



Universidad
Indoamérica

CARRERA DE ARQUITECTURA

PROPUESTA

DE DISEÑO ACÚSTICO PARA EL CONFORT DE LA
COMUNIDAD EDUCATIVA.

CASO DE ESTUDIO: UNIVERSIDAD INDOAMÉRICA CAMPUS
AGRAMONTE

Fernando Sebastián Chávez Rosero

Propuesta Metodológica

Autor

Fernando Sebastián Chávez Rosero
sebasmaria@hotmail.es

Equipo de Soporte:

Docente Tutor

María Ángel Barzallo Yaguache
mabarzallo@indoamerica.edu.ec

Docente Unidad de Integración Curricular

Juan Daniel Cabrera Gómez
jcabrera14@indoamerica.edu.ec

Docente apoyo diagramación

Patricia Alexandra Jara Garzón
patricijara@indoamerica.edu.ec

Agradecimiento:

Agradecemos la apertura de las siguientes instituciones y personas por su aporte en este documento:

Universidad Indoamérica

Fecha de Publicación:

Febrero 2025



FACULTAD DE ARQUITECTURA ARTES Y DISEÑO
CARRERA DE ARQUITECTURA

TEMA

**PROPUESTA DE DISEÑO ACÚSTICO PARA EL CONFORT DE LA
COMUNIDAD EDUCATIVA. CASO DE ESTUDIO: UNIVERSIDAD
INDOAMÉRICA CAMPUS AGRAMONTE**

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Arquitecto

Autor:

Fernando Sebastián Chávez Rosero

Tutora:

María Ángel Barzallo Yaguache

AMBATO - ECUADOR

2025

AUTORIZACIÓN

del autor

Yo Fernando Sebastián Chávez Rosero, declaro ser autor del Trabajo de Integración Curricular con el nombre "PROPUESTA DE DISEÑO ACÚSTICO PARA EL CONFORT DE LA COMUNIDAD EDUCATIVA. CASO DE ESTUDIO: UNIVERSIDAD INDOAMÉRICA: CAMPUS AGRAMONTE", como requisito para optar al grado de Arquitecto y autorizo al Sistema de Bibliotecas de la Universidad Tecnológica Indoamérica, para que con fines netamente académicos divulgue esta obra a través del Repositorio Digital Institucional (RDI-UTI).

Los usuarios del RDI-UTI podrán consultar el contenido de este trabajo en las redes de información del país y del exterior, con las cuales la Universidad tenga convenios. La Universidad Tecnológica Indoamérica no se hace responsable por el plagio o copia del contenido parcial o total de este trabajo. Del mismo modo, acepto que los Derechos de Autor, Morales y Patrimoniales, sobre esta obra, serán compartidos entre mi persona y la Universidad Tecnológica Indoamérica, y que no tramitaré la publicación de esta obra en ningún otro medio, sin autorización expresa de la misma. En caso de que exista el potencial de generación de beneficios económicos o patentes, producto de este trabajo, acepto que se deberán firmar convenios específicos adicionales, donde se acuerden los términos de adjudicación de dichos beneficios. Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Ambato, a los 14 días del mes de febrero de 2025, firmo conforme:

Fernando Sebastián Chávez Rosero
1804756177

DECLARACIÓN de autenticidad

Quien suscribe, declaro que los contenidos y los resultados obtenidos en el presente trabajo de integración curricular, como requerimiento previo para la obtención del Título de Arquitecto, son absolutamente originales, auténticos y personales y de exclusiva responsabilidad legal y académica del autor.

Ambato, 14 de febrero de 2025

Fernando Sebastián Chávez Rosero
1804756177

CERTIFICACIÓN

del tutor

En mi calidad de Tutor del Trabajo de Integración Curricular “PROPUESTA DE DISEÑO ACÚSTICO PARA EL CONFORT DE LA COMUNIDAD EDUCATIVA. CASO DE ESTUDIO: UNIVERSIDAD INDOAMÉRICA: CAMPUS AGRAMONTE” presentado por FERNANDO SEBASTIÁN CHÁVEZ ROSERO, para optar por el Título de Arquitecto.

CERTIFICO

Que dicho trabajo de Integración Curricular ha sido revisado en todas sus partes y considero que reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación pública y evaluación por parte los Lectores que se designe.

Ambato, 14 de febrero de 2025.

María Ángel Barzallo Yaguache
1104893217

CERTIFICACIÓN

de lectura

El trabajo de Integración Curricular con el Tema: "PROPUESTA DE DISEÑO ACÚSTICO PARA EL CONFORT DE LA COMUNIDAD EDUCATIVA. CASO DE ESTUDIO: UNIVERSIDAD INDOAMÉRICA: CAMPUS AGRAMONTE", se ha recibido y leído, lo cual se certifica para dar continuidad al proceso de integración curricular.

Ambato, 7 de mayo de 2025

Lucía Cristina Pazmiño Viteri
1804364246

Mario Fabricio Amancha Proaño
1802042984

DEDICATORIA

Para mi yo del futuro:
Con todo el amor del
mundo,
-Beyas

Dedicada a mi yo del futuro, Beyas.

Si lograste terminar esta carrera, esta tesis con los instrumentos y oportunidades que tenías en este entonces, estoy seguro que no hay nada que no podamos lograr. Eres la mente más influyente de la década 2030 y nadie te puede quitar eso. Trabajé duro para llegar a este punto y tú más que nadie sabe que hay muy pocas personas que tenían fe en mi, tal vez en tu tiempo eso haya cambiado pero aún somos ese niño que solíamos ser. Nada duele ya, somos libres tu allá y yo aquí. Cuida mucho de la gente que tengas en tu tiempo porque yo me quedo aquí, inmortalizado en este trabajo que me ha sacado de quicio.

Que nunca te falte espíritu, ¡el espíritu conegial!

AGRADECIMIENTO

Gracias por siempre a la gente que me acompañó en este largo proceso, espero haber tocado sus corazones así como ustedes lo hicieron con el mío. *Gracias a mi tutora, María Ángel Barzallo por tenerme paciencia y guiarme en esta investigación.*

A Mamá,

A Papá,

A Mathias,

A Godar,

A Dios,

y como no, gracias Beyas <3.

RESUMEN

ejecutivo

La presente investigación aborda la problemática del deficiente confort acústico en los espacios educativos del Campus Agramonte de la Universidad Indoamérica, provocado por la ausencia de diseño acústico específico y la falta de normativas que regulen el comportamiento sonoro en entornos académicos. Esta carencia repercute negativamente en el proceso de aprendizaje, la concentración de los estudiantes y la inteligibilidad del habla en las aulas. El objetivo principal fue desarrollar una propuesta de diseño acústico arquitectónico que optimice las condiciones sonoras del campus, contribuyendo al bienestar de la comunidad educativa. Se partió de la hipótesis de que es posible mejorar la calidad del ambiente sonoro mediante estrategias de intervención basadas en principios acústicos, materiales adecuados y reorganización espacial. La metodología empleada fue de enfoque mixto, de tipo descriptivo y propositivo, e incluyó revisión bibliográfica, análisis normativo, levantamientos planimétricos, mediciones in situ con sonómetro y herramientas de diagnóstico como matrices de evaluación y cartografía social. Los resultados evidenciaron niveles altos de reverberación, pobre aislamiento acústico y deficiencias en la absorción sonora en aulas y espacios comunes. A partir de este diagnóstico, se propusieron soluciones como sistemas de doble mampostería con aislamiento, paneles acústicos, alfombrado técnico y vidrios dobles en zonas críticas. Se concluye que la aplicación de criterios acústicos desde el diseño arquitectónico mejora significativamente la calidad del entorno educativo, y que esta propuesta es técnica y económicamente viable, adaptable a otras instituciones con problemáticas similares. El trabajo aporta una base metodológica replicable para futuras investigaciones en diseño acústico dentro del ámbito educativo.

