se llevó a cabo una identificación rigurosa de contaminantes potenciales derivados de la producción y manipulación de la industria textil; se destacó la detección de fibras sintéticas mezcladas con algodón, la inspección exhaustiva de polvo y partículas de la maquinaria y el entorno fabril, la supervisión de la posible presencia de metales provenientes de utensilios de manipulación y corte, y el análisis de la presencia de etiquetas, cintas adhesivas u otros materiales no textiles. Este proceso, esencial para garantizar la calidad y pureza del material de base, estableció una base sólida para el desarrollo de paneles de aislamiento acústico. La información recopilada durante esta etapa ayudó a tomar decisiones sobre el procesamiento y garantizar la integridad del producto final.

Composición de los residuos textiles.

La caracterización detallada de la composición de los residuos textiles reveló que todos los materiales obtenidos de las lonas eran de algodón perchado. Esta uniformidad en la composición es esencial, ya que proporciona coherencia en las propiedades físicas y acústicas de los paneles aislantes que se desarrollarán. La elección de algodón perchado no solo responde a criterios de disponibilidad, sino que también ofrece un material versátil y de calidad para cumplir con los objetivos del proyecto.

La atención cuidadosa a la composición de los residuos textiles permitió una planificación más precisa de las siguientes fases del proyecto, desde el diseño hasta la implementación, aumentando así la eficiencia del proceso de aislamiento.

Figura 12

Textil pre consumo



Nota: Elaboración propia

Separación por densidad y tamaño

La fase de separación por densidad y tamaño se llevó a cabo meticulosamente para optimizar la utilización de los residuos textiles. Este proceso implicó la clasificación de los materiales en función de su densidad y dimensiones, garantizando una distribución homogénea en los futuros paneles acústicos. La clasificación por densidad permitió identificar y separar las fibras de algodón perchado de acuerdo con su peso específico, mientras que la clasificación por tamaños garantizó una distribución uniforme de las fibras, contribuyendo a una disposición equitativa en la superficie de los paneles.

Esta etapa no sólo facilita el procesamiento y la producción, sino que también sirve como preparación necesaria para mejorar las propiedades acústicas de los paneles. La uniformidad conseguida contribuyó a la eficacia y consistencia de todo el sistema de aislamiento acústico.

Capítulo 3 - Consolidación de prototipo de panel

Caracterización de los residuos recopilados de la industria textil

La integración del prototipo del panel comienza con la caracterización detallada de los residuos textiles recogidos de la industria textil. Se ha creado una tabla completa que consta de varios componentes principales para proporcionar una visión completa de las materias primas:

Composición: Identificación precisa de los componentes químicos presentes en los residuos textiles.

Peso: Medición del peso de los residuos para evaluar la carga que soportará el panel resultante.

Dimensiones: Registro de las dimensiones específicas de los residuos textiles para optimizar el diseño del panel.

Volumen: Cuantificación del espacio que ocuparán los residuos en el panel.

Color: Descripción del color de los residuos para consideraciones estéticas.

Contaminación: Evaluación de posibles contaminantes presentes en los residuos textiles.

Procedencia y Origen: Indicación de la fuente y el origen de los residuos, proporcionando contexto para la trazabilidad y sostenibilidad.

Cada uno de estos aspectos se describe detalladamente en la tabla, complementado con observaciones específicas que destacan características únicas o consideraciones importantes para el desarrollo del prototipo.

Tabla 4

Caracterización residuos textiles

ITEM	DESCRIPCIÓN	Observaciones
Composición	Algodon, Poliester, Cartòn y plastico	El residuo mas abundante es al algodón perchado con un 90 % del proveedor Casatextil® que indica una composición de Algodón 50% - Poliéster 50%
Peso	36.75 kg	Del total 30.375 Kg corresponden a algodón perchado y el restante a hilos y empaques de insumos para la confeccion residuos plasticos y de cartón
Dimensiones	Empaque cilindrico de 180 cm de altura con un diametro de 40 cm	Piezas sobrantes del proceso de producción con formas irregulares descartadas del patronaje
Volumen	203,458.4 cm ³	
Color	Amplia gama de colores	Los colores mas abundantes son en orden el Gris, azul oscuro, blanco y negro
Contaminantes	Hilos, bolsas, plasticos y carton	Los residuos se encuentran mezclados con otros desechos industriales
Procedencia	Residuo preconsumo empresa textil bakongo.store	Fabrica de busos, pantalones y sudaderas.
Origen	Algodon: Natural Poliester: Derivado del petroleo	

Nota: Elaboración propia

Elección de aglomerantes

La selección del aglomerante es una etapa importante en el proceso de consolidación del prototipo y depende de criterios clave para garantizar la efectividad, viabilidad económica y durabilidad del panel acústico. Se tuvieron en cuenta los siguientes criterios:

Económico: El costo del aglomerante debe ser accesible y compatible con el presupuesto del proyecto.

No Tóxico: Se prioriza la seguridad ambiental y de los usuarios, evitando la presencia de sustancias tóxicas.

Fácil de Conseguir: Disponibilidad local para facilitar la producción a mayor escala.

Compatible con Otros Materiales: Interacción armoniosa con los residuos textiles y otros componentes del panel.

Buenas Propiedades Mecánicas: Capacidad para mantener la integridad estructural del panel.

Buenas Propiedades de Aislamiento Acústico: Contribución positiva a la eficiencia acústica del panel.

Estable ante Cambios de Temperatura: Resistencia a variaciones climáticas para garantizar durabilidad.

Sostenible y de Bajo Impacto Ambiental: Contribución a la sostenibilidad ambiental y reducción de impacto ecológico.

Con base en los criterios expuestos, se realizó una primera preselección de materiales que cumplieran con los anteriores criterios, los cuales fueron: PVA, Engrudo, Yeso, Revestimiento Murali; En la siguiente tabla se expresa los criterios de selección del aglomerante.

Después de una cuidadosa evaluación, se seleccionaron tres aglomerantes para realizar pruebas durante la producción del prototipo: **PVA, yeso y Cola**. Estas opciones cumplen con los criterios especificados y serán evaluadas experimentalmente para determinar su idoneidad para el proyecto.

Elaboración de moldes para muestras y prototipos

Para continuar con el desarrollo del proyecto se realizaron unos moldes para la elaboración de las pruebas iniciales de 15 x 15cm, estos moldes se fabricaron en aglomerado contrachapado de 15mm resistente para soportar la presión y el peso de la mezcla durante la compactación y el fraguado de las muestras, como se ve en la figura 13. Estos moldes se realizaron para asegurar de que las muestras se mantengan con uniformidad en la forma y las medidas requeridas para mantener las mismas características de todas las pruebas.

Figura 13

Molde primeras pruebas



Nota: Elaboración propia

Metodología para la elaboración de muestras:

La metodología para la elaboración de las muestras fue un proceso clave en la consolidación del prototipo de panel acústico. Cada paso se elaboró para garantizar la reproducibilidad y la consistencia en la creación de muestras, lo que permite evaluaciones comparativas precisas. Los procedimientos incluyen:

Caracterización del Material: Como se detalló anteriormente, la caracterización de los residuos textiles se llevó a cabo, proporcionando información esencial para este proceso.

Alistamiento de los Materiales: Se organizó y preparó el material recopilado, asegurando que esté listo para su inclusión en las muestras. Esto implica la verificación de la cantidad y calidad de los residuos textiles.

Preparación de Aglomerantes: Los aglomerantes seleccionados (PVA, Yeso y Cola) se prepararon de acuerdo con las especificaciones recomendadas de cada uno, para asegurar su adecuada aplicación y adhesión a los residuos textiles.

Definición y Aplicación del Método de Proporción de Componentes: Se establece un método claro y reproducible para la mezcla de los componentes, considerando las proporciones específicas de residuos textiles y aglomerantes. Esta fase se apoyó en una tabla que asigna códigos a cada muestra, garantizando la trazabilidad y permitiendo una identificación clara de las características y comportamiento único de cada prototipo.

Tabla 5

Códigos para pruebas

TEXTIL		AGLOMERANTE	
NOMBRE	ABREVIACIÓN	NOMBRE	ABREVIACIÓN
RETASOS	R.	PVA	P.
DESHILADO	D.	YESO	Y.
FIELTRO	F.	COLA	C.
LAMINA CARTON	L.		

EJEMPLO DE CODIGO PARA PRUEBA

#13 - R . 2 - Y . 1 - L2 ≈ 30

↓ ↓ ↓ ↓ ↓

Numero de Abreviacion de Proporción Cantidad de Grosor de

prueba textil o aglomerante laminas de cartón panel en mm

Nota: Elaboración propia

La creación de la (tabla 5) de códigos para pruebas, fue esencial para organizar y sistematizar las muestras generadas en el proceso de elaboración de los paneles acústicos. Para ello, se ha diseñado un sistema de codificación que incluye abreviaciones para los tipos de textiles y aglomerantes, junto con información específica para cada muestra. Esta tabla permitió una identificación rápida y precisa de las características de cada muestra, facilitando la organización, seguimiento y análisis de los resultados obtenidos en las pruebas subsiguientes.

Para seleccionar las muestras más adecuadas, creamos una matriz de evaluación después de completar las muestras y asignarles códigos identificativos. Esta matriz se basó en una variedad de criterios de evaluación, incluidos el tiempo de secado, las deformaciones, las fisuras, la densidad y la contracción. En esta fase de evaluación, pudimos analizar de manera sistemática el desempeño de cada muestra para determinar cuáles cumplían mejor con nuestros estándares de calidad y eficiencia acústica. Para lograr nuestro objetivo de crear un sistema de aislamiento acústico eficiente y sostenible para las viviendas industrializadas de Bogotá, (ver Tabla 6).

