UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

INFORME FINAL DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN CURRICULAR, PROTECTO DE INVESTIGACIÓN

TEMA:

"ANÁLISIS Y PROPUESTA DE MEJORA ACÚSTICA EN EL AUDITORIO DE POSGRADO DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE"

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero en Telecomunicaciones

Línea de investigación: Acústica, Reverberación, Cobertura del Sonido, Claridad Auditiva, Simulación, Propagación de onda

AUTOR:
Guacán Chiles Erick Sebastián

DIRECTOR:
Ing. Michilena Calderón Jaime Roberto, Msc

Ibarra, 2025

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

La Universidad Técnica del Norte dentro del proyecto Repositorio Digital Institucional, determinó la necesidad de disponer de textos completos en formato digital con la finalidad de apoyar los procesos de investigación, docencia y extensión de la Universidad.

Por medio del presente documento dejo sentada mi voluntad de participar en este proyecto, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	1005240344		
APELLIDOS Y NOMBRES:	GUACAN CHILES ERICK SEBASTIÁN		
DIRECCIÓN:	GUAYAS Y 13 DE ABRIL 1-1535		
EMAIL:	esguacanc@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO:	062-546830	**TELF. MOVIL**	0983646966

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	ANÁLISIS Y PROPUESTA DE MEJORA ACÚSTICA EN EL AUDITORIO DE POSGRADO DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
AUTOR (ES):	GUACAN CHILES ERICK SEBASTIÁN
FECHA: AAAAMMDD	2023/11/27
SOLO PARA TRABAJOS DE INTEGRACIÓN CURRICULAR	
CARRERA/PROGRAMA:	■ **GRADO** □ **POSGRADO**
TITULO POR EL QUE OPTA:	INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES
DIRECTOR:	JAIME ROBERTO MICHILENA CALDERÓN

AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD

Yo, ERICK SEBASTIÁN GUACÁN CHILES, con cédula de identidad Nro. 105240344, en calidad de autor (es) y titular (es) de los derechos patrimoniales de la obra o trabajo de integración curricular descrito anteriormente, hago entrega del ejemplar respectivo en formato digital y autorizo a la Universidad Técnica del Norte, la publicación de la obra en el Repositorio Digital Institucional y uso del archivo digital en la Biblioteca de la Universidad con fines académicos, para ampliar la disponibilidad del material y como apoyo a la educación, investigación y extensión; en concordancia con la Ley de Educación Superior Artículo 144.

Ibarra, a los 26 días del mes de febrero de 2025

EL AUTOR:

.....

Erick Sebastián Guacán Chiles

CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 26 días del mes de febrero de 2025

EL AUTOR:

.....

Erick Sebastián Guacán Chiles

CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Ibarra, 25 de febrero de 2025

ING. MICHILENA CALDERÓN JAIME ROBERTO. MSC

DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

CERTIFICA:

Haber revisado el presente informe final del trabajo de Integración Curricular, el mismo que se ajusta a las normas vigentes de la Universidad Técnica del Norte; en consecuencia, autorizo su presentación para los fines legales pertinentes.

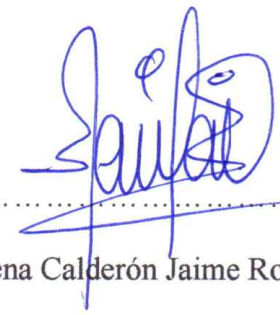
... ...

ING. MICHILENA CALDERÓN JAIME ROBERTO. MSC

C.C.: 1002198438

APROBACIÓN DEL COMITÉ CALIFICADOR

El Comité Calificado del trabajo de Integración Curricular "ANÁLISIS Y PROPUESTA DE MEJORA ACÚSTICA EN EL AUDITORIO DE POSGRADO DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE" elaborado por GUACAN CHILES ERICK SEBASTIAN, previo a la obtención del título de INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES, aprueba el presente informe de investigación en nombre de la Universidad Técnica del Norte:



Ing. Michilena Calderón Jaime Roberto. Msc

C.C.: 1002198438

Ing. Cuzme Rodríguez Fabián Geovanny. Msc

C.C.: 1311527012

DEDICATORIA

Quiero dedicar este trabajo a mi madre María, a mi tía Alba y familiares que estuvieron presentes, quienes con su apoyo incondicional han sido fundamentales en mi camino. Agradezco también a mis amigos, por acompañarme y alentarme en cada paso, ya que su compañía ha enriquecido este recorrido

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradezco a Dios por guiarme y poner en mi vida a personas fundamentales en este camino.

Agradezco a mi familia, por su sacrificio, apoyo y valiosos consejos, y a mis amigos, por su constante compañía y ánimo.

Expreso mi profundo agradecimiento al Ing. Jaime Michilena, mi tutor, y al Ing. Fabián Cuzme, mi asesor, por compartir sus conocimientos, orientarme y dedicar su tiempo a mi formación académica; así mismo, reconozco la valiosa contribución del Ing. Marco Gordillo, mi antiguo tutor, cuya guía marcó el inicio de este trayecto.

Cada uno de ustedes ha enriquecido mi camino hacia este logro.

RESUMEN

El presente estudio, titulado "Análisis y Propuesta de Mejora Acústica en el Auditorio de Posgrado de la Universidad Técnica del Norte", aborda los problemas de alta reverberación, mala distribución del sonido y baja claridad que afectan la experiencia auditiva en el auditorio. El objetivo general es desarrollar e implantar soluciones efectivas para optimizar las condiciones acústicas, beneficiando a estudiantes, profesores y la comunidad en general. La metodología implementada consta de tres fases. En la primera fase, se definieron técnicas y buenas prácticas para abordar los problemas identificados. En la segunda fase, se realizaron mediciones acústicas iniciales utilizando una grabadora y parámetros como la reverberación, dSPL, tSPL y C50, seguidas de la simulación de propuestas de mejora. Finalmente, en la tercera fase, se evaluaron los costos y el cronograma de implementación, seleccionando la solución más adecuada. Los resultados indican que la instalación de paneles absorbentes en paredes y techo, la reubicación de los parlantes y la implementación de un sistema de sonido avanzado reducirán significativamente la reverberación, mejorarán la cobertura del sonido y aumentarán la claridad auditiva. La propuesta tiene un costo estimado de $12,754.86 y un tiempo de ejecución de 34 días laborables. Las mejoras propuestas no solo solucionarán los problemas identificados, sino que también proporcionarán un entorno acústico óptimo para conferencias, presentaciones y eventos culturales, beneficiando a estudiantes, profesores, personal administrativo y la comunidad en general.

Palabras clave: Acústica, Reverberación, Cobertura del Sonido, Claridad Auditiva, Simulación, Propagación de onda.

ABSTRACT

The present study, entitled “Analysis and Proposal for Acoustic Improvement in the Graduate Auditorium of the Universidad Técnica del Norte,” addresses the problems of high reverberation, poor sound distribution and low clarity that affect the auditory experience in the auditorium. The overall objective is to develop and implement effective solutions to optimize acoustic conditions, benefiting students, professors and the community in general. The implemented methodology consists of three phases. In the first phase, techniques and best practices were defined to address the problems identified. In the second phase, initial acoustic measurements were made using a recorder and parameters such as reverberation, dSPL, tSPL and C50, followed by the simulation of improvement proposals. Finally, in the third phase, costs and implementation schedule were evaluated and the most appropriate solution was selected. The results indicate that the installation of absorptive wall and ceiling panels, relocation of the speakers, and implementation of an advanced sound system will significantly reduce reverberation, improve sound coverage, and increase auditory clarity. The proposal has an estimated cost of $12,754.86 and an estimated completion time of 34 working days. The proposed improvements will not only address the identified problems but will also provide an optimal acoustical environment for conferences, presentations and cult events.

Keywords: Acoustics, Reverberation, Sound Coverage, Auditory Clarity, Simulation, Wave Propagation.

GLOSARIO DE SIGLAS

UTN:	Universidad Técnica del Norte
ISO 3382-2:	Norma internacional que establece los métodos para la medición de parámetros acústicos en espacios cerrados
RT:	Tiempo de reverberación del sonido
SPL:	(Sound Pressure Level) Nivel de presión sonora
EDT:	Tiempo de decaimiento temprano
dB:	decibelio
Hz:	Hercio, hertzio o Hertz
ISO:	(International Organization for Standardization) Organización internacional de estandarizaciones
kHz:	KiloHercio (1000 Hz)
MHz	MegaHercio (1000000 Hz)
C50	Claridad en los primeros 50 milisegundos (Índice de Claridad del Habla)
C80	Claridad en los primeros 80 milisegundos (Índice de Claridad Musical)
(P)	Producción de sonido
(R)	Reproducción de sonido
(Mu)	Música
(Si)	Canto

(Sp)	Discurso
(MI)	Instrumento musical
(Hu)	Humano
(LS)	Altavoz (refuerzo de sonido)
(Mi)	Micrófono
$\boldsymbol{A}$	Amplitud
$\boldsymbol{f}$	Frecuencia
$\boldsymbol{\lambda}$	Longitud de onda
V_p	Velocidad de propagación de la onda
$\boldsymbol{T}$	Periodo
E_i	Energía de onda incidente
E_r	Energía de onda reflejada
α_s	Coeficiente de absorción
IEC	(International Electrotechnical Commission) es un conjunto de estándares internacionales para todas las tecnologías eléctricas, electrónicas y relacionadas.
Reverberación	Fenómeno acústico en el que el sonido persiste en un espacio cerrado debido a múltiples reflexiones de las ondas sonoras en las superficies del entorno, prolongando la duración

Claridad	Medida acústica que evalúa la relación entre la energía sonora temprana y tardía en un espacio, indicando cómo de claro y entendible es el sonido

INDICE DE CONTENIDOS

GLOSARIO DE SIGLAS 11

INDICE DE CONTENIDOS 14

INDICE DE FIGURAS 17

INDICE DE TABLAS 21

Capítulo I 23

1.1 Problema 23

1.2 Objetivos 24

1.2.1 Objetivo General 24

1.2.2 Objetivos Específicos 24

1.3 Alcance 25

1.4 Justificación 27

Capitulo II 30

2.1 Propagación de ondas sonoras 30

2.1.1 La onda sonora 31

2.1.2 Fenómeno de absorción del sonido 34

2.1.3 Fenómeno de reflexión y refracción del sonido 36

2.1.4 Fenómeno de difracción 37

2.2 Acústica 38

2.2.1 Enfoque en la acústica arquitectónica 38

2.2.2 Tipos de salas y componentes en su diseño acústico 38

2.2.3 Técnica de trazado de rayos (Raytracing) en acústica 39

2.3 Parámetros empleados en la medida del sonido. 40

2.3.1 Sensación Sonora 40

2.3.2 Niveles sonoros 42

2.3.3 Composición de niveles sonoros 42

2.3.4 El espectro del sonido 43

2.3.5 Curvas de ponderación de frecuencias 43

2.4 Descriptores acústicos a estudiar 45

2.4.1 Tiempo de reverberación 46

2.4.2 Tiempo de decaimiento temprano 48

2.4.4 Claridad 48

2.5 Norma UNE-EN ISO 3382 49

2.5.1 UNE-EN ISO 3382-1 49

2.5.2 Condiciones de medida 50

2.5.3 Instrumentación necesaria 50

Capitulo III 53

3.1 Requerimientos 53

3.2 Análisis de la situación actual 57

3.2.1 Estado de la documentación y planos del Auditorio 57

3.2.2 Infraestructura de audio 58

3.3 Evaluación base del espacio acústico 60

3.3.1 Levantamiento arquitectónico 60

3.3.2 Procedimiento de grabación 61

3.4 Análisis de parámetros acústicos 64

3.4.1 Grabación punto RA1 65

3.4.2 Grabación punto RA2 66

3.4.3 Grabación punto RA3 67

3.4.4 Grabación punto RA4 67

3.4.5 Grabación punto RA5 68

3.4.6 Grabación punto RA6 69

3.4.7 Grabación punto RA7 70

3.5 Interpretación acústica actual 70

3.6 Diseño actual simulado 73

3.6.1 Diseño en 3D 73

3.6.2 Asignación de materiales a las superficies 80

3.6.3 Análisis acústico actual simulado 92

3.6.4 Problemas encontrados 112

CAPITULO IV 115

4.1 Requerimientos 115

4.2 Diseño Propuesto 116

4.2.1 Propuesta de la fuente de emisión sonora 116

4.2.2 Propuesta de ubicación de la fuente de emisión sonora 119

4.3 Materiales Propuestos 121

4.4 Análisis acústico propuesto simulado 126

4.5 Ejecución propuesta 139

CONCLUSIONES 145

RECOMENDACIONES 147

Referencias 149

ANEXOS I 152

ANEXO II 154

ANEXO III 155

ANEXO IV 157

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. *Metodología planteada para la realización del proyecto* 25

Figura 2. *Propagación de la onda sonora* 32

Figura 3. *Fenómenos de propagación del sonido en un auditorio.* 33

Figura 4. *Reflexión y refracción* 36

Figura 5. *Difracción producida por una abertura* 37

Figura 6. *Trazado de rayos* 39

Figura 7. *Rango aproximado de frecuencias y longitudes de onda de la audición.* 40

Figura 8. *Diagrama de sensación sonora y curvas isofónicas* 41

Figura 9. *Curvas de ponderación frecuencial A y C* 44

Figura 10. *Objetos presentes en el auditorio de posgrado* 59

Figura 11. *Plano del Auditorio vista superior* 60

Figura 12. *Fuente de emisión sonora* 62

Figura 14. *Puntos de medición acústica* 63

Figura 15. *Comparación de RT con valores recomendados* 71

Figura 16. *Comparación de C80 con valores recomendados* 72

Figura 17. *Lista de etiquetas utilizadas en el diseño del auditorio* 74

Figura 18. *Modelo 3D del auditorio realizado en SketchUp* 75

Figura 19. *Exportación del modelo a formato 3D compatible con EASE 5* 75

Figura 20. *Interfaz y herramientas correspondientes al software EASE 5* 76

Figura 21. *Funciones de EASE 5 en el apartado "File"* 76

Figura 22. *Funciones de EASE 5 en el apartado "Surfaces"* 77

Figura 23. *Funciones de EASE 5 en el apartado "Loudspeakers"* 77

Figura 24. *Funciones de EASE 5 en el apartado "Receivers"* 77

Figura 25. *Funciones de EASE 5 en el apartado "Tools"* 78

Figura 26. Funciones de EASE 5 en el apartado “Calculations” 78

Figura 27. *Funciones de EASE 5 en el apartado “Windows”* 78

Figura 28. *Funciones de EASE 5 en el apartado “Presentation” al importar el modelo* 79

Figura 29. *Vistas del Auditorio de Posgrado de la UTN.* 79

Figura 30. *Coeficiente de absorción de las paredes del auditorio* 82

Figura 31. *Área de las paredes del auditorio* 83

Figura 32. *Coeficiente de absorción del suelo del auditorio* 84

Figura 33. *Área del suelo del auditorio* 85

Figura 34. *Coeficiente de absorción de la ventana del auditorio* 86

Figura 35. *Área de la ventana del auditorio* 87

Figura 36. *Coeficiente de absorción del cielo falso del auditorio* 88

Figura 37. *Área del cielo falso del auditorio* 89

Figura 38. *Coeficiente de absorción del área de audiencia* 89

Figura 39. *Área de la audiencia en el auditorio* 90

Figura 40. *Tiempo de reverberación promedio medido y simulado* 92

Figura 41. *Vista perspectiva de las orientaciones de los altavoces* 93

Figura 42. *Menú de configuraciones para el trazado de rayos* 94

Figura 43. *Menú de herramientas para el análisis de propagación* 94

Figura 44. *Paleta de colores según el orden en el apartado “Color”* 94

Figura 45. *Generación de time laps de la propagación en partículas en el apartado “Movie”* 95

Figura 46. *Perspectiva de propagación del auditorio en partículas* 95

Figura 47. *Perspectiva de propagación del auditorio en raytracing* 96

Figura 48. *Configuración de los parámetros de cálculo* 97

Figura 49. *Configuración de parámetros para análisis de cobertura y distribución sonora* 98

Figura 50. *Configuración de parámetros de cálculo para definición de niveles de ruido* 99

Figura 51. *Configuración de parámetros de cálculo para las simulaciones acústicas* 100

Figura 52. *Room Mapping del Aditorio en Direct SPL a 1000 Hz* 101

Figura 53. *Nivel de presión sonora directa en función a la frecuencia* 101

Figura 54. *Comparativa de Direct SPL en el auditorio, en frecuencias de 250 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz y 4000 Hz* 102

Figura 55. *Room Mapping del Auditorio en Total SPL a 1000 Hz* 103

Figura 56. *Nivel de presión sonora total en función a la frecuencia* 104

Figura 57. *Comparativa de Total SPL en el auditorio, en frecuencias de 250 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz y 4000 Hz* 105

Figura 58. *Room Mapping del Auditorio en C50 a 1000 Hz* 106

Figura 59. *Claridad (C50) en función a la frecuencia* 107

Figura 60. *Comparativa de C50 en el auditorio, en frecuencias de 250 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz y 4000 Hz* 108

Figura 61. *Room Mapping del Auditorio en C80 a 1000 Hz* 109

Figura 62. *Claridad (C80) en función a la frecuencia* 110

Figura 63. *Comparativa de C50 en el auditorio, en frecuencias de 250 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz y 4000 Hz* 111

Figura 64. *Parlante JBL 5012 obtenido de (BL Professional (2024)* 118

Figura 65. *Vistas del Auditorio de Posgrado de la UTN* 119

Figura 66. *Ubicación y orientación de los altavoces propuestos para el auditorio de posgrado de la UTN* 120

Figura 69. *Área de la ubicación del cielo falso* 124

Figura 70. *Comparación del tiempo de decaimiento temprano (RT) medido, simulado en la situación actual y simulado con las mejoras propuestas* 126

Figura 71. *Perspectiva de propagación del auditorio en raytracing con las mejoras propuestas* 127

Figura 72. *Perspectiva de propagación del auditorio con las mejoras de propuestas* 127

Figura 73. *Room Mapping del Aditorio en Direct SPL a 1000 Hz con las propuestas de mejora* 128

Figura 74. *Comparación del nivel de presión sonora directa en función a la frecuencia con las propuestas de mejora* 129

Figura 75. *Comparativa de Direct SPL en el auditorio, en frecuencias de 250 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz y 4000 Hz con las propuestas de mejora* 130

Figura 76. *Room Mapping del Auditorio en Total SPL a 1000 Hz con las propuestas de mejora* 131

Figura 77. *Comparación del nivel de presión sonora total en función a la frecuencia con las propuestas de mejora* 132

Figura 78. *Comparativa de Total SPL en el auditorio, en frecuencias de 250 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz y 4000 Hz con las propuestas de mejora* 132

Figura 79. *Room Mapping del Auditorio en C50 a 1000 Hz con las propuestas de mejora* 133

Figura 80. *Comparación de C50 en función a la frecuencia con las propuestas de mejora* 134

Figura 81. *Comparativa de C50 en el auditorio, en frecuencias de 250 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz y 4000 Hz con las propuestas de mejora* 135

Figura 82. *Room Mapping del Auditorio en C80 a 1000 Hz con las propuestas de mejora* 136

Figura 83. *Comparación de C80 en función a la frecuencia con las propuestas de mejora* 137

Figura 84. *Comparativa de C80 en el auditorio, en frecuencias de 250 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz y 4000 Hz con las propuestas de mejora* 138

Figura 85. *Diagrama de Gantt para el cronograma de actividades* 141

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. *Velocidad del sonido en distintos medios.* 32

Tabla 2. *Coeficiente de absorción sonora en diferentes materiales.* 34

Tabla 3. *Tipos de salas, fuentes y receptores de sonidos habituales.* 38

Tabla 4. *Frecuencia central de las bandas de octava en el rango audible* 43

Tabla 5. *Curvas de ponderación frecuencial A y C* 44

Tabla 6. *Comparativa en equipo de grabación* 54

Tabla 7. *Comparativa en equipo de medición arquitectónica* 55

Tabla 8. *Parámetros Auditorio Punto RA1* 65

Tabla 9. *Parámetros Auditorio Punto RA2* 66

Tabla 10. *Parámetros Auditorio Punto RA3* 67

Tabla 11. *Parámetros Auditorio Punto RA4* 67

Tabla 12. *Parámetros Auditorio Punto RA5* 68

Tabla 13. *Parámetros Auditorio Punto RA6* 69

Tabla 14. *Parámetros Auditorio Punto RA7* 70

Tabla 15. *Promedio general* 71

Tabla 16. *Promedio general RT(s) Simulado* 91

Tabla 17. *Resumen de los problemas encontrados* 113

Tabla 18. *Problemas encontrados y soluciones propuestas* 115

Tabla 19. *Comparación de parlantes* 117

Tabla 21. *Comparación del RT(s), medido, simulado y propuesto* 125

Tabla 22. *Cronograma para la Implementación de las Mejoras* 139

Tabla 23. Presupuesto estimado para la implementación de las mejoras acústicas en el auditorio de posgrado de la UTN. Valores obtenidos de (Amazon., n.d.)..... 142

Capítulo I

Antecedentes

En este capítulo se gestiona relatar los antecedentes en base a los cuales se ha originado la problemática del presente trabajo de investigación. Adicionalmente se presenta la justificación por la cual se ha realizado el proyecto juntamente con el alcance de este.

1.1 Problema

La acústica es un tema que preocupa a muchas personas. Según Ríos (2016) en la revista CodeXVerde, la contaminación acústica es un problema que afecta a todos por igual. La exposición prolongada al ruido puede afectar de distintas formas a la salud, produciendo molestias, trastornos del sueño, efectos perjudiciales en los sistemas cardiovasculares, metabólicos y deficiencias cognitivas en los niños. (Eulalia Peris, 2020)

Caruso (2021) considera que la comunicación y la acústica son de suma importancia en las salas de conferencias y los auditorios. Sin embargo, estos aspectos se suelen pasar por alto muy a menudo durante la fase de diseño arquitectónico, lo que provoca numerosos problemas acústicos cuando se hace uso de dichos espacios

Las ondas sonoras desempeñan un papel fundamental en la calidad de las experiencias educativas, artísticas y culturales que se desarrollan en los diferentes espacios sociales. El Auditorio de Posgrado de la Universidad Técnica del Norte (UTN), al igual que muchos otros recintos similares, se enfrenta a desafíos en la gestión de su acústica para garantizar que los eventos y actividades que alberga se lleven a cabo de manera óptima en términos de calidad de sonido

Según la encuesta realizada en persona el martes 24 de octubre del 2023 a 25 encuestados de alrededor de 150 asistentes al evento Conferencias Magistrales “Blockchain”, realizado en el Auditorio de Posgrado de la UTN, en una escala del 1-5 de valoración respecto

a lo que piensan los usuarios, se obtuvo una calificación promedio de 3.5 en un ranking de satisfacción de la calidad de audio y un promedio de 3.36 en la valoración de la capacidad de adaptabilidad del auditorio para minimizar la interferencia de ruidos externos. Estos resultados indican que la percepción general de la calidad acústica en el auditorio no es óptima y sugieren que existen áreas de mejora.

A pesar de su importancia, existen espacios para mejoras cerca de la calidad acústica en el Auditorio de Posgrado de la UTN, que se manifiesta en la percepción de los usuarios. En un estudio realizado Jorge Sommerhoff Hyde & Claudia Rosas Aguilar (2017) señala que la acústica inadecuada puede dar lugar a problemas como la reverberación, distorsión del sonido, disminuir la inteligibilidad de la palabra y generar molestias en los oyentes, lo que afecta negativamente la experiencia del público y la efectividad de las actividades realizadas en el auditorio.

El propósito es diseñar un plan de proyecto con una propuesta de mejora para abordar esta problemática mediante un análisis técnico de la acústica del Auditorio de Posgrado de la UTN, con el objetivo de identificar las áreas de mejora y proponer soluciones efectivas que permitan optimizar la calidad del sonido en el auditorio.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

Diseñar una propuesta de mejora acústica para el Auditorio de Posgrado de la Universidad Técnica del Norte, con el fin de optimizar la calidad de audio y la experiencia de los usuarios.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Identificar buenas prácticas y recomendaciones establecidas por las normativas internacionales de acústica, específicamente la norma ISO3382-2, enfocadas en la

evaluación de la calidad acústica en espacios cerrados. Esta acción busca abordar los problemas que se identifiquen en el auditorio, considerando las necesidades específicas de este espacio.

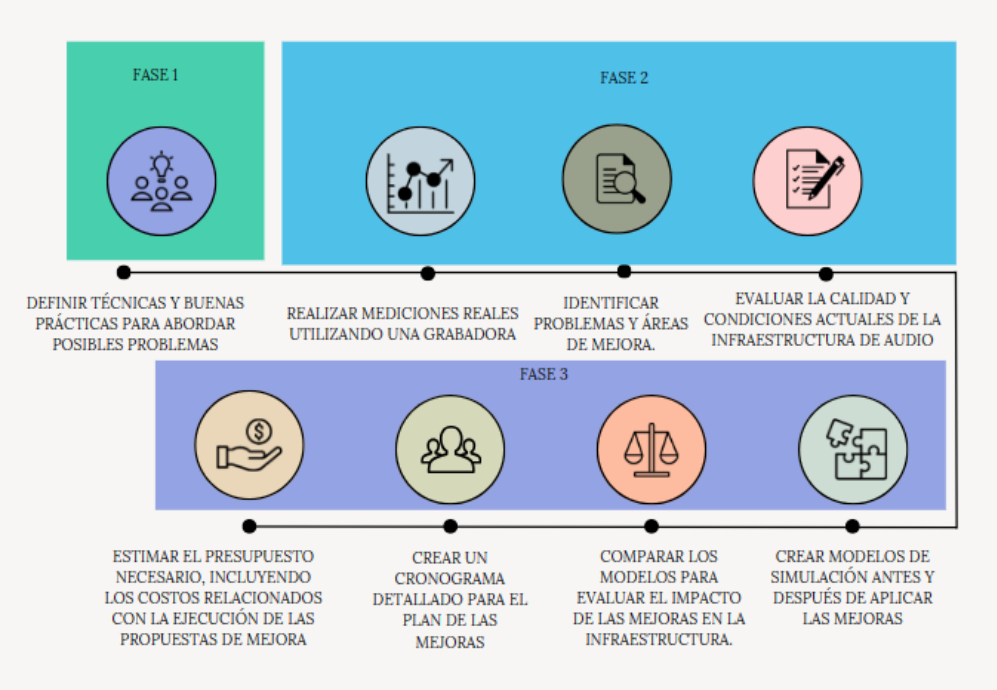
- Realizar un análisis detallado de la acústica actual en el Auditorio de Posgrado de la UTN utilizando software de procesamiento de audio, identificando problemas específicos como la reverberación, la distorsión del sonido y el ruido mediante mediciones y análisis acústico.
- Diseñar una propuesta de mejora acústica que incluya recomendaciones específicas y medidas concretas para optimizar la acústica en el Auditorio de Posgrado de la UTN, basado en los resultados del análisis de software de procesamiento de audio y la implementación de las normativas internacionales.

1.3 Alcance

En la Figura 1 se aprecian las etapas de la metodología en cascada destinada a optimizar la infraestructura de audio.

Figura 1

Metodología planteada para la realización del proyecto



Nota. Autoría propia

Este trabajo de integración curricular se enfoca en analizar y proponer mejoras en la calidad acústica del Auditorio de Posgrado de la Universidad Técnica del Norte (UTN). Para lograr este objetivo, se empleará un enfoque integral que involucra herramientas de simulación y análisis de audio. En base a la Figura 1 se generarán las fases del proyecto.

La primera fase del proyecto consistirá en la investigación de las mejores prácticas y soluciones técnicas disponibles en el campo de la acústica para abordar problemas en el auditorio. Esto incluirá normativas internacionales para la acústica en espacios cerrados (ISO 3382-2:2008).

En la segunda fase del proyecto, se llevarán a cabo mediciones reales utilizando hardware profesional de grabación. Estas mediciones proporcionarán la base para el análisis e identificación de problemas y áreas de mejora. Posteriormente, se realizará una evaluación detallada de la calidad y condiciones actuales de la infraestructura de audio, utilizando como referencia los datos y conclusiones obtenidos de este análisis.

En la tercera fase del proyecto, se procederá al diseño de modelos de simulación que representarán tanto la situación actual como la proyección posterior a la implementación de las mejoras propuestas. Tras establecer estos modelos, se llevará a cabo una comparación, con el fin de evaluar el impacto en la infraestructura de audio. Una vez identificadas y validadas las mejoras, se elaborará un plan de proyecto que abarcará el presupuesto necesario y un cronograma detallado de actividades. Este plan se convertirá en una herramienta esencial para las futuras decisiones de inversión. Es importante destacar que esta etapa no conlleva la implementación física de las propuestas, sino que se centra en la presentación de una propuesta detallada, facilitando la ejecución efectiva de mejoras en el futuro.

Finalmente, el proyecto culminará con las conclusiones y recomendaciones. Este trabajo de titulación servirá como registro de los hallazgos del proyecto, las propuestas de mejora, y las lecciones aprendidas. Además, se presentarán los resultados y conclusiones ante un comité de evaluación, resaltando las mejoras logradas y su impacto en la calidad acústica del Auditorio de Posgrado de la UTN. Este enfoque integral y multifacético del proyecto tiene como objetivo proporcionar soluciones efectivas para la mejora de la calidad acústica en el auditorio, respaldadas tanto por análisis objetivos como por la percepción de los usuarios, y contribuir al conocimiento.

1.4 Justificación

La elección de este tema de investigación se basa en una serie de elementos de carácter contextual y subjetivo que hacen que el proyecto sea altamente relevante y necesario.

El presente estudio y su enfoque en la mejora de la calidad acústica en el Auditorio de Posgrado de la UTN, encuentra una sólida alineación con el Objetivo 3 de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) establecido por las Naciones Unidas. El Objetivo 3 se centra en garantizar una vida sana y promover el bienestar para todos y todas. A través de la

implementación de estrategias de optimización y mejora, se busca contribuir directamente a la promoción de la salud y el bienestar dentro del contexto educativo y cultural. Al abordar este objetivo, se pretende no solo mejorar la eficiencia del sistema, sino también impactar positivamente en la calidad de vida de las personas involucradas, fomentando así un entorno más saludable y sostenible para las generaciones presentes y futuras.

La calidad acústica en auditorios es un aspecto crítico en la experiencia de cualquier evento que se desarrolla en estos espacios, ya sea académico, cultural o artístico. La importancia de este factor se ve reflejada en la insatisfacción de los usuarios del Auditorio de Posgrado de la Universidad Técnica del Norte (UTN), como se ha evidenciado en la encuesta realizada. Esta insatisfacción no solo impacta la calidad de vida de los estudiantes y el desempeño de los artistas y presentadores, sino que también afecta directamente la percepción de la UTN como institución educativa y cultural.

Esta investigación tiene un potencial significativo para generar nuevo conocimiento en el campo de la acústica y la ingeniería de telecomunicaciones. Al abordar la problemática de la calidad acústica en un auditorio real y proponer soluciones específicas, se aportará a la literatura existente y se sentarán las bases para futuros proyectos de mejora acústica en entornos similares. Los resultados obtenidos tendrán aplicaciones prácticas que van más allá de la UTN y podrán beneficiar a otras instituciones y espacios similares.

La elección de este tema está fuertemente motivada por la aspiración de contribuir al desarrollo de la educación, la cultura y las artes en la región. La mejora de la calidad acústica en el Auditorio de Posgrado de la UTN no solo beneficia a la comunidad académica, sino que también contribuye al crecimiento cultural y artístico, ofreciendo un espacio más adecuado para eventos culturales y artísticos.

La investigación es viable y factible, ya que existe disponibilidad de bibliografía en el campo de la acústica y la ingeniería de telecomunicaciones. Además, la facilidad para llevar a cabo mediciones acústicas y análisis de softwares de simulación en el auditorio.

Capitulo II

Marco Teórico

El presente capítulo de marco teórico se sumerge en un análisis de la acústica, explorando su relevancia, implicaciones y contribuciones dentro del contexto de los espacios cerrados, específicamente en auditorios. En un mundo caracterizado por cambios constantes y dinámicas evolutivas, comprender la acústica desde una perspectiva teórica sólida es esencial para determinar las necesidades específicas para su análisis.

2.1 Propagación de ondas sonoras

Según López & Martín (2017) en la propagación del sonido intervienen tres elementos que son indispensables: una fuente sonora, un medio de transmisión y un receptor.

Para Antoni Carrión Isbert (1998.) las ondas sonoras o el sonido, se define como una vibración de origen mecánico el cual genera ondas sonoras que se propaga por un medio material elástico y denso. En este trabajo de integración curricular, el medio por el cual se propaga el sonido es el aire, lo que produce una sensación auditiva.

La frecuencia del sonido es denominada como la cantidad de veces que oscila la presión sonora y su unidad de media es en hercios (Hz) o ciclos por segundo (c/s). Cuando un cuerpo está en estado de excitación, sus moléculas alrededor comienzan a moverse y se propagan por el medio en el que se encuentren. (Carrión Isbert, 1998)

De la misma manera, el ruido se define igual que el sonido, y convencionalmente llamamos ruido aquella percepción que nos resulta poco agradable al odio, como por ejemplo el ruido de un avión al despegar, el motor viejo de un vehículo, hasta incluso escuchar tocar un instrumento desafinado. (Miraya, 2003)

2.1.1 La onda sonora

Para López & Martín (2017) en el movimiento ondulatorio, la onda sonora se caracteriza por tener las siguientes magnitudes:

- Amplitud.
- Periodo.
- Frecuencia.
- Longitud de onda.
- Velocidad de propagación.

La **amplitud (*A*)** corresponde con la variación máxima de la presión que se produce. Se establece una relación directamente proporcional con la cantidad de energía que está asociada a la onda.

La **frecuencia (*f*)** se define como la cantidad de ciclos que se produce en una respectiva unidad de tiempo (generalmente un segundo). Su unidad de medida es en hertzios (Hz).

La **longitud de onda (*λ*)**, es la distancia entre dos puntos equivalentes de una onda, comúnmente llamadas crestas o valles.

La longitud de onda y la frecuencia están relacionados con la velocidad de propagación de la onda (V_p), mediante la expresión 2.1.

$$\lambda = \frac{V_p}{f} \tag{2.1}$$

El **periodo (*T*)** es el tiempo que se necesita para realizar un ciclo completo. Es el inverso de la frecuencia como se indica en la expresión 2.2.

$$T = \frac{1}{f} \tag{2.2}$$

La **velocidad de propagación (V_p)** es la velocidad con la que se propaga una onda por un medio. En la Tabla 1. se observa la velocidad de propagación del sonido en distintos medios.

Tabla 1

Velocidad del sonido en distintos medios.

(López & Martín, 2017).

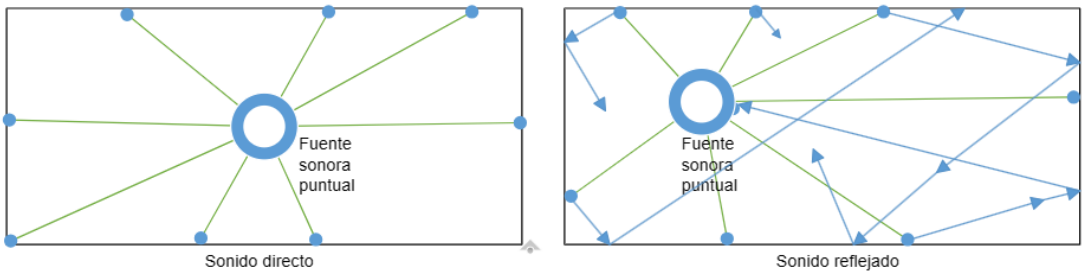
Medio	**Vp (m/s)**
Aire	343 (a 20 °C)
Corcho	500
Agua dulce (15 °C)	1440
Plomo	1200
Agua salada (15 °C)	1470
Madera	1000 a 4000 (varía según tipo)
Mampostería	3000
Cobre	3800
Hierro	4950
Aluminio	5000
Vidrio	5600
Granito	6000

Nota. La luz puede propagarse a través del vacío a una velocidad constante muy alta, mientras que el sonido se propaga a velocidades mucho más bajas a través de medios materiales.

Al tener una fuente de sonido (como, por ejemplo, un parlante, un instrumento musical o un globo explotando) sus ondas se propagarán, pero no de la manera ideal, es decir, no llegaran completas y directamente al receptor, puesto que existen una serie de fenómenos de propagación que podrían alterar la forma en que llegan las ondas auditivas al receptor como se observa en la Figura 2.

Figura 2

Propagación de la onda sonora

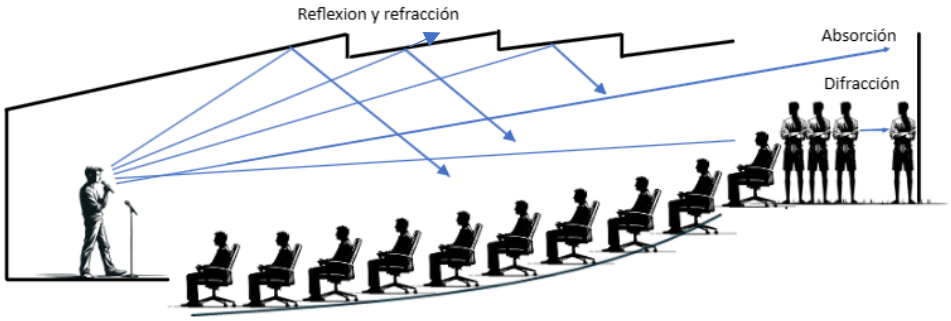


Nota. Este grafico muestra la diferencia entre el sonido directo y el sonido reflejado ocupado en un espacio cerrado, extraído de (Jorge Sastrón, 2018)

En la Figura 3, se representa a los fenómenos de propagación tales como la absorción, reflexión, refracción y difracción que van a depender de las superficies y las formas que estén presentes en un espacio. En el contexto del presente trabajo de integración curricular, el Auditorio de Posgrado de la Universidad Técnica del Norte, presenta diferentes objetos (como, por ejemplo, sillas, mesas, elementos de presentación y personal asistente) y materiales (tela, madera, concreto), cuyas superficies provocan que el sonido se vea afectado por los fenómenos de propagación manifestados.

Figura 3

Fenómenos de propagación del sonido en un auditorio.



2.1.2 Fenómeno de absorción del sonido

El reflejo completo de una onda sucedería únicamente al chocar con una superficie ideal. En la realidad no existe una superficie rígida ideal, puesto que las superficies por más rígidas que sean siempre absorberán la energía incidente de las ondas que chocan en dicha superficie. (Curso de Acústica, 2023)

La amplitud de la energía absorbida (A) es la diferencia entre la energía de onda incidente (E_i)y la energía de la onda reflejada (E_r) por una superficie, entonces:

$$A = E_i - E_r \tag{2.3}$$

El coeficiente de absorción (α_s), se calcula utilizando la siguiente formula:

$$\alpha_s = \frac{A}{S} \tag{2.4}$$

En donde S, es la superficie en m^2 de una muestra, el coeficiente de absorción es siempre menor que la unidad. (Flores et al., 2013)

El coeficiente de absorción depende de los materiales en los cuales se refleja la onda acústica. En la Tabla 2 se observa el coeficiente de absorción sonora de distintos objetos y materiales presentes en un auditorio. El coeficiente de absorción depende también de la frecuencia de la onda sonora como se verá más adelante en la sección 2.3.

Tabla 2

Coeficiente de absorción sonora en diferentes materiales.

(Flores et al., 2013)

Descripción	Coeficiente de absorción sonora

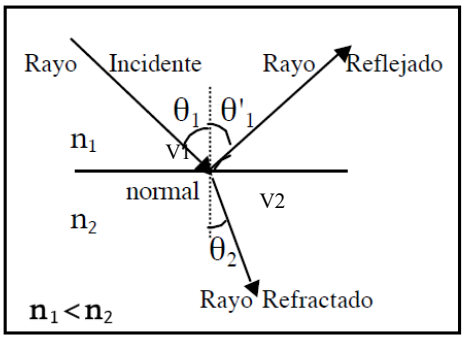
Material /Dispositivo		Frecuencia central por banda de octava [Hz]					
		125	**250**	**500**	**1000**	**2000**	**4000**
Alfombra	Alfombra sobre pared	0,09	0,08	0,21	0,27	0,27	0,37
Alfombra	Alfombra pesada sobre goma espuma	0,08	0,24	0,57	0,69	0,71	0,73
Alfombra	Alfombra media sobre base espumosa	0,03	0,09	0,25	0,31	0,33	0,44
Fibra	Placas de fibra 16 mm (Armstrong, Minaboard)	0,3	0.32	0,54	0,74	0,67	0,6
Hormigón	Bloque de hormigón grueso	0,36	0,44	0,31	0,29	0,39	0,25
Hormigón	Bloque de hormigón pintado	0,01	0,05	0,06	0,07	0,09	0,08
Mármol	Losa de mármol	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
Ladrillo	Ladrillo liso con mezcla al ras	0,02	0,03	0,03	0,04	0,05	0,07
Hormigón	Hormigón pintado	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02
Hormigón	Hormigón Suavizado sin pintar	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,05
Butacas	Sillas vacías tapizadas con tela	0,44	0,6	0,77	0,89	0,82	0,7
Butacas	Sillas vacías tapizadas con cuero	0,4	0,5	0,58	0,61	0,58	0,5
Madera	Parquet de madera sobre hormigón	0,04	0,04	0,07	0,06	0,06	0,07
Madera	Fibra de madera	0,04	0,24	0,54	0,88	0,53	0,7
Madera	Placa de madera Sobre estructura con cavidad de 50 mm con lana mineral	0,25	0,15	0,1	0,09	0,08	0,07
Telas	Cortina de algodón plegada a 3/4 de área a 130 mm de la pared	0,3	0,45	0,56	0,56	0,59	0,71
Telas	Cortina de terciopelo ligero, colgadas en contacto directo con la pared	0,03	0,04	0,11	0,17	0,24	0,35
Telas	Cortina de terciopelo mediano, plegadas al 50%	0,07	0,31	0,49	0,75	0,7	0,6
Personas	Publico en sillas de madera 100% ocupada	0,57	0,61	0,75	0,86	0,91	0,86
Personas	Orquesta con instrumentos en podio 1,5 m2 por persona	0,27	0,53	0,67	0,93	0,87	0,8
Personas	Audiencia sobre sillas con tapizado liviano	0,51	0,64	0,75	0,8	0,82	0,83
Personas	Adulto de Pie	0,21	0,33	0,41	0,42	0,46	0,42
Personas	Audiencia con sillas de madera, 1 x m2	0,16	0,24	0,56	0,69	0,81	0,78

2.1.3 Fenómeno de reflexión y refracción del sonido

Cuando un rayo incide de un medio a otro con distintas densidades del material, parte de la onda se reflejará, otra parte se refractará, otra se disipará y dependiendo del caso algo de la energía de la onda llegará directamente al receptor. La parte de energía refractada depende de la densidad de cada material que además tiene su propio índice de refracción que lo caracteriza que, al pasar de un medio a otro, tanto la dirección como la velocidad de la onda varía como se puede ver en la Figura 4.