DESCRIPTORES: Acústica arquitectónica, Confort educativo, Diseño acústico, Infraestructura educativa

ABSTRACT

This research addresses the problem of deficient acoustic comfort in the educational spaces of the Agramonte Campus at Indoamérica University, caused by the lack of specific acoustic design and the absence of regulations governing sound behavior in academic environments. This deficiency negatively impacts the learning process, students' concentration, and speech intelligibility in classrooms. The main objective was to develop an architectural acoustic design proposal that improves the acoustic conditions of the campus, contributing to the well-being of the educational community. The hypothesis assumed that it is possible to enhance the sound quality through intervention strategies based on acoustic principles, proper materials, and spatial reorganization. The methodology employed was of a mixed approach, descriptive and projective in nature, including bibliographic review, normative analysis, planimetric surveys, on-site measurements with a sound level meter, and diagnostic tools such as evaluation matrices and social cartography. The results revealed high reverberation levels, poor acoustic insulation, and insufficient sound absorption in classrooms and shared areas. Based on this diagnosis, solutions were proposed such as double masonry systems with insulation, acoustic panels, technical carpeting, and double-glazed windows in critical zones. It is concluded that applying acoustic criteria from the architectural design stage significantly improves the quality of the educational environment, and that the proposed intervention is technically and economically feasible, adaptable to other institutions facing similar challenges. This work provides a replicable methodological framework for future research in acoustic design within the educational field.

KEYWORDS: Architectural Acoustics, Educational Comfort, Acoustic Design, Educational Infrastructure

ÍNDICE

de contenidos

INTRODUCCIÓN.....	24	Instrumento: Matriz de Evaluación.....	69
EL PROBLEMA.....	24	CAPÍTULO.....	71
ÁRBOL DE PROBLEMAS.....	25	Resultados Objetivo 1.....	71
CONTEXTUALIZACIÓN.....	25	Revisión Documental.....	71
MACRO (estado actual de las normativas en Ecuador).....	25	Teoría de la Reverberación.....	71
MESO (situación acústica en la infraestructura educativa).....	26	Teoría de la Absorción.....	73
MICRO (situación acústica en el caso de estudio).....	27	Teoría de Doppler.....	75
JUSTIFICACIÓN.....	28	Teoría de la Difracción.....	75
OBJETIVOS.....	29	Teoría Estadística del Sonido.....	76
OBJETIVO GENERAL.....	29	Teoría Geométrica.....	78
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	29	Teoría Ondulatoria.....	79
CAPÍTULO.....	24	Tabla de Teorías Fundamentales de la Acústica.....	82
CAPÍTULO.....	31	Procesamiento de los datos obtenidos.....	84
ESTADO DEL ARTE.....	31	Resultados Objetivo 2.....	88
MARCO TEÓRICO.....	42	Levantamiento Planimétrico.....	88
CATEGORÍAS FUNDAMENTALES.....	42	Cartografía Social: Diagrama de Flujo y Permanencia.....	95
VARIABLES DE INVESTIGACIÓN.....	45	Medición In Situ: Sonómetro.....	99
VARIABLE INDEPENDIENTE.....	45	Condiciones para la medición.....	100
VARIABLE DEPENDIENTE.....	45	Resultados de la Medición.....	106
FUNDAMENTO CONCEPTUAL.....	45	Procesamiento de los datos obtenidos.....	109
4.....		Resultados Objetivo 3.....	114
MARCO LEGAL.....	53	Matriz de Evaluación.....	115
NORMATIVAS DE CONSTRUCCIÓN.....	53	Conclusiones de la evaluación.....	115
NORMATIVAS Y ESTÁNDARES DE ACÚSTICA ARQUITECTÓNICA.....	56	Procesamiento de Datos.....	116
Impacto de la contaminación acústica en la salud.....	56	Estrategias a Utilizar.....	122
CAPÍTULO.....	59	1.....	
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	59	Sistema de doble mampostería con relleno de fibra de vidrio.....	122
LÍNEA Y SUBLÍNEA DE INVESTIGACIÓN.....	59	Axonometría.....	125
Enfoque de investigación.....	59	Propuesta.....	126
Nivel de investigación.....	60	Plano Arquitectónico.....	126
Tipo de investigación.....	60	2.....	
Técnicas e instrumentos.....	63	Vidrio cámara (doble vidrio hermético al vacío).....	127
Técnica: Análisis documental.....	63	Plano Arquitectónico.....	128
Instrumento: Tabla de Análisis de Referentes.....	63	Propuesta: Vidrio Cámara, doble vidrio hermético al vacío.....	128
Técnica: Medición in situ.....	65	Propuesta.....	129
Instrumento: Tabla de Medición (dBA).....	65	Plano Arquitectónico.....	129
Instrumento: Levantamiento Planimétrico.....	67	3.....	
Población y muestra.....	68	Relleno de tumbado con fibra de vidrio.....	130
PROCESAMIENTO DE DATOS.....	68	3.....	
Cartografía Social.....	68	Revestimiento de corcho perforado para mamposterías.....	131

ÍNDICE

de contenidos

4.....	
Difusores acústicos.....	133
Lugares de Implementación.....	135
En la tabla 14 se muestran las estrategias a utilizar en las diferentes tipologías de lugares a lo largo del campus Agramonte de la Universidad Indoamérica.....	135
Clasificación por Tipología de Lugares.....	135
CAPÍTULO.....	137
Desarrollo de la Propuesta.....	137
Cálculo de la Reverberación.....	137
Método de Cálculo de Sabine.....	138
Aulas.....	140
Aula A5 (AFF).....	140
Planos de Propuesta.....	142
Aula B2 (AI).....	145
Planos de Propuesta.....	146
Aula C6 (AFP).....	149
Planos de Propuesta.....	150
Biblioteca.....	153
Planos de Propuesta.....	155
Auditorio.....	158
Planos de Propuesta.....	160
Áreas de Circulación : Pasillo piso D.....	163
Planos de Propuesta.....	164
Oficinas Administrativas (Secretarías).....	169
Planos de Propuesta.....	171
Laboratorias (Odontología).....	174
La propuesta para los Laboratorios de Odontología se orienta a crear un entorno controlado y preciso para el desarrollo de actividades prácticas. Se aplican técnicas de absorción acústica con fibras de vidrio y revestimientos de corcho, que, respaldadas por planos, modelados 3D y cálculos de reverberación, aseguran un ambiente sonoro idóneo para la ejecución de simulaciones y prácticas especializadas.....	174
Planos de Propuesta.....	176
Resultados.....	179
Conclusiones.....	180
Recomendaciones.....	180

