

Diseño de acondicionamiento y aislamiento acústico mediante materiales sostenibles para la sala de música de la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A.

Presentado por:

Juan Camilo Contreras Realpe

Proyecto de Grado

Universidad Nacional Abierta y a Distancia

Escuela de Ciencias Básicas, Tecnología e Ingeniería

Tecnología en Producción de Audio

Bogotá D.C.

2020

**Diseño de acondicionamiento y aislamiento acústico mediante materiales sostenibles
para la sala de música de la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A.**

Presentado por:

Juan Camilo Contreras Realpe

Proyecto de Grado

Luis Montañez Carrillo

Líder en el Programa Tecnología en Producción de Audio

Cristhian Orlando Perdomo

Director de Proyecto

Universidad Nacional Abierta y a Distancia

Escuela de Ciencias Básicas, Tecnología e Ingeniería

Tecnología en Producción de Audio

Bogotá D.C.

2020

Dedicatoria

El presente proyecto de grado lo dedico principalmente al motor e inspiración de mi vida, mi familia, mi hermana Claudia Alexandra Contreras Realpe, mi hermano Iván Darío Contreras Realpe, y mi mamá Ana Lucia Realpe Castillo, que quienes, con amor, paciencia, sabiduría, consejos y experiencia, me impulsaron y apoyaron apasionada e incondicionalmente para desarrollar este proyecto y poder culminar mi formación profesional.

Agradecimientos

De manera especial y con mucho amor quiero agradecer a mi familia, por todo el apoyo incondicional a lo largo de mi carrera, por estar siempre presentes en cada uno de los procesos, y darme la motivación permanente a lo largo de mi formación, agradezco a mi tutor de tesis por la enseñanza y guía durante la carrera.

Resumen

Este proyecto describe el proceso para obtener un diseño óptimo de acondicionamiento y aislamiento acústico para la sala de música de la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales (UDCA), la cual se ubica en el bloque “H” donde se realizan actividades estudiantiles, culturales y lúdicas. Por tratarse de recintos de aprendizaje y ocio, el análisis se enfocó en descubrir y mejorar las condiciones existentes acústicas del recinto.

El desarrollo del proyecto se dividió en tres etapas, donde, la primera correspondió a la medición y diagnóstico de la sala, en la que se hizo una observación y valoración del lugar, con el fin de conocer los distintos materiales, dimensiones, geometría y estructura del recinto. Adicionalmente, se realizaron cálculos y mediciones acústicas por medio de instrumentos especializados.

En la segunda etapa, se comparó la información obtenida con la información bibliográfica e investigación de las teorías acústicas para determinar el cumplimiento de las normas establecidas y recomendadas y de esta manera, establecer las soluciones para los problemas específicos identificados.

La tercera y última etapa se desarrolla en el marco de investigación de materiales de origen reciclado como fibras de papel, neumáticos fuera de uso, algodón y residuos plásticos con un alto grado de eficiencia acústica. Estos materiales y su correcta implementación tienen como objetivo final evaluar y comprobar la efectividad de la solución planteada.

Abstract

This project describes the process needed to get an optimal design for acoustic conditioning and isolating in the Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales (UDCA) music room. Located in Block H and it's main purpose is educational, cultural and ludic activities. Due to its teaching and joyful environment, the main focus is to discover and improve the acoustic conditions of this enclosure.

The development of this project has been divided in three stages. The first stage contains measurements and diagnostics, during which an observation and assessment of the location was performed. This allows the identification of different materials, measurements, geometry and structure of the enclosure. Also, the implementation of calculations and acoustic measurements using specialized instrumentation.

The second stage, which compares the obtained information in the previous stage with bibliography and theoretical research. In order to determine that recommended and stablished norms have been achieved, and in this way, specific issues can be identified.

The third and last stage is developed within the research framework on sustainable materials, such as paper fibers, disposed tires, cotton and plastic residues with a high level of acoustic efficiency. The main purpose of these materials and their correct implementation is to evaluate and to prove the effectiveness of the proposed solution.

Tabla de Contenido

Introducción	14
Planteamiento del problema	16
Justificación	18
Objetivos	20
Objetivo General	20
Objetivos Específicos	20
Alcances y limitaciones	21
Alcances	21
Limitaciones	21
Marco Teórico	22
Sonido	22
Componentes Del Sonido.....	22
Diferencia Entre Sonido Y Ruido.....	23
5.1.4 Frecuencia.....	23
Banda De Frecuencias	24
Propagación Del Sonido	25
Velocidad Del Sonido	26
Fuentes Acústicas	27
Absorción	28
Reflexión.....	28
Difracción.....	29
Percepción Del Sonido.....	30
Anatomía Del Oído.....	31
Presión Sonora.....	32
Nivel De Intensidad Del Sonido / Nivel De Presión Sonora (SPL)	33
Psicoacústica	33
Curvas Isofónicas	35
Acústica.....	36
Acústica Medioambiental	37
Acústica Arquitectónica.....	38
Acondicionamiento Acústico	38
Aislamiento Acústico.....	38
Diferencia Entre Acondicionamiento Acústico y Tratamiento Acústico	39

Medición Del Sonido	39
Decibel	39
Sonómetro	40
Programa De Análisis Acústico	40
Materiales Acústicos.....	41
Materiales Absorbentes.....	43
Materiales Reflectantes	43
Materiales Difusores	44
Materiales Acústicos Sostenibles	45
Efectos Nocivos en las Personas	46
Ventajas de los Materiales Sustentables	46
Materiales Sustentables Existentes	47
Marco Normativo	53
Normas De Ruido	53
Normas Internacionales	53
Norma ISO 3382 -2	53
Normas Nacionales.....	55
Resolución 0627 De 2006.....	55
Criterios Acústicos Para Recintos	56
Calidez Acústica (BR)	57
Brillo (Br).....	58
Curvas NC.....	59
Claridad De La Voz C50	61
Claridad Musical C80	61
Early Decay Time	62
Perdida De Articulación De Consonantes (%ALCons)	63
Tiempo De Reverberación	65
Metodología y desarrollo	69
Planificación.....	69
Análisis De Las Condiciones Existentes.....	70
Descripción Del Área De Estudio	70
Análisis del tiempo de reverberación	75
Calculo Teórico	76
Medición En Sitio.....	78
Análisis De Las Curvas NC	80

Claridad De La Voz C50	81
Claridad Musical C80	82
Calidez Acústica (BR)	83
Brillo (Br).....	84
EDT (“Early Decay Time”)	84
Perdida Porcentual De Articulación De Consonantes (%ALCons)	85
Necesidades y Requerimientos Acústicos	87
Soluciones Acústicas Propuestas.....	91
Diseño De Acondicionamiento Acústico	91
Diseño De Aislamiento Acústico	94
Resultados Y Análisis	99
Conclusiones	100
Recomendaciones	102
Bibliografía	103
Anexos	105
Anexo C. Promedio Rt60 Medido En Sala De Música U.D.C.A.	106
Anexo D. Resultados Rt60 Software	107
Anexo E. Micrófono De Medición <i>Behringer Ecm8000</i>	110
Anexo G. Material De Absorción – Paneles Acústicos Fonoabsorbentes	114
Anexo H. Material Absorbente – Residuos Botellas de Plástico.	115
Anexo I. Material Absorción – Paneles Eliminator de Eco de Algodón.	116
Anexo J. Material Absorbente – Fibra Natural	117
Anexo K. Sistema - Constructivo en Drywall.....	118
Anexo L. Tabla de índices de reducción de ruido RW Panel	119
Anexo M. Tabla de índices de reducción de ruido RW Ventana	120
Glosario.....	121

Lista De Tablas

Tabla 1. Niveles de presión sonora correspondientes a sonidos y ruidos típicos, y valoración subjetiva asociada.....	33
Tabla 2. Parámetros Acústicos ISO 3382-2.....	55
Tabla 3. Estándares máximos permisibles Res. 0627 de 2006	56
Tabla 4. RTmid Recomendado para distintos tipos de salas.....	57
Tabla 5. BR Recomendado según RTmid	58
Tabla 6. Curvas NC Recomendadas y niveles de ruido de fondo equivalente en (dBA).	60
Tabla 7. Valoración Subjetiva de la pérdida de (%ALCons).....	65
Tabla 8. RTmid recomendado para salas ocupadas.....	67
Tabla 9. Relación de materiales y superficies existentes en la sala.	76
Tabla 10. Coeficiente de absorción de los diferentes materiales de la sala.	77
Tabla 11. RT obtenido de la sala.	77
Tabla 12. Comparativo Resultados de RT medido frente al RT Calculado.	77
Tabla 13. Promedio de diferentes muestras del Tiempo de Reverberación por frecuencias. ...	78
Tabla 14. Comparativo del RT medido frente al RT calculado.	79
Tabla 15. Promedio RT60 por cada una de las frecuencias existentes en sala.	79
Tabla 16. RTmid recomendado de aprendizaje.....	79
Tabla 17. Ubicación de las curvas NC existentes en la sala.	81
Tabla 18. Valores medidos C50	82
Tabla 19. Valores medidos C80	83
Tabla 20. Variables Articulación por Consonantes (%ALCons)	86
Tabla 21. Índices de Reducción Sonora	89
Tabla 22. Resumen de evaluación y diagnóstico.	90
Tabla 23. Materiales para el diseño acústico	92
Tabla 24. Coeficientes de absorción de los materiales reciclados por frecuencia	93
Tabla 25. Sala de música con la implementación de los nuevos materiales.	94
Tabla 26. RTmid promediado frente al Rtmid calculado con nuevos materiales.	94
Tabla 27. Índices existentes de reducción sonora	96
Tabla 28. Curvas NC recomendadas para recintos específicos.....	96
Tabla 29. Índice de reducción de ruido entre salas y los requeridos para las salas adyacentes. 97	
Tabla 30. Sistema de aislamiento acústico	98

Lista de Ilustraciones

Ilustración 1. Mayor frecuencia, más ciclos en un segundo	24
Ilustración 2. Banda de Frecuencias de instrumentos musicales y de la voz.....	25
Ilustración 3. Movimiento de una partícula sobre la superficie del agua. Nótese que su movimiento describe una trayectoria circular	26
Ilustración 4. Reflexión del sonido.....	29
Ilustración 5. Difracción de una onda que se propaga a través del agua cuando atraviesa aberturas de diferentes tamaños	30
Ilustración 6. Anatomía del Oído.	32
Ilustración 7. Curvas Isofónicas.	36
Ilustración 8. Software Análisis Acústico.....	40
Ilustración 9. Absorción del sonido.....	42
Ilustración 10. Ejemplo de difusión del sonido producida por un conjunto de pirámides colocadas sobre una pared rígida.....	45
Ilustración 11 Materiales Acústicos Sostenibles.	46
Ilustración 12 Poli aluminio pulverizado	48
Ilustración 13 Neumáticos Fuera de Uso	49
Ilustración 14 Panel Lana Mineral de Vidrio	49
Ilustración 15 Paneles de Algodón.	50
Ilustración 16 Transformación del PET.....	51
Ilustración 17 Paneles Corcho reciclado.....	51
Ilustración 18 Panel de Celulosa.	52
Ilustración 19. Curvas NC.....	60
Ilustración 20. Relación entre EDT y RT.	63
Ilustración 21. Campo Reverberante	66
Ilustración 22. Reflexiones dentro de una sala.....	68
Ilustración 23. Mapa de ubicación de la Universidad U.D.C.A.....	70
Ilustración 24. Imagen frontal del bloque H donde se ubica la sala de música.	71
Ilustración 25. Imagen hacia el interior de la sala de música.	72
Ilustración 26. Imagen del interior de la sala donde se aprecian los materiales existentes	72
Ilustración 27. Plano de ubicación de la fuente de ruido y la ubicación de los micrófonos	73
Ilustración 28. Imagen 3D del recinto	73
Ilustración 29. Imagen 3D del recinto desde perspectiva	74
Ilustración 30 Espacios contiguos	75
Ilustración 31. Promedio los 5 puntos de medición y su promedio general.	79
Ilustración 32. Curvas NC medidas en sala.	80
Ilustración 33. Claridad de la Voz.....	81
Ilustración 34. Claridad musical.....	83
Ilustración 35. “Early Decay Time” medido.....	85
Ilustración 36 Pérdida de Articulación por Consonantes (%ALCons).....	86
Ilustración 37. Vista interior de la sala	95
Ilustración 39 Sistema de aislamiento techo	119
Ilustración 40 Sistema de aislamiento Ventana	120

Lista de Anexos

Anexo 1. Nivel de ruido recomendado y medido.....	105
Anexo 2. Resultados RT60 en Sala.	105
Anexo 3. Promedio RT60 puntos específicos	106
Anexo 4. Resultados R60 Software.....	107
Anexo 5. Micrófono de medición.....	110
Anexo 6. Interfaz Software de medición.	113
Anexo 7. Paneles Acústicos Fonoabsorbentes	114
Anexo 8. Residuos botellas de plástico.	115
Anexo 9. Paneles Eliminador de Eco de Algodón.	116
Anexo 10. Fibra Natural	117
Anexo 11. Sistema constructivo en Drywall.....	118

Tabla de ecuaciones

Ecuación 1. Relación entre velocidad del sonido, frecuencia y longitud de onda	27
Ecuación 2. Calidez acústica ("Bass Ratio").....	58
Ecuación 3. Brillo	59
Ecuación 4. Claridad de la voz C50	61
Ecuación 5. Claridad musical C80	62
Ecuación 6. Early Decay Time.....	63
Ecuación 7. Pérdida de articulación de consonantes	64
Ecuación 8. Tiempo de reverberación	67
Ecuación 9. Coeficiente de absorción.....	68
Ecuación 10. Cálculo de calidez acústica	84
Ecuación 11. Cálculo de brillo	84

Introducción

La propuesta de mejoramiento de las condiciones acústicas de la sala de música de la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A, busca como principal objetivo reducir el tiempo de reverberación en la sala y controlar y/o aislar el ruido generado hacia el exterior y el que se pueda transmitir hacia el interior, dando cumplimiento a normas y estándares tanto nacionales como internacionales, con el fin de garantizar condiciones de calidad y confort acústico, así como condiciones acústicas propias para el desarrollo de las actividades en los espacios de análisis, mediante la propuesta de materiales de origen amigable con el medio ambiente, con componentes reciclados y sustentables, como propuesta innovadora en el campo de aplicación de aislamiento y el acondicionamiento acústico.

Para el desarrollo del proyecto acústico, como primera instancia, se estudió el estado inicial del recinto, por medio de un diagnóstico acústico, en el cual los parámetros medibles “físicamente”, se cuantificaron mediante mediciones de las dimensiones y superficies del espacio. Por medio de fórmulas acústicas, se establecieron los parámetros de análisis existentes, y así calcular y proponer soluciones adecuadas para el proyecto.

El tiempo de reverberación inicial de la sala se evaluó de manera teórica y tecnológica por medio de software especializado y micrófonos de medición, que permiten obtener resultados y la comparación de los resultados obtenidos con los objetivos y criterios acústicos.

Dentro del alcance de la propuesta, se presenta la siguiente propuesta al comité directivo y administrativo de la universidad donde se resaltan las ventajas de implementar soluciones acústicas que aportarán un notable mejoramiento para la correcta comprensión de los instrumentos musicales, junto con la contribución de soluciones que aportan al cuidado del planeta.

Al cuantificar las problemáticas acústicas más relevantes del recinto, como lo son, un alto tiempo de reverberación, de acuerdo con las superficies que lo componen, se establece como solución acústica de mayor calidad acústicas; el uso de paneles obtenidos a partir de restos de botellas de plástico, neumáticos fuera de uso y a partir de residuos agrícolas.

Planteamiento del problema

La Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A, cuenta en sus instalaciones con un amplio esquema de espacios destinados tanto para aprendizaje como el esparcimiento de la comunidad estudiantil, siendo de suma importancia para el desarrollo integral de los estudiantes. Entre los espacios existentes se encuentran: el salón de música, danza, teatro y comedor, los cuales están dispuestos uno al lado del otro, ubicados en el edificio denominado “Bloque H”. Debido a su gran afluencia de estudiantes en los diferentes horarios de clase, en los espacios puede llegar a “mezclarse” diferentes sonidos, sin permitir una óptima escucha de los mensajes transmitidos, impidiendo una óptima calidad en las actividades de cada espacio.

Este proyecto se centra en el salón de música del bloque H, el cual presenta problemáticas de tema acústico como la ausencia de control de ruido, sobre las distintas superficies que lo conforman, dado que estas presentan un muy bajo coeficiente de absorción, lo que conlleva a un tiempo de reverberación muy alto, sonidos indeseados a causa de reflexiones, excesos de niveles de ruido y por ende molestias auditivas y pérdida de calidad en la transmisión del mensaje, haciendo que las actividades que se desarrollan dentro del espacio no sean de buena calidad tanto como para intérpretes como para receptores.

La falta de control de las condiciones acústicas y emisiones de ruido de la sala conlleva a una calidad baja en las muestras musicales estudiantiles, fatiga auditiva, dificultad en la comprensión de los mensajes transmitidos, deficiencia en la capacidad de aprendizaje y un entorno desagradable para las personas. Esta problemática, contribuye notablemente a “la disminución de la capacidad auditiva de uno o ambos oídos, parcial o total, permanente y acumulativa, de tipo sensorio neural” (Torres F.A 2003), como resultado, a la exposición a niveles perjudiciales de ruido en el ambiente laboral, estudiantil y de ocio.

Todo lo anterior, deja como evidencia la importancia de crear soluciones de acondicionamiento y aislamiento acústico, en el interior, principalmente el tiempo de reverberación, el cual impide que los sonidos como el de la voz e instrumentos musicales se escuchen con claridad dentro del recinto, y hacia el exterior, donde la inmisión de ruido interrumpe la normalidad de los recintos contiguos.

El establecer una solución mediante un diseño acústico, surge para mejorar la calidad auditiva de los estudiantes y de los entornos educativos, aportando a la salud, desarrollo y tranquilidad de los individuos y su comunidad; también contribuyendo a disminuir el efecto negativo del cambio climático al fomentar el uso de material reciclado, cumpliendo así con las normas establecidas. De acuerdo con estas necesidades y condiciones acústicas evidenciadas en la sala de análisis, surge la pregunta:

¿ Podría un diseño acústico, para sala de música de la Universidad UDCA generar soluciones de mejora para la calidad auditiva y el confort de los espacios de la comunidad académica ?

Justificación

Actualmente, el recinto de música de la universidad U.D.C.A, presenta diferentes problemáticas acústicas, ya que este no fue diseñado para un fin musical, utilizándose como espacio sin condiciones óptimas para el desarrollo de las actividades, presentándose constantes llamados de atención debidas al ruido generado en las aulas próximos a este recinto.

En la mayoría de las ocasiones los ensayos musicales, practicas e incluso clases musicales, no se logran comprender en su totalidad, debido al alto campo reverberante, que implica que las fuentes de sonido (instrumentos musicales, voces y ruido), se mezclan entre sí y no sea posible tener una buena escucha y entendimiento de los mensajes una correcta apreciación del sonido.

Resulta de gran interés para el presente proyecto diagnosticar y definir, los factores acústicos que permiten generar espacios de confort acústico, como garante de calidad es actividades universitarias tanto en interiores como en exteriores de los recintos, e implementar las medidas correctivas necesarias.

Con la propuesta de mejoramiento de las condiciones acústicas par la sala de música de la universidad U.D.C.A, se proporciona tratamiento acústico a factores como: reverberación, control de ruido, resonancias, eco flotante, entre otros. El manejo y control de cada uno de los elementos anteriores nos guía a tener un equilibrio acústico, con sonidos más definidos y claros, calidad musical y correcta transmisión de las ondas sonoras. Así mismo, se dará cumplimiento con las regulaciones normativas tanto nacionales como internacionales para alcanzar las condiciones óptimas para el tipo de actividad que se desarrollar. Del mismo modo el exceso de ruido entre recintos contiguos se puede minimizar para que no interfieran entre ellos.

El proyecto aplicado busca proporcionar información útil a toda la comunidad educativa, para mejorar el conocimiento sobre el alcance de estos problemas acústicos en las instituciones

educativas, para lograr estándares de calidad y por consiguiente por medio de los materiales utilizados, se busca crear conciencia en los elementos de origen reciclado para poder fomentar y generar cuidado y protección al medio ambiente.

Aplicando los conocimientos adquiridos durante el proceso de aprendizaje y/o formación, en el programa de tecnología en Producción de audio, y conociendo que no se evidencian diseños acústicos bajo las mismas especificaciones, logrando contribuir a la realización de productos audiovisuales, ensambles musicales y oratorias de óptima calidad.

Debido a que no se encuentran proyectos aplicados de misma “magnitud” con las especificaciones aquí expuestas, sobre el acondicionamiento y tratamiento acústico, el presente trabajo es conveniente para afianzar un mayor conocimiento sobre la ocurrencia de cada tipo de problema, sus características y las necesidades de su intervención.

Objetivos

Objetivo General

Diseñar una propuesta de acondicionamiento y aislamiento acústico para el salón de música de la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambiental U.D.C.A.

Objetivos Específicos

- Desarrollar un diagnóstico de parámetros acústicos para la sala de música de la UDCA.
- Analizar los datos obtenidos con base a las recomendaciones bibliográficas para salas de música.
- Diseñar una propuesta de acondicionamiento apropiada para el tipo de sala en estudio.
- Presupuestar las soluciones requeridas para el control acústico de los espacios.

Alcances y limitaciones

Alcances

- Proponer soluciones que permitan controlar el tiempo de reverberación para las actividades desarrolladas en la sala.
- Proponer soluciones para el control de ruido al exterior de la sala, y el transmitido desde las salas adyacentes.
- Seleccionar materiales acústicos innovadores y sustentables con el medio ambiente para la solución de la problemática.

Limitaciones

- El uso de equipos y dispositivos de tipo académico, con funcionalidades limitadas.
- Coordinación en los horarios de hora académica y hora de recreación de los estudiantes para la toma de muestras en sala vacía.

Marco Teórico

Sonido

Desde el punto de vista de la física, es la resultante de que un objeto (fuente sonora), vibre y por ello origine una modificación en la presión del aire que rodea al objeto a esto se añade lo que manifestó Carrión (1998), “vibración mecánica que se propaga a través de un medio material elástico y denso (habitualmente el aire), y que es capaz de producir una sensación auditiva” (p.27). Por esto, podemos decir que toda vibración de partículas en un medio elástico la podemos llamar como fuente de sonido.

Componentes Del Sonido

Ahora es oportuno conocer, a partir de la vibración antes mencionada, las características existentes en un sonido ruido, las cuales son: amplitud, frecuencia y longitud de onda.

Definiremos a la amplitud como el valor máximo de desplazamiento alcanzado (ya sea positivo o negativo). Amplitud del sonido, Se interpreta como el nivel sonoro, a mayor amplitud mayor sensación auditiva. Dicho de otro modo, podemos definir que la amplitud, es la distancia recorrida de una partícula desde su punto de reposo hasta su punto máximo en el eje vertical hablando gráficamente.

La frecuencia (f), como lo menciona Bartí, (2010), “es el número de vibraciones o de variaciones de la presión acústica por segundo, dando la sensación de tonalidad. Un sonido de baja frecuencia es un sonido de tonalidad grave. Un sonido de alta frecuencia es un sonido de tonalidad aguda”(p.11), agregando a lo anterior, es necesario aclarar la idea de oscilación, para que un cuerpo se escuche debe vibrar, ósea desplazarse en movimientos cíclicos, normalmente alrededor de un centro o punto de reposo cuando este cuerpo a recorrido los puntos de valor

máximo y mínimos dentro de un determinado tiempo, se puede decir que la partícula ha realizado una oscilación completa.

Como último elemento encontramos la longitud de onda, “es la distancia entre dos puntos consecutivos del campo sonoro que hallan en el mismo esta de vibración en cualquier instante de tiempo”. (Carrión, 1998, p.28),

Complementando, “la longitud de onda es la distancia entre dos crestas consecutivas del grafico que representa el movimiento ondulatorio”,(Alcaraz 2015, p.25), aquí podemos agregar que al punto máximo de un sonido se le conoce como cresta, al punto mínimo como valle y la intersección de estos dos puntos de equilibrio.

Cabe resaltar como lo expresa, “la longitud de onda y la frecuencia son inversamente proporcionales, es decir, cuanto mayor es la frecuencia menor es la longitud de onda”. (Carrión 1998, p.29).

Diferencia Entre Sonido Y Ruido

Ahora, para definir estos conceptos de ruido y sonido que nos permite definir lo que escuchamos, en base a los conceptos anteriormente mencionados, la diferencia radica en la percepción de estos, mientras el sonido, lo percibimos como una sensación agradable, debido a sus coherencias dentro de su naturalidad, el ruido se manifiesta aleatoriamente, en sus componentes lo que conlleva una sensación desagradable o “desordenada”

5.1.4 Frecuencia

Definiremos la frecuencia como la cantidad de oscilaciones que el cuerpo tiene en la unidad de tiempo (el segundo), así mismo, “El número de ciclos completos por segundo que tiene una onda es lo que se conoce como frecuencia. Por ejemplo 10 ciclos en un segundo son 10 Hertz y

10.000 es lo mismo que decir 10 KiloHertz y así sucesivamente como se muestra en la gráfica”.

(Garcia, Santiago, 2010, p.15).

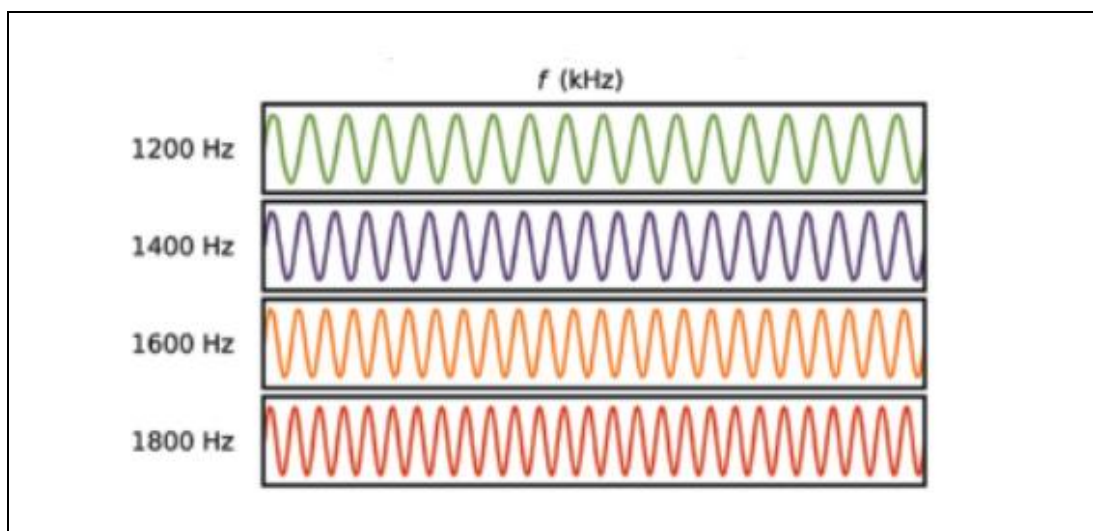


Ilustración 1. Mayor frecuencia, más ciclos en un segundo

Fuente: (Carrion, 1998)

Banda De Frecuencias

Como se mencionaba en las propiedades de sonido, como característica fundamental se encuentra la frecuencia, este aspecto, podemos compararlo con una paleta de colores si fuéramos a dibujar un cuadro, sucede lo mismo en cuanto al sonido, las notas inferior y superior de un piano de 88 teclas tienen unas frecuencias fundamentales de 27,5Hz y 4.400Hz respectivamente. La primera corresponde a un sonido muy grave, mientras que la segunda va asociada a uno muy agudo. Con esto se quiere decir que un sonido grave está caracterizado por frecuencias bajas, en tanto un agudo lo está por una frecuencia alta. De esta manera, el conjunto de frecuencias situados entre ambos extremos se denomina banda de frecuencias. Dicha definición es válida para cualquier fuente sonora.

En la siguiente imagen se demuestran las bandas de frecuencias asociadas a diversos instrumentos musicales y a la voz humana.

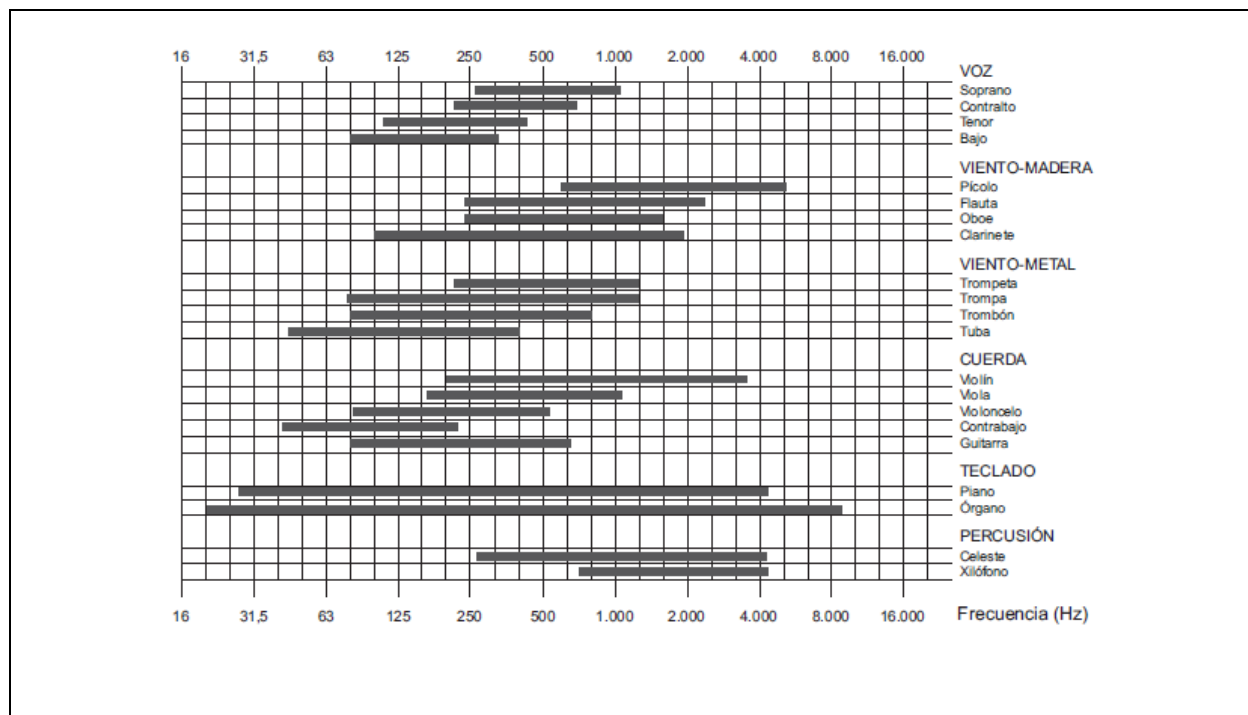


Ilustración 2. Banda de Frecuencias de instrumentos musicales y de la voz

Fuente: (Carrion, 1998)

En el caso de la audición humana, la banda de frecuencias audibles para una persona joven y sana se extiende, aproximadamente de 20 Hertz a 20.000Hertz. Las frecuencias inferiores a 20 Hz se llaman subsónicas, y las superiores a 20 KHz ultrasónicas. Dando lugar así a los conocidos como infrasonidos y ultrasonidos respectivamente.

