



Escuela de Creación Musical y Artes Sonoras

Sonido y Acústica

Sala con tiempo de Reverberación Variable

Luis Geovanny Lozano Jaramillo

Lic. Alejandro Oñate

Guayaquil, Ecuador - 2024

Resumen

En este proyecto, la idea principal es explorar y analizar el uso de diversos recursos y materiales para el acondicionamiento acústico, implementando nuevos conceptos profesionales en las salas o estudios modernos. Esta propuesta se enfoca en varios aspectos técnicos: construcción, arquitectura, selección de materiales, diseño de dimensiones de las salas y soluciones acústicas.

La investigación abarca el uso de materiales de construcción comunes, evaluados según su coeficiente de absorción para cada frecuencia en bandas de octava. Esto nos permitirá obtener resultados preliminares sin necesidad de construir la sala, facilitando así el análisis de los materiales a emplear en el proyecto final. Además, nos ayudará a presupuestar el costo de la sala de manera precisa.

Asimismo, el proyecto incluye una evaluación comparativa de distintas técnicas de construcción y diseño acústico, para determinar cuáles ofrecen los mejores resultados en términos de eficiencia y coste. Se considerarán también los aspectos estéticos y funcionales, asegurando que las soluciones propuestas no solo sean efectivas desde un punto de vista técnico, sino también atractivas y prácticas para los usuarios finales. Este enfoque integral nos permitirá desarrollar soluciones acústicas innovadoras y eficientes que satisfagan las necesidades actuales del mercado.

Palabras Clave

Acondicionamiento, Coeficiente, Absorción, Frecuencia, Salas.

Abstract

In this project, our main idea is to explore and analyze the use of various resources and materials for acoustic conditioning, implementing new professional concepts in modern studios or rooms. This proposal focuses on several technical aspects: construction and architecture, material selection, room design dimensions, and acoustic solutions.

The research encompasses the use of common construction materials, evaluated according to their absorption coefficient for each frequency in octave bands. This will allow us to obtain preliminary results without needing to construct the room, thus facilitating the analysis of the materials to be used in the final project. Additionally, it will help us accurately budget the cost of the room.

Furthermore, the project includes a comparative evaluation of different construction and acoustic design techniques to determine which offer the best results in terms of efficiency and cost. Aesthetic and functional aspects will also be considered, ensuring that the proposed solutions are not only effective from a technical standpoint but also attractive and practical for end users. This comprehensive approach will allow us to develop innovative and efficient acoustic solutions that meet current market needs.

Keywords

Conditioning, Coefficient, Absorption, Frequency, Rooms.

1. Introducción

1.1. Tiempo de reverberación y coeficientes de absorción.

Antes de sumergirnos en la charla o exposición sobre los temas fundamentales de este proyecto, es esencial profundizar en el entendimiento de los conceptos y herramientas que constituyen el campo del acondicionamiento acústico. Estos elementos no solo servirán como cimientos sólidos para nuestra presentación, sino que también serán pilares fundamentales en el desarrollo y éxito de esta iniciativa. Por lo tanto, es imperativo dedicar tiempo y atención a dos aspectos clave que moldearán nuestra comprensión y enfoque en este proyecto.

En primer lugar, es crucial adentrarnos en el concepto de tiempo de reverberación. Este parámetro, que mide la duración de los ecos en un espacio determinado, es una pieza clave para comprender el comportamiento acústico de una sala y su adecuación para distintos propósitos profesionales. Al comprender en profundidad el tiempo de reverberación, podemos evaluar de manera precisa la calidad del sonido en un ambiente dado, así como identificar áreas de mejora y optimización en el diseño y acondicionamiento acústico.

Por otro lado, es indispensable explorar el estudio de los coeficientes de absorción. Estos coeficientes proporcionan valiosa información sobre la capacidad de los materiales para absorber el sonido en diferentes frecuencias dentro de una sala. Al comprender cómo interactúan los materiales con las ondas sonoras, podemos tomar decisiones informadas sobre la selección y aplicación de materiales en el diseño acústico de un espacio. Esta comprensión nos permite no solo mejorar la calidad del sonido en un ambiente determinado, sino también crear experiencias auditivas más inmersivas y agradables para los usuarios.

Al dominar estos conceptos y herramientas, estaremos mejor equipados para enfrentar los desafíos y aprovechar las oportunidades que presenta el diseño y acondicionamiento acústico de espacios. Este conocimiento no solo enriquecerá nuestra exposición, sino que también nos permitirá avanzar hacia soluciones innovadoras y efectivas que satisfagan las necesidades y expectativas de nuestros clientes y usuarios finales.

1.2. El tiempo de reverberación y valores recomendados en función al uso destinado de la sala.

Todos hemos experimentado en algún momento la sensación de estar en una habitación con un tiempo de reverberación prolongado, aunque pocos pueden describirlo con precisión. Seguramente has estado en un bar o restaurante donde la música de fondo dificultaba la comunicación y tenías que alzar la voz para conversar durante la cena. Es probable que hayas experimentado incomodidades como dolores de cabeza o irritación en la garganta en estas situaciones. Esto suele indicar una acústica deficiente, caracterizada por un eco excesivo que mantiene el sonido atrapado en el espacio. (Estudios Acústicos, 2014)

El tiempo de reverberación (RT, TR o T60) es un parámetro fundamental en la acústica de una sala. Se refiere al tiempo que tarda el nivel de presión sonora en la habitación en disminuir en 60 dB desde su nivel inicial de excitación. En otras palabras, es el tiempo que tarda el sonido en disiparse en 60 dB medido en segundos.

La reverberación es un fenómeno natural que ocurre cuando el sonido se refleja repetidamente en las superficies de una habitación antes de disiparse por completo. Este efecto puede ser deseable en algunos entornos, como salas de conciertos, donde contribuye a una experiencia auditiva más rica y envolvente. Sin embargo, en otros contextos, como salas de conferencias o restaurantes, una reverberación excesiva puede dificultar la comunicación y reducir la calidad del sonido percibido.