ÍNDICE

de figuras

Figura 01. Árbol de Problemas.....	25	vidrio.....	125
Figura 02. Diagramas de Cebolla. Caracterización de Variables.....	42	Figura 38. Doble Mampostería con relleno de fibra de vidrio y placa de metacrilato.....	126
Figura 03. Red conceptual Variable Independiente.....	43	Figura 39. Detalle Constructivo. Doble Vidrio Cámara al Vacío.....	128
Figura 04. Red conceptual Variable Dependiente.....	44	Figura 40. Sistema de Doble Vidrio con Cámara de Vacío.....	129
Figura 05. Metodología Aplicada.....	61	Figura 41. Relleno de Fibra de Vidrio bajo cielo raso.....	131
Figura 06. Esquema de Diseño Metodológico.....	62	Figura 42. Revestimiento de corcho perforado para mampostería.....	132
Figura 07. Planimetría Arquitectónica Universidad Indoamérica.....	67	Figura 43. Difusor Acústico.....	134
Figura 08. El fenómeno de la reverberación: El sonido directo llega primero a tiempo $t = 0$, los componentes reflejados llegan más tarde. 72		Figura 44. Solución Acústica Arquitectónica. Aula A5. Plano de Planta 142	
Figura 09. Onda sonora que choca con un obstáculo.....	74	Figura 45. Propuestas Acústicas en Conjunto. Aula A5. Plano de Corte 143	
Figura 10. Balance sonoro en el interior de un recinto.....	77	Figura 46. Propuestas Acústicas en Modelado 3D. Aula A5.....	144
Figura 11. Representación gráfica de los modos axiales, tangenciales y oblicuos.....	80	Figura 47. Solución Acústica Arquitectónica. Aula B2. Plano de Planta 146	
Figura 12. Línea de Tiempo. Aportes en Acústica Arquitectónica.....	87	Figura 48. Propuestas Acústicas en Conjunto. Aula B2. Plano de Corte 147	
Figura 13. Planimetría Arquitectónica. Subsuelo.....	89	Figura 49. Propuestas Acústicas en Modelado 3D. Aula B2.....	148
Figura 14. Planimetría Arquitectónica. Planta Baja.....	90	Figura 50. Solución Acústica Arquitectónica. Aula C6. Plano de Planta 150	
Figura 15. Planimetría Arquitectónica. Planta Alta 1.....	91	Figura 51. Propuestas Acústicas en Conjunto. Aula C6. Plano de Corte 151	
Figura 16. Planimetría Arquitectónica. Planta Alta 2.....	92	Figura 52. Propuestas Acústicas en Modelado 3D. Aula C6.....	152
Figura 17. Planimetría Arquitectónica. Planta Alta 2.....	93	Figura 53. Solución Acústica Arquitectónica. Biblioteca. Plano de Planta.....	155
Figura 18. Planimetría Arquitectónica. Planta Alta 4.....	94	Figura 54. Propuestas Acústicas en Conjunto. Biblioteca. Plano de Corte.....	156
Figura 19. Diagrama de Flujo y Permanencia. Punto 1: Biblioteca.....	96	Figura 55. Propuestas Acústicas en Modelado 3D. Biblioteca.....	157
Figura 20. Diagrama de Flujo y Permanencia. Punto 2: Aula A5.....	97	Figura 56. Solución Acústica Arquitectónica. Auditorio. Plano de Planta 160	
Figura 21. Diagrama de Flujo y Permanencia. Punto 2: Aula C5.....	98	Figura 57. Propuestas Acústicas en Conjunto. Auditorio. Plano de Corte 161	
Figura 22. Medición Punto 1.....	100	Figura 58. Propuestas Acústicas en Modelado 3D. Auditorio.....	162
Figura 23. Medición Punto 2.....	100	Figura 59. Solución Acústica Arquitectónica. Pasillo piso D. Plano de Planta.....	164
Figura 24. Medición Punto 2.....	101	Figura 60. Propuestas Acústicas en Conjunto. Pasillo de Circulación Piso D. Plano de Corte.....	166
Figura 25. Medición Punto 1.....	101	Figura 61. Propuestas Acústicas en Modelado 3D. Pasillo D.....	167
Figura 26. Medición Punto 3.....	102	Figura 62. Propuestas Acústicas en Modelado 3D. Pasillo D.....	168
Figura 27. Medición Punto 2.....	102	Figura 63. Solución Acústica Arquitectónica. Secretarías. Plano de Planta.....	171
Figura 28. Medición Punto 1.....	103		
Figura 29. Medición Punto 1.....	103		
Figura 30. Medición Punto 3.....	104		
Figura 31. Medición Punto 1.....	104		
Figura 32. Medición Punto 1.....	105		
Figura 33. Niveles de Ruido Semanales. Horario 10H00 - 11h00.....	110		
Figura 34. Niveles de Ruido Semanales. Horario 13H00 - 14h00.....	111		
Figura 35. Niveles de Ruido Semanales. Horario 18H00 - 19h00.....	112		
Figura 36. Organización de la Universidad Indoamérica Campus Agramonte.....	117		
Figura 37. Axonometría. Doble Mampostería con relleno de fibra de			

ÍNDICE

de figuras

Figura 64. Propuestas Acústicas en Conjunto. Secretarías. Plano de Corte.....	172
Figura 65. Propuestas Acústicas en Modelado 3D. Secretarías.....	173
Figura 66. Solución Acústica Arquitectónica. Laboratorios de Odontología. Plano de Planta.....	176
Figura 67. Propuestas Acústicas en Conjunto. Laboratorio de Odontología. Plano de Corte.....	177
Figura 68. Propuestas Acústicas en Modelado 3D. Laboratorios de Odontología.....	178

ÍNDICE

de tablas

Tabla O1. Resumen del Estado del Arte.....	40
Tabla O2. Límites Máximos Permisibles de Ruido.....	54
Tabla O3. Tabla de Teorías Acústicas Fundamentales.....	63
Tabla O4. Tabla de medición dBA.....	65
Tabla O5. Matriz de Evaluación.....	68
Tabla O6. Tabla de Teorías Acústicas Fundamentales.....	82
Tabla O7. Tabla de Medición dBA.....	104
Tabla O8. Tabla de Medición dBA. Lecturas Completas.....	105
Tabla O9. Rúbrica de Criterios de Evaluación.....	111
Tabla 10. Matriz de Evaluación de Teorías.....	112
Tabla 11. Estrategias Acústicas de Intervención.....	114
Tabla 12. Rúbrica de Evaluación para Estrategias.....	116
Tabla 13. Matriz de Evaluación para Estrategias Acústicas.....	118
Tabla 14. Lugares de Implementación de Estrategias.....	132
Tabla 15. Coeficientes de Absorción Acústica. (UDELAR, 2010).....	136

CAPÍTULO 1

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

La falta de normativas específicas para la regulación del sonido en edificaciones ha generado un vacío que dificulta la implementación consistente de soluciones acústicas adecuadas. Este vacío se ve exacerbado por un desinterés generalizado en la sociedad común hacia la importancia de la acústica en el diseño arquitectónico, resultado de un desconocimiento amplio sobre sus beneficios y su impacto en la calidad de vida. La carencia de espacios multifuncionales, especialmente en el ámbito educativo, con un diseño acústico óptimo en la ciudad refleja esta problemática, limitando la versatilidad y eficacia de los escenarios existentes para albergar diversos tipos de eventos. Además, la escasez de profesionales locales especializados en acústica y las

restricciones presupuestarias frecuentes en proyectos culturales y educativos agravan la situación, resultando en edificaciones que no satisfacen las necesidades acústicas de sus usuarios. Esta confluencia de factores no solo afecta la experiencia de los ciudadanos en espacios públicos y privados, sino que también obstaculiza el desarrollo cultural y educativo de Ambato, al no contar con infraestructuras adecuadas desde el punto de vista acústico para el florecimiento de diversas actividades artísticas, académicas y sociales.

EL PROBLEMA

Las limitadas normativas específicas y especialización técnica en el contexto del sitio de estudio han provocado la

carencia de un diseño acústico en este complejo universitario, situación que afecta negativamente la calidad del aprendizaje y el bienestar de la comunidad educativa, requiriendo el desarrollo de una propuesta de diseño adaptada al sitio de estudio, la Universidad Indoamérica: Campus Agramonte.

ÁRBOL DE PROBLEMAS

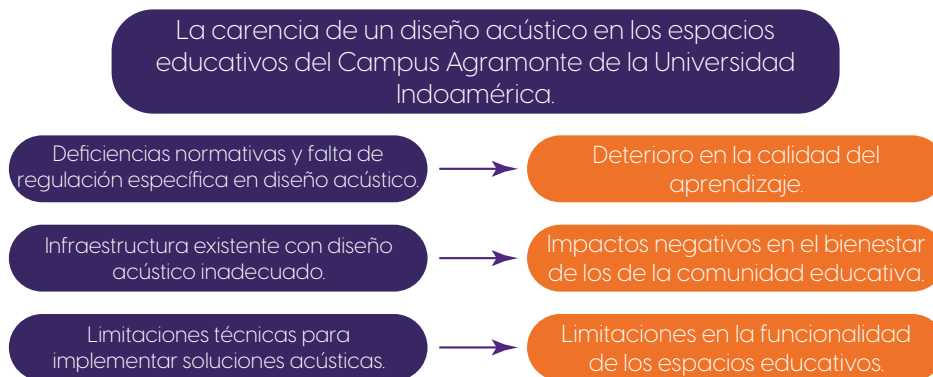


Figura O1. Árbol de Problemas

CONTEXUALIZACIÓN

MACRO (*estado actual de las normativas en Ecuador*)

En **Ecuador**, el diseño acústico en los espacios educativos se ha convertido en

una problemática persistente que afecta tanto al rendimiento académico como al bienestar de estudiantes y docentes. La falta de políticas públicas claras y normativas específicas que regulen los parámetros acústicos en el diseño arquitectónico

sigue siendo uno de los mayores retos para abordar este problema de manera efectiva. Adicionalmente, los altos niveles de contaminación acústica ambiental, causados principalmente por el tráfico vehicular, actividades comerciales, y la proximidad de zonas industriales, complican el control del ruido en entornos educativos.