También es importante decir que nuestro oído no escucha todas las frecuencias del espectro audible de igual forma. La banda de frecuencias que van desde los 900 Hz a 3.000Hz es para el oído humano es la banda que más escucha.

Propagación Del Sonido

Las ondas de sonido son el ejemplo más común de ondas longitudinales. Se desplazan en cualquier medio material con una rapidez que depende de las propiedades del medio estas ondas se dividen en 3 categorías que son las ondas audibles, ondas infrasonicas y ondas ultrasónicas, que las repasamos en el aspecto de frecuencia.

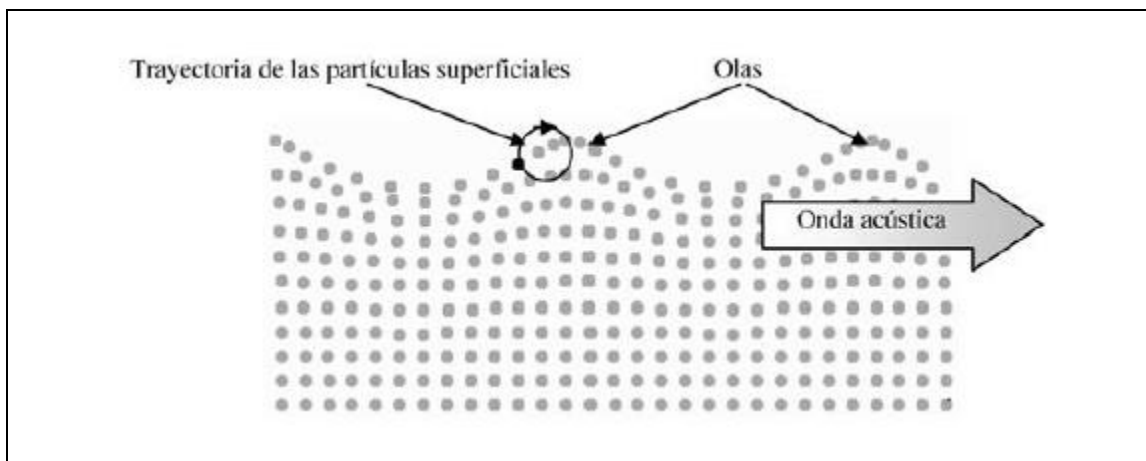


Ilustración 3. Movimiento de una partícula sobre la superficie del agua. Nótese que su movimiento describe una trayectoria circular

Fuente: (Barti, 2010)

Es por esto por lo que: (Bartí, 2009) afirma: “La onda acústica es un fenómeno asociado a una vibración, pero no comporta ningún desplazamiento físico de materia. En una onda transversal, el desplazamiento de las partículas sobre su punto de equilibrio es perpendicular al sentido de propagación de la onda acústica”, (p.22).

Velocidad Del Sonido

(Carrión 1998) afirma que: “La velocidad de propagación del sonido (c), es función de la elasticidad y densidad del medio de propagación. Debido a que, en el aire, ambas magnitudes dependen de la presión atmosférica estática P_0 y de la temperatura, considerando lo anterior las condiciones normarles de 1 atmosfera de presión y 22°C de temperatura, la velocidad de propagación del sonido es de aproximadamente, 345m/s ”, (P.32).

Lo anterior refuerza que “la velocidad del sonido es la velocidad que se transmite en un medio determinado depende del medio, de la presión y de la temperatura, pero no de la frecuencia”, (Voetmann, 2018, p.19) complementando lo dicho por Carrión, que a temperatura ambiente la velocidad del sonido en el aire es de aprox. 340 m/s . Como comparación, la velocidad del sonido en el agua, de mar a 20°C es de aprox. 1540 m/s y en el hormigón de aprox. 3400 m/s .

Existe una relación importante entre la velocidad del sonido (c), la longitud de onda (λ) y la frecuencia (f).

$$c = \lambda \cdot f \quad \text{ó} \quad \lambda = \frac{c}{f} \quad \text{ó} \quad f = \frac{c}{\lambda}$$

Ecuación 1. Relación entre velocidad del sonido, frecuencia y longitud de onda

Fuente: (Voetmann, 2010)

Fuentes Acústicas

(Barti, 2010), “Se llama fuente acústica a cualquier elemento que radia sonido. Si escuchamos un sonido, es porque en algún lugar alguna cosa vibra. Las vibraciones son siempre el origen del sonido. Las vibraciones pueden ser perceptibles por el cuerpo humano en función de su amplitud y frecuencia. Las frecuencias si son de amplitud suficiente se pueden detectar fácilmente a raves del cuerpo, mientras que las altas frecuencias no son perceptibles corporalmente, pero si podemos llegar a escuchar su efecto, cuando una superficie está vibrando” “Una fuente acústica puede ser un altavoz, una lavadora etc.” (p.21)

Las fuentes sonoras pueden ser direccionales o bien omnidireccionales. Las primeras radian el sonido en una dirección preferente del espacio, por ejemplo, una bocina. Las segundas radian el sonido en todas las direcciones del espacio. Esta propiedad de la fuente depende de sus dimensiones, de las frecuencias radiadas y de su ubicación.

El tipo de fuente acústica nos indica como es la propagación del sonido hacia el espacio que lo rodea, esto es muy importante de cara a saber predecir con exactitud el nivel que una fuente de ruido puede generar sobre un punto receptor situado a una cierta distancia.

Podemos poner por ejemplo una caja acústica. Los agudos se escuchan en toda su intensidad cuando se está delante del eje de radiación principal. Las bajas frecuencias en cambio se perciben por igual.

Absorción

Cuando el sonido incide sobre una superficie parte de la energía se disipa en forma de calor, otra parte se refleja y otra se transmite hacia el otro lado, a esto anterior llamamos absorción.

El sonido se disipa en el aire por una combinación de mecanismos incluyendo:

- Absorción clásica causada por procesos de transporte de la física clásica.
- Absorción molecular causada por relajación rotacional.
- Absorción molecular causada por relajación vibracional del oxígeno y nitrógeno.

Reflexión

(Jaramillo, 2007,) “Cuando la onda sonora choca con una superficie lisa, solida, plana y de dimensiones superiores a su longitud de onda, esta es devuelta en dirección opuesta formando con la superficie el mismo ángulo de incidencia”, (p. 45).

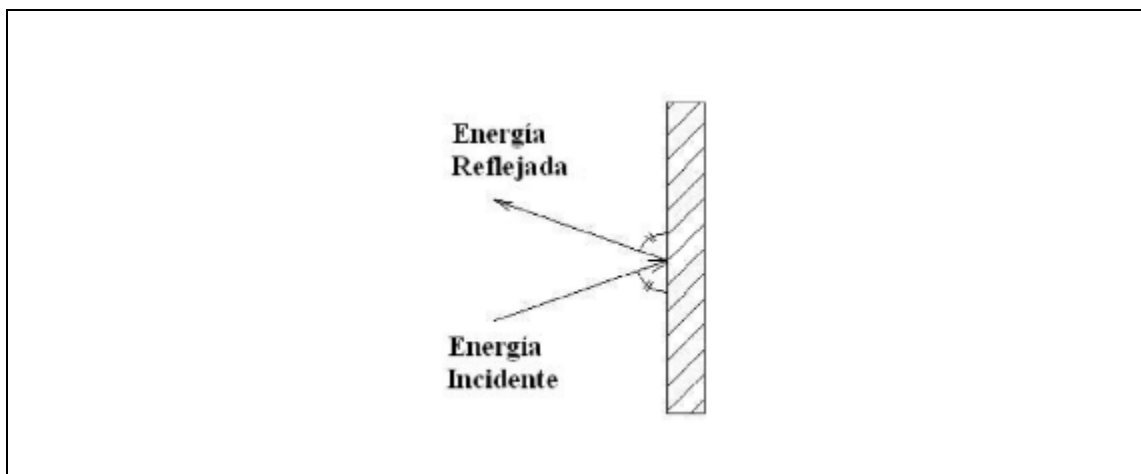


Ilustración 4. Reflexión del sonido.

Fuente: (Jaramillo, 2007)

El sonido se absorbe por diferentes mecanismos, siendo el más importante la conservación de la energía acústica en calor por disipación visco-térmica. Del mismo modo, la absorción en el aire es muy sensible a su composición, y en particular a la concentración muy cambiante de vapor a agua.

Difracción

“La difracción se produce básicamente a bajas frecuencias (sonidos graves) y disminuye a medida que la frecuencia aumenta. Ello significa que dichas frecuencias bajas serán las que se percibirán de forma más notoria. (Carrión, 1998, p. 116)

Así mismo, esta aseveración se puede generalizar de la siguiente manera: la existencia de un obstáculo entre una fuente ruidosa y un receptor atenúa de forma considerable las componentes de alta frecuencia del ruido (agudos), pero no así las de baja frecuencia (graves), que siguen siendo percibidas a menos que las dimensiones del obstáculo sean desmesuradamente grandes.

Este fenómeno de la difracción tiene un carácter más general que el que se acaba de exponer, ya que también se presenta cuando una onda atraviesa una abertura de dimensiones pequeñas respecto a la longitud de onda.

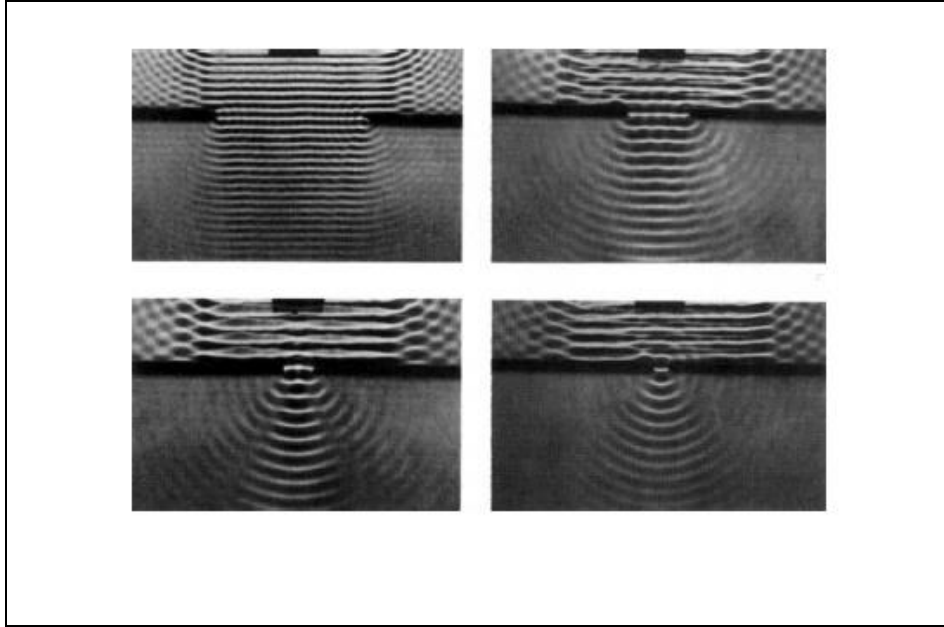


Ilustración 5. Difracción de una onda que se propaga a través del agua cuando atraviesa aberturas de diferentes tamaños

Fuente: (Carrion, 1998)

Percepción Del Sonido

(Ganong, 2010), “Gran parte de la comprensión del universo, físico, biológico y social se obtiene por medio de la audición. Esta se rivaliza con la visión como sistema que permite reunir y utilizar información compleja del ambiente, y depende de los “sonidos”, descritos en términos físicos como ondas de condensación-refracción de cierta amplitud y frecuencia, generadas en los medios conductores del sonido”, (p.13).

Los receptores para los estímulos auditivos y vestibulares son células de epitelio cúbico, caracterizadas por estereocilios que sobresalen de su superficie expuesta. Las así llamadas “células ciliadas” reciben señales de fibras nerviosas aferentes de primer orden y salen de ellas fibras eferentes en el octavo par craneal. El neuroepitelio, -que tiene las células ciliadas- está dispuesto en espiral, que junto con el aparato vestibular completamente encajonada por el denso hueso temporal.

(Barti 2010) “El sentido del oído nos permite reconocer sonidos, comunicarnos, escuchar y disfrutar de la música y un largo etcétera. El sistema auditivo es un sentido más importante de lo que vulgarmente se piensa. No se puede desconectar voluntariamente como podemos hacer con la vista, aspecto que a veces supone un inconveniente cuando queremos dormir y un ruido nos lo impide. El oído siempre funciona, de hecho, es el órgano que nos alerta de los peligros que nos rodean. Un ruido a baja intensidad puede provocar una sensación de alarma superior a la que un sonido de mayor amplitud puede generar”, (p.35).

De lo anterior podemos resaltar que: El sentido auditivo tiene dos partes diferenciadas:

1. Órgano auditivo como detector de las variaciones de presión acústica que llegan al oído.
2. Procesamiento de estas informaciones por el cerebro que “interpreta” los resultados.

Anatomía Del Oído

(Ganong, 2010), “Los receptores para las dos modalidades sensoriales, audición y equilibrio, se alojan en el oído. El oído externo, el medio y la porción coclear del oído interno se relacionan con la audición. Los conductos semicirculares, el utrículo y el sáculo del oído participan en el equilibrio. Los receptores de los conductos semicirculares detectan la aceleración rotacional, los del utrículo la aceleración lineal en dirección horizontal, mientras que los del sáculo detectan también, la aceleración lineal, pero en dirección vertical. Los receptores para la audición y equilibrio son células ciliadas; hay seis grupos de ellas en cada oído interno: uno en cada uno de los tres conductos semicirculares, uno en el utrículo, uno en el sáculo y otro en la cóclea”.(p.14)

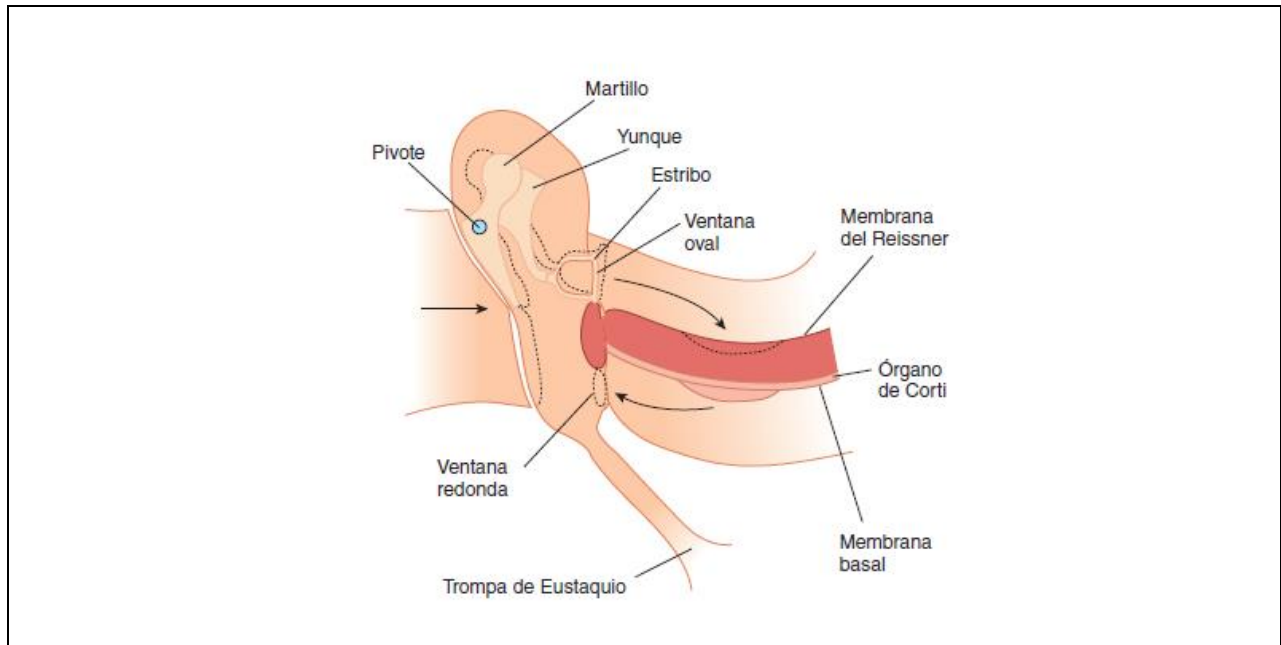


Ilustración 6. Anatomía del Oído.

Fuente: (Barret, 2007)

Presión Sonora

La presión sonora constituye la manera más habitual de expresar la magnitud de un campo sonoro. Una fuente sonora produce una cierta cantidad de energía por unidad de tiempo, esto es una cierta potencia sonora. Esta es una medida básica de cuanta energía acústica puede producir una fuente sonora con independencia del contorno. Cuando medimos una el nivel de presión sonora, esta no solo dependerá de la potencia radiada y de la distancia radiada respecto de la fuente, también dependerá de la cantidad, de energía absorbida y de la cantidad de energía transmitida.

Puesto que la presión sonora es una magnitud variable de un punto a otro, en ciertas circunstancias es conveniente utilizar como medida de amplitud del sonido otras magnitudes en lugar de presión, siendo estas magnitudes tales como: Potencia, presión e intensidad.

Nivel De Intensidad Del Sonido / Nivel De Presión Sonora (SPL)

El ruido, igual que sucede con otros contaminantes, afecta al ser humano. Las afectaciones pueden ser de tipo fisiológico o bien psicológico. Las afectaciones sobre el oído son probablemente las más conocidas. También se producen afectaciones fisiológicas en diferentes partes y tejidos del cuerpo humano. El oído es un órgano sensible que está sometido al desgaste igual que otros sentidos como la vista. Por lo anteriormente mencionado, podemos notar que el sentido auditivo también tiene límites, a continuación, se presenta una serie de niveles de presión sonora correspondiente a sonidos y ruidos típicos, junto con la valoración subjetiva asociada:

FUENTE SONORA	NIVEL DE PRESIÓN SONORA SPL (dB)	VALORACIÓN SUBJETIVA DEL NIVEL
Despegue avión (a 60 m)	120	Muy elevado
Edificio en construcción	110	
Martillo neumático	100	
Camión pesado (a 15 m)	90	Elevado
Calle (ciudad)	80	
Interior automóvil	70	
Conversación normal (a 1 m)	60	Moderado
Oficina, aula	50	
Sala de estar	40	
Dormitorio (noche)	30	Bajo
Estudio de radiodifusión	20	

Tabla 1. Niveles de presión sonora correspondientes a sonidos y ruidos típicos, y valoración subjetiva asociada

Fuente: (Carrion, 1998)

“ahora bien, el oído humano no tiene la misma sensibilidad para todo este margen de frecuencias” (Carrion, 1998, p.26). Para ello podemos observar lo que se conoce como las curvas isofónicas y el diagrama de Fletcher Munson.

Psicoacústica

La psicoacústica es la rama de la acústica que se encarga del estudio de la respuesta psicológica y psicopatológica de un estímulo sonoro, el cual el cerebro analiza las diferentes cualidades del sonido tales como: intensidad, tono y timbre, y las transforma en un mensaje con

reacciones física-mentales y física-corporales. La psico acústica es una rama de la psicofísica (campo científico que analiza la relación entre los estímulos físicos del ambiente y la sensación o los efectos que estos producen en las personas, una relación entre lo objetivo y lo subjetivo).

Las características físicas de las ondas pueden expresarse mediante parámetros físicos como intensidad y frecuencia, las cuales pueden medirse con una cierta precisión de forma objetiva mediante instrumentos adecuados. Sin embargo, la respuesta del oído tiene un carácter más subjetivo, donde se relaciona con los parámetros físicos objetivos. Este es precisamente el objeto de la psicoacústica.

La psico acústica es una disciplina esencialmente empírica. Sus conclusiones se obtienen a partir del análisis estadístico de los resultados de experimentos que buscan medir la respuesta subjetiva de distintas personas a estímulos de propiedades físicas cuantificadas.

Alguno de los objetivos principales de la psico acústica son:

- Establecer un modelo de la relación existente entre la magnitud de la sensación producida por un estímulo y la magnitud física del mismo.
- Establecer los umbrales (absolutos) de sensación en cada parámetro, como frecuencia e intensidad.
- Establecer los umbrales diferenciales de percepción en cada parámetro del estímulo (mínima variación y diferencia perceptible).

Una de las consideraciones a tener en cuenta en el estudio en esta área, es la diversificación de comprensión del mensaje auditivo de una persona a otra, ya que, con el paso de los años, la sensibilidad va perdiendo capacidades especialmente en sonidos de altas frecuencias por la pérdida de células filiares ubicadas en el nervio auditivo y es por esta razón que para estudios acústicos es de fundamental el uso de dispositivos electrónicos.

Curvas Isofónicas

La relación entre niveles de presión sonora y frecuencia también va de la mano con la percepción del sonido, así:

Para niveles bajos de presión sonora, el oído es muy insensible a bajas frecuencias, es decir el nivel de presión sonora de un sonido grave tiene que ser mucho más elevado que el correspondiente a un sonido de frecuencias, medias para que ambos produzcan la misma sonoridad. “Este cambio de comportamiento en el oído en función del nivel de señal y frecuencia explica el hecho de que, al subir el volumen del amplificador de un equipo de música, se percibe un mayor contenido de graves y agudos del pasaje musical reproducido.

Del mismo modo Bartí señala que: “por medio de un gráfico que interpreta nuestra forma de escuchar o los límites del sistema auditivo en lo relacionado con la escucha de nuestro rango audible de frecuencias, es el de “curvas isofónicas” o diagrama de Fletcher Munson”. En él tenemos un conjunto de líneas (curvas isofónicas) que, partiendo de estudios de percepción sonora en el oído humano, nos informan el comportamiento (sensibilidad) de nuestro aparato auditivo en función de la frecuencia que lo afecta o, desde otra perspectiva, nos informan que diferencia de intensidad (expresada en dB) tiene que tener un sonido de “x” frecuencia si lo quiero “escuchar” igual (con la misma intensidad/sonoridad) a otro con diferente valor de frecuencia (siempre expresadas en Hz)”.

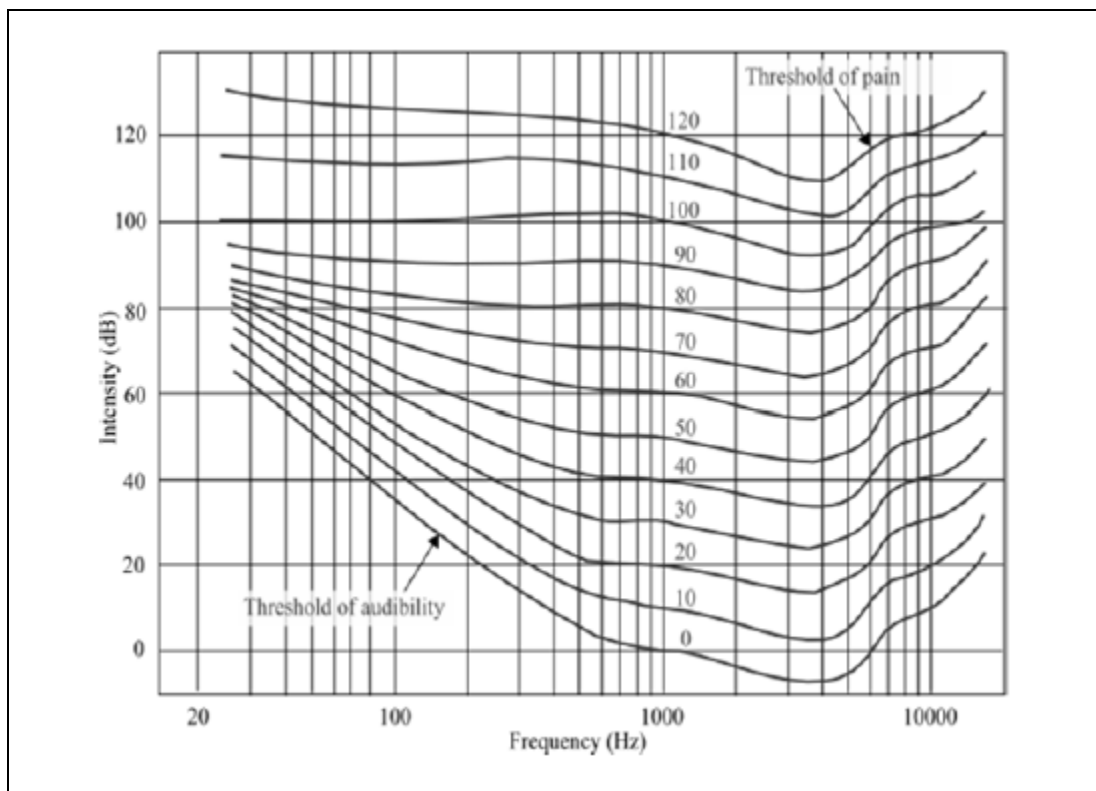


Ilustración 7. Curvas Isofónicas.

Fuente: (Carrion, 1998)

Acústica

El campo de la acústica, como muchos otros campos de la ciencia, es extremadamente amplio. No en vano engloba disciplinas tan diversas como la acústica ambiental, la acústica musical, la psico acústica y la acústica arquitectónica, entre otras

La acústica comenta Beranek, “está entrando en una nueva era: la era de la ingeniería de precisión. Hace cien años la acústica era un arte. Como instrumento de medición, los ingenieros utilizaban en este campo especialmente sus oídos”. Las únicas fuentes de ruido controladas disponibles eran silbatos, gongs y sirenas.

La acústica es una de las ciencias clásicas más jóvenes. La primera referencia escrita donde se conjugan criterios acústicos y arquitectónicos corresponde al romano Vitruvio en el siglo I antes de Cristo. Sin embargo, hasta finales del siglo XIX, la acústica era considerada una ciencia

inexacta y, en consecuencia, no resulta extraño que continuamente aparecieran explicaciones esotéricas a través de las cuales pretendían aclarar los “misterios” de esta materia.

Acústica Medioambiental

El ruido afecta a millones de personas. Algunos estudios indican la tendencia a la concentración de la población en grandes ciudades las próximas décadas, el elevado precio de la vivienda, la necesidad de ganar espacio reduciendo al mínimo el grosor de las estructuras, la proliferación de equipos de sonido con mejores prestaciones deja entrever que presumiblemente aumentara el número de quejas por motivo de ruido ambiental.

La lucha contra el ruido es un tema que cada día preocupa más a la sociedad, la contaminación acústica es, hoy por hoy, la asignatura pendiente de las administraciones, las cuales disponen, en general, de pocos recursos para afrontar las soluciones correctas”

Según todo lo anterior y al poder evidenciar la problemática que esto acarrea según (Barti) “es de vital importancia seguir un protocolo que dictamine donde está el problema, haciendo unas mediciones acústicas que realmente valoren la molestia que perciben las personas, la evolución de un suceso acústico viene determinada por numerosos parámetros. La actitud subjetiva del individuo, el entorno físico en el que se percibe el ruido, el nivel de presión acústica, percibido, su espectro en frecuencia, y su evolución temporal son algunos de los factores que determinan la forma de evaluar los sonidos”

Es por lo anterior que la acústica medioambiental se encarga de realizar un correcto procedimiento para cumplir con los lineamientos que sea coherentes con la salud de las personas y con el normal funcionamiento de las actividades diarias.

Acústica Arquitectónica

La acústica arquitectónica estudia los fenómenos vinculados con una propagación adecuada, fiel y funcional del sonido en un recinto. Esto lleva de la mano el también conocido acondicionamiento acústico. Los recintos (establecidos para un uso determinado), deben tener cualidades acústicas óptimas para dicha aplicación. Debido a estas cualidades acústicas se puede percibir y señalar el comportamiento del sonido, entre las cuales se encuentra el tiempo de reverberación, reflexiones tempranas, ecos, resonancias, entre otras.

Acondicionamiento Acústico

El acondicionamiento acústico se sitúa como elemento primordial para una sala o recinto, el no tener un óptimo acondicionamiento implica que el esfuerzo de las personas al hablar sea mayor ya que debido a las reflexiones, a las carencias de ciertas frecuencias o al exceso de estas, el público al escuchar no logre percibir el mensaje o música con claridad.

El acondicionamiento señala todas aquellas sugerencias, normas y recomendaciones las cuales dirigen el proceso para corregir falencias sonoras causadas por la geometría estructural y por el revestimiento de cada uno de los recintos, para así lograr alcanzar los indicadores de los parámetros determinados por las normas.

Aislamiento Acústico

El aislamiento acústico es la acción la cual permite proteger a un recinto del ingreso de cualquier sonido molesto, su función principal se concentra en reducir el nivel de presión sonora con el objetivo de reducir la energía de transmisión de una fuente sonora. La esencia del aislamiento radica en los materiales implementados los cuales poseen propiedades adecuadas para poder reflejar o absorber una parte significativa de la energía entrante.

Cuando una onda sonora encuentra un obstáculo debido a cierta presión sonora hace que este entre en vibración, parte de esta energía es reflejada y la que logra atravesar se transmite dentro del recinto y pone en movimiento el aire, generando así sonido.

Diferencia Entre Acondicionamiento Acústico y Tratamiento Acústico

(Carrión. 1998), “A menudo, el acondicionamiento acústico se confunde con el aislamiento acústico. Esta temática, si bien complementaria a la anterior, es conceptualmente distinta, ya que se refiere al conjunto de acciones encaminadas a la obtención de una correcta atenuación en la transmisión de ruido y vibraciones entre los diferentes espacios que integran el recinto”, (p.169).

Medición Del Sonido

Decibel

Tal vez la herramienta más útil jamás creada para los profesionales de audio es el decibelio (dB). Permite los cambios en los parámetros del sistema tales como la potencia, voltaje, o la distancia al estar relacionados con cambios de nivel al ser escuchados por un oyente. En resumen, el decibelio es una forma de expresar “cuanto” de una manera que sea relevante para la percepción humana de la sonoridad.