MEJORAMIENTO DE LAS CONDICIONES DE CONFORT ACÚSTICO PARA VIVIENDA MEDIANTE PANELES

FABRICADOS A PARTIR DE RESIDUO TEXTIL

Tabla 6

Matriz evaluación de muestras

MUESTRAS	CRITERIOS	#01-R2-Y2-L0=10		#02-F1-R1-P1-L0=12		#03-D1-Y1-L0=10		#04-D1-P1-L0=12		#05-D1-C1-L0=X		#06-F7-P5-L2=18		#07-F6-P1-L3=14		#08-F4-Y2-L2=12		#09-R6-P6-L2=10		#10-R7-Y5-L2=12	
		CALIFICACIÓN		CALIFICACIÓN		CALIFICACIÓN		CALIFICACIÓN		CALIFICACIÓN		CALIFICACIÓN		CALIFICACIÓN		CALIFICACIÓN		CALIFICACIÓN		CALIFICACIÓN	
TIEMPO DE SECADO h	MAS TIEMPO MENOR PUNTUACION	132	3	96	4	192	1	168	2	x	0	12	9	11	9	72	8	8	10	60	7
DEFORMACIONES	MAS DEFORME MENOR PUNTUACION	si	2	si	2	si	3	si	3	x	0	si	10	si	7	no	9	no	7	no	10
FISURAS	MAS FISURAS MENOR PUNTUACION	si	2	no	10	si	1	no	10	x	0	no	10	no	10	no	10	no	10	no	10
DENSIDAD g/cm3	MAJOR DENSIDAD MAYOR PUNTUACION	0,74	8	0,28	4	1,25	10	0,54	4	x	0	0,28	4	0,44	7	0,41	6	0,34	5	0,83	9
CONTRACCIÓN %	MEJOR CONTRACCION MAYOR PUNTUACION	65%	2	60%	4	42%	7	39%	8	x	0	50%	6	56%	5	49%	6	27%	10	33%	9
TOTAL			17		24		22		27		0		39		38		39		42		45

Nota: Elaboración propia

Llegamos a importantes conclusiones después de aplicar la matriz de evaluación y las primeras conclusiones del desarrollo del panel. Debido a su prolongado tiempo de secado y la presencia de irregularidades, grietas y ondulaciones en los bordes y superficies, las muestras del 1 al 4 no fueron aceptables, lo que no contribuyó al acabado estético deseado del panel.

Figura 14

Muestras de la 1 a la 4

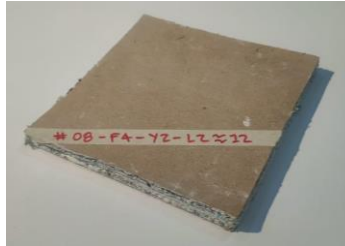


Nota: Elaboración propia

Por otro lado, las muestras 5 y 8 tampoco fueron viables, ya que el aglomerante utilizado requería un tiempo de secado de 15 días, lo que no lo hace factible para una producción masiva del panel.

Figura 15

Muestra número 8



Nota: Elaboración propia, La muestra #5 no fue posible dejar registro fotográfico ya que en ningún momento seco.

Tras completar el proceso de evaluación, las muestras 6, 7, 9 y 10 destacaron por su comportamiento excepcional en todas las evaluaciones realizadas. Estas muestras mostraron mínimas irregularidades, ausencia de grietas o porosidades, y un cambio de dimensiones estable durante el proceso de secado. En consecuencia, identificamos estas cuatro muestras como las más prometedoras para avanzar en nuestro proyecto.

Decidimos proceder con estas muestras para realizar probetas de un tamaño mayor. Esto nos permitirá analizar su comportamiento físico con mayor detalle y profundidad. Además, este paso nos acerca aún más a nuestro siguiente objetivo en el proyecto: llevar a cabo pruebas de laboratorio para medir la eficiencia del panel en términos de aislamiento acústico.

Figura 16

Muestra 6,7,9 y 10



Nota: Elaboración propia

Capítulo 4 - Medición de eficiencia del panel por medio de pruebas de laboratorio

Una vez seleccionadas las muestras con el mejor desempeño, procedimos a elaborar moldes de un tamaño de 30x30 cm. El objetivo era analizar cómo se comportaban los componentes del panel a una escala mayor.

Estos moldes nos permitieron realizar pruebas más detalladas y precisas, replicando las condiciones a las que estaría expuesto el panel en una situación real. Observamos con atención cómo interactuaban los materiales textiles con los aglomerantes seleccionados, evaluando su resistencia, durabilidad y capacidad de aislamiento acústico en un contexto ampliado. Este paso crucial nos brindó información valiosa para afinar aún más nuestro diseño y prepararnos para las pruebas de laboratorio.

Figura 17

Moldes para paneles



Nota: Elaboración propia

Pruebas acústicas

Una vez que los paneles estuvieron consolidados, procedimos a realizar pruebas de eficiencia de aislamiento acústico en el laboratorio de bioclimática de la Universidad La Gran Colombia. Para llevar a cabo estas pruebas, utilizamos equipos y artefactos específicos para la correcta medición del sonido.

Entre los equipos utilizados se encontraban un sonómetro Extech HD600, una caja de prueba de 30x30x30 cm con aislante acústico de poliestireno expandido suministrada por el laboratorio y una fuente de sonido puntual, que en este caso fue un Parlante Bose SoundLink Revolve II.

El desarrollo de las pruebas se llevó a cabo en cinco mediciones; para cada medición, se ubicó el sonómetro dentro de la caja aislante, sin ninguna tapa en la parte superior. Se dispuso la fuente de sonido a una distancia de 30 cm del sonómetro y reprodujo un sonido rosa constante a 500 Hz de frecuencia durante 5 minutos. Durante este proceso, registramos las mediciones del ruido ambiente junto con la fuente de sonido, para determinar el nivel de decibelios en este entorno específico.

Estas pruebas nos proporcionaron unos datos específicos; luego de realizar un análisis de los resultados obtenidos, se detectaron discrepancias significativas. Inicialmente, se registró un promedio de 86 dB al medir los niveles de presión sonora emitidos por la fuente de sonido. Posteriormente, al introducir el panel aislante en la caja acústica, los resultados mostraron un aumento en los niveles de sonido, alcanzando aproximadamente 88 dB, este resultado se consideró como no válido, ya que al interrumpir el paso de las ondas con cualquier tipo de material se debe mantener o disminuir los dB.

Tras esta evaluación de los datos recopilados y con la asesoría por parte del arquitecto del laboratorio de bioclimática, se concluyó que las variaciones observadas en las pruebas fueron atribuibles a deficiencias en la calidad de fabricación de la caja de prueba (ver Figura 18). Dichas deficiencias,

relacionadas con las uniones, el material aislante utilizado y el calibre de la madera, permitieron la filtración de sonido, lo que a su vez afectó la integridad de los resultados obtenidos durante las pruebas.

Figura 18

Caja prueba acústica inicial



Nota: Elaboración propia

Ante las limitaciones evidenciadas en la primera caja de pruebas acústicas, que comprometían la integridad de los resultados obtenidos durante las pruebas, se tomó la decisión de fabricar una nueva caja utilizando materiales aislantes de mayor calidad. En la construcción de esta nueva caja se optó por una combinación de materiales que proporcionaran un mayor nivel de aislamiento acústico; las especificaciones de la nueva caja incluyeron el uso de MDF de 9 mm de espesor para las caras externas, poliestireno expandido como primera capa interior y corcho de 3 mm en todas las caras. Estos materiales fueron seleccionados por sus propiedades de absorción y aislamiento del sonido, con el objetivo de minimizar la filtración de ruido externo y garantizar un entorno controlado para la realización de las pruebas acústicas.

Las dimensiones generales de la caja se establecieron en 45 cm x 45 cm x 50 cm de alto, con el fin de proporcionar un espacio adecuado para la disposición de los equipos de medición y la fuente sonora, así como para permitir la realización de las pruebas con la precisión requerida.

Figura 19

Caja prueba acústica final



Nota: Elaboración propia

Llegados a este punto, y para continuar con las pruebas acústicas de los prototipos, nos dirigimos al laboratorio de tierra y madera en Chía. En este entorno, se llevó a cabo una excavación de 50 cm de profundidad, con todos sus lados también de 50 cm. La caja acústica fue colocada en este hueco con el fin de asegurar condiciones óptimas de aislamiento acústico. Esta disposición garantizó que las únicas fuentes de sonido presentes fueran las generadas por el emisor (bafle de sonido), permitiendo así medir con mayor precisión la eficiencia de los paneles aislantes.

En una etapa inicial, se evaluaron las condiciones del ruido ambiente en el campus; esta evaluación arrojó un promedio de 41 dB. Además, de acuerdo con la Resolución 627 (2006), se establece la necesidad de medir la velocidad del viento mediante un anemómetro (Figura 20) o un instrumento similar. Si esta velocidad supera los tres metros por segundo (3 m/s), se requiere el uso de una pantalla anti-viento acorde a la velocidad medida. Tras realizar la medición correspondiente, se registró una velocidad máxima de 2.1 m/s, lo cual garantizaba condiciones adecuadas para la realización de las pruebas acústicas en el laboratorio de tierra y madera.

Este protocolo de preparación del entorno experimental aseguró la minimización de variables externas que pudieran afectar los resultados de las pruebas acústicas, permitiendo así una evaluación más precisa de la eficacia de los paneles analizados.