La inversión en soluciones acústicas se considera con frecuencia un gasto secundario, lo que subestima su impacto en la calidad educativa. Como resultado, muchas instituciones presentan aulas con deficiencias como reverberación elevada, niveles de ruido superiores a los recomendados internacionalmente y falta de aislamiento acústico entre espacios. Este panorama es particularmente crítico en contextos vulnerables, donde el acceso a recursos y tecnologías adecuadas es limitado. La necesidad de propuestas adaptadas al contexto y orientadas al confort acústico es esencial para mejorar los entornos educativos, reducir el estrés asociado al ruido y favorecer un aprendizaje efectivo.

MESO (situación acústica en la infraestructura educativa)

En el campus tecnológico de la **Universidad Indoamérica**, ubicado en la ciudad de **Ambato**, específicamente en la parroquia Santa Rosa tiene problemáticas de diseño acústico, este es particularmente evidente debido a las características de su entorno y la configuración de sus espacios. El campus enfrenta desafíos significativos en cuanto a diseño acústico, derivados de la adaptación de un espacio originalmente concebido con un propósito industrial. Estas instalaciones, anteriormente parte de una fábrica textil, han sido transformadas en un galpón que ahora alberga los laboratorios técnicos destinados a diversas carreras universitarias.

El proceso de reutilización de este espacio plantea ventajas relacionadas con la sostenibilidad y el aprovechamiento de estructuras existentes; sin embargo, la transición de un espacio industrial a un entorno educativo y técnico no estuvo acompañada de un diseño adecuado para mitigar las condiciones acústicas adversas propias de su configuración original.

En términos arquitectónicos, los galpones industriales suelen ser espacios amplios, con techos altos y superficies predominantemente rígidas y lisas. Estas

características, que en su momento favorecían la funcionalidad operativa de una fábrica textil, generan en el contexto académico una acústica desfavorable. El sonido se refleja y rebota repetidamente entre las superficies, causando un nivel elevado de reverberación y eco. Este fenómeno no solo afecta la calidad del sonido percibido, sino que también compromete la concentración de los estudiantes y dificulta la comunicación efectiva entre docentes y alumnos.

La problemática se agrava al considerar que los laboratorios técnicos requieren condiciones acústicas óptimas para la realización de actividades especializadas. La claridad en las instrucciones y la precisión en las discusiones técnicas son esenciales en estos espacios. Sin embargo, el exceso de ruido y la dispersión acústica obstaculizan la creación de un entorno propicio para el aprendizaje y la práctica académica.

El caso del Campus Tecnológico de la Universidad Indoamérica no solo ilustra los retos inherentes a la reutilización de espacios industriales, sino que también subraya la necesidad de un diseño consciente y especializado al adaptar estructuras para nuevos usos.

MICRO (situación acústica en el caso de estudio)

El **Campus Agramonte de la Universidad Indoamérica**, una de las principales sedes académicas de esta institución, enfrenta desafíos acústicos que limitan la experiencia educativa en sus instalaciones. Si bien el diseño arquitectónico de este campus responde a la necesidad de funcionalidad y accesibilidad, no se ha contemplado la implementación de estrategias específicas para el control acústico, dejando en evidencia una oportunidad de mejora sustancial en este aspecto.

La ausencia de un diseño acústico planificado ha generado una infraestructura vulnerable tanto al ruido ambiental externo como a las interferencias internas. **El ruido** proveniente de fuentes **externas**, como el **tráfico**, las actividades urbanas circundantes y las **actividades de la Unidad Educativa Indoamérica** la cual es contigua al campus, permea el edificio, **afectando la concentración de los estudiantes de la universidad** y la efectividad de las clases. A este problema se suma el impacto del ruido generado dentro del mismo campus, como en los pasillos, donde el tránsito constante y las conversaciones entre estudiantes

interfieren en las actividades académicas que se desarrollan en las aulas adyacentes.

La transmisión de sonido entre los espacios por su frecuencia y constancia revelan la necesidad de intervenciones que optimicen la experiencia de aprendizaje. Esta problemática es especialmente relevante si se considera que las aulas de clase deben ser espacios donde la comunicación entre docente y estudiante sea clara, sin distracciones externas que comprometan la dinámica académica.

JUSTIFICACIÓN

La problemática abordada en este proyecto se enmarca dentro de la línea de investigación de **Diseño técnica y sostenibilidad (DITES)** y, específicamente, en **Estudio y producción del hábitat humano, análisis, innovación, planificación diseño y construcción**. Este tema es fundamental para garantizar los procesos de enseñanza y aprendizaje, especialmente en contextos urbanos como el de Ambato, donde el ruido ambiental y las deficiencias en el diseño acústico limitan el rendimiento académico. El proyecto es **pertinente** al buscar **resaltar la importancia de integrar soluciones acústicas** adaptadas

a nivel local, fomentando la creación de espacios educativos que sean funcionales, confortables y sostenibles.

La **relevancia** de la propuesta de diseño es que no solo contribuirá a la creación de espacios versátiles y de alta calidad, sino que también **optimizará las condiciones de confort para los actores de las dinámicas educativas de la Universidad Indoamérica**. La investigación abordará el análisis de teorías fundamentales de la acústica para posteriormente aplicarlas dentro de la propuesta, además incluirá el desarrollo de planimetrías del sitio de estudio para a través de ellas reconocer el impacto significativo que la calidad acústica tiene en la comunidad educativa, así como las dinámicas de circulación que tienen los usuarios del campus para así determinar soluciones para la problemática desde el diseño arquitectónico.

El enfoque y **acotación** del proyecto se centra en el diseño acústico de las **Universidad Indoamérica** como **sitio de estudio**, considerando factores como el ruido ambiental, la reverberación y la inteligibilidad del habla. Este trabajo implica desarrollar diagnósticos específicos de las condiciones acústicas actuales, generar

propuestas basadas en materiales y técnicas de construcción locales que garanticen la viabilidad técnica y económica, y promover la adaptabilidad al entorno urbano para buscar soluciones que puedan replicarse en contextos similares. Adicionalmente, el proyecto enfatiza el uso de herramientas digitales como el software de dibujo por computador 2D, hoja de cálculo para tabular y representar gráficamente los resultados obtenidos para calcular y validar científicamente las soluciones propuestas, buscando optimizar el ambiente sonoro de los espacios educativos.

La investigación sobre **diseño acústico** en el caso de estudio es **viable** fundamentalmente por cuatro aspectos clave: la existencia de **documentación** y **estudios previos sobre acústica** y diseño arquitectónico que servirán como base teórica sólida, además de instituciones educativas directamente involucradas en la problemática (*Universidad Indoamérica*), la disponibilidad de tecnologías accesibles como hardware de medición acústica que permitirán evaluar y proponer soluciones técnicas, y el acceso directo a las instituciones educativas, lo que facilitará significativamente el análisis del entorno y la implementación efectiva de las propuestas

de intervención.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Desarrollar una propuesta de diseño acústico para la Universidad Indoamérica, que optimicen la calidad sonora y la versatilidad de estos espacios, considerando el confort de la comunidad educativa.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Objetivo específico 1: Listar conceptualizaciones y teorías fundamentales de la acústica adaptables al caso de estudio, por medio de revisión bibliográfica.