El tiempo de reverberación es un factor clave a considerar al diseñar o acondicionar un espacio acústico. Valores altos de tiempo de reverberación pueden indicar una sala demasiado "viva" acústicamente, lo que puede resultar en una mezcla de sonido confusa y una inteligibilidad del habla reducida. Por otro lado, valores bajos de tiempo de reverberación pueden hacer que una sala suene "muerta" y carente de vida, lo que puede afectar negativamente la calidad de la música o el rendimiento vocal.

Para optimizar el tiempo de reverberación en una sala, es importante utilizar materiales absorbentes acústicamente en las superficies para reducir la cantidad de energía sonora reflejada. Esto puede incluir paneles acústicos, cortinas pesadas, alfombras y muebles tapizados. Además, el diseño de la sala y la disposición de los objetos también pueden influir en el tiempo de reverberación, ya que determinan cómo se propagan y se reflejan las ondas sonoras en el espacio.

Es necesario tener en cuenta que el tiempo de reverberación es un aspecto crucial del diseño acústico de una sala que puede afectar significativamente la calidad del sonido y la experiencia auditiva. Al comprender y controlar este parámetro, podemos crear espacios acústicamente óptimos que satisfagan las necesidades específicas de los usuarios y mejoren su experiencia sonora en diversas situaciones.

Tabla 1.

Valores recomendados de TR60

TIPO DE SALA	RT SALA OCUPADA (s)
Sala de conferencias	0,7 – 1,0
Cine	1,0 – 1,2
Sala polivalente	1,2 – 1,5
Teatro de opera	1,2 – 1,5
Sala de conciertos (música de cámara)	1,3 – 1,7
Sala de conciertos (música sinfónica)	1,8 – 2,0
Iglesia / Catedral	2,0 – 3,0
Locutorio de Radio	0,2 – 0,4

Nota: En esta tabla, se detallan los márgenes de valores recomendados de RTmid (tiempo de reverberación) para diversos tipos de salas, considerando su ocupación. Estos rangos se fundamentan en estándares acústicos ampliamente aceptados y pueden variar dependiendo del tamaño y uso específico de cada espacio. Es importante tener presente que los valores de RTmid influyen considerablemente en la calidad del sonido en cada tipo de sala. Por ello, al diseñar o adaptar un entorno acústico, es aconsejable consultar esta tabla para asegurar una experiencia auditiva satisfactoria para los usuarios. No obstante, es fundamental recordar que estos rangos son solo orientativos y podrían requerir ajustes conforme a las necesidades particulares de cada proyecto.

1.3. El coeficiente de absorción.

El coeficiente de absorción es un parámetro crucial en acústica que determina la capacidad de un material para absorber el sonido en lugar de reflejarlo. Este coeficiente se define como la relación entre la energía absorbida por el material y la energía total incidente, incluida la energía reflejada. Es esencial comprender este concepto para diseñar espacios acústicamente óptimos y controlar la reverberación en diferentes entornos.

Cabe destacar que el coeficiente de absorción no es un valor fijo, sino que varía según la frecuencia del sonido. Por lo tanto, los fabricantes de materiales acústicos suelen proporcionar datos de absorción para diversas bandas de frecuencia, como 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz y 4000 Hz. Esta información detallada permite evaluar cómo interactúa un material con el sonido en diferentes rangos de frecuencia y seleccionar el más adecuado para cada aplicación específica. (Sastrón, 2017)

Al conocer los coeficientes de absorción de los materiales utilizados en la construcción de un espacio, podemos prever con mayor precisión cómo se comportará el sonido en cada frecuencia y estimar su tiempo de reverberación potencial. Esta evaluación nos permite tomar decisiones informadas sobre la selección y disposición de materiales para optimizar la calidad acústica de un ambiente.

La comprensión del coeficiente de absorción es fundamental para diseñadores de interiores, arquitectos y profesionales de audio que buscan crear entornos acústicos adecuados para diferentes usos, como salas de conciertos, estudios de grabación, oficinas, auditorios y espacios residenciales. Al utilizar materiales con coeficientes de absorción específicos y diseñar estratégicamente la distribución de estos materiales en un espacio, podemos controlar la reverberación y minimizar la interferencia acústica, mejorando así la experiencia auditiva y la comodidad de los ocupantes.

El coeficiente de absorción desempeña un papel fundamental en el diseño acústico de espacios. Comprender cómo varía este coeficiente según la frecuencia del sonido nos permite tomar decisiones informadas para crear entornos acústicos óptimos que satisfagan las necesidades específicas de cada proyecto.

2. Materiales y Métodos

2.1. Construcción y acondicionamiento de la sala

2.1.1. Construcción

Dentro del proyecto establecido, nos embarcaremos en la construcción de una sala convencional hecha de hormigón y ladrillo. Esta sala tendrá unas dimensiones de 3 metros de ancho por 4 metros de fondo. Cada fase de la planificación será cuidadosamente coordinada con el encargado de la edificación para garantizar su éxito. La supervisión detallada de cada etapa es fundamental para asegurar que todo se realice según los estándares establecidos.

La edificación se llevará a cabo en varias etapas. Comenzaremos con la preparación y nivelación del terreno, seguido de la construcción de las bases que garantizarán la estabilidad de la estructura. Luego, procederemos con la colocación del enladrillado, que definirá las distintas áreas dentro de la sala: el área de baño, el control room y la sala de grabación. Esta división es esencial para mantener la funcionalidad y el propósito de cada espacio.

Una vez completado el enladrillado, iniciaremos la colocación del techo. Este proceso incluirá la instalación de las vigas y la estructura necesaria para soportar el techo. Posteriormente, aplicaremos los acabados de enlucido tanto en las paredes interiores como exteriores, lo que dará una apariencia uniforme y estética a la sala. Estos acabados también proporcionan una capa adicional de protección contra los elementos externos.