Figura 20

Medición de viento con anemómetro



Nota: Elaboración propia

En una segunda etapa de la prueba, se procedió a colocar sobre el suelo la fuente de emisión con un sonido rosa constante a una frecuencia de 170 Hz. El promedio registrado de presión sonora fue de 91 dB, lo cual se consideró una medida óptima para simular condiciones críticas de exposición sonora en una vivienda industrializada.

Con estos datos fundamentales, se llevó a cabo la fase de pruebas acústicas de los paneles. Se implementaron dos tipos de pruebas distintas: en la primera, el sonómetro se ubicó dentro de la caja mientras que la fuente de sonido se posicionó en el exterior; en la segunda, se invirtieron las posiciones, colocando el sonómetro en el exterior y la fuente de sonido en el interior de la caja. Ambas pruebas se realizaron para los cuatro paneles, utilizando una fuente de sonido con un tono rosa a 170 Hz y una duración de prueba de 5 minutos por panel.

Figura 21

Registro fotográfico pruebas acústicas.



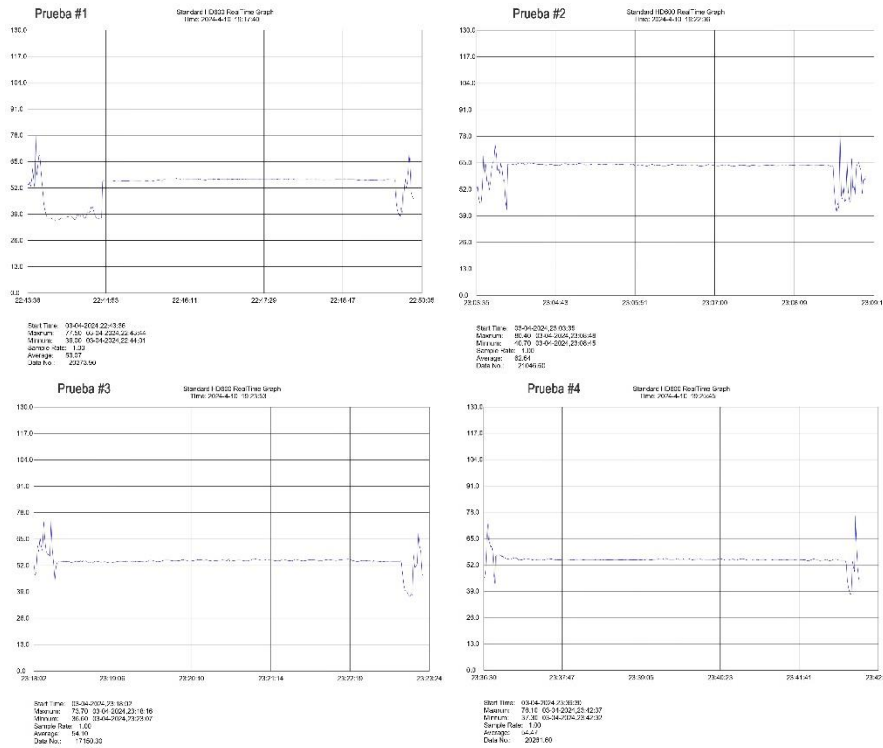
Nota: Elaboración propia

Como resultado del análisis del panel número 1, compuesto por retazos y aglomerante de yeso, se observaron valores específicos de aislamiento acústico. Se registró un pico máximo de 77 dB, un pico mínimo de 36 dB y un promedio de aislamiento acústico de 53 dB. En la prueba número 2, se evaluó el panel conformado por retazos y aglomerante de PVA, obteniéndose un pico máximo de ruido de 80 dB, un valor mínimo de 40 dB y un promedio de aislamiento acústico de 62.6 dB.

En la prueba número 3, se analizó el panel elaborado con fieltro y aglomerante de yeso, arrojando un valor máximo de 73.7 dB, un valor mínimo de 36 dB y un promedio de aislamiento acústico de 54.1 dB. Finalmente, en la prueba número 4, se evaluó el panel compuesto por fieltro y aglomerante de PVA, obteniéndose un pico máximo de ruido de 76 dB, un pico mínimo de 37 dB y un promedio de aislamiento acústico de 54.47 dB.

Tabla 7

Graficas pruebas acústicas



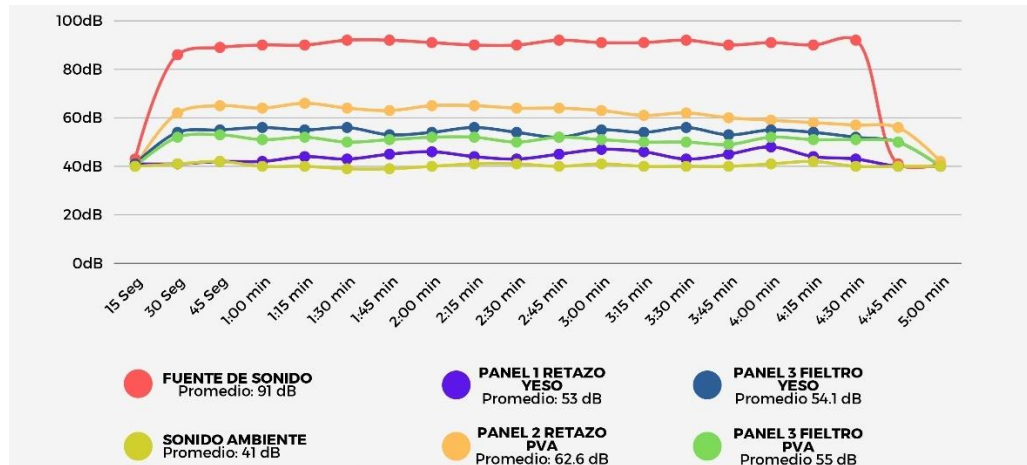
Nota: Elaboración propia

Estos resultados proporcionaron una visión detallada del rendimiento de cada panel en términos de su capacidad para aislar el ruido. Se observó una variación en los valores máximos y mínimos registrados, así como en los promedios de aislamiento acústico, lo que sugiere diferencias en la eficacia de cada material y aglomerante utilizado en la composición de los paneles.

El análisis de los resultados obtenidos durante las pruebas (ver Tabla 8) reveló que el panel número 1, compuesto por retazo textil y aglomerante de yeso, demostró un desempeño sobresaliente en términos de aislamiento acústico. Este panel registró un promedio de 53 dB en relación con la fuente de sonido externa, que mantenía un promedio de 91 dB, **se evidencia un aislamiento acústico aproximado de 38 dB**. Como resultado preliminar, se consideró la selección de este panel para el desarrollo futuro del proyecto.

Tabla 8

Resumen graficas pruebas acústicas



Nota: Estas pruebas se realizaron con las condiciones óptimas de ruido y de acuerdo a la Resolución 627 (2006). Elaboración propia.

Pruebas físicas

Tras obtener resultados prometedores en cuanto a la eficiencia acústica de los paneles, se procedió a llevar a cabo pruebas para evaluar su comportamiento físico. Estas pruebas fueron realizadas en el laboratorio de Ingeniería Civil de la Universidad La Gran Colombia.

La primera prueba tuvo como objetivo analizar la capacidad de deformación y resistencia de los paneles. Para ello, se utilizó una prensa multi-ensayo (ver Figura 22), conforme a las directrices establecidas por, Sociedad Estadounidense para Pruebas y Materiales [ASTM C-473] (2016), la cual define los métodos para realizar pruebas físicas en productos de paneles de yeso. Esta normativa proporciona un marco de referencia confiable y reconocido internacionalmente para la evaluación de la resistencia y deformabilidad de los materiales utilizados en la construcción.

Figura 22

Prensa multi-ensayo



Nota: Elaboración propia

Se llevaron a cabo pruebas de deformación en los cuatro paneles fabricados con unas dimensiones de 18cm de ancho x 50cm de largo, esta medida de acuerdo a las dimensiones de la prensa multi-ensayo, se implementó un cilindro metálico para aplicar una carga puntual en el centro de los paneles, de manera que los paneles fueron sometidos a cargas que variaban desde 0 hasta 3.5 kN, con una velocidad de carga constante de 1 mm por minuto.

En la prueba física del panel número 1, compuesto por fieltro y aglomerante de yeso, se requirió aplicar una carga aproximada de 0.25 kN para lograr una deformación de 21 mm en la parte central del panel. Por su parte, en el panel número 2, compuesto por fieltro y aglomerante de PVA, fue necesario aplicar una carga aproximada de 0.5 kN para alcanzar la misma deformación de 21 mm.

Para las pruebas del panel número 3, compuesto por retazos y aglomerante de yeso, se generó una carga de 3.5 kN hasta alcanzar una deformación de 21 mm. Finalmente, en la prueba número 4, elaborada con retazos y aglomerante de PVA, se aplicó una carga de 1.75 kN para lograr una deformación de 21 mm.

Figura 23

Prueba de carga y deformación.