Figura 4

Reflexión y refracción



Nota. La figura muestra la incidencia de un rayo de un medio a otro, demostrando los fenómenos de reflexión y refracción de la onda, extraído de (Curso de Acústica, 2023)

Los fenómenos de la reflexión y refracción se explican mediante las leyes de Snell en las ecuaciones (2.5) y (2.6) respectivamente.

Ley de reflexión

$$\theta_1 = \theta_1' \tag{2.5}$$

Ley de la refracción

$$\frac{sin\theta_1}{v_1} = \frac{sin\theta_2}{v_2} \tag{2.6}$$

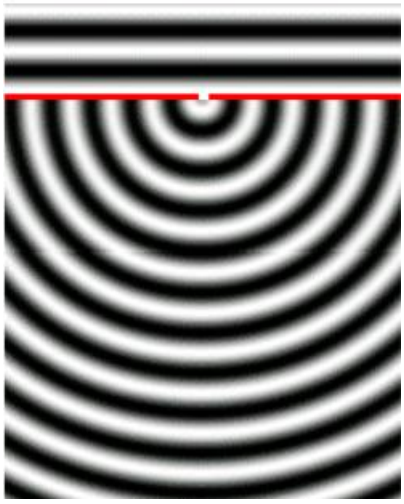
En donde θ_1 es el ángulo de incidencia, θ_1' es el ángulo de reflexión y θ_2 es el ángulo de refracción; v_1 es la velocidad de la onda en el primer medio y v_2 en el segundo medio.

2.1.4 Fenómeno de difracción

Cuando una onda es capaz de envolver o atravesar un obstáculo por una abertura pequeña como la que se muestra en la figura 5, se denomina difracción. Las ondas del sonido capaces de reconocer el oído humano tienen como dimensión el rango entre 3 cm y 12 m, el tamaño es grande comparado con los obstáculos o aberturas que tengamos, como pueden ser puertas o ventanas. Entonces, la desviación de las ondas rodeando las esquinas va a ser inevitable. (José & Vidal, 2012)

Figura 5

Difracción producida por una abertura



Nota. Si tenemos una abertura pequeña y la longitud de onda es grande, se reduce el efecto de difracción y las ondas se propagarán en líneas rectas, extraído de (Curso de Acústica, 2023)

En el contexto de la acústica, en el escenario de un concierto, debido a la difracción del sonido, se logra escuchar la música sin importar la cantidad de personas u obstáculos que se encuentren adelante que impidan la visión directa de los intérpretes.

2.2 Acústica

Según Jacobsen (2011), la acústica se define como la ciencia que estudia el sonido y abarca diversas ramas como la bioacústica, la psicoacústica y la música. Además, se extiende a campos relacionados, como la construcción de salas de conciertos, el diseño de teatros, el control del ruido y la composición de piezas musicales.

2.2.1 Enfoque en la acústica arquitectónica

Según Bruel & Kjae (1978) la acústica arquitectónica se define como el estudio de la generación, propagación y transmisión del sonido en salas, viviendas y otros edificios. El objetivo principal es unificar la arquitectura con los campos del sonido para generar ambientes o espacios de calidad acústica. En este enfoque, el diseño de proyectos arquitectónicos se categoriza según una serie de requisitos y normas específicas. Por ejemplo, las características necesarias para diseñar una sala destinada a presentaciones teatrales no serán las mismas que aquellas requeridas en el diseño de una sala destinada a la grabación profesional de música.

2.2.2 Tipos de salas y componentes en su diseño acústico

Existen diversos tipos de salas en la acústica arquitectónica, como se puede observar en la Tabla 3. Por lo tanto, es comprensible que los parámetros y características asociados varíen dependiendo del tipo de sala.

Tabla 3

Tipos de salas, fuentes y receptores de sonidos habituales.

Tipo de habitación	Sonido	Fuente	Lugar de origen	Receptor	Lugar de Recepción
Sala de conciertos (P)	Mu, Si	MI, Hu	Escenario	Hu	Auditorio
Ópera (P)	Si, Mu, Sp	Hu, MI	Escenario, Foso Orquesta	Hu	Auditorio
Teatro (P, R)	Sp, Mu	Hu, LS	Escenario	Hu	Auditorio
Estudio de grabación (P)	Mu, Si, Sp	MI, Hu	No fijado	Mi	No fijado

Sala de control '(R)'	Mu, Si, Sp	LS	Fijo	Hu	Fijo, Limitado
Cine '(R)'	Sp, Mu	LS	Fijo	Hu	Auditorio
Sala de conferencias (P)	Sp	Hu	Podio	Hu	Auditorio
Aula (P)	Sp	Hu	Podio	Hu	Auditorio
Club (P, R)	Mu, Si	MI, LS	Escenario, Fijo	Hu	No fijado

Nota. Abreviaturas: Tipo de habitación - (P) producción de sonido, (R) reproducción de sonido; Sonido – (Mu) música, (Si) canto, (Sp) discurso; Fuente – (MI) instrumento musical, (Hu) humano, (LS) altavoz (refuerzo de sonido); Receptor – (Hu) humano, (Mi) micrófono; Tabla extraída de (Masovic, 2018)

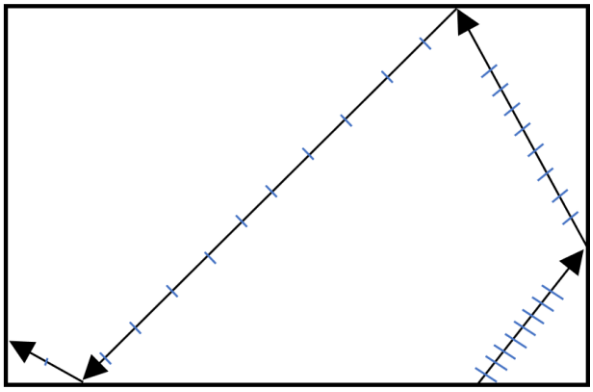
Adicionalmente, las características que debemos tener en cuenta incluyen el tipo de material utilizado para estas salas, como su arquitectura, los elementos absorbentes y la ubicación de las fuentes emisoras y receptoras del sonido.

2.2.3 Técnica de trazado de rayos (Raytracing) en acústica

El *Raytracing* es una técnica que se basa en el cálculo de la energía transportada a la velocidad del sonido, debido a la excitación de sus partículas. En acústica geométrica la dirección está representada por rayos, pero estos no mostrarán la longitud de onda, ni la fase del vector. Como se observa en la Figura 6, cuando el rayo choca con una pared, parte de su energía se pierde y a medida que este proceso se repita múltiples veces, la energía presente en la onda acústica disminuirá su intensidad hasta ser imperceptible.

Figura 6

Trazado de rayos



Nota. La figura representa el trayecto de un rayo en un área cerrada y la pérdida de energía (representada por líneas trasversales al rayo) al chocar en cada superficie. Autoría propia

2.3 Parámetros empleados en la medida del sonido.

La norma ISO 3382-1 (International Organization for Standardization, 2009) establece parámetros específicos para la medición de características acústicas en espacios destinados, en este caso, en el contexto de auditorios. No solo representa un estándar técnico, sino que también proporciona soluciones para el diseño, con el objetivo de lograr una calidad sonora óptima.

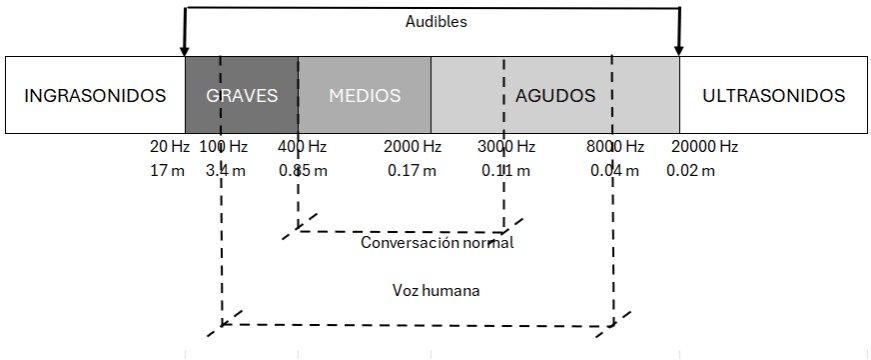
2.3.1 Sensación Sonora

El órgano encargado de la audición es el oído, específicamente el oído interno. La cóclea actúa como un analizador de espectro natural con un límite de frecuencia en el que podemos escuchar, que va desde 20 Hz hasta 20 KHz. Es importante destacar que este rango de frecuencias puede variar entre las personas y disminuir progresivamente con la edad. (Rodríguez Valiente, 2015)

Como se evidencia en la Figura 7, los sonidos con frecuencias inferiores a los 20 Hz se denominan infrasonidos, mientras que aquellos con una frecuencia superior a los 20 KHz se denominan ultrasonidos.

Figura 7

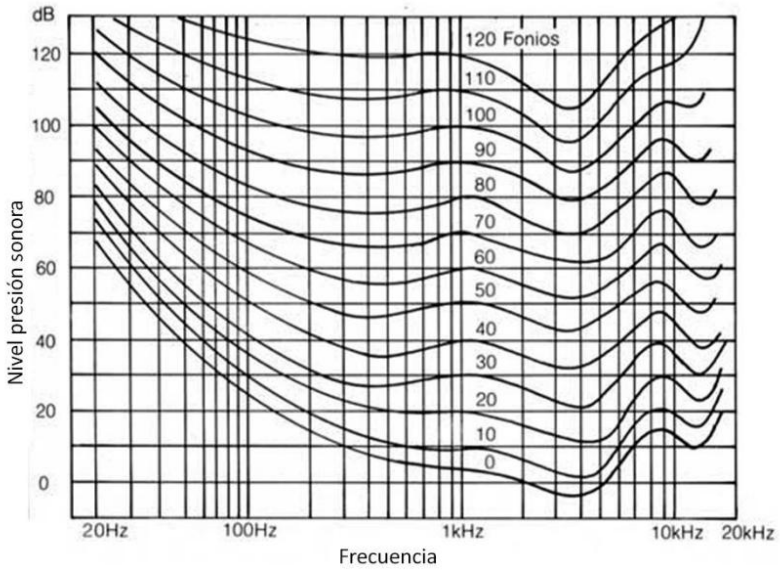
Rango aproximado de frecuencias y longitudes de onda de la audición humana.



En la norma ISO 266 (International Organization for Standardization, 2003), se establece un rango comprendido en una curva que representa el nivel de decibelios SPL (decibelios de nivel de presión sonora) necesarios según el nivel de sensación sonora. Como se puede observar en la Figura 8, la curva de 0 fonios corresponde al umbral de la audición, mientras que la curva de 120 fonios representa el umbral del dolor. Los fonios son una unidad de medida subjetiva del nivel de sensación sonora, utilizada para expresar la intensidad percibida por el oído humano.

Figura 8

Diagrama de sensación sonora y curvas isofónicas



Nota. Figura obtenida de (International Organization for Standardization, 2003)

2.3.2 Niveles sonoros

La respuesta del oído humano es proporcional al logaritmo del estímulo que recibe, la sensibilidad del oído humano es capaz de adaptarse, es decir, cuando pasamos mucho tiempo en un ambiente con presión sonora elevada, la sensibilidad del oído disminuye, esto explica que cuando salimos de algún medio acústico como un concierto o una discoteca, tomamos un tiempo en volver a oír bien. (López & Martín, 2017)

Por ello, la magnitud de medida en acústica se maneja con relaciones logarítmicas y para obtener el nivel de una magnitud se utiliza la siguiente formula en decibelios:

$$L_{dB} = 10 * \ log_{10}(\frac{m}{m_0}) \tag{2.7}$$

En donde:

L_{dB} representa el nivel en decibelios.

m es la magnitud.

m_0 es la magnitud de referencia.

2.3.3 Composición de niveles sonoros

El **ruido de fondo** es el campo sonoro generado por la totalidad de varias fuentes sonoras, sin incluir la fuente de nuestro interés. Lo ideal es que el ruido de fondo sea al menos 10 dB inferior al generado por nuestra fuente. (López & Martín, 2017)

El **nivel de presión sonora** cuantifica la intensidad de las ondas presentes, utilizado para evaluar y comparar la potencia de los sonidos ambientales o eventos sonoros.

2.3.4 El espectro del sonido

La descomposición espectral de una onda se realiza en bandas de frecuencia, y el ancho de banda es directamente proporcional a la frecuencia. Esto significa que a medida que aumenta la frecuencia, también lo hace el ancho de banda.

Comúnmente, en el campo de la acústica se trabaja con la banda de octava, que es un rango de frecuencias específicas. Esta escala divide el rango completo de frecuencias en intervalos donde cada octava duplica la frecuencia de la anterior, como se demuestra en la Tabla 4.

Tabla 4

Frecuencia central de las bandas de octava en el rango audible

16 Hz	31,5 Hz	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz	16000 Hz

2.3.5 Curvas de ponderación de frecuencias

El ser humano, al poseer un sentido auditivo tan sensible, puede detectar un ruido que puede ser más o menos molesto, ya sea que tenga una frecuencia alta (ruido agudo) o frecuencia baja (ruido grave), aunque ambos tengan el mismo nivel de presión sonora.

Por ese motivo, se desarrollaron las curvas de ponderación frecuencial, que nos ayudan a ponderar cada una de las frecuencias de acuerdo con la sensibilidad de nuestro oído. Existen diferentes tipos de curvas de ponderación, entre ellas:

- **Curva de ponderación A:** Atenúa las frecuencias bajas y eleva las frecuencias medias y altas.
- **Curva de ponderación B:** Similar a la curva A, pero tiene menos atenuación en frecuencias bajas, se utiliza en entornos más silenciosos.

- **Curva de ponderación C:** Atenúa menos las frecuencias bajas a comparación con la curva A y B.

La curva que mejor se adapta a nuestro oído es la curva A, y en ocasiones también se utiliza la curva C. En la Tabla 5 y la Figura 9, podremos ver la descripción de estas curvas.

Tabla 5

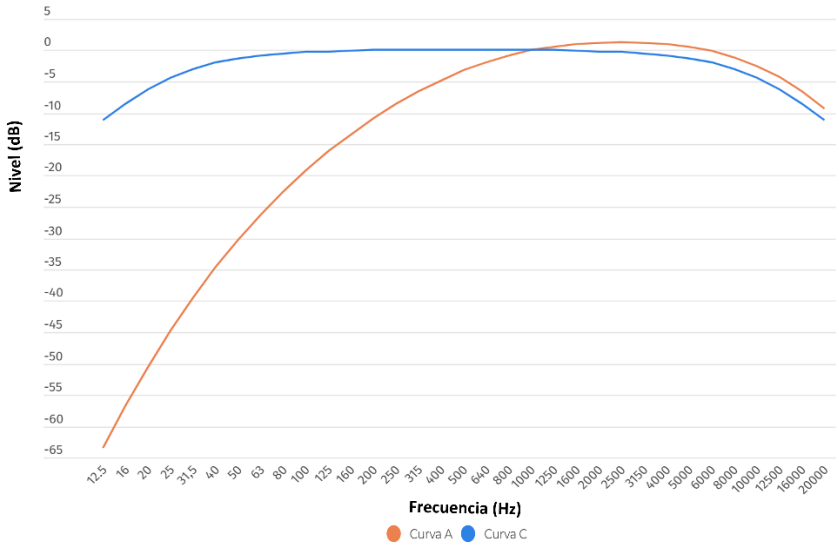
Curvas de ponderación frecuencial A y C

Frecuencia (Hz)	**Curva A**	**Curva C**	**Frecuencia (Hz)**	**Curva A**	**Curva C**
	Nivel (dB)	Nivel (dB)		Nivel (dB)	Nivel (dB)
12.5	-63,4	-11,1	640	-1,9	0
16	-56,7	-8,5	800	-0,8	0
20	-50,5	-6,2	1000	0	0
25	-44,7	-4,4	1250	0,6	0
31,5	-39,4	-3	1600	1	-0,1
40	-34,6	-2	2000	1,2	-0,2
50	-30,2	-1,3	2500	1,3	-0,3
63	-26,2	-0,8	3150	1,2	-0,5
80	-22,5	-0,5	4000	1	-0,8
100	-19,1	-0,3	5000	0,5	-1,3
125	-16,1	-0,2	6000	-0,1	-2
160	-13,4	-0,1	8000	-1,1	-3
200	-10,9	0	10000	-2,5	-4,4
250	-8,6	0	12500	-4,3	-6,2
315	-6,6	0	16000	-6,6	-8,5
400	-4,8	0	20000	-9,3	-11,2
500	-3,2	0			

Nota. En las tablas proporcionadas, los valores representan la atenuación en decibelios a diferentes frecuencias de la escala de octavas para cada una de las curvas. Tabla obtenida López & Martín (2017)

Figura 9

Curvas de ponderación frecuencial A y C



La elección entre la curva A y la curva C en ponderación frecuencial depende del contexto específico y de los objetivos de la medición. La curva A se utiliza con mayor frecuencia en situaciones donde se busca dar más importancia a las frecuencias más altas. Esto puede ser relevante en campos como la ingeniería de audio, donde las frecuencias altas son más perceptibles para el oído humano.

Por otro lado, la curva C, que atenúa las frecuencias altas, puede ser preferida en aplicaciones donde se busca simular la respuesta perceptual del oído humano de manera más realista, como en la medición de ruido ambiental o en la evaluación de la calidad del sonido en entornos más generales.

Asimismo, en el marco del análisis acústico, se incluyen diversos descriptores acústicos adicionales, con el propósito de enriquecer la evaluación y comprensión de las características sonoras en estudio.

2.4 Descriptores acústicos a estudiar

Estos parámetros suplementarios se incorporan con el fin de aportar una perspectiva más completa de los descriptores los cuales vamos a utilizar en el análisis.

2.4.1 Tiempo de reverberación

Según Boschi (2008), el tiempo de reverberación (RT) se define como el tiempo necesario para que el nivel de una señal acústica, cuya emisión se interrumpe, caiga 60 dB con respecto al nivel primitivo. Aunque comúnmente se considera el valor de T60, es importante señalar que lograr una relación señal-ruido de 60 dB no siempre es óptimo. Por esta razón, también se toma en cuenta el uso de T30 o T20, los cuales cuantifican el tiempo en que la señal cae 30 dB y 20 dB, respectivamente.

De acuerdo con Fernández (2017), el tiempo de reverberación para auditorios generalmente oscila entre 1.5 y 2.5 segundos.

Para Masovic (2018) en la ecuación 2.8, representa la caída de nivel de presión sonora de la respuesta al impulso g(t).

$$SC(t) = 10log_{10}[1 - \frac{\int_o^t g^2(T)dT}{\int_0^\infty g^2(T)dT}] \tag{2.8}$$

Mediante la ecuación 2.8, podemos obtener las ecuaciones para determinar el tiempo en T60, T30 y T20

$$T60 = t(SC = -60dB) \tag{2.9}$$

$$T60 = t(SC = -30dB) \tag{2.10}$$

$$T60 = t(SC = -20dB) \tag{2.11}$$

Para W.C. Sabine estableció una relación empírica entre el volumen del auditorio, la cantidad de material absorbente dentro del auditorio y una cantidad que llamó tiempo de reverberación, esta relación es conocida como la fórmula de Sabine: (Masovic, 2018)

$$RT = \frac{0{,}161 * V}{A} \tag{2.12}$$

Donde RT, es el tiempo que tarda el sonido en disminuir 60 dB después de que la fuente sonora se apaga abruptamente, V es el volumen del auditorio en m^3 y A la absorción total del auditorio medida en m^2-sabins.

En salas altamente reverberantes con una distribución uniforme de material absorbente, la fórmula de Sabine proporciona una buena aproximación del comportamiento esperado del sonido en la sala.

Sin embargo, a medida que una sala se vuelve más "muerta" (es decir, cuando los límites son cada vez más absorbentes), los resultados obtenidos con la fórmula de Sabine se vuelven más inexactos, por ello se emplea la Fórmula de Eyring.

$$RT = \frac{0{,}161 * V}{S \ \ln S(1-\alpha)} \tag{2.13}$$

Donde:

V = Volumen del recinto

S = Área total de las superficies del recinto

a= coeficiente de absorción promedio

2.4.2 Tiempo de decaimiento temprano

Según Masovic (2018) el tiempo de decaimiento temprano (EDT) mide la disminución inicial del sonido, la cual está vinculada con la percepción subjetiva de la reverberación. Este fenómeno es menos frecuente en espacios amplios, donde los decaimientos de la energía acústica raramente alcanzan valores significativos.

Como podemos observar en la ecuación 2.12, se considera que el EDT es 6 veces la caída de 10 dBs. (Masovic, 2018)

$$EDT = 6t(SC = -10dB) \tag{2.14}$$

2.4.4 Claridad

Recio Martín (2021) plantea que la claridad se define como un parámetro que establece la relación entre la energía inicial de la señal y la energía proveniente de la señal que ha experimentado fenómenos de reflexión.

Cuanto mayor sea el valor de C50 y C80 (en decibelios), mayor sensación de calidad tendrá el oyente.

Se calcula dividiendo la energía de los primeros 80 ms y 50 ms para C50 entre el resto de la energía como se observa en la ecuación 2.13. Según Masovic (2018), los valores recomendados para una sala apropiada para actuaciones musicales en cuanto a claridad están entre -2 dB y 3 dB.

$$C_{80} = 10log_{10}\left[\frac{\int_{o}^{80ms} g^2(T)dT}{\int_{0}^{80ms} g^2(T)dT}\right. \quad (2.15)$$

Con base en estos parámetros acústicos, se facilitará el análisis detallado del próximo capítulo. Estas mediciones proporcionan una sólida base para comprender y evaluar el entorno acústico, permitiéndonos profundizar en aspectos específicos que se explorarán en la siguiente sección.

2.5 Norma UNE-EN ISO 3382

La norma ISO 3382 "Acústica. Medición de parámetros acústicos en recintos" consta de 3 partes diferenciadas.

- UNE-EN ISO 3382-1:2010 Parte 1: Salas de espectáculos.
- UNE-EN ISO 3382-2:2008/Cor 1:2009 Parte 2: Tiempo de reverberación en recintos ordinarios.
- UNE-EN ISO 3382-3:2012 Parte 3: Oficinas diáfanas.

En las tres partes, se establecen los métodos, estándares y procedimientos, así como las condiciones y magnitudes que se deben considerar para realizar las mediciones de parámetros acústicos. Dado que el área de estudio es considerada como salas de espectáculos debido a su naturaleza y uso, el enfoque del estudio estará en la parte 1, donde se llevarán a cabo las mediciones de parámetros acústicos según las indicaciones establecidas (International Organization for Standardization, 2009).

2.5.1 UNE-EN ISO 3382-1

La primera parte de la norma describe las condiciones necesarias para la medición, la instrumentación requerida y el proceso para evaluar el tiempo de reverberación (RT). También detalla el método para analizar los datos obtenidos de los parámetros acústicos. Se establece

que el método a seguir para medir los tiempos de reverberación (RT) debe basarse en la respuesta al impulso, lo que permite comparar las mediciones de manera más precisa y alcanzar un consenso sobre los métodos de medición utilizados.

La norma ISO 3382-1 especifica que, para el análisis acústico, deben emplearse bandas de octava en el rango de 125 Hz a 4000 Hz o bandas de tercio de octava hasta los 5000 Hz., En este contexto, los resultados de 125 Hz y 250 Hz se promedian para obtener una representación de las bajas frecuencias, mientras que los resultados de 500 Hz y 1000 Hz corresponden a las frecuencias medias. Por su parte, los resultados de 2000 Hz y 4000 Hz representan las altas frecuencias. Cabe destacar que, según esta normativa, las fracciones de energía lateral correspondientes a la banda de octava de 4000 Hz no se consideran relevantes desde un punto de vista subjetivo.

2.5.2 Condiciones de medida

En lo referente a las condiciones requeridas para llevar a cabo la medición acústica, la normativa específica que es necesario registrar la temperatura y la humedad relativa del aire en el recinto en el momento de la toma de medidas, con una precisión de ± 1 ºC y ± 5 ºC respectivamente.

En caso de que el recinto esté equipado con un telón y/o fosos, es necesario especificar su posición al momento de realizar la medición, indicando, por ejemplo, si el telón de protección está bajado o elevado, si el foso de la orquesta está cerrado o si la orquesta está sentada en el escenario. También se debe diferenciar entre la presencia de mobiliario de concierto en el escenario y su ausencia.

2.5.3 Instrumentación necesaria

Para la realización de la toma de datos y mediciones de parámetros acústicas, la norma establece la instrumentación necesaria que de describirá a continuación.

2.5.3.1 Fuente acústica

Se establece que la fuente de emisión sonora utilizada debe ser lo más omnidireccional posible y ser capaz de generar un nivel de presión sonora suficiente para generar curvas de decrecimiento con el rango dinámico requerido y sin contaminación de ruido de fondo.

Debe estar situada al menos 45 dB por encima del nivel del ruido de fondo. Si solo se va a medir T20, basta con generar un nivel que se sitúe al menos 35 dB por encima del nivel del ruido de fondo.

La norma establece una distancia mínima de 1,5 metros entre el micrófono y la fuente de emisión sonora para las diferentes mediciones que se realicen.

2.5.3.2 Micrófonos y equipos de grabación

La normativa indica que los micrófonos utilizados deben ser omnidireccionales para captar la presión acústica. Según las especificaciones de la norma, el micrófono puede ser conectado directamente a un amplificador, un conjunto de filtros y un sistema que muestre las curvas de decrecimiento. Alternativamente, se puede conectar el micrófono a un registrador de señales para llevar a cabo el análisis en un momento posterior.

Micrófonos

Los dispositivos deben satisfacer las especificaciones de un sonómetro de clase 1, conforme a lo establecido en la norma IEC 61672-1.

Dispositivo registrador

La norma indica un rango dinámico que debe ser suficiente como para permitir el rango mínimo de la curva de decrecimiento requerida y también para determinar el nivel del ruido de fondo tras el decrecimiento.

2.5.3.2 Posiciones de medida

Las posiciones de la fuente acústica deben coincidir, en su mayoría, con los lugares donde normalmente se ubican las fuentes de sonido naturales dentro del recinto. Es importante que la altura de la fuente se sitúe aproximadamente a 1 metro por encima del nivel del suelo.

En cuanto a las ubicaciones para el posicionamiento del micrófono, es crucial seleccionar puntos representativos donde los oyentes suelen estar presentes. Cada posición del micrófono debe estar separada de las demás por al menos 2 metros de distancia y 1 metro de la superficie reflectante más cercana.

El número mínimo de posiciones requeridas debe asegurar un total de 12 combinaciones distintas entre micrófono y fuente, lo que implica que se necesitan al menos 6 posiciones diferentes para el micrófono.

Capitulo III

Metodología

En este capítulo se presenta el desarrollo de la metodología propuesta para el trabajo de integración curricular, donde se han tenido en cuenta los parámetros establecidos por la normativa ISO 3382-2. Este enfoque se centra en la evaluación exhaustiva de la calidad acústica en espacios cerrados. En este análisis, se desarrollan las dos primeras fases de la metodología planteada, que abarcan la aplicación de técnicas y mejores prácticas, así como el proceso de evaluación de la situación acústica actual del auditorio de posgrado, se abordarán de manera integrada. Se identificarán los problemas y áreas de mejora, junto con una evaluación detallada de la infraestructura de audio para su diseño adecuado. Es importante señalar que la tercera fase se abordará en el capítulo IV del presente trabajo.

3.1 Requerimientos

Para el desarrollo del tercer capítulo es necesario identificar las herramientas clave para la recopilación de datos, considerando tanto las mediciones acústicas como el levantamiento de planos arquitectónicos si así se requiera según la ISO3382.

En el mercado de dispositivos para grabación profesional, destacan marcas como Zoom y Tascam, reconocidas por su excelencia en calidad de sonido y funcionalidades avanzadas. Zoom se distingue por su innovación tecnológica, ofreciendo productos como el Zoom H6 Handy Recorder, mientras que Tascam es conocido por su fiabilidad y durabilidad en modelos como la serie Tascam DR. Ambas marcas han ganado la confianza de músicos, periodistas y profesionales del audio debido a la calidad y versatilidad de sus dispositivos. Sin embargo, la elección entre Zoom y Tascam depende principalmente de las necesidades específicas del usuario, como el tipo de grabación, el entorno de trabajo y el presupuesto disponible. En la

Tabla 6 se genera una comparativa con características generales de los posibles equipos a utilizar.

Tabla 6

Comparativa en equipo de grabación

Característica	Zoom H1n	Zoom H6	Tascam DR-05X
Número de entradas XLR	0 (1 en minijack)	4	0 (1 en minijack)
Micrófonos incorporados	2	4	2
Número de pistas	2	6	2
Grabación simultánea	Sí	Sí	Sí
Micrófonos intercambiables	No	Sí	No
Interfaz de audio USB	No	Sí	Sí
Pantalla LCD	Sí	Sí	Sí
Alimentación	2 baterías AA o USB	4 baterías AA o adaptador DC	2 baterías AA o USB
Grabación de audio en WAV/MP3	Sí	Sí	Sí
Grabación en tarjeta SD	Sí	Sí	Sí
Grabación multicanal	No	Sí	No

En la normativa ISO 3382 señala que para este tipo de estudios es necesario un micrófono omnidireccional y con las características descritas en la Tabla 6, se opta por la grabadora Zoom H6, ya que cuenta con los micrófonos necesarios además de la grabación en multicanal,

para el análisis que además, será en formato WAV, que según Movavi (2024) es el formato más utilizado por su almacenamiento de datos sin comprimir y esto ayudará en la precisión de los datos a la hora de realizar las mediciones acústicas.

En cuanto al levantamiento arquitectónico, es crucial contar con equipos precisos y confiables, y entre los más utilizados se encuentran los flexómetros. Estos se pueden subdividir en varias categorías según sus funcionalidades específicas. El flexómetro estándar es esencial para mediciones básicas de longitud, mientras que el medidor láser ofrece una mayor precisión al utilizar tecnología láser para calcular distancias con rapidez y exactitud. Por otro lado, el flexómetro con láser incorporado combina las ventajas del flexómetro tradicional con la precisión del medidor láser, lo que lo convierte en una herramienta versátil y eficiente para proyectos arquitectónicos y de construcción. Se realizará una comparativa para elegir la opción que mejor se adapte en la Tabla 7.

Tabla 7

Comparativa en equipo de medición arquitectónica

Característica	**Flexómetro Normal**	**Medidor Láser**	**Flexómetro Incorporado con Láser**
Método de Medición	Manual	Láser	Láser y Manual
Precisión de Medición	Menos precisa	Alta precisión	Alta precisión
Distancia Máxima de Medición	Variable, generalmente menos de 10 metros	Generalmente entre 20-100 metros	Generalmente entre 3-30 metros
Facilidad de Uso	Requiere habilidad manual	Fácil de usar	Fácil de usar
Versatilidad	Limitada	Puede medir distancias y áreas	Puede medir distancias y áreas

Lectura de Pantalla	Escala métrica impresa	Pantalla digital	Pantalla digital y escala métrica impresa
Uso en Lugares Iluminados	Depende de la visibilidad	Funciona bien en cualquier iluminación	Funciona bien en cualquier iluminación

Para la elección del equipo, se considera la adaptabilidad en el auditorio por lo que el flexómetro con láser integrado es la mejor opción, puesto que combina las características tanto analógico y digital, para distancias cortas y largas, como las que se encuentran en el recinto a estudiar.

Estas herramientas y métodos iniciales son fundamentales para asegurar la precisión en el análisis y establecer una base sólida para el desarrollo del estudio. Su aplicación se describe en detalle en las siguientes secciones, donde se aborda el análisis de la situación actual del auditorio, incluyendo tanto el levantamiento arquitectónico realizado con el flexómetro láser como la evaluación acústica empleando la grabadora.

Para el análisis de audio y los parámetros acústicos, se considera el uso de Room EQ Wizard, una herramienta que permite realizar mediciones precisas de reverberación, claridad y otros indicadores clave. El modelado tridimensional del auditorio se medita la utilización de AutoCAD y SketchUp, softwares que facilitan la representación detallada de la estructura y los materiales del espacio. Finalmente, en cuanto a simulaciones acústicas y la evaluación de las propuestas de mejora, se considera EASE 5 Second Edition, una herramienta especializada que posibilita simular el impacto de las intervenciones planificadas, asegurando la viabilidad y efectividad de las posibles soluciones propuestas.

3.2 Análisis de la situación actual

Este apartado describe las condiciones generales del auditorio antes del inicio del análisis acústico, destacando la ausencia de planos y estudios previos, así como otros factores relevantes para el desarrollo del trabajo.

El auditorio está situado en la Universidad Técnica del Norte, específicamente en la ciudad de Ibarra, en la Av. 17 de Julio. Forma parte de las instalaciones de la facultad de posgrado, lo que lo convierte en un espacio académico y de eventos importante dentro del campus universitario, ocupando un espacio de aproximadamente 270 metros cuadrados, sin contar el resto de la facultad.

Con una capacidad para 180 personas sentadas, el auditorio presenta una disposición de asientos tipo anfiteatro. Las filas se distribuyen en ocho niveles, con 24 asientos en los primeros siete niveles y 12 asientos en el último nivel. Además, cuenta con pasillos laterales y uno central que facilitan el acceso y la movilidad de los asistentes durante los eventos.

En 2024, según datos proporcionados por la Ing. Alisson Becerra, Secretaría de la Facultad de Posgrado, este auditorio fue la sede de más de 88 eventos generales, consolidándose como un espacio clave para la realización de actividades académicas, culturales y sociales dentro de la universidad. Este volumen de eventos resalta la importancia del auditorio como un centro multifuncional que contribuye significativamente al desarrollo académico y comunitario de la institución.

3.2.1 Estado de la documentación y planos del Auditorio

Aunque se reconoce la existencia de planos generales de la Facultad de Posgrado, actualmente no se dispone de un acceso directo a documentación arquitectónica específica del Auditorio de Posgrado debido a restricciones administrativas. Esta situación limita el análisis inicial con información técnica precisa sobre el espacio.

No obstante, se plantea la necesidad de realizar un levantamiento arquitectónico específico para el auditorio, con el fin de obtener la información detallada requerida para los análisis posteriores. Este levantamiento permitirá contar con planos actualizados y enfocados exclusivamente en el área de estudio, garantizando así una base técnica sólida para las evaluaciones y propuestas futuras.

Más adelante, se presenta un análisis detallado de los materiales presentes en el auditorio, así como las áreas específicas que ocupan dentro del espacio. Esta información será fundamental para comprender la distribución y funcionalidad del auditorio, proporcionando una visión integral para el desarrollo de las propuestas de mejora.

3.2.2 Infraestructura de audio

Actualmente, el auditorio cuenta con una infraestructura de audio que, según el encargado del auditorio, Camilo Landázuri (comunicación personal, 2025), no ha sido sometida a estudios previos, siendo los dispositivos instalados sin una planificación técnica específica. El sistema de audio incluye un cuarto de consola equipado con una mezcladora R-2004FX WHARFEDALE PRO para la gestión del sonido, conectada mediante cables de audio que recorren el cielo falso hasta llegar a dos parlantes amplificados Electro Voice SXA250, ubicados en las esquinas frontales del auditorio, estos parlantes según Electro Voice (n.d.), cuenta con una cobertura de 80° x 55°, un SPL pico de 126 dB, abarca el rango de frecuencias audibles (55 Hz – 20 kHz) y capacidad de 350 W de potencia dinámica para bajas frecuencias y 80 W para altas frecuencias . Además, el equipo cuenta con micrófonos inalámbricos SEKAKU, que ofrecen mayor movilidad y versatilidad durante las presentaciones. En el escenario, se dispone de un atril diseñado para sostener el micrófono. En la Figura 10, se puede observar en la columna izquierda, se encuentra el parlante, mezcladora y controles remotos del aire acondicionado y en la columna derecha se puede evidenciar el atril, micrófonos, área de butacas respectivamente.

Figura 10

Objetos presentes en el auditorio de posgrado

La reflexión del sonido está presente en las paredes debido a la falta de materiales acústicos absorbentes. Aunque los parlantes amplificados cumplen con las necesidades básicas, la ausencia de puntos de audio distribuidos genera inconsistencias en la calidad del sonido en ciertas áreas del auditorio.

Mediante la encuesta realizada para medir la experiencia de los usuarios, los resultados señalan que el sonido no llega de manera uniforme a todas las filas, lo que afecta la experiencia general durante los eventos lo que genera la necesidad de un análisis acústico detallado y propuestas de mejora.

3.3 Evaluación base del espacio acústico

Este apartado detalla los procedimientos que se llevan a cabo para recopilar información esencial sobre las características físicas y acústicas del Auditorio de Posgrado. Inicialmente, se realiza un levantamiento arquitectónico del espacio, cuyo objetivo principal es obtener mediciones precisas de las dimensiones y la distribución del área. Posteriormente, se procede a la implementación de un procedimiento de grabación acústica siguiendo normas internacionales, con el propósito de determinar descriptores clave del comportamiento sonoro del auditorio. Ambos procesos constituyen la base para un análisis más detallado y la propuesta de soluciones orientadas a optimizar la experiencia acústica en este espacio

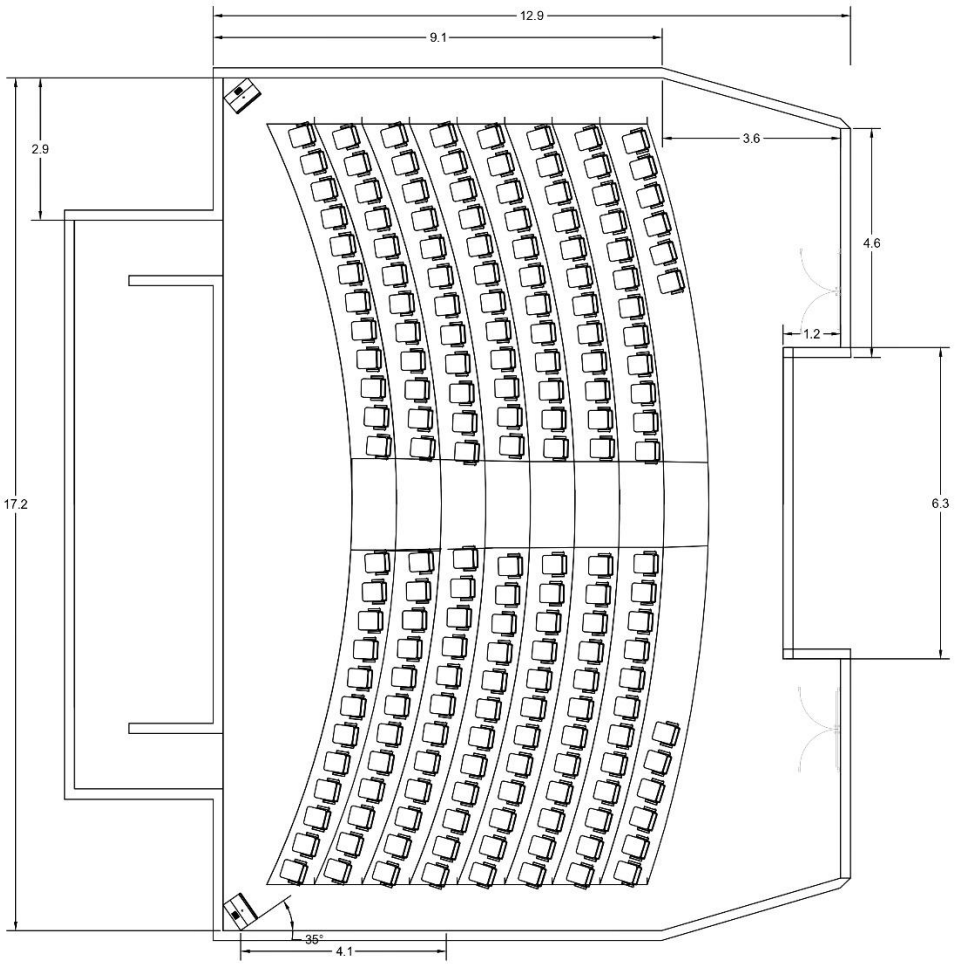
3.3.1 Levantamiento arquitectónico

Para obtener los datos necesarios, se llevó a cabo un levantamiento arquitectónico del auditorio. Este proceso implicó la toma de medidas precisas de las dimensiones del espacio. Para lograrlo, se utilizó un flexómetro con láser integrado, el cual permitió obtener mediciones precisas en distancias largas de manera eficiente.

Tras realizar las mediciones, los datos fueron registrados de forma inmediata en un borrador, asegurando una captura precisa y completa de la información obtenida durante el levantamiento arquitectónico. Este procedimiento permitió garantizar que ningún detalle importante quedara excluido. Posteriormente, la información será integrada en un software especializado de diseño y simulación, lo que permitirá explorar distintas configuraciones y posibilidades para optimizar el uso eficiente del espacio. El resultado de este proceso se ilustra en la Figura 11.

Figura 11

Plano del Auditorio vista superior



3.3.2 Procedimiento de grabación

Para obtener los descriptores acústicos necesarios para este trabajo de investigación curricular, según la normativa, se necesita una fuente de sonido omnidireccional, como la utilización de globos como fuente sonora, tal como la metodología utilizada en el estudio de la auralización de la Basílica de Hagia Sophia (Pentcheva & Abel, 2017) esperando un resultado satisfactorio.