Al completar la construcción básica de la sala, procederemos con los acabados finales. Aplicaremos un acabado de empaste y pintura en las paredes para asegurar una superficie lisa y atractiva. El techo, que tendrá una altura de 3 metros y un diseño recto, se complementará con la instalación de un cielo raso que no solo mejorará la estética, sino que también contribuirá a la acústica de la sala. Además, instalaremos dos puertas de madera de alta calidad, que proporcionarán acceso a las diferentes áreas de la sala.

Paralelamente, nos enfocaremos en la optimización acústica del espacio. Fabricaremos paneles acústicos de doble cara y función. Estos paneles estarán rellenos con lana mineral (lana de roca), un material excelente para la absorción del sonido. En una de las caras, los paneles estarán cubiertos con tela de poliéster para maximizar la absorción acústica, mientras que en la otra cara colocaremos una tapa de PVC que ayudará a reflejar el sonido. Este diseño permitirá ajustar los tiempos de reverberación de la sala según las necesidades específicas de cada área.

Una vez establecidos los aspectos básicos de la construcción, como la altura, el largo y el ancho de la sala, y con un conocimiento detallado de los materiales a utilizar, procederemos a calcular los tiempos de reverberación. Utilizaremos la fórmula de Sabine, que nos permitirá ajustar las propiedades acústicas del espacio para obtener el mejor rendimiento posible. Este cálculo es crucial para asegurar que la sala de grabación y las demás áreas cumplan con los estándares acústicos necesarios para su correcto funcionamiento.

Cada etapa de este proyecto, desde la planificación hasta la ejecución, está diseñada para garantizar que la sala cumpla con todos los requisitos funcionales y estéticos. La coordinación constante con el encargado de la edificación y la atención a los detalles en cada fase asegurarán el éxito de este ambicioso proyecto.

Figura 1.

Formula de Sabine.

$$RT = 0,161 * V / A$$

Nota: La siguiente formula hace referencia al tiempo de reverberación (TR60), el cual se calcula utilizando la fórmula $TR60 = 0.161 * V / A$. En esta fórmula:

- TR60 representa el tiempo de reverberación en segundos.
- V es el volumen de la sala en metros cúbicos (m³).
- A es la absorción total de cada frecuencia en la sala.

Esta fórmula nos permite estimar el tiempo de reverberación para cada frecuencia específica en la sala. Es importante considerar tanto el volumen de la sala como la absorción de cada frecuencia para obtener una medida precisa del tiempo de reverberación. El tiempo de reverberación es fundamental para comprender cómo se comporta el sonido en el espacio y nos ayuda a ajustar las características acústicas de la sala según nuestras necesidades específicas.

2.1.2. Construcción de paneles acústicos de doble función.

Para lograr que el tiempo de reverberación sea variable, usaremos paneles de doble función. Estos paneles tendrán un proceso de construcción en el cual se elegirán los materiales para que cumplan con sus funciones técnicas dentro de la sala y, a la vez, se vean estéticamente agradables, integrándose en la decoración.

Para estos paneles, usaremos tiras de madera de cedro. La elección de la madera de cedro no es casual; este tipo de madera es conocida por su durabilidad, resistencia a la humedad y plagas, y por su estética agradable. Las tiras tendrán un ancho de 0,6 cm y longitudes de 0,57 cm y 1,20 cm para formar el marco. Una vez armado, el marco se cubrirá con un preservador de madera, un tipo de tratamiento químico que protegerá la madera contra el ataque de insectos, hongos y otros organismos que puedan dañarla. Esto es especialmente importante en ambientes cerrados como una sala de música o un estudio de grabación, donde la integridad de los materiales es crucial para mantener las propiedades acústicas del espacio.

Rellenaremos el interior de los paneles con lana de roca, un material muy eficaz para la absorción acústica. La lana de roca es un material fibroso que se fabrica a partir de minerales naturales como el basalto. Es conocida por su alta capacidad de absorción de sonido y aislamiento térmico, lo que la convierte en una opción ideal para este tipo de aplicaciones. Sin embargo, debido a que sus fibras pueden causar irritación en la piel, ojos y vías respiratorias, es importante utilizar equipos de protección personal como guantes, gafas y mascarillas al manipularla. La plancha de lana de roca tendrá 0,5 cm de espesor, lo cual es suficiente para proporcionar un buen nivel de absorción sin hacer que el panel sea demasiado grueso o pesado. Además, se adherirá al marco con pegamento, lo que asegurará la firmeza del panel y evitará que el material de relleno quede flojo y provoque daños.

Para el revestimiento del panel, utilizaremos dos materiales seleccionados según la decoración de la sala. Esta elección no solo dependerá del rendimiento acústico, sino también de la estética y el estilo del espacio. Elegiremos el color de la tela y el modelo de plancha de PVC. La tela de poliéster será utilizada en la cara frontal del panel. Este tipo de tela es ideal porque es resistente, fácil de limpiar y tiene buenas propiedades acústicas. La cara cubierta de tela actuará como la parte absorbente del panel. Por otro lado, la cara posterior será cubierta con una plancha de PVC, un material plástico que es duradero, fácil de mantener y tiene buenas propiedades reflectantes. La combinación de estos dos materiales permitirá que el panel tenga una doble función: absorción y reflexión del sonido.

La instalación de estos paneles en una sala permitirá modificar el TR60, que es el tiempo de reverberación del espacio. El TR60 es un parámetro acústico que mide el tiempo que tarda el sonido en decaer 60 decibelios después de que la fuente sonora ha cesado. Un tiempo de reverberación adecuado es crucial para la calidad del sonido en una sala, ya que influye en la claridad de la música y el habla. Con los paneles de doble función, podremos ajustar el TR60 según las necesidades del momento, proporcionando una acústica óptima para diferentes tipos de actividades, como ensayos, grabaciones o presentaciones en vivo.