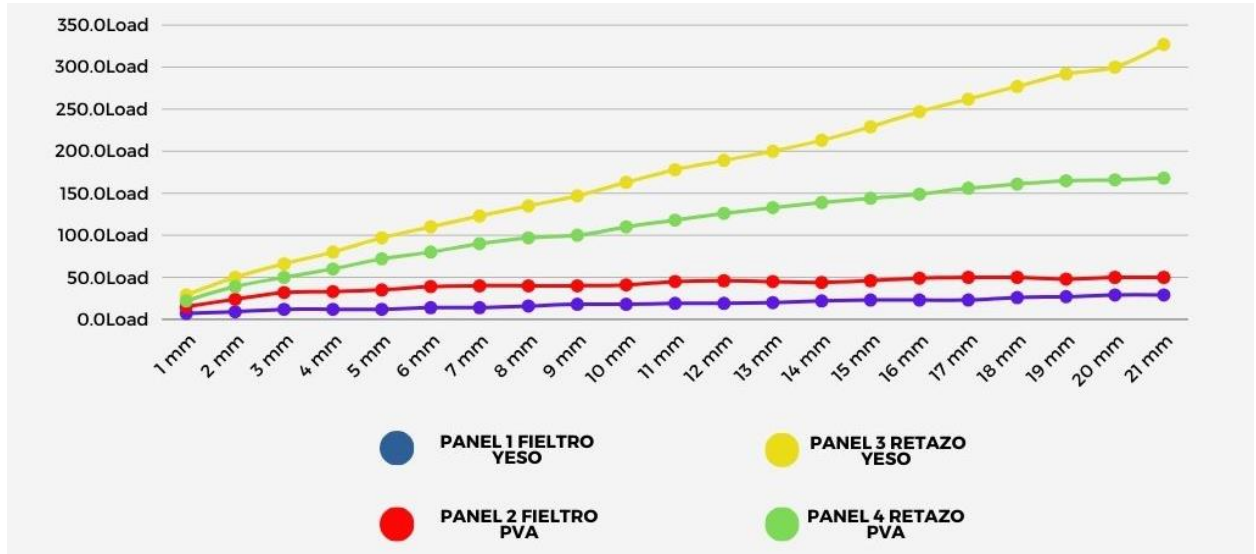
Nota: Elaboración propia

Los resultados de estas pruebas iniciales revelaron que el prototipo compuesto por retazos y yeso demostró un excelente desempeño en cuanto a la deformación, requiriendo una fuerza de 3.5 kN para alcanzar una deformación de 21 mm, sin presentar fallos. Es importante destacar que ninguno de los cuatro prototipos llegó al punto de fallo, lo que sugiere una excelente elasticidad en todos los paneles evaluados.

Este hallazgo indica que los materiales y métodos de construcción utilizados en el prototipo de retazos y yeso ofrecen una resistencia considerable frente a cargas puntuales, lo que los hace adecuados para aplicaciones donde se requiera una buena capacidad de carga y deformación sin comprometer la integridad estructural del material.

Tabla 9

Resumen pruebas físicas de deformación.



Nota: Estas pruebas se realizaron con base en Sociedad Estadounidense para pruebas y Materiales [ASTM-C-473] (2016).

Elaboración propia.

Siguiendo con las pruebas físicas subsiguientes, se llevaron a cabo ensayos para evaluar la capacidad de resistencia al impacto de los paneles. Siguiendo las recomendaciones del ingeniero laboratorista, se utilizó una esfera con un diámetro de 3 cm y un peso de 419 g. La esfera fue dejada caer desde una altura de 1 m, utilizando una guía para dirigir la caída de manera precisa sobre los paneles; el propósito de estas pruebas fue analizar el comportamiento de los paneles ante impactos, y se observó que después de someter los cuatro prototipos al ensayo, se evidenció una marca muy leve en los paneles, con un diámetro aproximado de 2.5 cm (ver Figura 24).

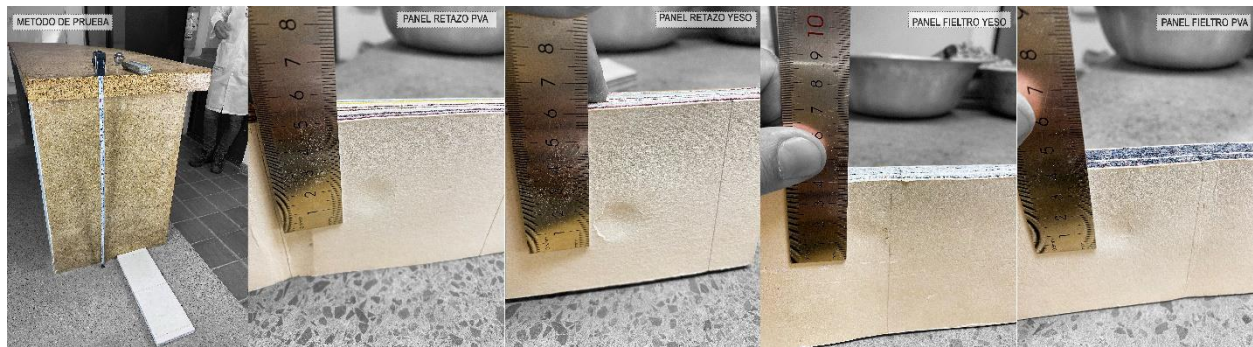
Este hallazgo sugiere que los paneles exhiben una capacidad de resistencia al impacto adecuada para aplicaciones constructivas habituales, además con una capacidad de resiliencia considerable ya que después de pasar aproximadamente 15 minutos la marca se hizo menos visible. La presencia de una

marca poco visible evidencia que los paneles pudieron absorber parte de la energía del impacto, lo que demuestra su capacidad para resistir daños significativos bajo condiciones de carga similares.

Estos resultados son relevantes para la evaluación de la durabilidad y la capacidad de rendimiento de los paneles en situaciones donde pueden estar expuestos a impactos o golpes durante su uso y manipulación.

Figura 24

Prueba de impacto.



Nota: Elaboración propia

Prosiguiendo con las pruebas físicas, se llevó a cabo una evaluación de la dureza superficial de los paneles. Para este propósito, se utilizó un esclerómetro como instrumento de medición, el cual generaba una carga de 0.5 kg/cm^2 en cada una de las 10 lecturas realizadas durante la prueba.

Los resultados de estas pruebas indicaron que el material de los paneles exhibe una adecuada dureza superficial, con una resistencia aproximada de 16 N de fuerza superficial. Este hallazgo sugiere que los paneles poseen una superficie lo suficientemente resistente para soportar cargas y resistir la abrasión y el desgaste en condiciones de uso normales.

La evaluación de la dureza superficial es importante para determinar la resistencia y durabilidad del material frente a condiciones de uso y manipulación, así como para prever su rendimiento a largo plazo en la implementación en viviendas.

Figura 25

Resultado prueba esclerómetro.



Nota: Elaboración propia

Durante el desarrollo de este objetivo, se realizaron una serie de pruebas físicas para evaluar las propiedades mecánicas de los paneles. Estas pruebas incluyeron análisis de deformación, resistencia al impacto y dureza superficial. Los paneles mostraron una respuesta adecuada ante cargas puntuales, sin llegar al punto de fallo; el prototipo compuesto por retazos y yeso destacó por su excelente desempeño en resistencia y deformación. En las pruebas de resistencia al impacto, se observó que los paneles fueron capaces de absorber energía y resistir daños, demostrando una capacidad adecuada para absorber impactos y mantener la integridad estructural.

En conclusión, a los resultados obtenidos de todas las pruebas físicas indican que los paneles desarrollados exhiben propiedades mecánicas satisfactorias para la aplicación en proyectos de

construcción y diseño arquitectónico. Estos hallazgos respaldan la viabilidad y el potencial de los paneles como una opción efectiva y confiable en términos de resistencia y durabilidad en diferentes contextos de uso.

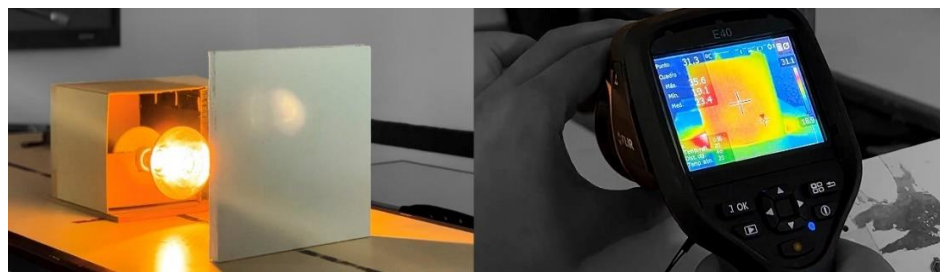
Pruebas Térmicas

Durante esta fase de la investigación se realizaron pruebas en colaboración con el laboratorio de bioclimática para evaluar el comportamiento térmico de los paneles. Para ello, se implementó un procedimiento que implicaba la exposición de paneles con dimensiones de 30x30cm a una fuente de calor controlada.

Inicialmente, se ubicó una fuente de calor equipada con una bombilla de 100W, la superficie de esta fuente de calor tenía una temperatura superficial de aproximadamente 200°C. y se ubicó a una distancia de 30 cm del panel. A continuación, se utilizó una cámara termográfica para registrar la temperatura en la parte del panel expuesta al calor y en la parte posterior del mismo, con el fin de evaluar su comportamiento térmico; se realizaron tres registros térmicos en intervalos de tiempo específicos: el primero se tomó después de 5 minutos de exposición al calor, el segundo a los 10 minutos y el tercero después de 15 minutos de exposición continua a la fuente de calor.

Figura 26

Prueba térmica.



Nota: Elaboración propia

Las pruebas de comportamiento térmico proporcionaron datos significativos sobre las propiedades de los paneles en relación con la captación y el aislamiento térmico.