A diferencia de las unidades de medida, el decibel, es una unidad que se utiliza para expresar la relación entre dos valores de presión sonora, o tensión y potencia eléctrica (aunque nos centraremos solamente en la presión sonora). Su nombre se deriva del científico e inventor inglés, Alexander Graham Bell, que, con sus trabajos con el habla, (técnica de discurso en tonos claros), sus experimentos con el sonido, (construcción de máquina que simulaba la voz humana) y su invención del teléfono. Como se afirmó arriba, el decibelio se presta para medir distintos valores por fuera del fenómeno del sonido, por lo que es necesario especificar a qué medida será utilizado.

Sonómetro

(Carrión, 1998), “Debido a la complejidad del funcionamiento del oído humano, hasta el momento actual no ha sido posible diseñar un aparato de medida objetiva del sonido que sea capaz de dar unos resultados del todo equivalentes, para cualquier tipo de sonido”, (p.39), más, sin embargo, el alcance de la tecnología nos asemeja cada vez más, (junto con cálculos y algoritmos integrados) a un punto más exacto de referencia de escucha e incluso hasta imperceptibles.

(Bartí, 2010), añade a lo anterior que, “los sonómetros pueden ser de valores instantáneos o integradores y que, de la mano a normas internacionales vigentes actualmente, se consideran cuatro tipos de equipo de medida consolidados en: tipos 0,1,2 y 3”, (p.42).

Programa De Análisis Acústico

Un software es una herramienta que nos ayuda a la toma de datos, análisis de las respuestas acústica de un recinto determinado, para poder llevar una idea “visual” de las características de las mediciones. Esta herramienta ayuda a optimizar la acústica de una sala, incluyendo ecualizadores, generando gráficos, analizadores en tiempo real y espectrogramas que contribuyen a la toma de decisiones más acertadas para los recintos en estudio.

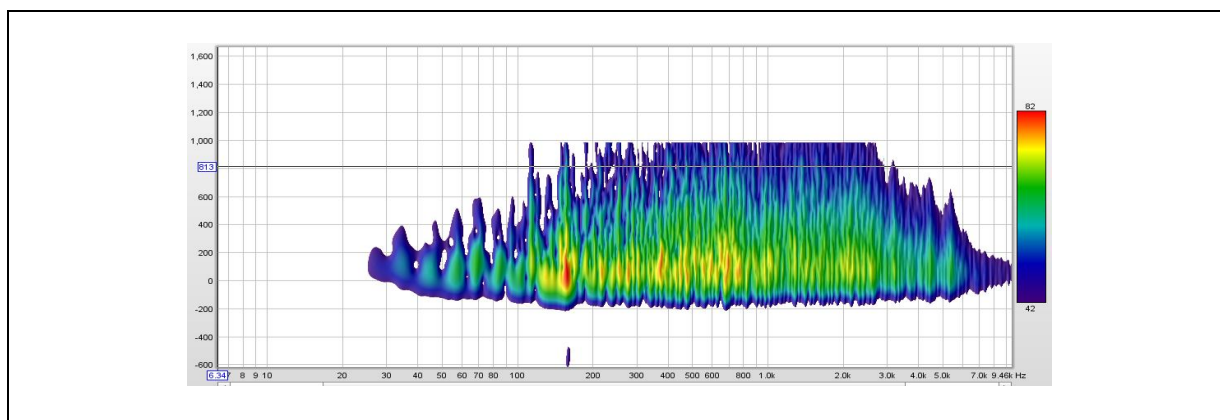


Ilustración 8. Software Análisis Acústico.

Fuente: (Mulcahy, 2020)

Materiales Acústicos

Algunos de los materiales acústicos más usados son susceptibles de desprender partículas que pueden producir irritación de la piel y, si son inhaladas, se pueden depositar en los alveolos pulmonares. En los últimos años han surgido muchos materiales porosos, susceptibles de proporcionar absorción, pero que son fabricados a partir de materiales naturales (fibra de algodón, fibras de coco, fibras de lino, fibras de caña de bambú, etc.)

(Carrión, 1998), afirma que: “El éxito en el diseño acústico de cualquier tipo de recinto, una vez fijado su volumen y definidas sus formas, radica en primer lugar en la elección de los materiales más adecuados para utilizar como revestimiento de este, con el fin de obtener unos tiempos de reverberación óptimos” , (p.71).

Además, en según qué tipos de espacios, resulta necesario potenciar la aparición de primeras reflexiones (es el caso de teatros y salas de conciertos) y/o conseguir una buena difusión del sonido (exclusivamente en el caso de salas de concierto)

En un recinto cualquiera. La reducción de la energía asociada a las ondas sonoras, tanto en su propagación a través del aire como cuando inciden sobre sus superficies límite, es determinante en la calidad acústica final del mismo. Básicamente. Dicha reducción de energía, en orden de mayor a menor importancia, es debida a una absorción producida por:

- El público y las sillas.
- Los materiales absorbentes y/o los absorbentes selectivos (resonadores), expresamente colocados sobre determinadas zonas a modo de revestimientos del recinto.
- Todas aquellas superficies límite de la sala susceptibles de entrar en vibración (como, por ejemplo, puertas, ventanas y paredes separadoras ligeras).
- El aire

- Los materiales rígidos y no porosos utilizados en la construcción de las paredes y techo del recinto (como, por ejemplo, el hormigón).

(Jaramillo, 2007), establece que: “Cuando la onda sonora choca con un material poroso o fibroso, las paredes de los canales formados por sus celdas o fibras generan fricción en la onda y, de esta manera parte de la energía se transforma energía calórica, estos se llaman absorbentes simples” , (p.46).

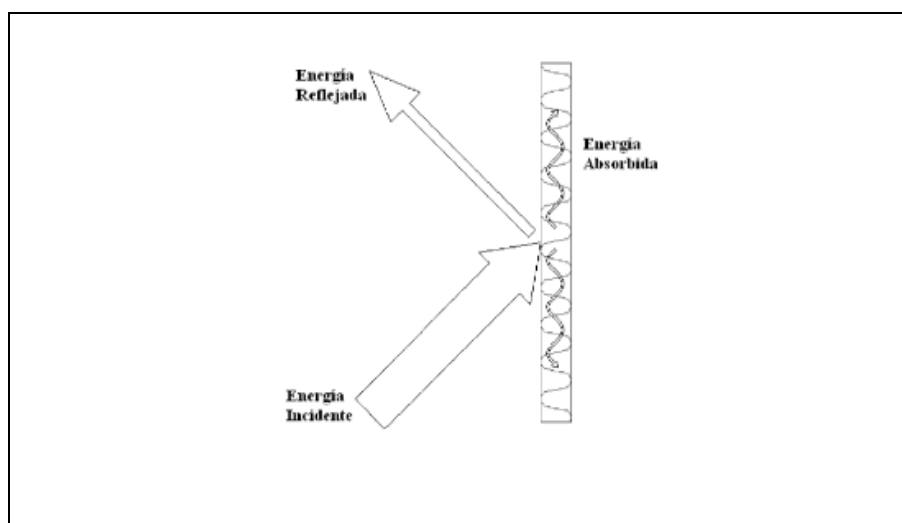


Ilustración 9. Absorción del sonido

Fuente: (Jaramillo, 2007)

En el diseño acústico de salas frecuentemente se enfrenta el problema de modificar las reflexiones que ocurren en las superficies límites de la sala. Por ejemplo, en fábricas es necesario que el ruido emitido por las maquinas al menos no se propague a sectores lejanos por medio de las reflexiones; en este caso se está interesado en lograr que las superficies involucradas sean lo más absorbentes posible. Por otra parte, en el caso de auditorios y salas de concierto se debe lograr suficiente intensidad del sonido en todos los sectores aprovechando las reflexiones, pero evitar al mismo tiempo un aumento excesivo de la reverberación, pues esto podría perjudicar la inteligibilidad

Estos objetivos del diseño se pueden lograr utilizando paredes y cielos absorbentes, con características de reflexión bien definidas que se ajusten al propósito correspondiente

Materiales Absorbentes

Los dispositivos absorbentes son aquellos susceptibles de producir una absorción del sonido alta. Según Colina y Moreno (2005), los materiales absorbentes se pueden clasificar en:

- Materiales porosos.
- Resonadores
- Acoplados
- Materiales mixtos: combinación de los anteriores, constituyen la mayor parte de los materiales comerciales.
- Materiales anecoicos: de variación gradual de las características por variación real o por configuración geométrica.

Los materiales porosos están constituidos por un esqueleto, que puede ser rígido o flexible, en cuyo seno existen cavidades, más o menos tortuosas, rellenas de aire. Los materiales porosos de esqueleto rígido proporcionan, en general, una absorción mayor que los de esqueleto flexible, por encima de una cierta frecuencia. Los de esqueleto flexible tienen picos de resonancia, y son susceptibles de proporcionar mayor absorción en baja frecuencia.

Materiales Reflectantes

Los reflectores acústicos se utilizan para conseguir que el sonido reflejado refuerce al directo. Están diseñados especialmente para producir reflexiones (en particular primeras reflexiones) dirigidas hacia las zonas que deben ser reforzadas, mejorándose de esta forma la eficiencia acústica del recinto. Así, es frecuente colocar reflectores acústicos (denominados también tornavoces), detrás del escenario para reforzar el sonido saliente hacia los espectadores.

“El uso de reflectores acústicos en los teatros es habitual ya desde la época desde los griegos abiertos al aire libre, en los que se utiliza la parte posterior del escenario, la *escena u orquesta* (el círculo de arena donde estaban los actores), y las propias gradas como reflectores acústicos. Esto permitió unas propiedades acústicas excepcionales incluso en grandes teatros”.

Materiales Difusores

Los difusores son un excelente complemento a los sistemas absorbentes, ya que disipan mucha menos energía y por tanto permiten atenuar ecos y ondas estacionarias manteniendo al mismo tiempo un recinto vivo. Frente a los reflectores tienen la ventaja de un reparto más uniforme del sonido, aunque cada uno tiene su uso”.

(Carrión, 1998), argumenta que: “La necesidad de disponer de una óptima difusión del sonido es exclusiva de las salas de conciertos, aunque existen determinados tipos de difusores que también son ampliamente utilizados en estudios de grabación” , (p.90).

La existencia de difusión del sonido en salas de conciertos significa que la energía de campo reverberante llegara a los oídos de los espectadores por igual desde todas las direcciones del espacio. Ello contribuirá a crear un sonido altamente envolvente y, por lo tanto, a aumentar el grado de impresión espacial existente. Cuanto mayor sea el grado de impresión espacial, mejor será la valoración subjetiva de la calidad acústica del recinto en cuestión.

En ocasiones, la difusión también es utilizada para eliminar alguna de las anomalías que pueden aparecer tanto en recintos destinados a la palabra como en salas de conciertos. Dichas anomalías pueden aparecer en forma de coloraciones, desplazamiento de la fuente sonora, ecos o focalizaciones del sonido.

Si bien cualquier superficie produce un cierto grado de difusión, la existencia de ornamentación, nichos irregularidades y relieves en las superficies de una sala provoca un notable incremento de la difusión.

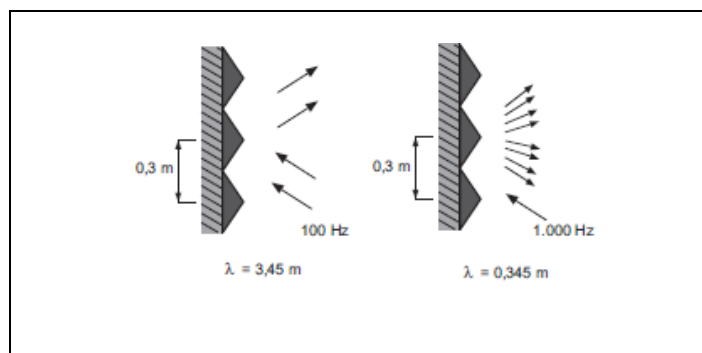


Ilustración 10. Ejemplo de difusión del sonido producida por un conjunto de pirámides colocadas sobre una pared rígida

Fuente: (Carrion, 1998)

Materiales Acústicos Sostenibles

Actualmente sabemos que la generación excesiva de ruido altera el equilibrio natural de la vida y el ambiente que nos rodea, esto resalta la importancia del tema del acondicionamiento y aislamiento acústico, pero lamentablemente con el aumento de la tecnología, muchos de los materiales utilizados en la actualidad, cumplen sus funciones acústicas, sin embargo, el impacto negativo que le genera al medio ambiente es motivo para buscar y desarrollar soluciones que contrarresten el rastro que deja la fabricación de los materiales actualmente existentes, los cuales se producen con recursos derivados de biocombustibles, extrayendo innecesariamente minerales del subsuelo y generando residuos químicos altamente contaminantes.

Por esto, hoy en día se vienen adelantando procesos para la fabricación y combinación de nuevos materiales que aporten un óptimo servicio en temas de acústica y sostenibilidad de forma conjunta.

Los materiales acústicos basados en elementos textiles se interponen con tendencia y peso cada día, materiales de origen vegetal como cáñamo, caña de azúcar, lino, corcho, lana de oveja,

neumáticos fuera de uso, celulosa, algodón, panel geotextil y desechos o fibras de madera, se enfocan en marcar un punto de partida para nuevas misiones acústicas.



Ilustración 11 Materiales Acústicos Sostenibles.

Fuente: (Arquitectura sostenible, s.f.)

Efectos Nocivos en las Personas

Según el ministerio de trabajo y asuntos sociales y el Centro Nacional de Condiciones de Trabajo de España, por medio de su NTP-641 (Nota Técnica de Prevención), (2003), afirma que: “Las FMA (fibras Minerales Artificiales) han demostrado que pueden producir efectos no cancerígenos como irritaciones en las vías respiratorias superiores, en los ojos y en la piel. Estas lesiones han sido descritas, sobre todo, en relación a la lana de vidrio. Puede tratarse de dermatitis irritativas mecánicas, pero también podrían ser causadas por fenómenos alérgicos los cuales tendrían relación con ciertos aditivos de las lanas (resinas, epoxy etc.)”.

Ventajas de los Materiales Sustentables

Como componente principal de los materiales sustentables hay que decir que son elementos completamente ecológicos y renovables, poseen una gran capacidad de aislamiento térmico

ósea, su conductividad térmica es muy baja, son duraderos, biodegradables y sustentables, su manufactura requiere un mínimo de energía y además contribuyen a la salud humana donde no contienen ni se procesan tóxicos, plásticos, ningún derivado del petróleo ni sustancias perjudiciales para la salud.

En Colombia la comercialización de materiales acústicos sustentables se mantiene en niveles muy bajos, es por esto por lo que surge la necesidad de implementar estos elementos biosaludables y eficientemente acústicos, por eso las nuevas legislaciones en Colombia y la creciente conciencia ambiental impulsan a industrial como Fiberglass Isover, a crear e innovar productos y procesos productivos más ecológicos, añadiendo a esto, (Alicia, Porras, Uniandes, 2016) sustenta que: “la gran diversidad de fibras naturales y residuos agroindustriales en Colombia y el interés por dar valor agregado a estos recursos mediante procesos de transformación que permitan el desarrollo de productos sostenibles, amigables con el medio ambiente y que contribuyan al fortalecimiento y competitividad del país”.

Materiales Sustentables Existentes

En el camino de contar con elementos amigables con el medio ambiente y no nocivos para las personas, se han encontrado diferentes elementos, combinaciones y procesos, con los cuales se pueden obtener un diseño acústico eficiente, saludable y sustentable para mejorar la calidez acústica de los recintos. Es por esto por lo que se han podido encontrar una gran cantidad de materiales que están comprometidos con esta labor en diferentes países y con diferentes procesos e investigaciones, a continuación, se mencionan los distintos elementos.

- **Fibra de Madera:** El cual se obtiene a partir de desechos generados por industrias madereras y aserraderos, es conocido por su capacidad de aislamiento térmico, inercia térmica, además de regular la humedad.

- Tetra Pack: El reciclaje del Tetrapak, actualmente pasa por un proceso de separación de materiales del cual se puede obtener materiales como, cartón, poli aluminio.



Ilustración 12 Poli aluminio pulverizado

Fuente: (Miranda, 2015)

- Neumáticos Fuera de Uso: Gran problemática ambiental a lo largo del tiempo, y que un poco porcentaje mundial de los neumáticos que se desechan son reciclados, por esto se acude a obtener el material llamado “Fluff” el cual es una mezcla de partículas elastómeras, fibras de acero y fibras de naturaleza textil con el objetivo de reutilizarlo como aislante acústico.



Ilustración 13 Neumáticos Fuera de Uso

Fuente: (Nadal, 2009)

- Lana Mineral de Vidrio: Material acústico para aislamientos termoacústicos biosoluble, con funciones de absorción o transmisión acústica, perfecto para control de ruido aéreo, vibraciones y ruidos de impacto.



Ilustración 14 Panel Lana Mineral de Vidrio

Fuente: (Isover, 2018)

- **Material de Fibras Recicladas (Polietileno y Papel Reciclado):** Los Materiales reciclados se están convirtiendo en una alternativa interesante, por su buen comportamiento acústico, similar al poroso tradicional, también permiten costos de producción bajos gracias al residuo de otros ciclos de producción.
- **Eliminadores de Eco (Paneles de Algodón):** Material acústico de alto rendimiento fabricado con algodón reciclado, son de fácil instalación, peso ligero, bajo costo y alto desempeño en absorción acústica.

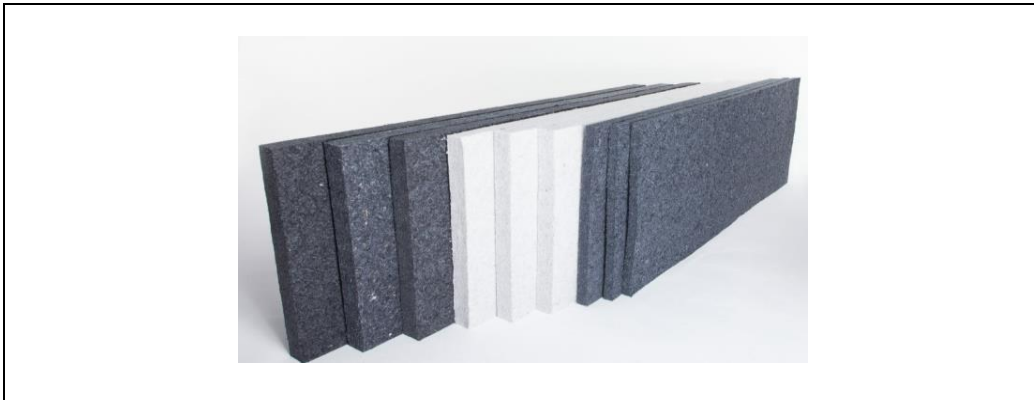


Ilustración 15 Paneles de Algodón.

Fuente: (Acoustical Sourfaces, 2020)

- **Material a partir de Botellas de Plástico:** En el ámbito acústico es de uso común materiales fibrosos como materiales absorbentes acústicos, como la lana de poliéster, cuya fabricación proviene del petróleo y es por esto por lo que este material presenta una lana de poliéster alternativa, obtenida mediante procesos y tratamientos del PET.

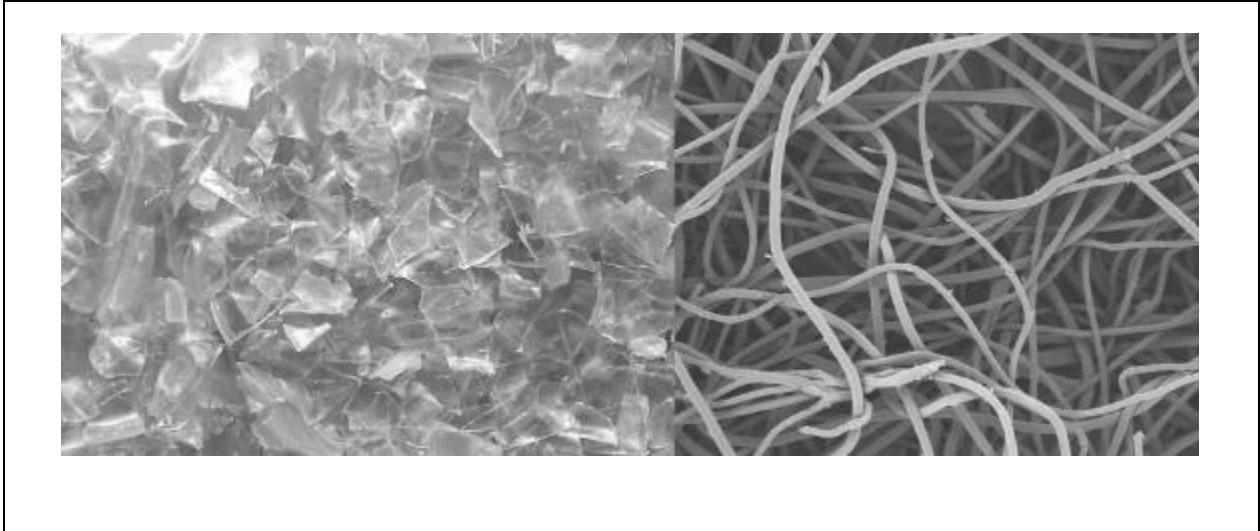


Ilustración 16 Transformación del PET

Fuente: (del Rey, 2010)

- Corcho: Este material es completamente natural el cual, una vez terminado su uso y vida útil, el producto vuelve a ser totalmente reciclable, es un buen aislante acústico, además es impermeable y no se pudre con el agua.



Ilustración 17 Paneles Corcho reciclado.

Fuente: (Arquitectura sostenible, s.f.)

- Celulosa: Es un material compuesto de papel reciclado y tratado, con buenas propiedades de aislamiento acústico, puede competir con materiales como lana de vidrio o lana de roca, debido a su alta porosidad lo sitúa entre los mejores materiales de absorción y aislamiento acústico.



Ilustración 18 Panel de Celulosa.

Fuente: (Arquitectura sostenible, s.f.)

Marco Normativo

Normas De Ruido

Para el desarrollo de este proyecto por medio de las mediciones requeridas para el mismo, se deben seguir diferentes pasos para obtener los resultados óptimos y con estos mismos, de manera precisa y efectiva plantear un proceso de solución adecuada para el recinto en estudio. En este orden de ideas encontramos las normas ISO, las cuales son establecidas por el Organismo Internacional de Estandarización. Las cuales componen todo un sistema de herramientas, guías, recomendaciones, aplicables a gestiones específicas.

Como en toda organización se establece una jerarquía que se extiende de lo global a lo local, por lo tanto, es concerniente ajustar al proyecto el soporte metodológico de las normas técnicas colombianas (NTC), así mismo, recomendaciones expedidas por las entidades gubernamentales en cada uno de los sectores a los que se les exige el cumplimiento y verificación de las normas.

A continuación, se describe las normas implementadas en el proyecto aplicadas a la sala de música de la Universidad de Ciencias Aplicadas U.D.C.A.

Normas Internacionales

Norma ISO 3382 -2

Acústica- Medición de los tiempos de reverberación de recinto con referencia a otros parámetros acústicos.

-Contador y Campos, Ingenieros: Acústica, Control de ruido y vibraciones.

Esta norma contempla el alcance en una medición de tiempo de reverberación la cual se encarga de guiar todo el proceso y describir detalladamente el equipo requerido, la cobertura a trabajar, el método para evaluar los datos y el formato en el cual se presentan los resultados. Así

mismo, se encuentra orientado a la aplicación de técnicas de medición digital, la obtención de los parámetros acústicos los cuales derivan de la respuesta al impulso.

De esta manera y por medio de este proyecto se quiere fomentar las prácticas de medición digital, ya que, en esta aplicación se utiliza como elemento de medición y monitoreo un software especializado que no contempla la norma ISO 3382, es por esto que se quiere dejar como constancia en este estudio el cual abarque más datos concretos y así, se logre la obtención de resultados más específicos y óptimos. Cabe destacar que el software provee el aval de esta misma norma para el cálculo de los tiempos de reverberación.

De lo anterior se puede resaltar por medio de los anexos presentados diferentes visualizaciones de las mediciones, las cuales nos llevan a verificar visualmente el comportamiento del sonido a través del micrófono de medición. Por ejemplo:

Anexo A: “*RT60 Graph*”: Los valores del tiempo de reverberación RT60 en cada frecuencia central de una octava o un tercio de octava se muestran en este gráfico, con trazas separadas para el tiempo de disminución temprana (EDT), el tiempo central (TS) y los tiempos de disminución de 60dB T20, T30 y Topt de REW. Consulte a continuación las descripciones de cada uno de esos parámetros y los parámetros relacionados de claridad, definición y tiempo central.

ISO 3382 acoustical parameters				
Tabella 15.2 Definizione dei descrittori acustici oggettivi utilizzati nelle comparazioni				
Descrittori acustici oggettivi	Simboli, unità	Definizione o espressione matematica	Proposto da	Attributi soggettivi in letteratura
Tempo di riverberazione	RT_{50} (s)	Pendenza della linea best fit del decadimento del livello sonoro tra -5 e -25 dB o a -30 dB, estrapolato a -60 dB	Sabine 1923	Riverberazione - Vivezza
Early Decay Time	EDT (s)	Pendenza della linea di best fit del decadimento del livello sonoro da 0 a -10 dB, estrapolato a -06 dB.	Jordan 1975	Riverberazione - Vivezza
Chiarezza	$C80$ (dB)	$C80 = 10 \log \frac{\int_0^{80ms} p^2(t) dt}{\int_{80ms}^{\infty} p^2(t) dt}$	Reichardt 1975	Chiarezza musicale
Definizione	$D-50$ (%)	$D = \frac{\int_0^{50ms} p^2(t) dt}{\int_0^{\infty} p^2(t) dt}$	Thiele 1953	Speech intelligibility & sound definition
Rapporto segnale/rumore	S/N (dB)	$S/N = 10 \log \frac{\int_0^{50ms} n(t) p^2(t) dt}{\int_{50ms}^{\infty} p^2(t) dt}$	Lochner e Burger 1964	Speech intelligibility
Rapid Speech Transmission Index	$RASTI$ (ratio)	$RASTI = [S/N]_{media} + 15/30$	Steeneken e Houtgast 1980	Speech intelligibility

16 November 2012 Acoustical Parameters (ISO 3382) 2

Tabla 2. Parámetros Acústicos ISO 3382-2

Fuente: (Inteco, 2018)

Normas Nacionales

Resolución 0627 De 2006

Esta resolución del ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial, la cual “establece la norma nacional de emisión de ruido y ruido ambiental”, a lo largo y ancho del territorio nacional. Por medio de esta resolución, se constituyen los diferentes parámetros para cumplir las normas ambientales mínimas y las regulaciones aplicables a todas las actividades que puedan producir de manera directa o indirecta daños ambientales.

Esta resolución contempla las aplicaciones para las mediciones de ruido como: unidades de medida, parámetros de medida, tiempos de medición, niveles de presión sonora, cálculos, estándares máximos permisibles expresados en decibeles y horarios, como se muestra a continuación:

Sector	Subsector	Estándares máximos permisibles de niveles de emisión de ruido en dB(A)	
		Día	Noche
Sector A. Tranquilidad y Silencio	Hospitales bibliotecas, guarderías, sanatorios, hogares geriátricos.	55	50
Sector B. Tranquilidad y Ruido Moderado	Zonas residenciales o exclusivamente destinadas para desarrollo habitacional, hotelería y hospedajes.	65	55
	Universidades, colegios, escuelas, centros de estudio e investigación. Parques en zonas urbanas diferentes a los parques mecánicos al aire libre.		
Sector C. Ruido Intermedio Restringido	Zonas con usos permitidos industriales, como industrias en general, zonas portuarias, parques industriales, zonas francas.	75	75
	Zonas con usos permitidos comerciales, como centros comerciales, almacenes, locales o instalaciones de tipo comercial, talleres de mecánica automotriz e industrial, centros deportivos y recreativos, gimnasios, restaurantes, bares, tabernas, discotecas, bingos, casinos.	70	60
	Zonas con usos permitidos de oficinas.	65	55
	Zonas con usos institucionales.		
	Zonas con otros usos relacionados, como parques mecánicos al aire libre, áreas destinadas a espectáculos públicos al aire libre.	80	75
Sector D. Zona Suburbana o Rural de Tranquilidad y Ruido Moderado	Residencial suburbana.	55	50
	Rural habitada destinada a explotación agropecuaria.		
	Zonas de Recreación y descanso, como parques naturales y reservas naturales.		

Tabla 3. Estándares máximos permisibles Res. 0627 de 2006

Fuente: (Ministerio de Ambiente, 2006)

Criterios Acústicos Para Recintos

El hecho que exista confort acústico representa que el campo sonoro en el cual se desarrollan distintas actividades no generara ningún tipo de incomodidad significativa a las personas, intérpretes y espectadores presentes en el recinto.

Es por lo anterior que, se determinan los “objetivos y/o parámetros acústicos” básico a cumplir para que dichos espacios cumplan con los requerimientos según su actividad.

Estos parámetros consideran cumplir con lo siguiente:

- Garantizar la existencia de confort acústico
- Asegurar una correcta inteligibilidad de la palabra.
- Comprobar que el ruido de fondo en el recinto sea suficientemente bajo.

- Eliminar la existencia de ecos, ni focalizaciones de sonido ni eco flotante.
- Corroborar que el nivel de campo de reverberante sea igualmente, suficientemente bajo.

Calidez Acústica (BR)

Este parámetro representa la riqueza en bajas frecuencias de un recinto, lo cual da un indicativo subjetivo de “calidez” y suavidad de la música escuchada en el mismo.

(Carrión), “El RT está relacionado no solo con la viveza acústica de una sala, sino también con la calidez y brillo de esta. Se dice que una sala tiene calidez acústica (o timbre, según Wilkens) si presenta una buena respuesta a frecuencias bajas. La palabra calidez representa, pues, la riqueza de graves, la suavidad y la melosidad de la música de la sala.

Como medida objetiva de la calidez se suele utilizar el parámetro BR (Bass Ratio).

Para salas con valores RT_{mid} comprendidos entre 1,8 y 2,2s, el valor máximo recomendado de BR se halla por interpolación.

TIPO DE MÚSICA	RT_{mid} (s)
Música sinfónica	1,8 – 2,0
Música barroca y clásica	1,6 – 1,8
Música de cámara	1,3 – 1,7
Ópera	1,2 – 1,5

Tabla 4. RT_{mid} Recomendado para distintos tipos de salas.

Fuente: (Carrion, 1998)

Por otra parte, Según plantea Carrión, “el termino brillante se ha elegido como indicativo de que el sonido en la sala es claro y rico en armónicos”, cabe destacar que los armónicos son múltiplos de una misma frecuencia a lo largo del espectro sonoro, esto hace que el sonido suene un poco más “definido” y agradable al oído.