En espacios destinados a eventos como por ejemplo los auditorios, utilizar las explosiones de los globos son lo más parecido a un impulso unidad en el tiempo y son una alternativa a los altavoces omnidireccionales. Los globos que se usaron fueron inflados con

presión similar y acercándose más a una forma esférica que ovalada, para que sea lo más omnidireccional posible, como se puede observar en la Figura 12.

Figura 12

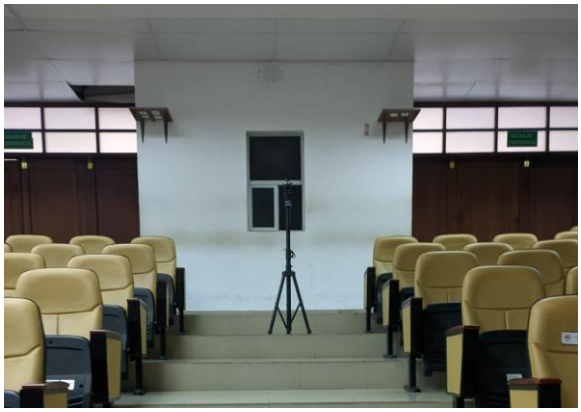
Fuente de emisión sonora

Siguiendo la norma ISO 354:2003, apt. 4.1 se especifica que para realizar este tipo de grabaciones la sala tiene que estar con un mínimo de dos personas para las mediciones exactas, en este caso solo hubo un individuo presente (mi persona).

En cuanto a las posiciones de emisor y receptor van a ser distintas dependiendo el escenario según la ISO 3382-1. La distancia del micrófono tiene que estar a una distancia equivalente a la mitad de la longitud de onda, es decir, una distancia mínima de 2 metros para el intervalo de frecuencia habitual (La frecuencia de la voz que varía de entre 85 y 255 Hz) y la distancia entre cualquier posición del micrófono hacia una superficie reflectante es 1 metro, como se puede ver en la Figura 13.

Figura 13

Posición del micrófono

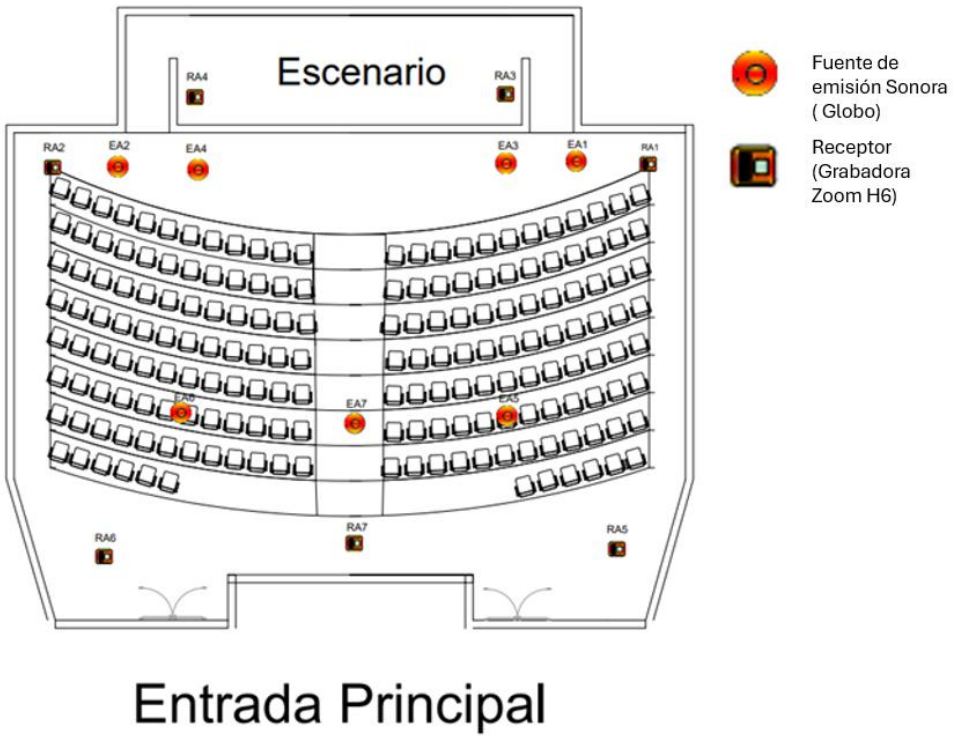


Una vez inflado los globos y ubicado el receptor, en el emisor se colocará una persona que va a explotar el globo, va a estar situado a la altura de un brazo estirado para evitar las interferencias de la propia persona y con un alfiler, lo estalla.

Para la obtención de los datos y graficas correctas es importante recalcar que no existieron ruidos externos y se tomaron 7 muestras en puntos estratégicos, representados con R para el receptor (Grabadora con los micrófonos omnidireccionales) y E para el emisor (Globo), como se puede observar en la Figura 14.

Figura 14

Puntos de medición acústica



3.4 Análisis de parámetros acústicos

En este apartado se visualizan las tablas de los parámetros acústicos, definidos previamente en el apartado 2.4. Estas tablas son obtenidas del software Room EQ Wizar, un software gratuito para la medición acústica de salas y utilizado en el Trabajo de Titulación de Recio Martín (2021). Los parámetros acústicos son: Tiempo de Decaimiento Temprano (EDT), Tiempo de Reverberación a 30 decibelios (T30), Tiempo de Reverberación a 20 decibelios (T20), Claridad a 50 milisegundos (C50) y Claridad a 80 milisegundos (C80). Los datos recopilados de los dos canales están representados en izquierda y derecha respectivamente. (EDT, T30, T20, C50 y C80)

Como se puede visualizar en las siguientes tablas del subtema 3.4 del presente TIC, en el eje horizontal se representan las frecuencias audibles del ser humano (20 Hz – 20 KHz) en la escala de octavas, mientras que en el eje vertical están los tiempos de reverberación (s) y claridad (dB).

3.4.1 Grabación punto RA1

En la Tabla 8, existe una variación significativa entre los dos canales en el EDT (Tiempo de decaimiento temprano), existiendo un valor máximo de variables superiores a dos segundos en 125 Hz, y en el caso del canal derecho, se estabiliza a partir de los 500 Hz. En cuando a los dos canales, se puede observar que en T30 existe un valor nulo en frecuencias bajas y medias. De los 2KHz en adelante, el tiempo de decaimiento temprano va bajando progresivamente a medida que aumente la frecuencia. Los valores fuera de rango en el canal izquierdo se encuentran en EDT(s), se encuentran en las frecuencias de 63 Hz, 125 Hz, 250 Hz y en T20(s) en la frecuencia de 125 Hz y en el canal derecho los valores fuera en discrepancia en EDT(s) van desde los 63 Hz a los 500 Hz y en T20(s) en la frecuencia de 125 Hz. En cuanto al parámetro de la Claridad (C50 y C80), los valores son en su mayoría negativos, exceptuando en el canal izquierdo a 63 Hz para C80.

Tabla 8

Parámetros Auditorio Punto RA1

CANAL IZQUIERDO								
	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
EDT(s)	**1,125**	**2,25**	**1,863**	1,86	2,003	2,068	2,007	1,555
RT20(s)	1,279	**1,291**	1,253	1,362	1,461	1,522	1,53	1,227
RT30(s)	1,267	N/D	1,205	N/D	N/D	N/D	N/D	1,23
C50(dB)	-5,66	-10,41	-7,09	-7,94	-4,89	-6,15	-6,78	-3,83
C80(dB)	0,79	-7,72	-5,36	-4,09	-3,08	-3,53	-4,13	-1,38
CANAL DERECHO								
	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
EDT(s)	**1,452**	**2,353**	**1,703**	**1,865**	1,91	1,995	2,158	1,637
RT20(s)	1,547	**1,292**	1,305	1,299	1,512	1,533	1,51	1,207
RT30(s)	N/D	N/D	1,211	1,339	N/D	N/D	N/D	1,223
C50(dB)	-6,25	-11,03	-7,19	-8,83	-5,44	-6,34	-7,07	-3,77
C80(dB)	-3,8	-8,34	-5,46	-5,98	-3,23	-3,72	-4,42	-1,32

3.4.2 Grabación punto RA2

En cuanto al Punto RA2, encontramos similitudes en los datos del Punto RA1 en la Tabla 9. Existe un mayor tiempo de retardo del nivel del sonido en las frecuencias de 63 Hz a 500 Hz en el canal izquierdo y 63 Hz a 250 Hz en el canal derecho. Y en cuanto a T30 los valores se encuentran en una escala normal en el canal derecho y en el canal izquierdo, existen tiempos de reverberación elevado en la columna de 125 Hz. Los valores fuera de rango en el canal izquierdo se encuentran en EDT(s), se encuentran en las frecuencias de 63 Hz, 125 Hz, 250 Hz y 500 Hz en T20(s) y T30(s) en la frecuencia de 125 Hz y en el canal derecho los valores fuera en discrepancia en EDT(s) van desde los 63 Hz a los 250 Hz y en T20(s) en la frecuencia de 125 Hz. En el parámetro de claridad es muy bajo, en este caso ningún valor es positivo.

Tabla 9

Parámetros Auditorio Punto RA2

CANAL IZQUIERDO								
	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
EDT(s)	**1,534**	**2,226**	**1,729**	**1,883**	1,801	1,855	1,836	1,458
RT20(s)	1,416	**1,745**	1,199	1,274	1,371	1,487	1,487	1,213
RT30(s)	1,363	**1,706**	1,354	1,26	1,392	1,485	1,5	1,212
C50(dB)	-2,52	-11,46	-8,71	-8,79	-5,84	-5,11	-5,64	-3,75
C80(dB)	-1,37	-8,11	-5,64	-5,71	-2,99	-2,78	-3,2	-0,91
CANAL DERECHO								
	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
EDT(s)	**1,684**	**1,869**	**1,628**	1,743	1,769	1,809	1,941	1,626
RT20(s)	1,337	**1,666**	1,234	1,368	1,446	1,495	1,47	1,162
RT30(s)	1,445	1,641	1,366	1,339	1,43	1,517	1,508	1,204
C50(dB)	-7,94	-10,72	-8,75	-7,87	-6,35	-5,05	-5,35	-4,19
C80(dB)	-5,79	-7,37	-5,48	-4,79	-3,5	-2,72	-2,91	-1,35

3.4.3 Grabación punto RA3

En la Tabla 10, contiene valores similares a las anteriores tablas con a la diferencia que existen valores normales para todas las RT20 y RT30 en todas las frecuencias. Existen valores positivos en cuando a C80 solo en 63 Hz, los demás son negativos.

Tabla 10

Parámetros Auditorio Punto RA3

CANAL IZQUIERDO								
	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
EDT(s)	**1,444**	**1,821**	**1,68**	1,755	1,674	1,757	1,668	1,342
RT20(s)	1,375	1,297	1,216	1,353	1,496	1,522	1,541	1,172
RT30(s)	1,478	1,521	1,193	1,331	1,466	1,495	1,549	1,193
C50(dB)	-1,82	-8,19	-5,98	-6,13	-6,34	-6,11	-4,98	-2,27
C80(dB)	2,48	-4,39	-4,04	-3,28	-2,62	-2,85	-2,21	0,57
CANAL DERECHO								
	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
EDT(s)	**1,693**	**1,62**	**1,544**	**1,638**	1,764	1,773	1,735	1,404
RT20(s)	1,542	1,699	1,268	1,254	1,491	1,503	1,558	1,2
RT30(s)	1,582	1,747	1,258	1,356	1,464	1,513	1,56	1,22
C50(dB)	-3,34	-9,66	-5,39	-6,37	-6,72	-6,26	-4,96	-3,15
C80(dB)	0,96	-5,86	-3,54	-3,52	-3	-3	-2,19	-0,31

3.4.4 Grabación punto RA4

Como se puede observar en la Tabla 11, en EDT existe una mayor cantidad de reverberación en frecuencias de 125 Hz, y en T20 a frecuencias de 63 Hz. Al igual que en la Figura 3.4, no hay valores en frecuencias bajas y medias en T30. En cuanto al parámetro de claridad, solo existen valores positivos de C80 en 63 Hz en el canal derecho y un valor máximo de -7.08 en 125 Hz en el canal izquierdo.

Tabla 11

Parámetros Auditorio Punto RA4

CANAL IZQUIERDO								
	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
EDT(s)	1,84	**1,576**	1,548	1,733	2	1,773	1,758	1,414
RT20(s)	**1,352**	1,654	1,29	1,329	1,414	1,499	1,517	1,167
RT30(s)	N/D	N/D	1,229	1,318	N/D	N/D	N/D	1,206
C50(dB)	-3,92	-8,88	-6,92	-3,9	-5,49	-5,47	-5,41	-3,76
C80(dB)	-1,34	-7,08	-3,1	-2,52	-3,47	-2,99	-2,79	-0,6
CANAL DERECHO								
	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
EDT(s)	1,274	**1,661**	1,431	1,773	1,969	1,934	1,819	1,475
T20(s)	**1,344**	1,467	1,409	1,376	1,427	1,434	1,481	1,175
T30(s)	N/D	1,487	1,312	1,413	N/D	N/D	N/D	1,191
C50(dB)	-1,08	-4,05	-5,13	-3,2	-5,51	-5,87	-5,88	-4,18
C80(dB)	1,5	-2,25	-1,31	-1,82	-3,49	-3,39	-3,26	-1,02

3.4.5 Grabación punto RA5

En la Tabla 12, el EDT a diferencia de los otros resultados, presenta tiempos prolongados en frecuencias mayores desde 1KHz hasta 4KHz en el canal izquierdo. No presentan la similitud de disminución proporcionalmente con la frecuencia a comparación de los otros resultados. Se encontraron valores para todos los parámetros. En C80, el canal derecho presenta mejores valores en frecuencias bajas a comparación con el canal izquierdo, que sus valores, en mayoría no se aproximan a cero.

Tabla 12

Parámetros Auditorio Punto RA5

CANAL IZQUIERDO								
	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
EDT(s)	**1,83**	**2,584**	1,977	1,896	2,163	**2,172**	**2,252**	1,759
RT20(s)	1,394	1,421	1,151	1,424	1,476	1,517	1,619	1,289
RT30(s)	1,384	1,578	1,175	1,351	1,471	1,536	1,65	1,309

C50(dB)	-1,03	-7,79	-9,16	-7,4	-7,45	-7,38	-7,91	-4,91
C80(dB)	-0,94	-5,36	-5,33	-5,33	-4,74	-4,53	-5,27	-2,05
CANAL DERECHO								
	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
EDT(s)	**1,719**	**1,934**	1,965	**1,993**	**2,145**	2,18	2,319	1,801
RT20(s)	1,22	1,394	1,177	1,453	1,502	1,577	1,628	1,31
RT30(s)	1,387	1,391	1,125	1,344	1,504	1,562	1,683	1,314
C50(dB)	-1,08	-5,74	-5,48	-6,79	-6,88	-7,12	-7,59	-4,65
C80(dB)	-0,04	-3,3	-3,04	-4,33	-4,73	-4,78	-5,14	-2,89

3.4.6 Grabación punto RA6

En cuanto al punto RA6, en la Tabla 13, existen similitudes entre los dos canales en cuanto a valores en frecuencias de 250 Hz y existiendo variabilidad hasta los 2kHz, frecuencia en las cuales los valores empiezan a decaer. La claridad, a diferencia de los casos anteriores, en el canal derecho podemos observar que hay más de un valor positivo en frecuencias de 63 y 125 Hz y muy cercanas a cero en 8KHz. Hasta el momento, estos valores han sido los más satisfactorios en cuanto a la claridad para C80, mientras que para C50 siguen siendo valores negativos.

Tabla 13

Parámetros Auditorio Punto RA6

CANAL IZQUIERDO								
	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
EDT(s)	1,612	**1,88**	**1,527**	1,731	2,026	2,05	2,025	1,554
RT20(s)	1,349	1,44	1,293	1,387	1,482	1,575	1,625	1,261
RT30(s)	1,447	N/D	1,251	1,347	N/D	N/D	N/D	1,28
C50(dB)	-0,74	-6,13	-6,23	-7,32	-4,88	-4,68	-5,21	-2,14
C80(dB)	0,25	-4,5	-4,81	-5,94	-3,41	-3,32	-4,19	-0,8
CANAL DERECHO								
	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
EDT(s)	**1,38**	1,549	**1,544**	1,835	**2,067**	2,072	2,161	1,587
RT20(s)	1,413	1,674	1,207	1,288	1,424	1,574	1,612	1,303

RT30(s)	1,395	1,573	1,19	1,303	N/D	N/D	N/D	1,292
C50(dB)	0,93	-1,24	-5,59	-4,01	-5,77	-4,98	-5,47	-2,36
C80(dB)	1,6	0,15	-4,26	-2,97	-4,42	-3,84	-4,3	-0,94

3.4.7 Grabación punto RA7

En la Tabla 14, por primera vez existe una incongruencia en frecuencias altas en el canal derecho, siendo un valor inferior en 2KHz a comparación con los 4KHz de manera que no sigue la disminución progresiva por aumento de frecuencia. En cuando a claridad, solo existe un valor positivo en 63 Hz en el canal derecho para C80, pero cabe destacar que, a comparación con los otros resultados, estos tienen mayor estabilidad acercándose al valor de cero.

Tabla 14

Parámetros Auditorio Punto RA7

CANAL IZQUIERDO								
	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
EDT(s)	**1,428**	1,896	**1,637**	**1,815**	1,94	2,116	2,075	1,557
RT20(s)	1,314	1,627	1,321	1,256	1,44	1,451	1,56	1,244
RT30(s)	N/D	1,584	1,253	1,291	1,491	1,496	N/D	1,247
C50(dB)	-0,98	-6,14	-6,21	-7,35	-4,85	-4,91	-5,39	-2,04
C80(dB)	-1,67	-3,3	-3,37	-5,29	-3,89	-3,92	-4,07	-1,5
CANAL DERECHO								
	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
EDT(s)	**1,493**	**1,872**	1,799	1,738	**2,05**	**2,064**	2,079	1,596
RT20(s)	1,399	1,521	1,24	1,37	1,403	1,46	1,602	1,255
RT30(s)	N/D	1,515	1,226	1,344	1,458	1,513	N/D	1,274
C50(dB)	0,41	-4,17	-3,46	-3,02	-5,03	-4,78	-5,44	-2,17
C80(dB)	0,82	-3,57	-0,86	-1,48	-4,2	-3,55	-5,06	-1,38

3.5 Interpretación acústica actual

Con los resultados obtenidos se ha visto que en la mayoría de los puntos existe un mayor tiempo de reverberación y decaimiento temprano como se puede ver en la Tabla 15, puesto que a frecuencias más bajas tienen mayor longitud de onda (al ser inverso a la frecuencia), y a

medida que llega al rango de las frecuencias agudas, va perdiendo más energía. En el estudio realizado por Carrión Isbert (1998), analiza la Sala de actos del edificio docente de la Dirección General de Deportes de Generalitat de Cataluña, Esplueges de Llobregat (Barcelona, España), un espacio muy similar a la zona de estudio del Auditorio de Posgrado de la Universidad Técnica del Norte. Para este tipo de recintos el valor RT tiene que estar en un rango recomendado de 0,7 – 1,2 s y en promedio el estado actual del auditorio llega de 1 – 1,5 s, por lo que podemos comprobar que existe un problema de reverberación por diversos factores, como el coeficiente de reflexión de los materiales presentes que generan reverberación. Aunque los tiempos de reverberación sean altos, no impide la conversación, pero en puntos como RA2 y RA5 presentan más discrepancia en cuanto a valores recomendados.

Tabla 15

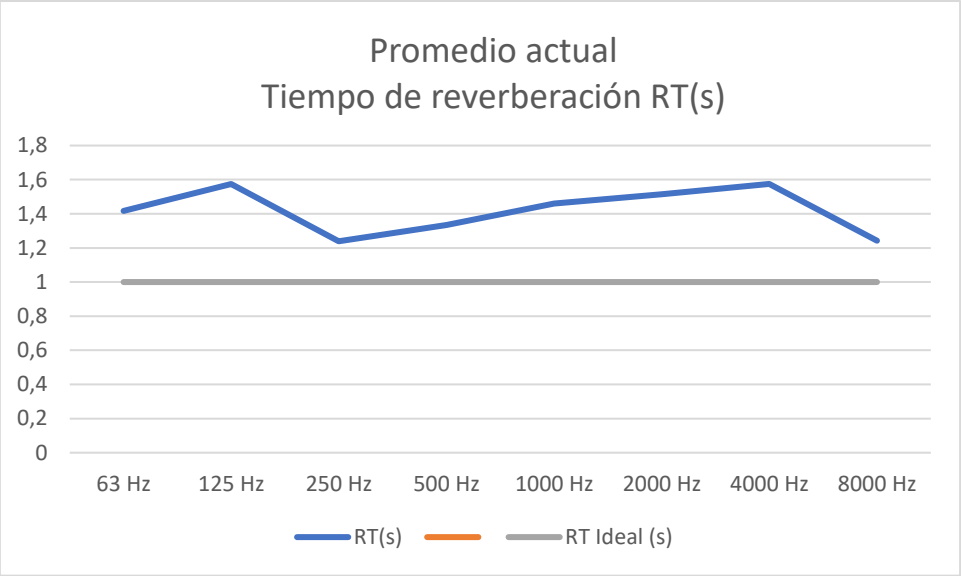
Promedio general

PROMEDIO GENERAL								
	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
EDT(s)	1,536	1,935	1,684	1,804	1,949	1,973	1,988	1,555
RT20(s)	1,377	1,513	1,255	1,342	1,453	1,511	1,553	1,228
RT30(s)	1,416	1,574	1,239	1,334	1,46	1,515	1,575	1,243
C50(dB)	-2,5	-7,54	-6,52	-6,35	-5,82	-5,73	-5,93	-3,37
C80(dB)	-0,468	-5,071	-3,971	-4,075	-3,626	-3,494	-3,796	-1,134

Al comparar el promedio de los datos recopilados en la Tabla 15 con los valores recomendados para RT(s) se utilizan los valores de RT30 ya que la incertidumbre de medición es menor comparada con RT30 según NTi Audio (n.d.), y se genera la gráfica que se muestra en la Figura 15. Esta gráfica ilustra el intervalo de error dentro de la banda de octavas, revelando un porcentaje de error del 41.95 % y con amplia escala de mejora.

Figura 15

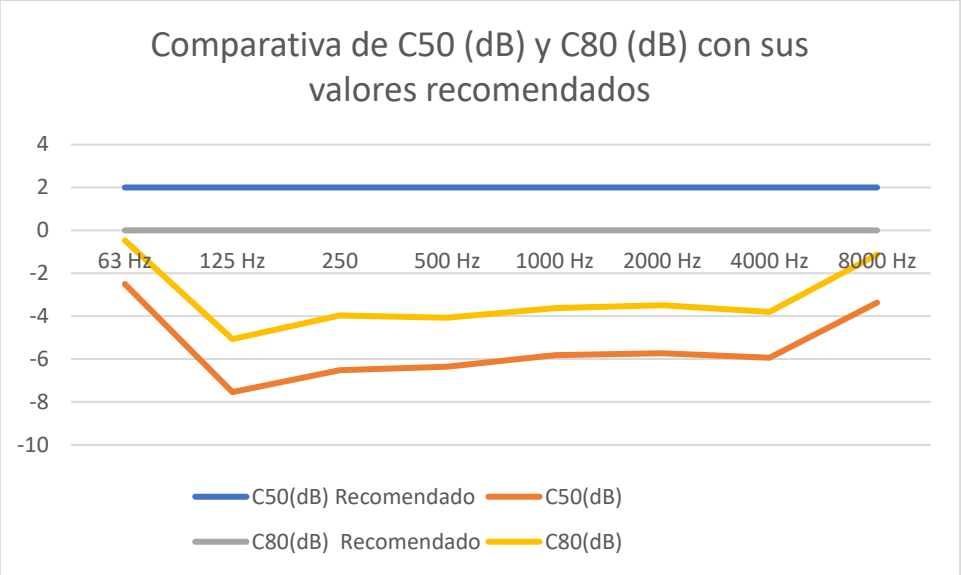
Comparación de RT con valores recomendados



En cuanto a la claridad, según Carrión Isbert (1998) , el valor recomendado de C50 tiene que ser mayor a 2 dB y para C80 debe estar de ente -4 dB a 0 dB (–4 dB ≤ C80 ≤ 0) dB, por lo que se pudo determinar que existen varios valores que se encuentran fuera del rango establecido lo cual indica la presencia de problemas en cuanto a intangibilidad de la palabra y genera una mala experiencia en los oyentes. Adicionalmente, al analizar los valores de claridad en las tablas correspondientes a cada uno de los puntos del auditorio en los que se capturaron las señales, se puede evidenciar que para el punto RA5, indicado en la Figura 16, existen más valores fuera del rango recomendado en comparación a las otras muestras capturadas y en frecuencias de 125 Hz. Se presenta un patrón de comportamiento en el cual existe un amplio porcentaje de mejora en las frecuencias intermedias. Sin embargo, en las frecuencias extremas de 63 Hz y 8 KHz, la diferencia entre los valores reales y los valores ideales es significativamente menor para C80. Para C50 todos los valores son negativos y alejados de los valores recomendados.

Figura 16

Comparación de C80 con valores recomendados



Esta discrepancia plantea un desafío importante, ya que todo el rango de frecuencias son críticas para la calidad del sonido en diversas aplicaciones, como la reproducción de música y la claridad del habla y se planteará el escenario simulado.

3.6 Diseño actual simulado

En el presente apartado se procederá a realizar los modelos digitales del área de estudio del trabajo de integración curricular (Auditorio de posgrado de la Universidad Técnica del Norte). Para ello, se llevará a cabo un levantamiento en 3D del auditorio utilizando las mediciones específicas recopiladas, lo cual permitirá crear una simulación que presentará gráficos que se aproximen a los establecidos en el sitio de medición.

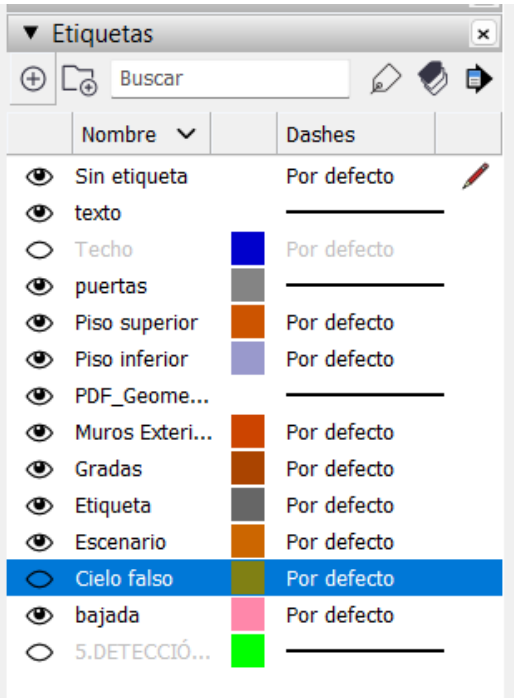
3.6.1 Diseño en 3D

El diseño del modelo digital del Auditorio de Posgrado se realizó a partir de planos 2D en formato digital elaborados en AutoCAD como se mostró en la Figura 11. A partir de estos planos, se modeló la sala utilizando el software SketchUp que es un software de modelado tridimensional que trabaja con un sistema de capas o etiquetas, lo que permite organizar y gestionar los elementos del modelo de manera estructurada. En la Figura 17 se muestra la lista

de etiquetas utilizadas en el diseño del auditorio, donde se incluyen diferentes elementos arquitectónicos como techo, puertas, muros exteriores, graderías, escenario y cielo falso, entre otros.

Figura 17

Lista de etiquetas utilizadas en el diseño del auditorio



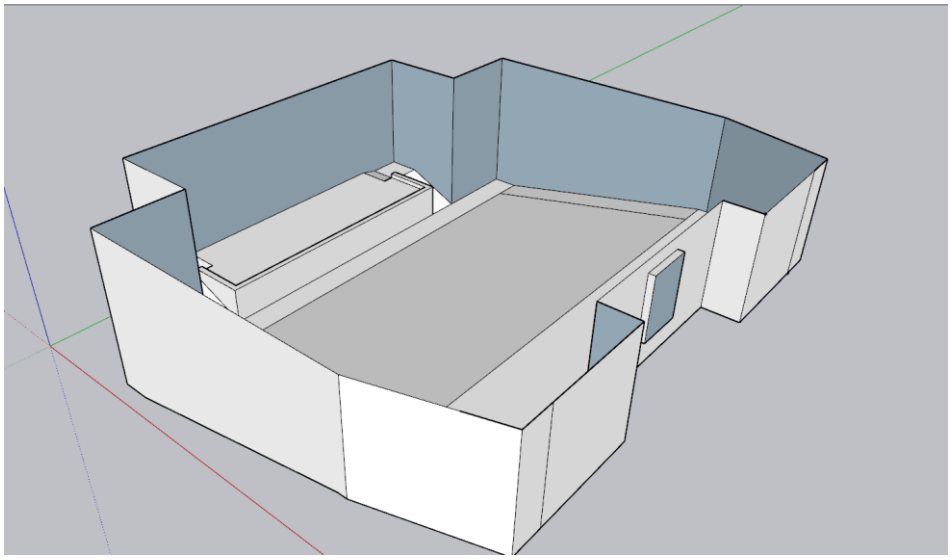
El uso de capas en SketchUp facilita la activación o desactivación de elementos específicos para optimizar el trabajo en el modelo. En la Figura 18, se muestra el modelo 3D con la capa del techo desactivada, permitiendo una mejor visualización interna. Sin embargo, al momento de la exportación a EASE 5, es necesario activar el techo para garantizar que el modelo esté completamente cerrado, lo cual es fundamental para un análisis acústico preciso.

Además, es importante destacar que el modelo no debe incluir profundidad en las paredes o pisos, sino representarse mediante caras planas, simulando la forma del auditorio como si fuese un cubo hueco. Esto se debe a que EASE 5 trabaja con modelos de superficies

planas, por lo que elementos como las gradas no deben incluirse como se muestra en la Figura 18.

Figura 18

Modelo 3D del auditorio realizado en SketchUp



Para importar el modelo de SketchUp a EASE 5, es necesario exportarlo en un formato 3D compatible, como se muestra en la Figura 19. Este proceso permite generar un modelo tridimensional que puede ser interpretado correctamente por EASE 5.

Figura 19

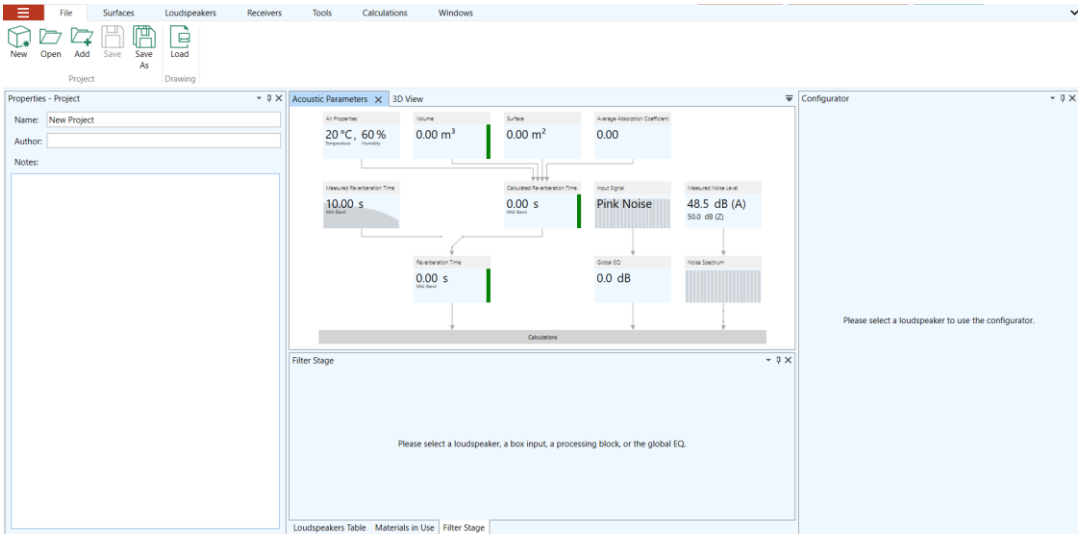
Exportación del modelo a formato 3D compatible con EASE 5

EASE 5 es una herramienta que proporciona simulación y análisis acústico avanzado, permitiendo evaluar el comportamiento del sonido. Este software es utilizado en el diseño de auditorios, teatros, salas de conferencias e incluso espacios industriales ya que ofrece modelado tridimensional del entorno, cálculos de tiempo de reverberación (RT60), claridad acústica

(C50, C80) y distribución de presión sonora (SPL), entre otros parámetros. La Figura 20 proporciona la interfaz del software y las herramientas que proporciona.

Figura 20

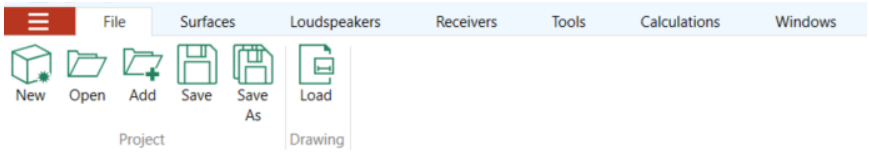
Interfaz y herramientas correspondientes al software EASE 5



La Figura 21 muestra el apartado de “File” que proporciona herramientas para crear, abrir, añadir, guardar y cargar proyectos según las necesidades que se requieran. En este apartado se abrirá el modelo que se exportó de Sketchup.

Figura 21

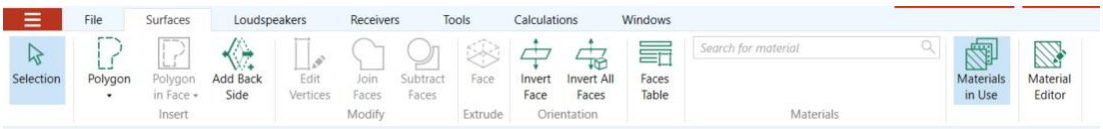
Funciones de EASE 5 en el apartado “File”



En la Figura 22, se muestra la pestaña "Surfaces" dentro de la interfaz de EASE 5, la cual proporciona herramientas para la creación, edición y manipulación de las superficies del modelo acústico. También incluyen opciones de materiales que permiten asignar y modificar sus propiedades acústicas de cada superficie del modelo.

Figura 22

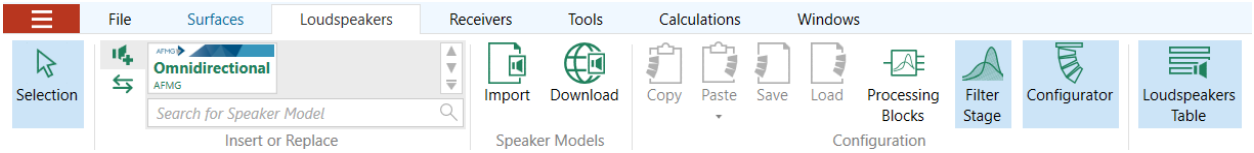
Funciones de EASE 5 en el apartado "Surfaces"



En la Figura 23, se muestra la pestaña "Loudspeakers" en la interfaz de EASE 5, la cual permite gestionar y configurar los altavoces dentro del modelo acústico, incluye herramientas para la selección, importación, configuración y procesamiento de los modelos de altavoces utilizados en la simulación.

Figura 23

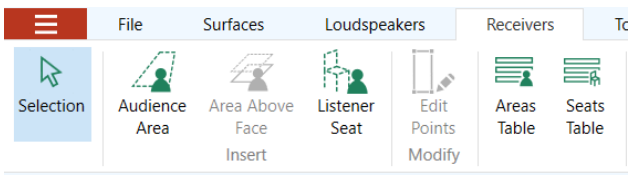
Funciones de EASE 5 en el apartado "Loudspeakers"



Como se muestra en la Figura 24, el apartado "Receivers" en la interfaz de EASE 5, la cual permite definir y gestionar las áreas y puntos de recepción del sonido dentro del modelo acústico. Permite establecer los puntos donde se evaluará la propagación del sonido y los parámetros acústicos en la audiencia.

Figura 24

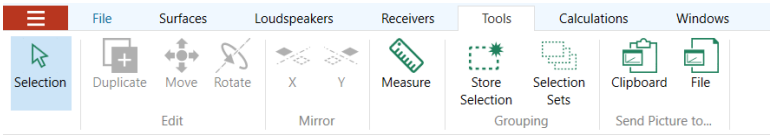
Funciones de EASE 5 en el apartado "Receivers"



En la Figura 25, se muestra la pestaña "Tools" en la interfaz de EASE 5, la cual proporciona herramientas para la manipulación, medición y organización de elementos dentro del modelo acústico.

Figura 25

Funciones de EASE 5 en el apartado "Tools"



En la Figura 26, se muestra la pestaña "Calculations" en la interfaz de EASE 5, la cual contiene herramientas para la simulación y análisis acústico dentro del modelo.

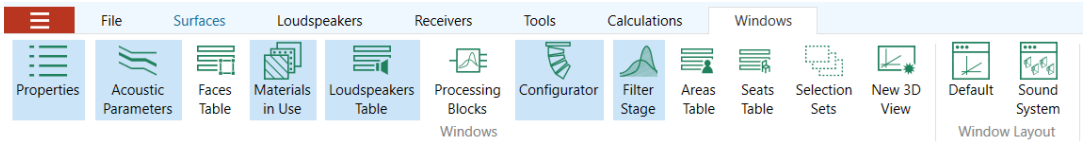
Figura 26

Funciones de EASE 5 en el apartado "Calculations"

La pestaña "Windows" permite personalizar la visualización de las diferentes ventanas utilizadas en el proceso de modelado y análisis acústico, como se observa en la Figura 27.

Figura 27

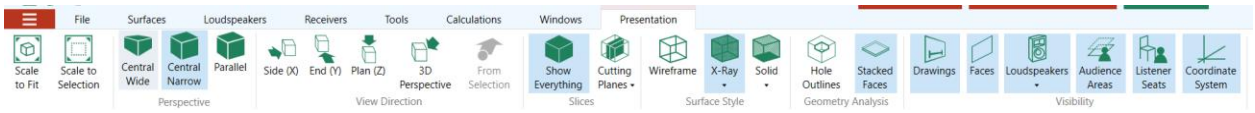
Funciones de EASE 5 en el apartado "Windows"



Al importar un modelo, se muestra otra pestaña llamada “Presentation" como se muestra en la Figura 28, la cual permite gestionar la visualización del modelo 3D tanto escalado, perspectivas, dirección de vistas y secciones.

Figura 28

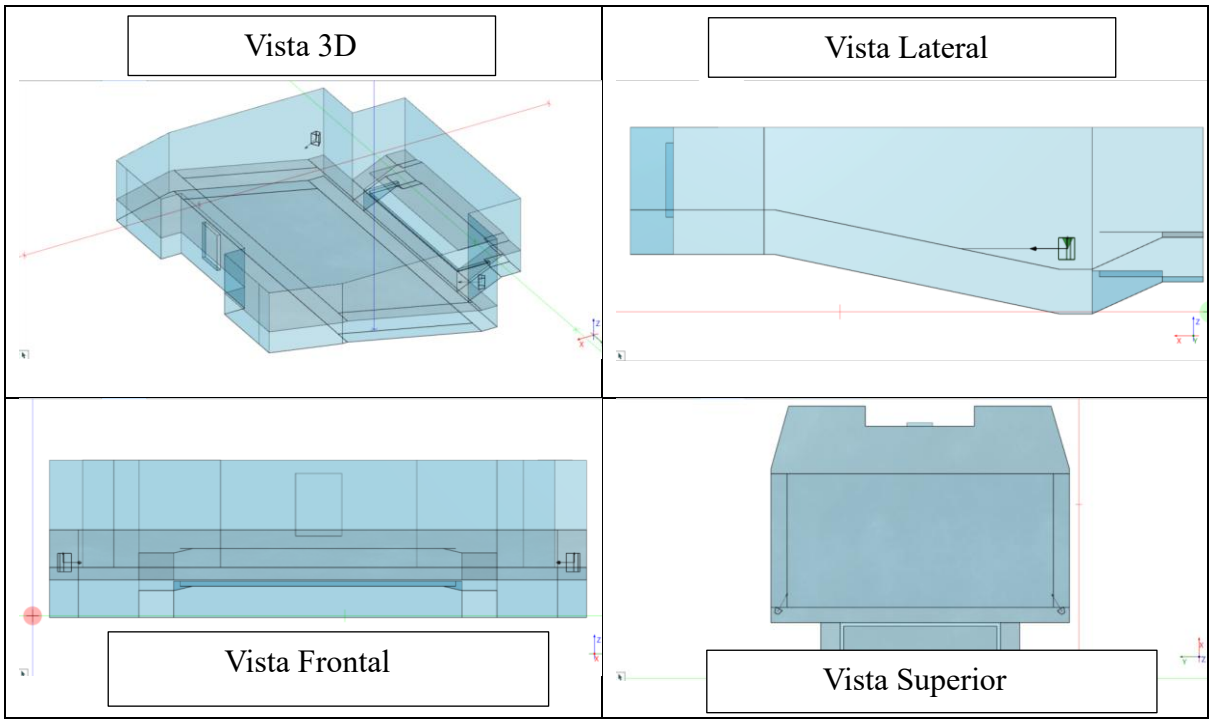
Funciones de EASE 5 en el apartado “Presentation” al importar el modelo



Como se puede observar en la Figura 29, se presentan las diferentes vistas del Auditorio de Posgrado, importadas en el software EASE 5. Estas vistas son fundamentales para llevar a cabo el trabajo de integración curricular, permitiendo una evaluación precisa y detallada del entorno acústico del auditorio.

Figura 29

Vistas del Auditorio de Posgrado de la UTN.



3.6.2 Asignación de materiales a las superficies

La asignación de materiales en la sala de estudio es un paso crucial en la caracterización del modelo, ya que influye directamente en el ajuste del tiempo de reverberación simulado. Para lograrlo, primero se seleccionaron los materiales de las superficies con mayor área en el modelo. Luego, se ajustaron los niveles de las superficies de menor dimensión para que se aproximen a las mediciones presentadas en el capítulo 3.