Este diseño nos permitirá ajustar la acústica de la sala tantas veces como sea necesario, volviendo al punto de partida en cualquier momento. La capacidad de variar el tiempo de reverberación será especialmente útil en espacios multifuncionales donde se realizan diferentes tipos de actividades, cada una con sus propios requisitos acústicos. Por ejemplo, una sala de conciertos puede necesitar un tiempo de reverberación más largo para la música clásica, pero un tiempo más corto para la música electrónica o el teatro hablado.

La versatilidad de estos paneles también puede contribuir a la comodidad y el bienestar de las personas que utilizan la sala. Un ambiente acústico controlado puede reducir la fatiga auditiva y mejorar la concentración y el rendimiento. Además, la posibilidad de personalizar la apariencia de los paneles permite que se integren armoniosamente en cualquier estilo de decoración, desde el más clásico hasta el más moderno.

La instalación de los paneles también es un proceso que debe realizarse con cuidado. Es importante asegurarse de que los paneles estén bien sujetos a las paredes o el techo, y que no haya espacios por donde pueda escapar el sonido. Además, es recomendable realizar mediciones acústicas antes y después de la

instalación para verificar que los paneles están funcionando correctamente y ajustando el tiempo de reverberación según lo esperado.

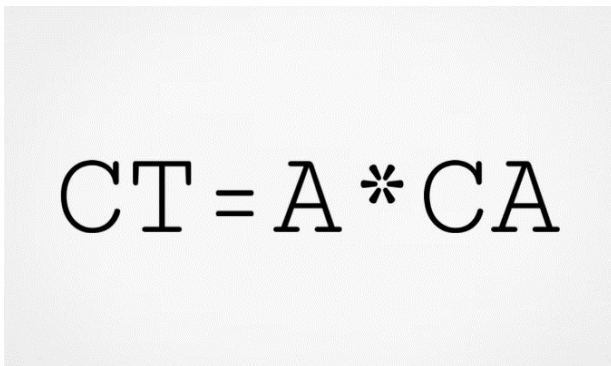
Los paneles de doble función representan una solución efectiva y estética para el control acústico de salas. Su construcción con materiales de calidad, como la madera de cedro y la lana de roca, junto con el uso de revestimientos de tela de poliéster y planchas de PVC, garantiza su eficacia y durabilidad. La posibilidad de variar el tiempo de reverberación permite adaptar el espacio a diferentes necesidades acústicas, mejorando la calidad del sonido y la experiencia de los usuarios. Con estos paneles, cualquier sala puede transformarse en un espacio acústicamente óptimo y visualmente atractivo.

2.1.3. Cálculo de TR60 de la sala

Una vez que tengamos claro qué materiales queremos usar en la sala, podremos comenzar a realizar cálculos utilizando la fórmula de Sabine. Esta fórmula nos permitirá analizar el comportamiento acústico de la sala en diferentes etapas de construcción y acondicionamiento. Inicialmente, obtendremos resultados para la sala en su estado básico, sin la presencia de paneles acústicos. Posteriormente, realizaremos cálculos con los paneles acústicos instalados y, finalmente, con cuatro paneles adicionales que incluyen su parte reflectante. Estos cálculos nos proporcionarán resultados detallados para cada frecuencia mencionada anteriormente, permitiéndonos evaluar el impacto de los materiales y ajustes realizados. Para seleccionar los materiales más adecuados para nuestro proyecto, utilizaremos una tabla que contiene una amplia variedad de materiales con sus respectivos coeficientes de absorción. Esta tabla es una herramienta esencial, ya que nos permitirá comparar y elegir los materiales que mejor se adapten a nuestras necesidades acústicas y estéticas. Los coeficientes de absorción nos indicarán la eficacia de cada material en la absorción del sonido a diferentes frecuencias, lo que es crucial para alcanzar el rendimiento acústico deseado. Una vez que hayamos obtenido los coeficientes de absorción necesarios, procederemos a realizar cálculos adicionales para obtener el valor de absorción total utilizando la fórmula detallada más adelante. Esta fórmula, que es fundamental en el diseño acústico, nos permitirá ajustar los tiempos de reverberación y otros parámetros acústicos de la sala. La fórmula es la siguiente:

Figura 2.

Fórmula para cálculo de absorción total


$$CT = A * CA$$

Esta fórmula nos indica que el Coeficiente Total (CT) en referencia al coeficiente total de absorción es igual a la multiplicación de A, que representa el área de cada pared, piso o techo del recinto, expresado en m², por el coeficiente de absorción del material a usar. Este procedimiento lo realizaremos para cada frecuencia marcada.

Una vez calculados los coeficientes totales de absorción para cada frecuencia y material, procedemos a sumar los resultados por frecuencia. Esta suma nos da la absorción total en la sala, esencial para comprender su comportamiento acústico. Utilizamos este valor en la fórmula de Sabine para estimar el tiempo de reverberación. Luego, aplicamos la fórmula a cada resultado por frecuencia. Este análisis detallado nos permite entender el comportamiento de la sala en cada frecuencia de la banda de octava. Esta comprensión es clave para realizar ajustes acústicos necesarios. Al entender cómo interactúan los materiales y las frecuencias, podemos optimizar la acústica del espacio para diversos usos, como estudios de grabación, salas de conciertos o espacios de conferencias. Así, maximizamos la calidad del sonido y la experiencia del usuario en el entorno.

2.2. Método de investigación.

En el marco de este proyecto, se emplearon diversas fórmulas para realizar cálculos estimados relacionados con la sala en cuestión. Además, se utilizaron tablas que contenían resultados aproximados y valores recomendados, con el fin de facilitar la toma de decisiones al seleccionar los materiales más adecuados para nuestra sala. La investigación se llevó a cabo utilizando un enfoque cuantitativo.