Según Beranek, el margen de valores recomendados de BR para una sala de conciertos destinada a música sinfónica y totalmente ocupada es:

$$1,10 \leq BR \leq 1,25 \text{ (si } RT_{\text{mid}} = 2,2 \text{ s)}$$

$$1,10 \leq BR \leq 1,45 \text{ (si } RT_{\text{mid}} = 1,8 \text{ s)}$$

Tabla 5. BR Recomendado según RT_{mid}

Fuente: (Carrion, 1998)

La calidez acústica (BR), se define como: la relación entre la suma de los tiempos de reverberación RT a frecuencias bajas (125Hz y 250Hz) y la suma de los RT correspondientes a frecuencias medias (500 Hz y 1Khz).

$$BR = \frac{RT(125 \text{ Hz}) + RT(250 \text{ Hz})}{RT(500 \text{ Hz}) + RT(1 \text{ kHz})}$$

Ecuación 2. Calidez acústica ("Bass Ratio")

Fuente: (Carrion, 1998)

Brillo (Br)

El brillo es el parámetro encargado de determinar la relación entre frecuencias medias (500Hz – 1kHz) y altas (2kHz - 4kHz), esto quiere decir que: un equilibrio en este rango de frecuencias conduce a un sonido claro y brillante, sin embargo, un brillo excesivo del recinto puede originar sonido artificial molesto.

“El brillo Br de una sala es la relación entre la suma de los tiempos de reverberación RT a frecuencias altas (2kHz y 4kHz) y la suma de los RT correspondientes a frecuencias medias (500 Hz y 1kHz)”, por lo anteriormente mencionado, Beranek recomienda que: “el valor de Br para salas totalmente ocupadas verifique: $Br \geq 0,87$ ”

$$Br = \frac{RT (125 \text{ Hz}) + RT (4 \text{ kHz})}{RT (500 \text{ Hz}) + RT (1 \text{ kHz})}$$

Ecuación 3. Brillo

Fuente: (Carrion, 1998)

Curvas NC

Parámetro que por sus siglas en inglés “*Noise Criteria*”, (criterio para la evaluación de ruido), el cual estima el nivel de aislamiento acústico en base a un determinado ruido de fondo y la actividad del recinto, este parámetro es muy comúnmente utilizado en proyectos de acústica arquitectónica para poder controlar el ruido y este no perturbe la comunicación en una sala.

(Carrión) “Se considera ruido de fondo todo aquel ruido que se percibe en una sala cuando la misma no se realiza ninguna actividad. Dicho ruido puede ser debido al sistema de climatización, a las demás instalaciones eléctricas y/o hidráulicas, e incluso puede provenir del exterior del recinto (por ejemplo, el ruido de tráfico).”

“La evaluación objetiva del grado de molestia que un determinado ruido ambiental provoca en un oyente se realiza por comparación de los niveles de ruido existentes en un recinto, en cada banda de octava comprendida entre 63Hz y 8Khz, con un conjunto de curvas de referencia denominadas NC (*Noise Criteria*)”

“Las curvas NC son, además, utilizadas de forma generalizada para establecer los niveles de ruido máximos recomendables para diferentes tipos de recintos en función de su aplicación (oficinas, salas de conferencias, teatros, salas de conciertos, etc.). Se dice que un recinto cumple una determinada especificación NC (por ejemplo: NC-20) cuando los niveles de ruido de fondo, medidos en cada una de dichas bandas de octava, están por debajo de la curva correspondiente”.

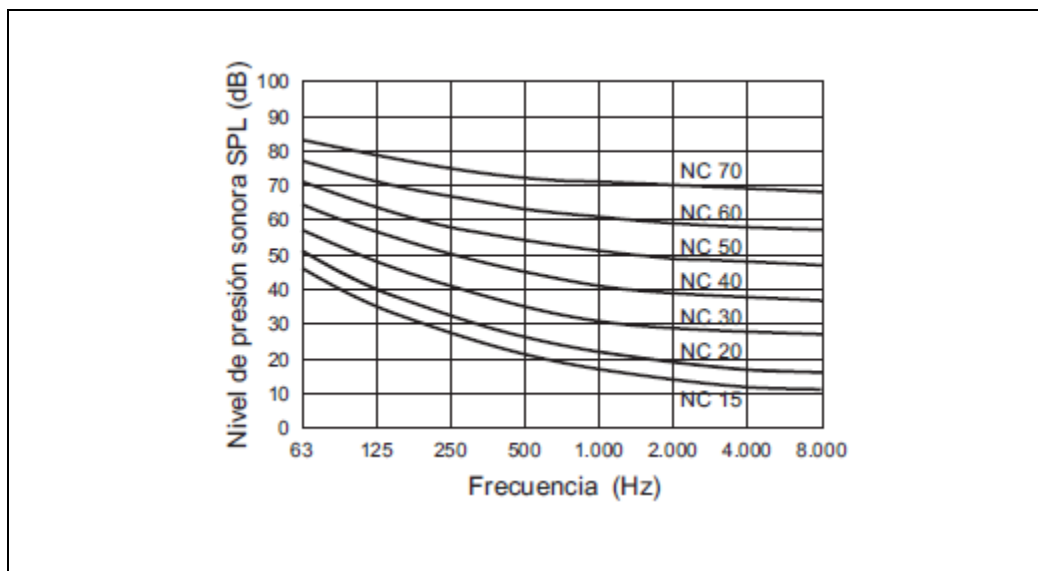


Ilustración 19. Curvas NC

Fuente: (Carrion, 1998)

“Según se puede observar, las curvas NC siguen de forma aproximada la evolución de la sensibilidad del oído en función de la frecuencia. Ello significa que, para una determinada curva NC, los niveles SPL máximos permitidos a bajas frecuencias (sonidos graves) son siempre más elevados que los correspondientes a frecuencias altas (sonidos agudos), ya que el oído es menos sensible a medida que la frecuencia considerada es menor”.

TIPOS DE RECINTOS	CURVA NC RECOMENDADA	EQUIVALENCIA EN dBA
Estudios de grabación	15	28
Salas de conciertos y teatros	15-25	28-38
Hoteles (habitaciones individuales)	20-30	33-42
Salas de conferencias / Aulas	20-30	33-42
Despachos de oficinas / Bibliotecas	30-35	42-46
Hoteles (vestibulos y pasillos)	35-40	46-50
Restaurantes	35-40	46-50
Salas de ordenadores	35-45	46-55
Cafeterías	40-45	50-55
Polideportivos	40-50	50-60
Talleres (maquinaria ligera)	45-55	55-65
Talleres (maquinaria pesada)	50-65	60-75

Tabla 6. Curvas NC Recomendadas y niveles de ruido de fondo equivalente en (dBA).

Fuente: (Carrion, 1998)

Claridad De La Voz C_{50}

Este parámetro indica el cómo las reflexiones tempranas pueden incorporarse al sonido directo dentro de los primeros 50 milisegundos de escucha del oyente donde tienen un efecto positivo en la claridad del habla, en cambio las reflexiones que llegan después de estos 50 milisegundos pueden percibirse como algo molesto y en dado caso no transmitir el mensaje de manera óptima.

La claridad de la voz se precisa como una relación en la cual la energía sonora que es percibida por el oyente durante los primeros 50 milisegundos desde la llegada del sonido directo (donde se incluyen las primeras reflexiones) y la que llega después de los primeros 50 milisegundos. Este parámetro manifiesta sus indicadores en cada banda de frecuencias entre 125Hz y 4kHz.

Según L.G. Marshall, “El valor representativo de C_{50} se calcula como media aritmética ponderada de los valores correspondientes a las bandas 500Hz, 1kHz, 2kHz y 4 kHz y recibe el nombre de “*speech average*”, donde los factores son 15%, 25%, 35% y 2% respectivamente.”

$$\text{Donde } C_{50} = \frac{\text{Energía hasta 50ms}}{\text{Energía a partir de 50ms}} = (\text{en dB})$$

Ecuación 4. Claridad de la voz C_{50}

Fuente: (Carrion, 1998)

El valor recomendado de C_{50} correspondiente a cada punto de una sala ocupada debe verificar (> 2dB), cuanto más elevado sea dicho valor, mejor será la inteligibilidad de la palabra.

Claridad Musical C_{80}

Parámetro que se encuentra fielmente relacionado con el tiempo de reverberación, este indica el grado de separación entre los sonidos individuales integrantes de una composición musical, se

encuentra correlacionado con la percepción subjetiva de la calidad de la música. Un valor alto de claridad musical significa que la energía sonora dentro de los primeros 80 milisegundos se producirán muchas reflexiones que provienen de paredes o techo cerca al oyente.

La claridad musical señala el grado de separación entre los sonidos individuales integrantes de una composición musical. Según Cremer: “el C_{80} , se define como la relación entre la energía sonora que llega al oyente durante los primeros 80 milisegundos desde la llegada del sonido directo y la que le llega después de los primeros 80 milisegundos”, así mismo, se calcula en cada una de las bandas de frecuencias entre 125Hz y kHz.

$$\text{Donde } C_{80} = \frac{\text{Energía hasta 80ms}}{\text{Energía a partir de 80ms}} = (\text{en dB})$$

Ecuación 5. Claridad musical C_{80}

Fuente: (Carrion, 1998)

Cuando se trata de música, las reflexiones llegan al espectador dentro de dicho intervalo son integradas por el oído humano junto con el sonido directo y, por tanto, contribuyen a aumentar la claridad musical.

L.G Marshall, propone que, para salas ocupadas, el valor de C_{80} permanezca en el rango de $-2 \leq C_{80}(3) \leq +2dB$.

Early Decay Time

Este parámetro se encuentra altamente relacionado con el tiempo de reverberación, salvo que, este mide la reverberación percibida (subjetiva), mientras que el tiempo de reverberación es más (objetivo). Es por esto por lo que para decretar el grado de viveza de un recinto se considera más fidedigno guiarse por el valor EDT.

(Carrión), “El EDT se define como seis veces el tiempo que transcurre desde que el foco emisor deja de radiar hasta que el nivel de presión sonora cae 10 dB”

“Al igual que en el caso del RT, el EDT varía en función de la frecuencia”

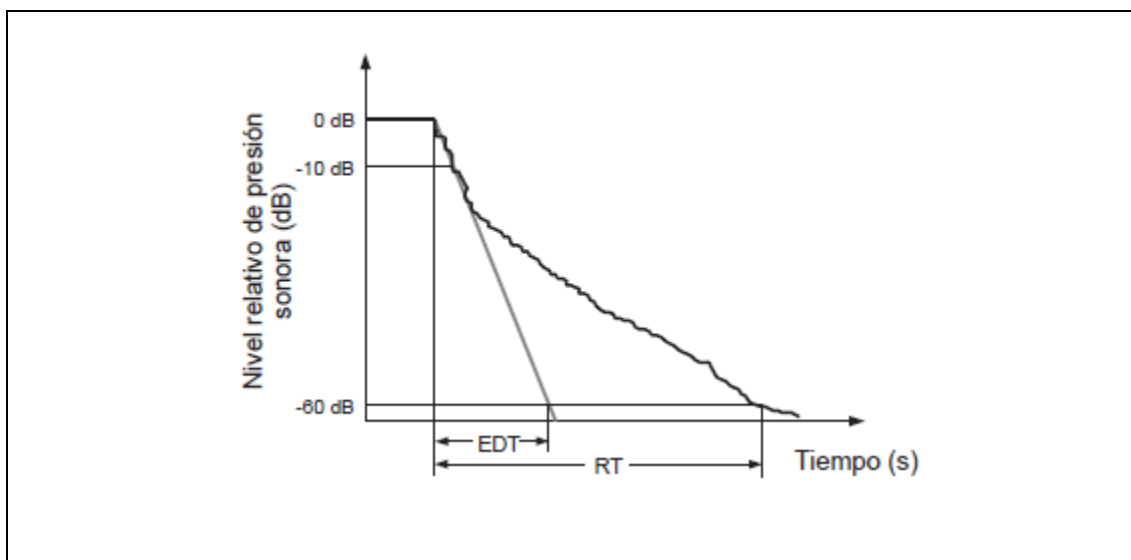


Ilustración 20. Relación entre EDT y RT.

Fuente: (Carrion, 1998)

“La rapidez en la atenuación del sonido depende del grado de absorción de las superficies del recinto: a mayor absorción, atenuación más rápida. El grado de permanencia del sonido una vez que la fuente se ha desconectado se denomina reverberación de una sala es mayor cuanto más tarda el sonido en atenuarse, es decir, cuanto menos absorbente es el recinto”.

También es preciso establecer que, según Carrión, “con objeto de garantizar una buena difusión del sonido en una sala ocupada, es preciso que el valor medio de los EDT correspondientes a las bandas de 500hz y 1kHz sea del mismo orden que RT_{mid}:

$$EDT_{mid} \approx RT_{mid}$$

Ecuación 6. Early Decay Time

Fuente: (Carrion, 1998)

Perdida De Articulación De Consonantes (%ALCons)

La percepción de un mensaje oral depende fundamentalmente de la correcta percepción de sus vocales y consonantes. la comunicación entre fuente y receptor puede fallar por una mala pronunciación del emisor, escaso entendimiento del idioma o problemas auditivos del oyente, sin

embargo, en la mayoría de los casos se debe a las deficientes características acústicas de un recinto ya sea por un tiempo de reverberación muy largo o mucho ruido de fondo.

Es aquí donde la inteligibilidad de la palabra provee soluciones en pro de mejorar la relación señal/ruido, para que el mensaje puede entenderse con claridad.

“Las palabras habladas no están separadas como en un texto. El oyente recibe un sonido continuo compuesto por una secuencia de fonemas, en los cuales se reconocen vocales y consonantes. Las últimas son sonidos impulsivos, de corta duración y energía distribuida principalmente en alta frecuencia; mientras que las primeras tienen mayor duración, menos ataque y energía en menor frecuencia”.

Así mismo, Carrión relaciona que “Peutz dedujo que el valor de %ALCons en un punto dado se podía determinar, simplemente, a partir del conocimiento del tiempo de reverberación RT y la diferencia entre los niveles de presión sonora de campo directo L_D y de campo reverberante L_R en dicho punto”.

Carrión añade que: “La comprensión de un mensaje oral depende fundamentalmente de la correcta percepción de sus consonantes”.

Para este parámetro tenemos la siguiente fórmula:

$$\%ALCons = \frac{200r^2RT^2}{vQ} = (\text{para: } r \leq 3,16D_c)$$

$$\%ALCons = 9RT \quad (\text{para } r > 3,16 D_c)$$

Ecuación 7. Pérdida de articulación de consonantes

Fuente: (Carrion, 1998)

Donde:

r =Distancia entre el emisor (orador) y el receptor (en m)

RT =Tiempo de reverberación de la sala (en s)

V =Volumen de la sala (en m^3)

D_c =Distancia critica = $0,14 \sqrt{QR}$

Q =Factor de directividad de la fuente sonora en la dirección considerada ($Q=2$ en el caso de la voz humana, considerando la dirección frontal del orador).

$R = \frac{S_{tot}\bar{\alpha}}{1-\bar{\alpha}}$ = constante de la sala (en m^2)

S_{tot} =Superficie total de la sala (en m^2)

$\bar{\alpha}$ = Coeficiente medio de absorción de la sala.

Habitualmente, el %ALCons se calcula de la banda de 2kHz, por tratarse de la banda de máxima contribución a la inteligibilidad de la palabra.

%ALCONS	VALORACION SUBJETIVA
1,4% - 0%	Excelente
4,8% - 1.6%	Buena
11,4% - 5.3%	Aceptable
24.2% - 12%	Pobre
46,5% - 27%	Mala

Tabla 7. Valoración Subjetiva de la perdida de (%ALCons)

Fuente: (Carrion, 1998)

Tiempo De Reverberación

Se considera al tiempo de reverberación como el parámetro principal en un estudio de acondicionamiento acústico, mediante el cual se puede determinar la disminución en la intensidad del sonido en caer 60 decibeles, por lo que se puede decir que este parámetro mide la velocidad con la que un sonido desaparece en un recinto.

(Carrión), “Uno de los requisitos básicos para conseguir un buen confort acústico y una correcta inteligibilidad de la palabra es que el nivel de campo reverberante $L_r(r)$, sea suficientemente bajo. La zona de campo reverberante es aquella donde predomina el sonido reflejado y reverberante, y a ella pertenecen todos los puntos situados a una distancia de la fuente sonora superior a la distancia crítica D_C .

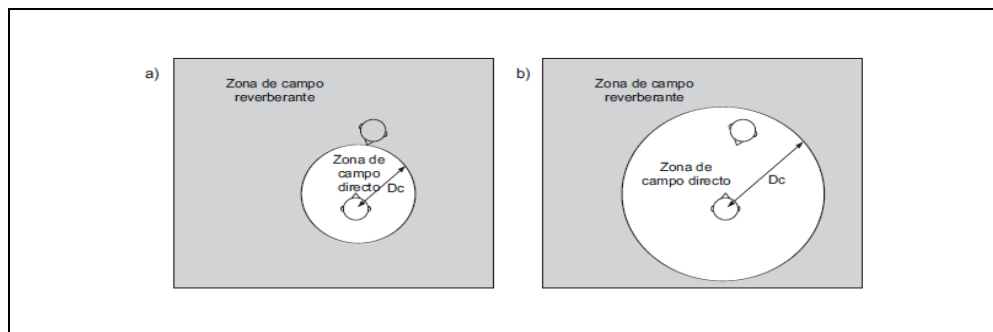


Ilustración 21. Campo Reverberante

Fuente: (Carrion, 1998)

Si el espacio objeto de estudio tiene un gran volumen y/o esta escasa o nulamente tratado con materiales absorbentes (espacios excesivamente “vivo”), el nivel de campo reverberante resultará muy alto, ya que el tiempo de reverberación del mismo será demasiado elevado. Ello significa que la distancia crítica D_C será pequeña. Por lo tanto, a poco que uno se aleje de la fuente sonora, se hallara dentro de la zona de campo reverberante donde la inteligibilidad de la palabra no es buena.

Según Carrión, se establece que: “en general, el valor más adecuado de RT_{mid} depende tanto del volumen del recinto como de la actividad a la que se haya previsto destinarlo”. Por lo anteriormente mencionado en la siguiente tabla, se presentan valores de RT_{mid} recomendados para diferentes tipos de recintos.

TIPO DE SALA	RT_{mid} , SALA OCUPADA (EN S)
Sala de conferencias	0,7 – 1,0
Cine	1,0 – 1,2
Sala polivalente	1,2 – 1,5
Teatro de ópera	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 (órgano y canto coral)	2,0 – 3,0
Locutorio de radio	0,2 – 0,4

Tabla 8. RT_{mid} recomendado para salas ocupadas

Fuente: (Carrion, 1998)

Con objeto de conseguir que en cada espacio considerado exista un nivel de campo reverberante suficientemente bajo, es necesario que el valor promediado del tiempo de reverberación RT_{mid} , dicho valor se define así:

$$RT_{mid} = \frac{RT(500Hz) + (RT(1kHz))}{2}$$

Ecuación 8. RT_{mid}

Fuente: (Carrion, 1998)

Para el cálculo del tiempo de reverberación, en general, “la formula clásica por excelencia y aceptada como de referencia a nivel internacional por su sencillez de cálculo, es la denominada formula de Sabine”, la formula anteriormente mencionada contempla todos los elementos para poder construir un diagnostico acústico, como se presenta a continuación:

$$RT = \frac{0,161V}{A_{tot} + 4mV} = (\text{en segundos})$$

Ecuación 9. Tiempo de reverberación

Fuente: (Carrion, 1998)

Donde:

V =Volumen del recinto (en m^3)

A_{tot} =Absorción total del recinto (en Sabines)

$\bar{\alpha} = \frac{\sum_i \alpha_i S_i}{S_{tot}}$ = coeficiente medio de absorción del recinto

m =constante de atenuación del sonido en el aire (en m^{-1})

El grado de absorción del sonido de un material cualquiera se representa mediante el llamado coeficiente de absorción α . Así:

$$\alpha = \frac{\text{Energía absorbida}}{\text{Energía incidente}}$$

Ecuación 10. Coeficiente de absorción

Fuente: (Carrion, 1998)

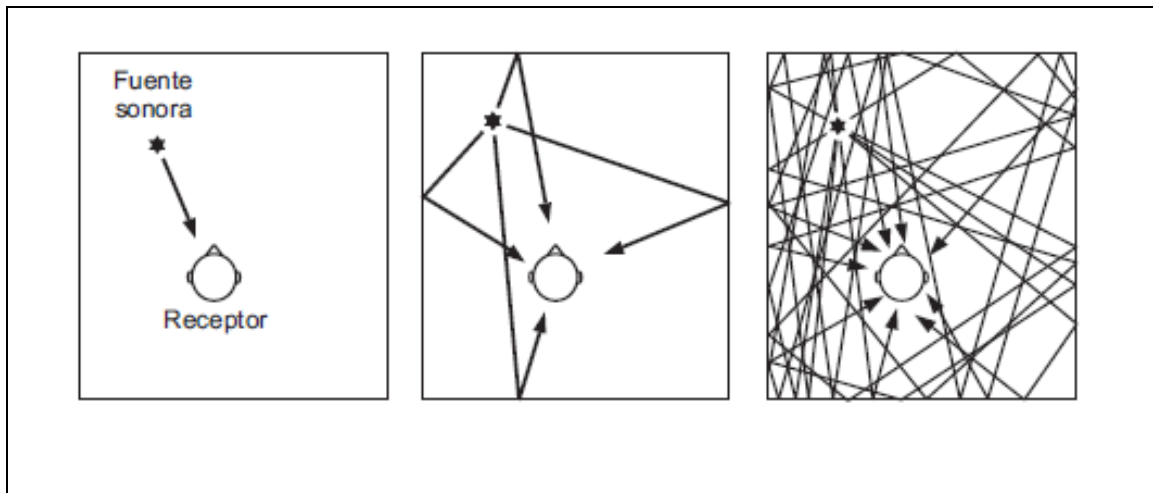


Ilustración 22. Reflexiones dentro de una sala.

Fuente: (Carrion, 1998)

Metodología y desarrollo

El desarrollo de este proyecto se basó en el modelo de investigación: descriptiva – experimental, donde se estableció la detección de un fenómeno problema, la cual constituyó sus causas y efectos para poder ofrecer una solución a las problemáticas encontradas, en su amplia gama de variables medibles de fenómenos acústicos de los recintos cerrados tales como: Tiempo de reverberación, ruido de fondo, inteligibilidad de la palabra, claridad musical, entre otros, cada uno de estos parámetros dependen de su aplicación.

A continuación, se describe la metodología usada en el desarrollo del proyecto:

Planificación

Como paso principal para el desarrollo del proyecto de investigación, se tuvo en cuenta aspectos tales como: descripción detallada del lugar, información considerable de recinto, geometría, materiales, medidas, nivel de ocupación. Así mismo, fue necesario tener las herramientas de medición como metro, escalera, decámetro y cámara fotográfica.

Se contextualizó el espacio por medio de ubicación, planos, fotografías, y notas características para realizar un plan de trabajo el cual facilite el flujo de trabajo, la obtención de los datos y verificar requisitos y circunstancias como permisos y horarios, calibración de equipos de medición, para desarrollar en óptimas condiciones las muestras y sin contratiempos.

Es de suma importancia tener claro los pasos a seguir para desplegar el plan de acción, ya que la calidad y precisión de los datos obtenidos se utilizarán a lo largo del proyecto, donde en muchas ocasiones es casi imposible volver a realizar mediciones de algún tipo.

Análisis De Las Condiciones Existentes

Descripción Del Área De Estudio

La sala de música objeto de del presente proyecto se encuentra en la ciudad de Bogotá, Colombia. Esta sala se ubica dentro de las propias instalaciones de la universidad, alrededor de aulas de clase, laboratorios y demás espacios de esparcimiento universitario. La ubicación se encuentra en la imagen que se muestra a continuación:

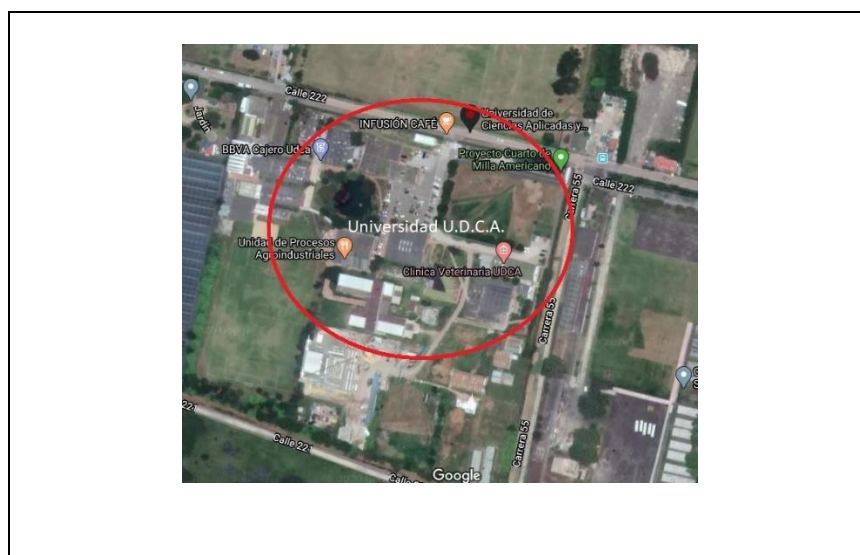


Ilustración 23. Mapa de ubicación de la Universidad U.D.C.A

Fuente: (Google, 2019)

La sala de música de la universidad se encuentra en dentro de uno de los bloques que conforman la institución educativa nombrados cada uno por una letra, para este caso este bloque se denomina el bloque “H”, el cual en un principio se componían de laboratorios de química, física, agronomía y demás ciencias agropecuarias.



Ilustración 24. Imagen frontal del bloque H donde se ubica la sala de música.

Fuente: (Autor, 2020)

Este recinto ha sufrido cambios importantes a lo largo del tiempo en cuanto a la ubicación, remodelación y uso de los bloques de la universidad, siendo así, que los laboratorios fueron reubicados para otros bloques dejando estos espacios designados para distintos propósitos como comedor, sala de ocio, juegos de mesa, salón de danzas, salón de arte y por último el salón de música.

La sala de música es el espacio designado para que los estudiantes además de las clases de cada uno de los programas tengan las posibilidades de entretenimiento que necesitan, por lo cual esta sala se encuentra abierta y disponible desde las 8:00am hasta las 5:00pm.

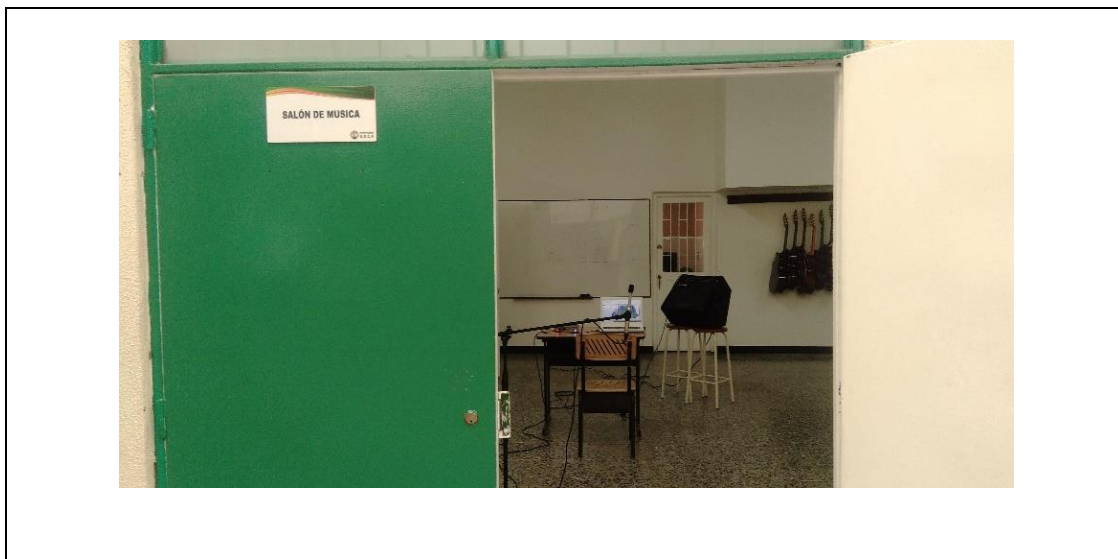


Ilustración 25. Imagen hacia el interior de la sala de música.

Fuente: (Autor, 2020)

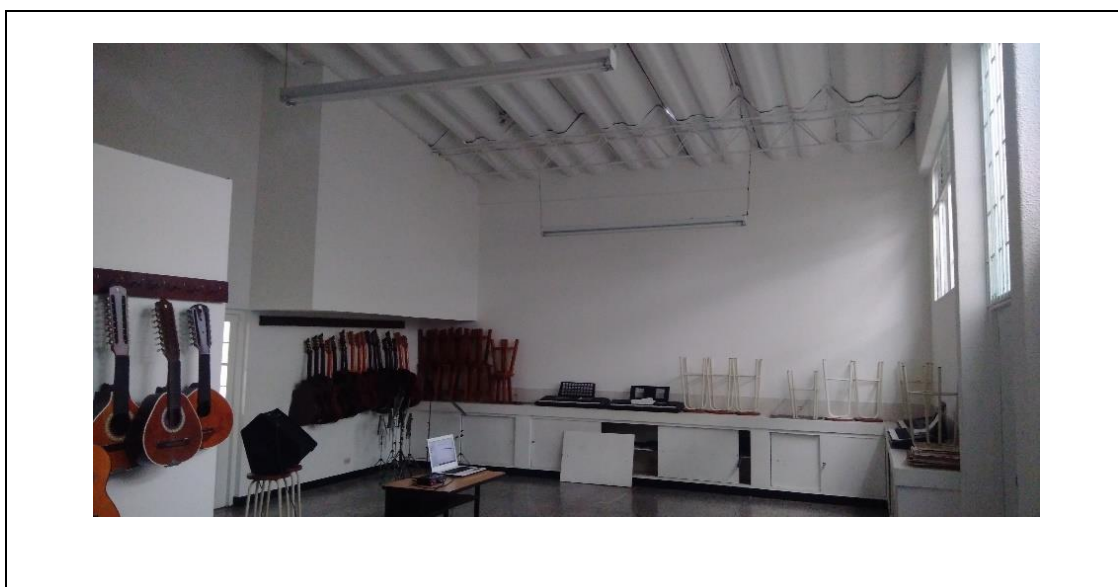


Ilustración 26. Imagen del interior de la sala donde se aprecian los materiales existentes

Fuente: (Autor, 2020)

Para continuar con desarrollo el proyecto se llegó a conocer el recinto, observar detenidamente cuales son cada uno de los elementos, materiales que lo conforman, definir su geometría y de esta manera proceder a tomar las medidas y conforme a la norma ISO 3382 concretar los puntos de medida en un plano para la sala.