Una vez seleccionados los materiales, se modifican algunos coeficientes de absorción para ajustar el tiempo de reverberación simulado a las mediciones obtenidas en el capítulo anterior. Es importante destacar que ciertos materiales del auditorio han experimentado deterioro con el tiempo, lo que afecta sus propiedades acústicas. Este deterioro se consideró al realizar las modificaciones pertinentes. Para los valores iniciales de los materiales, se tomó como referencia la base de datos del software EASE.

La necesidad de ajustar los coeficientes de absorción en las simulaciones acústicas se debe a que los valores teóricos o de referencia pueden no reflejar con precisión las condiciones reales del auditorio. Factores como el envejecimiento, desgaste o modificaciones en los materiales pueden alterar sus propiedades acústicas originales. Por lo tanto, es esencial calibrar el modelo mediante la modificación de estos coeficientes para que el tiempo de reverberación simulado coincida con las mediciones reales como lo plantea Casas Palomino (2021) en su proyecto de fin de grado titulado “Propuesta de mejora acústica para el Auditorio y Palacio de Congresos Infanta Doña Elena (Águilas, Murcia)”.

En el estudio realizado por Mora G, Lucio Naranjo J, Bravo-Moncayo L (2017) titulado "Optimización de Coeficientes de Absorción para Simulación Numérica Acústica" se propone una metodología que enfatiza la importancia de este ajuste. El enfoque consiste en un procedimiento iterativo donde se optimizan los coeficientes de absorción en el modelo hasta

que los parámetros acústicos simulados concuerden con las mediciones experimentales realizadas en la sala real. Este proceso asegura que la simulación refleje con mayor precisión las características acústicas del espacio estudiado.

3.6.2.1 Coeficiente de absorción de materiales usados en el Auditorio de Posgrado

EASE 5 ofrece una extensa biblioteca de materiales estándar creados por AFMG, con coeficientes de absorción previamente definidos. Además, permite la edición y creación de nuevos materiales, otorgando la flexibilidad de ajustar los coeficientes de absorción según las necesidades del modelo acústico.

El auditorio está compuesto principalmente por paredes de hormigón, un suelo de baldosas de cerámica y un techo de cielo falso que integra sistemas de iluminación y ventilación. También cuenta con butacas y una ventana en el cuarto de equipos. Para la calibración del modelo, se seleccionan en la biblioteca de materiales del software aquellos que más se asemejen a los utilizados en el auditorio, permitiendo así ajustar los coeficientes de absorción promedio y lograr que los datos simulados se alineen con los valores medidos en la realidad. El coeficiente de absorción promedio es el cálculo de la sumatoria del coeficiente de absorción en las frecuencias de la banda de octava, dividido para el número de frecuencias consideradas.

En el proyecto de fin de grado de Casas Palomino (2021) se enfatiza que los materiales representados en el software deben tener correspondencia con los materiales físicos presentes en el auditorio de posgrado. Por ello, el modelo se segmenta en áreas como paredes, techo, suelo, butacas y ventanas. El estudio señala que superficies pequeñas, como las puertas, debido a su proporción y coeficiente, tienen un impacto menor en la acústica del auditorio y, por lo tanto, se incluyen en la categoría de paredes. En contraste, aunque las ventanas ocupan una menor área en el espacio, el vidrio representa un punto envolvente por donde puede infiltrarse

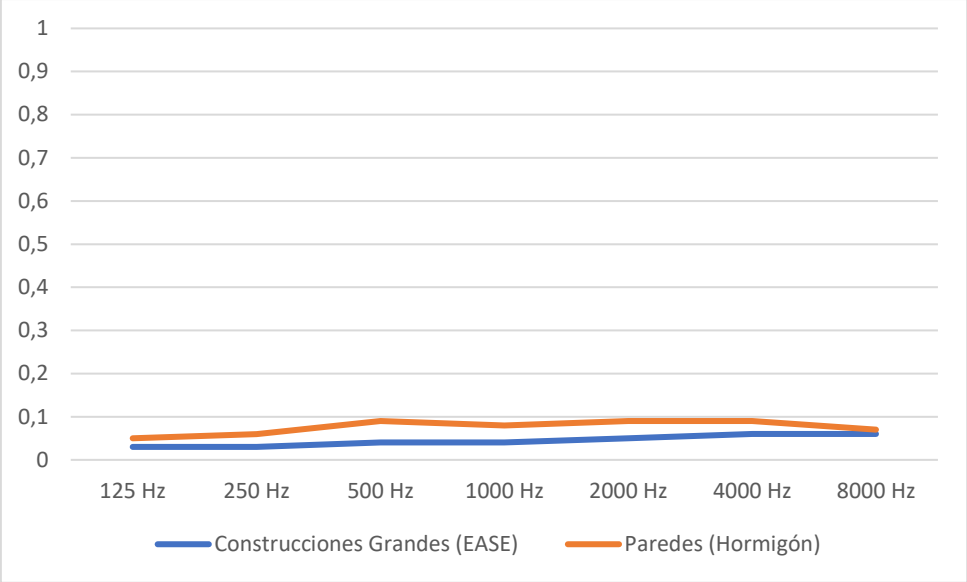
el ruido, y su coeficiente de absorción posee propiedades acústicas diferentes a los demás materiales circundantes. Según el blog "Importancia del aislamiento acústico en ventanas" de Climalit (2022), el vidrio supone un punto envolvente en el cual puede infiltrarse el ruido y su coeficiente de absorción tiene propiedades acústicas diferentes a los demás materiales alrededor.

Para el área de las paredes, se toma como referencia el material genérico **"**Massive Construction**"** con un coeficiente de absorción promedio de 0,04 de la biblioteca de EASE. Este material estándar, desarrollado por AFMG, está diseñado para su uso en paredes o pisos de construcción maciza, incluyendo hormigón, ladrillo, acero, yeso, azulejos vidriados, terrazo, parquet o vinilo sobre hormigón, así como en superficies de hielo o agua, por lo que este material es una base para el área de las paredes del modelo.

En la Figura 30, se muestra la comparación entre los coeficientes de absorción en distintas frecuencias del modelo base para las paredes y los coeficientes ajustados para la calibración del modelo. Como resultado de este ajuste, el coeficiente de absorción se redujo a 0.03, para lograr una correspondencia con los valores medidos en el auditorio.

Figura 30

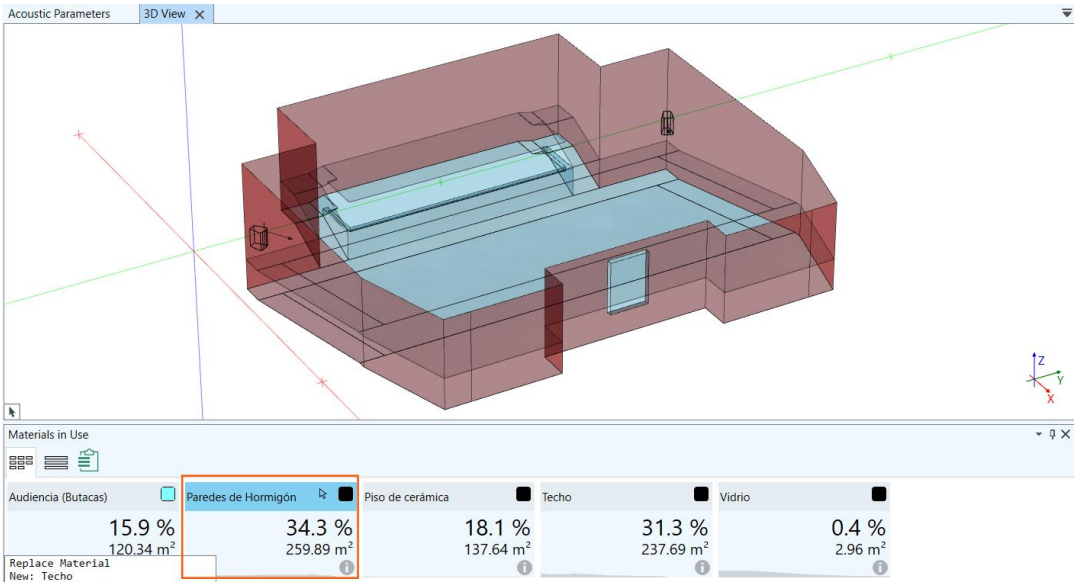
Coeficiente de absorción de las paredes del auditorio



Al asignar el material ajustado al área correspondiente, en este caso, las paredes del auditorio, el software muestra el porcentaje que esta superficie representa dentro del modelo, que en este caso es 34.3%, así como su extensión en metros cuadrados, alcanzando un total de 259.89 m². Además, al seleccionar el área, esta se resalta visualmente dentro del modelo para una mejor identificación. Estos valores pueden observarse en el recuadro de la Figura 31, y en la parte superior de la figura se encuentra el área asignada al material resaltada en color rojo.

Figura 31

Área de las paredes del auditorio

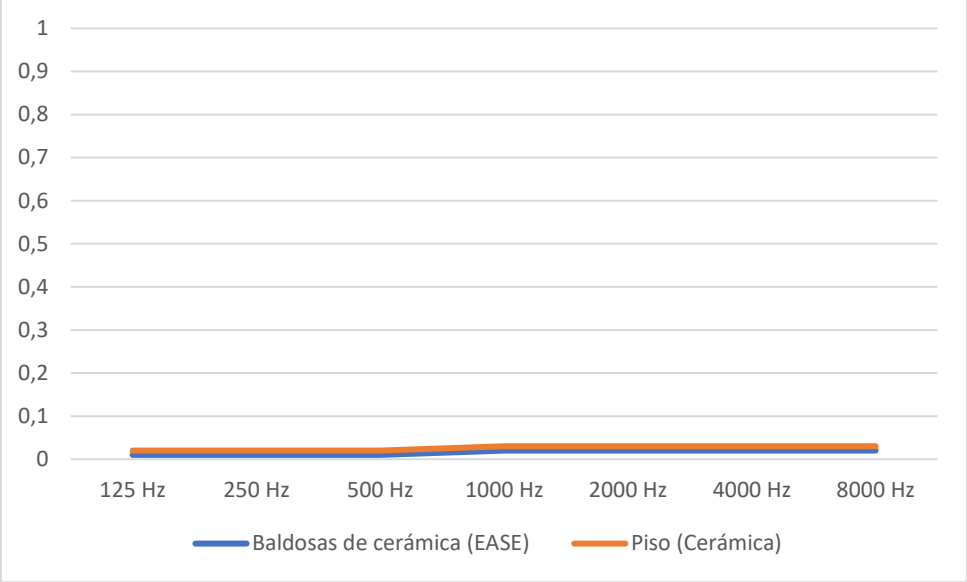


En cuanto al área del suelo, se toma como referencia el material genérico "Ceramic Tiles" con un coeficiente de absorción promedio de 0,02 de la biblioteca de EASE. Este material estandarizado por Templeton et al. (1993) en *Acoustics in the Built Environment - Advice for the Design Team*, es ideal para la base del piso del auditorio que está compuesto por vadosas de cerámica.

En la Figura 32, se muestra la comparación entre los coeficientes de absorción en distintas frecuencias del modelo base para el suelo del auditorio y los coeficientes ajustados para la calibración del modelo. Como resultado de este ajuste, el coeficiente de absorción se redujo a 0.01, para lograr una correspondencia con los valores medidos en el auditorio

Figura 32

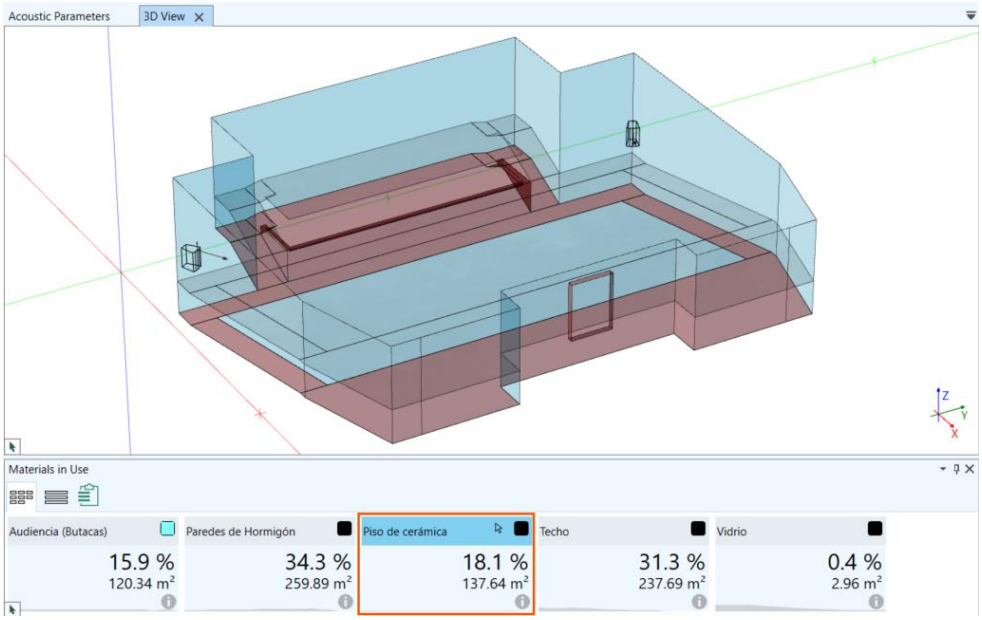
Coeficiente de absorción del suelo del auditorio



Al asignar el material ajustado al área correspondiente, en este caso, el suelo del auditorio, el software muestra el porcentaje que esta superficie representa dentro del modelo, que en este caso es 18.1%, así como su extensión en metros cuadrados, alcanzando un total de 137.64 m². Además, al seleccionar el área, esta se resalta visualmente dentro del modelo para una mejor identificación. Estos valores y el área que ocupa pueden observarse en el recuadro de la Figura 33, y en la parte superior de la misma figura se encuentra el área asignada al material resaltada en color rojo

Figura 33

Área del suelo del auditorio

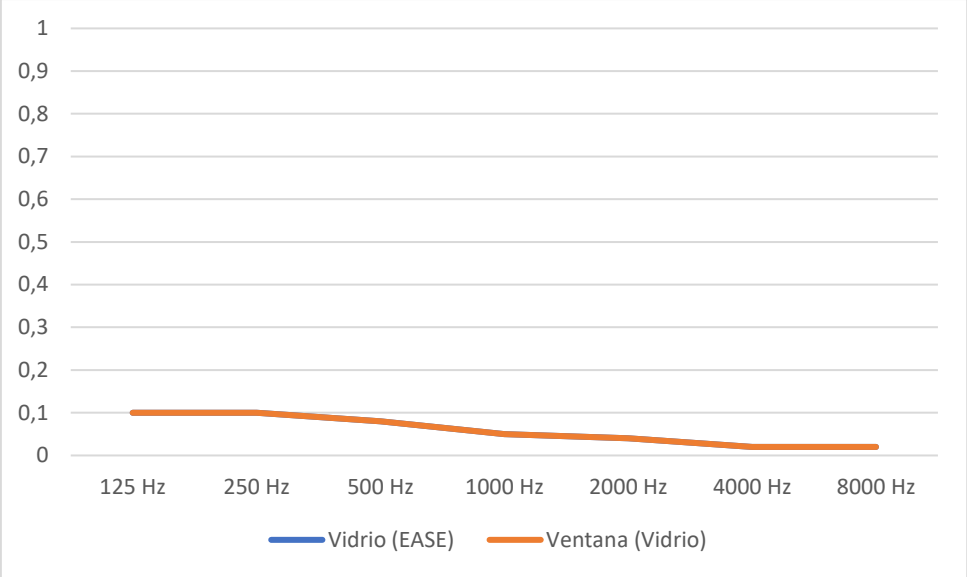


Para el área de la ventana, se toma como referencia el material genérico **"**Glass**"** con un coeficiente de absorción promedio de 0,06 de la biblioteca de EASE. Este material estándar, desarrollado por AFMG, está diseñado para su uso en ventanas o paneles de cristal fino, lo que es ideal para esta área.

En la Figura 34, se muestra la comparación entre los coeficientes de absorción en distintas frecuencias del modelo base para la ventana y los coeficientes ajustados para la calibración del modelo. Como resultado de este ajuste, el coeficiente de absorción se mantuvo en 0,06, para lograr una correspondencia con los valores medidos en el auditorio, este valor no varía puesto que la ventana no representa un área muy extensa.

Figura 34

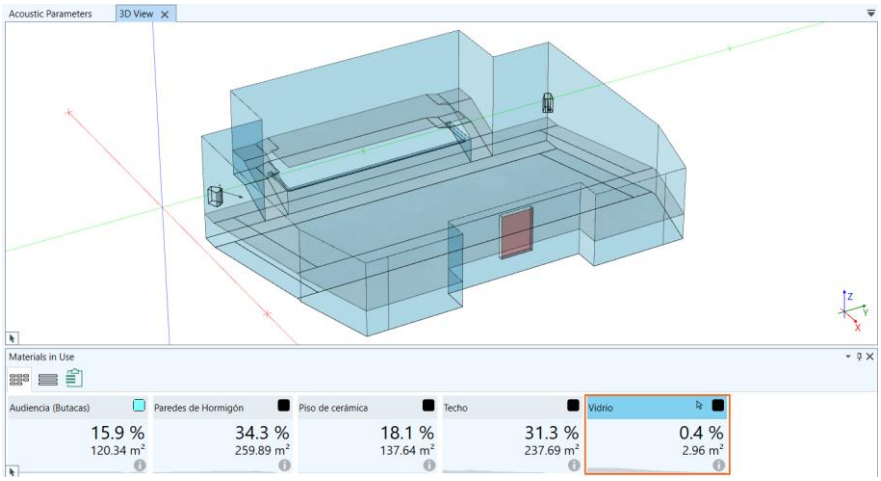
Coeficiente de absorción de la ventana del auditorio



El material asignado al área correspondiente, en este caso, la ventana del auditorio, el software muestra el porcentaje que esta superficie representa dentro del modelo, que en este caso es 0,4%, así como su extensión en metros cuadrados, alcanzando un total de 2,96 m². Además, al seleccionar el área, esta se resalta visualmente dentro del modelo para una mejor identificación. Estos valores y el área se pueden observarse en el recuadro de la Figura 35, y en la parte superior de la misma figura se encuentra el área asignada al material resaltada en color rojo.

Figura 35

Área de la ventana del auditorio

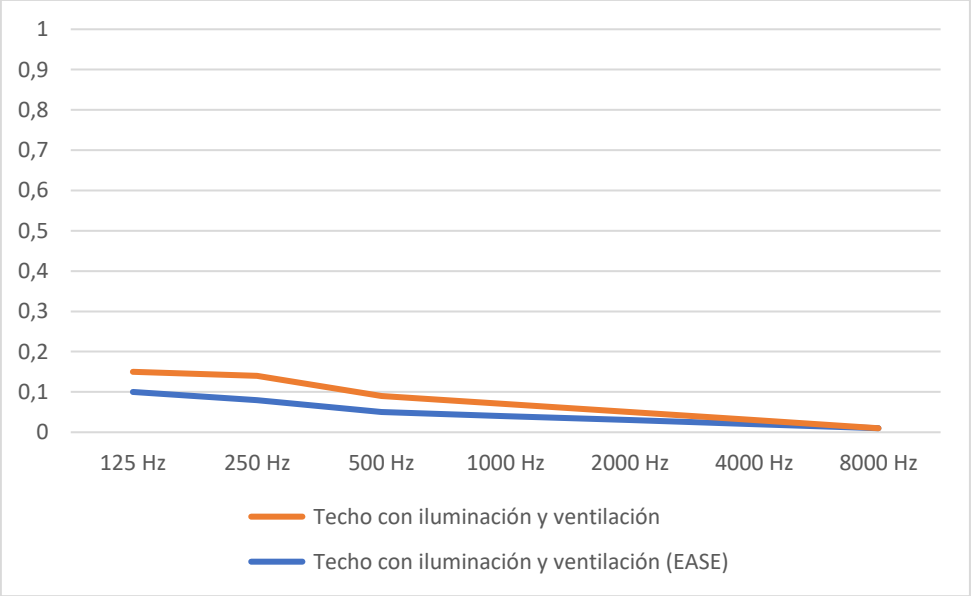


Para el techo, se toma como referencia el material genérico "Plaster, ceiling, 60 mm w/lighting and ventilation" con un coeficiente de absorción promedio de 0,05 de la biblioteca de EASE. Este material estándar, desarrollado por Leo Beranek (2024) en "*Concert Halls and Opera Houses*", es ideal para ser la base de referencia del techo del auditorio que está compuesto por el cielo falso, iluminación y el sistema de ventilación.

En la Figura 36, se observa la comparación entre los coeficientes de absorción en distintas frecuencias del modelo base para las paredes y los coeficientes ajustados para la calibración del modelo. Como resultado de este ajuste, el coeficiente de absorción se redujo a 0.03, para lograr una correspondencia con los valores medidos en el auditorio.

Figura 36

Coeficiente de absorción del cielo falso del auditorio

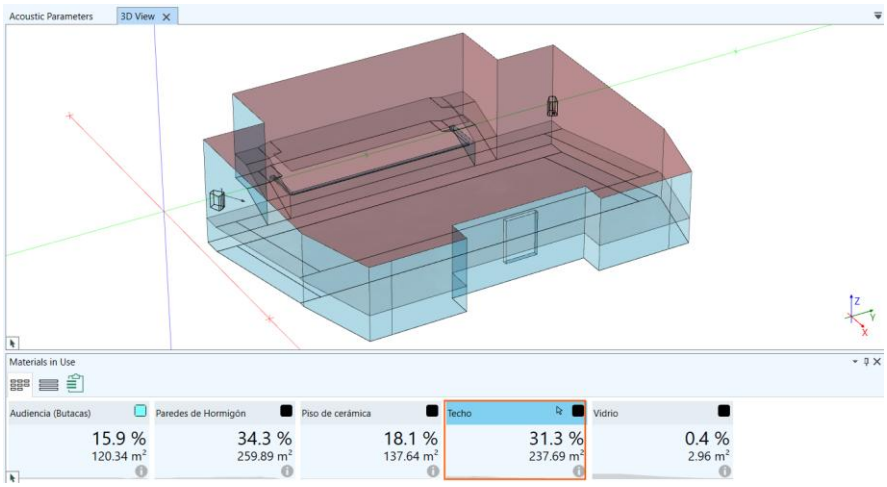


El material asignado al área correspondiente, en este caso, el techo del auditorio, el software muestra el porcentaje que esta superficie representa dentro del modelo, que en este caso es 31,3%, así como su extensión en metros cuadrados, alcanzando un total de 237,69 m². Además, al seleccionar el área, esta se resalta visualmente dentro del modelo para una mejor identificación. Estos valores y el área se pueden observarse en el recuadro de la Figura 37, y

en la parte superior de la misma figura se encuentra el área asignada del material en el modelo, resaltada en color rojo.

Figura 37

Área del cielo falso del auditorio

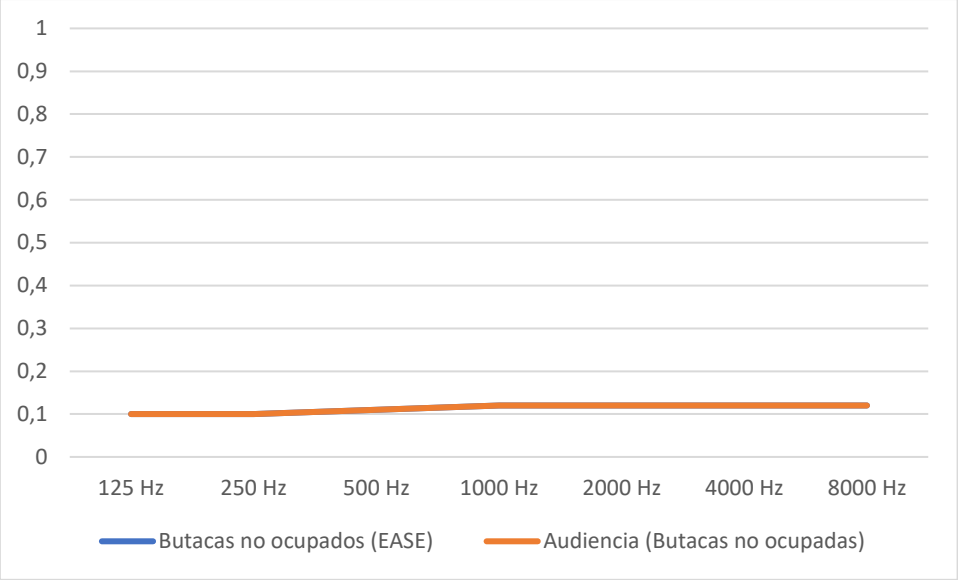


En el área que corresponden las butacas, se toma como referencia el material "Unoccupied, concert hall, no seats" con un coeficiente de absorción promedio de 0,11 de la biblioteca de EASE. Este material estándar, desarrollado por AFMG, está diseñado para su uso en auditorios.

En la Figura 38, se muestra la comparación entre los coeficientes de absorción en distintas frecuencias del modelo base para la ventana y los coeficientes ajustados para la calibración del modelo. El coeficiente promedio se mantuvo en 0,11, para lograr una correspondencia con los valores medidos en el auditorio.

Figura 38

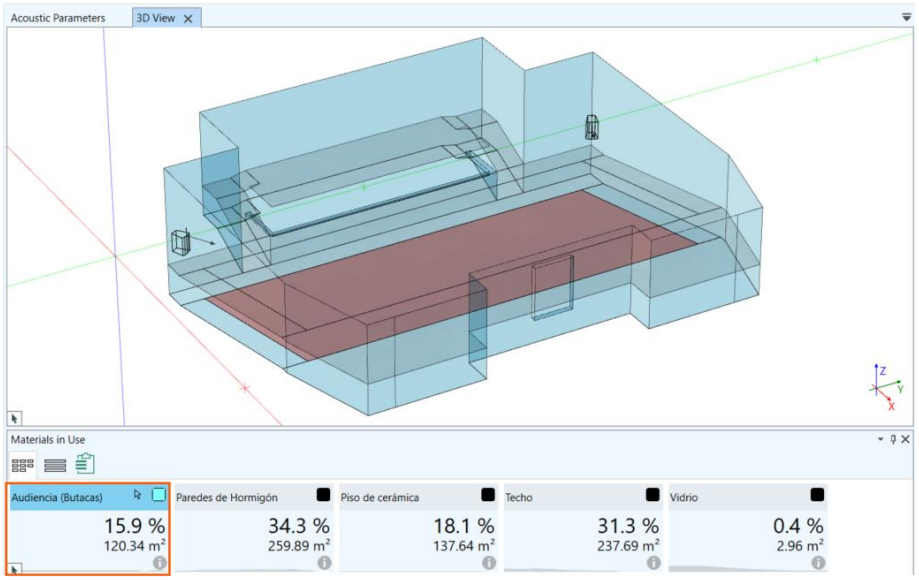
Coeficiente de absorción del área de audiencia.



El material asignado al área correspondiente, en este caso, el área donde se encuentran las butacas del auditorio, el software muestra el porcentaje que esta superficie representa dentro del modelo, que en este caso es 15,9%, así como su extensión en metros cuadrados, alcanzando un total de 120,34 m². Además, al seleccionar el área, esta se resalta visualmente dentro del modelo para una mejor identificación. Estos valores y el área se pueden observarse en el recuadro de la Figura 39, y en la parte superior de la misma figura se encuentra el área asignada del material en el modelo, resaltada en color rojo.

Figura 39

Área de la audiencia en el auditorio



3.6.2.2 Validación de los modelos simulados

Tras finalizar el diseño de las salas y asignar los materiales a las diferentes superficies, se ajustaron con precisión los coeficientes de absorción de ciertos materiales, dando como resultado mediante la ecuación de Eyring los datos recopilados en la Tabla 16. En esta tabla se presenta el promedio general del tiempo de reverberación (RT) simulado, expresado en segundos (s), para diferentes frecuencias de la banda de octavas, en hertzios (Hz).

Tabla 16

Promedio general RT(s) Simulado

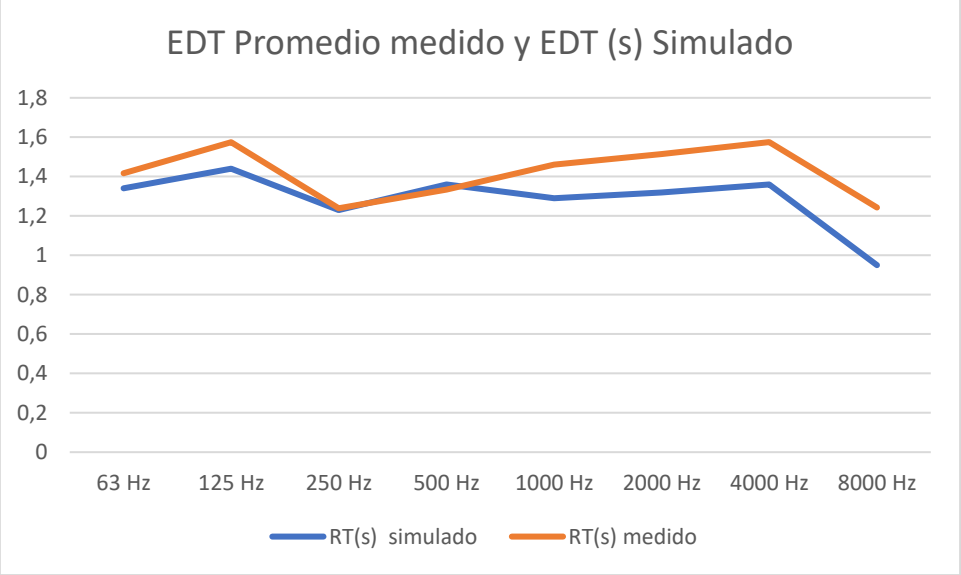
PROMEDIO GENERAL SIMULADO								
	63 Hz	**125 Hz**	**250 Hz**	**500 Hz**	**1000 Hz**	**2000 Hz**	**4000 Hz**	**8000 Hz**
RT simulado(s)	1,34	1,44	1,23	1,36	1,29	1,32	1,36	0,95

Luego, se realizó una comparación entre los resultados de las mediciones del tiempo de reverberación y los resultados simulados. Este ajuste minucioso de los coeficientes de absorción se efectuó para que los modelos simulados se correspondieran lo más fielmente posible con los resultados obtenidos y documentados en el punto 3.5. Este procedimiento

detallado es fundamental para asegurar la exactitud y la fiabilidad del modelo acústico desarrollado como se puede observar en la Figura 40, donde el eje Y representa el tiempo en segundos y en el eje X la frecuencia en Hz.

Figura 40

Tiempo de reverberación promedio medido y simulado



3.6.3 Análisis acústico actual simulado

Para llevar a cabo el análisis acústico del Auditorio de Posgrado de la Universidad Técnica del Norte, se utilizó el software de simulación EASE para evaluar las condiciones acústicas actuales. En este proceso, se consideraron las fuentes de emisión presentes en el diseño existente.

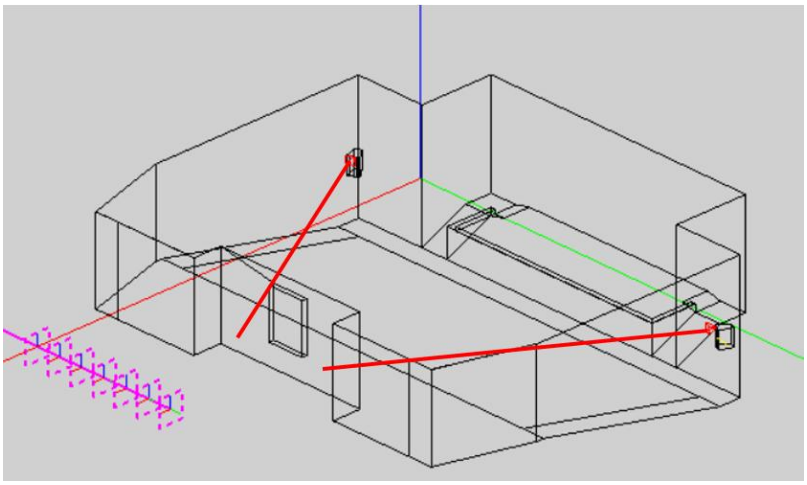
Para la simulación, se seleccionaron altavoces desde la biblioteca del software, eligiendo modelos que representan los equipos actualmente instalados en el auditorio, con el objetivo de replicar su comportamiento en el análisis, actualmente el auditorio posee parlantes amplificados Electro Voice SXA250, en cuanto a diseño similar, woofer, patrón de cobertura y disponibilidad en la biblioteca de ese, la opción más adecuada es la del Electro-Voice SX300.

Para simular el trazado de rayos desde las fuentes de emisión sonora, seleccionamos el apartado de “Ray Tracing” en el apartado “Calculations” de la interfaz de EASE, se nos despliega una ventana con vista general del proyecto y otra para ventana para la generación del ray tracing.

En la Figura 41, se observa la ubicación y orientación de los altavoces presentes en la simulación mediante EASE 5, lo que nos proporciona la referencia para el trasado de los rayos en la simulación.

Figura 41

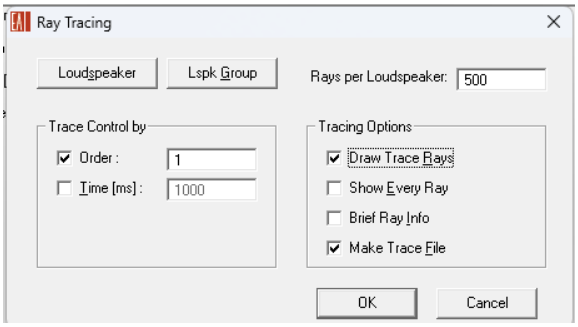
Vista perspectiva de las orientaciones de los altavoces



Para trazar los rayos, es necesario desplegar el menú de configuraciones que se observa en la Figura 42. Tomando como referencia el Proyecto de Fin de Carrera de Sarmiento Belén (2002) menciona que el valor de rayos dispersados para el diseño de aulas es 100. Sin embargo, este valor depende de varios factores, incluyendo el tamaño y complejidad del modelo, por lo que entre más rayos existe una mayor precisión. En la sección "Trace Control by", se puede elegir entre orden de reflexión (Order) o tiempo de simulación en milisegundos (Time ms), el número de órdenes de reflexión será de primer orden para considerar una reflexión y visualizar como se refleja el sonido.

Figura 42

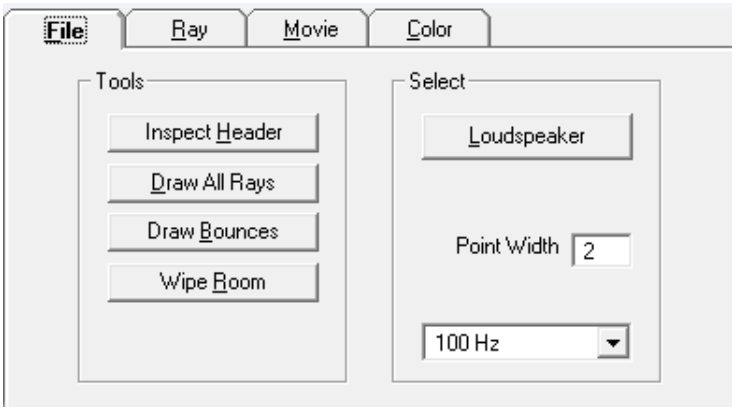
Menú de configuraciones para el trazado de rayos



El archivo generado permite acceder al menú de herramientas para poder analizar la propagación, como se puede evidenciar en la Figura 43, en la sección de herramientas nos proporciona opciones para visualizar información general, habilitar la visualización de las trayectorias de los rayos, los puntos de rebote en superficies y también permite seleccionar una o todas las fuentes de emisión sonora.

Figura 43

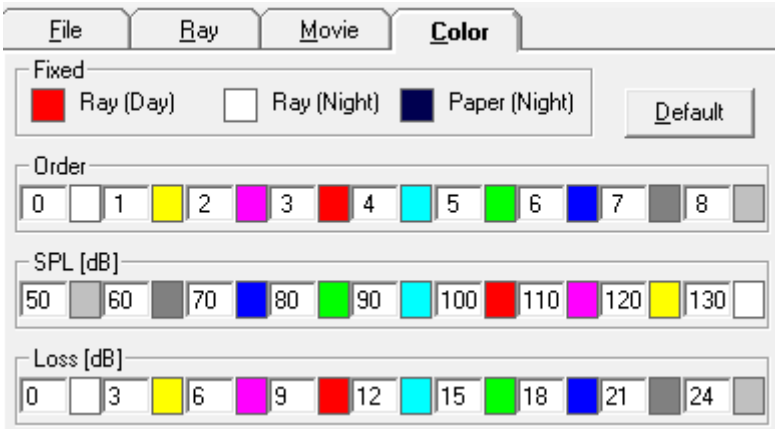
Menú de herramientas para el análisis de propagación



La Figura 44 muestra el apartado de “Color”, presenta una paleta de colores asignando un color diferente según el Orden, SPL (dB), Loss (dB), de esta manera se puede comparar y tener un mejor entendimiento de la simulación.

Figura 44

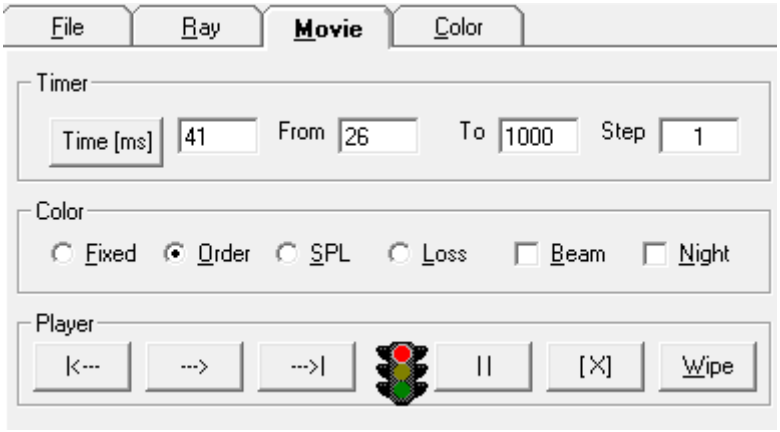
Paleta de colores según el orden en el apartado "Color"



En la Figura 45, el apartado "Movie" permite generar un time laps de la propagación en partículas, y la opción de elegir entre el Orden, SPL (dB), Loss (dB) de las partículas.

Figura 45

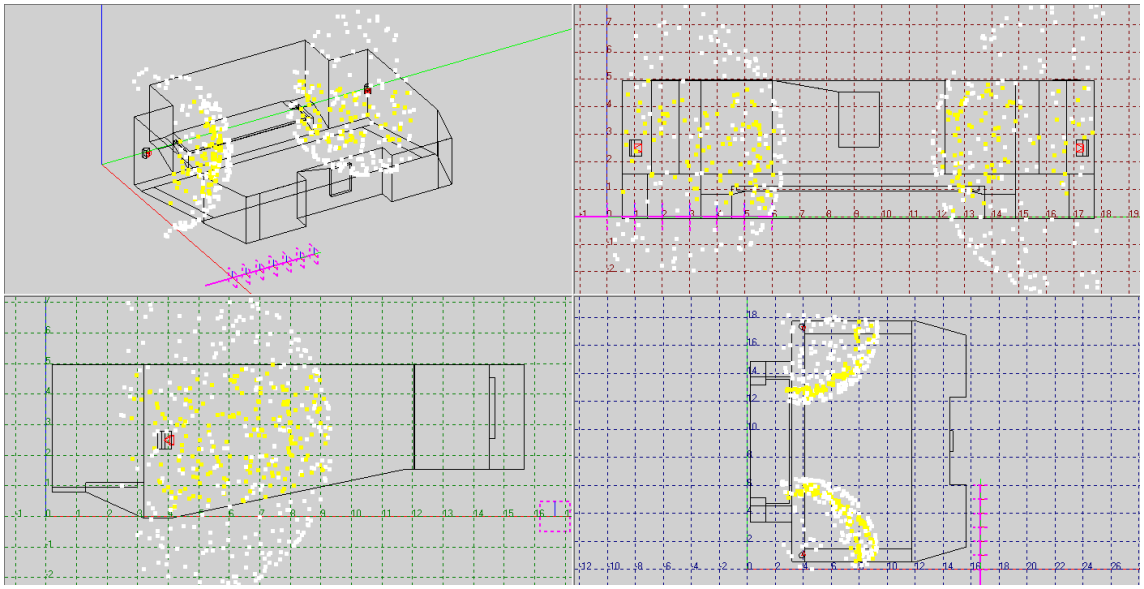
Generación de time laps de la propagación en partículas en el apartado "Movie"



Como se observa en la Figura 46, la reproducción del time laps del orden de las partículas muestra las partículas de color blanco como orden cero, es decir que no se ha reflejado y en color amarillo las partiduras que se han reflejado.

Figura 46

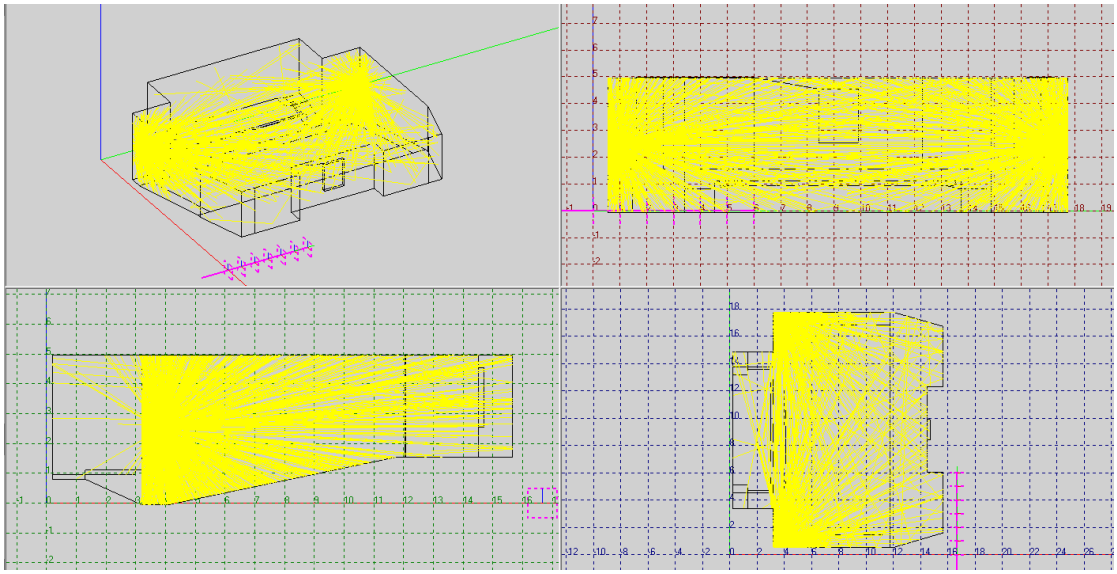
Perspectiva de propagación del auditorio en partículas



Los rayos trazados se pueden evidenciar en la Figura 47, muestran que existen espacios en los que no se propaga de manera uniforme o no llegan a cubrir en su totalidad los rayos presentando espacios de mejora.