3. Resultados

3.1. Comparación de la sala

3.1.1. TR60 sala 1

En esta fase del análisis, procederemos a examinar detalladamente el impacto de dos modificaciones recientes en la acústica de nuestra sala: la instalación de paneles acústicos y la colocación de una alfombra en el piso. Ambos cambios fueron introducidos con el objetivo de optimizar la calidad del sonido y reducir la reverberación dentro del espacio.

La instalación de los paneles acústicos se realizó con el propósito de controlar y minimizar las reflexiones del sonido que afectan la claridad auditiva en la sala. Estos paneles fueron colocados en las paredes y el techo, áreas clave para la absorción de ondas sonoras. Su diseño permite absorber una amplia gama de frecuencias, lo que ayuda a reducir el tiempo de reverberación y a mejorar la definición del sonido. Este control de la reverberación es crucial para entornos donde la precisión acústica es esencial, como en estudios de grabación, auditorios y salas de conferencias.

Simultáneamente, se colocó una alfombra en el piso, un elemento complementario que contribuye a la absorción acústica. La alfombra actúa como un amortiguador adicional, reduciendo las reflexiones del sonido que se originan desde el suelo. Esto es particularmente importante en espacios con superficies duras, donde el sonido puede rebotar y contribuir a una reverberación excesiva. La combinación de la alfombra con los paneles acústicos busca lograr una absorción acústica más completa y equilibrada en el ambiente.

Para evaluar el éxito de estas modificaciones, se realizarán mediciones precisas del tiempo de reverberación y de la distribución de frecuencias en la sala. Compararemos estos resultados con las mediciones previas a las modificaciones para determinar la efectividad de las intervenciones. Los datos obtenidos permitirán ajustar y optimizar el acondicionamiento acústico según sea necesario, asegurando que el entorno auditivo cumpla con los requisitos específicos del uso previsto.

Este análisis detallado proporcionará una visión clara del impacto de las modificaciones en la calidad acústica de la sala y guiará futuras decisiones sobre el diseño acústico del espacio.

Figura 3.

Comportamiento de la sala en primera función.

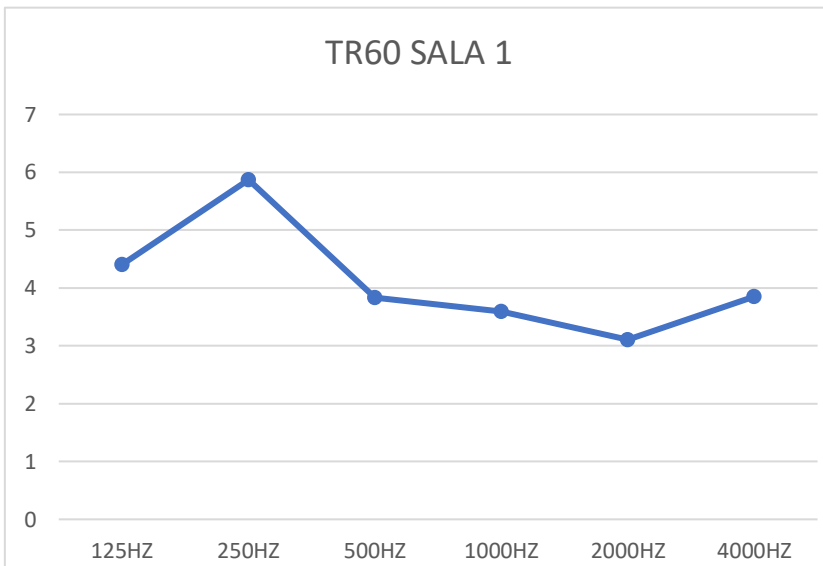


Tabla 2.

Resultados de TR60 de la sala.

	125HZ	250HZ	500HZ	1000HZ	2000HZ	4000HZ
TR60=	4,40693431	5,87115073	3,83536263	3,59018831	3,1067753	3,84962806

En el análisis del gráfico proporcionado, observamos que el tiempo de reverberación (TR60) de nuestra sala muestra un pico máximo en la frecuencia de 250 Hz. Este aumento en la reverberación a esa frecuencia específica puede ser indicativo de una acumulación de sonido en ese rango, lo que podría generar una percepción de "boomy" o "retumbante" en el espacio. No obstante, es crucial no limitarse únicamente a esta frecuencia; los datos muestran que, en general, nuestra sala excede el umbral recomendado de 3 segundos en la mayoría de las frecuencias.

El tiempo de reverberación es un factor esencial en la acústica de un espacio, ya que influye directamente en la claridad del sonido. Un valor óptimo de TR60 debe estar ajustado a las necesidades específicas del entorno. En este caso, el valor mínimo recomendado de 3 segundos sugiere que la sala podría estar experimentando problemas significativos relacionados con una reverberación excesiva. Este exceso puede llevar a una degradación en la calidad acústica, dificultando la comprensión del sonido y creando una experiencia auditiva menos precisa y más confusa.

Para abordar estos problemas, podría ser necesario implementar medidas correctivas. Entre las posibles soluciones se incluyen la incorporación de materiales absorbentes, como paneles acústicos, alfombras o cortinas, que pueden ayudar a reducir la reverberación y mejorar la absorción del sonido en el espacio. Además, considerar la reubicación de elementos dentro de la sala, como muebles y equipos, podría ayudar a redistribuir las ondas sonoras y minimizar los puntos de acumulación que contribuyen a la reverberación excesiva.

La implementación de estas medidas correctivas permitirá alcanzar un tiempo de reverberación más adecuado y, en consecuencia, mejorar la calidad auditiva del espacio. Esto contribuirá a una experiencia auditiva más clara y precisa, adaptada a las necesidades específicas del uso de la sala, ya sea para eventos, reuniones o actividades recreativas.