Objetivo específico 2: Analizar las condiciones acústicas actuales y las principales problemáticas en el diseño acústico del sitio, mediante levantamiento planimétrico y medición in situ de la condición sonora.

Objetivo específico 3: Identificar las estrategias acústicas viables para el sitio de estudio mediante una matriz de evaluación.

CAPITULO 2

CAPÍTULO 2

ESTADO DEL ARTE

Para lograr un entendimiento más profundo y detallado del tema de investigación, se realiza un estudio minucioso de diversas fuentes académicas. Estas incluyen publicaciones académicas, trabajos de titulación de pregrado y posgrado publicados en los últimos cinco años. Se busca referencias de varios actores que exploren, desde una perspectiva general el tema acústico aplicada al diseño arquitectónico de escenarios polifuncionales, con el objetivo de encontrar ideas que orienten hacia posibles soluciones para la inclusión de edificaciones futuras.

En el artículo **“Condiciones acústicas en las instituciones educativas: una revisión de literatura”**, (Flérez & Rojas, 2022) realizan un exhaustivo análisis sobre cómo el diseño acústico impacta el aprendizaje y bienestar en entornos escolares, revisando estudios que examinan el efecto del ruido en espacios educativos y enfatizando que condiciones acústicas desfavorables pueden provocar estrés, fatiga auditiva y una disminución significativa en el rendimiento académico tanto de estudiantes como de docentes. La metodología del estudio compila investigaciones previas centradas en parámetros acústicos clave como el tiempo de reverberación, la inteligibilidad del habla y los niveles de ruido ambiental, explorando cómo diferentes soluciones (uso de materiales absorbentes y diseños arquitectónicos específicos) pueden mitigar los efectos negativos del ruido, además de evaluar normativas internacionales y su aplicabilidad en el contexto educativo latinoamericano. Los hallazgos principales revelan que niveles de ruido superiores a los recomendados dificultan la comunicación en el aula, que factores como ubicación geográfica, materiales de construcción y distribución espacial influyen decisivamente en la calidad acústica, y que existen propuestas de mejora como la zonificación acústica,

incorporación de materiales innovadores y adaptación de estándares internacionales a contextos locales. La contribución fundamental del artículo radica en resaltar la urgente necesidad de adoptar estrategias acústicas sostenibles en instituciones educativas, especialmente en regiones con alta contaminación sonora, proponiendo soluciones prácticas que equilibran confort sonoro con viabilidad económica y técnica en contextos de recursos limitados.

En el artículo **“Reconstrucción del entorno acústico virtual de la mezquita hipóstila de Córdoba”** publicado en la revista “Applied Acoustics” en el año 2019, realizado por Alonso, Suárez y Sendra, investigadores de la Universidad de Sevilla. El estudio se centra en la reconstrucción virtual del ambiente acústico de la sala hipóstila de la mezquita-catedral de Córdoba, considerando su evolución a lo largo del tiempo.

La investigación tiene como objetivo principal recrear el ambiente acústico de la sala hipóstila en diferentes períodos históricos, analizando los cambios arquitectónicos y funcionales que ha experimentado el edificio. Este enfoque no solo permite comprender las condiciones acústicas actuales, sino también estudiar cómo estas

han variado y se han adaptado a los distintos usos del espacio a lo largo de los siglos.

La metodología empleada combina técnicas avanzadas como el modelado tridimensional de la mezquita en diferentes épocas históricas, simulaciones acústicas mediante software especializado, y la generación de estudio aural que permiten escuchar las propiedades sonoras del espacio en cada período. Además, se realizaron mediciones acústicas in situ para validar los modelos virtuales y ajustar las simulaciones.

Los resultados obtenidos incluyen la identificación de la evolución acústica de la mezquita, revelando cómo los cambios en la arquitectura y los materiales han influido en la acústica del espacio. Se destaca la adaptabilidad acústica del edificio para diversas funciones, como la oración musulmana, la liturgia cristiana y el turismo moderno. Asimismo, el estudio resalta el papel fundamental que juegan la geometría de las columnas y arcos en la distribución del sonido, y cómo los materiales utilizados a lo largo del tiempo impactaron en la acústica del espacio.

Este estudio aporta un enfoque valioso para la investigación de espacios polifuncionales

modernos, al demostrar cómo la arquitectura histórica puede adaptarse acústicamente a diferentes usos. Las técnicas empleadas en este estudio, como el modelado 3D y la simulación acústica, pueden ser aplicables a investigaciones contemporáneas, ofreciendo un marco metodológico útil para evaluar la adaptabilidad acústica de espacios modernos. Sin embargo, la aplicación directa de estos resultados a contextos contemporáneos requerirá una cuidadosa adaptación al entorno local. (Suárez et al., 2018)

En el artículo **“Una mirada a los criterios de diseño acústico de la infraestructura educacional en Chile”**, publicado en la revista Ingeniería de Construcción en 2019 y realizado por Aguilar, se analizan los estándares acústicos aplicados a espacios educativos en Chile en comparación con normativas internacionales. El estudio identifica deficiencias en la regulación chilena, como la ausencia de criterios sobre el ruido ambiental interno, y destaca cómo las condiciones acústicas adversas pueden afectar negativamente el aprendizaje y el desarrollo cognitivo de los estudiantes. Se enfatiza la necesidad de establecer parámetros de diseño acústico más estrictos y adecuados al contexto local, considerando

la alta exposición al ruido ambiental en los entornos urbanos. (Aguilar, 2019)

En el artículo **“Cualidades acústicas en espacios educativos”**, basado en la tesis de (Pena, 2021) se realiza un estudio comparativo de espacios de la Universidad de las Américas Puebla. Se evaluaron las características acústicas de cinco áreas diferentes mediante experimentos auditivos y grabaciones en condiciones controladas. Los resultados resaltan cómo el tiempo de reverberación y los materiales de construcción afectan significativamente la claridad sonora y el confort acústico, proponiendo mejoras como el uso de materiales absorbentes y reflectivos. Este análisis subraya la importancia del diseño acústico en espacios educativos para garantizar la calidad de las actividades que allí se realizan.

En el estudio **“Niveles de presión sonora en las aulas de una universidad y sus efectos en alumnos y profesores”**, publicado por (Dias et al., 2019), se midieron los niveles de ruido en aulas de la Pontificia Universidad Católica de Minas Gerais, Brasil. Los resultados revelan que el ruido excede los límites recomendados, interfiriendo en

la enseñanza y el aprendizaje. Profesores y estudiantes percibieron el ruido como un factor disruptivo, asociado con problemas de salud como fatiga vocal y dificultad de concentración. Se recomienda implementar estrategias de mitigación de ruido en la planificación arquitectónica

En el artículo **“Diseño acústico basado en el rendimiento: una breve descripción de las oportunidades y límites en la práctica actual”**, publicado en la revista “Acoustics” en el año 2020, realizado por Badino, Shtrepi y Astolfi, investigadores del Departamento de Energía del Politécnico de Turín, Italia. El estudio ofrece una visión general crítica del diseño acústico basado en el rendimiento en la práctica arquitectónica actual.

La investigación tiene como objetivo principal examinar el estado del diseño acústico basado en el rendimiento, identificando las oportunidades y limitaciones que presenta en la arquitectura contemporánea. Los autores buscan proporcionar una perspectiva integral de cómo se aplica este enfoque en diferentes tipos de edificios, especialmente aquellos con usos polifuncionales.

La metodología empleada se basa en una revisión exhaustiva de la literatura existente y el análisis de casos de estudio. A través de este proceso, los investigadores definieron el concepto de diseño acústico basado en el rendimiento, identificaron los parámetros y métricas claves utilizados en este enfoque, y examinaron las herramientas y técnicas actuales empleadas en la práctica. Asimismo, evaluaron la implementación de este método en distintos tipos de edificios, destacando los desafíos y limitaciones encontrados.