Figura 47

Perspectiva de propagación del auditorio en raytracing



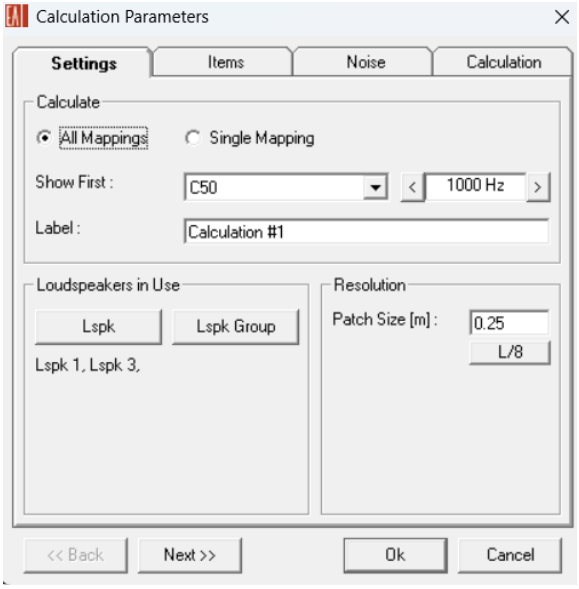
Al ser un diseño simulado y tener establecido dos fuentes de emisión sonora del diseño actual del auditorio de posgrado, a diferencia de las medidas tomadas en el sitio las cuales se establecieron siete muestras de una fuente de sonido omnidireccional en diferentes zonas del

auditorio como lo recomienda la ISO3382, las gráficas de la claridad van a discrepar a las obtenidas en el software EASE 5 Second Edition. Por esta razón, es esencial interpretar las gráficas de claridad con una comprensión de las limitaciones y diferencias inherentes entre las simulaciones y las mediciones realizadas en el auditorio por ello el parámetro de claridad no se va a comparar con las mediciones reales.

Al seleccionar la herramienta “Room Mapping” en el apartado “Calculations” de EASE 5, se pueden calcular distintos parámetros acústicos del auditorio, como Direct SPL (dSPL), Total SPL (tSPL), Clarity Index C50 y C80 como lo propone (Casas Palomino, 2021). En la Figura 48 se observa la configuración de los parámetros de cálculo, donde se selecciona la opción "All Mappings" para evaluar toda la sala en lugar de un solo punto. Además, se establece el primer parámetro de visualización a una frecuencia de la banda de octavas. La resolución del cálculo se define con un "Patch Size" los valores menores que 0.25 m aumenta la resolución, pero hace que el cálculo tome más tiempo y consuma más recursos, mientras que un Patch Size más grande mayor que 0.5 m reduce el tiempo de cálculo, pero disminuye la precisión y puede omitir detalles acústicos importantes, por ello se establece un equilibrio entre precisión y eficacia de cálculo con 0.25 m. En la sección de altavoces, se incluyen los modelos Lspk 1 y Lspk 3, que serán utilizados en el análisis acústico del auditorio.

Figura 48

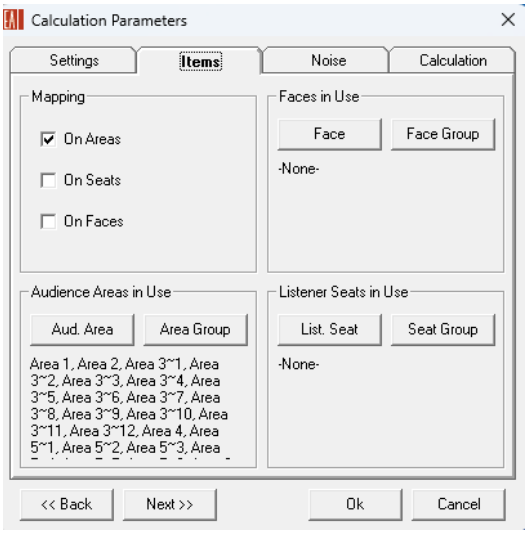
Configuración de los parámetros de cálculo



Como se observa en la Figura 49 la configuración de los parámetros de cálculo, donde se selecciona la opción "On Areas", lo que indica que el análisis se realizará sobre áreas específicas del auditorio en lugar de puntos individuales como asientos o superficies estructurales, además, en la sección "Audience Areas in Use", se han definido múltiples zonas de audiencia, lo que permite analizar la cobertura y distribución sonora en distintos sectores del auditorio. No se han seleccionado opciones para calcular valores en asientos individuales ("On Seats") ni en superficies estructurales ("On Faces) para la realización del calculo general del auditorio.

Figura 49

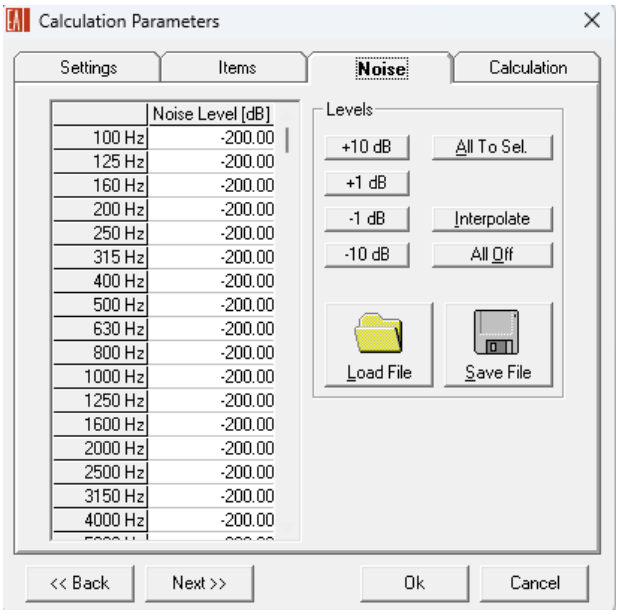
Configuración de parámetros para análisis de cobertura y distribución sonora



En la Figura 50, se observa la configuración de los parámetros de cálculo dentro de la pestaña "Noise", donde se definen los niveles de ruido en distintas bandas de frecuencia, puesto que el auditorio es un espacio cerrado y se analizará el comportamiento de los altavoces sin interferencias externas, se desactiva el ruido ambiental.

Figura 50

Configuración de parámetros de cálculo para definición de niveles de ruido

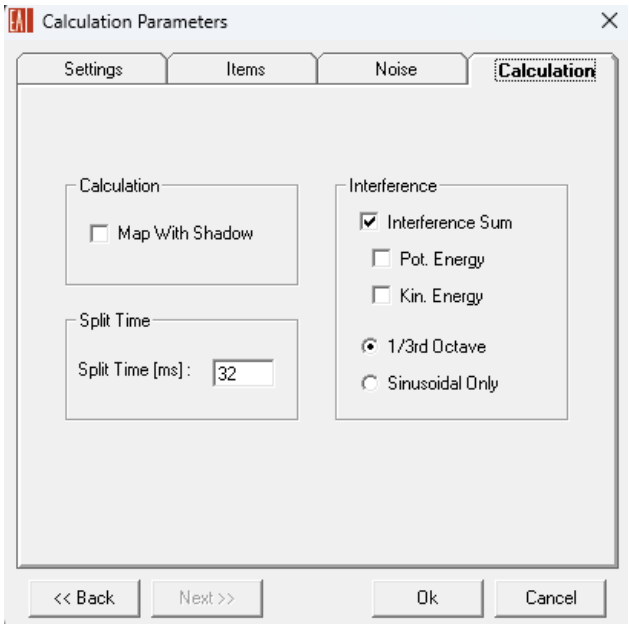


En la Figura 51, se observa la configuración de la pestaña "Calculation", donde se definen los métodos de cálculo y la forma en la que se procesarán las simulaciones acústicas.

Se activa la opción "Interference Sum", para tener en cuenta la suma de las interferencias de las ondas de sonido generadas por los altavoces en el auditorio puesto que se cuenta más de uno. El Split Time (ms) se ha configurado en 32 ms, lo que define el intervalo de tiempo para el procesamiento de la respuesta acústica, este valor es recomendado en auditorios de tamaño medio como el de Posgrado. Se activa el método de análisis en tercios de octava, proporcionando una resolución detallada en la representación del espectro de la frecuencia. Por otro lado, las opciones "Pot. Energy" y "Kin. Energy" no están activadas, puesto que no se evalúa la energía potencial ni cinética del sistema acústico en esta simulación porque no tienen un impacto directo en la inteligibilidad del habla o en la calidad sonora percibida.

Figura 51

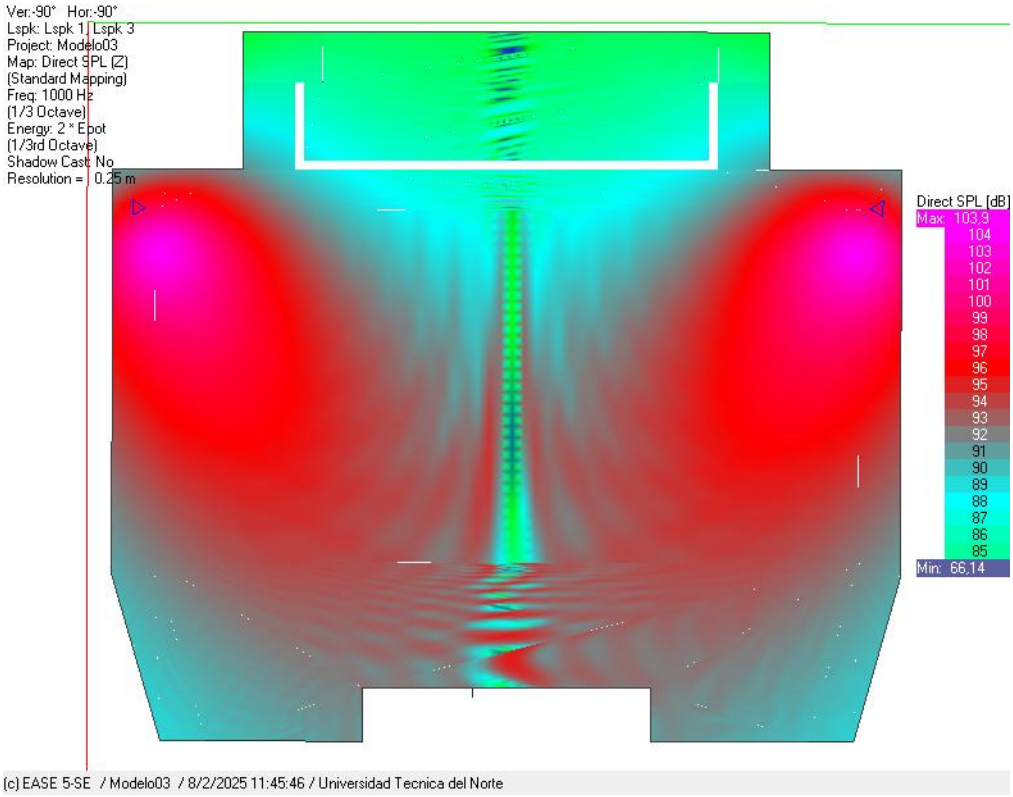
Configuración de parámetros de cálculo para las simulaciones acústicas



Una vez establecidos los puntos de emisión sonora actuales, vamos a realizar las mediciones acústicas para evaluar la situación actual. Se pueden evidenciar los parámetros de medida que permiten la evaluación de la Acústica en el Auditorio de Posgrado de la UTN, en la Figura 52 representa el mapa resultado al calcular el nivel de presión sonora directo (SPLd), calculado con la herramienta “Room Mapping”.

Figura 52

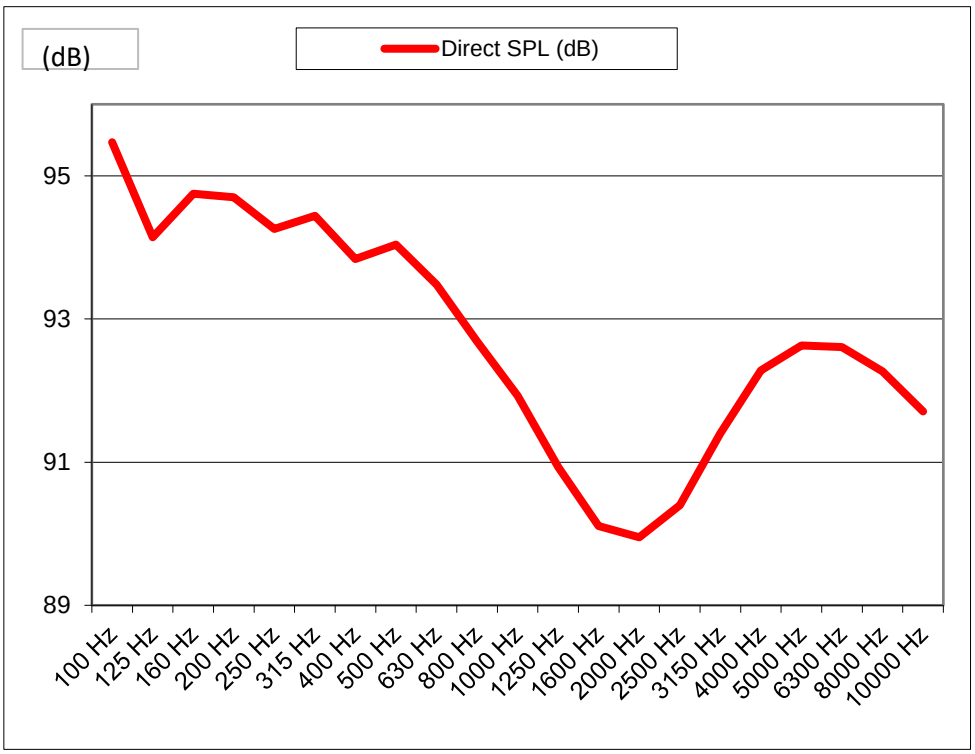
Room Mapping del Aditorio en Direct SPL a 1000 Hz



Para el análisis correspondiente, la Figura 53 muestra una medición global del nivel de presión sonora y su evolución con el aumento de frecuencias. En el eje Y se presenta el nivel de presión sonora en decibelios (dB), con valores que oscilan entre 96 dB y aproximadamente 89 dB. En el eje X se representan las frecuencias en Hz en una escala de octavas. El nivel de presión es alto y estable entre frecuencias de 100 Hz y 500 Hz indica que el sistema de altavoces emite bien en estas frecuencias, pero en frecuencias medias de 500 Hz hasta 1600 Hz, presenta una caída progresiva y se recupera a partir de los 2000 Hz. El balance tonal no es uniforme, mostrando una notable disminución en el nivel de presión sonora a frecuencias medias (alrededor de 1600 kHz) y un aumento en las frecuencias altas. Esto podría afectar la claridad y la inteligibilidad del sonido en el auditorio.

Figura 53

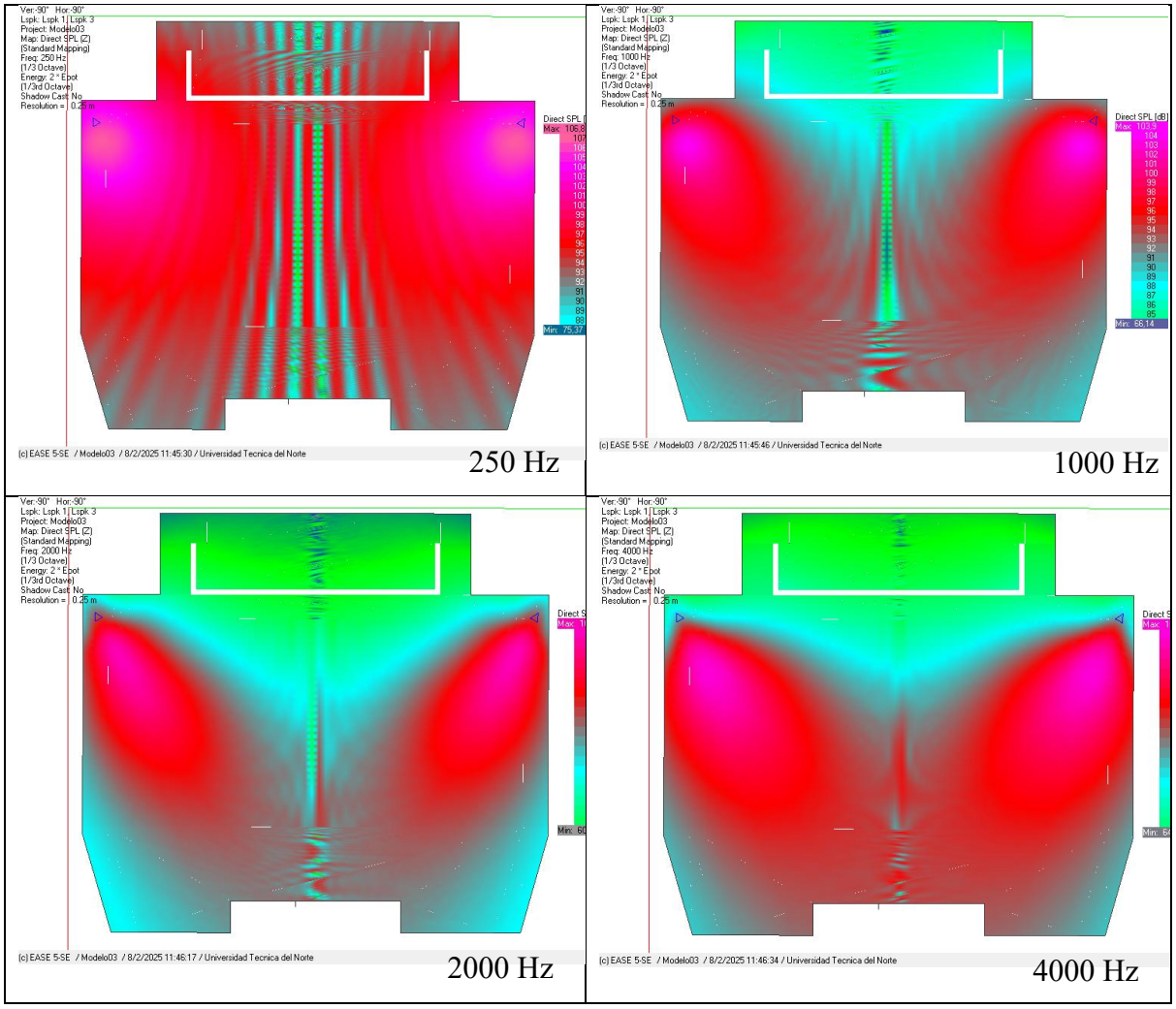
Nivel de presión sonora directa en función a la frecuencia



En la Figura 54 se presentan los resultados de los mapas de nivel de presión sonora directa en distintos rangos de frecuencia, siguiendo las recomendaciones de la norma ISO 3382. Se han considerado las frecuencias bajas (250 Hz), medias (1000 Hz) y altas (2000 Hz y 4000 Hz) para identificar diferencias en la distribución del sonido, así como las zonas con mayor potencia y aquellas con deficiencias. Los resultados evidencian una gran irregularidad en la distribución del sonido, lo que resalta la necesidad de implementar tratamientos acústicos para mejorar la calidad sonora en todo el auditorio.

Figura 54

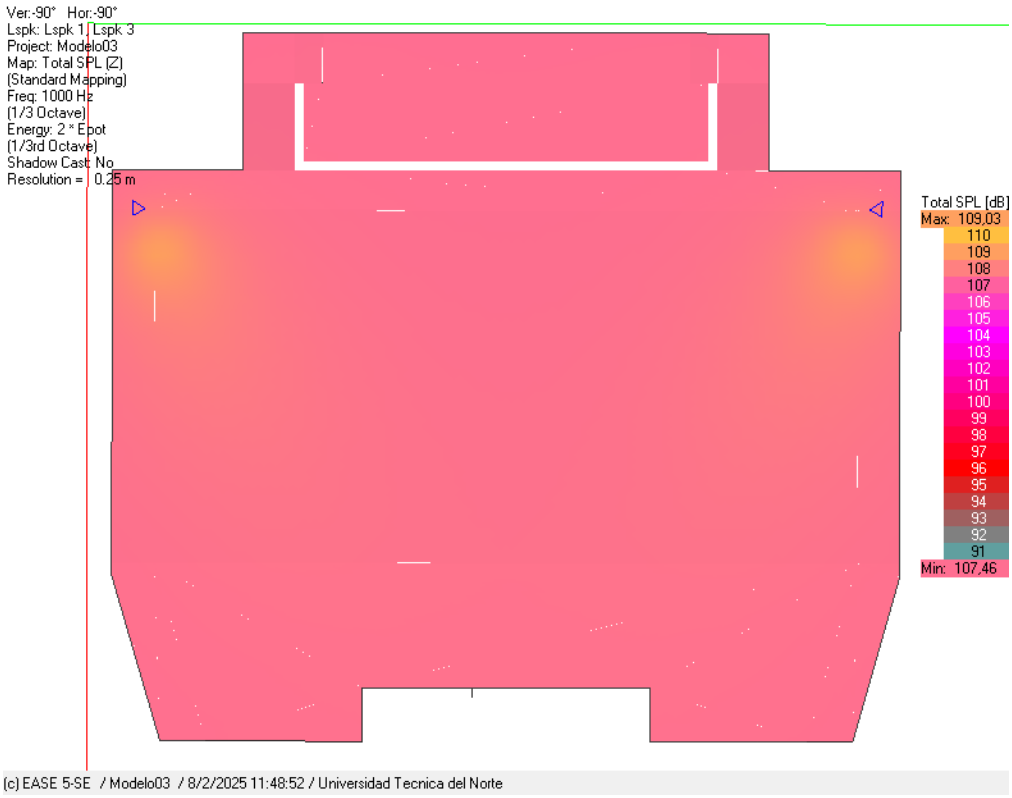
Comparativa de Direct SPL en el auditorio, en frecuencias de 250 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz y 4000 Hz



En cuanto al parámetro de SPL total, en la Figura 55 se evidencian las medidas y mapas sobre la uniformidad del nivel de presión sonora, este análisis presenta tanto el sonido directo como el sonido reflejado y reverberado en el Auditorio de Posgrado.

Figura 55

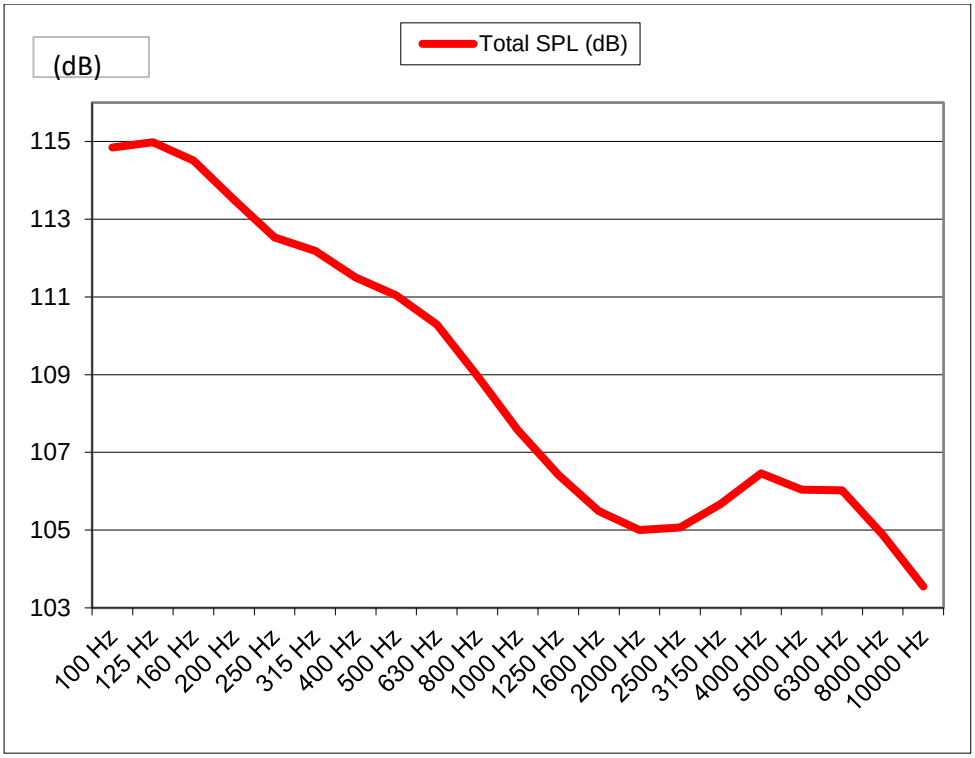
Room Mapping del Auditorio en Total SPL a 1000 Hz



La Figura 56 muestra la relación, donde el eje Y representa el nivel de presión sonora total en (dB) y en el eje X la frecuencia en Hz. Además, se evidencia que el auditorio tiene una respuesta en frecuencia no uniforme, con niveles de presión sonora altos en las frecuencias bajas (100 Hz – 250 Hz), disminuyendo significativamente en las frecuencias medias (500 Hz – 1600 Hz), y volviendo a subir ligeramente en las frecuencias altas (2000 Hz). Indica que el auditorio está diseñado o presenta una respuesta acústica que favorece las frecuencias bajas. Se observa una notable disminución en los niveles SPL para las frecuencias medias y altas. Esto es importante considerar para optimizar la claridad y calidad del sonido en el espacio.

Figura 56

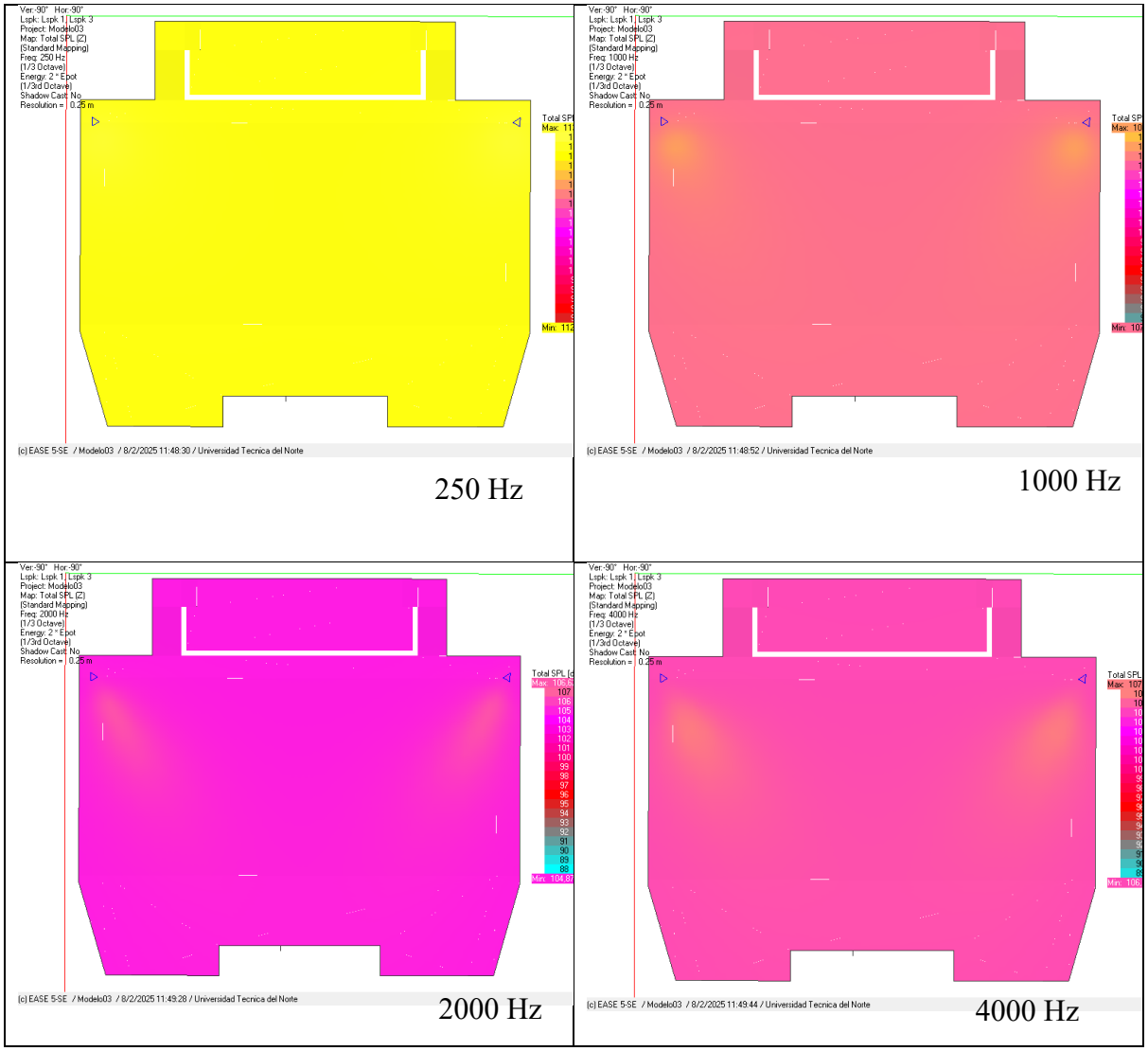
Nivel de presión sonora total en función a la frecuencia



En la Figura 57 se visualiza la comparativa de los mapas de nivel de presión sonora total en distintos rangos de frecuencia (250 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz y 4000 Hz). Muestra una cobertura bastante uniforme a frecuencias más bajas y medias (250 Hz y 1000 Hz) con niveles SPL altos y uniformes, lo cual es común en espacios cerrados debido a la menor absorción y mayor propagación de las bajas frecuencias, pero a frecuencias altas (2000 Hz y 4000 Hz) existe una mayor variabilidad, esto se debe a la absorción de altas frecuencias por los materiales del auditorio y la directividad del sonido.

Figura 57

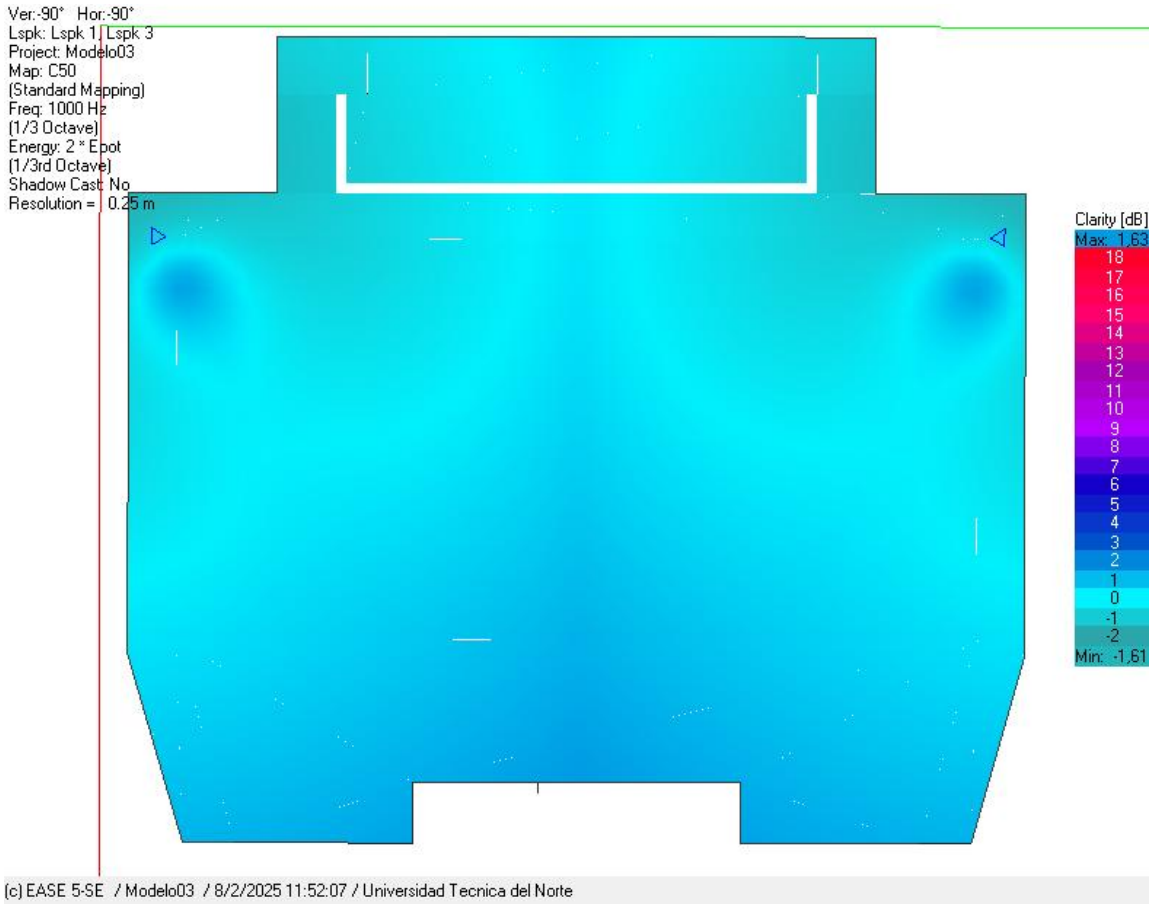
Comparativa de Total SPL en el auditorio, en frecuencias de 250 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz y 4000 Hz



En la Figura 58 se observa la distribución de C50 en el Room Mapping a 1000 Hz generado en el software EASE 5 Second Edition, que muestra los colores azules y celestes predominan en el mapa, reflejando valores de C50 en el rango de -1,61 dB a 1,63 dB, lo cual es subóptimo para una buena experiencia auditiva en un entorno de auditorio.

Figura 58

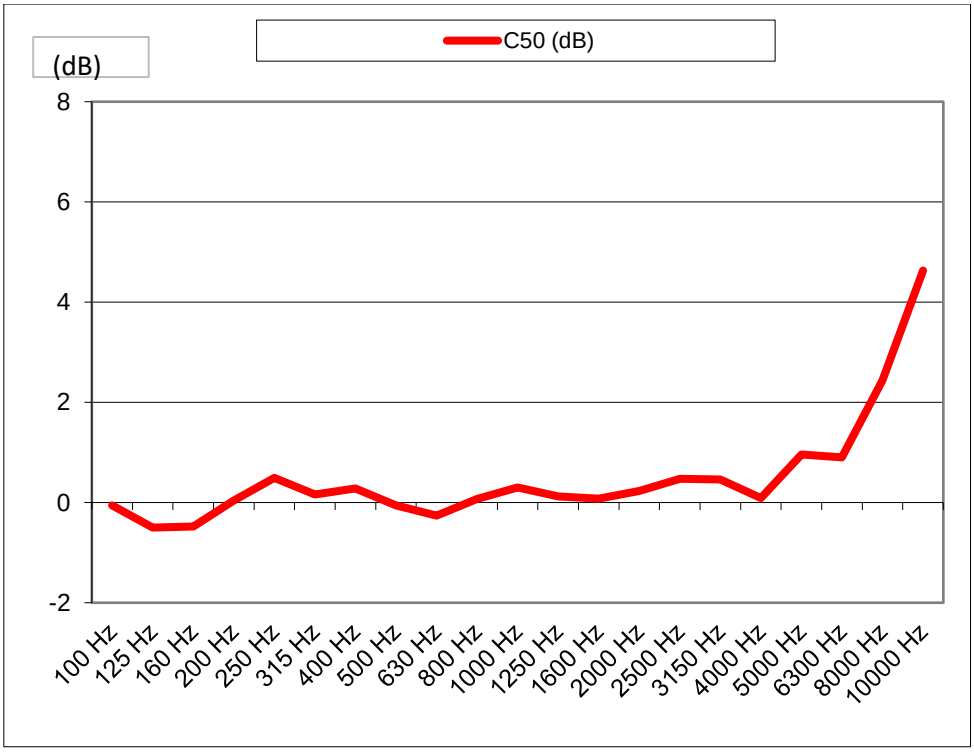
Room Mapping del Auditorio en C50 a 1000 Hz



Como se puede observar en la Figura 59, muestra la relación, donde el eje Y representa la claridad C50 en (dB) y en el eje X la frecuencia en Hz. C50 resalta la tendencia de mejora en la claridad del sonido con el incremento de la frecuencia, sugiriendo que el auditorio está diseñado o responde mejor a las frecuencias altas en términos de claridad, existiendo valores negativos en frecuencias de 125 Hz y 630 Hz. En frecuencias altas se aprecia un incremento, indicando que en frecuencias agudas la energía del sonido directo es mayor favoreciendo la claridad del sonido.

Figura 59

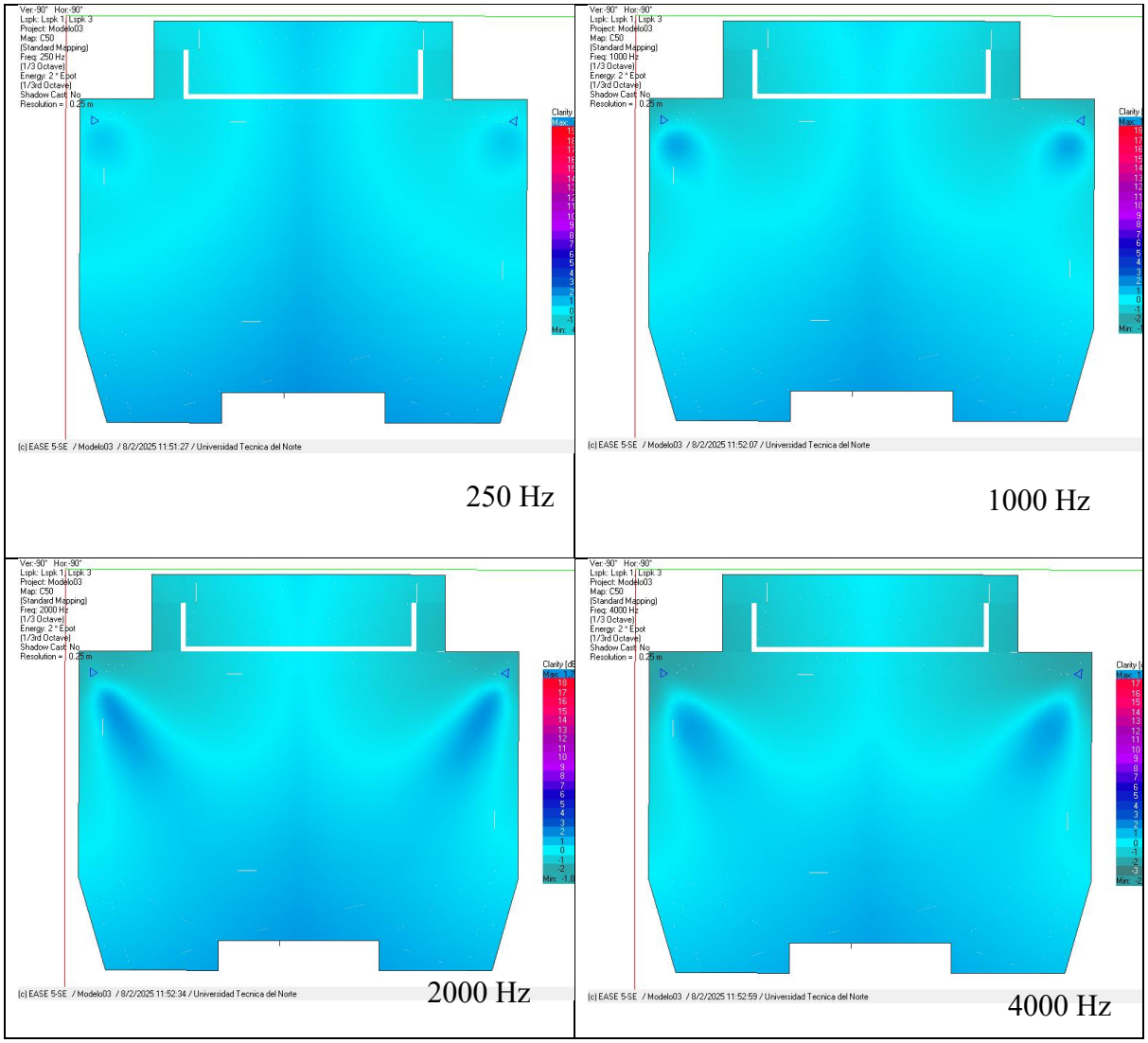
Claridad (C50) en función a la frecuencia



En la Figura 60 muestra una baja claridad C50 en frecuencias más bajas (250 Hz y 1000 Hz). Esto es típico en auditorios donde las bajas frecuencias tienden a tener más energía reflejada en comparación con la energía directa, resultando en valores de C50 negativos y, por ende, una menor claridad del sonido y en frecuencias más altas, existe una mejora significativa, lo cual indica una buena claridad del sonido.