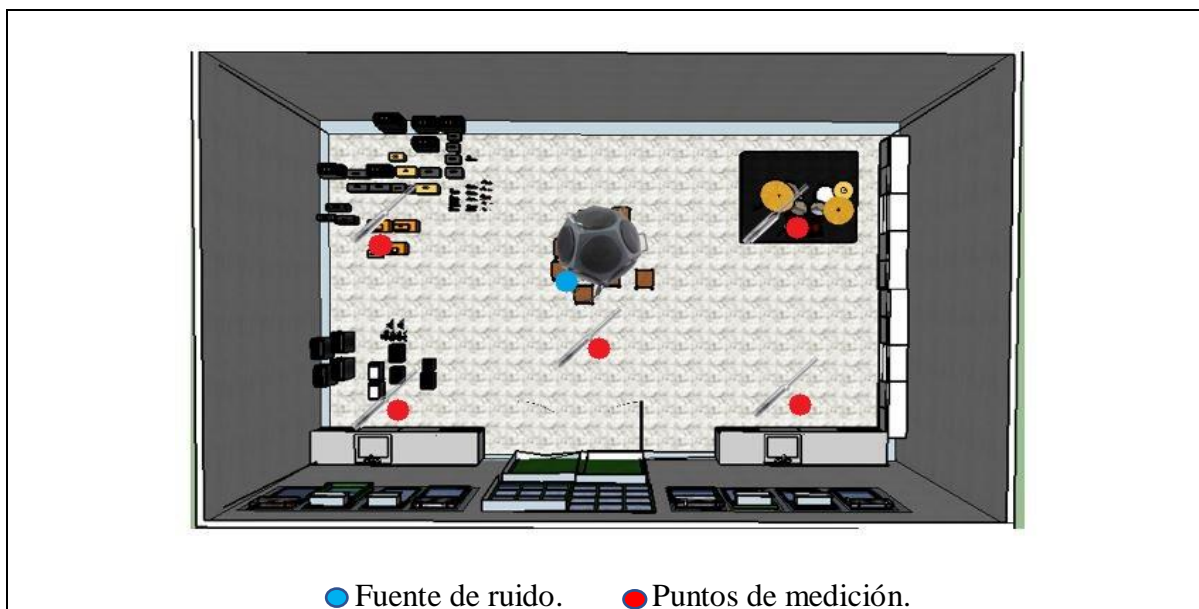


Ilustración 27. Plano de ubicación de la fuente de ruido y la ubicación de los micrófonos

Fuente: (Autor, 2020)

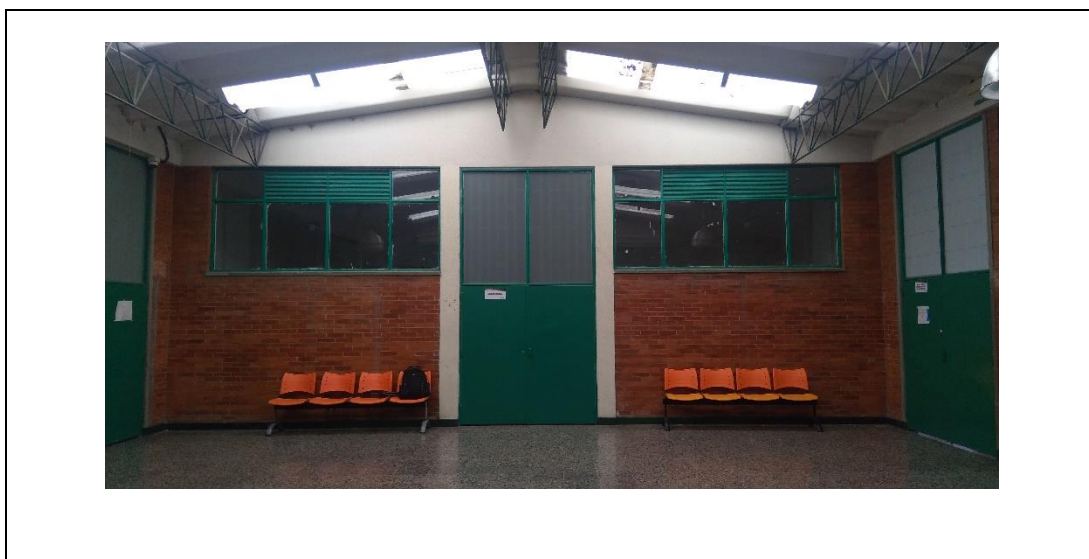


Ilustración 28. Imagen 3D del recinto

Fuente: (Autor, 2020)

En este gráfico en tercera dimensión se puede apreciar en contexto la ubicación y distribución de los diferentes elementos que componen la sala de música tales como: 15 guitarras acústicas, 5 amplificadores de guitarra, 2 baterías, mesones (que pertenecían al área de laboratorio), 1 escritorio y 20 butacos individuales.

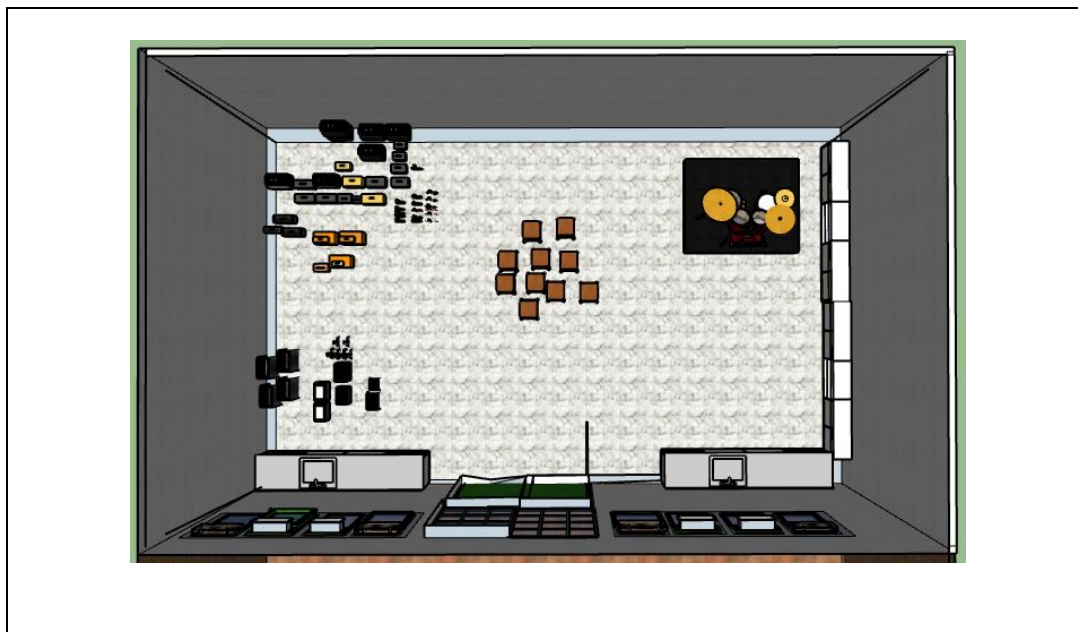


Ilustración 29. Imagen 3D del recinto desde perspectiva

Fuente: (Autor, 2020)

Contiguo a la sala de música por el lado norte, se encuentra el salón de baile, al sur, el salón de artes, mientras que en la sala principal mesas de ping-pong y juegos de mesa, al oriente se encuentra salón de almuerzos, continuo a este el salón de teatro, debido a esta ubicación de los recintos puede concluirse que la fuente de mayor emisión de ruido es la del salón de música, que también debido a las superficies y materiales con la cual está construida, teniendo en cuenta que esta sala posee un área total de $376.48 m^2$ y un volumen de $422.13m^3$.

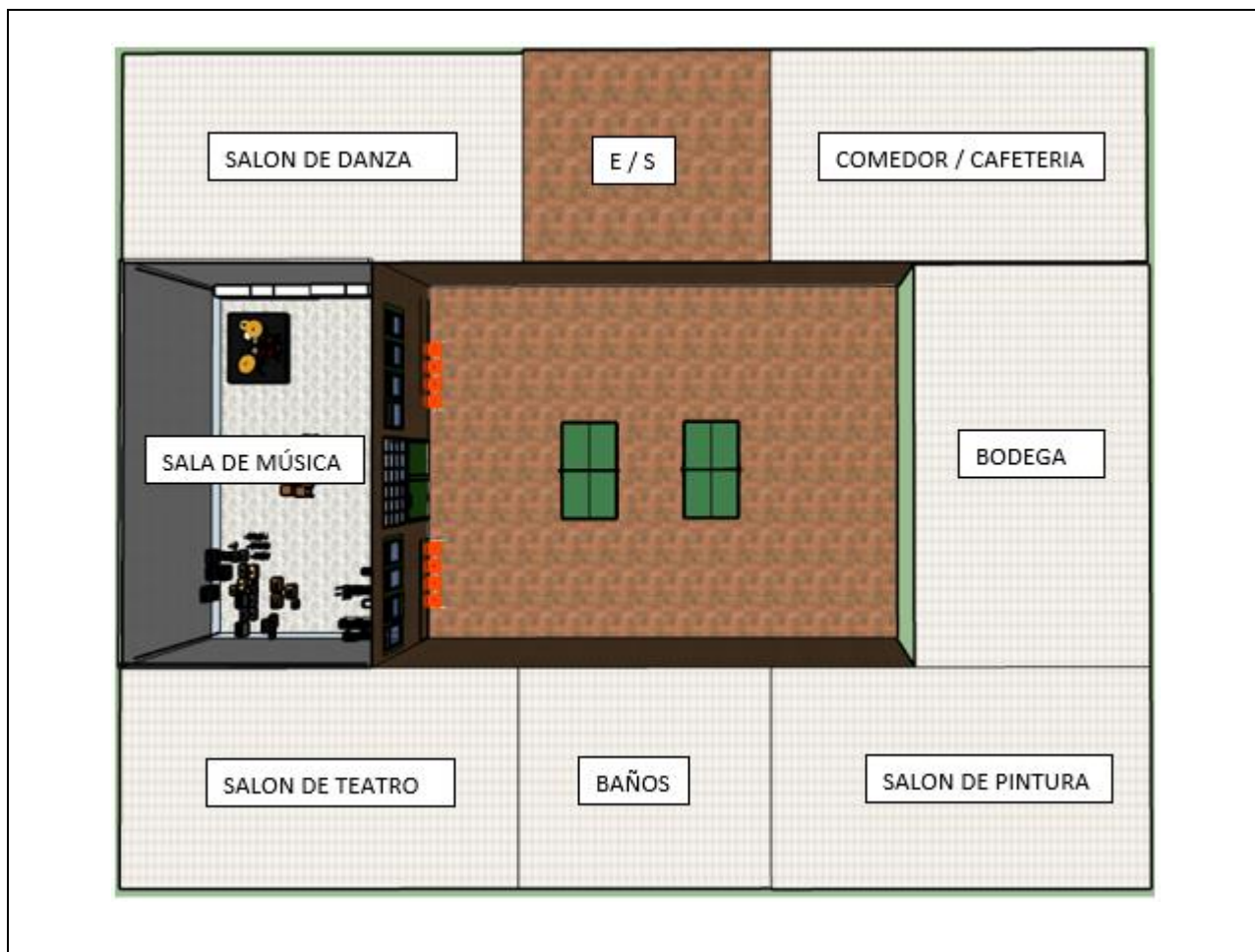


Ilustración 30 Espacios contiguos

Fuente: (Autor, 2020)

Análisis del tiempo de reverberación

Se establece que el parámetro base para el desarrollo de este proyecto es la toma de muestras del tiempo de reverberación para su posterior análisis y derivados de este, los cuales de la mano con las herramientas audiovisuales para el correcto monitoreo de cada uno de los puntos de medición y de así solventar las problemáticas acústicas del recinto.

Es necesario contemplar aspectos administrativos, recursos de tiempo, desplazamiento y dinero que se debe ocupar para realizar en cada paso del proyecto y así alcanzar el objetivo.

Ceramic tiles, smooth	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02
Rejilla abierta	1	1	1	1	1	1
Ceramic tiles, smooth	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02
Madera Solida	0.15	0.1	0.06	0.08	0.1	0.05
Madera solida	0.15	0.1	0.06	0.08	0.1	0.05

Tabla 10. Coeficiente de absorción de los diferentes materiales de la sala.

Fuente: (Autor, 2020)

Como se ha mencionado en los puntos anteriores, se aplica la formula general de Sabine, para calcular el tiempo de reverberación en el recinto.

Se multiplica el are total de cada material (m^2) por el coeficiente de absorción (el cual se obtuvo de bibliografía y fichas técnicas), de acuerdo con la tabla 8, a cada frecuencia donde el procedimiento arrojó los siguientes resultados,

Resultados obtenidos para la sala de música:

Sabine para Sala de música U.D.C.A.							
MATERIAL	Área total (m^2)	S*α 125Hz	S*α 250Hz	S*α 500Hz	S*α 1000Hz	S*α 20005Hz	S*α 4000Hz
Porcelana	3.6	0.04	0.04	0.04	0.07	0.07	0.07
Madera	5	0.75	0.50	0.30	0.40	0.50	0.25
Muro	196.78	19.68	19.68	19.68	19.68	19.68	19.68
Baldosa	61.66	0.62	0.62	0.62	1.23	1.23	1.23
Acero	7.12	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Madera	15.04	2.26	1.50	0.90	1.20	1.50	0.75
Acero	1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Acrílico	6	0.90	0.60	0.36	0.48	0.60	0.30
Fibra Cemento	68.42	10.26	10.26	10.26	10.26	10.26	10.26
Vidrio	11.86	3.91	2.97	1.19	0.83	0.71	0.47
Absorción Total		40.13	37.87	35.05	35.87	36.27	34.73
RT Obtenido		1.77	1.88	2.03	1.98	1.96	2.05

Tabla 11. RT obtenido de la sala.

Fuente: (Autor, 2020)

RT Prom	1.9
RT mid	2.0

Tabla 12. Comparativo Resultados de RT medido frente al RT Calculado.

Fuente: (Autor, 2020)

Medición En Sitio

En la sala de música, se realizaron mediciones por bandas de octava normalizadas, como lo recomienda la norma internacional establecida en este proyecto, donde se trabaja desde la banda de 125Hz hasta la de 4000Hz, para lo cual se utilizaron como fuente de sonido, varios barridos de frecuencia como lo muestra la gráfica. Del mismo modo se registraron consecutivas mediciones en diferentes puntos del recinto donde normalmente se sitúan los alumnos. Dando así un total de 20 muestras, utilizando como herramientas distintos analizadores acústicos.

Se fija que para los cálculos y obtención del tiempo de reverberación se aplica la formula general de Sabine, que en base a la norma ISO 3382-2, la cual decreta cada uno de los parámetros de medición.

En esta etapa del proyecto se realizaron las mediciones en cada uno de los puntos, usando un micrófono de medición de frecuencia plana, junto con el software avanzado de medición a 1/3 de octava, el cual mide el tiempo de reverberación, ruido de fondo y nivel de presión sonora. Para lo anterior se aconseja utilizar una fuente impulsiva o barrido de frecuencias, aplicados en conformidad a la norma ISO 3382-2, para este proyecto, se utilizó una fuente direccional de ruido impulsiva, un amplificador laney AH40.

Los resultados obtenidos de acuerdo con cada una de las bandas de frecuencia son los siguientes:

PROMEDIO DE MUESTRAS	125Hz	250Hz	500Hz	1000Hz	2000Hz	4000Hz
1	1.3	2.1	1.9	2.1	2.14	1.6
2	1.1	1.8	1	2.18	2	1.7
3	1.3	1.5	2	2.1	2	1.6
4	1.5	1.9	2.2	2.2	2.2	1.8
5	1.6	1.6	2	2.1	2.1	1.7
TOTAL	1.4	1.8	2	2.1	1.7	1.8

Tabla 13. Promedio de diferentes muestras del Tiempo de Reverberación por frecuencias.

Fuente: (Autor, 2020)

La siguiente tabla muestra el comparativo del RT medido frente al RT calculado.

Recinto	Valor Medido RT60	Valor Calculado RT 60	Valor Medido RT Mid	Valor Calculado RT Mid
Sala de Música	1.9	1.9	2.1	1.9

Tabla 14. Comparativo del RT medido frente al RT calculado.

Fuente: (Autor, 2020)

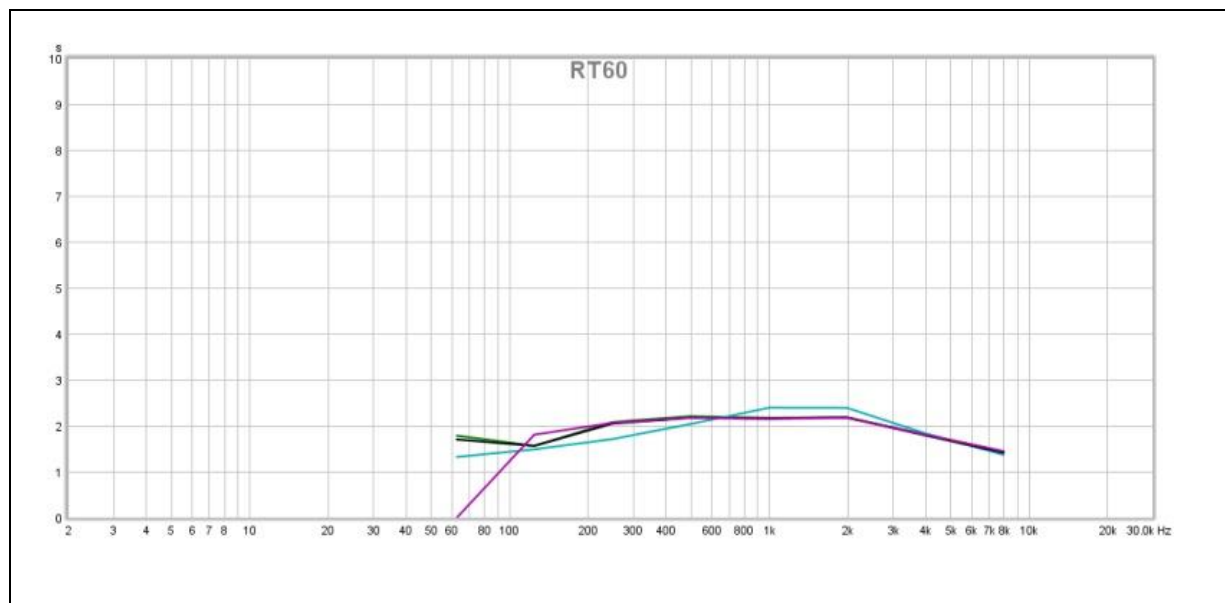


Ilustración 31. Promedio los 5 puntos de medición y su promedio general.

(Autor, 2020)

Frecuencia	125	250	500	1000	2000	4000
RT60	1.4	1.8	2.0	2.1	2.1	1.7

Tabla 15. Promedio RT60 por cada una de las frecuencias existentes en sala.

Fuente: (Autor, 2020)

Establecida esta información se procede a revisar las recomendaciones bibliográficas que nos permiten determinar los márgenes de los valores recomendados de RT_{mid} para el tipo de sala a trabajar en el supuesto que este ocupadas.

Tipo de Sala RT_{mid}	Sala Ocupada (en S)
Sala Polivalente / Aprendizaje	1,2 – 1,5

Tabla 16. RT_{mid} recomendado de aprendizaje

Fuente: (Carrion, 1998)

Resaltando lo anteriormente mencionado y de acuerdo con las mediciones y cálculos realizados, se logra demostrar que: el valor registrado para la sala de música de la universidad U.D.C.A., (segundos), presenta incompatibilidad con el criterio acústico recomendado para salas polivalentes como se muestra en la tabla 16.

Análisis De Las Curvas NC

Como punto crítico del proyecto, se establecieron comparaciones de las mediciones realizadas con las bibliográficas, para poder determinar aquellas diferencias, que nos permiten establecer un diagnóstico acústico con el cual se podrá implementar diseños acústicos eficaces para este caso. Con esto se busca establecer los niveles de ruido máximos recomendables para los recintos según su actividad.

Con el firme objetivo de ver el grado de adecuación esta la sala de música respecto al estándar NC-15, se realiza una medición de inmisión de ruido con el fin de comprobarlo con la curva en mención, arrojando el siguiente resultado:

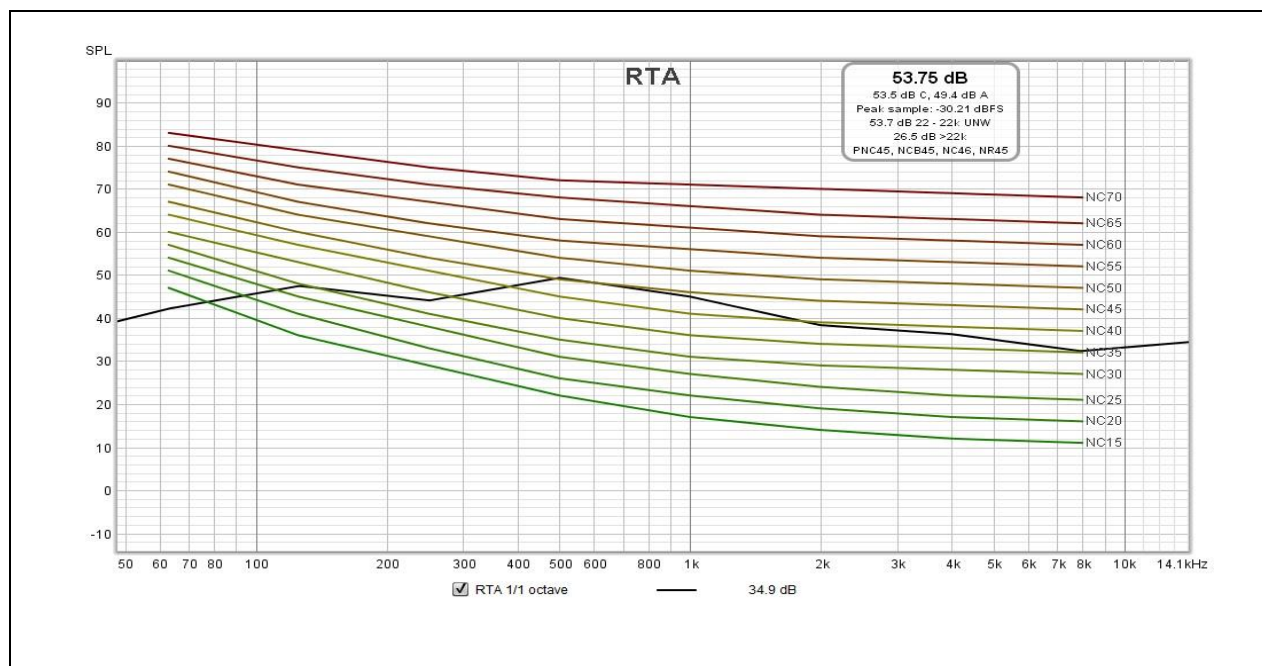


Ilustración 32. Curvas NC medidas en sala.

Fuente: (Autor, 2020)

Curva/ Criterio	Frecuencia							
	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
NC 25	54	44	37	31	27	24	22	21
Valores Medidos	49.19	47.42	44.10	49.48	45.00	38.35	36.28	32.36
Diferencial NC	-4.81	3.42	7.1	18	18	14	14	11

Tabla 17. Ubicación de las curvas NC existentes en la sala.

Fuente: (Autor, 2020)

Claridad De La Voz C_{50}

La medición de la claridad de la voz C_{50} , el cual es un parámetro relacionado con las primeras reflexiones de la sala, se realizó con el programa de análisis acústico “*room eq wizard*”, el cual muestra una gráfica acerca del porcentaje en la intensidad de decibeles por unas frecuencias establecidas como son: 500Hz, 1K, 2K, 4K. Este parámetro resulta de la media aritmética de los resultados de las cuatro frecuencias medidas.

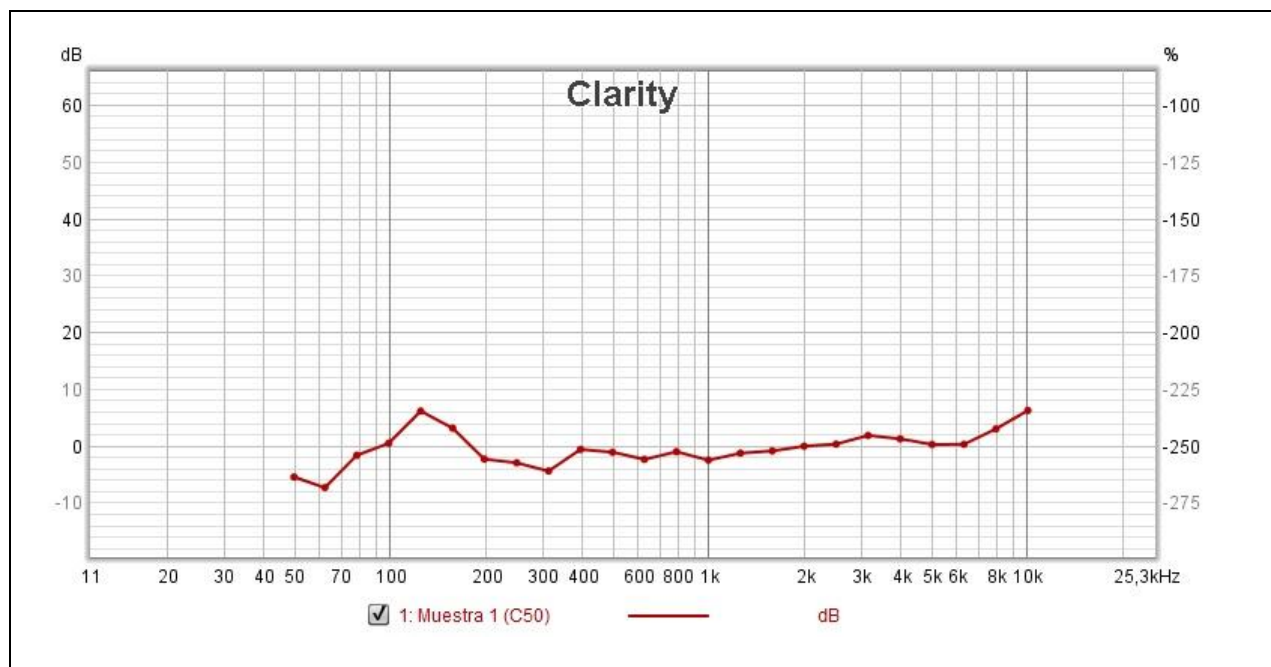


Ilustración 33. Caridad de la Voz.

Fuente: (Autor, 2020)

Siendo así, el resultado para C_{50} la sala de música de la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A, la claridad del habla es la siguiente:

Medición	500 Hz	1K	2K	4K	Promedio
Punto 1	-1.54	-1.99	-2.9	-2.31	-2.81
Punto 2	-1.49	-3.57	-4.51	-2.75	-3.08
Punto 3	-3.36	-3.3	-7.63	-3.96	-4.56
Punto 4	-7.63	-6.87	-13.74	-6.12	-8.59
Punto 5	-3.96	-4.83	-11.32	-4.3	-6.10

Tabla 18. Valores medidos C_{50}

Fuente: (Autor, 2020)

Claridad Musical C_{80}

La medición de la claridad de la voz C_{80} , el cual es un parámetro relacionado con las primeras reflexiones de la sala cual indica el grado de separación entre los diferentes sonidos individuales integrantes en una composición musical. Este indicador nos permite diferenciar con claridad cada uno de los sonidos en cada uno de los puntos de escucha del recinto. Se realizó con el programa de análisis acústico “*room eq wizard*”, el cual muestra una gráfica acerca del porcentaje en la intensidad de decibeles por unas frecuencias establecidas como son: 500Hz, 1K y 2K. Este parámetro resulta de la media aritmética de los resultados de las cuatro frecuencias medidas.

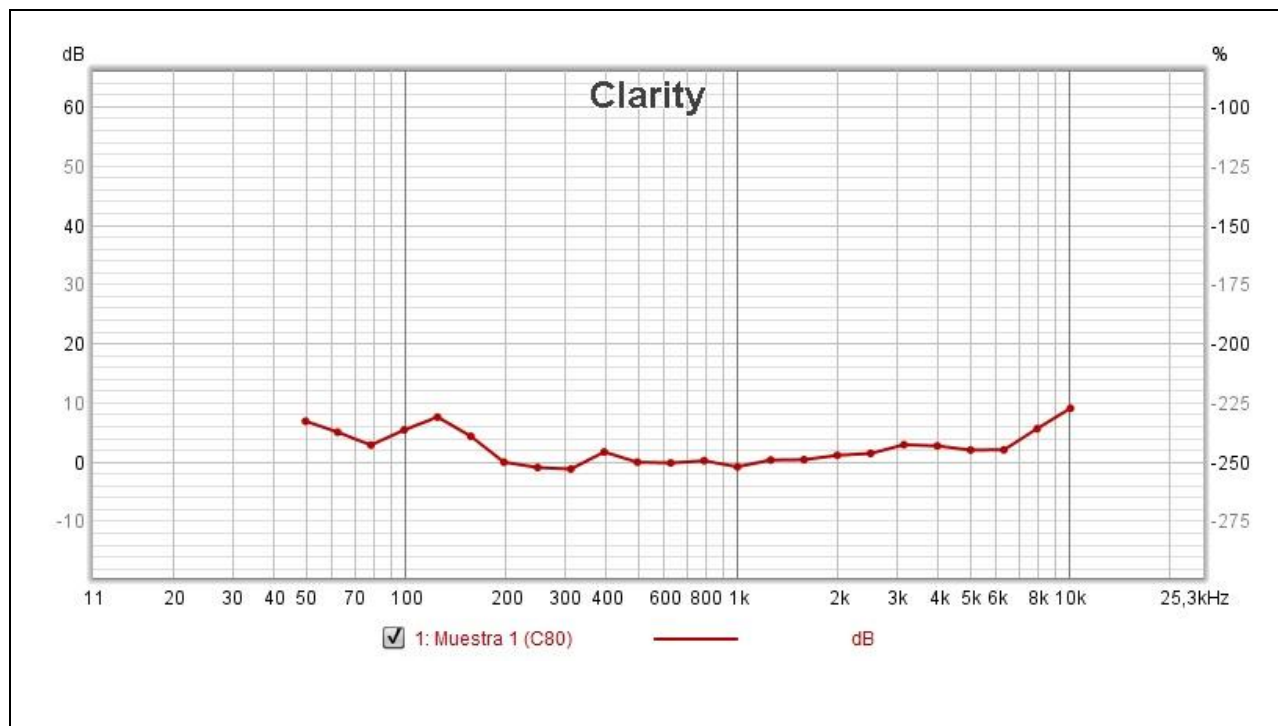


Ilustración 34. Claridad musical.