Los resultados obtenidos revelan la evolución del diseño acústico, que ha pasado de un enfoque basado en el cumplimiento de estándares mínimos a una búsqueda de optimización acústica integral. Se identificaron parámetros acústicos críticos como el tiempo de reverberación, la claridad del habla y la distribución del sonido, cuya relevancia varía según el tipo de espacio. El estudio destaca el uso creciente de herramientas avanzadas como el software de simulación acústica y las técnicas de diseño aural. Además, los autores señalan que los espacios polifuncionales presentan desafíos específicos, lo que requiere soluciones acústicas flexibles y adaptables. También se enfatiza la importancia de la colaboración interdisciplinaria entre

arquitectos, ingenieros acústicos y otros profesionales involucrados.

Este estudio es altamente relevante para investigaciones en el diseño de espacios polifuncionales, ya que proporciona un marco conceptual sólido sobre el diseño acústico basado en el rendimiento, y aborda los desafíos específicos de espacios con usos múltiples. Además, identifica los parámetros acústicos clave que deben considerarse en el diseño de espacios versátiles y ofrece información útil sobre herramientas y técnicas de diseño acústico. (Badino et al., 2019)

En el artículo “Acoustical parameters for learning in classroom: A review”

Greta Minelli, Giuseppina Emma Puglisi y Arianna Astolfi llevan a cabo una revisión detallada de estudios publicados entre 2002 y 2020 para identificar parámetros acústicos clave que afectan el aprendizaje y la inteligibilidad del habla en aulas. Los autores destacan el impacto del tiempo de reverberación, la relación señal/ruido y el índice de transmisión del habla en la calidad de la comunicación y el rendimiento académico. La investigación enfatiza que condiciones acústicas deficientes dificultan la comprensión

del habla, especialmente en estudiantes más jóvenes, quienes son más sensibles a niveles elevados de ruido y reverberación.

Además, el artículo resalta la importancia de adaptar los diseños acústicos a las características específicas de los estudiantes, considerando factores como edad, tamaño del aula y tipo de actividad. Se proponen directrices para optimizar el ambiente acústico, como el uso de materiales absorbentes y una zonificación adecuada. Los hallazgos sugieren que un entorno acústico favorable no solo mejora el rendimiento académico, sino también el bienestar general en el aula, subrayando la necesidad de incorporar estándares acústicos en el diseño de espacios educativos. (Minelli et al., 2021).

En el artículo “Cómo la acústica del aula influye en estudiantes y profesores: una revisión sistemática de la literatura”

Mogas Recalde, Palau, & Márquez, presentan una revisión sistemática orientada a identificar los parámetros acústicos más relevantes presentes en las aulas y a analizar cómo estos influyen tanto en docentes como en estudiantes. La revisión se enfoca en clasificar dichos parámetros en dos grandes bloques:

aquellos relacionados con las propiedades físicas del sonido o ruido dentro del aula y aquellos que abordan las consecuencias directas e indirectas de la calidad acústica en las personas, destacando los efectos sobre el desempeño académico, la salud y el bienestar de los involucrados.

El estudio subraya cómo el avance en tecnologías y enfoques de diseño puede contribuir a mitigar los problemas acústicos en los entornos educativos. Aspectos como la implementación de dispositivos tecnológicos, materiales sostenibles y sistemas automatizados de control sonoro están en el centro de las propuestas para construir aulas más inteligentes. Estas aulas no solo buscan mejorar las condiciones acústicas, sino también promover un aprendizaje más eficiente y un entorno laboral más saludable para los docentes.

Entre los parámetros acústicos destacados se encuentran el nivel de ruido ambiental, el tiempo de reverberación, la transmisión del habla y la claridad de esta última, todos ellos considerados factores cruciales para la comunicación efectiva en el aula. Los autores profundizan en cómo estos aspectos afectan el bienestar y el rendimiento de estudiantes y docentes, enfatizando que condiciones

acústicas desfavorables pueden generar efectos negativos como estrés, fatiga auditiva, problemas de concentración y una disminución significativa en la comprensión del mensaje transmitido.

A pesar de las contribuciones del artículo, los autores enfatizan la necesidad de realizar investigaciones adicionales para abordar de manera integral los desafíos acústicos en entornos escolares. Recomiendan que futuros estudios exploren más a fondo las oportunidades que ofrecen las aulas inteligentes, integrando tecnologías avanzadas y diseños arquitectónicos innovadores. Asimismo, sugieren adaptar los estándares internacionales de calidad acústica a contextos educativos locales para garantizar su aplicabilidad.

Este artículo contribuye significativamente al entendimiento de la relación entre acústica y educación, destacando la importancia de adoptar estrategias acústicas sostenibles y avanzadas en el diseño de aulas. Las propuestas abogan por un equilibrio entre confort acústico, viabilidad económica y funcionalidad técnica, buscando beneficiar tanto a estudiantes como a docentes en contextos educativos

diversos. (Mogas Recalde et al., 2021)

En el artículo **“Students’ Perceptions of Acoustic Comfort in Traditional and Flexible Learning Environments: A Study in Chile”** (Ipinza-Olatte et al., 2023), se analizan las percepciones de confort acústico entre estudiantes de primaria en entornos de aprendizaje tradicionales (TLE) y flexibles (FLE) en Santiago de Chile. El estudio incluye encuestas a 315 estudiantes y 21 docentes de 13 escuelas, junto con inspecciones de las características físicas de los espacios educativos. El objetivo principal fue examinar cómo las condiciones acústicas afectan la percepción de ruido y las habilidades auditivas en distintos tipos de entornos educativos.

Los resultados revelan que el ruido es la principal fuente de incomodidad en ambos tipos de espacios, pero los estudiantes en TLE experimentaron mayor molestia relacionada con el ruido, mientras que aquellos en FLE reportaron problemas auditivos ligeramente mayores. Una relación significativa se identificó entre la densidad de ocupación (m^2 por estudiante) y la percepción de ruido,

sugiriendo que espacios con al menos $2,1 m^2$ por estudiante mejoran el confort acústico, mientras que densidades inferiores a $1,7 m^2$ por estudiante son problemáticas.

La metodología incluyó cuestionarios validados que evaluaron el confort acústico y la calidad ambiental interior (IEQ), midiendo factores como ruido externo, ruido entre estudiantes y habilidades auditivas en actividades grupales o silenciosas. Los hallazgos destacan que el ruido interno (particularmente las conversaciones de los compañeros) es el más molesto, aunque los FLE, a pesar de promover actividades más colaborativas, lograron mitigar parcialmente esta molestia gracias a un mayor espacio disponible por estudiante.

El artículo concluye que la falta de tratamiento acústico en los espacios encuestados, combinada con diseños adaptables para actividades pedagógicas variadas, plantea desafíos significativos para el confort acústico. Se recomienda implementar estrategias como el tratamiento acústico con materiales absorbentes y la optimización del diseño espacial, adaptando estándares internacionales para satisfacer las necesidades locales. Esta investigación subraya la importancia de

considerar el confort acústico en el diseño de espacios educativos, especialmente en entornos donde las prácticas pedagógicas modernas y las limitaciones estructurales coexisten. (Ipinza-Olatte et al., 2023)

En el artículo **“A Study on Indoor Noise Levels in a Set of School Buildings in Greece Utilizing an IoT Infrastructure”** (Mylonas et al., 2023), se aborda el monitoreo de los niveles de ruido en interiores de edificios escolares en Grecia mediante el uso de sensores IoT. El estudio forma parte del proyecto GAIA, orientado a promover la sostenibilidad y concienciar sobre la eficiencia energética en comunidades educativas a través del uso de tecnologías de Internet de las Cosas (IoT). La investigación analiza los datos de ruido capturados en 5 edificios escolares, destacando su impacto en la comodidad acústica y los riesgos para la salud de estudiantes y educadores.

El enfoque metodológico incluye la instalación de nodos IoT equipados con sensores de ruido en aulas de escuelas primarias y de nivel secundario. Los sensores recopilaban datos sobre niveles de ruido promedio cada cinco minutos,

proporcionando una visión detallada de las condiciones acústicas diarias. Los resultados revelaron que en varias aulas los niveles de ruido superan los 70 dBA durante más de una hora diaria, mientras que el umbral de 85 dBA, aunque se alcanza ocasionalmente, no se mantiene por períodos prolongados. Estos niveles de ruido exceden las recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud (OMS) para ambientes escolares, las cuales establecen un límite de 40 dBA para evitar efectos adversos en el rendimiento y la salud.