Figura 60

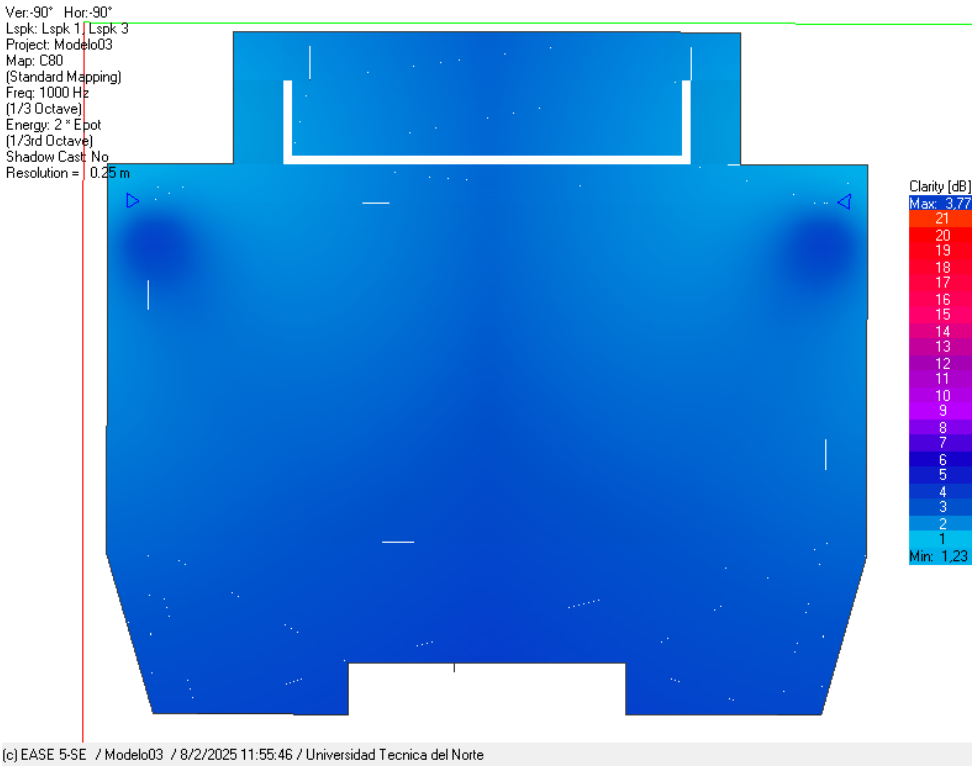
Comparativa de C50 en el auditorio, en frecuencias de 250 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz y 4000 Hz



En la Figura 61 se observa la distribución de C80 en el Room Mapping a 1000 Hz generado en el software EASE 5 Second Edition. Los valores de C80 son predominantemente cercanos a 2 dB, lo que indica una baja claridad musical en la mayoría del auditorio. Los azules predominan en el mapa, reflejando valores de C80 entre 2 dB y 6 dB. Esto sugiere que la energía del sonido directo es significativamente menor que la energía reflejada, lo cual afecta negativamente la calidad musical y la inteligibilidad del sonido a esta frecuencia.

Figura 61

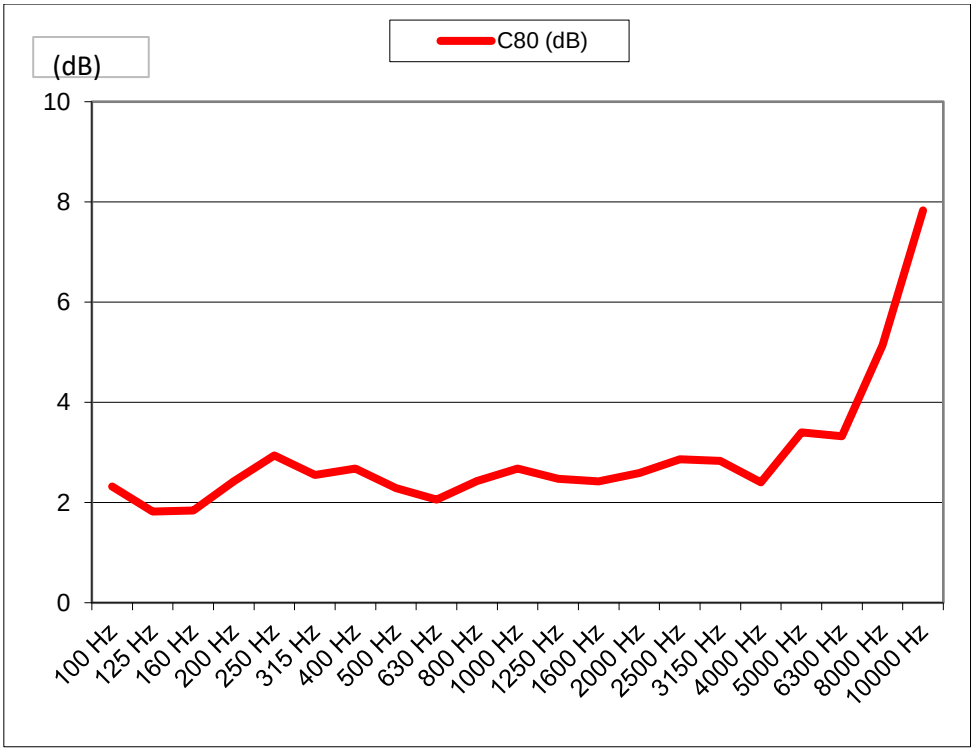
Room Mapping del Auditorio en C80 a 1000 Hz



Como se observa den la Figura 62, la gráfica C80 Total resalta la tendencia de mejora en la claridad del sonido con el incremento de la frecuencia, sugiriendo que el auditorio está diseñado o responde mejor a las frecuencias altas en términos de claridad musical. Además, existe un incremento notable en C80 a partir de 2 kHz, con valores alcanzando aproximadamente de 8 dB. Esto sugiere una mejora significativa en la claridad del sonido en las frecuencias medias y bajas.

Figura 62

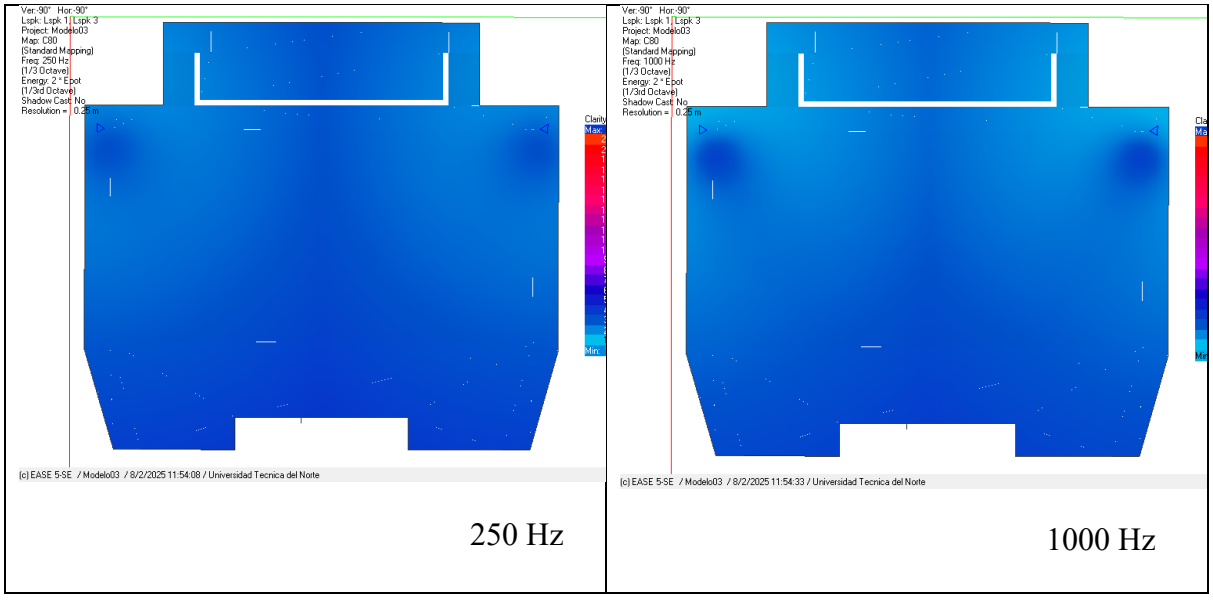
Claridad (C80) en función a la frecuencia

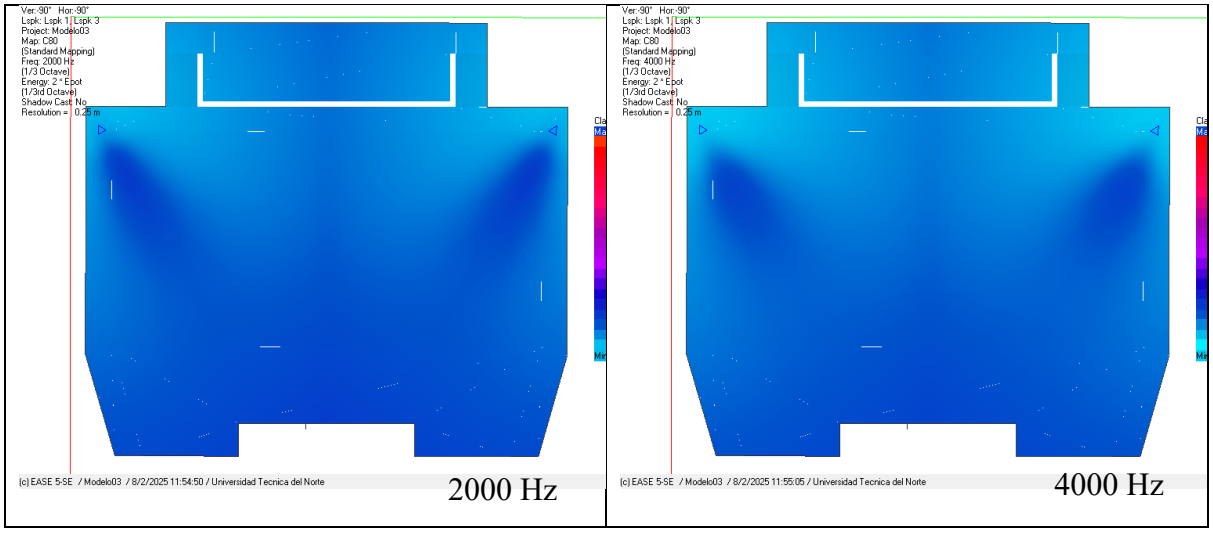


En la Figura 63 muestra una baja claridad C80 en frecuencias más bajas (250 Hz y 1000 Hz). Esto es típico en auditorios donde las bajas frecuencias tienden a tener más energía reflejada en comparación con la energía directa, resultando en valores de C80 bajos, rozando el límite de ser superiores a 2 dB y, por ende, una menor claridad musical.

Figura 63

Comparativa de C50 en el auditorio, en frecuencias de 250 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz y 4000 Hz





3.6.4 Problemas encontrados

En este apartado se detallan los principales problemas encontrados en el análisis acústico del auditorio, los cuales afectan negativamente la calidad del sonido y la inteligibilidad. Estos problemas incluyen:

3.6.4.1 Alta reverberación

El auditorio presenta un alto porcentaje de reverberación debido a los coeficientes de absorción y reflexión de los materiales utilizados en su construcción. Esta alta reverberación genera ecos y reduce la claridad del sonido.

3.6.4.2 Ubicación de la fuente de emisión sonora

La ubicación actual de los parlantes no proporciona una cobertura adecuada en la distribución del sonido, lo que resulta en áreas con diferentes niveles de intensidad sonora dentro del auditorio. Además, los equipos presentes actualmente no están dedicados exclusivamente a la distribución y optimización del sonido en el Auditorio de Posgrado.

3.6.4.3 Variaciones en el nivel de presión sonora total y directa

Se observaron variaciones significativas en el nivel de presión sonora directa (dSPL) y total (tSPL) en el rango de frecuencias, lo cual no debería ocurrir, ya que se espera una gráfica uniforme conforme a las curvas isofónicas.

3.6.4.4 Valores negativos en claridad

El parámetro C50, que mide la claridad del sonido, presenta valores negativos, indicando una baja claridad en el auditorio. También se identificaron amplias oportunidades de mejora en el parámetro C80.

En resumen, el análisis acústico del auditorio realizado con el software EASE 5 Second Edition ha revelado problemas significativos con la claridad del sonido, particularmente en las frecuencias bajas y medias, mientras que las frecuencias altas presentan un comportamiento relativamente mejor. Los parámetros como el SPL Directo, el SPL Total, C50 y C80 muestran un exceso de energía reflejada en comparación con la energía directa, lo que compromete tanto la claridad como la calidad del sonido. Además, el tiempo de reverberación simulado, basado en los materiales actuales del auditorio y la ubicación de los equipos y parlantes, indica la necesidad de mejoras. En el próximo capítulo, se presentará un diseño de mejora acústica destinado a optimizar la distribución del sonido y mejorar la claridad en todas las frecuencias, con el objetivo de proporcionar una experiencia auditiva superior para todos los asistentes. Este resumen se lo puede visualizar en la Tabla 17.

Tabla 17

Resumen de los problemas encontrados

Problema Encontrado	Descripción
Alta reverberación	El auditorio presenta un alto porcentaje de reverberación debido a los materiales utilizados.

Ubicación inadecuada de los parlantes	La ubicación actual de los parlantes no proporciona una cobertura adecuada de sonido.
Variaciones en dSPL y tSPL	Existen variaciones significativas en el nivel de presión sonora directa y total en el rango de frecuencias.
Valores negativos en el parámetro C50	C50 presenta valores bajos, indicando baja claridad del sonido.
Equipos no dedicados exclusivamente al auditorio	Los equipos actuales no están diseñados específicamente para su uso en el auditorio.

CAPITULO IV

Propuesta de Mejora

En este capítulo, se realizará la propuesta de mejora, utilizando el modelado digital de la sala en 3 dimensiones. A continuación, se seleccionarán los materiales y se realizarán los ajustes necesarios para optimizar la distribución del sonido en el auditorio. Basándonos en los resultados del análisis previo, se identifican métodos para mejorar la acústica, incluyendo la elección de tipos de parlantes adecuados y su distribución estratégica en el espacio. También se consideran materiales acústicos específicos para mejorar la absorción y reducir el tiempo de reverberación.

4.1 Requerimientos

La Tabla 18 resume los principales problemas encontrados, sus descripciones, las soluciones propuestas y los requerimientos específicos para implementar estas soluciones.

Tabla 18

Problemas encontrados y soluciones propuestas

Problema Encontrado	**Solución Propuesta**	**Requerimientos**
Alta reverberación	Instalación de paneles absorbentes en paredes y techo para reducir la reverberación.	Paneles acústicos de alta absorción, herramientas de instalación, personal capacitado para la instalación.
Ubicación inadecuada de los parlantes	Rediseñar la disposición de los parlantes para una mejor cobertura y uniformidad del sonido.	Nuevo diseño de distribución de parlantes, evaluación acústica post-instalación, ajuste fino de la configuración.

Variaciones en dSPL y tSPL	Implementar un sistema de sonido con control digital para equilibrar el dSPL y tSPL en todas las frecuencias.	Sistema de sonido digital avanzado, software de calibración, técnicos para la configuración.
Valores negativos en el parámetro C50	Ajustar la acústica del auditorio para mejorar los valores de C50, incluyendo mejoras en la absorción y difusión.	Materiales acústicos de difusión, análisis acústico post-implementación, ajustes precisos según resultados.
Equipos no dedicados exclusivamente al auditorio	Adquisición de equipos específicos para el auditorio que sean adecuados para su tamaño y uso.	Nuevos equipos de sonido, evaluación de necesidades específicas del auditorio, planificación de la integración.

4.2 Diseño Propuesto

Basándose en el análisis detallado del modelo digital y las simulaciones acústicas realizadas, se identifica varias áreas clave donde se pueden implementar mejoras significativas. A continuación, se describen las estrategias propuestas para optimizar la calidad acústica del auditorio, con el objetivo de crear un ambiente sonoro óptimo para diversas actividades académicas y culturales.

4.2.1 Propuesta de la fuente de emisión sonora

El análisis acústico del Auditorio de Posgrado evidenció diversos problemas que afectan la calidad del sonido. Entre los principales se identificó una ubicación inadecuada de las fuentes de emisión sonora, lo que genera una distribución desigual del audio. Además, los equipos actualmente utilizados no fueron diseñados específicamente para las necesidades del auditorio, ya que no se realizaron estudios previos que permitieran una selección óptima de los dispositivos de sonido.

Los resultados del análisis indican que la cobertura sonora en el área destinada a los asistentes es insuficiente, lo que impacta en la inteligibilidad del sonido y la experiencia

auditiva, lo que sugiere la necesidad de un sistema de parlantes diseñado específicamente para entornos acústicos controlados.

Para abordar estas deficiencias, se propone la implementación de parlantes especializados en auditorios, los cuales deben cumplir con las siguientes características para solucionar los problemas encontrados:

- Cobertura amplia tanto en el plano horizontal como en el vertical, asegurando que el sonido llegue de manera uniforme a todos los asistentes.
- Elevado SPL pico, garantizando un nivel de presión sonora adecuado sin generar distorsión.
- Respuesta en un rango completo de frecuencias, permitiendo una reproducción clara y equilibrada de graves, medios y agudos.
- Capacidad de alcance óptima, asegurando que el sonido se distribuya eficientemente en todo el recinto sin necesidad de amplificación adicional innecesaria.

En el mercado existen diversas marcas de parlantes que ofrecen una amplia gama de modelos diseñados para auditorios, por ello se realiza una comparación de los parlantes que puedan servir para solucionar los problemas, esta comparación se observa en la Tabla 19.

Tabla 19

Comparación de parlantes

Característica	**JBL 5012**	**Bose ArenaMatch AMU108**	**Yamaha DZR10**	**Electro-Voice ZLX-12P**
Cobertura	110° x 90°	90° x 60°	90° x 60°	90° x 60°
SPL pico	125 dB	120 dB	122 dB	121 dB
Potencia nominal	260W	250W	240W	230W

Respuesta en frecuencia	55 Hz–18 kHz	80 Hz–16 kHz	58 Hz–17 kHz	57 Hz–18 kHz
Capacidad de alcance	12 metros (40 pies)	10 metros (33 pies)	11 metros (36 pies)	10 metros (33 pies)
Costo aproximado	$1.200,00	$1.300,00	$1.250,00	$1.150,00

En comparación con otras marcas, los parlantes JBL 5012 se destacan por su excelente combinación de cobertura, potencia, mayor SPL Pico y Potencia nominal, lo que los convierte en la mejor opción para mejorar la calidad del sonido en el Auditorio de Posgrado.

Estas características técnicas tienen gran relevancia en la acústica de espacios cerrados. La amplia cobertura (110° x 90°) permite una distribución uniforme del sonido, asegurando que todos los oyentes reciban un audio claro y constante. El SPL pico de 125 dB proporciona un alto nivel de presión sonora, alcanzando a la audiencia sin distorsión. La potencia nominal de 260W asegura que los parlantes manejen niveles altos de audio sin perder calidad. La respuesta en frecuencia (55 Hz–18 kHz) cubre todo el rango audible, garantizando la claridad de sonidos graves y agudos. La capacidad de alcance de 12 metros asegura que el sonido llegue a todas partes del auditorio, como se puede observar en la Figura 64, su tamaño compacto facilita la integración en el espacio propuesto.

Figura 64

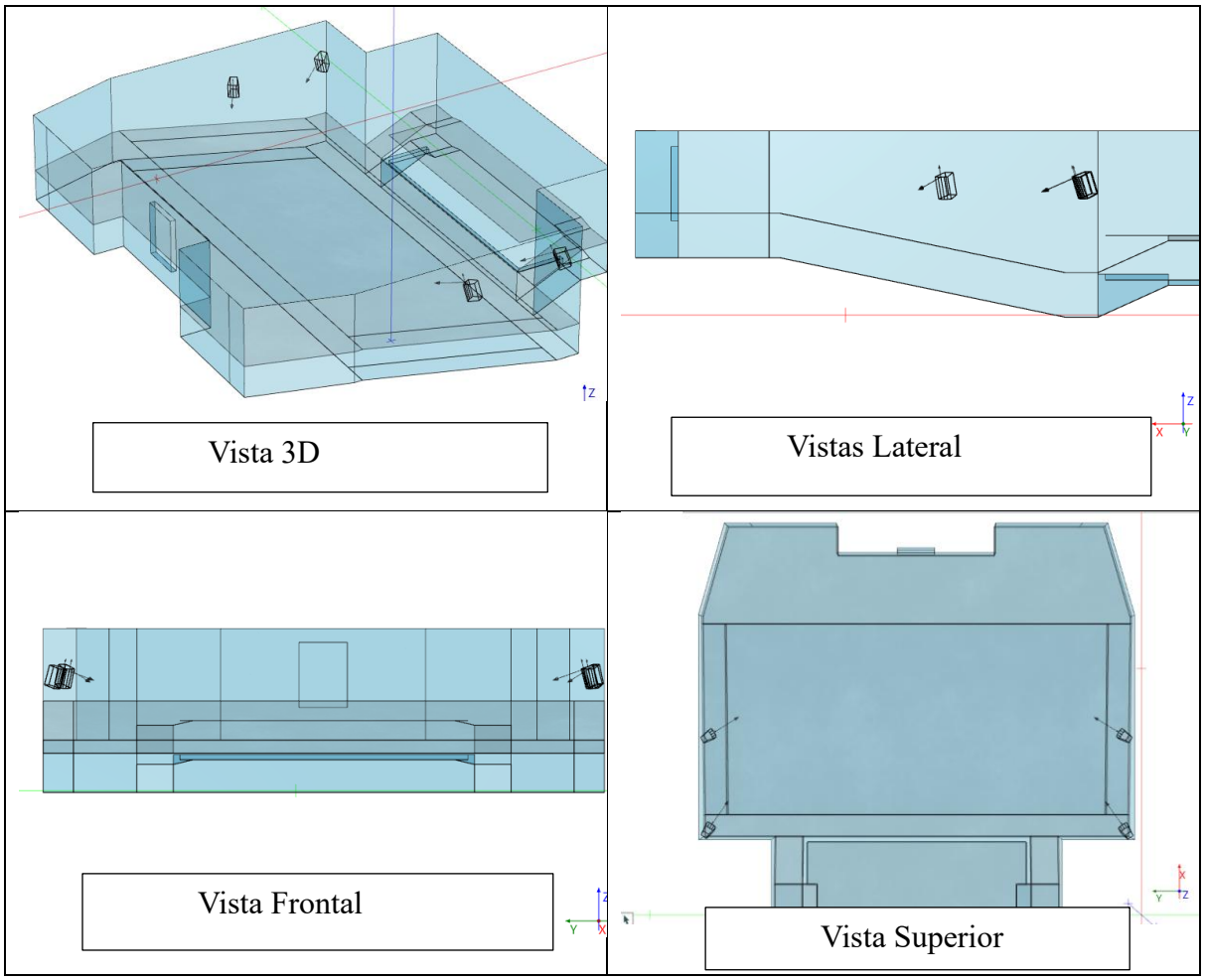
Parlante JBL 5012 obtenido de (BL Professional (2024)

4.2.2 Propuesta de ubicación de la fuente de emisión sonora

Según los principios generales de diseño acústico y también según JBL Professional (2021), el fabricante del equipo que se usará como fuente de emisión sonora, sugiere que los dispositivos se ubiquen a una altura de 2.5 a 3 metros con ángulos verticales y horizontales variables para dirigir el sonido hacia la audiencia y minimizar las reflexiones en superficies no deseadas. En base a las especificaciones de los equipos se decide seguir un ejemplo del libro "Diseño acústico de espacios arquitectónicos" de Carrión Isbert (1998), en el cual Sala de actos del edificio docente de la Dirección General de Deportes de la Generalitat de Cataluña, Esplugues de Llobregat (Barcelona, España), es un espacio similar al auditorio de posgrado de la Universidad Técnica del Norte, por lo cual se toma como referencia este trabajo, como se puede observar en la Figura 65 se establecen cuatro puntos de emisión sonora distribuidos en los laterales del auditorio, a una altura del suelo de 3.75 metros y una distancia de separación de 4.10 metros, y su inclinación de manera vertical es -20 grados en las zonas más cercanas al escenario y -17 grados en la zona media del auditorio, la variación de los ángulos se configura de acuerdo al espacio, puesto que el auditorio de posgrado tiene índole inclinada, se establecen estos ángulos para abarcar la distribución del sonido de manera uniforme.

Figura 65

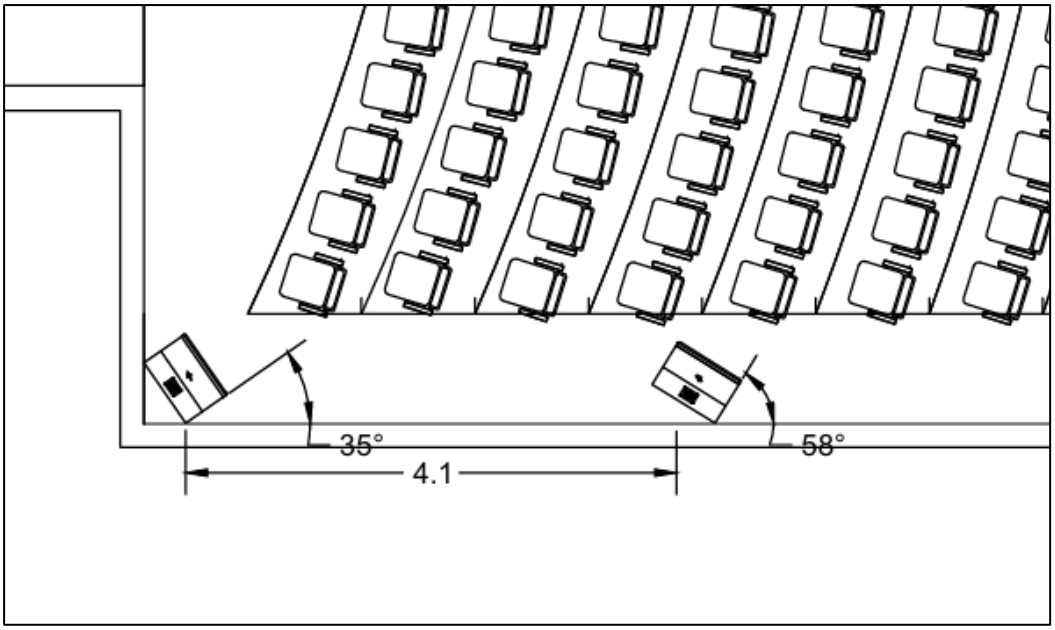
Vistas del Auditorio de Posgrado de la UTN



El sistema de altavoces propone una inclinación horizontal de 35 grados para las fuentes más cercanas al escenario y 58 grados para las fuentes que se encontrarían en la mitad del auditorio, esta distribución y cambios variación de ángulos se establecen para auditorios que tienen una tendencia inclinada. Como se puede observar en la Figura 66, diferentes grados de manera horizontal, esto para poder proyectar el sonido de manera uniforme en todas las zonas de la sala.

Figura 66

Ubicación y orientación de los altavoces propuestos para el auditorio de posgrado de la UTN



4.3 Materiales Propuestos

El análisis acústico del Auditorio de Posgrado evidenció que la alta reverberación presente en el auditorio es uno de los principales problemas que afectan la calidad del sonido. Esta condición genera una propagación excesiva del sonido, reduciendo la inteligibilidad del habla y afectando la experiencia auditiva de los asistentes.

Los resultados indican que el tiempo de reverberación excede los valores recomendados para espacios de este tipo, lo que sugiere la necesidad de implementar materiales acústicos adecuados que permitan reducir la propagación no controlada del sonido y mejorar la absorción acústica.

Para abordar el problema, se propone la implementación de paneles aislantes diseñados para la absorción del sonido en espacios cerrados que cuenten con las siguientes características:

- Alta capacidad de absorción acústica, conforme a la normativa ISO 354 (estándar internacional que se utiliza para determinar el coeficiente de absorción acústica de un material en función de la frecuencia del sonido).

- Baja absorción de humedad, para evitar desgaste en su rendimiento a largo plazo.
- Resistencia a la corrosión para mayor durabilidad en cualquier condición ambiental.
- Propiedades ignifugas para garantizar la seguridad del auditorio.

En el mercado se dispone de múltiples opciones de materiales acústicos diseñados para reducir la reverberación. La Tabla 20 presenta una comparación entre diferentes productos de alta calidad disponibles en el mercado.

Tabla 20

Comparación entre productor de alta calidad disponibles en el mercado

Característica	Geopannel PYL 2.0	Rockfon Koral	BASWA Phon Classic	Ecophon Master B
Espesor	50 mm	40 mm	30 mm	40 mm
Absorción acústica (αw)	0.90	0.85	0.95	0.90
Material	Fibra de poliéster	Lana de roca	Yeso poroso	Fibra de vidrio
Sostenibilidad	80% reciclado	Parcialmente reciclado	Material natural	Parcialmente reciclado
Resistencia a la humedad	Alta	Media	Alta	Media
Clasificación de reacción al fuego	BS1d0 (EN 13501-1)	A2-s1,d0	A2-s1,d0	A2-s1,d0

En comparación con otras opciones del mercado, el Geopannel PYL 2.0 de 50 mm se enfatiza por su alta absorción acústica, resistencia a la humedad y sostenibilidad, además de su certificación de seguridad frente al fuego. Estas características lo convierten en una opción ideal para la mejora acústica del Auditorio de Posgrado.

Además, este material está compuesto en un 80% por fibras textiles recicladas, lo que contribuye a una construcción sostenible con una baja huella de carbono. Su fabricación en fibra de poliéster lo hace resistente al moho y a la corrosión, lo que garantiza una mayor durabilidad sin comprometer la eficiencia acústica Para su visualización, se presenta en la Figura 67 el Geopannel PYL 2.0 de 50 mm..

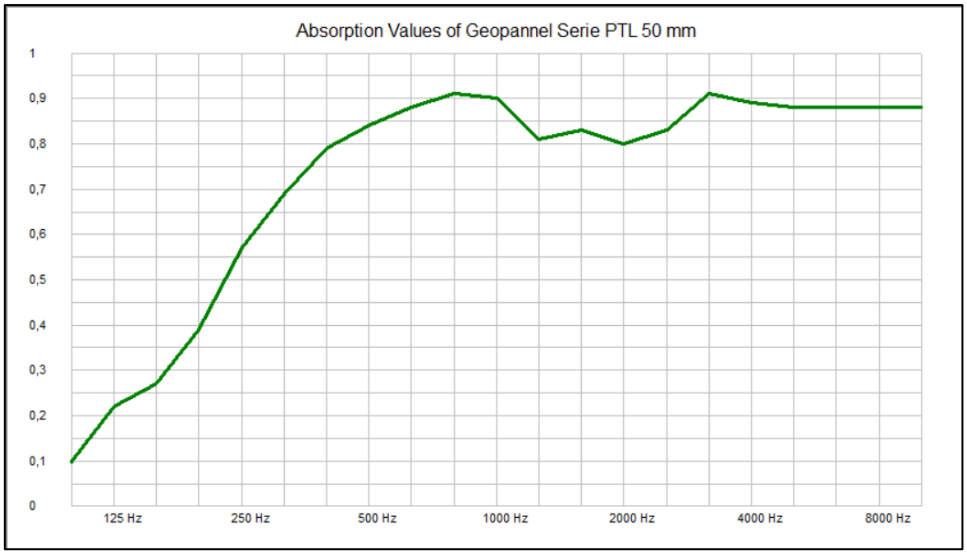
Figura 67

Geopannel PYL obtenido de GEOPANNEL® PYL 2.0 30

En la ficha técnica del Geopannel serie PYL 2.0 50 mm, proporciona los coeficientes de absorción en el rango de frecuencias desde los 100 Hz hasta los 8k Hz, según la UNE en la ISO 354:2004. Mediante la creación del material en el software EASE 5 se genera la Figura 68, que representa la curva del coeficiente de absorción en función de la frecuencia.

Figura 68

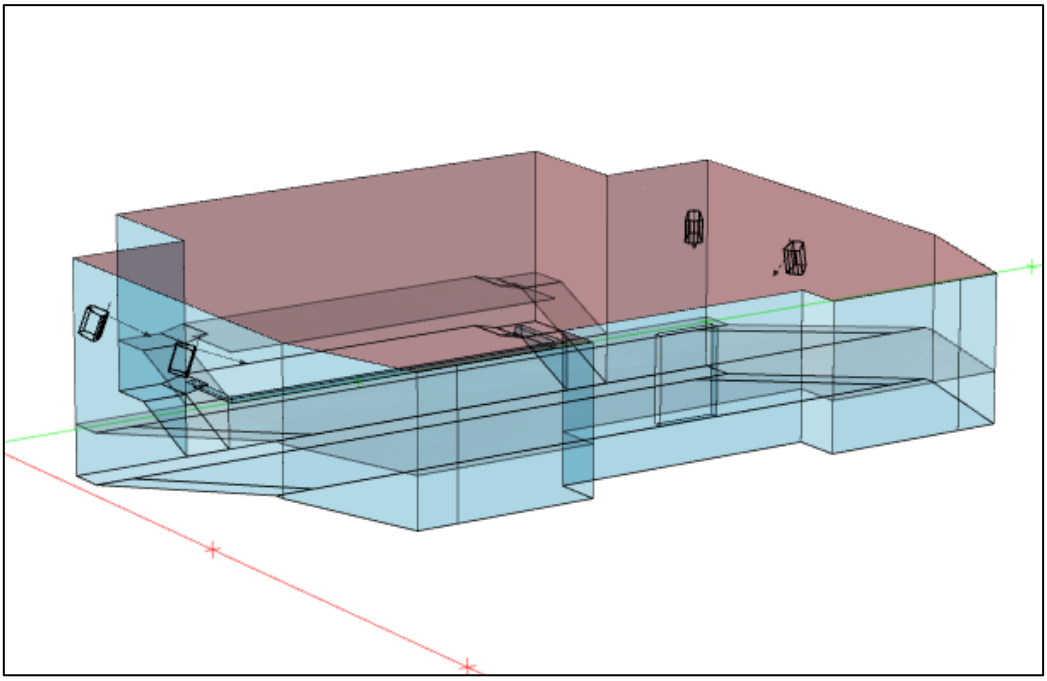
Coeficiente de absorción del geopannel en EASE 5 Second Edition



Como se muestra en la Figura 69, se propone reemplazar el material del cielo falso actual con panel acústico de fibra de poliéster, utilizando la infraestructura existente que sostiene las placas. Este cambio cubrirá un área aproximada de 237,69 m². Cabe destacar que en el techo del auditorio se encuentran luminarias y sistemas de ventilación por lo que se tienen en cuenta para reducir el coeficiente de absorción y acercarlo a la realidad.

Figura 69

Área de la ubicación del cielo falso



Una vez realizados los cambios en la simulación, los resultados obtenidos en los parámetros acústicos del software se generará una nueva gráfica, en la cual el tiempo de reverberación promedio del auditorio en el diseño propuesto.

En la Tabla 21 y la Figura 70, se presenta la comparación de los resultados del Tiempo de Decaimiento Temprano (RT) entre tres modelos distintos. Estos resultados incluyen:

- **RT medido**: Obtenido mediante la medición de los parámetros acústicos según la norma ISO 3382.
- **RT simulado (situación actual)**: Obtenido mediante simulaciones con el software EASE 5 Second Edition, reflejando la situación acústica actual del auditorio
- **RT simulado (mejoras propuestas)**: Obtenido a partir de simulaciones con el software EASE 5 Second Edition, incorporando las mejoras propuestas para optimizar la calidad acústica del auditorio.

Tabla 21

Comparación del RT(s), medido, simulado y propuesto

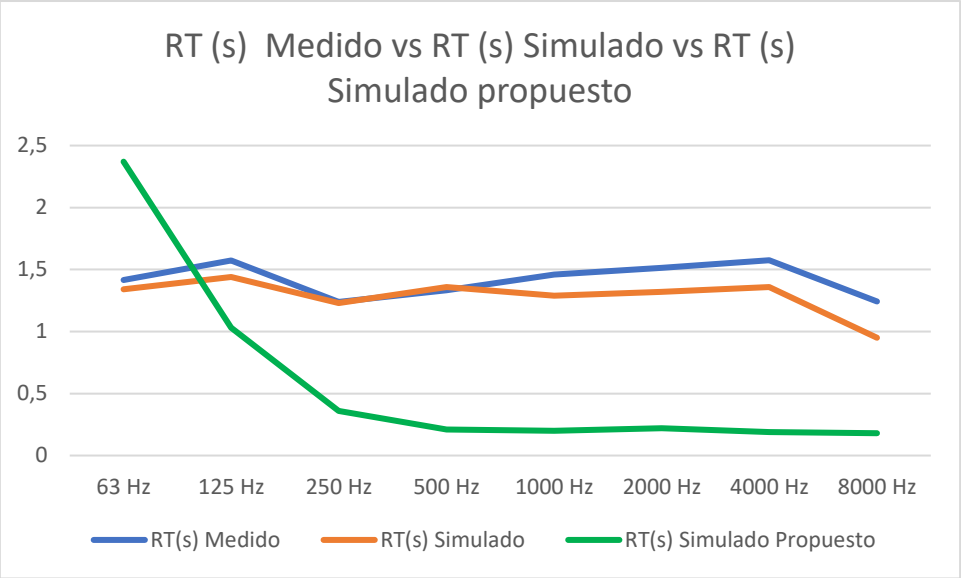
	63 Hz	**125 Hz**	**250 Hz**	**500 Hz**	**1000 Hz**	**2000 Hz**	**4000 Hz**	**8000 Hz**
RT(s) Medido	1,416	1,574	1,239	1,334	1,46	1,515	1,575	1,243
RT(s) Simulado	1,34	1,44	1,23	1,36	1,29	1,32	1,36	0,95
RT(s) Simulado Propuesto	2.37	1.03	0,36	0,21	0,2	0,22	0,19	0,18

La Figura 70 presenta la comparación del Tiempo de reverberación (RT) medido, simulado en la situación actual y simulado con las mejoras propuestas para el auditorio. El RT medido (línea azul) y el RT simulado en la situación actual (línea naranja) muestran valores

relativamente similares a lo largo de las diferentes frecuencias, lo que indica una correspondencia adecuada entre las mediciones y las simulaciones actuales. Sin embargo, el RT simulado con las mejoras propuestas (línea verde) muestra una notable reducción en todas las bandas de frecuencia. Esta disminución del RT en el modelo propuesto sugiere una mejora significativa en la calidad acústica del auditorio, logrando un tiempo de decaimiento temprano más bajo, lo que se traduce en una mayor claridad e inteligibilidad del sonido.

Figura 70

Comparación del tiempo de decaimiento temprano (RT) medido, simulado en la situación actual y simulado con las mejoras propuestas



4.4 Análisis acústico propuesto simulado

El análisis acústico propuesto simulado se enfoca en evaluar las mejoras sugeridas para optimizar la calidad acústica del auditorio. Empleando el software EASE 5 Second Edition, se realizaron simulaciones de "Room Mapping" con el propósito de analizar los parámetros acústicos identificados en el capítulo anterior, pero incorporando las mejoras propuestas.

En la simulación, los altavoces se ubican estratégicamente para cubrir toda el área del Auditorio de Posgrado. El trazado de los rayos y la propagación en partículas se muestran en la Figura 71 y Figura 72, respectivamente.

Figura 71

Perspectiva de propagación del auditorio en raytracing con las mejoras propuestas

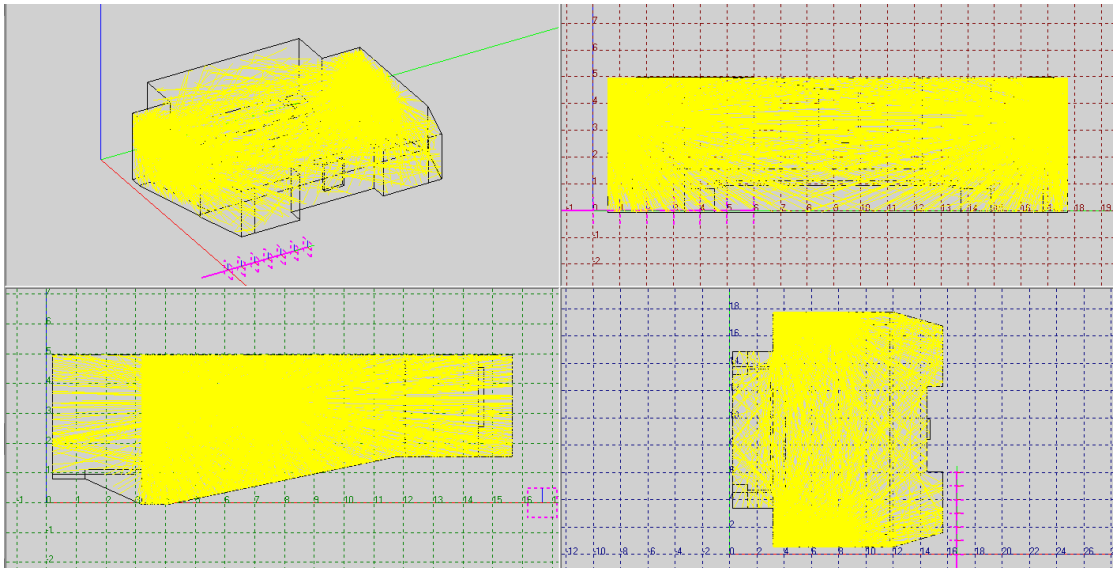
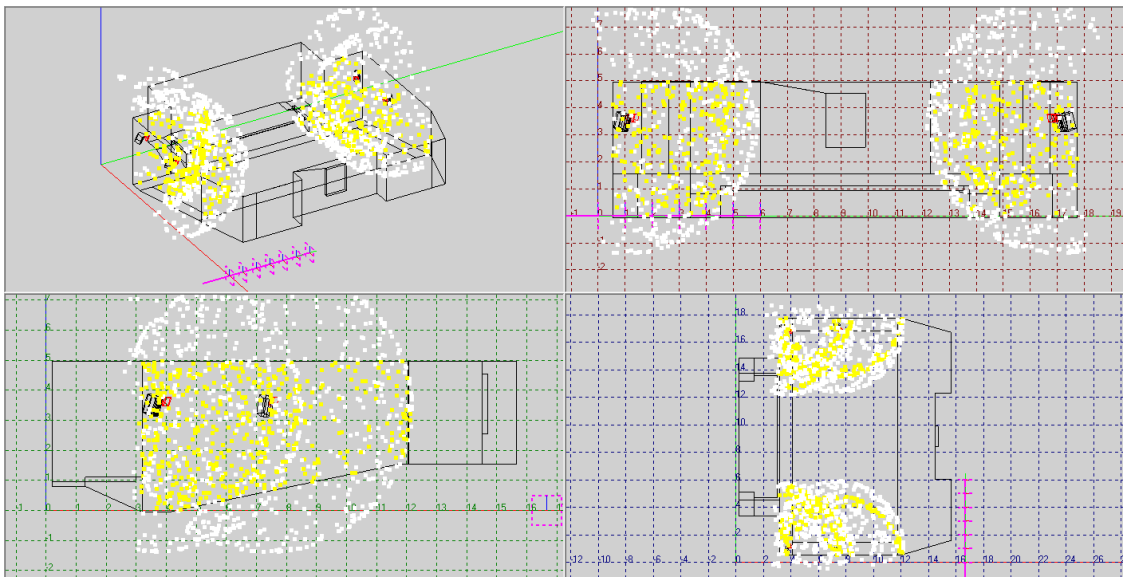


Figura 72

Perspectiva de propagación del auditorio con las mejoras de propuestas

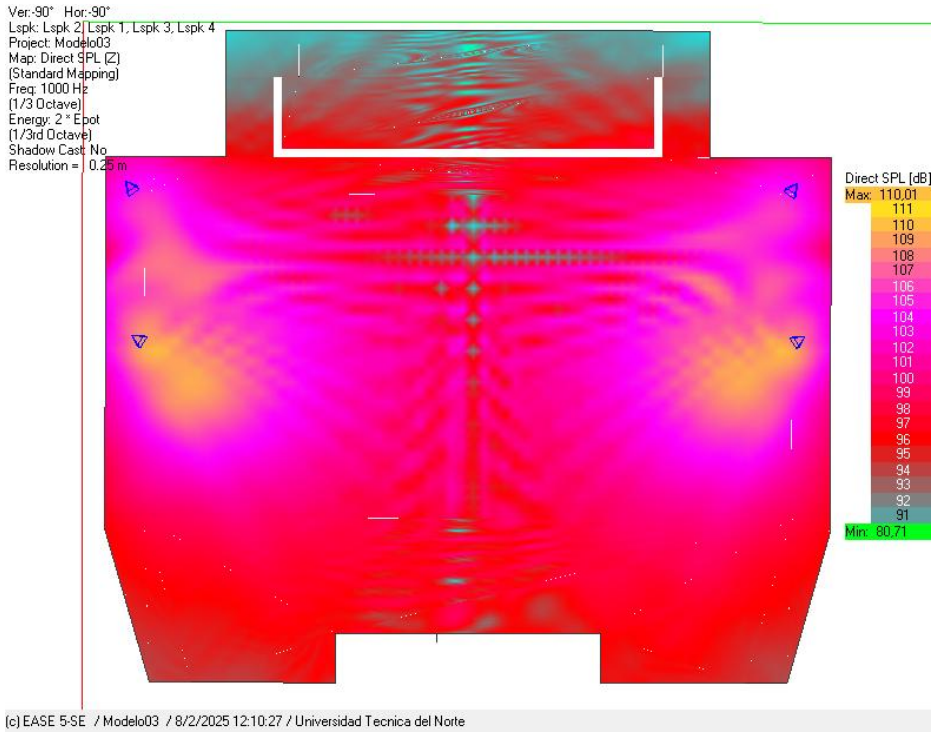


Se puede observar que, a comparación con el diseño actual del auditorio de posgrado, el trazado de rayos abarca de manera más uniforme todas las áreas del auditorio de posgrado, dando énfasis y notando una mejoría en zonas como el escenario y las entradas principales, que carecían de impacto.