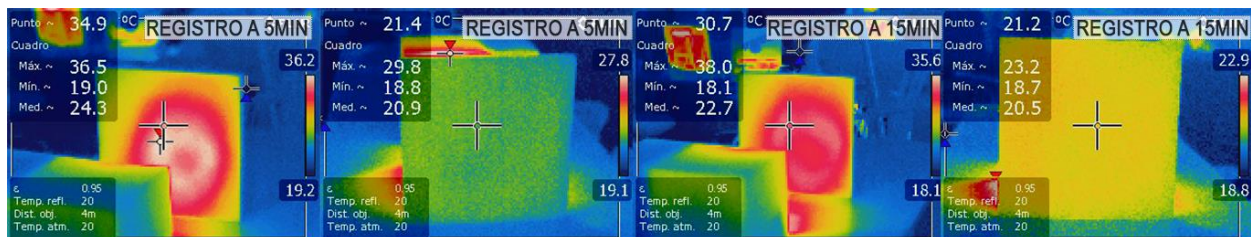
En primer lugar, al comparar la diferencia de temperatura entre el lado expuesto a la fuente de calor y el lado posterior del panel, se observó que no se registraba un aumento significativo de temperatura en la cara posterior. Este hallazgo sugiere que el material posee una alta conductividad térmica, lo que le permite transportar eficientemente el calor a través de su espesor.

Por otro lado, al analizar los registros termográficos, se pudo inferir que el panel exhibe un buen aislamiento térmico lateral, es decir, el calor generado se retiene principalmente en la dirección en la que fue aplicado, en lugar de disiparse lateralmente.

Es importante destacar que, aunque estas pruebas proporcionaron resultados básicos pero esenciales para comprender el comportamiento térmico general de los paneles, no se llevaron a cabo un análisis exhaustivo debido al alcance estipulado del proyecto. Sin embargo, como conclusión preliminar, se observó que el panel compuesto por retazos y PVA demostró el mejor comportamiento térmico entre los evaluados.

Figura 27

Prueba termográfica.



Nota: Elaboración propia

Pruebas Ignífugas

Para completar las pruebas de laboratorio, fue importante investigar el comportamiento de los prototipos bajo fuego según los requisitos establecidos en, Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente [NSR-10] (2010), específicamente en el capítulo J, que trata de las Normas de prevención de incendios en edificaciones.

Según el ítem J.2.5.2 enfocado en acabados interiores, establece que los materiales utilizados con este fin decorativo deberán cumplir con las normas establecidas en este apartado. Asimismo, el numeral J.2.5.2.1 prohíbe el uso de materiales de acabado interior que, cuando se exponen al fuego, liberan sustancias tóxicas en concentraciones mayores que las resultantes de la descomposición o combustión de materiales como papel o madera. Por último, en el numeral J.2.5.2.2 también establece que los materiales utilizados en acabados de interiores deben clasificarse según sus características de propagación de llama como se especifica en la Tabla 10 de la norma.

Tabla 10

Clasificación del material según su característica de propagación de la llama.

Clase	Índice de propagación de la llama
1	0 a 25
2	26 a 75
3	76 a 225
4	Más de 225

Nota: Tomado de “Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente.” 2010.

(<https://www.unisdr.org/campaign/resilientcities/uploads/city/attachments/3871-10684.pdf>).

De acuerdo con la norma anterior y teniendo en cuenta el numeral J.2.5.2.3, se determina que el índice de propagación de la llama es una medida comparativa presentada en forma adimensional. Este

índice sirve como forma visual de clasificar la velocidad de propagación del fuego en el tiempo según los estándares definidos por Sociedad Estadounidense para pruebas y Materiales [ASTM-E84] (2023). En la Tabla 11, se muestra una clasificación orientativa de los diferentes tipos de materiales utilizados en acabados interiores en función de la velocidad de propagación de la llama; esta clasificación proporcionó una guía útil para evaluar el riesgo de propagación de incendios asociado a los diferentes tipos de materiales utilizados para el acabado interior de los edificios.

Tabla 11

Clasificación de algunos materiales utilizados para acabados interiores según índice de propagación.

Clase	Materiales
1	<ul style="list-style-type: none"> • Pañetes de cemento • Cartón de Fibro - cemento • Fibro – asfalto • Placas planas de fibrocemento • Placas planas de fibrosilicato • Ladrillo • Baldosas de cerámica • Lana de vidrio sin aglutinantes ni aditivos • Vidrio • Algunos azulejos antiacústicos
2	<ul style="list-style-type: none"> • Hoja de aluminio sobre respaldo apropiado. • Cartón de fibra o yeso con revestimiento de papel. • Madera tratada mediante impregnación. • Algunos pañetes antisonoros. • Algunos azulejos antiacústicos.
3	<ul style="list-style-type: none"> • Madera de espesor nominal de 2,5 cm o más. • Planchas de fibra con revestimiento a prueba de fuego. • Azulejo antiacústicos, combustible, con revestimiento a prueba de fuego. • Cartón endurecido. • Algunos plásticos.
4	<ul style="list-style-type: none"> • Papel asfáltico • Tela • Viruta • Superficies cubiertas con aceite o parafina. • Papel • Plásticos, sin grado que permita asignarlos a otras clases • Algodón

Nota: Tomado de “Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente.” 2010.

(<https://www.unisdr.org/campaign/resilientcities/uploads/city/attachments/3871-10684.pdf>)

Finalmente, tal y como se determina en el numeral J.2.5.2.4, se determina la clasificación requerida de los materiales de acabado interior a utilizar, teniendo en cuenta el grupo ocupacional para el que se clasifica el edificio y su ubicación en el mismo (ver Tabla 12).

Tabla 12

Clasificación requerida del índice de propagación de llama para acabados interiores de acuerdo con el grupo de ocupación de cada edificación.

Clasificación requerida del índice de propagación de llama para acabados interiores de acuerdo con el grupo de ocupación de cada edificación

Grupo de Ocupación	Ubicación del acabado interior			
	Medios de Salida Normales	Corredores	Espacios con áreas < 170 m ²	Espacios con áreas > 170 m ²
ALMACENAMIENTO (A-1)	1	1	2	3
(A-2)	1	1	2	3
COMERCIAL (C-1)	1	1	3	3
(C-2)	1	1	2	3
ESPECIAL (E)	1	1	2	2
FABRIL E INDUSTRIAL (F-1)	1	2	2	2
(F-2)	1	2	2	3
INSTITUCIONAL	(I-1)	1	2	2
	(I-2)	1	1	2
	(I-3)	1	1	2
	(I-4)	1	2	2
	(I-5)	1	2	3
LUGARES DE REUNIÓN (L)	1	2	2	2
MIXTO Y OTROS (M)	1	1	2	3
ALTA PELIGROSIDAD (P)	1	1	2	2
RESIDENCIAL (R-1)	2	2	4	4
(R-2)	1	1	2	2
(R-3)	1	1	2	2
TEMPORAL (T)	1	2	3	3

Nota: Tomado de “Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente.” 2010.

<https://www.unisdr.org/campaign/resilientcities/uploads/city/attachments/3871-10684.pdf>

Considerando las disposiciones normativas según reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente, sobre protección contra incendios en edificaciones, se concluyó que los materiales empleados en la fabricación para viviendas deben cumplir con clasificaciones específicas en función de su comportamiento ante el fuego. Según lo evidenciado en la tabla 11 previamente examinada, se ha constatado que un tipo de material compuesto por cartón de fibra o yeso con acabado de papel se clasifica dentro de la Clase 2 en términos de propagación de llama.

Al analizar las características de los paneles desarrollados en este proyecto, se observó que comparten una composición similar a la de los materiales clasificados dentro de la Clase 2 según la normativa. Por lo tanto, se logró afirmar que los paneles cumplen con los requisitos establecidos por la

normativa en cuanto a la clasificación de materiales para uso residencial (ver Tabla 12), en términos de protección contra incendios.

Estos hallazgos indicaron el potencial de ser implementados los paneles de manera segura en proyectos residenciales, ya que cumplen con los estándares de seguridad requeridos para esta ocupación.

Sin embargo, el desarrollo de los paneles propuestos contiene una composición diferente a la tradicionalmente vista en los materiales comerciales y mencionados en la anterior norma, así que, se llevaron a cabo unas pruebas de fuego basadas en, Sociedad Estadounidense para pruebas y Materiales [ASTM-E84] (2023), establece que el método de prueba estándar para las características de combustión superficial de materiales de construcción.

Para estas pruebas, se necesitó una fuente de emisión de fuego, la cual se implementó un soplete de gas butano con llama graduable, adicional a esto y con basados en los lineamientos de la norma mencionada anteriormente se dispuso el panel de prueba de manera horizontal y separado de la fuente de fuego aproximadamente a 5cm de distancia; los prototipos se mejoraron su comportamiento al fuego por medio de uno mineral denominado Bórax a través del método de inmersión en el proceso de la elaboración del panel.

Figura 28

Pruebas ignífugas.



Nota: Elaboración propia

Durante el desarrollo de estas pruebas ignífugas, se evaluaron aspectos como, el tiempo en consumirse, propagación de llama, al retirar la fuente de fuego si sigue generando llama y emisiones de humo.

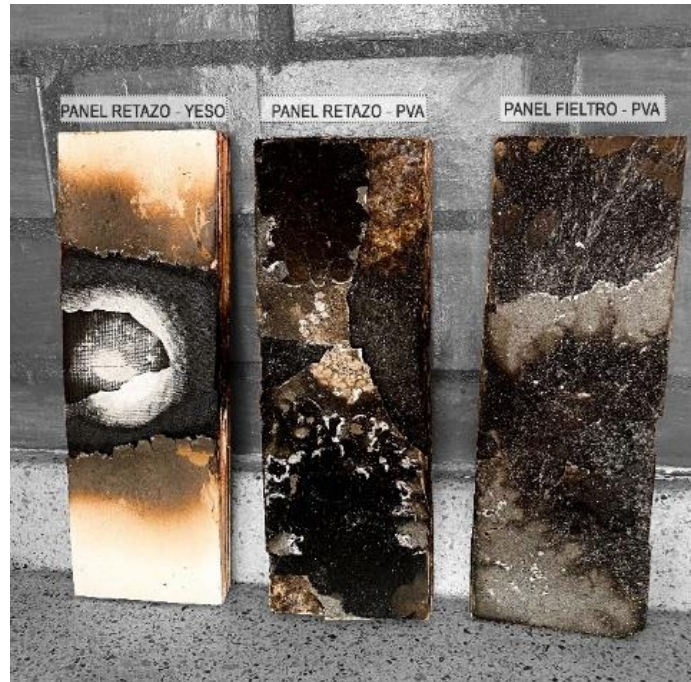
Como conclusión, los paneles en general tratados con mineral bórico y en particular el panel compuesto por retazos y yeso tuvo un excelente desempeño ante el comportamiento al fuego, teniendo una duración aproximada de 20 minutos sin llegar al fallo y llegando a consumirse desde la superficie hasta el núcleo del panel solo un 30% aproximadamente, no fue posible dejar la prueba hasta que llegara al fallo por motivos de seguridad, de manera que, por el avance en el tiempo expuesto al fuego y su comportamiento se estima que el fallo de panel puede estar aproximado en 40 minutos.