El artículo destaca que la variabilidad en los niveles de ruido depende de factores como la ubicación, el diseño de los edificios y la composición social de los usuarios. Además, subraya la importancia de combinar los datos de ruido interior con mediciones exteriores para evaluar la efectividad del aislamiento acústico. El estudio también sugiere que los sistemas IoT podrían servir para diseñar actividades educativas orientadas a sensibilizar a los estudiantes y docentes sobre los efectos del ruido, fomentando acciones hacia un ambiente escolar más saludable.

En sus conclusiones, los autores recomiendan la implementación de

soluciones de bajo costo basadas en IoT para el monitoreo continuo del ruido en las escuelas, facilitando estudios a largo plazo que relacionen el ruido con el desempeño académico y el bienestar físico y mental. Además, resaltan la necesidad de desarrollar estrategias locales de mitigación del ruido adaptadas a las características específicas de cada escuela y comunidad educativa. (Mylonas et al., 2023)

Tipo	Tema	Autor	Año	Aporte a la investigación
Artículo	Reconstrucción del entorno acústico virtual de la mezquita hipóstila de Córdoba.	Alonso, Suárez & Sendra	2019	Estudia la evolución acústica de la mezquita-catedral de Córdoba mediante modelado 3D y simulaciones acústicas, evaluando la adaptabilidad del espacio a diferentes usos.
Artículo	Criterios de diseño acústico de la infraestructura educacional en Chile.	Aguilar	2019	Analiza los estándares acústicos en escuelas chilenas en comparación con normativas internacionales, destacando deficiencias y la necesidad de mejorar los parámetros acústicos.
Artículo	Niveles de presión sonora en las aulas de una universidad y sus efectos en alumnos y profesores.	Dias et al.	2019	Mide los niveles de ruido en aulas universitarias en Brasil y su impacto en la enseñanza y la salud de profesores y estudiantes.
Artículo	Diseño acústico basado en el rendimiento: oportunidades y límites en la práctica actual.	Badino, Shtrepi & Astolfi	2020	Examina la evolución del diseño acústico en arquitectura, destacando herramientas avanzadas como simulaciones y diseño aural en espacios polifuncionales.
Artículo	Cualidades acústicas en espacios educativos.	Peña	2021	Evalúa acústicamente cinco áreas en la Universidad de las Américas Puebla, destacando la influencia del tiempo de reverberación y materiales en la claridad sonora.

Tipo	Tema	Autor	Año	Aporte a la investigación
Artículo	Acoustical parameters for learning in classroom: A review.	Minelli, Puglisi & Astolfi	2021	Revisión de estudios sobre los parámetros acústicos clave en aulas y su impacto en la inteligibilidad del habla y el rendimiento académico.
Artículo	Cómo la acústica del aula influye en estudiantes y profesores: una revisión sistemática.	Mogas Recalde, Palau & Márquez	2021	Clasifica parámetros acústicos en aulas y sus efectos en el rendimiento y bienestar de docentes y alumnos, proponiendo mejoras en diseño y tecnología.
Artículo	Condiciones acústicas en las instituciones educativas: una revisión de literatura.	Flérez & Rojas	2022	Analiza cómo el diseño acústico impacta el aprendizaje y bienestar en entornos escolares, revisando normativas y soluciones acústicas para mitigar el ruido en aulas.
Artículo	Students' Perceptions of Acoustic Comfort in Traditional and Flexible Learning Environments: A Study in Chile.	Ipinza-Olatte et al.	2023	Analiza la percepción del confort acústico en entornos de aprendizaje tradicionales y flexibles en Chile, evaluando la relación entre espacio disponible y ruido.
Artículo	A Study on Indoor Noise Levels in a Set of School Buildings in Greece Utilizing an IoT Infrastructure.	Mylonas et al.	2023	Monitorea niveles de ruido en escuelas griegas con sensores IoT, identificando la necesidad de estrategias de mitigación para mejorar el ambiente escolar.