En la Figura 73 se presenta la distribución de la presión sonora en el auditorio. Los tonos cálidos representan los niveles más altos de presión sonora, mientras que los tonos fríos indican las áreas con niveles más bajos. El mapa de la sala muestra un rango de dSPL con valores mínimos de 80.71 dB y máximos de 110.01 dB. El modelo refleja una buena distribución en las áreas centrales y frontales, que coinciden con las zonas donde se ubican los asistentes, garantizando una cobertura auditiva adecuada.

Figura 73

Room Mapping del Aditorio en Direct SPL a 1000 Hz con las propuestas de mejora

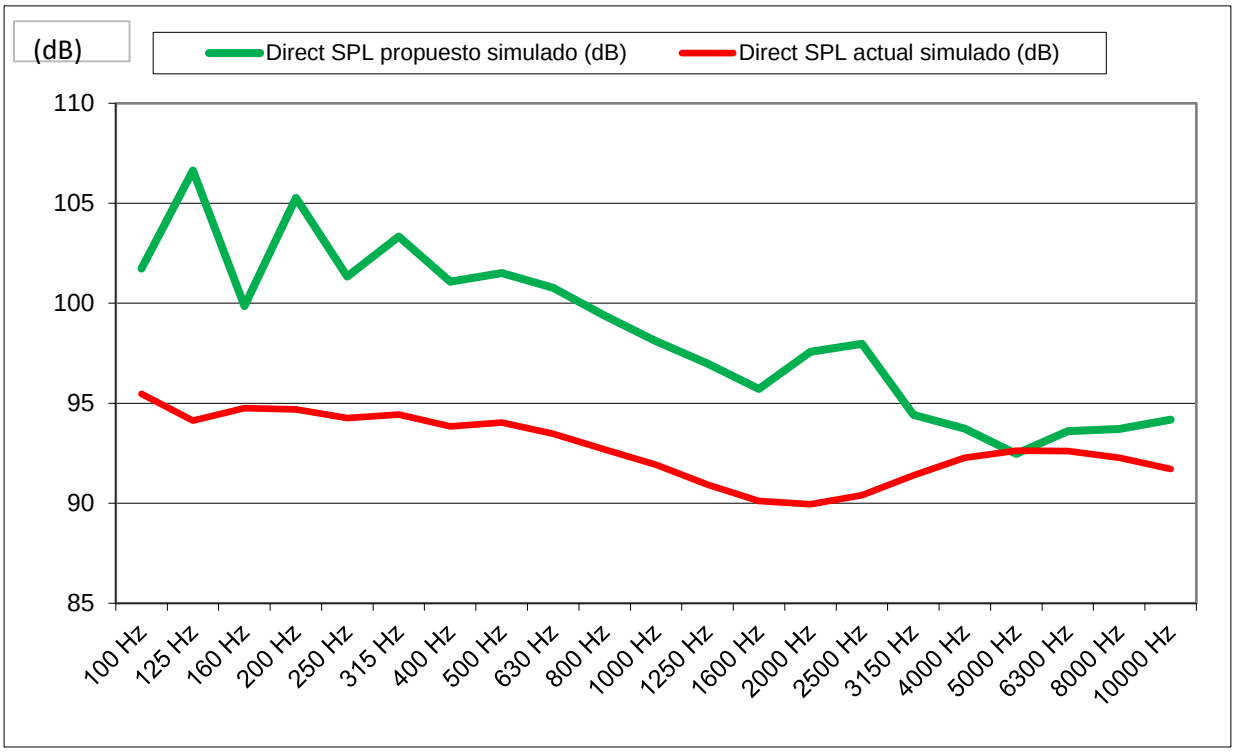


En la Figura 74, se muestra cómo varía el dSPL(dB) en relación con la frecuencia. Se observa una tendencia de disminución del dSPL a medida que aumenta la frecuencia, con un

pico en 125 Hz y caídas en las frecuencias de 1 kHz y 2 kHz. Para lograr una curva ideal de dSPL, la relación con la frecuencia debe ser lo más uniforme posible, evitando subidas y bajadas abruptas como las que se observan en la Figura 34, presente en el capítulo 3 del TIC, pero se evidencia unos picos en frecuencias bajas que son producidos por la suma de las interferencias de las ondas de sonido generadas por los altavoces en el auditorio puesto que se cuenta más de uno, pero se estabiliza en los 400 Hz. Esto significa que, con las mejoras propuestas, se logra que en las frecuencias medias las caídas sean menos pronunciadas y la recuperación más uniforme. Como resultado, se obtiene una mejor claridad del habla y una recepción más equilibrada del sonido en todo el auditorio.

Figura 74

Comparación del nivel de presión sonora directa en función a la frecuencia con las propuestas de mejora

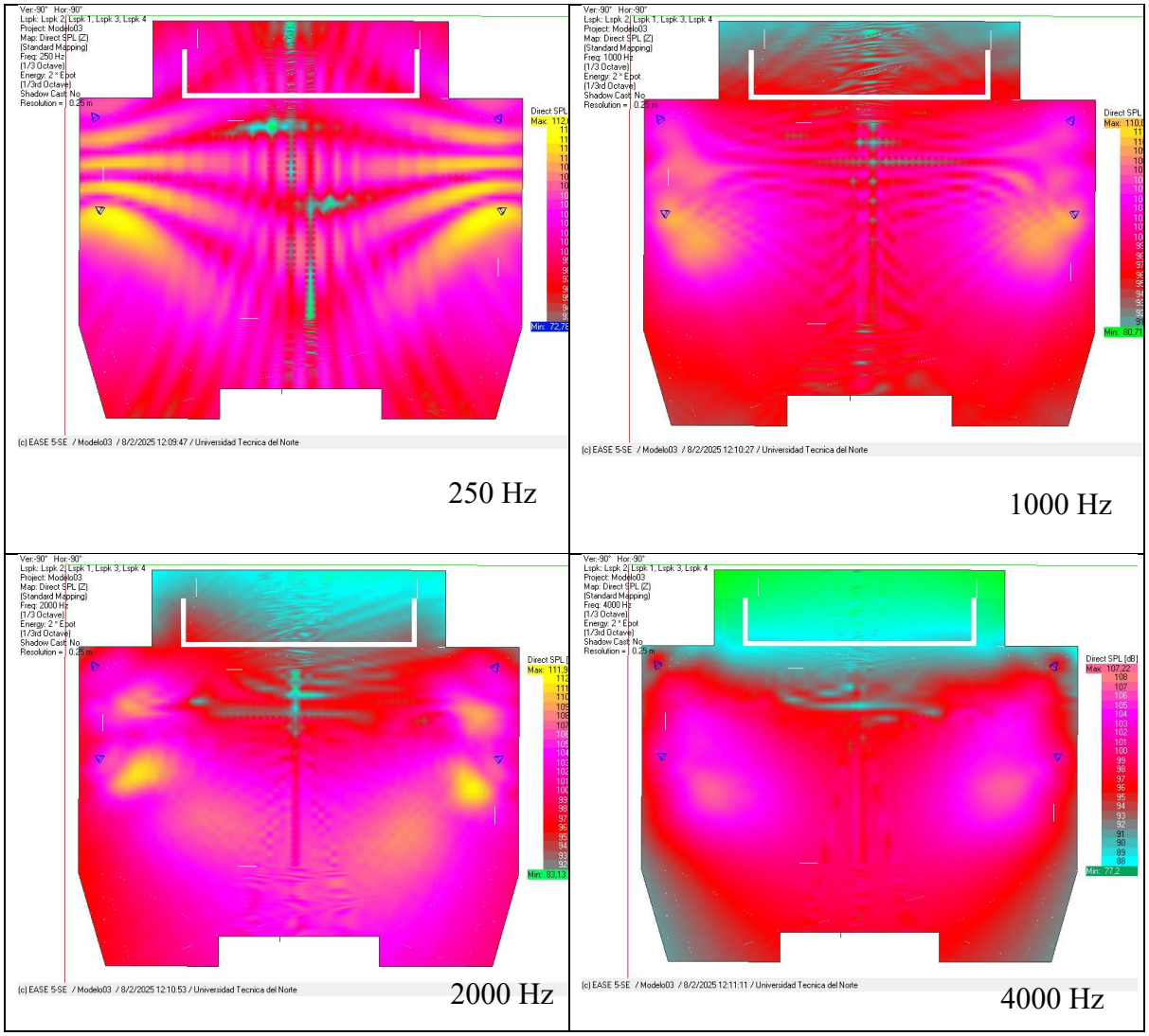


En la Figura 75 se puede observar el mapeo del auditorio para el parámetro de dSPL a frecuencias de 250 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz y 4000 Hz. Podemos comprobar que, con las

propuestas de mejora implementadas, existe una mejora significativa en comparación con el diseño actual mostrado en la Figura 29 del capítulo 3. Se evidencia una mejor uniformidad en la distribución del sonido en todo el rango de frecuencias, lo que asegura que los asistentes, independientemente de su ubicación, disfruten de una experiencia auditiva clara y equilibrada.

Figura 75

Comparativa de Direct SPL en el auditorio, en frecuencias de 250 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz y 4000 Hz con las propuestas de mejora

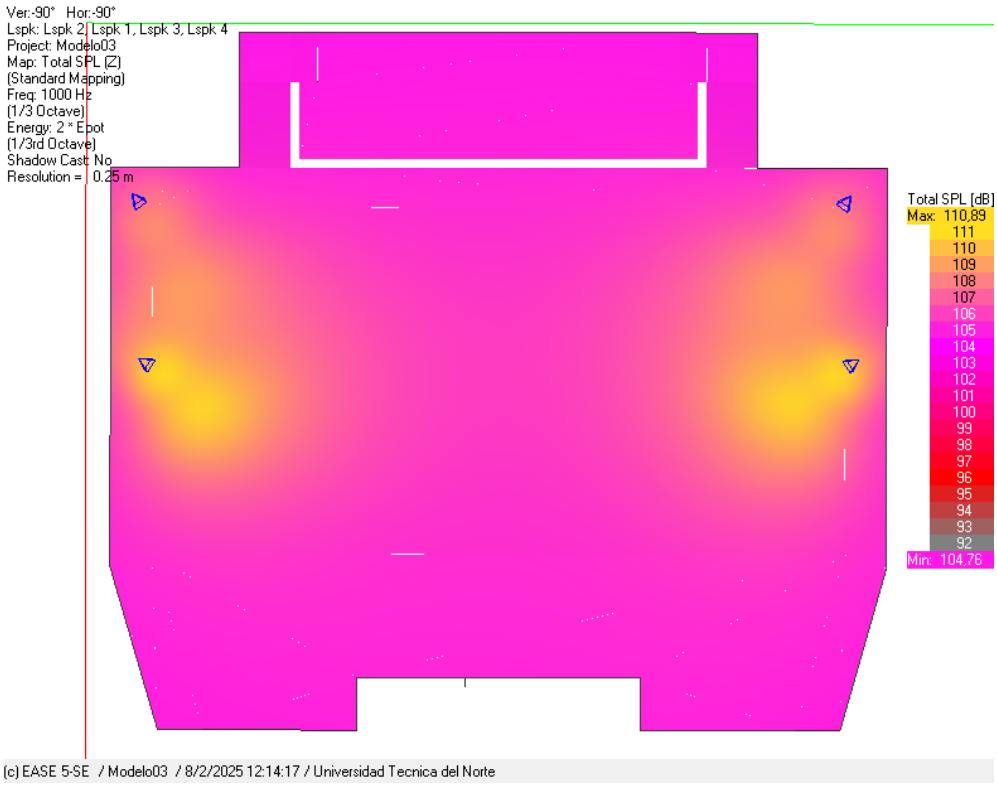


La Figura 76 representa el mapeo del auditorio para el parámetro de nivel de presión sonora total (tSPL) a 1000 Hz, que constituye de un rango de 104,76 dB y 110,89 dB como

valores mínimo y máximo respectivamente. La mayoría del auditorio presenta uniformidad en esta frecuencia, reflejándolo en los tonos rosas y purpuras que indican un nivel de entre 102 dB y 106 dB y unas pequeñas variaciones o acumulaciones de energía en los tonos naranjas puesto que ahí están apuntando los parlantes propuestos.

Figura 76

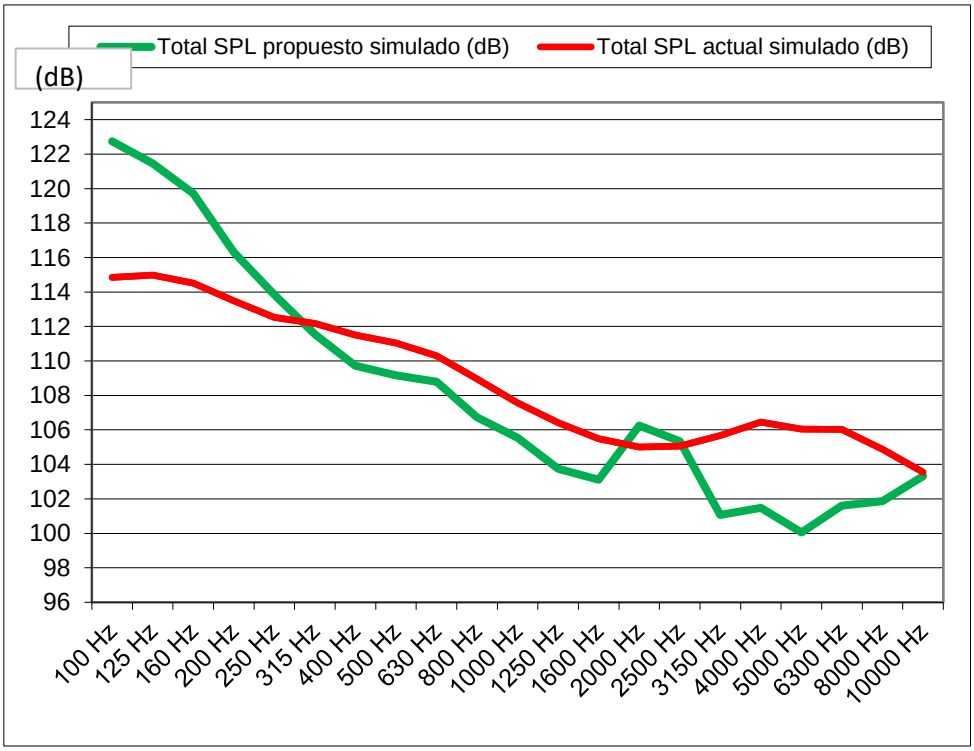
Room Mapping del Auditorio en Total SPL a 1000 Hz con las propuestas de mejora



La Figura 77 representa la respuesta en función de la frecuencia del tSPL, abarcando desde 125 Hz hasta 8 kHz. La caída inicial en el nivel de presión sonora desde 125 Hz hasta 2 kHz indica una buena absorción de las bajas frecuencias, lo cual es beneficioso para evitar la reverberación indeseada. Posteriormente, la recuperación y el aumento en las frecuencias más altas son factores importantes para la inteligibilidad del habla, ya que estas frecuencias son cruciales para la claridad de la voz. Comparado con la Figura 37, que muestra el diseño original, las mejoras propuestas logran una mejor uniformidad en los niveles de la curva, indicando una distribución más equilibrada del sonido en todo el rango de frecuencias.

Figura 77

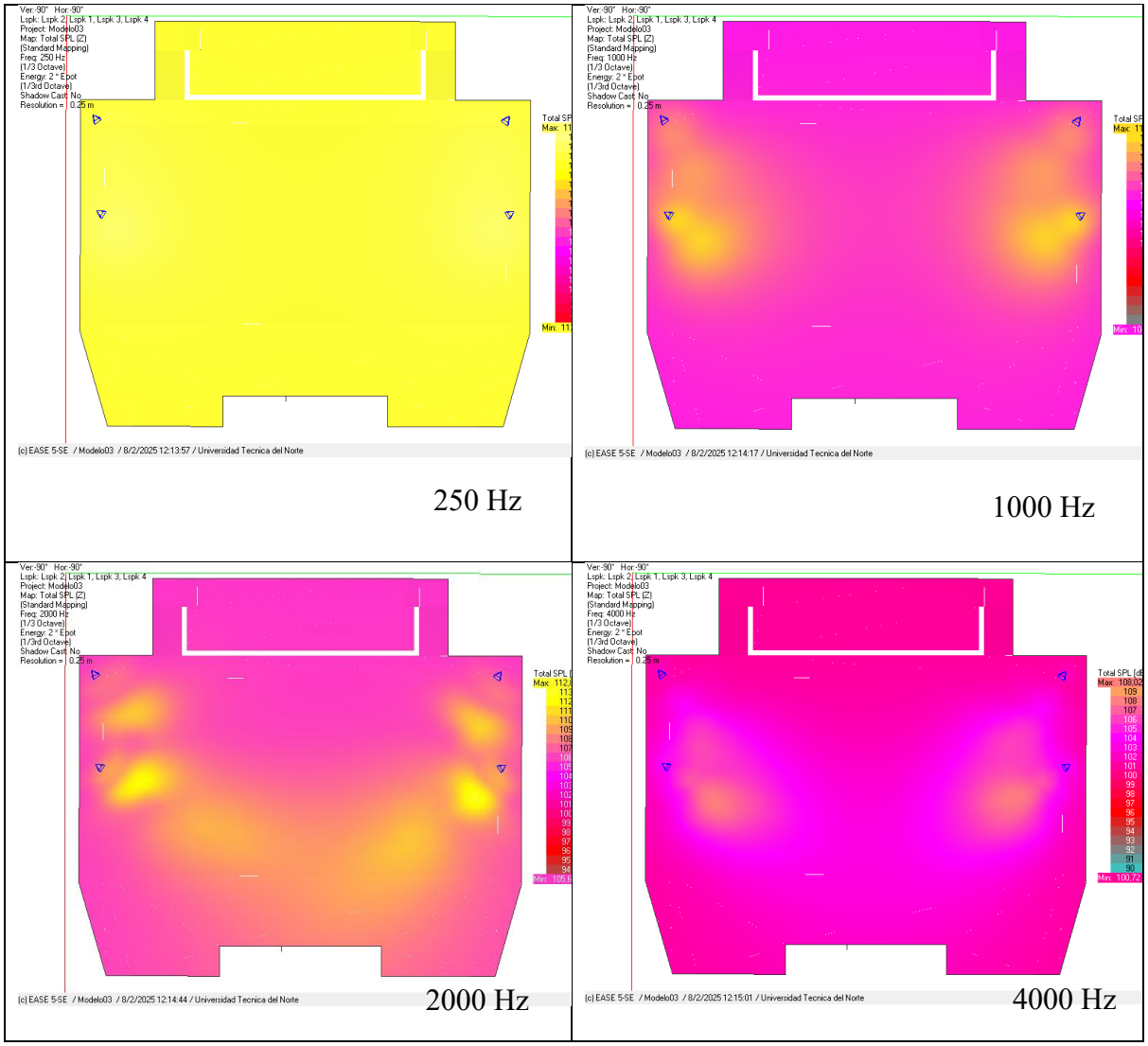
Comparación del nivel de presión sonora total en función a la frecuencia con las propuestas de mejora



En la Figura 78 muestra el mapeo del parámetro de tSPL en el auditorio de posgrado y muestra que, si existe una mejor acústica a comparación con la Figura 32 del capítulo 3, ya que en todas las frecuencias muestra una distribución más uniforme del tSPL, esto demuestra que se redujeron las variaciones del nivel de presión sonora.

Figura 78

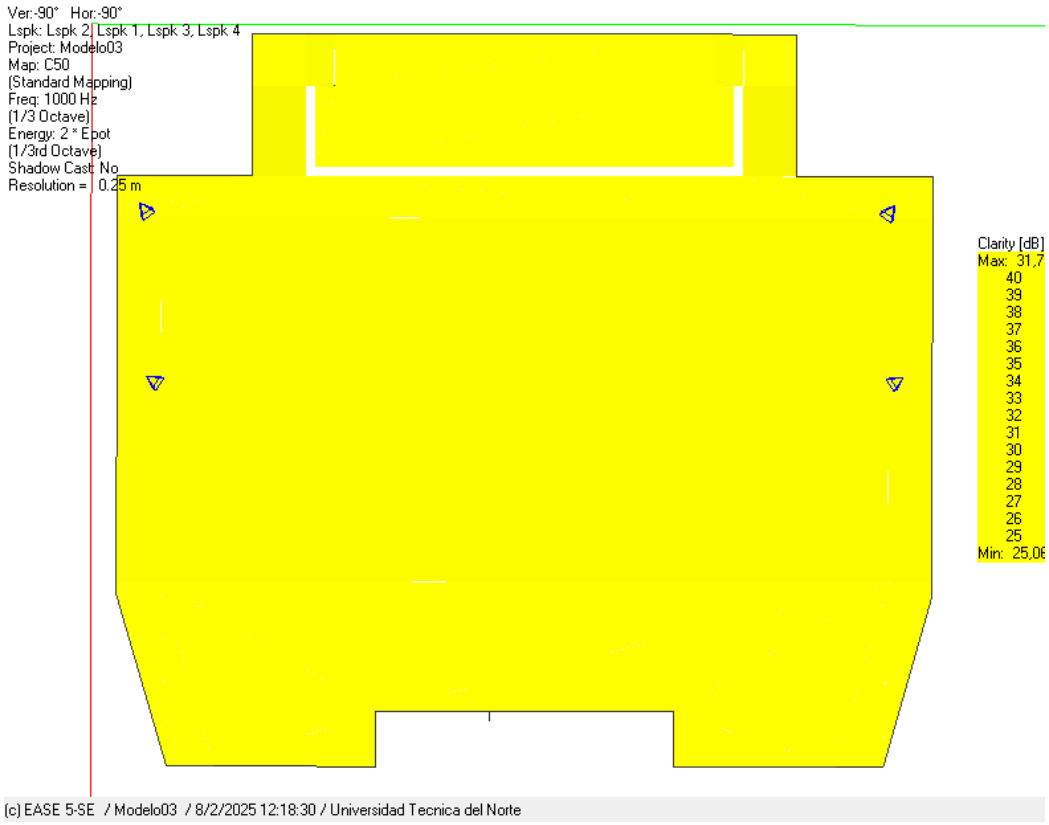
Comparativa de Total SPL en el auditorio, en frecuencias de 250 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz y 4000 Hz con las propuestas de mejora



La Figura 79 muestra el mapa de claridad (C50) para el auditorio, este parámetro mide la claridad del sonido en los primeros 50 milisegundos de una señal, se puede observar que indica una mejor claridad para la intangibilidad del habla, las variaciones en las equinas siguieren ajustes a causa de fenómenos de reflexión y absorción, y según Carrión Isbert (1998) el valor de C50 tiene que ser mayor a 2 dB, lo que sugiere que entre más elevado sea el valor de C50, mejor será la inteligibilidad de la palabra y sonoridad del área.

Figura 79

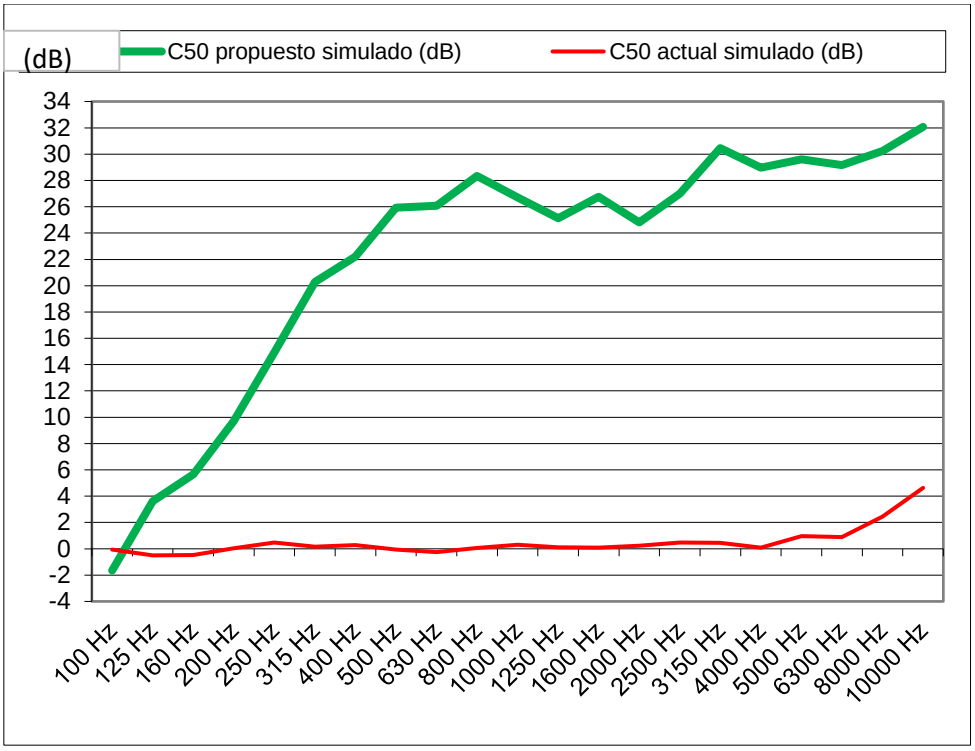
Room Mapping del Auditorio en C50 a 1000 Hz con las propuestas de mejora



La Figura 80, muestra la información de cómo varía el parámetro de C50 en función de la frecuencia, tiende a comenzar en un nivel bajo debido a la naturaleza omnidireccional del sonido y se incrementa alcanzando un pico de 1 kHz con 28 dB, existe una variación en las frecuencias altas, pero se mantiene alto y estable, esto quiere decir que las mejoras acústicas propuestas son efectivas en mantener la claridad del sonido en el auditorio.

Figura 80

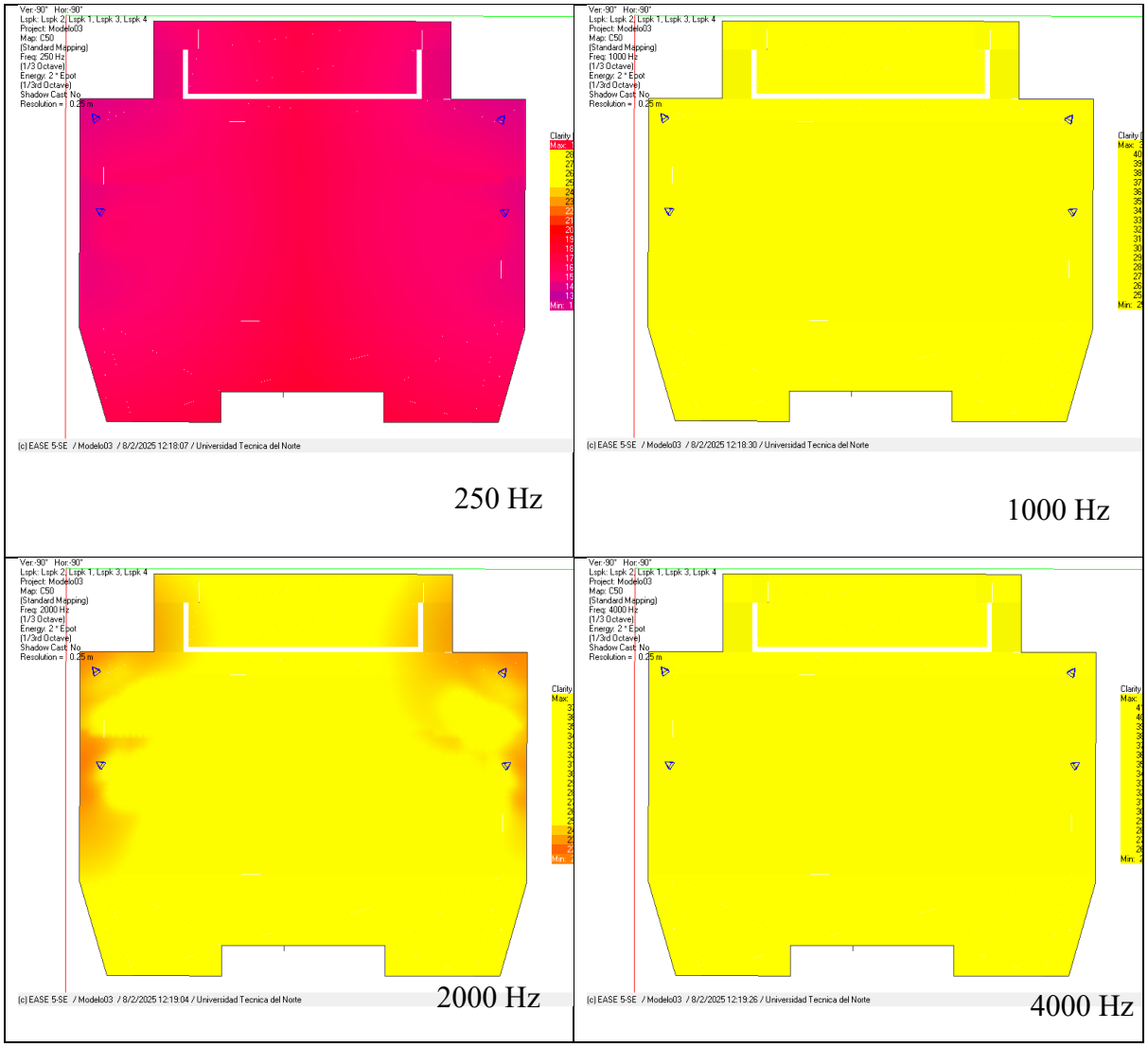
Comparación de C50 en función a la frecuencia con las propuestas de mejora



En la Figura 81 se muestra la comparación del mapeo de las frecuencias de 250 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz y 4000 Hz. La figura indica una uniformidad en las frecuencias bajas de 250 Hz, abarcando todo el espacio del auditorio. En las frecuencias de 2000 Hz, se observa una variación, aunque siempre por encima de los 18 dB. En las frecuencias más altas de 4000 Hz, se aprecia una pronta recuperación de la uniformidad del sonido.

Figura 81

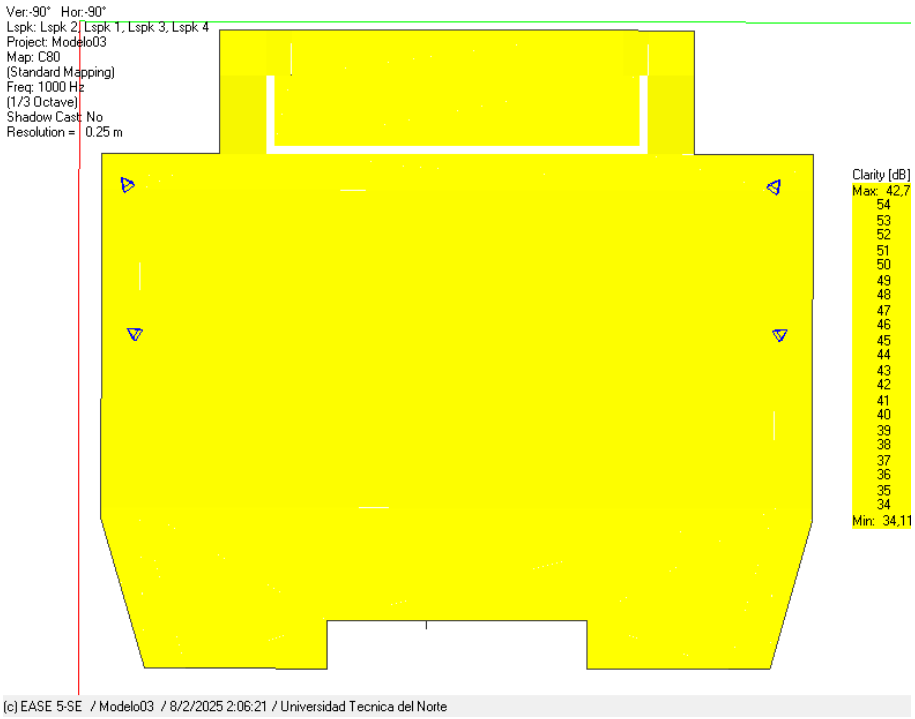
Comparativa de C50 en el auditorio, en frecuencias de 250 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz y 4000 Hz con las propuestas de mejora



En la figura 82 se muestra el mapeo del auditorio para el parámetro C80, el cual es crucial para el rendimiento musical y la percepción de la música en vivo. Similar al parámetro C50, se observan valores superiores a 32 dB, lo que sugiere una excelente calidad de audio. Esto es notablemente superior a la recomendación de Carrión Isbert (1998), que sugiere valores superiores a 2 dB.

Figura 82

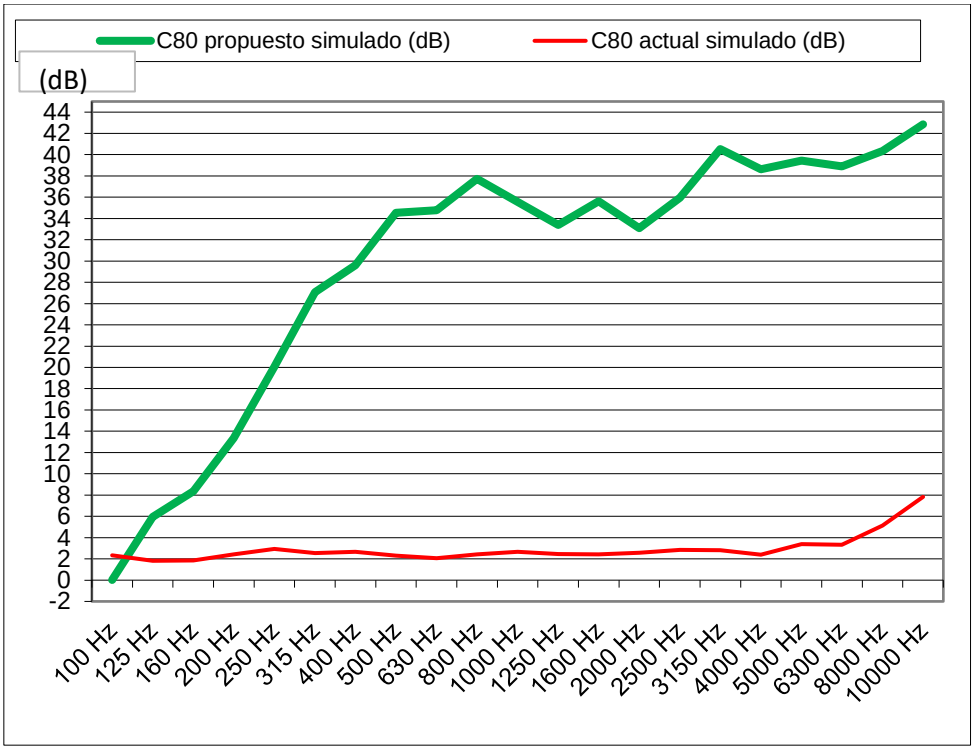
Room Mapping del Auditorio en C80 a 1000 Hz con las propuestas de mejora



Al igual que el parámetro C50, la Figura 83 muestra la relación del parámetro C80 en relación con la frecuencia, cabe destacar que el parámetro C80 al ser reflejado en los 80 primeros milisegundos, tiende a ser mayor que el C50. En la figura se puede observar un crecimiento con un pico en frecuencias de 1 kHz y se mantiene estable en valores sumamente elevados para la claridad del auditorio de Posgrado.

Figura 83

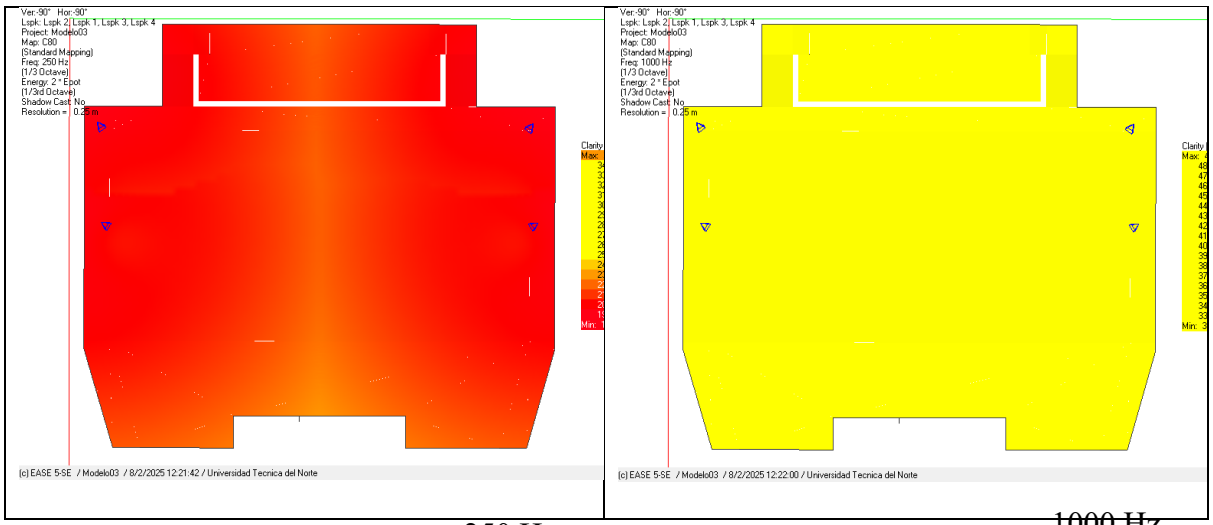
Comparación de C80 en función a la frecuencia con las propuestas de mejora



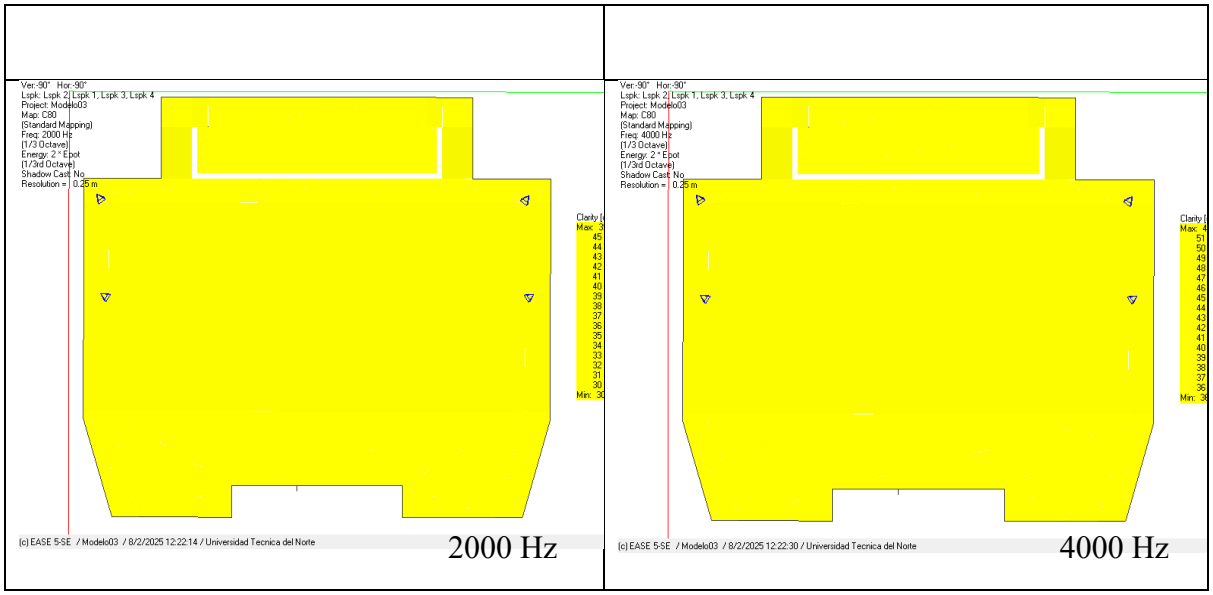
En la Figura 84 se muestra la comparación del mapeo de las frecuencias de 250 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz y 4000 Hz. A comparación con el parámetro C50, C80 muestra una mejor uniformidad en frecuencias mayores a 1000 Hz, esto refleja una mejoría total para que el auditorio sea cede de eventos musicales y culturales en vivo sin la perdida de la claridad.