Adicional a esto y un factor de suma importancia al momento de retirar la fuente de fuego, se evidenció que el panel no mantiene ninguna llama en su superficie, lo que garantiza una baja propagación de llamas. Por último, se analizó la emanación de humos luego de ser retirado en totalidad

la fuente de fuego, se evidencia una notoria diferencia con los paneles tratados con el mineral bórax y los que no tiene, ya que el panel tratado emana una cantidad de humo baja, y de color claro.

Figura 29

Resultado pruebas ignífugas.



Nota: Elaboración propia

Capítulo 5 – Desarrollo del sistema constructivo y de montaje

Para el desarrollo del sistema de montaje, se llevó a cabo un análisis de los métodos comercialmente utilizados, con el fin de evaluar aspectos económicos, materialidad y eficiencia constructiva. Entre los sistemas analizados se encuentra el sistema de espuma acústica, que es el más comúnmente implementado para el acondicionamiento acústico, este sistema se caracteriza por su metodología de montaje sencilla, que consiste en la aplicación de un pegamento adhesivo directamente sobre las paredes o techos.

Asimismo, se evaluó el sistema de bloques de lana mineral, lana de roca y fibra de vidrio, que utiliza el método tradicionalmente empleado en el sistema de drywall. Este sistema está compuesto por una perfilera de acero galvanizado y se distingue por ser versátil, liviano y rápido de instalar; sin embargo, presenta la desventaja de ocupar un espacio aproximado de 7.5 cm desde el muro hasta el acabado final.

El análisis de estos sistemas de montaje permitió identificar las mejores prácticas en términos de economía, materialidad y eficiencia, proporcionando una base sólida para la implementación de un sistema de montaje adecuado para los paneles desarrollados en este proyecto.

Figura 30

Sistemas de montaje de aislamiento acústico tradicionalmente usados



Nota: Adaptado de “5 cosas que debes conocer sobre el aislamiento acústico con drywall.” 2023.

[\(https://www.expertosupermastick.com/construccion/aislamiento-acustico-de-paredes-con-drywall/\)](https://www.expertosupermastick.com/construccion/aislamiento-acustico-de-paredes-con-drywall/)

Con el propósito de implementar aspectos eficaces de sistemas tradicionales y la propuesta desarrollada en esta investigación, se diseñó un sistema híbrido de montaje compuesto por dos componentes principales:

1- Sistema de Juntas

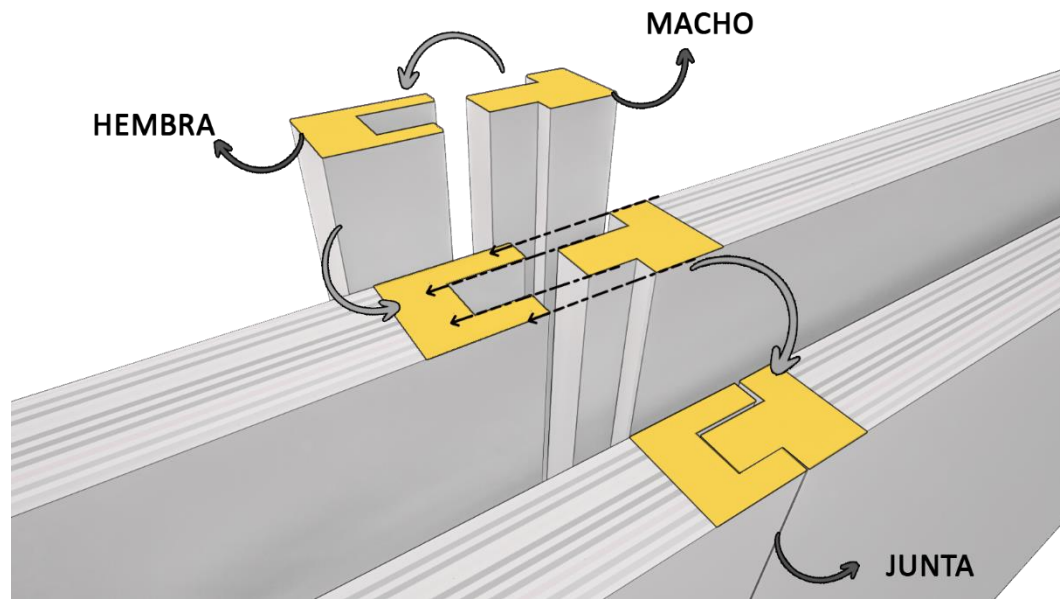
Para el desarrollo del sistema de juntas, se tomó como referencia los sistemas previamente analizados y lo establecido en el “Método de ensayo para materiales de tratamiento de juntas en la construcción de placa de yeso” (Norma Técnica Colombiana [NTC 6340:2019], 2019). Estos lineamientos detallan la adherencia del material a una superficie de yeso, la resistencia al agrietamiento, la resistencia al impacto, la durabilidad y la flexibilidad de las juntas.

Basándose en estos estándares, se diseñó un sistema de juntas compuesto por cantos fabricados en MDF. Estas juntas están diseñadas con un sistema hembra-macho, lo cual garantiza un

ajuste preciso y seguro entre los paneles, mejorando tanto la estabilidad estructural como la eficiencia en la instalación.

Figura 31

Sistema de ensamble Machi-Hembrado



Nota: Elaboración propia

Este diseño funciona como un sistema de ensamble, reduciendo significativamente la posibilidad de fisuras debido a movimientos y cambios de temperatura. Además, se evita la creación de puentes acústicos mediante el traslape en cada canto del elemento.

Para complementar el sistema de juntas, se estableció un acabado superficial utilizando cinta malla y estuco plástico. Posteriormente, esta superficie se lija y se pinta, logrando juntas invisibles y permitiendo la aplicación del acabado final deseado mediante la pintura. Este proceso no solo mejora la estética, sino que también contribuye a la durabilidad y funcionalidad del sistema, garantizando un rendimiento óptimo en aplicaciones residenciales.

2- Sistema de anclaje a muros y placas

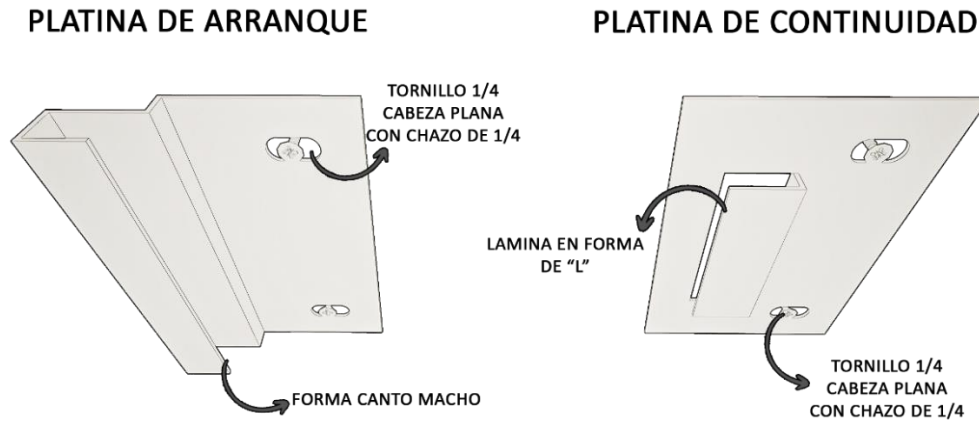
Para el sistema de anclaje, se evaluaron diferentes opciones hasta llegar a una propuesta compuesta por dos tipos específicos de platinas, cada una con una función particular.

Primero, se diseñó la platina de arranque para la instalación del sistema de aislamiento acústico, con dimensiones generales de 10 cm de alto por 7 cm de ancho. Ahora bien, la materialidad de esta platina fue con referencia al análisis hecho previamente de los sistemas tradicionales de instalación de paneles de yeso, así que, se implementó el material de acero galvanizado en la elaboración del sistema de montaje. Esta platina de arranque está diseñada para encajar con el canto macho de los paneles y se fija a la pared mediante dos agujeros que permiten su aseguramiento con chazos de 1/4 y tornillos de cabeza plana (ver Figura 32).

En segundo lugar, se diseñó una platina de continuidad para la instalación de los paneles a lo largo del muro o la placa. Esta platina, aunque similar en dimensiones y materialidad a la platina de arranque, presenta una diferencia clave: no posee la forma específica del canto macho de los paneles. En su lugar, tiene una lámina en forma de L en el centro (ver Figura 32), que actúa como un mecanismo de agarre, complementándose con el canto hembra del panel. Este diseño asegura la firmeza y estabilidad de los paneles cuando se instalan en paredes o techos.