3.1.2. TR60 Sala 2

En esta etapa del análisis, evaluaremos el impacto acústico de nuestra sala tras dos importantes modificaciones: la instalación de paneles acústicos y la colocación de una alfombra en el piso. Estos cambios han sido implementados con el objetivo de mejorar la calidad del sonido en el espacio.

Los paneles acústicos se han colocado en las paredes y el techo para reducir la reverberación y controlar las reflexiones del sonido. Al absorber las ondas sonoras, estos paneles buscan minimizar los ecos y crear un entorno acústico más equilibrado. Por su parte, la alfombra en el piso añade una capa adicional de absorción, reduciendo las reflexiones provenientes del suelo y complementando el efecto de los paneles.

El análisis posterior a estas modificaciones nos permitirá observar mejoras en el tiempo de reverberación, la claridad del sonido y la distribución de frecuencias en la sala. Mediante mediciones precisas, evaluaremos la efectividad de estas intervenciones y ajustaremos el acondicionamiento acústico según sea necesario para optimizar la experiencia auditiva.

Figura 4.

Comportamiento de la sala con paneles colocados

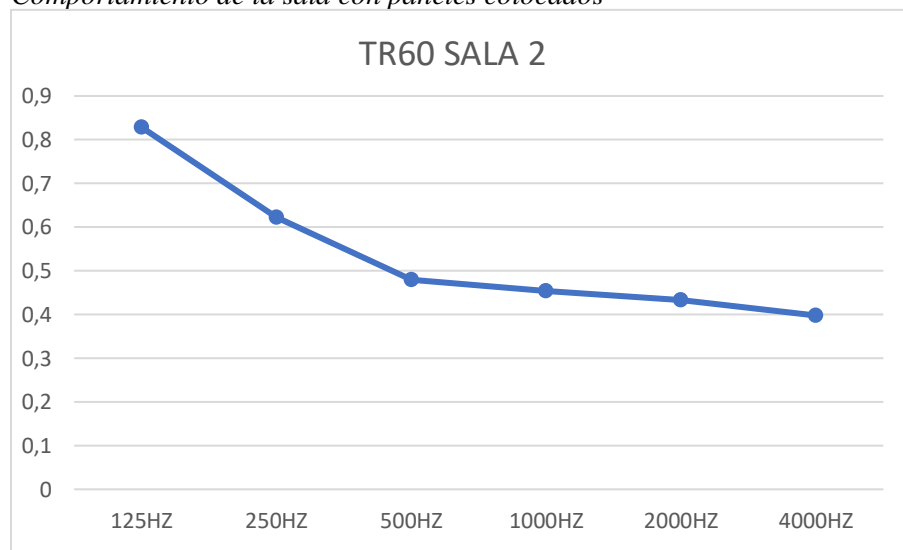


Tabla 3.

Resultados de TR60 de la sala con acondicionamiento.

	125HZ	250HZ	500HZ	1000HZ	2000HZ	4000HZ
TR60=	0,8281893	0,62220886	0,479579	0,45320906	0,43284741	0,39763996

La implementación de los paneles acústicos en la sala ha generado una reducción significativa en los tiempos de reverberación, marcando una mejora notable en la calidad acústica del espacio. Actualmente, el tiempo de reverberación promedio (TR60) se mantiene por debajo de los 0.9 segundos, lo que demuestra una mejora substancial en la claridad del sonido. Este ajuste ha reducido considerablemente la persistencia de los ecos, contribuyendo a un ambiente acústico más limpio y preciso.

Un análisis detallado muestra que la pendiente de reducción de los tiempos de reverberación se acentúa a partir de los 500 Hz en adelante. Este comportamiento sugiere que los paneles acústicos están particularmente efectivos en el control de la reverberación en las frecuencias más altas, un aspecto crucial para la reproducción del sonido con mayor nitidez. La capacidad de controlar y gestionar las frecuencias altas es esencial para asegurar una experiencia auditiva precisa, especialmente en entornos donde la claridad del sonido es fundamental, como en estudios de grabación y salas de conciertos.

Los cambios en el comportamiento acústico de la sala son evidentes y revelan una respuesta más uniforme a través de diferentes frecuencias en comparación con el estado anterior. Uno de los resultados más destacados es la disminución del tiempo de reverberación en la frecuencia de 4000 Hz, que ahora alcanza un mínimo de 0.39 segundos. Esta reducción significa que las frecuencias altas se controlan de manera más efectiva, contribuyendo a una mayor claridad en el sonido. En contraste, el tiempo de reverberación máximo se registra en la frecuencia de 125 Hz, con un valor de 0.82 segundos, indicando que las frecuencias bajas todavía presentan cierta reverberación, pero en un nivel más manejable en comparación con el pasado.

La mejora acústica se logró gracias a la instalación de 16 paneles acústicos, los cuales fueron colocados con la superficie absorbente orientada hacia el frente en toda la sala. Este enfoque ha proporcionado un equilibrio acústico más consistente a lo largo de la gama de frecuencias. La correcta orientación y distribución de los paneles ha permitido un control más preciso del sonido, evitando las reflexiones indeseadas y mejorando la percepción auditiva en todo el espacio.

Los resultados obtenidos reflejan el éxito de las medidas adoptadas para optimizar el ambiente acústico de la sala. La implementación de estos paneles ha permitido lograr un comportamiento acústico más equilibrado y coherente en todas las frecuencias, demostrando que las intervenciones realizadas han sido efectivas para alcanzar una calidad sonora superior. Esta mejora no solo destaca la importancia de una correcta planificación y ejecución de soluciones acústicas, sino también su impacto positivo en la funcionalidad y la experiencia auditiva en el entorno.

3.1.3. TR60 Sala 3.

En esta última simulación, exploraremos cómo varía el tiempo de reverberación (TR60) en comparación con las simulaciones anteriores. En esta ocasión, hemos ajustado la configuración de los paneles acústicos para analizar su impacto en la acústica de la sala.