Figura 84

Comparativa de C80 en el auditorio, en frecuencias de 250 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz y 4000 Hz con las propuestas de mejora



250 Hz 1000 Hz



El análisis acústico propuesto, simulado tras la implementación de las mejoras, ha mostrado una significativa mejora en los parámetros evaluados. Los valores de tiempo de reverberación, SPL directo (dSPL), SPL total (tSPL), C50 y C80 han alcanzado niveles óptimos, indicando una notable mejora en la claridad y calidad del sonido en el auditorio. Estos resultados confirman la efectividad de las soluciones propuestas, destacando la importancia de una adecuada selección y colocación de los parlantes, así como de la optimización de los materiales y configuraciones acústicas.

4.5 Ejecución propuesta

Para la propuesta de implementación del proyecto se estima un total de 43 días laborares, considerando que todas las actividades se llevan a cabo sin retrasos ni solapamientos. Como se puede observar en la Tabla 22, Se establece un cronograma con las actividades, el cual proporciona una base para la implementación del proyecto en el auditorio de posgrado de la Universidad Técnica del Norte.

Tabla 22

Cronograma para la Implementación de las Mejoras

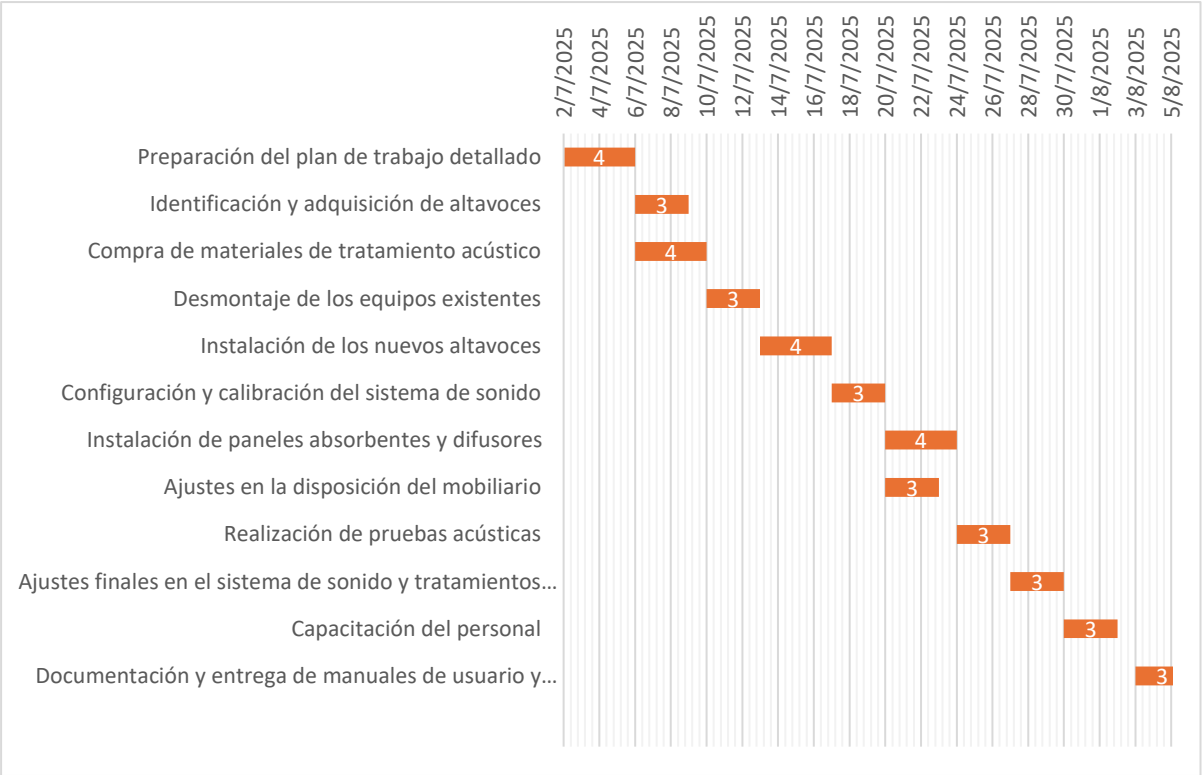
Semana	Actividad	Día	Detalles	Fecha
Semana 1-2	Evaluación Inicial y Preparación	Día 1-3	Evaluación detallada del auditorio	2-3 de septiembre
		Día 4-7	Preparación del plan de trabajo detallado	4-7 de septiembre
Semana 3-4	Adquisición de Equipos y Materiales	Día 8-10	Identificación y adquisición de altavoces JBL 5012	8-10 de septiembre
		Día 11-14	Compra de materiales de tratamiento acústico	11-14 de septiembre
Semana 5-6	Reconfiguración del Sistema de Sonido	Día 15-17	Desmontaje de los equipos existentes	15-17 de septiembre
		Día 18-21	Instalación de los nuevos altavoces	18-21 de septiembre
		Día 22-24	Configuración y calibración del sistema de sonido	22-24 de septiembre
Semana 7-8	Implementación del Tratamiento Acústico	Día 25-28	Instalación de paneles absorbentes y difusores	25-28 de septiembre
		Día 29-31	Ajustes en la disposición del mobiliario	29 de septiembre - 1 de octubre
Semana 9	Pruebas y Ajustes Finales	Día 32-34	Realización de pruebas acústicas	2-4 de octubre
		Día 35-37	Ajustes finales en el sistema de sonido y tratamientos acústicos	5-7 de octubre
Semana 10	Capacitación y Documentación	Día 38-40	Capacitación del personal	8-10 de octubre

	Día 41-43	Documentación y entrega de manuales de usuario y guías de mantenimiento	11-13 de octubre

Para optimizar el tiempo mediante la realización de actividades simultáneas, la Figura 85 muestra un diagrama de Gantt. En el eje Y se encuentran las actividades, mientras que en el eje X se indican las fechas propuestas, se propone una fecha de inicio del 02 de Julio del 2025 para tener una base. La duración de cada actividad se presenta en color blanco en el centro de cada cuadro, y cada casilla representa dos días. Con este método se propone un proyecto de 34 días laborales, considerando que todas las actividades se llevan a cabo sin retrasos.

Figura 85

Diagrama de Gantt para el cronograma de actividades



Una vez establecidas las actividades para la implementación del proyecto, se establece una estimación del presupuesto necesario como se puede observar en la Tabla 23.

Tabla 23

Presupuesto estimado para la implementación de las mejoras acústicas en el auditorio de posgrado de la UTN. Valores obtenidos de (Amazon., n.d.)

Diseño y propuesta de mejora acústica en el auditorio de posgrado de la UTN					
Item	**Descripción o Detalle**	**Cant**	**Unidad**	**Valor U**	**Valor Total**
	SISTEMA ELECTRICO Y ACÚSITICO				
1	Altavoces JBL 5012	4,0	und	$1.200,00	$4.800,00
2	Cables de Audio (Mogami W3103 (Calibre 12 AWG))	80,0	m	$4,29	$343,20
3	Soportes de Montaje para Altavoces (K&M 24455)	4,0	und	$160,00	$640,00
4	Conectores y Adaptadores	10,0	und	$5,00	$50,00
5	Tornillos para Montaje de Altavoces	20,0	und	$0,10	$2,00
6	Anclajes de Pared para Altavoces	10,0	und	$0,30	$3,00
7	Arandelas Planas	20,0	und	$0,05	$1,00
8	Soportes de Montaje Adicionales	4,0	und	$2,00	$8,00
9	Cinta de Aislamiento	1,0	und	$5,00	$5,00
10	Documentación y capacitación del personal	1,0	und	$1.000,00	$1.000,00
11	Geopannel absorbente (1250x600mm)	50,0	und	$3,50	$175,00
12	Documentacion y creación de manuales	1,0	und	$500,00	$500,00
				SUBTOTAL	$7.527,20
				IVA(15%)	$1.129,08
				TOTAL	$8.656,28
					MANO DE OBRA
Item	**Descripción o Detalle**	**Cant**	**Unidad**	**Valor U**	**Valor Total**
13	Albañil	43,0	Día	$32,00	$1.376,00
14	Electricista	10,0	Día	$32,80	$328,00
15	Maestro de obra	43,0	Día	$34,66	$1.490,38
16	Técnico de sonido	7,0	Día	$52,80	$229,60
				SUBTOTAL	$ 3.563,98
				IVA (15%)	$ 534,60
				TOTAL	$ 4.098,58
				TOTAL DEL PROYECTO	$ 12.754,86

El monto total requerido para implementar la propuesta de mejora acústica del auditorio de posgrado es de aproximadamente $12,754.86. Este presupuesto incluye la adquisición de

nuevos altavoces, tratamiento de superficies acústicas, y la reubicación estratégica de los equipos de sonido.

La encuesta realizada el 19 de febrero de 2025, cuyo objetivo fue evaluar la satisfacción de los usuarios respecto a la propuesta, evidenció que la mayoría considera altamente relevante la optimización acústica. Los encuestados manifestaron que esta mejora no solo elevaría la calidad del sonido, sino que también generaría un ambiente más confortable y propicio para la comunicación durante eventos y conferencias, lo que podría incrementar la asistencia y el compromiso de la audiencia, favoreciendo la experiencia global en el auditorio.

En este contexto se integra el concepto de Calidad de Experiencia (QoE), definida como "el grado de deleite o molestia del usuario de una aplicación o servicio" (Recomendación UIT-T P.10/G.100). La QoE evalúa el nivel general de satisfacción desde la perspectiva del usuario, tomando en cuenta no solo parámetros técnicos, sino también factores como el tipo y las características del servicio, el contexto de uso, las expectativas del usuario y su cumplimiento. En el caso del auditorio, estos elementos se reflejan en la percepción de la calidad del sonido y el ambiente, lo que determina la experiencia global de quienes lo utilizan. Cabe destacar que, en este caso, la medición de la QoE es subjetiva, ya que se trata de una propuesta simulada. La experiencia percibida dependerá de las expectativas y el contexto individual de cada usuario, lo que implica que los resultados obtenidos a través de encuestas o evaluaciones puedan variar ampliamente

La implementación de estas mejoras acústicas no solo beneficiará a los eventos académicos y conferencias, sino que también contribuirá a crear un ambiente más confortable y eficiente para todos los usuarios del auditorio. La inversión en tecnología de sonido y capacitación del personal es fundamental para mantener la excelencia en la calidad acústica a largo plazo.

La propuesta de mejora acústica del auditorio de posgrado representa una inversión estratégica de $12,754.86 para transformar la experiencia en más del 80% de los eventos académicos, considerando que en 2024 se registraron más de 88 eventos, mayormente presentaciones académicas, donde la inteligibilidad de la palabra es esencial para captar la atención de los asistentes. Esta propuesta busca corregir los valores en la claridad del discurso, evidenciadas por valores fuera de rango en términos de reverberación y nitidez, y contempla la adquisición de nuevos altavoces, tratamiento de superficies acústicas y la reubicación estratégica de equipos. La implementación de estas mejoras no solo elevará la calidad técnica y la Calidad de Experiencia (QoE) de los usuarios, sino que también impulsará un ambiente más confortable y propicio para la comunicación y el intercambio de ideas. En consecuencia, la optimización acústica potenciará la asistencia y el compromiso de la audiencia, generando un impacto social positivo al consolidar el auditorio como un espacio de excelencia y relevancia académica en nuestra comunidad.

CONCLUSIONES

En la construcción de espacios destinados a la realización de eventos, como el auditorio de posgrado, el análisis acústico suele ser un aspecto poco considerado en la etapa de planificación. Esta omisión puede impactar negativamente en la calidad del sonido dentro del recinto, afectando la experiencia de los asistentes, la reputación del auditorio y su capacidad para atraer eventos. En consecuencia, aunque el auditorio pertenece a la Facultad de Posgrado y su operación no genera pérdidas económicas directas, una deficiente calidad acústica podría repercutir en la realización de eventos o en la percepción de los mismos, disminuyendo su utilización y, en algunos casos, afectando indirectamente la valorización del espacio. Por ello, es fundamental incorporar el diseño acústico desde las fases iniciales del proyecto para garantizar un desempeño óptimo y maximizar tanto la experiencia de los usuarios como el reconocimiento del auditorio en el ámbito académico y profesional.

El análisis acústico del auditorio, basado en la normativa ISO 3382-2 y parámetros clave como el RT, tSPL, dSPL, C50 y C80, reveló que la actual disposición de los altavoces genera una distribución desigual del sonido, evidenciada en variaciones significativas en los niveles de presión sonora (tSPL y dSPL) y en valores negativos de claridad del habla (C50), lo que afecta la inteligibilidad; cabe destacar que el análisis de ruido se descartó al no ser un descriptor relevante para la evaluación acústica en este contexto, lo que subraya la necesidad de intervenir en el diseño para lograr una dispersión uniforme y una experiencia sonora óptima.

Los resultados del análisis revelaron que el auditorio presenta problemas en la reverberación con un porcentaje de error del 41.95 % con respecto a valores recomendados, la distribución del sonido y la claridad del habla. Las mediciones actuales y simulaciones evidenciaron que la actual ubicación de los altavoces y la configuración de la infraestructura provocan una dispersión desigual del sonido, generando zonas con niveles de presión sonora inconsistentes y alta reverberación, lo que compromete la inteligibilidad. La implementación

de mejoras específicas, como la reubicación estratégica de altavoces con mejores características de respuesta y el tratamiento adecuado de las superficies, se plantea como la solución idónea para optimizar la distribución sonora y reducir la reverberación, asegurando una experiencia acústica superior durante los eventos.

La relación costo-beneficio de la propuesta de mejora acústica resulta altamente viable, considerando que en 2024 el auditorio albergó más de 88 eventos generales, sin contar los eventos privados. Esta alta demanda evidencia la importancia del recinto para diversas actividades académicas y culturales, de modo que optimizar la calidad sonora y la experiencia de los usuarios no solo justifica la inversión, sino que además fomenta una mayor participación y proyección de la Facultad, fortaleciendo el valor y la utilidad de este espacio en beneficio de la comunidad universitaria.

RECOMENDACIONES

Para abordar los problemas acústicos identificados y asegurar una mejora sostenible en la calidad del sonido en el Auditorio de Posgrado de la Universidad Técnica del Norte, se recomienda lo siguiente:

Al realizar el análisis y las mediciones reales en el espacio conforme lo establece la ISO 3382. Se recomienda la utilización de materiales apropiados para sacar los valores más exactos posibles y un mejor análisis, utilizando una caja acústica omnidireccional (Dodecaedro) y una buena calibración de la grabadora con micrófonos omnidireccionales.

Es crucial proceder con la instalación de los altavoces que cumplan con los requerimientos del diseño según el plan detallado de instalación y configuración desarrollado en este estudio. Estos altavoces deben ser posicionados estratégicamente para maximizar la cobertura y uniformidad del sonido en todo el auditorio. Además, se debe realizar una revisión y ajuste periódico del sistema de sonido para mantener una calidad óptima y adaptarse a posibles cambios en el uso del auditorio.

En cuanto a las mejoras en la infraestructura, se recomienda aplicar tratamientos acústicos en las superficies del auditorio. Esto incluye el uso de materiales absorbentes en paredes y techos para reducir el tiempo de reverberación. Adicionalmente, se debe considerar un rediseño de la distribución del sonido, optimizando la ubicación de todos los componentes acústicos para lograr una mejor dispersión del sonido.

Para asegurar la calidad acústica a largo plazo, es esencial establecer un programa regular de monitoreo acústico. Este programa debe incluir mediciones periódicas para identificar y corregir cualquier problema que pueda surgir. Además, se recomienda revisar periódicamente el diseño acústico en base a si se desea remodelar el ambiente del auditorio. Asimismo, se debe capacitar al personal encargado del auditorio en la gestión y mantenimiento

de los sistemas de sonido, asegurando que tengan el conocimiento y las habilidades necesarias para mantener el sistema en condiciones óptimas.

Finalmente, todas las mejoras y mantenimientos realizados deben cumplir con las normativas acústicas internacionales, específicamente la norma ISO 3382-2, que establece los estándares para la medición de parámetros acústicos en salas de tamaño mediano. También es recomendable implementar un sistema para recolectar feedback continuo de los usuarios del auditorio, permitiendo realizar ajustes basados en sus experiencias y necesidades, asegurando así que el auditorio cumpla con las expectativas de sus usuarios y mantenga una alta calidad acústica.

Referencias

Amazon.com en espanol. Gasta menos. Sonríe más. (n.d.). Retrieved January 11, 2025, from https://www.amazon.com/

Belén, A., Salgado, S., & Sobreira Seoane, M. (n.d.). *UNIVERSIDAD DE VIGO ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS DE TELECOMUNICACIONES PROYECTO FIN DE CARRERA*.

Bruel & Kjae. (1978). *Architectural Acoustics*.

Carrión Isbert, A. (1998). Diseño acústico de espacios arquitectónicos. *Universidad Politécnica de Cataluña*. http://www.upc.es/edicions/index.html

Casas Palomino, A. (2021). *Propuesta de mejora acústica para el Auditorio y Palacio de Congresos Infanta Doña Elena (Águilas, Murcia)*.

Curso de acústica . (2023, December 29). Algunos Fenómenos Acústicos: Efecto Doppler, Absorción, Reflexión, Refracción, Transmisión, Difracción, Eco y Reverberación.

Electro Voice. (n.d.). The power to reach your audience. *SxA Loundspeakers*. Retrieved February 9, 2025, from https://products.electrovoice.com/binary/SxA_Series_Brochure.pdf

Flores, M. D., Ferreyra, S. P., Cravero, G. A., Budde, L., Longoni, H. C., Ramos, O. A., Tommasini, F. C., García Garino, C. G., Mirasso, A. E., Storti, M. A., & Tornello, M. E. (2013). Base de datos de coeficientes de absorción sonora de diferentes materiales. *Venus.Santafe-Conicet.Gov.Ar*, 2901–2908. http://venus.santafe-conicet.gov.ar/ojs/index.php/mc/article/view/4527

GEOPANNEL® PYL 2.0 30. (n.d.).

International Organization for Standardization. (2003). *ISO 226*. www.iso.org

International Organization for Standardization. (2009). *ACÚSTICA. MEDICIÓN DEL TIEMPO DE REVERBERACIÓN DE RECINTOS CON REFERENCIA A OTROS PARÁMETROS ACÚSTICOS*.

International Organization for Standardization. (2009). *ISO 3382-1:2009: Acoustics -- Measurement of room acoustic parameters -- Part 1: Performance spaces*. https://www.iso.org/standard/40979.html

Jacobsen, F. (2011). *AN ELEMENTARY INTRODUCTION TO ACOUSTICS*.

JBL Professional. (2021). *8102 HIGH-POWER PROFESSIONAL CINEMA SURROUND SPEAKER*. https://jblpro.com/en/products/8102

JBL Professional. (2024). *CV5015 96/64*. CV5015 96/64. https://jblpro.com/en/products/cv5015-96-64

Jorge Sastrón. (2018, November 30). *Campo directo, campo reverberante y distancia crítica.* Cómo Hacer Una Sonorización En Espacios Muy Reverberantes y Conseguir Inteligibilidad - Producciones El Sótano - Sonido e Iluminación Profesional.

José, J., & Vidal, A. (2012). *ACONDICIONAMIENTO ACÚSTICO Y SIMULACIÓN DE UN RECINTO DE ENSAYOS. ADAPTACIÓN A ESTUDIO DE GRABACIÓN.* https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/17788/Proyecto%20Juan%20Jose%20Almendros%20Vidal.pdf?sequence=1

López, R. A., & Martín, R. P. (2017). *Manual de acústica ambiental y arquitectónica*. https://books.google.com.mx/books?hl=es&lr=&id=FQgaDgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=acustica&ots=xdL6F8drG9&sig=IxEFWsribYpdNdlM7WmOaBhyuaQ

Masovic, D. (2018). *Room Acoustics (lecture notes)*. https://arxiv.org/abs/2111.01900

Miraya, F. (2003). Introducción a la Acústica. *Academia.Edu*. https://www.academia.edu/download/34173522/acustica.pdf

Mora, G., Lucio Naranjo, J., & Bravo-Moncayo, L. (2017). Optimización de Coeficientes de Absorción para Simulación Numérica Acústica. *Latin American Journal of Computing*, *4*, 37–49.

Movavi. (2024, April 3). *¿Qué es un archivo WAV? | Todo sobre el formato .wav*. Https://Www.Movavi.Com/Es/Learning-Portal/Wav-File.Html.

NTi Audio. (n.d.). *Medición del tiempo de reverberación*. Retrieved February 9, 2025, from https://www.nti-audio.com/es/aplicaciones/acustica-de-salas-y-edificios/medicion-del-tiempo-de-reverberacion?

Pentcheva, B. V., & Abel, J. S. (2017). Icons of sound: Auralizing the lost voice of Hagia Sophia. *Speculum*, *92*, S336–S360. https://doi.org/10.1086/693439/AUDIOANIM.MP4

Recio Martín, G. (2021). *ESTUDIO ACÚSTICO-SONORO EN SALAS DEL MUSEO DEL PRADO*. https://repositorio.uam.es/handle/10486/700121

Rodríguez Valiente, A. (2015). *DETERMINACIÓN DE LOS UMBRALES DE AUDICIÓN EN LA POBLACIÓN ESPAÑOLA*.

ANEXOS I

Actividades Específicas Basadas en los Datos de Simulación y las Mejoras Propuestas

Evaluación Inicial y Preparación:

- Realizar una evaluación detallada del auditorio para confirmar las mediciones iniciales y verificar la compatibilidad de la infraestructura actual con las mejoras propuestas.
- Preparar un plan de trabajo detallado que incluya todas las actividades necesarias para la implementación de las mejoras.

Adquisición de Equipos y Materiales:

- Adquirir los altavoces JBL 5012 y otros equipos necesarios.
- Comprar materiales de tratamiento acústico, como paneles absorbentes, difusores y otros materiales necesarios.

Reconfiguración del Sistema de Sonido:

- Desmontar los altavoces y equipos de audio existentes.
- Instalar los nuevos altavoces JBL 5012 según el plan de instalación.
- Configurar y calibrar el sistema de sonido para asegurar una distribución uniforme del sonido.

Implementación del Tratamiento Acústico:

- Instalar los paneles absorbentes y difusores en las ubicaciones estratégicas identificadas en el estudio.
- Realizar ajustes necesarios en la disposición del mobiliario y otros elementos del auditorio para optimizar la acústica.

Pruebas y Ajustes Finales:

- Realizar pruebas acústicas para medir el tiempo de reverberación, distribución del sonido, y claridad del habla.
- Ajustar la configuración del sistema de sonido y los tratamientos acústicos según los resultados de las pruebas.

Capacitación y Documentación:

- Capacitar al personal encargado del auditorio en el uso y mantenimiento del nuevo sistema de sonido y los tratamientos acústicos.
- Documentar todos los cambios realizados y proporcionar manuales de usuario y guías de mantenimiento.

ANEXO II

Cronograma Detallado para la Implementación de las Mejoras

Semana	Actividad	Días	Detalles
Semana 1-2	Evaluación Inicial y Preparación	Día 1-3	Evaluación detallada del auditorio
		Día 4-7	Preparación del plan de trabajo detallado
Semana 3-4	Adquisición de Equipos y Materiales	Día 8-10	Identificación y adquisición de altavoces JBL 5012
		Día 11-14	Compra de materiales de tratamiento acústico
Semana 5-6	Reconfiguración del Sistema de Sonido	Día 15-17	Desmontaje de los equipos existentes
		Día 18-21	Instalación de los nuevos altavoces
		Día 22-24	Configuración y calibración del sistema de sonido
Semana 7-8	Implementación del Tratamiento Acústico	Día 25-28	Instalación de paneles absorbentes y difusores
		Día 29-31	Ajustes en la disposición del mobiliario
Semana 9	Pruebas y Ajustes Finales	Día 32-34	Realización de pruebas acústicas
		Día 35-37	Ajustes finales en el sistema de sonido y tratamientos acústicos
Semana 10	Capacitación y Documentación	Día 38-40	Capacitación del personal
		Día 41-43	Documentación y entrega de manuales de usuario y guías de mantenimiento

ANEXO III

Estimación del Presupuesto Necesario

Telf +593 981 488 997 +593 992 338 666
www.jassatelecom.com

Cliente : Universidad Técnica del Norte RUC: 1792612489001

PROFORMA DE MATERIALES					
Item	**Descripción o Detalle**	**Cant**	**Unidad**	**Valor U**	**Valor Total**
SISTEMA ELECTRICO					
1	Altavoces JBL 5012	4,0	und	$1.200,00	$4.800,00
2	Cables de Audio (Mogami W3103 (Calibre 12 AWG))	80,0	m	$4,29	$343,20
3	Soportes de Montaje para Altavoces (K&M 24455)	4,0	und	$160,00	$640,00
4	Conectores y Adaptadores	10,0	und	$5,00	$50,00
5	Tornillos para Montaje de Altavoces	20,0	und	$0,10	$2,00
6	Anclajes de Pared para Altavoces	10,0	und	$0,30	$3,00
7	Arandelas Planas	20,0	und	$0,05	$1,00
8	Soportes de Montaje Adicionales	4,0	und	$2,00	$8,00
9	Cinta de Aislamiento	1,0	und	$5,00	$5,00
10	Documentación y capacitación del personal	1,0	und	$1.000,00	$1.000,00
11	Geopannel absorbente	50,0	und	$3,50	$175,00
12	Documentacion y creación de manuales	1,0	und	$500,00	$500,00

SUBTOTAL	$7.527,20
IVA(15%)	$1.129,08
TOTAL	$8.656,28

MANO DE OBRA					
Item	**Descripción o Detalle**	**Cant**	**Unidad**	**Valor U**	**Valor Total**
ACOMETIDA GENERADOR A TIA Y TUBO GENERADOR					
13	Peón	43,0	Día	$32,00	$1.376,00
14	Electricista	10,0	Día	$32,80	$328,00
15	Maestro de obra	43,0	Día	$34,66	$1.490,38
16	Técnico de sonido	7,0	Día	$52,80	$369,60

SUBTOTAL	$ 3.563,98
IVA(15%)	$ 534,60
TOTAL	$ 4.098,58

TOTAL DEL PROYECTO	$ 12.754,86

Firma JASSATELECOM

ANEXO IV

PLAN DE TRABAJO

1. DATOS INICIALES DEL PROYECTO

1.2 Nombre del Proyecto

Diseño y propuesta de mejora acústica del auditorio de posgrado de la Universidad Técnica del Norte.

1.3 Sector, subsector y tipo de inversión

El sector está enfocado en la Educación, el subsector es la educación superior

Tipo de inversión: Infraestructura

Se enfoca principalmente en el diseño y propuesta de mejora de la calidad acústica en el auditorio de posgrado de la Universidad Técnica del Norte, el cual beneficia a la comunidad universitaria al proporcionar un entorno para la realización de eventos académicos y culturales de buena calidad.

1.4 Plazo de ejecución

Semana	Actividad	Día	Detalles	Fecha
Semana 1-2	Evaluación Inicial y Preparación	Día 1-3	Evaluación detallada del auditorio	2-3 de septiembre
		Día 4-7	Preparación del plan de trabajo detallado	4-7 de septiembre
Semana 3-4	Adquisición de Equipos y Materiales	Día 8-10	Identificación y adquisición de altavoces JBL 8102	8-10 de septiembre
		Día 11-14	Compra de materiales de tratamiento acústico	11-14 de septiembre

Semana 5-6	Reconfiguración del Sistema de Sonido	Día 15-17	Desmontaje de los equipos existentes	15-17 de septiembre
		Día 18-21	Instalación de los nuevos altavoces	18-21 de septiembre
		Día 22-24	Configuración y calibración del sistema de sonido	22-24 de septiembre
Semana 7-8	Implementación del Tratamiento Acústico	Día 25-28	Instalación de paneles absorbentes y difusores	25-28 de septiembre
		Día 29-31	Ajustes en la disposición del mobiliario	29 de septiembre - 1 de octubre
Semana 9	Pruebas y Ajustes Finales	Día 32-34	Realización de pruebas acústicas	2-4 de octubre
		Día 35-37	Ajustes finales en el sistema de sonido y tratamientos acústicos	5-7 de octubre
Semana 10	Capacitación y Documentación	Día 38-40	Capacitación del personal	8-10 de octubre
		Día 41-43	Documentación y entrega de manuales de usuario y guías de mantenimiento	11-13 de octubre

La implementación del proyecto empieza el lunes 02 de septiembre del 2024 y la fecha de finalización, se propone hasta el 13 de octubre del 2024, considerando que todas las actividades se llevan a cabo sin retrasos ni solapamientos.

1.5 Monto total

$ 12.265,32

2. DIAGNOSTICO Y PROBLEMA

2.1 Identificación, descripción y diagnóstico del problema

El auditorio de posgrado de la Universidad Técnica del Norte enfrenta varios problemas acústicos que afectan la calidad del sonido y la claridad de las presentaciones. El principal problema identificado es el alto tiempo de reverberación, el cual es significativamente mayor al recomendado para un espacio de estas características. Este problema se debe principalmente a los materiales utilizados en las superficies del auditorio, que no absorben adecuadamente el sonido, causando que las ondas sonoras se reflejen repetidamente y se prolonguen en el tiempo. Además, la disposición actual de los parlantes no proporciona una cobertura uniforme del sonido, lo que resulta en áreas con diferentes niveles de presión sonora, afectando la experiencia auditiva de los asistentes.

2.2 Línea base del proyecto

Reverberación

Actualmente, el auditorio presenta un tiempo de reverberación alto, que excede los niveles recomendados para espacios de esta naturaleza. Esto se debe principalmente a los materiales utilizados en las superficies del auditorio, que no absorben adecuadamente el sonido, causando prolongadas reflexiones sonoras.

Cobertura del Sonido

La disposición actual de los parlantes no proporciona una cobertura adecuada del sonido. Hay variaciones significativas en los niveles de presión sonora (dSPL y tSPL) en diferentes áreas del auditorio, lo que afecta la uniformidad del sonido y la experiencia auditiva de los asistentes.

Claridad del Sonido

El parámetro C50, que mide la claridad del sonido, presenta valores negativos, indicando que la claridad del sonido es baja. Esto afecta la inteligibilidad del audio durante las presentaciones, haciéndolas menos comprensibles para la audiencia.

Equipos de Sonido

Los equipos de sonido actuales no están específicamente diseñados para el uso en el auditorio. Esta falta de especificidad contribuye a los problemas de cobertura y calidad del sonido. Además, los equipos no están dedicados exclusivamente a la optimización del sonido en este espacio, lo que limita su rendimiento.

Estado de los Materiales Acústicos

Los materiales acústicos existentes en el auditorio tienen un coeficiente de absorción insuficiente, lo que contribuye a los problemas de reverberación. La evaluación inicial ha mostrado que estos materiales no son adecuados para las necesidades acústicas del auditorio.

2.3 Análisis de oferta y demanda

Oferta

Proveedores de Equipos Acústicos y Servicios de Instalación

Demanda

Usuarios del Auditorio

2.4 Identificación y Caracterización de la población objetivo

Identificación de la Población Objetivo

La población objetivo de este proyecto son los estudiantes, profesores y personal administrativo del Auditorio de Posgrado de la Universidad Técnica del Norte. El proyecto también beneficiará indirectamente a los asistentes a

eventos, conferencistas invitados y a la comunidad académica en general al proporcionar un entorno acústico de alta calidad.

Caracterización de la Población Objetivo

Estudiantes:

Los estudiantes son el grupo principal que se beneficiará del proyecto. Mejorar la acústica del auditorio proporcionará un entorno más propicio para el aprendizaje, especialmente durante conferencias, seminarios y presentaciones académicas. La claridad del sonido permitirá una mejor comprensión del material presentado, mejorando así la calidad de la educación y las oportunidades de aprendizaje.

Docentes:

Los docentes también se beneficiarán del proyecto, ya que una mejor calidad de sonido les permitirá comunicar de manera más efectiva sus presentaciones. Una acústica mejorada facilitará la interacción con los estudiantes y asegurará que el contenido presentado sea comprendido claramente, lo que puede mejorar la efectividad de la enseñanza.

Personal Administrativo:

El personal administrativo se beneficiará de un auditorio con mejor acústica, ya que esto mejorará la calidad de los eventos institucionales y las reuniones que se realicen en este espacio. La claridad y uniformidad del sonido también facilitarán la coordinación y organización de actividades dentro del auditorio.

Asistentes a Eventos y Conferencistas:

Aunque no son el objetivo directo del proyecto, los asistentes a eventos y los conferencistas invitados se beneficiarán significativamente de un entorno acústico mejorado. Esto incluye a académicos, profesionales y miembros de la

comunidad que asisten a eventos, conferencias y otras actividades en el auditorio. Una mejor calidad de sonido contribuirá a una experiencia más agradable y productiva durante estos eventos.

2.5 Ubicación geográfica e impacto territorial+

El Auditorio de Posgrado de la Universidad Técnica del Norte está ubicado en la ciudad de Ibarra, en la provincia de Imbabura, Ecuador. Esta ubicación central dentro de la universidad lo convierte en un espacio clave para una variedad de actividades académicas y culturales. La ciudad de Ibarra es conocida por su entorno tranquilo y su patrimonio cultural, y la universidad es un importante centro educativo en la región.

Impacto Territorial

Académico:

La mejora de la acústica del auditorio beneficiará directamente a la comunidad universitaria, incluyendo estudiantes, profesores y personal administrativo. La calidad del sonido en conferencias, seminarios y presentaciones mejorará significativamente, lo que facilitará el aprendizaje y la comunicación efectiva.

Cultural:

El auditorio también es un espacio para eventos culturales, como conciertos y obras de teatro. Una mejor acústica enriquecerá estas experiencias, atrayendo a más asistentes y promoviendo la cultura en la región.

Impacto en la Comunidad Local

Social:

La mejora del auditorio puede atraer eventos de mayor calidad y envergadura, beneficiando a la comunidad local al ofrecer más oportunidades para la participación en actividades culturales y educativas.

Económico:

Eventos más grandes y mejor organizados pueden atraer visitantes de otras áreas, lo que potencialmente aumentará el turismo y generará ingresos adicionales para la ciudad de Ibarra.

Impacto en la Región

Educativo:

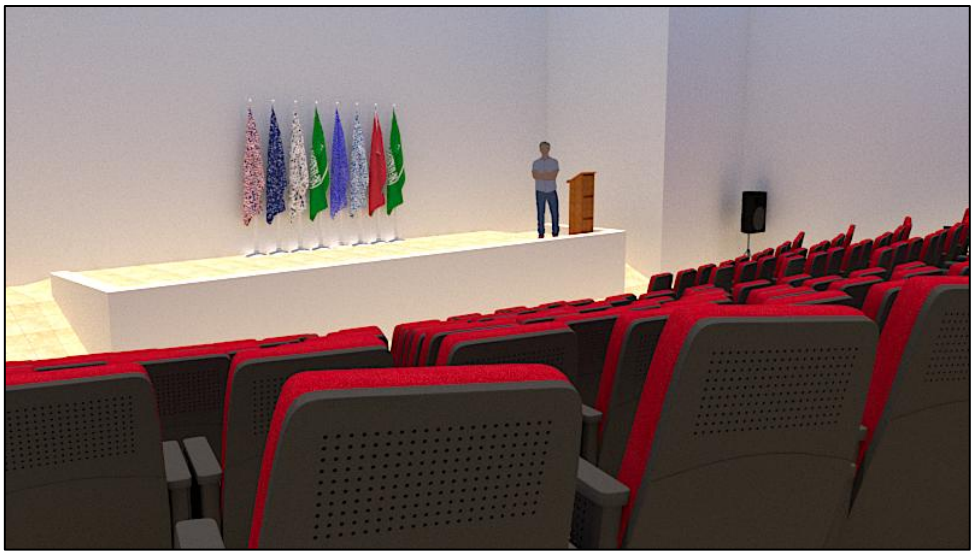
La Universidad Técnica del Norte es un referente educativo en la provincia de Imbabura. La mejora del auditorio fortalecerá su posición como centro de excelencia educativa, atrayendo a estudiantes y académicos de toda la región.

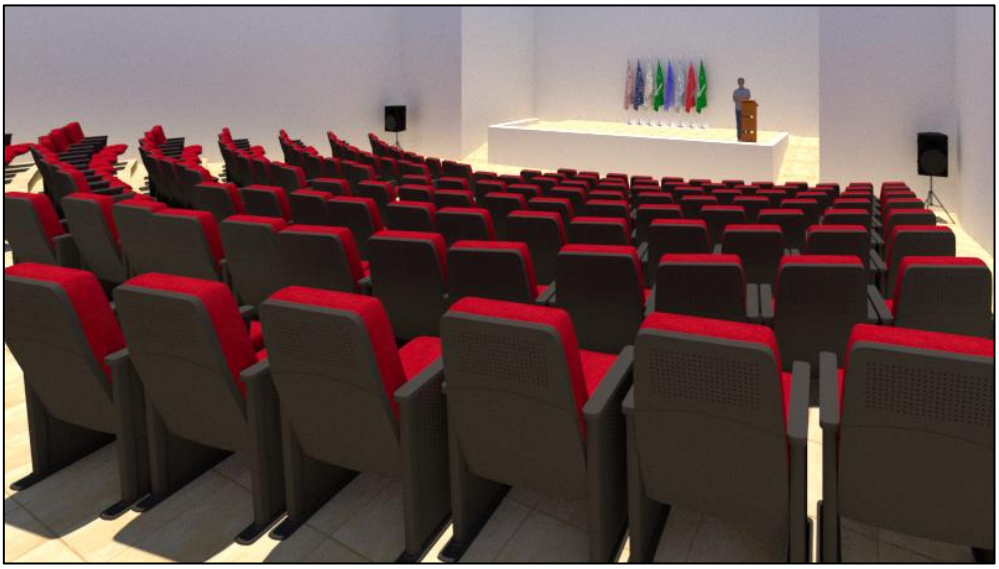
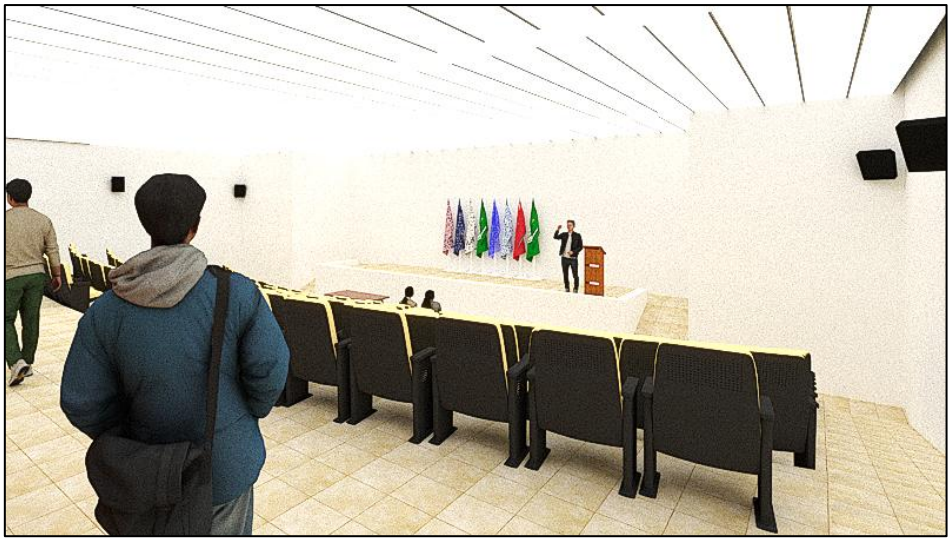
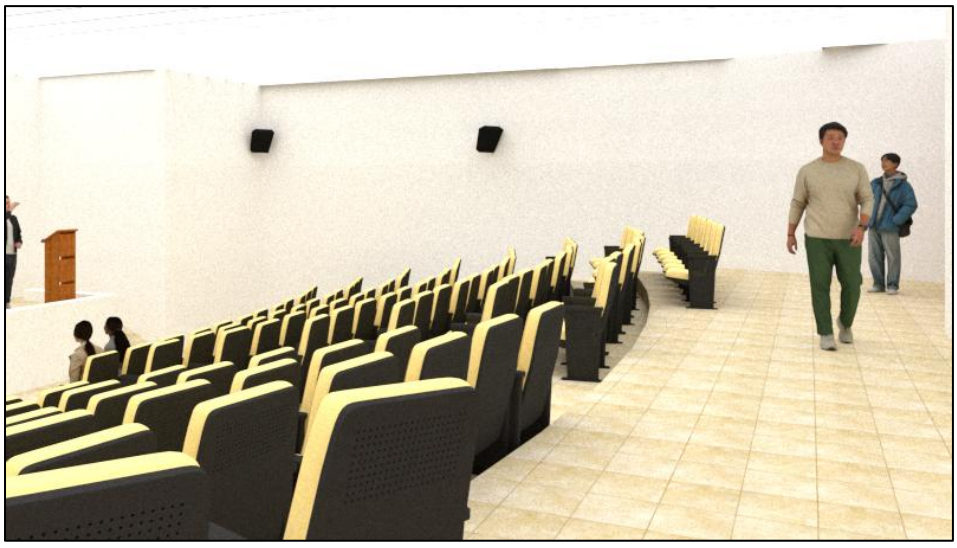
Colaborativo:

La mejora del auditorio también puede facilitar colaboraciones con otras instituciones educativas y culturales, tanto a nivel nacional como internacional, promoviendo un intercambio de conocimiento y experiencias.

ANEXO

Auditorio Antes





Auditorio Despues