Figura 32

Platinas sistema de anclaje

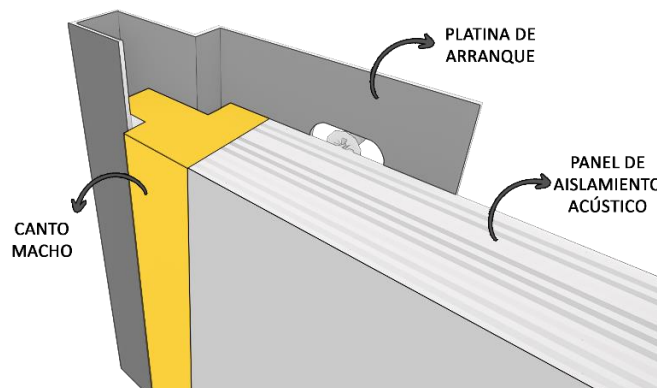


Nota: Elaboración propia

Para entender la integración de los dos componentes principales del sistema, es importante describir cómo se unifican para completar el proceso de instalación. Primero, se instalan las platinas de arranque en la pared, con una distancia máxima de 45 cm entre cada una. Posteriormente, se coloca el primer panel, encajando el canto macho del panel en la platina de arranque.

Figura 33

Arranque instalación del sistema

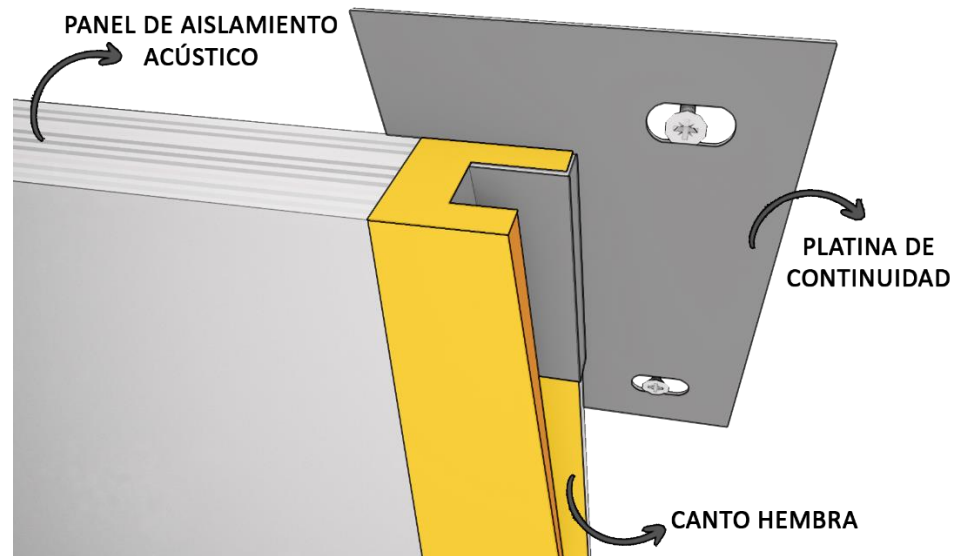


Nota: Elaboración propia

Una vez que el primer panel está instalado, el otro costado del panel presenta el canto hembra, donde se procede a instalar las platinas de continuidad, nuevamente a una distancia máxima de 45 cm entre ellas. Este proceso se repite hasta completar el recubrimiento de la pared o la cubierta.

Figura 34

Continuidad de instalación del sistema.



Nota: Elaboración propia

En conclusión, el diseño de este sistema de montaje ha demostrado ser eficaz en la reducción del espacio ocupado durante la instalación, ocupando solo 3 cm, tanto para muros como para techos. Este es un avance significativo comparado con los sistemas tradicionales, que requieren un espacio de 7.5 cm incluyendo el sistema de aislamiento acústico. Además, el método de instalación desarrollado en esta investigación no requiere conocimientos especializados, lo que facilita una instalación rápida y sencilla, contribuyendo favorablemente al avance de las obras.

Este sistema, por tanto, no solo optimiza el espacio, sino que también mejora la eficiencia constructiva, permitiendo un montaje más accesible y rápido en comparación con los métodos tradicionales.

Conclusiones

El desarrollo de este proyecto ha culminado con éxito en la creación de un sistema de paneles para viviendas que cumplen con altos estándares de aislamiento acústico, resistencia física, comportamiento térmico y al fuego, conforme a las normativas vigentes.

Las pruebas acústicas iniciales realizadas en condiciones controladas demostraron que los paneles desarrollados poseen una capacidad significativa de reducción del ruido. El panel compuesto por fibras de retazo textil y yeso destacó con un aislamiento acústico promedio de 38 dB, superando los umbrales necesarios para aplicaciones en viviendas industrializadas y proporcionando un entorno acústicamente confortable. Implementando este sistema en viviendas industrializadas, se puede conseguir una mejora en el aislamiento acústico de aproximadamente 38 dB, lo cual impacta de forma positiva las condiciones de habitabilidad al reducir los riesgos de padecer enfermedades asociadas al ruido, como problemas del sueño, cardiopatía isquémica y enfermedades psicológicas. Además, contribuye al fortalecimiento del tejido social al disminuir una de las principales causas de los conflictos vecinales.

Además, la implementación de este sistema contribuye a la sostenibilidad ambiental. Utilizando fibras de retazo textil, se evita que millones de toneladas de residuos textiles sean arrojados a los vertederos, configurando un modelo de economía circular en concordancia con los objetivos de desarrollo sostenible.

En resumen, este proyecto ha logrado desarrollar paneles innovadores que no solo cumplen con las normativas vigentes en términos de acústica, resistencia física, comportamiento térmico y seguridad contra incendios, sino que también presentan ventajas significativas en términos de instalación y

eficiencia constructiva. Los resultados obtenidos sugieren que estos paneles son una solución viable y efectiva para aplicaciones en viviendas industrializadas, mejorando la calidad de vida y la seguridad de los residentes, al tiempo que se contribuye a la sostenibilidad ambiental y al fortalecimiento del tejido social.

Bibliografía

Acuerdo 20, octubre 20, 1995. Secretaría Distrital de Planeación. (Colombia). Obtenido el 12 de octubre de 2023. https://www.sdp.gov.co/sites/default/files/acuerdo_20_de_1995.pdf

Almendros, J. (2012). *Acondicionamiento acústico y simulación de un recinto de ensayos. adaptación a estudio de grabación* [Tesis de Pregrado]. Universidad Politécnica de Valencia.

Anboc Bioconstrucción Eficiente. (s.f.). *Aislamiento acústico. La protección frente al ruido como mejora de la calidad de vida*. ANBOC. <https://anboc.es/aislamiento-acustico-rehabilitacion/>

Ardizzi, N. (s.f.). Fundamentos del Sonido: Frecuencia, Periodo, Longitud de onda.

[https://www.emba.com.ar/biblioteca/Frecuencia%20-%20Periodo%20-%20Longitud%20de%20Onda%20-%20\(%20RESUMEN%20\).pdf](https://www.emba.com.ar/biblioteca/Frecuencia%20-%20Periodo%20-%20Longitud%20de%20Onda%20-%20(%20RESUMEN%20).pdf)

Armijos, P. Ávila, M. (2023). *Estudio de envolventes dinámicas para mejorar el confort acústico. Caso de estudio campus UCACUE*. (ed. *ConcienciDigital Vol. 6*).

<https://doi.org/10.33262/concienciadigital.v6i2.2534>

Bañuelos, S. (2021, septiembre). El olvidado confort acústico de los espacios.

<https://unionprofesional.com/vision-profesional/el-olvidado-confort-acustico-de-los-espacios/>

Bizkaia, Tecnalía & Ekoiure. (2018). *Informe sobre Ruido Ambiental y Salud*.

https://www.bizkaia.eus/home2/Archivos/DPTO2/Temas/Pdf/Informe_ruido_ambiental_salud.pdf?hash=618df20cebd4a1859cbc83a408d4296c

Böthig, S., Arrejuria, S., Bonfiglio, F., Cagno, M., Delgado, Y., Martínez, S., Rey, F., Cabot, P., & Martínez,

D. (s/f). *PROYECTO DE VALORIZACIÓN DE SUBPRODUCTOS DE LA INDUSTRIA DE*

TRANSFORMACIÓN MECÁNICA DE LA MADERA. Gub.uy. [https://www.gub.uy/ministerio-](https://www.gub.uy/ministerio-industria-energia-mineria/sites/ministerio-industria-energia-mineria/files/documentos/publicaciones/Informe%20General%20Final.pdf)

[industria-energia-mineria/sites/ministerio-industria-energia-](https://www.gub.uy/ministerio-industria-energia-mineria/files/documentos/publicaciones/Informe%20General%20Final.pdf)

[mineria/files/documentos/publicaciones/Informe%20General%20Final.pdf](https://www.gub.uy/ministerio-industria-energia-mineria/files/documentos/publicaciones/Informe%20General%20Final.pdf)

Bravo, F. (2015). Notas para una sociología del hogar. *Revista internacional de investigación en*

mobiliario y objetos decorativos, (4), 3-17. <https://core.ac.uk/download/pdf/71873883.pdf>

Carrascal, T. Romero, A. (2005). *Caracterización acústica de elementos constructivos habituales en la edificación residencial española, mediante ensayos en obra y en laboratorio* [Investigación].

Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja, IETcc.

<https://digital.csic.es/handle/10261/5847>

Coluccio, E. (2022, febrero). Sonido - Te explicamos qué es el sonido, sus características y cómo se

propaga. Además, cuáles son sus propiedades y qué es el sonido musical.

<https://concepto.de/sonido/>

Comaudi Industrial, Aislamiento Acústico y Control de ruido (s.f.) Aislamiento acústico ¿cómo funciona?.