De los 16 paneles instalados, hemos modificado la orientación de 4 de ellos: 12 paneles se han colocado con su frente absorbente y 4 paneles con su parte reflectante expuesta. Este cambio en la distribución de los paneles nos permitirá investigar cómo la combinación de superficies absorbentes y reflectantes afecta la acústica del espacio.

Es relevante destacar que, aunque solo hemos alterado la orientación de los paneles, esto ha tenido un impacto significativo en el comportamiento acústico de la sala. Observaremos cómo varía el TR60 en función de la ubicación de los paneles y cómo estos cambios influyen en la claridad y calidad del sonido en el entorno.

Nos interesa especialmente evaluar cómo los paneles con su parte reflectante inciden en la reverberación en la sala. Esta información nos ayudará a comprender mejor cómo optimizar la configuración de los paneles acústicos para obtener los mejores resultados en términos de acústica.

Esta simulación nos brindará datos valiosos sobre cómo los ajustes en la distribución de los paneles acústicos pueden influir en el tiempo de reverberación y en la calidad del sonido en nuestra sala.

Figura 5.

comportamiento de la sala con paneles reflectantes.

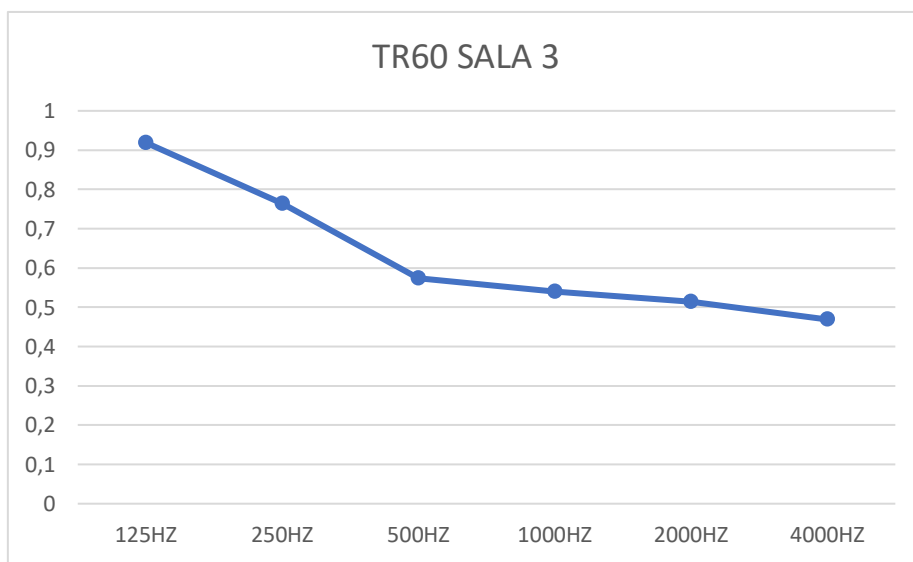


Tabla 4.

Resultado de la sala con paneles reflectantes.

	125HZ	250HZ	500HZ	1000HZ	2000HZ	4000HZ
TR60=	0,91894977	0,76391818	0,57395231	0,53946389	0,51477903	0,46899275

El siguiente gráfico nos ofrece una visión detallada y precisa de cómo ha evolucionado el comportamiento acústico de la sala tras la implementación de modificaciones significativas en su configuración. Estas alteraciones, diseñadas con el propósito de mejorar la calidad sonora del espacio, han producido cambios notables tanto en el tiempo de reverberación (TR60) como en la distribución de

frecuencias, lo que refleja un impacto directo en la experiencia acústica en comparación con la situación previa.

Uno de los aspectos más destacados en este análisis es el incremento del tiempo de reverberación, que ahora supera los 0.9 segundos. Este valor indica una prolongación considerable en la persistencia de los ecos dentro del ambiente, sugiriendo que las ondas sonoras permanecen audibles por un periodo más largo antes de extinguirse. Este cambio es particularmente significativo en las frecuencias más altas, donde los 4000 Hz han mostrado un TR60 de aproximadamente 0.5 segundos. Esta prolongación del tiempo de reverberación en las frecuencias altas señala una transformación en la forma en que el sonido interactúa con el espacio, lo que puede tener importantes implicaciones para el uso de la sala en diversas aplicaciones.

Antes de llevar a cabo estas modificaciones, el tiempo de reverberación de la sala rara vez alcanzaba los 0.9 segundos, y en muchas frecuencias, se encontraba por debajo de este umbral. La implementación de paneles acústicos de doble función ha sido el principal factor detrás de este cambio significativo. Estos paneles, diseñados para absorber y dispersar el sonido de manera más eficiente, han permitido ajustar y controlar de manera más precisa el ambiente sonoro de la sala. Este control es crucial para adaptar el espacio a las necesidades específicas, ya sea para grabaciones de alta calidad, conferencias o presentaciones en vivo, donde la claridad y la precisión del sonido son esenciales.

Estos cambios subrayan la importancia crítica de considerar cuidadosamente la acústica en el diseño y la configuración de cualquier espacio. En entornos donde la calidad del sonido es un factor determinante, como estudios de grabación, salas de conciertos o auditorios, la capacidad de controlar y ajustar la acústica no solo mejora la experiencia auditiva, sino que también puede influir en la funcionalidad general del espacio. El diseño acústico adecuado permite crear ambientes que no solo cumplen con los estándares técnicos, sino que también ofrecen una experiencia auditiva óptima, adaptándose a diferentes usos y necesidades. Esta flexibilidad es fundamental para maximizar el potencial de los espacios y garantizar que se puedan utilizar de manera efectiva en una variedad de contextos.