Fuente: (Autor, 2020)

Siendo así, el resultado para C_{80} la sala de música de la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A, la claridad del habla es la siguiente:

	500 Hz	1K	2K	Promedio
Punto 1	-2.6	-1.7	1.7	-2.7
Punto 2	-1.7	-2.1	-0.6	-4.5
Punto 3	-0.9	-0.9	-4.4	-6.2
Punto 4	-4.9	-4.7	-4.6	-14.2
Punto 5	-2.3	-4.4	-4.4	-11.1

Tabla 19 Valores medidos C_{80}

Fuente: (Autor, 2020)

Calidez Acústica (BR)

Este parámetro se encuentra relacionado con la “viveza de la sala”, de otro modo la riqueza de frecuencias graves en la sala. Este aspecto acústico resulta del cociente entre la suma de los tiempos de reverberación correspondientes a las frecuencias de 125Hz y 250Hz y la suma de los tiempos de reverberación de las frecuencias de 500Hz y 1Khz.

$$BR = \frac{RT(125 \text{ Hz}) + RT (250 \text{ Hz})}{RT (500 \text{ Hz}) + (1\text{kHz})}$$

$$BR = \frac{RT(1.77) + RT (1.72)}{RT (1.70) + (1.48)}$$

$$BR = \frac{3.49}{3.18}$$

$$BR = 1.09$$

Ecuación 11. Cálculo de calidez acústica

Fuente: (Autor, 2020)

Brillo (Br)

Este parámetro se encuentra relacionado con el “brillo de la sala”, de otro modo la riqueza de frecuencias graves en la sala. Este aspecto acústico resulta del cociente entre la suma de los tiempos de reverberación correspondientes a las frecuencias de 2kHz y 3kHz y la suma de los tiempos de reverberación de las frecuencias de 500Hz y 1Khz.

$$Br = \frac{RT (2\text{kHz}) + RT (4\text{kHz})}{RT (500 \text{ Hz}) + (1\text{kHz})}$$

$$Br = \frac{RT (1.30) + RT (1.20)}{RT (1.70) + RT (1.48)}$$

$$BR = \frac{2.5}{3.18}$$

$$Br = 0.78$$

Ecuación 12. Cálculo de brillo

Fuente: (Autor, 2020)

Según el resultado anterior se puede observar que la sala no cuenta con una buena respuesta a frecuencias medias y altas.

EDT (“Early Decay Time”)

Este parámetro acústico es una medida relacionada con la “percepción” de la reverberación en un recinto, es una escala que acompaña como a la medición del tiempo de reverberación

llevando a cabo un margen del comportamiento del sonido dentro del recinto. Este mismo se calcula como el valor medio de los EDT correspondientes a las bandas de 500Hz y 1kHz.

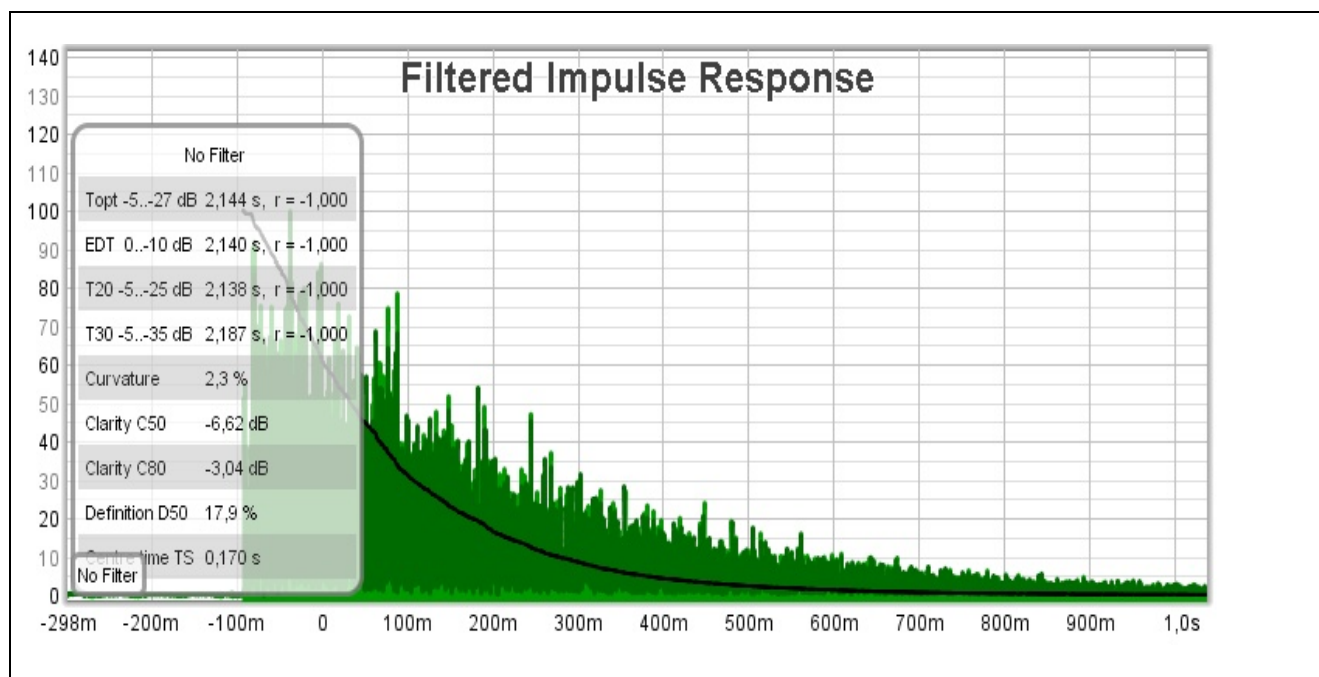


Ilustración 35. “Early Decay Time” medido.

Fuente: (Autor, 2020)

Perdida Porcentual De Articulación De Consonantes (%ALCons)

Este parámetro acústico es un valor subjetivo “sugereante”, ya que la inteligibilidad y la escucha en cada persona es distinta, principalmente se establece una medición en la banda de frecuencias de 2kHz debido a que esta frecuencia se encuentra ligada al rango sonoro del habla.

La pérdida porcentual de articulación de consonantes resulta a partir de la diferencia entre niveles de presión sonora entre campo directo L_D y campo reverberante L_R , así:

$$L_D - L_R = 10 \log\left(\frac{QR}{r^2}\right) - 17 \text{ en (dB)}$$

VARIABLES (%ALCONS)	VALORES
r- distancia entre emisor y receptor (mts)	3
RT - Tiempo de reverberación en sala (s)	2,15

V - Volumen de Sala (m3)	422,13
Dc - Distancia Critica	1,75
Q - Factor de Directividad (Q=2)	2
R - Constante de la sala	71,25
Stot - Superficie Total en (m2)	285,18
α - Coeficiente medio de absorción sala	0,2
R=Constante de la Sala	75,79

Tabla 20 Variables Articulación por Consonantes (%ALCons)

Fuente: (Autor, 2020)

Luego de haber realizado los cálculos para determinar el porcentaje de pérdida de articulación por consonantes se encuentra en 20% y según la ilustración No. 36, se evidencia que la inteligibilidad de la palabra es pobre, lo que indica una falla en la transmisión del mensaje oral debido a las condiciones del recinto y por ende se requiere ajustar dichas cifras para alcanzar una valoración excelente en la comprensión del mensaje hablado.

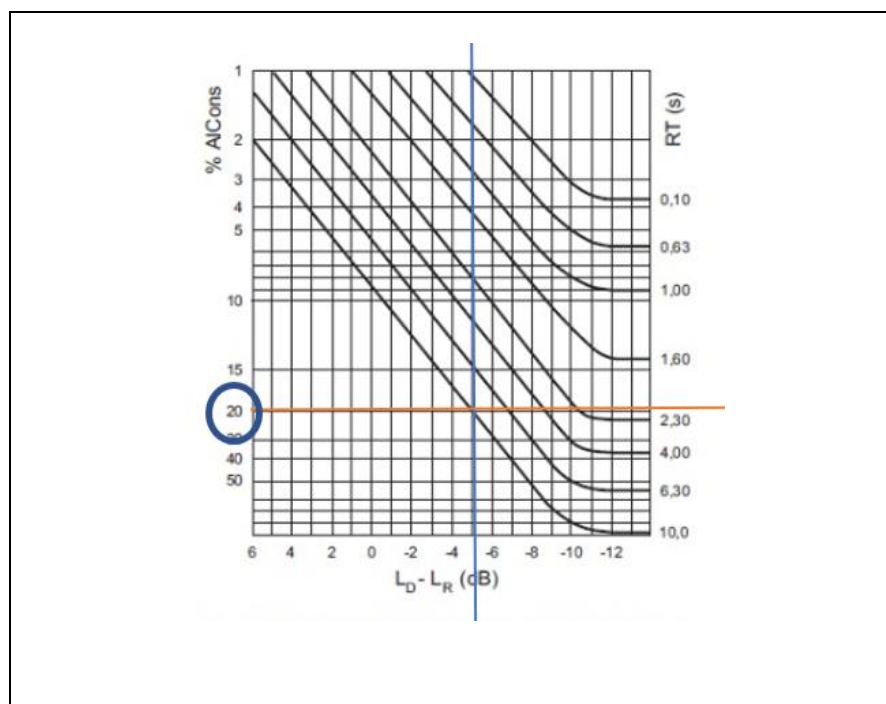


Ilustración 36 Pérdida de Articulación por Consonantes (%ALCons)

Fuente: (Carrion, 1998)

Necesidades y Requerimientos Acústicos

Después del proceso de revisión, análisis y comprobación de datos de los resultados obtenidos, se fija la tarea de esquematizar un diseño acústico arquitectónico que pueda dar solución de acondicionamiento y aislamiento acústico con base a los materiales que resultaron de la investigación y demostrar la efectividad frente a los materiales y sistemas acústicos más usados en el campo de la insonorización y así resolver esta problemática.

Partiendo desde el interior de la sala, se evidenció que el recinto posee una calidez acústica (BR) de 1.09s, es decir, la respuesta en frecuencias graves se ubica ligeramente por debajo del rango recomendado el cual es de 2,2s, del mismo modo, presenta un valor de respuesta en frecuencias altas o brillo (Br) de 0.78s, lo que significa que se encuentra por debajo del margen sugerido por Beranek el cual establece que sea mayor o igual de 0,87s. para este tipo de sala.

Para evaluar el grado de molestia del ruido ambiental generado por la sala, es necesario verificar las curvas de ruido NC, analizando el ruido de fondo de la sala, donde la medición presenta una lectura de 49.4dB(A) correspondiente a la curva NC 35-40, la cual se encuentra por encima del valor sugerido para el tipo de recinto, donde se busca llegar a una curva NC 15-25 (curva recomendada para salas de aprendizaje) con lecturas entre 28 y 38 dB(A).

En los parámetros de primeras reflexiones, la medición de la claridad de la voz C_{50} registra resultados desde (-7.2 hasta 0.36)dB, valores que se encuentran por debajo de los recomendados de C_{50} , el objetivo es que cada punto sea mayor de 2 dB, por esta razón se busca que entre más alto el valor, mejor será la inteligibilidad de la palabra en el punto considerado.

En cuanto a claridad musical C_{80} para cada uno de los puntos de medición se registraron resultados desde (-3.13 hasta -1.87)dB, esto indica que en algunos puntos de la sala hay un grado

de separación entre los diferentes sonidos de la composición musical, cabe destacar que según L.G Marshall se propone que el margen de variación para salas ocupadas se ubique entre $-2 \leq C_{80}(3) \leq +2\text{dB}$ por punto, como consecuencia se necesita revisar puntos críticos de escucha para obtener balance y claridad musical.

Con el firme objetivo de garantizar una buena difusión del sonido en una sala ocupada, es preciso que el valor medio de los EDT correspondientes a las bandas de 500Hz 1kHz sea del mismo orden que RTmid y en este caso el Early Decay Time registrado muestra un valor de 2.0s en 500hz y 2.1s en 1kHz, lo que señala que la sala se encuentra tenuemente “apagada”.

Para el tiempo de reverberación del recinto se encontró que el valor es de 2.44s, el cual es bastante superior a lo recomendado para este tipo de sala (sala polivalente) que es entre 1,2-1,5s. Esto significa que el objetivo es disminuir el nivel de campo reverberante donde predomina el sonido reflejado. De acuerdo con esto, es necesario implementar un sistema que absorba dicha energía para poder llegar al valor sugerido.

Otro problema que nos genera el ruido de fondo presente en la sala es la Pérdida de Articulación por Consonantes (%ALCons), el cual nos da un indicativo acerca de cuanta “cantidad” del mensaje transmitido se está perdiendo debido a las condiciones acústicas, según cálculos, la sala presenta un porcentaje de pérdida de articulación por consonantes del 20%, esto acompañado de una valoración subjetiva que indica el grado de inteligibilidad de la palabra que, según Carrión, se encuentra entre 12 y 24,2%, lo que señala una valoración “pobre” del recinto.

Por otro lado, para la medición y análisis de aislamiento acústico, se evidenció por medio de las mediciones que la sala de música genera un nivel de 97 a 100dB(A), este grado de presión sonora afecta las condiciones acústicas los recintos contiguos. La reducción de ruido que posee la sala obedece a un índice de transmisión de ruido (RW) de 30-35dB.

El registro (RW) es el índice ponderado de reducción de ruido expresado en (dB) de los materiales constructivos de los recintos por el cual se mide la capacidad de reducción en la transmisión del sonido, también es importante destacar que, la pérdida real de transmisión depende de la frecuencia específica y de las características del ambiente y/o entorno.

Tabla de índices RW de materiales existentes en la sala de música U.D.C.A.		
Techo	Fibroemento	33
Ventanas	Vidrio 3mm	21
Muros	Ladrillo	35
Puertas	Acero	17

Tabla 21 Índices de Reducción Sonora

Fuente: (Autor, 2020)

En consecuencia, la sala permite emitir alrededor 70dB(A) hacia los espacios exteriores, incumpliendo los criterios NC para las salas de aprendizaje, por lo que es necesario implementar un diseño acústico de aislamiento, que permita que la reducción de la transmisión superior a un RW de 55, para así poder atenuar el ruido de la sala y alcanzar sugerencias de curvas NC para las actividades de los diferentes espacios.

A continuación, de manera puntual se presentan los diferentes parámetros establecidos para determinar el diagnóstico existente en la sala de música de la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U..D.C.A.

RESUMEN DE EVALUACIÓN Y DIAGNOSTICO		
ACONDICIONAMIENTO ACUSTICO		
PARAMETRO	SALA DE MUSICA	VALOR RECOMENDADO
BR	1,09s	2,2s
Br	0,78s	0,87s
Curvas NC	35-40 / 49.4dB(A)	15-25 / 28dB(A)
Claridad C_{50}	-3.80dB	≥ 2
Claridad C_{80}	-2,29dB	$-2 \leq C_{80}(3) \leq +2$ dB
EDT	500Hz (2.04) – 1kHz(2.22)	500Hz (2.0) – 1kHz(2.1)
RT60	2,44s	1,2 – 1,5s
%ALCons	20% (Pobre)	1,4% - 0% (Excelente)
 AISLAMIENTO ACUSTICO		
PARAMERTO	REDUCCIÓN ADICIONAL	REDUCCIÓN TOTAL

RW	33	55
-----------	----	----

Tabla 22. Resumen de evaluación y diagnóstico.

Fuente: (Autor, 2020)

Las soluciones necesarias para este proyecto se basan principalmente en fomentar el uso de material reciclado, ya que varios de los problemas de los materiales provienen del petróleo y esto conlleva a un incremento del precio a través de los años y una explotación innecesaria a los recursos no renovables de la tierra. Los materiales aplicados para este proyecto presentan ciertas ventajas, muchos son hipoalergénicos y no poseen efectos nocivos sobre la salud, por tal motivo se facilita su instalación, son lavables e incluso permiten el cumplimiento de las normativas contra fuego.

Los materiales implementados buscan reducir el impacto negativo de la contaminación ambiental, los residuos con los cuales se fabrican estos elementos contienen propiedades acústicas iguales o mejores de los materiales comúnmente utilizados.



Soluciones Acústicas Propuestas

Diseño De Acondicionamiento Acústico

Para alcanzar una respuesta acústica óptima de acuerdo con las normas y criterios internacionales para una sala de ensayo y aprendizaje, se debe considerar hacer un acondicionamiento acústico en el lugar que permita conseguir un tiempo de reverberación adecuado para la sala, mediante materiales fono absorbentes en paredes y techo. Los resultados esperados dependen fielmente a su cantidad y características.

Así mismo, en el mercado existe una gran cantidad de materiales que podrían de cierto modo dar solución a la problemática expuesta, aunque los materiales sostenibles, objeto del análisis del proyecto, la cantidad se encuentra más reducida en comparación a los comunes, a continuación, se presentan los materiales reciclados para este propósito.

Los materiales analizados comprendieron los siguientes sistemas:

Material	Detalles	Especificaciones	Imagen
Lana Mineral	Alto desempeño en absorción acústica, control de frecuencias graves y alto rendimiento acústico en la pérdida de transmisión de ruido	NRC de 0.70 - 17dB(A) entre 64hz y 4kHz.	
Papel usado y fibras de lana.	Fibras recicladas de distintos materiales, entre más espesor mejor comportamiento de absorción	Alto grado de absorción entre las frecuencias de 200Hz y 5000Hz.	


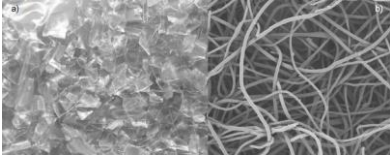
Paneles de algodón	Fibra natural reciclada 100% de algodón, apropiados para espacios donde el problema principal es la compresión del habla	Panel de algodón de 24" x 48" con espesor de 2" Coeficiente de reducción de ruido NRC de 0,65 a 1.15.	
Fibras recicladas PET	Poliéster reciclado con alto grado de absorción acústica, poseen fácil instalación, son lavables, pueden provenir del reciclado.	Se presenta alto desempeño de absorción en frecuencias comprendidas entre 500Hz y 2,5kHz	

Tabla 23 Materiales para el diseño acústico

Fuente: (Autor, 2020)

Investigando detalladamente los materiales acústicos sostenibles es indispensable conocer el rendimiento en el grado de absorción en las frecuencias comprendidas de 125Hz a 4kHz, como se presentan a continuación:

MATERIALES						
MATERIAL	125Hz	250Hz	500Hz	1000Hz	2000Hz	4000Hz
Glass Wool Panel	0.8	0.9	0.9	1	1	1
Extracted Polystyrene panel	0.4	0.5	0.5	0.7	0.7	0.8
Fibras de polyester reciclado	0.1	0.11	0.1	0.3	0.4	0.6
Eliminador Eco Algodón	0.3	0.9	1.3	1.2	1	1
Natural Fiber Acoustic Board	0.3	0.9	1.3	1.2	1	1

Pantallas Acústicas DURA +400	0.1	0.3	0.6	0.8	0.9	0.9
--	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Tabla 24. Coeficientes de absorción de los materiales reciclados por frecuencia

Fuente: (Autor, 2020)

Para la aplicación del proyecto, se tomará una superficie de $10m^2$ con el que se recomienda revestir el área del techo con paneles de fibra de vidrio debido a que provee una cantidad considerable de absorción, no interfiere con el almacenamiento interno de mobiliarios e instrumentos musicales. Del mismo modo se propone cubrir el espacio de una de las paredes con un revestimiento de paneles acústicos de algodón con una superficie de $15m^2$. (Extracted Polyestryene Panel $8m^2$ en pared), y (Natural Fiber Acoustic Board $2m^2$ puertas interiores), esta área representa una gran cantidad de la energía sonora reflejada en el recinto, posee el menor grado de absorción y su instalación es de fácil acceso. Como consecuencia se apreciará notablemente una reducción del tiempo de reverberación. Sin embargo, es pertinente mantener el equilibrio sin extremar la implementación de absorción sin perder el control sobre las frecuencias a trabajar para no afectar el “color” natural de la sala.

Considerando lo anterior, se puede apreciar en la siguiente tabla que, reemplazando solamente tres tipos de materiales, las condiciones acústicas de la sala cambian admirablemente.

Sala de música U.D.C.A. con cambio de materiales							
MATERIAL	Área total (m^2)	$S^*\alpha$ 125Hz	$S^*\alpha$ 250Hz	$S^*\alpha$ 500Hz	$S^*\alpha$ 1000Hz	$S^*\alpha$ 20005Hz	$S^*\alpha$ 4000Hz
Porcelana	3.6	0.4	0.4	0.4	0.7	0.7	0.7
Madera	5	0.75	0.50	0.30	0.40	0.50	0.25
Muro	196.78	19.98	19.98	19.98	19.98	19.98	19.98
Baldosa	61.66	0.62	0.62	0.62	1.23	1.23	1.23
Acero	1.42	1.42	1.42	1.42	1.42	1.42	1.42
Madera	15.04	2.26	1.50	9.02	12.03	1.50	0.75
Acero	1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Acrílico	6	0.90	0.60	0.36	0.48	0.60	0.30
Fibra Cemento	68.42	9.58	13.00	16.42	21.89	28.05	34.21

Vidrio	11.86	3.91	2.97	1.19	0.83	0.71	0.47
Coefficiente de absorción de materiales reciclados por metro cuadrado							
Glass Wool Panel	10	8.00	9.00	9.00	10.00	10.00	10.00
Extracted Polystyrene panel	8	3.20	4.00	4.00	5.60	5.60	6.40
Eliminador Echo Algodon	15	4.50	13.50	19.50	18.00	15.00	15.00
Natural Fiber Acosutic Board	2	0.60	1.80	2.60	2.40	2.00	2.00
	Absorción Total	56.43	66.17	78.28	82.70	68.87	68.13
	RT Obtenido	1.26	1.02	0.92	0.85	0.81	0.77

Tabla 25. Sala de música con la implementación de los nuevos materiales.

Fuente: (Autor, 2020)

RT Prom	1.0
RT mid	1.3

Tabla 26. RTmid promediado frente al Rtmid calculado con nuevos materiales.

Fuente: (Autor, 2020)

Diseño De Aislamiento Acústico

Antes de diseñar una solución determinada, es conveniente evaluar la eficacia del aislamiento acústico de manera práctica, de los elementos de pared, techo y particiones generales del espacio, para optimizar el diseño y reducir la inversión necesaria.

La energía acústica generada por las fuentes de ruido producen vibraciones que se propagan rápidamente por toda la estructura con baja pérdida de energía, generando un nivel de presión sonora en el recinto receptor que se percibe como ruido, generalmente provocada por pisadas, caídas de objetos y arrastre de muebles, se produce con mayor intensidad hacia el recinto situado inmediatamente debajo y hacia los espacios adyacentes laterales y, por lo tanto, la medida se realiza sobre el suelo del recinto emisor.

En casos donde existen fuentes de ruido que no pueden apagarse, durante el uso del recinto, lo más acertados es pensar en implementar un diseño de aislamiento acústico practico para solventar las fallas sonoras de la sala de música. Para este fin se decidió emplear un diseño el cual cumpla con disminuir las problemáticas acústicas reduciendo el nivel tanto de emisión como de inmisión de ruido, causadas por diferentes actividades y fuentes en los espacios contiguos al recinto en estudio.



Ilustración 37. Vista interior de la sala

Fuente: (Autor, 2020)

Analizando la ilustración No 37, se puede observar que los salones se encuentran pared con pared, por eso el diseño acústico de aislamiento también debe ser lo más exacto posible, de fácil instalación y con la reducción necesaria para el objetivo.

La sala de música de la universidad U.D.C.A., cuenta con los siguientes RW, los cuales describen la capacidad de los sistemas constructivos de la sala para minimizar la transmisión de ruido de un espacio a otro.

Tabla de índices RW de materiales existentes con muro de aislamiento

Techo	Fibrocemento	33
Ventanas	Vidrio 3mm	21
Muros	Ladrillo	35
Puertas	Acero	17

Tabla 27 Índices existentes de reducción sonora

Fuente: (Autor, 2020)

Esta sala cuando se encuentra en funcionamiento puede alcanzar niveles de hasta 100dB(A), permitiendo inmisión de ruido a las salas contiguas.

La inmisión de ruido a recinto adyacentes debe ser controlado de manera objetivo dependiendo del espacio y actividad que en ellos se realice.

ESPACIO / TIPO	CURVA NC RECOMENDADA
Sala de conferencia/Teatro	30-35
Salón de aprendizaje abierto /Danza	35-40

Tabla 28. Curvas NC recomendadas para recintos específicos.

Fuente: (Autor, 2020)

De acuerdo con la tabla 28, se requiere implementar un sistema de aislamiento que reduzca el nivel de intensidad sonora de acuerdo con los recintos adyacentes como los son, salones de aprendizaje abiertos, los cuales requieren de unas curvas NC entre 30-40 para salas de aprendizaje.

A continuación, se presenta el análisis de los RW entre espacios:

	Sala Música y Salón Baile	Sala Música y Salón Teatro
RW actual	17-35	17-35


RW adicional mínimo requerido	>33	>33
RW total requerido	55	55
NC objetivo y Nivel de ruido equivalente dB(A)	NC 35-40 y 45 - 50dB(A)	NC 35-40 y 45 - 50dB(A)

Tabla 29. Índice de reducción de ruido entre salas y los requeridos para las salas adyacentes.

Fuente: (Autor, 2020)

Conociendo la cantidad de decibeles que produce la sala de música cuando se encuentra en funcionamiento es de 97-100dB(A), se sugiere implementar un sistema de aislamiento acústico con un índice RW de mínimo de 33 (Asociado al mínimo RW de 17 de la partición de ventana existente), para todos los elementos constructivos del espacio (Paredes, Techo, Puertas y ventanas), con el fin de garantizar que la reducción de las particiones constructivas será superior a RW 55, garantizando la obtención de las curvas de ruido objetivo (NC 35-40, niveles equivalentes a 45 -50dB(A)), para el nivel de operación máximo proyectado para la sala de música.

Por medio de esta información se pueden realizar los cálculos pertinentes para poder proponer y seleccionar sistemas de aislamiento acústico que permitan lograr los objetivos de diseño, como se presenta a continuación:

Material	Detalles	Imagen	RW
Muro y techos en panel sandwich	sistema de pared simple compuesta por una placa de yeso Gylpac de ½" por cada lado, la separación de los paneles de llena con lana de fibra de vidrio o algún		35dB(A)


	material sostenible		
Ventanas	Panel con vidrios dobles de 6mm y cámara de aire de 13mm		36dB(A).

Tabla 30 Sistema de aislamiento acústico

Fuente: (Autor, 2020)

El RW total requerido para el análisis realizado es de 55, partiendo de que el elemento más débil del espacio tiene un RW de 17 (Ventana). Los sistemas seleccionados para el refuerzo acústico de los elementos de cerramiento que cierran el espacio permiten estimar el alcance de 50 dB(A) en los espacios contiguos analizados.

Resultados Y Análisis

Los diseños seleccionados para solventar la problemática presentada en este proyecto en cuanto al acondicionamiento y aislamiento acústico corresponden a una notable consideración de calidad e instalación, con el fin determinante de cumplir con los objetivos planteados para la sala de música de la universidad U.D.C.A.

Los resultados esperados en base al acondicionamiento y aislamiento acústico son los siguientes:

- Cumplir con el propósito principal de la propuesta de acondicionamiento y aislamiento acústico, certificando un óptimo resultado para la sala de música.
- Eliminar notablemente los problemas de reverberación presentes en la sala de música.
- Lograr que las personas interactúen con una mayor calidad acústica tanto para las clases instrumentales impartidas como para sesiones de grupos musicales.
- Reducir apreciablemente los niveles de ruido emitido por la sala para mantener el equilibrio sonoro en el bloque “H” de artes de la universidad U.D.C.A.
- Obtener claridad instrumental y del habla dentro de la sala de música.

Conclusiones

Los diseños estudiados y aplicados controlan notablemente las condiciones acústicas y los niveles de ruido cumpliendo así con los parámetros y reglamentos que se establecen en la norma internacional ISO 33882-2. Se mejoraron las condiciones acústicas dentro de la sala de música con niveles de reverberación óptimos, logrando así una claridad de la voz y musical de calidad excelente y una correcta inteligibilidad de la palabra para las diferentes actividades que en el recinto se efectúen.

La toma de medidas , el levantamiento de plano y el registro fotográfico, ayudaron a identificar cada uno de los materiales y dimensiones que constituyen el espacio, con lo anterior, se pudieron determinar las fallas acústicas y dar una idea global de la problemática del recinto.

Las mediciones de ruido permitieron validar que los curvas NC se encuentran por encima de las recomendaciones para las salas de aprendizaje, permitiendo establecer requerimientos y necesidades para el cumplimiento de los objetivos, basados en cálculos acústicos y la aplicación de elementos constructivos sostenibles como propuesta para el desarrollo del proyecto.

Del mismo modo se diseñó un sistema para mejorar las condiciones acústicas internas del recinto, encontrado un tiempo de reverberación de 2,44 segundos y por medio de implementar los materiales acústicos amigables con el medio ambiente, se logró reducir a 1,3 segundos, el cual se encuentra en el valor promedio recomendado para este tipo de recintos.

Se pudo evidenciar la importancia de la acústica arquitectónica y su manejo de materiales de origen reciclado para poder fomentar esta práctica obteniendo excelentes resultados.

El desarrollo de este proyecto permitió a lo que antes se centraba en materiales completamente nuevos, importados o simplemente de marca, seguir abriendo un camino para encontrar nuevas posibilidades de acondicionamiento y aislamientos acústicos.

Se evidencio mediante la toma de medidas la importancia de la teoría, de la bibliografía y su trabajo en conjunto con nuevas tecnologías como los son programas de análisis acústicos para poder llegar a un resultado más acertado.

Por lo tanto, se logró cumplir con el objetivo general de este trabajo de grado, es decir, evaluar, investigar, analizar, planificar y aplicar cada uno de los parámetros acústicos en la sala de música de la universidad U.D.C.A., y diseñar y proponer un diseño de acondicionamiento y aislamiento acústica que contribuyen a la calidad de vida de quienes entrar en contacto con este espacio.