<https://www.comaudi-industrial.com/blog/como-funciona-un-aislante-acustico/>

Daponte, A., Pedro, M., Virginia, B., & Jesús., V. (2011). *Urbanismo, medio ambiente y salud*.

<https://www.easp.es/?did=ODguaG90bGluaw&wpdmact=process>

Delgado, L. (2017). *Paneles para absorción acústica con desechos textiles*. [Tesis de pregrado,

Universidad de la República Uruguay]. Repositorio intitucional. Edu.uy.

https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/bitstream/20.500.12008/9946/5/EUCD-Delgado%20Paneles_absorcion_acustica.pdf

Departamento administrativo Nacional de Estadística. (2023). *Estadísticas por tema Construcción*.

<https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/construccion>

European Acústica. (2024a, marzo). Materiales Aislantes Acústicos y Absorbentes. Diferenciales.

[https://www.europeanacustica.com/materiales-aislantes-acusticos-y-absorbentes/#:~:text=Materiales%20resonantes%2C%20que%20presentan%20la,altas%20frecuencias%20\(los%20agudos\).](https://www.europeanacustica.com/materiales-aislantes-acusticos-y-absorbentes/#:~:text=Materiales%20resonantes%2C%20que%20presentan%20la,altas%20frecuencias%20(los%20agudos).)

European Acústica. (Febrero 2024b). El sonido y sus características. *European Acústica*.

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

Experto Supermastick. (2023, enero). 5 cosas que debes conocer sobre el aislamiento acústico con

drywall. <https://www.expertosupermastick.com/construccion/aislamiento-acustico-de-paredes-con-drywall/>

Fuksman, C. (2020, julio 29). *El “Confort acústico” en las construcciones actuales (Primera parte)*.

<https://www.fonac.com/el-confort-acustico-en-las-construcciones-actuales-primera-parte/>

Garahee, C. (2023, enero). ¿El reciclaje realmente hace que la moda rápida sea circular?. *Amcs*.

<https://www.amcsgroup.com/es/blogs/el-reciclaje-realmente-hace-que-la-moda-rapida-sea-circular/>

García, B. Francisco, S. (s.f.). La contaminación acústica en nuestras ciudades.

<https://www.camarazaragoza.com/medioambiente/docs/publicaciones/publicacion56.pdf>

Gerencia general de urbanismo, Obras e infraestructuras. (2011). *Plan general de ordenación urbana*

2011. Planeamiento y gestión urbanística Oficina de Revisión PGOU.

https://www.malaga.eu/recursos/urbanismo/pgou_ap2/pgou_ad1/Documento%20A.%20Introduccion%20memorias%20y%20estudio%20economico%20financiero/2.%20Memoria%20informativa/5.%20TITULO%20V/CAP%20VIII%20Epigrafe%208_4%20pags%20424%20a%20443.pdf

<https://cdn.standards.iteh.ai/samples/117214/9efe65c8c7ca418bab3da8dc5deadcb2/ASTM-E84-23d.pdf>

I.R. Acústica, (2023, marzo). Diferencia entre ruido aéreo y ruido de impacto.

<https://www.iracustica.com/diferencia-entre-ruido-aereo-y-ruido-de-impacto/>

Ingeniería CA&CCA. (2018, septiembre 18). *¿Qué es un estudio de impacto acústico?*

<https://www.caycca.com/que-consiste-estudio-impacto-acustico/>

Interempresas. (2022, 20 de enero) Reciclaje y gestión de residuos.

<https://www.interempresas.net/Reciclaje/Articulos/377323-El-62-por-ciento-del-papel-ya-es-certificado-y-se-recicla-el-78-por-ciento-del-papel-que.html>

Martínez, M. (2015). *Aproximación metodológica a la obtención de modelos de percepción de molestias a partir de parámetros psicoacústicos en vehículos ferroviarios. Aplicación a trenes de alta velocidad*. [Tesis doctoral, Universitat Politècnica de València].

[https://m.riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/59414/Mateo%20-](https://m.riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/59414/Mateo%20)

[%20Aproximaci%C3%B3n%20metodol%C3%B3gica%20a%20la%20obtenci%C3%B3n%20de%20modelos%20de%20percepci%C3%B3n%20de%20molestias%20a%20partir%20d...pdf?sequence=1&isAllowed=y](#)

Miyara, F. (2006). *Acústica y sistemas de sonido*. UNR editora

Norma técnica colombiana [NTC 6340:2019] (2019). Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. (Colombia).

Oprea, L. (2021, 29 de octubre). Confort acústico, el gran olvidado hasta que llega el ruido.

<https://bluessimongroup.com/2021/10/confort-acustico/>

Pedro, (2023). Potencia y energía en una onda.

http://laplace.us.es/wiki/index.php/Potencia_y_energ%C3%ADa_en_una_onda

Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. (2022). *Ruido, llamas y desequilibrios –*

Nuevos temas de interés ambiental. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente.

https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/38059/Frontiers2022_SP.pdf?sequence=5&isAllowed=y

Pulsar Instruments plc. (s.f.). ¿Qué es el nivel de presión sonora (SPL) y cómo se mide?

<https://pulsarinstruments.com/es/noticias/que-es-el-nivel-de-presion-sonora-spl-y-como-se-mide-2/>

Redonda, M. (2013). *Acústica aplicada a la edificación. evolución histórica desde la antigüedad hasta su actual integración en los procesos constructivos* [Tesis de pregrado]. Universidade Da Coruña.

<https://ruc.udc.es/dspace/handle/2183/10113>

Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente [NSR-10] (2010). Ministerio de Ambiente, vivienda y desarrollo territorial, Viceministerio de vivienda y desarrollo territorial, Dirección del sistema habitacional, Asociación Colombiana de ingeniería sísmica. Obtenido el 20 de febrero del 2024. (Colombia).

<https://www.unisdr.org/campaign/resilientcities/uploads/city/attachments/3871-10684.pdf>

Resolución 627/06, abril 7 de 2006. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.

(Colombia). Obtenido el 30 de noviembre 2023

<https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=19982>

Roblero, A. (2022, agosto 15). *Confort térmico-acústico: más que un lujo una necesidad*. Revista Mundo HVAC&R. [https://www.mundohvacr.com/2022/08/confort-termico-acustico-mas-que-un-lujo-](https://www.mundohvacr.com/2022/08/confort-termico-acustico-mas-que-un-lujo-una-necesidad/)

[una-necesidad/](https://www.mundohvacr.com/2022/08/confort-termico-acustico-mas-que-un-lujo-una-necesidad/)

Rodríguez, J. (s.f.). Tipos de materiales aislantes acústicos más utilizados.

<https://www.raipintores.com/blog/materiales-aislantes-acusticos/>

Rodríguez, L. (2016). *El problema de la contaminación acústica en nuestras ciudades: evaluación de la actitud que presenta la población juvenil de grandes núcleos urbanos: el caso de Zaragoza*. [Tesis

Doctoral] Universidad Zaragoza. <https://zaguan.unizar.es/record/48395/files/TESIS-2016->

[141.pdf](https://zaguan.unizar.es/record/48395/files/TESIS-2016-141.pdf)

Sanfulgencio, J. (2023, 4 de septiembre). Qué es el confort de una casa y cómo se puede medir. *Arrevo! Arquitectos*. <https://arrevo.com/blog/que-es-el-confort-de-una-casa-y-como-se-puede-medir/>

Sastrón, J. (2017, diciembre 11). *Coeficiente de absorción acústica ¿existe con valores superiores a 1?* Producciones El Sótano - Sonido e iluminación profesional; Producciones El Sótano. <https://www.produccioneselotano.com/coeficiente-de-absorcion-acustica/>

Secretaría de planeación. (2022). *Reglamentación ecourbanismo y construcción*. Secretaría de planeación. https://www.sdp.gov.co/sites/default/files/generales/doc_diagnostico_ecourbanismo.pdf

Secretaría Distrital de Ambiente. (2021). Visor geográfico ambiental. <https://visorgeo.ambientebogota.gov.co/?lon=-74.088180&lat=4.661370&z=11&l=5:1|115:1&descargarCapa=114>

Secretaría Distrital de Planeación. (2022). *Reglamentación ecourbanismo y construcción sostenible*. Secretaría Distrital de Planeación. https://www.sdp.gov.co/sites/default/files/generales/doc_diagnostico_ecourbanismo.pdf

Segura, M. (2020). *Empleo de textiles en aplicaciones de absorción sonora* [Tesis doctoral]. Universidad Politécnica de Valencia.

Sociedad Estadounidense para pruebas y Materiales [ASTM-C-473] (2016). Obtenido el 17 de marzo de 2024. (Estados Unidos). https://img.antpedia.com/standard/files/pdfs_ora/20230517/C/C%20473%20-%202016.pdf

Sociedad Estadounidense para pruebas y Materiales [ASTM-E84] (2023). Obtenido el 17 de marzo de 2024. (Estados Unidos).

Svantek Academy. (2023, Septiembre). Nivel equivalente continuo de sonido Leq.

<https://svantek.com/es/academia/nivel-equivalente-continuo-de-sonido-leq/>

Valencia, O. Forero, Y. (2018). Caracterización y uso de los residuos sólidos generados por empresas del sector metalmecánico en la ciudad de Manizales. *Luna azul*, Volumen 48, 90-108.

<https://doi.org/10.17151/luaz.2019.48.5>

Valero. (s.f.). Manual Técnico Acústico. <http://www.ingenieroambiental.com/4017/sonido%20-%20manual%20tecnico%20aislamiento%20acustico.pdf>

Anexos

1- Costos y Presupuestos