4. Conclusiones

4.1. Reflexión

Después de un riguroso proceso de recopilación de datos y una exhaustiva investigación sobre los principios fundamentales de la acústica, así como sobre los diversos métodos y técnicas utilizados en el acondicionamiento acústico de espacios, resulta evidente la importancia y el impacto potencial que este proyecto puede tener en el ámbito académico e investigativo. La acústica es un campo que, aunque en ocasiones pasa desapercibido, juega un papel crucial en múltiples disciplinas, desde la arquitectura hasta la ingeniería, pasando por el diseño de interiores y la música. La calidad del sonido en un espacio influye no solo en la experiencia auditiva, sino también en la funcionalidad y el confort del entorno.

El objetivo central de este proyecto es explorar y desarrollar nuevas estrategias y enfoques para optimizar la calidad del sonido en espacios arquitectónicos, con un enfoque particular en la modificación controlada de la acústica de las salas. Al implementar técnicas innovadoras y aplicar los conocimientos teóricos adquiridos en la carrera, se pretende no solo mejorar la experiencia auditiva de los usuarios en estos espacios, sino también contribuir al avance del campo de la acústica en nuestro país. Esta optimización no solo beneficia a los usuarios de los espacios, sino que también tiene implicaciones significativas para la investigación y el desarrollo de nuevas tecnologías en el campo. La búsqueda de un sonido perfecto, que se adapte a las necesidades específicas de cada entorno, requiere un profundo entendimiento de cómo las ondas sonoras interactúan con diferentes materiales y formas arquitectónicas.

Uno de los aspectos más destacados de este proyecto es su potencial para convertirse en un recurso invaluable para la comunidad académica y profesional. Los resultados que se obtengan podrían servir de

base para futuras investigaciones, permitiendo a otros estudiantes, investigadores y profesionales construir sobre los hallazgos aquí presentados. La posibilidad de generar un impacto que trascienda el proyecto mismo y se convierta en una piedra angular para estudios posteriores es uno de los mayores incentivos para llevar a cabo esta iniciativa con el máximo rigor y dedicación. Además, la transferencia de conocimientos generada puede promover la enseñanza de la acústica en diversas disciplinas, fomentando una comprensión más amplia y profunda de este campo entre los futuros profesionales.

Este proyecto también busca promover la colaboración interdisciplinaria entre diferentes áreas de estudio, como la ingeniería, la arquitectura, el diseño de interiores y la música. Estas disciplinas, aunque diversas, tienen un punto de convergencia en la acústica, lo que abre la puerta a soluciones integradas y más efectivas. Al integrar diferentes perspectivas y conocimientos, se espera obtener una comprensión más completa de los desafíos y oportunidades en el campo del acondicionamiento acústico de espacios. Por ejemplo, los ingenieros pueden aportar conocimientos sobre materiales y técnicas de construcción que maximicen la eficiencia acústica, mientras que los arquitectos pueden diseñar espacios que no solo sean estéticamente agradables, sino también acústicamente óptimos. Los diseñadores de interiores, por su parte, pueden seleccionar mobiliario y acabados que complementen estas características, y los músicos pueden proporcionar la perspectiva del usuario final, asegurando que los espacios no solo sean técnicamente adecuados, sino también inspiradores para la creación y la interpretación musical.

Otro aspecto fundamental de este proyecto es la necesidad de desarrollar soluciones innovadoras y efectivas que satisfagan las necesidades y expectativas de los usuarios. La calidad acústica de un espacio puede influir en la productividad, el bienestar y la satisfacción de quienes lo utilizan. En un aula, por ejemplo, una buena acústica puede mejorar la concentración y la comprensión, mientras que, en un auditorio, puede hacer que las actuaciones sean más envolventes y emocionantes. En este sentido, la investigación no solo busca teorizar sobre posibles mejoras, sino también aplicarlas de manera tangible en entornos reales, haciendo un seguimiento de los resultados para asegurar que se cumplen los objetivos propuestos.

El éxito de este proyecto dependerá en gran medida de la dedicación, el compromiso y la colaboración de todos los involucrados. La coordinación entre las diversas disciplinas y la comunicación fluida entre los participantes serán esenciales para superar los desafíos que se presenten. Se espera que este proyecto no solo genere un impacto significativo en el ámbito académico e investigativo, sino también en la práctica profesional y en la sociedad en general. Al mejorar la calidad del sonido en espacios arquitectónicos, se contribuirá al bienestar y la comodidad de las personas que los habitan y utilizan, reforzando el papel de la acústica como un factor clave en el diseño y la funcionalidad de los espacios modernos.

5. Referencias Bibliográficas

- Estudios Acústicos, F. A. (25 de ABRIL de 2014). *Tiempo de Reverberacion*. Obtenido de <https://www.noisess.com/>: <https://www.noisess.com/que-es-el-tiempo-de-reverberacion/>

- Sastrón, J. (11 de Diciembre de 2017). *Coficiente de absorcion acustica*. Obtenido de Producciones del Sotano: <https://www.produccionessotano.com/coeficiente-de-absorcion-acustica/>

6. Anexos

Figura 1 Formula Sabine	6
Figura 2 Formula para calculo de Absorcion Total.	8
Figura 3 Comportamiento Sala 1.	10
Figura 4 Comportamiento Sala 2.	11
Figura 5 Comportamiento Sala 3.	13

Tabla 1 Valores Recomendados de TR60.	4
Tabla 2 Comportamiento Sala 1.....	10
Tabla 3 Comportamiento Sala 2.....	12
Tabla 4 Comportamiento Sala 3.....	13

[ANEXO AUDIOVISUALES](#)

7. Glosario

TR60: Tiempo de Reverberación

Coficiente: El coeficiente es un valor numérico que indica el grado o la intensidad de cierta propiedad o característica, sea esta de un cuerpo o de un fenómeno.

Absorción: Está relacionada con la capacidad de absorción los materiales

Acondicionamiento: es el resultado de preparar o arreglar algo para alcanzar una meta o cumplir con un objetivo.

Boomy: Retumbante