Recomendaciones

- Se sugiere que para lograr un confort acústico es necesario implementar un sistema de acondicionamiento y aislamiento acústico, para poder mejorar el sonido y atenuar el ruido de la sala.
- Se recomienda el uso de materiales acústicos reciclados, pudiendo así obtener una buena relación en cuanto a costo-beneficio.
- Es necesario emplear correctos sistemas acústicos para beneficio de los usuarios y oyentes, con aras de lograr un ambiente agradable para la comunidad estudiantil.
- Se recomienda el cuidado de cada uno de los materiales propuestos ya que estos pueden modificar su rendimiento si se llegasen afectar físicamente o cambiarlos de posición sin consultar con un técnico especializado.
- Levantar plano con medidas exactas para la adquisición del material para no tener pérdidas económicas ni tampoco tener fallas al momento de instalarlos.

Bibliografía

- Acoustical Sourfaces, I. (2020). Obtenido de www.acousticalsurfaces.com
- Arquitectura sostenible*. (s.f.). Obtenido de <https://arquitectura-sostenible.es/>
- Barret, K. (2007). *Fisiología medica de Ganong*. México: McGraw-Hill.
- Barron, R. (2001). *Industrial noise control and acoustics*. Louisiana: Marcel Dekker Inc.
- Barti, R. (2010). *Acustica Medioambiental*. Alicante: Club Universitario.
- Beranek, L. (1969). *Acustica*. Buenos Aires.
- Carrion, A. (1998). *Diseño acústico de espacios arquitectónicos*. Barcelona: UPC.
- Cobo, P. (2015). *Absorción del sonido*. Madrid: CSIC.
- del Rey, R. (2010). *Nuevos materiales absorbentes acústicos obtenidos a partir de restos de botellas de plastico*.
Elsevier. (2016). *sciencedirect*. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/>
- Garcia, S. (2010). *Manual para radialistas analfatecnicos*. Quito.
- Google, m. (2019). *Google*. Obtenido de <https://www.google.com/maps/@4.6764431,-74.0652613,15z?hl=es>
- Gustavo, A. (2015). *Sonido antes de presionar rec*. Cordoba: Brujas.
- Ingenieros, C. y. (1997). Obtenido de <http://www.contadorycampos.cl/>
- Inteco. (2018). *Inteco ORG*. Obtenido de <https://www.inteco.org/shop/product/inte-iso-3382-2-2018-acustica-medicion-de-parametros-acusticos-en-recintos-parte-2-tiempo-de-reverberacion-en-recintos-ordinarios-3215>
- Isover. (2018). *Isover*. Obtenido de <https://www.isover.com.co/>
- Jaramillo, A. (2007). *La ciencia del sonido*. Medellín.
- Lopez, A. (2017). *Manual de acústica ambiental y arquitectónica*. Madrid: Paraninfo.

Ministerio de Ambiente, v. y. (2006).

Miranda, O. (2015). *Análisis del Tetrapak reciclado posterior al proceso de compresión térmica como material de acondicionamiento acústico.*

Mulcahy, J. (2020). *Room Eq Wizard*. Obtenido de <https://www.roomeqwizard.com/>

Nadal, A. (2009). *Caracterización acústica de productos reciclados a partir del FLUFF procedente del triturado de NUF5.*

Rubiano, A. (2008). *¿Qué es la psicoacústica?* Obtenido de <https://www.psicooacustica.com/articulos/081205.pdf>

Serway, r. (2004). *Physics for scientists and engineers*. Belmont: Thompson Brooks.

Voetmann, J. (2010). *Electroacústica práctica*. Braubrand: Tébar Flores.

Anexos

ANEXO A. Nivel de ruido recomendado y medido.

Curva Recomendada	NC 20-25
Nivel de ruido recomendado	dB (A)
Nivel de ruido medido	dB (A)

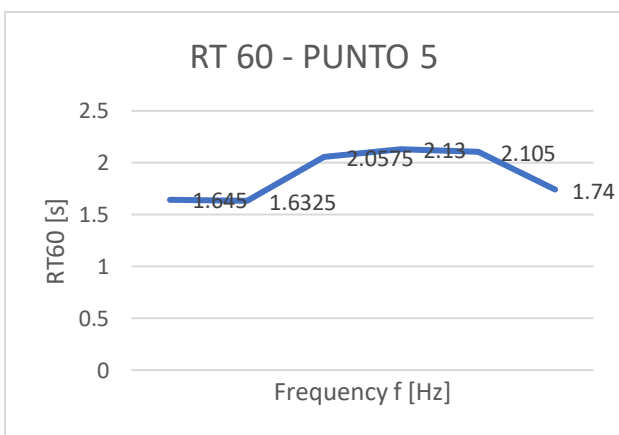
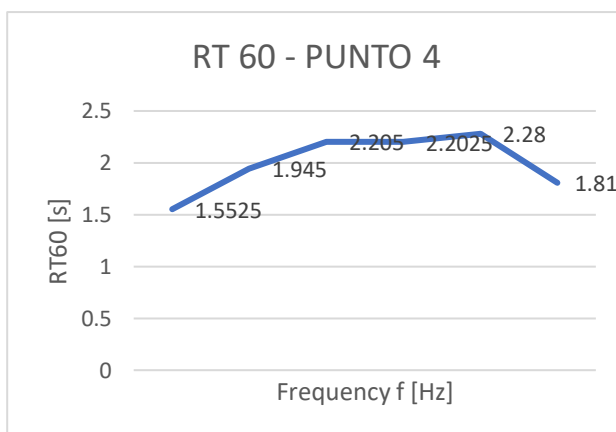
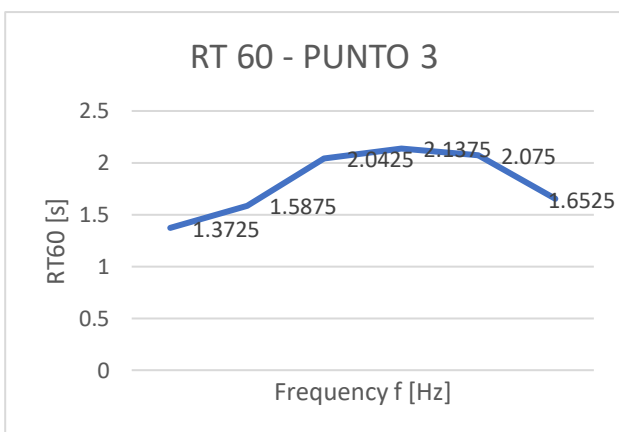
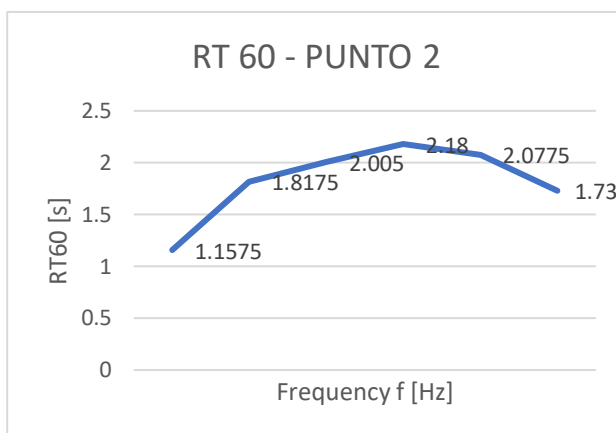
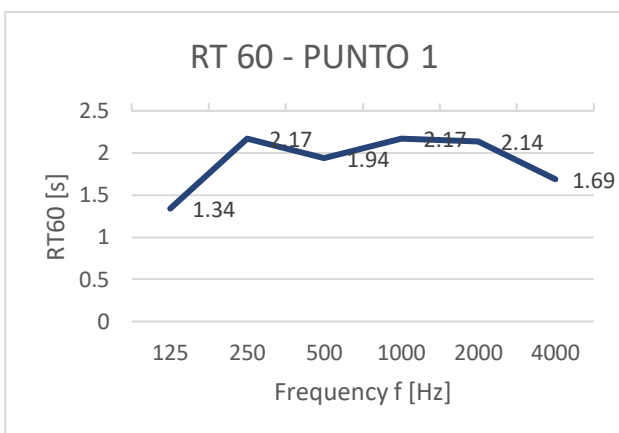
Anexo 1. Nivel de ruido recomendado y medido.

ANEXO B. Resultados RT60 medidos en Sala de música U.D.C.A.

PUNTO	MUESTRAS	125Hz	250Hz	500Hz	1000Hz	2000Hz	4000Hz
1	1	1.42	2.18	1.84	2.17	2.1	1.74
	2	1.38	2.15	1.87	2.14	2.19	1.73
	3	1.27	2.2	2.02	2.23	2.15	1.7
	4	1.32	2.18	2.03	2.17	2.12	1.61
Promedio		1.34	2.17	1.94	2.17	2.14	1.69
2	1	1.16	1.84	2.01	2.2	2.19	1.87
	2	1.16	1.83	1.99	2.19	2.17	1.78
	3	1.16	1.8	2.02	2.2	2.15	1.82
	4	1.15	1.8	2	2.13	1.8	1.45
Promedio		1.15	1.81	2.00	2.13	1.8	1.45
3	1	1.39	1.59	2.06	2.14	2.07	1.64
	2	1.38	1.6	2.05	2.14	2.04	1.62
	3	1.35	1.59	2.03	2.13	2.08	1.66
	4	1.37	1.57	2.03	2.14	2.11	1.69
Promedio		1.37	1.58	2.04	2.13	2.07	1.65
4	1	1.54	1.96	2.22	2.21	2.28	1.81
	2	1.56	1.95	2.22	2.2	2.27	1.82
	3	1.55	1.95	2.22	2.2	2.26	1.8
	4	1.56	1.93	2.16	2.2	2.31	1.81
Promedio		1.55	1.94	2.20	2.20	2.28	1.81
5	1	1.78	1.74	2.18	2.18	2.24	1.72
	2	1.57	1.6	2.01	2.19	2.07	1.75
	3	1.61	1.59	2.01	2.07	2.04	1.74
	4	1.62	1.6	2.02	2.08	2.07	1.75
Promedio		1.64	1.63	2.05	2.13	2.10	1.74

Anexo 2. Resultados RT60 en Sala.

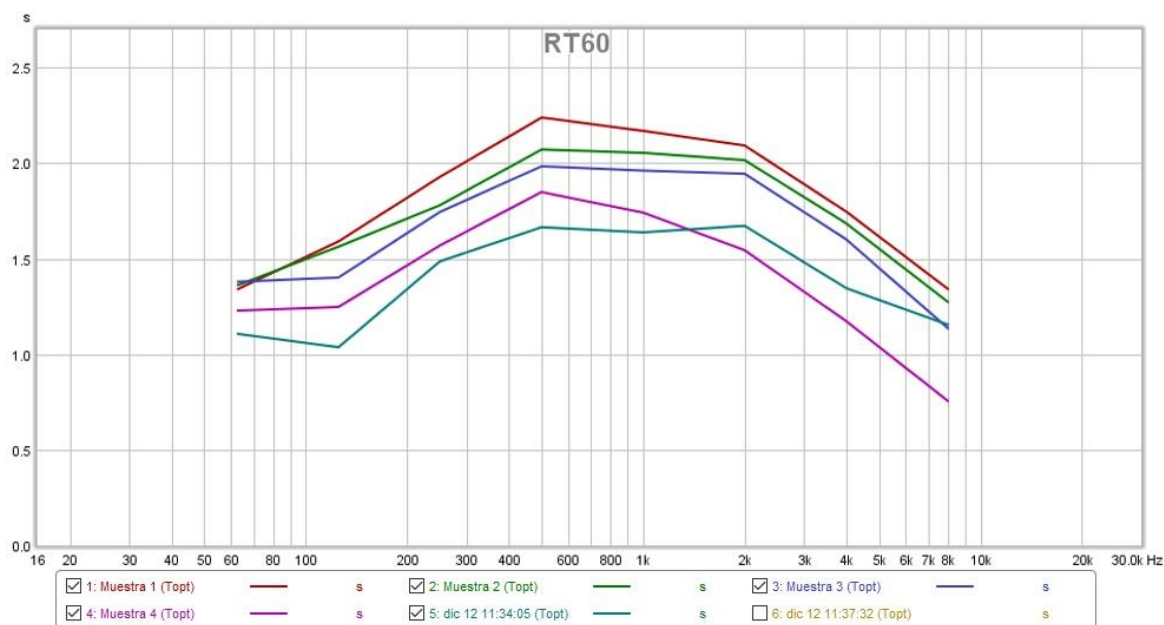
Anexo C. Promedio Rt60 Medido En Sala De Música U.D.C.A.



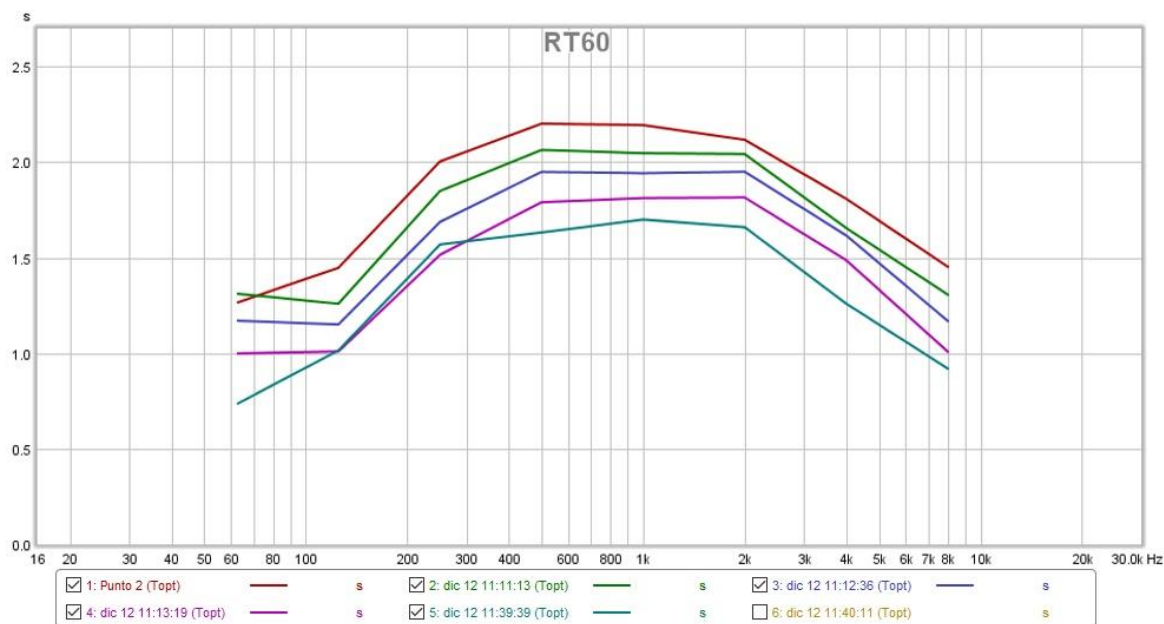
Anexo 3. Promedio RT60 puntos específicos

Anexo D. Resultados Rt60 Software

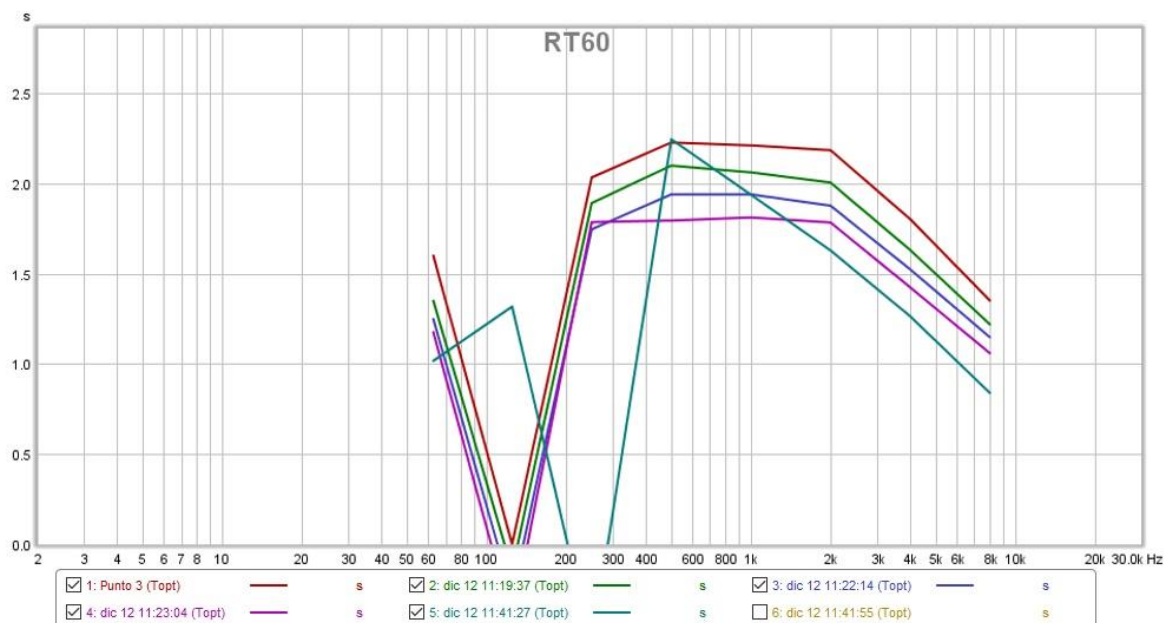
Ubicación 1



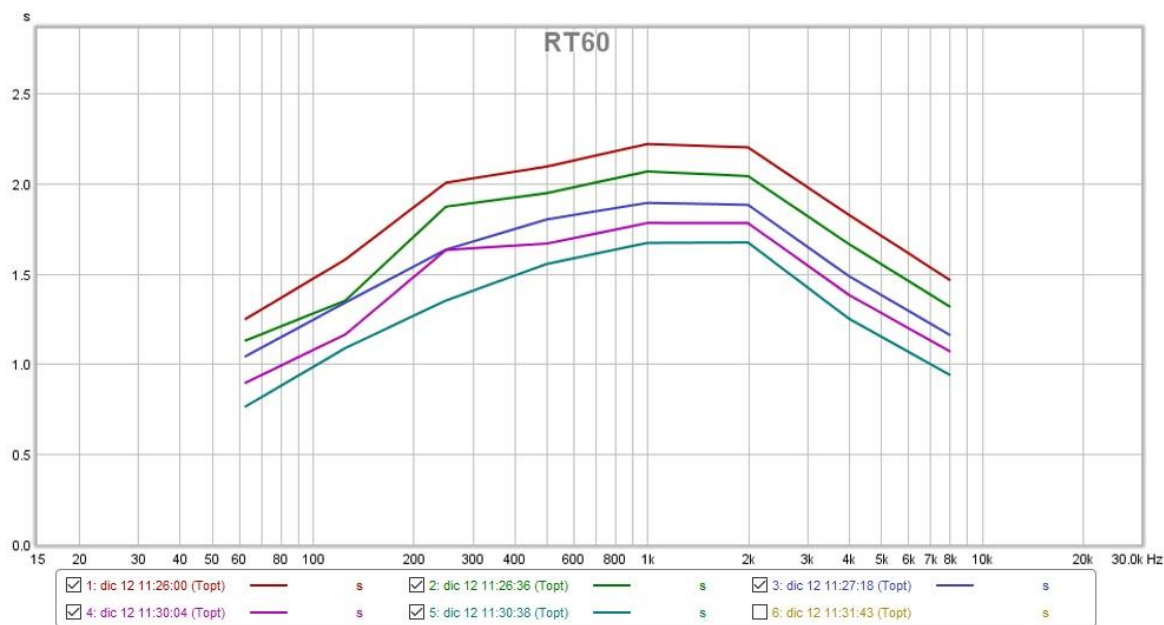
Ubicación 2



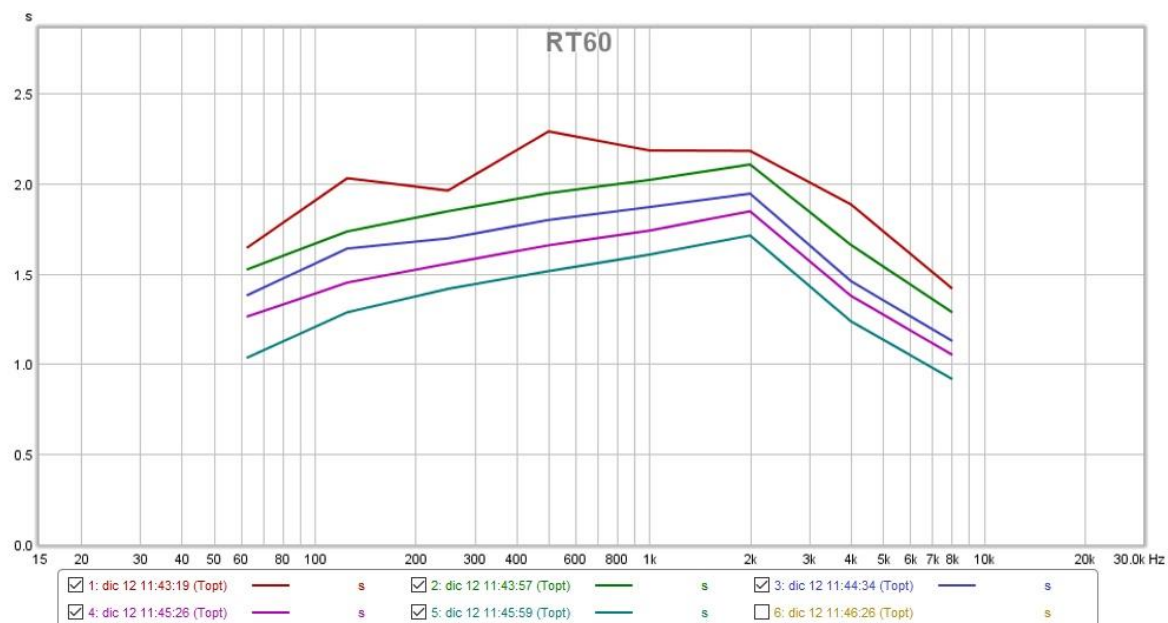
Ubicación 3



Ubicación 4



Ubicación 5



Anexo E. Micrófono De Medición *Behringer* Ecm8000

El ECM8000 es un micrófono de condensador especializado diseñado para su uso con analizadores en tiempo real, como nuestro ULTRACURVE DEQ2496, y proporciona una imagen acústica instantánea de la sala. Luego puede usar su ecualizador gráfico para ajustar el rendimiento de su sistema de sonido para que coincida perfectamente con las características de respuesta de la sala. El ECM8000 es un micrófono de medición de alta precisión y ultra asequible que debería formar parte de todo el conjunto de herramientas de un ingeniero de audio serio.

Micrófono condensador de medición ultra lineal, Perfectamente adecuado para la aplicación de ecualización de sala, además de grabación de estudio de alta resolución y aplicaciones en vivo, Respuesta de frecuencia excepcionalmente plana y resolución de sonido ultra alta, Perfecto para usar con Behringer ULTRACURVE o cualquier otro analizador.



Anexo 5. Micrófono de medición.

Anexo F Software De Medición Acústica *ROOM EQ WIZARD*

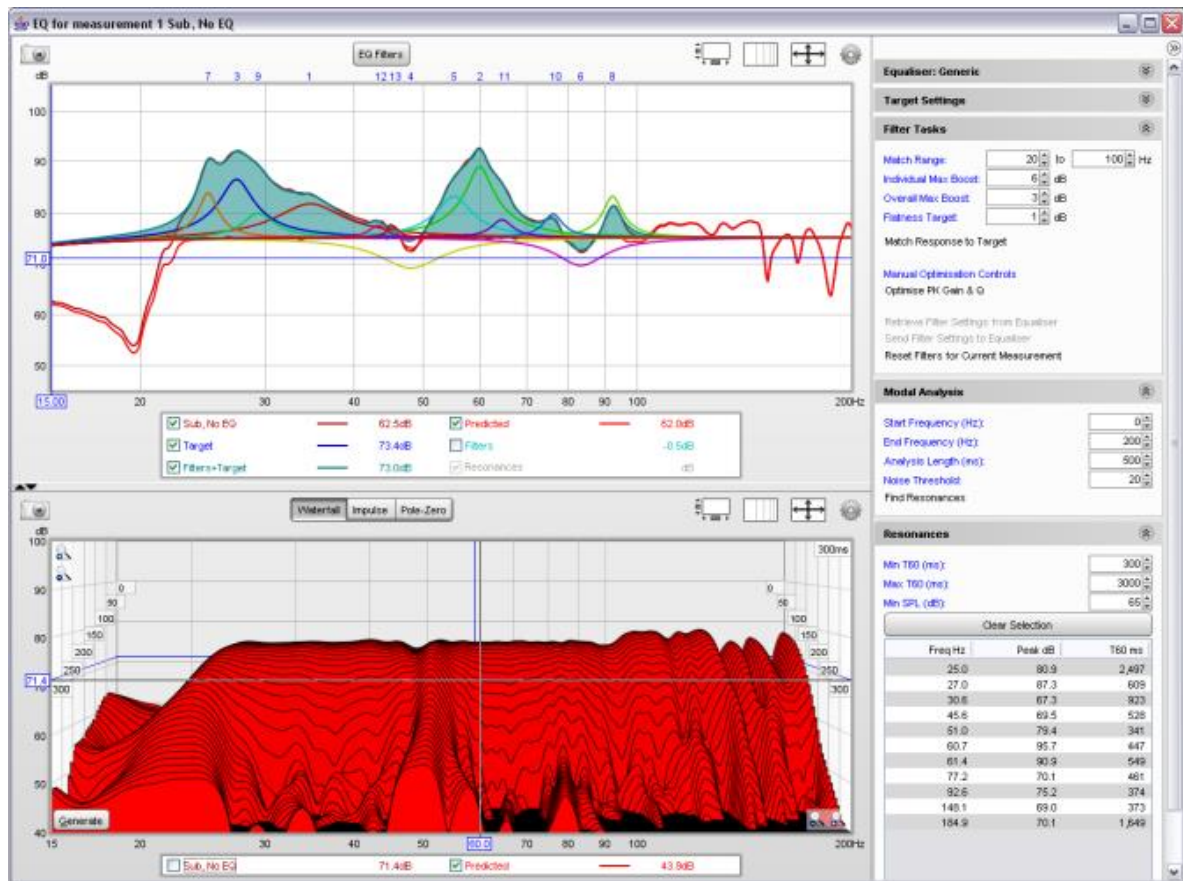
Room EQ Wizard, es un software de análisis acústico de sala para medir y analizar las respuestas de sala y altavoz. Las funciones de medición y análisis de audio de REW lo ayudan a optimizar la acústica de su sala de audición, estudio o cine en casa y encontrar las mejores ubicaciones para sus altavoces, subwoofers y posición de audición. Incluye herramientas para generar señales de prueba de audio; medición de SPL e impedancia; medición de frecuencia y respuestas de impulso; medición de distorsión; fase de generación, gráficos de retardo grupal y decaimiento espectral, cascadas, espectrogramas y curvas de energía-tiempo; generar gráficos del analizador en tiempo real (RTA); calcular tiempos de reverberación; calcular parámetros Thiele-Small; determinar las frecuencias y tiempos de decaimiento de resonancias modales; mostrar respuestas de ecualizador y ajustar automáticamente la configuración de ecualizadores paramétricos para contrarrestar los efectos de los modos de sala y ajustar las respuestas para que coincidan con una curva objetivo.

Su amplia gama de funciones permite desempeñar tareas de medición específicas como:

- Respuesta de frecuencia y medición de distorsión utilizando señales sinusoidales barridas logarítmicamente para un análisis rápido y preciso de la acústica de la sala y el rendimiento de audio.
- Opciones para usar una conexión de bucle invertido u otro altavoz como referencia de sincronización.
- Modo de medición sin conexión que permite generar respuestas a partir de grabaciones de barrido importadas.
- Respuesta de frecuencia y medición de distorsión utilizando seno escalonado a hasta 96 puntos por octava.

- Analizador en tiempo real con resolución de hasta 1/48 de octava.
- Medidor de nivel de sonido con funcionalidad de integración completa que incluye nivel de sonido equivalente y nivel de exposición al sonido; se aplicaron correcciones de calibración de micrófono / medidor y tarjeta de sonido; Ponderación A, C o Z.
- Gráficos de desintegración espectral, cascadas y espectrogramas (Fourier y wavelet).
- Respuesta al impulso, respuesta escalonada y curvas de energía-tiempo.
- Tiempos de reverberación derivados de acuerdo con ISO 3382 en bandas de octava o un tercio de octava con resultados para el tiempo de disminución temprana (EDT), T20, T30 y una figura RT60 de ajuste óptimo.
- Parámetros de claridad y definición C50, C80 y D50 más tiempo central Ts.
- La respuesta al impulso se puede mostrar con filtros de octava o un tercio de octava aplicados.
- Ventana dependiente de la frecuencia de la respuesta al impulso.
- Medición de distorsión armónica e intermodulación, incluida la fase armónica.
- Retardo de fase y grupo (medido, mínimo y en exceso).
- Fase de envoltura / desenvoltura.
- Las cascadas de resultados pronosticados de EQ se pueden ver en el panel de EQ y se pueden actualizar en vivo a medida que se ajusta la configuración del filtro.
- Análisis de resonancia de la sala para determinar las frecuencias y los tiempos de decaimiento de las resonancias modales con gráficos de polo cero de la respuesta y cualquier filtro aplicado.
- Configuración de filtro "modal" proporcionada para filtros de ecualización paramétrica para ayudar a corregir la disminución modal.

- Simulador de sala.
- Importación de respuesta de frecuencia y exportación a archivos de texto.
- Importación de respuesta de impulso desde archivos WAV o AIFF.
- Exporte las respuestas de impulso de la configuración de medición o filtro a archivos WAV con resolución de 16, 24 o 32 bits.
- Compensación por ponderación C cuando se usa un medidor SPL externo como entrada, los archivos de calibración se pueden cargar para tarjeta de sonido y micrófono o medidor SPL.



Anexo 6. Interfaz Software de medición.

Anexo G. Material De Absorción – Paneles Acústicos Fonoabsorbentes.

FICHA TÉCNICA

Página 1 de 4

ACOUSTIC CONTROL HD, ACOUSTIC BLOCK Y PHONOFLOOR HD

Aislamientos termo-acústicos de lana mineral de vidrio biosoluble en forma de láminas de alta densidad, con o sin membrana acústica. Superficie uniforme con funciones de absorción o transmisión acústica, según el ensamble, para control de ruido.



CARACTERÍSTICAS DE USO Y APLICACIÓN

Los productos especializados de la Línea Acústica han sido diseñados como sistema de control de ruido aéreo y vibración. Se desempeñan como panel acústico en particiones horizontales y verticales de cuartos de máquinas, sopladores, cuartos técnicos, cabinas de sonido, estudios de grabación, centros comerciales, instalaciones deportivas, baffles colgantes, teatros y auditorios, entre otros.

Un tratamiento acústico efectivo para el control de ruido de impacto requiere de un aislamiento que desacople la fuente de ruido (acabado de piso en recinto de emisión), del medio de propagación (la estructura del edificio), para proteger el espacio receptor.

El desempeño del tratamiento mejora cuando el aislamiento acústico tiene propiedades de amortiguamiento y resiliencia, como es el caso de la lana mineral de vidrio.

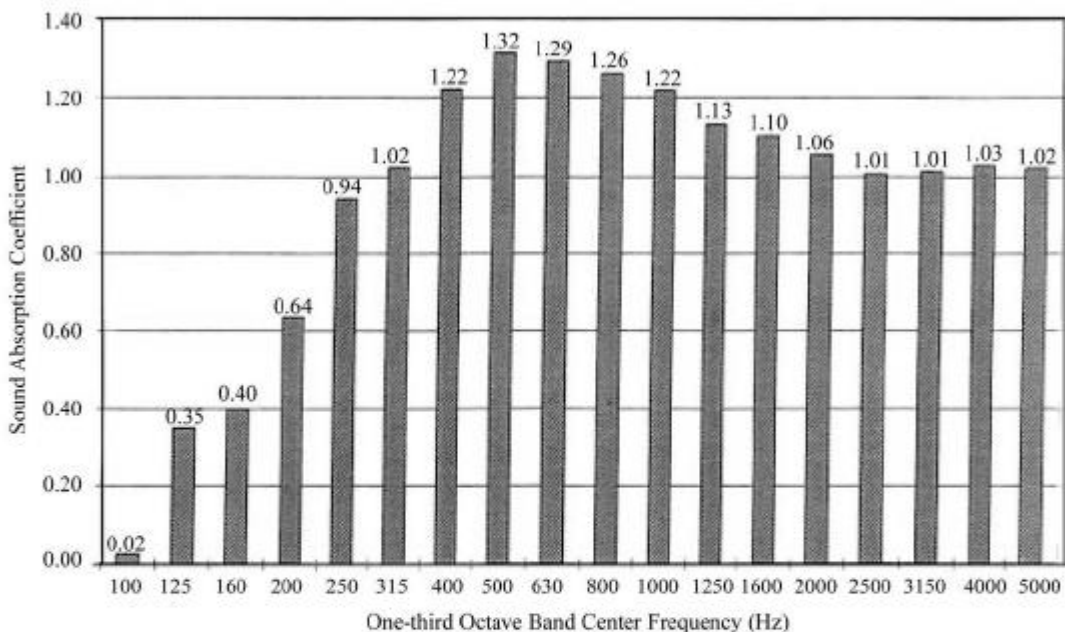
PRODUCTO	DESCRIPCIÓN	APLICACIÓN
	Formado por una lámina de fibra de vidrio rígida de alta densidad y dos capas de membrana acústica de 3 mm (una a cada lado).	Control de ruido aéreo y ruido de impacto. También para uso industrial en maquinaria. Control de frecuencias bajas y vibración; absorción de frecuencias altas.
	Formado por una lámina de fibra de vidrio rígida de alta densidad y una capa de membrana acústica de 3 mm.	Control de ruido aéreo y ruido de impacto. Uso mixto, tanto residencial como industrial. Control de frecuencias bajas; absorción de frecuencias medias y altas.
	Aislamiento acústico en forma de lámina rígida de alta densidad.	Uso residencial para control de ruido de impacto.
	Formado por una lámina de fibra de vidrio tipo acustifibra y dos capas de membrana acústica de 3 mm (una en cada lado).	Control de ruido entre muros de espacios adyacentes que requieran silencio y privacidad. Control de frecuencias bajas y medias; absorción de frecuencias altas.
	Formado por dos láminas de fibra de vidrio tipo acustifibra y una capa de membrana acústica en el centro.	Aislamiento y acondicionamiento acústico en muros y cielos. Absorción de frecuencias medias y altas; control de frecuencias bajas.

El ruido de impacto es de carácter impulsivo y se genera como consecuencia de golpe(s) sobre muros, columnas, vigas o demás elementos sólidos de una edificación.

FIBERGLASS
ISOVER
S.M. S.C.A.R.L.

Anexo H. Material Absorbente – Residuos Botellas de Plástico.

**EchoTouch
3# Density Natural Fiber Acoustic Board–Thickness 2"
AS-SA1448C; NRC 1.15**



Anexo I. Material Absorción – Paneles Eliminator de Eco de Algodón.

Echo Eliminator

Ceiling & Wall Panels






APPLICATIONS
Residential, commercial, industrial; schools, restaurants, classrooms, houses of worship, community centers, offices, conference rooms, music rooms, recording studios, theaters, public spaces, medical facilities, auditoriums, arenas/stadiums, warehouses, manufacturing plants, and more.

Acoustics and Expected Performance:
Absorbing sound and reducing echo / reverberation can be challenging. Echo Eliminator offers a high Noise Reduction Coefficient (NRC) to reduce the amount of sound within a room. One-inch thick panels are appropriate for areas where the main issue is understanding speech. Rooms with more mid-and-low frequency noise, or where music is present, benefit from using two-inch thick panels.

SIZES & OPTIONS
Standard Size: 24" x 48" (minimum quantities apply, call for details); options: 12" x 12", 24" x 24", 48" x 48", 48" x 96".
Note: All sizes are nominal and subject to manufacturing tolerances that may vary +/- 1/8".
Thickness/Density: 1" thick / 3 lb. per cubic foot (pcf); 1" thick/6 lb. pcf; 2" thick/3 lb. pcf.

COLORS
Black, graphite, light grey, marble light blue, beige, white.
Note: Echo Eliminator panels are made from recycled fiber. Although we take extensive precautions and purge the production lines between colors, due to the recycled nature of the fibers, color inconsistencies between manufacturing runs are to be expected. Typical inconsistencies can be color, shade/tint, flecks, specks, surface compression, fiber/strand size, and other light surface inconsistencies. Please call for details.

FLAMMABILITY
ASTM E84, Class A. Frame Spread: 5. Smoked Developed: 35.

INSTALLATION
Panels are most often installed directly onto the walls or ceilings with a spray/contact adhesive as well as a construction adhesive. The spray adhesive holds the panels in place while the construction adhesive is curing for a long-term hold. Panels can also be installed with hook and loop, various versions of double-sided tape, or have grommets installed and be hung on hooks. Please see our installation video: <https://www.youtube.com/watch?v=pn2IDxvEkIU>

Test Reports & Additional Information Can be Found at:
www.acousticalsurfaces.com/echo-eliminator

Superior Acoustic Properties: Comparison between Echo Eliminator and Fiberglass:

Product	Thickness	Density	MTG	125Hz	250Hz	500Hz	1KHz	2KHz	4KHz	NRC
Echo Eliminator	2"	3pcf	A	0.35	0.94	1.32	1.22	1.06	1.03	1.15
Fiberglass	2"	3pcf	A	0.17	0.86	1.14	1.07	1.02	0.98	1.00
Echo Eliminator	1"	6pcf	A	0.07	0.30	0.86	1.10	1.05	1.03	0.85
Fiberglass	1"	6pcf	A	0.02	0.27	0.63	0.85	0.93	0.95	0.65









ACOUSTICAL SURFACES, INC.

CELEBRATING 35 YEARS - SOUNDPROOFING, ACOUSTICS, NOISE & VIBRATION SPECIALISTS!

952.448.5300 • 800.448.0121 • sales@acousticalsurfaces.com • www.acousticalsurfaces.com

Anexo J. Material Absorbente – Fibra Natural

Nuevos materiales absorbentes acústicos obtenidos a partir de restos de botellas de plástico
New absorbent acoustic materials from plastic bottle remnants

4.3. Coeficientes semi-empíricos

En la Tabla 2 se observa el valor de los coeficientes semi-empíricos propuestos por diferentes autores y los propuestos por el modelo en este trabajo desarrollado sobre lanas PET. Se presentan los proporcionados por Delany&Bazley (14) para fibra de vidrio. Estos coeficientes son los que en la actualidad se toman como base para describir el comportamiento acústico de todo material fibroso (18). También se pueden observar los coeficientes propuestos por Garai&Pompoli (15) para fibras de poliéster.

4.3. Semi-empirical coefficients

In Table 2 it is observed the value of the semi-empirical coefficients proposed by different authors and those proposed by the model developed about PET wool in this work. The models by Delany&Bazley (14) for glass fibre are also presented. These coefficients are those which are currently taken as a basis to describe the acoustic behaviour of all fibrous material (18). We can also observe the coefficients proposed by Garai&Pompoli (15) for polyester fibres.

Tabla 2 / Table 2

Valores de los ocho coeficientes que se han obtenido para el PET, comparados con los valores obtenidos por Delany&Bazley y Pompoli&Garai.
Values of the eight coefficients were obtained for kenaf compared with values obtained by Delany and Bazley & Pompoli & Garai.

Modelo / Model	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
Delany&Bazley	0.057	0.754	0.087	0.732	0.189	0.995	0.098	0.700
Garai&Pompoli	0.078	0.623	0.074	0.660	0.159	0.571	0.121	0.530
PET	0.078	0.648	0.082	0.602	0.156	0.629	0.108	0.506

En las Figuras 9, 10 y 11 podemos observar valores del coeficiente de absorción en incidencia normal medido y valores predichos utilizando el modelo que describe las lanas de poliéster, modelo de Garai&Pompoli y el modelo en este trabajo expuesto que define el comportamiento acústico de las lanas de reciclado de PET. Estas figuras muestran valores para muestras de 4 cm de espesor y 1200, 1000 y 400 g/m² de densidad superficial, respectivamente.

In Figures 9, 10 and 11 we can see the values of the measured absorption coefficient in normal incidence and predicted values using the model that describes the polyester wool, Garai&Pompoli model and the model in the present work that defines the acoustic behaviour of the PET recycled wool. These figures show the values of samples of 4cm of thickness and 1200, 1000 and 400 g/m² of superficial density, respectively.

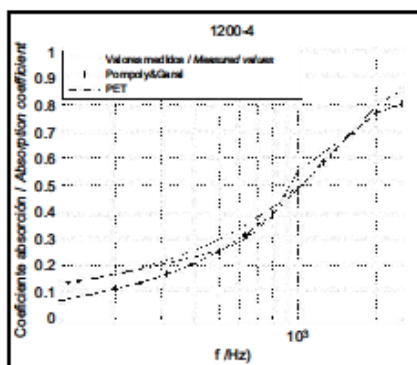


Figura 9. Coeficiente de absorción en incidencia normal; comparación entre valores medidos y valores predichos por diferentes modelos.

Figure 9. Absorption coefficient in normal incidence, comparison between measured and predicted values by different models.

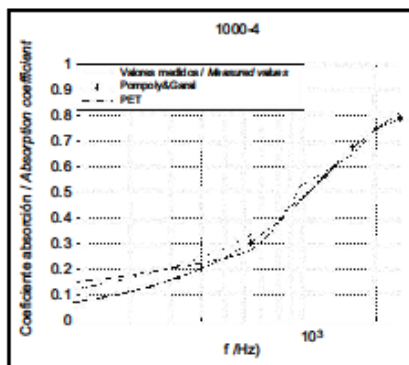


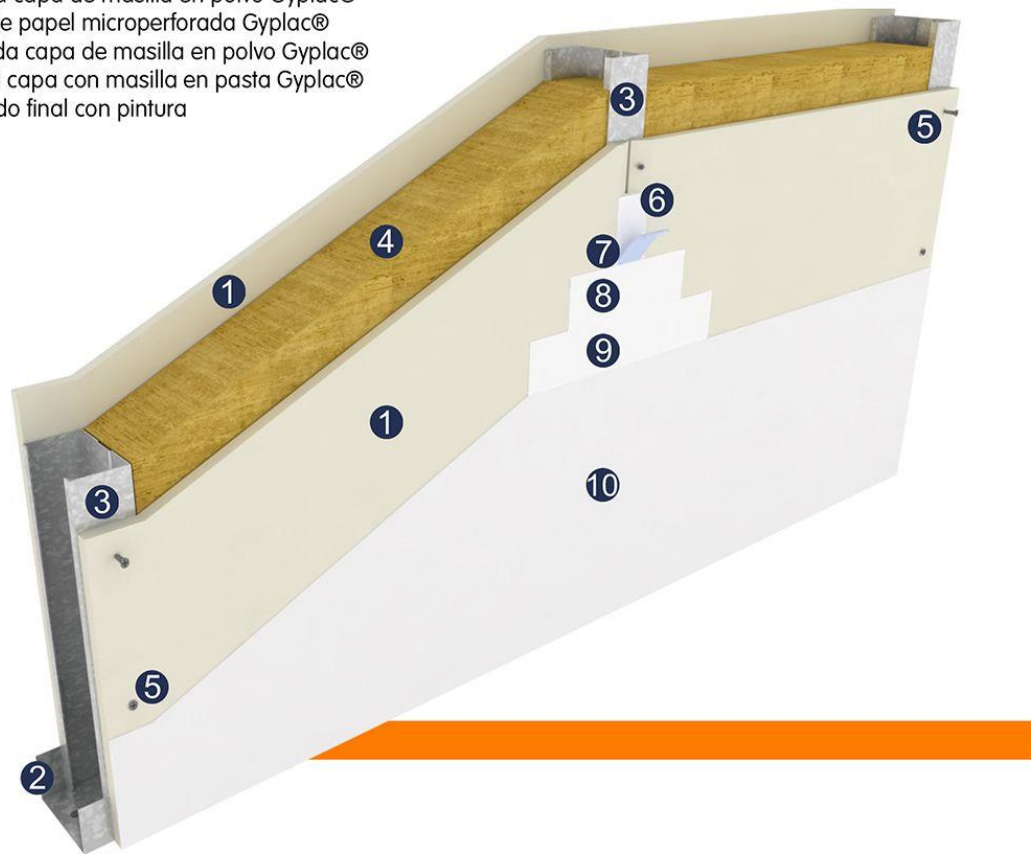
Figura 10. Coeficiente de absorción en incidencia normal; comparación entre valores medidos y valores predichos por diferentes modelos.

Figure 10. Absorption coefficient in normal incidence, comparison between measured and predicted values by different models.

Anexo K. Sistema - Constructivo en Drywall

Descripción del Sistema

1. Placas de yeso Gyplac® St 12.7 mm
2. Perfil Canal Base 90 mm, e=0,55 mm
3. Perfil Paral base 89 mm @ 610 mm, e=0,55 mm
4. Lana de fibra de vidrio Gyplac® de 3.5" 10 kg/m³
5. Tornillería
6. Primera capa de masilla en polvo Gyplac®
7. Cinta de papel microperforada Gyplac®
8. Segunda capa de masilla en polvo Gyplac®
9. Tercera capa con masilla en pasta Gyplac®
10. Acabado final con pintura



Anexo 11. Sistema constructivo en Drywall

Anexo L. Tabla de índices de reducción de ruido RW Panel

TABLAS DE INDICE DE REDUCCION SONORA

TIPO	N°	DESCRIPCION DEL ELEMENTO CONSTRUCTIVO	mm	kg/m ²	Rw	125	250	500	1000	2000	4000	
CORTINA AISL	1	Corina de vinilo + plomo	2.0	4.9	26	15	19	21	28	33	37	
	2	Corina de vinilo + plomo	3.0	7.3	30	22	23	25	31	35	42	
CUBIERTA	3	Lámina de fibrocemento ondulado, rigidizado y sellado	6.0	10.0	33	25	30	33	33	38	39	
ENCAPSULAM.	4	Paneles chapa Nº 16 + 100 mm lana vidrio	100.0	25.0	43	21	27	38	48	58	67	
	6	Paneles chapa Nº 16 + 100 mm lana vidrio + chapa Nº 22 perforada	100.0	25.0	46	27	31	41	51	60	65	
LAMINA	10	Lámina de acero galvanizado Nº 22	0.7	6.0	20	8	14	20	23	26	27	
	9	Lámina de aluminio Nº 20, rigidizada	0.9	2.5	16	11	10	10	18	23	25	
	24	Lámina de acero galvanizado Nº 20	0.9	7.0	23	8	14	20	26	32	38	
	251	Lámina de acero galvanizado Nº 18	1.2	10.0	26	13	20	24	29	33	39	
	7	Lámina de plomo 1,5 mm	1.5	17.0	32	28	32	33	32	33	33	
	20	Lámina de acero galvanizado Nº 16	1.6	13.0	29	14	21	27	32	37	43	
	14	Compensado 6 mm	6.0	3.5	22	17	15	20	24	28	27	
	26	Compensado 8 mm	8.0	5.0	22	15	21	21	26	28	22	
	16	Bandwich: lámina de plomo 1,5 mm entre 2 compensados de 5 mm	11.5	25.0	36	26	30	34	38	42	44	
	17	Bandwich: placa de asbesto 9 mm entre 2 chapas Nº 18	12.0	37.0	31	22	27	31	27	37	44	
	15	Compensado 18 mm	18.0	10.0	26	24	22	27	28	25	27	
	LOSA	43	Hormigón armado 100 mm	100.0	263.0	49	37	36	45	52	59	67
		42	Hormigón armado con huecos 150 mm	150.00	220.0	48	33	37	43	51	57	60
		45	Hormigón armado 150 mm	150.00	366.0	55	38	43	51	59	67	69
		34	Hormigón armado 125 mm + losa flotante	190.00	420.0	51	38	43	48	54	61	63
46		Hormigón armado 200 mm	200.00	464.0	58	42	48	55	58	63	67	
44		Hormigón armado con huecos 200 mm, 278 kg/m ² + moqueta 1.9 + bajoalfombra fieltro de pelo 1.4 kg/m ²	214.00	281.0	50	34	39	46	53	59	64	
LOSA FLOTANTE	48	Hormigón armado 150 mm + fibravitrío rígida 25 + losa flotante hormigón 40	200.00	458.0	62	47	51	58	67	73	81	
MAMPOSTERIA	79	Ladrillo espejo macizo, ambas caras revocadas	80.0	133.0	39	32	35	32	42	52		
	57	Bloque hormigón 100	100.00	145.0	44	32	37	39	44	49	55	
	64	Ladrillo (1/2) macizo visto	115.0	190.0	37	30	36	37	37	37	43	
	75	Ladrillo macizo con orificios, ambas caras revocadas	125.0	145.0	44	27	33	40	50	57	56	
	74	Ladrillo tabicón doble revocado en ambas caras	130.0	115.0	42	31	31	38	47	50	58	
	76	Ladrillo (1/2) macizo, ambas caras revocadas	145.0	250.0	47	36	37	40	46	54	57	
	58	Bloque de hormigón 150, pintado	150.0	195.0	45	30	34	41	48	56	55	
	60	Bloque de hormigón 200, pintado	200.0	245.0	53	37	46	48	54	59	60	
	81	Ladrillo entero 9" macizo, ambas caras revocadas	259.0	440.0	54	41	45	48	56	62	69	
	55	Muro de piedra	300.0	990.0	59	47	51	57	61	67	71	
	69	Doble ladrillo 115 + 50 + 115 mm, trabas "mariposa", revocado en ambas caras	305.0	440.0	51	38	42	51	59	63		
	PANEL	142	Paneles de madera maciza (caoba)	5.0	25.0	29	19	23	25	30	37	42

Transcripción por:
Arq. Beatriz BEZON

1
Catedra Acond. Acústico
Rw Calculado por: Arq. Ricardo ESTELLES DIAZ

Ilustración 38 Sistema de aislamiento techo

Anexo M. Tabla de índices de reducción de ruido RW Ventana

TABLAS DE INDICE DE REDUCCION SONORA

TIPO	Nº	DESCRIPCION DEL ELEMENTO CONSTRUCTIVO	mm	kg/m2	Rw	125	250	500	1000	2000	4000
	211	Vidrio simple 13 mm, sellada	13.0	30.0	36	30	33	38	32	40	50
	212	Vidrio laminado, sandwich 2 x 6 mm con alma de plástico ,75 mm, sellada	13.5	32.0	38	29	33	36	37	41	51
	178	Vidrio simple 16 mm en marco pesado	16.0	40.0	33	25	28	33	30	38	45
VENTANA	218	Vidrio doble 3 + 13 + 6 mm	22.0	24.0	37	29	25	33	42	42	41
	208	Vidrio simple 25 mm, en estructura sólida	25.0	62.5	35	27	31	30	33	43	48
	230	Vidrio doble 6 + 13 + 6 mm	25.5	30.0	36	29	27	36	43	36	42
	214	Vidrio doble 3 + 13 + 3 mm	28.0	18.0	31	24	19	29	40	45	35
	215	Vidrio doble 3 + 25 + 3 mm	31.0	18.0	35	25	20	34	41	46	35
	219	Vidrio doble 3 + 25 + 6 mm	34.0	24.0	39	24	26	37	42	42	46
	231	Vidrio doble 6 + 25 + 6 mm	38.0	30.0	39	24	32	37	43	37	47
	217	Vidrio doble 3 + 50 + 3 mm	56.0	18.0	39	18	26	38	43	48	35
	220	Vidrio doble 3 + 50 + 6 mm	59.0	24.0	42	26	32	40	45	45	48
	232	Vidrio doble 6 + 50 + 6 mm	63.0	30.0	42	27	32	37	45	42	51
	218	Vidrio doble 3 + 75 + 3 mm	81.0	18.0	42	25	28	40	44	50	38
	222	Vidrio doble 3 + 75 + 6 mm	84.0	24.0	44	25	36	40	46	48	48
	233	Vidrio doble 6 + 75 + 6 mm	88.0	30.0	44	28	38	41	47	43	48
	221	Vidrio doble 3 + 100 + 3 mm	106.0	18.0	43	25	31	41	45	49	39
	223	Vidrio doble 3 + 100 + 3 mm, absorción perimetral	106.0	18.0	44	26	32	42	47	52	47
	228	Vidrio doble 3 + 100 + 6 mm	109.0	24.0	44	29	35	44	46	47	50
	227	Vidrio doble 3 + 100 + 6 mm, absorción perimetral	109.0	24.0	45	28	34	44	47	50	53
	234	Vidrio doble 6 + 100 + 6 mm, absorción perimetral	113.0	30.0	46	28	35	45	47	48	54
	189	Doble vidrio: 6 + 100 + 8 mm	115.0	35.0	49	35	47	53	55	50	55
	208	Laminado doble, sin sellar, operable: L1=(13 + 1.5 + 6) + 100 + L2 =(6 + 0.75 + 6)	134.0	80.0	50	42	42	50	49	55	64
	224	Vidrio doble 3 + 150 + 3 mm	156.0	18.0	45	28	34	43	47	53	40
	225	Vidrio doble 3 + 150 + 3 mm, marcos independientes	156.0	18.0	45	27	34	44	47	52	40
	229	Vidrio doble 3 + 150 + 6 mm, marcos independientes	159.0	24.0	47	27	39	45	49	51	51
	235	Vidrio doble 3 + 150 + 6 mm	163.0	30.0	46	24	40	45	49	45	54
	207	Vidrio doble 6 + 150 + 6 mm, marcos independientes	163.0	30.0	47	26	40	46	49	46	54
	197	Doble vidrio: 4 + 200 + 4 mm, absorción perimetral	208.0	20.0	40	29	35	43	46	45	
	237	Doble ventana: 4 + 200 + 4 mm, absorción perimetral, sellada	208.0	20.0	41	30	35	43	46	47	
	185	Doble ventana en marcos separados: 6 + 200 + 9; absorción perimetral	215.0	38.0	53	36	45	58	59	55	66
VIDRIO	239	Ladrillos de vidrio	200.0	510.0	42	30	35	40	49	49	43

Transcripción por:
Arq. Beatriz BEZON

4
Catedra Acond. Acústico
Rw Calculado por: Arq. Ricardo ESTELLES DIAZ

Ilustración 39 Sistema de aislamiento Ventana

Glosario

ABSORCIÓN: EL sonido se absorbe por diferentes mecanismos, siendo el más importante la conversión de la energía acústica en calor por disipación viso-térmica.

ACONDICIONAMIENTO ACÚSTICO: Diseño acústico de cualquier tipo de recinto, una vez fijado su volumen y definida sus formas, radica en primer lugar en la elección de los materiales más adecuados para utilizar como revestimientos del mismo con objeto de obtener unos tiempos de reverberación óptimos.

ACÚSTICA: Saber o ciencia sobre generación y propagación del sonido.

ACÚSTICA ARQUITECTÓNICA: Estudia los fenómenos vinculados con la propagación adecuada, fiel funcional del sonido de un recinto, ya sea una sala de concierto o un estudio de grabación.

ALCons: Perdida de articulación de las consonantes (en porcentaje). Medida de la inteligibilidad del habla en una habitación. En una buena habitación, el nivel ALcons debe ser inferior a 10%.

ALTAVOZ: Es un transductor que transforma la electricidad en sonidos. También llamado parlante.

ANCHO DE BANDA: Distancia entre las frecuencias de corte de 3dB en una curva de respuesta. Se expresa en octavas o en Hz.

ATENUACIÓN: Atenuación de la potencia de la señal.

AUDIO: Parte de la técnica de sonido que se ocupa del registro del audio y de su reproducción.

BANDAS CRÍTICAS: En la percepción auditiva, se llama banda crítica al espectro de frecuencia dentro de una banda estrecha que puede ocultar un tono determinado. Las bandas

críticas varían con frecuencia, pero están normalmente entre $1/6$ y $1/3$ de octava. Las orejas funcionan como un juego de filtros en paralelo, cada uno con un ancho de banda.

BEL: (B), Unidad de medición de la relación logarítmica entre niveles. 1 bel=10dB.

CAMPO DIFUSO: Un campo sonoro en el que todas las direcciones del sonido son igualmente probables. Aparece fuera de la distancia crítica, que es la distancia desde la fuente de sonido en donde el nivel acústico está determinado por el sonido reflejado.

CAMPO LEJANO: Un tan lejos de la fuente de sonido que la ley del cuadrado inverso se aplica (cuando la fuente de sonido desde el punto de vista es muy pequeña).

CAMPO LIBRE: Un campo sonoro que no se ve perturbado por reflexiones.

COEFICIENTE DE ABSORCIÓN: Se define la *impedancia acústica* específica como el cociente entre la presión acústica y la velocidad de las partículas.

CURVA DE REVERBERACIÓN: Dependencia de la frecuencia en la respuesta de reverberación, ya sea en saltos de $1/1$ o de $1/3$ de octava.

DECAY: desintegración, el “*decay*” de un sonido o tiempo de decaimiento es el tiempo de extinción.

DIFRACCIÓN: Flexión de las ondas sonoras debido a los obstáculos en el campo de sonido, como una barrera contra el ruido.

DIFUSIÓN: El campo de sonido no tiene información direccional y el sonido se transmite al azar en el espacio.

DIFUSOR: Un elemento físico que puede romper y dispersar el sonido que incide en su superficie.

DISTANCIA CRÍTICA: D_c , En una habitación, la distancia en la que la parte del sonido directo y la del sonido reverberante son iguales.

ECO: Pulso de sonido producido por la reflexión con una determinada fuerza y tiempo de retraso después del sonido directo y que se percibe como una repetición de este.

FRECUENCIA: Numero de oscilaciones por segundo. El valor reciproco del periodo. Se expresa en Hercios (Hz).

FUENTE: El elemento generador de sonido se denomina fuente sonora (tambor, cuerda de violín, cuerdas vocales, etc.). La generación del sonido tiene lugar cuando dicha fuente entra en vibración

HERTZ: Unidad de medida de la frecuencia.

INFRASONIDO: Sonido por debajo de la gama de frecuencias audibles, es decir, por debajo de 20 Hz.

ISO: *International Standardisation Organisation*, Organización Internacional de Normalización.

LONGITUD DE ONDA: Es la distancia entre dos crestas consecutivas del grafico que representa el movimiento ondulatorio.

OCTAVA: El intervalo entre dos tonos con una relación de frecuencia de 2 a 1, El intervalo musical base.

MATERIALES ABSORBENTES: La absorción que sufren las ondas cuando inciden sobre los distintos materiales absorbentes utilizados como revestimientos de las superficies del recinto, así como su dependencia en función de la frecuencia, varían considerablemente de un material a otro.

PONDERACIÓN A: En la medición acústica y eléctrica, intercalación de un filtro llamado A, con el que (aproximadamente) se obtendrá una respuesta en frecuencia como la del oído humano (por lo general, con una menor sensibilidad de bajos).

RECICLAJE: El reciclaje es el proceso de recolectar y procesar materiales que de otro modo se tirarían a la basura y convertirlos en nuevos productos. El reciclaje puede beneficiar a su comunidad y al medio ambiente.

REFLEXIONES: Reflejos que se producen cuando una onda acústica choca con una superficie dura.

RESPUESTA EN FRECUENCIA: Figura que muestra la relación entre amplitud y la frecuencia, por ejemplo, en un amplificador.

RT60: El tiempo de reverberación definido como el tiempo que tarda el nivel acústico en caer 60dB después de que se haya apagado la fuente. En las mediciones se utiliza a menudo solo una parte del decaimiento; T20: el tiempo de reverberación calculado desde -5 a -25dB de decaimiento. T30: el tiempo calculado desde -5 a -35dB de decaimiento.

RUIDO DE FONDO: Designación del ruido (a menudo de banda ancha), que está acústicamente presente en una sala o eléctricamente en un medio de almacenamiento.

RW: Índice ponderado de reducción de ruido, describe la capacidad de los sistemas constructivos como muros, pisos, cubiertas, puertas o ventanas de minimizar la transmisión de ruido de un área a otra.

SABINE: Fórmula clásica por excelencia, y aceptada como referencia a nivel internacional por su sencillez de cálculo, es la denominada fórmula de Sabine.

SONÓMETRO: El sonómetro mide exclusivamente niveles de presión sonora. Su unidad de procesamiento permite realizar medidas globales, o bien por bandas de frecuencias, con diferentes respuestas temporales (respuestas “*fast*”, “*slow*”, “*Impulse*” o “*peak*”).

TIEMPO DE REVERBERACIÓN: Requisito básico para conseguir un buen confort acústico y una correcta inteligibilidad de la palabra es que el nivel de campo reverberante L_R sea suficientemente bajo.

VELOCIDAD DE PROPAGACIÓN: Es una función de la elasticidad y densidad del medio de propagación. Debido a que, en el aire, ambas magnitudes dependen de la presión atmosférica estática P_0 y de la temperatura.