Tabla OI. Resumen del Estado del Arte

MARCO TEÓRICO

CATEGORÍAS FUNDAMENTALES

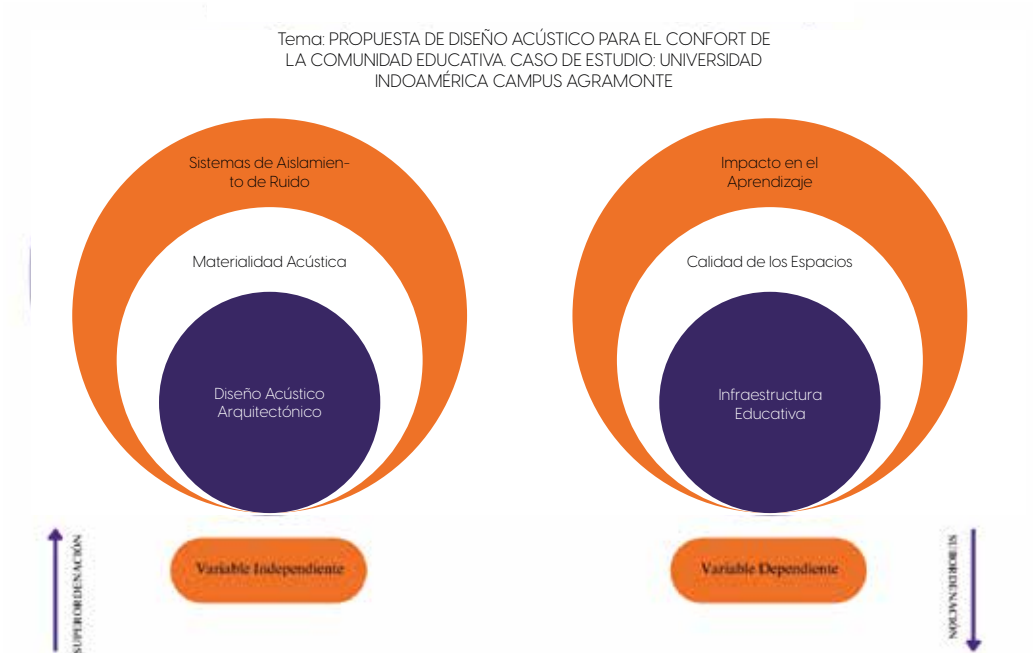


Figura O2. Diagramas de Cebolla. Caracterización de Variables

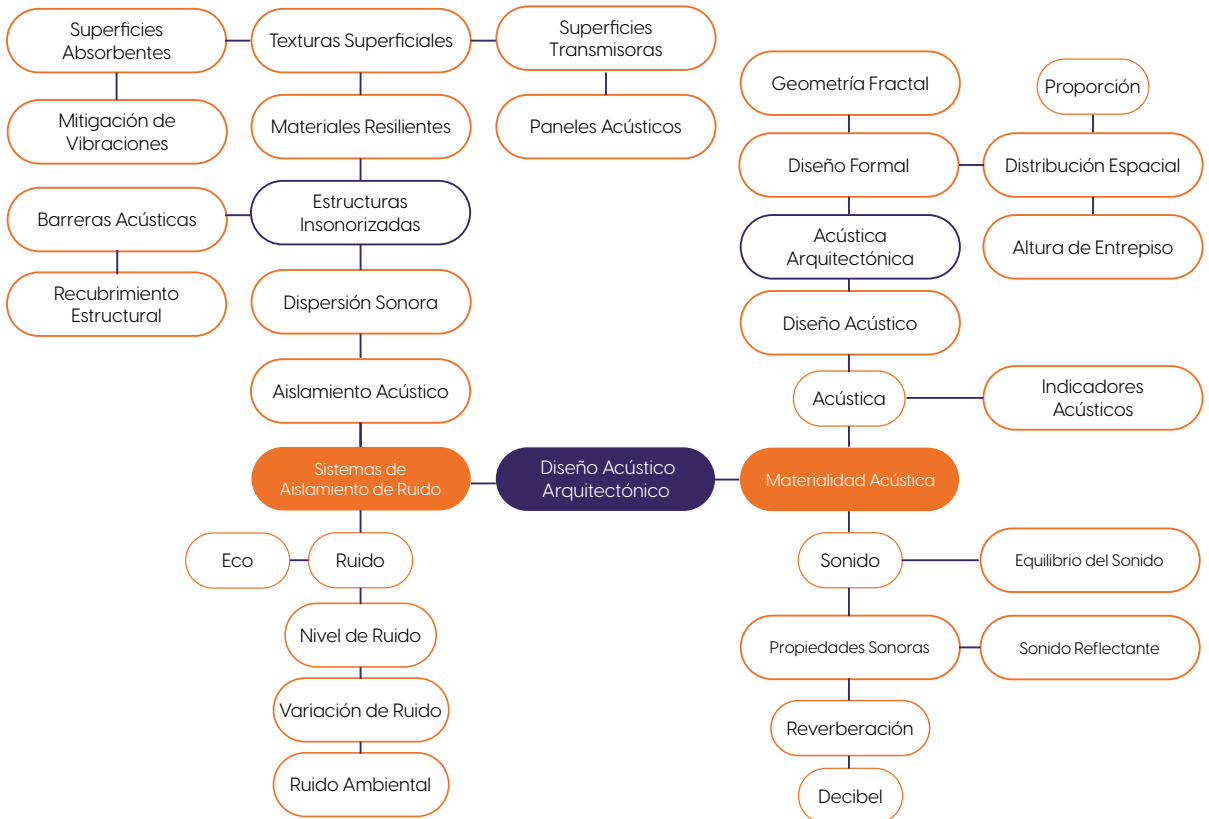


Figura O3. Red conceptual Variable Independiente

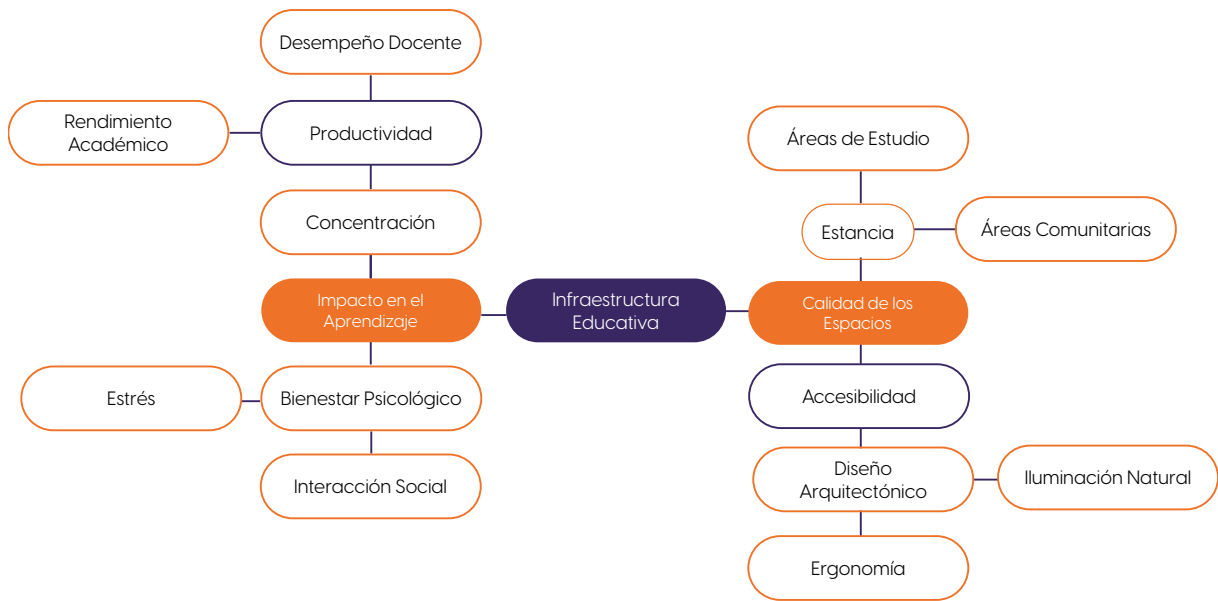


Figura O4. Red conceptual Variable Dependiente

VARIABLES DE INVESTIGACIÓN

VARIABLE INDEPENDIENTE:

Diseño acústico arquitectónico

- Materialidad Acústica
- Sistemas de aislamiento

VARIABLE DEPENDIENTE:

Infraestructura Educativa

- Calidad de los Espacios
- Impacto en el aprendizaje

FUNDAMENTO CONCEPTUAL

A continuación, expondremos varios conceptos clave en nuestro proyecto que nos ayudarán a comprender el tema de manera más profunda.

El **sonido** puede definirse como una vibración que se propaga a través de la materia en forma de ondas, siendo una alteración de la presión atmosférica producida por la oscilación de partículas.

Esta definición fundamental nos permite comprender la naturaleza física del fenómeno sonoro y su comportamiento en diferentes medios. También es clave mencionar a (Jaramillo, 2007) que nos dice que "El sonido es una pequeña alteración de la presión atmosférica producida por la oscilación de partículas, a través de las cuales se transmite longitudinalmente la onda sonora. Este fenómeno puede producir una sensación auditiva."

La palabra **Acústica** la podemos definir como la rama de la física que estudia el sonido. Es una ciencia natural "dedicada a entender los fenómenos de producción, transmisión, control y recepción del sonido, infrasonido y ultrasonido, así como sus efectos en el mundo real." (ETECÉ, s/f) y la acústica define al sonido como una vibración, o sea, la propagación mecánica de ondas a través de la materia, sea en estado sólido, líquido o gaseoso, y trata de describir este desplazamiento a través de fórmulas y principios matemáticos.

Así mismo, la acústica tiene muchas ramas y es necesario revisar a la **Acústica Arquitectónica** ya que como menciona (Vendrell et al., s/f) es la rama que trata del estudio de la protección contra los ruidos

y vibraciones que se deseen evitar en los recintos habitables, que se denomina, en general, Aislamiento Acústico.

El **aislamiento acústico** por otro lado, tiene un objeto principal que es proporcionar la máxima calidad acústica posible al mensaje sonoro emitido en una sala.

También es importante entender que el escenario en este caso, es un espacio destinado a actividades educativas, el cual ha evolucionado para facilitar la creación y comunicación de los valores presentes en cada comunidad hacia los estudiantes. Forma parte de un conjunto educacional que, en este caso, es una universidad.

Relacionando el concepto de escenario y el estudio de la acústica propiamente dicho tenemos como producto al diseño acústico, mismo que, en entornos educativos requiere una consideración especial debido a su impacto directo en el proceso de aprendizaje. Según el estudio de (Tobío, 1970), los principales factores a considerar son:

- Niveles de ruido de fondo
- Distribución sonora en el espacio
- Absorción y reflexión acústica

Aislamiento de ruidos externos

Asimismo, es esencial comprender algunos conceptos relacionados con la acústica, como el **decibel**, que se define como una medida de la presión en los niveles de intensidad sonora. La fuente fija, por otro lado, se refiere a un elemento que emite ruido o sonidos desde un inmueble hacia el exterior, ya sea a través del aire o del suelo (CIP, 2023).

El **ruido** puede entenderse de diversas maneras, entre ellas como cualquier tipo de sonido que resulta molesto o que no deseamos escuchar, afectando tanto la activación como la selectividad de nuestra atención. En contraste, el sonido se refiere a aquello que queremos oír (Castro-Martínez et al., 2016)

La exposición a niveles elevados de ruido constituye una forma significativa de **contaminación ambiental** que puede generar consecuencias severas en la salud auditiva de las personas, incluyendo deterioro auditivo permanente, lesiones acústicas traumáticas y acúfenos, además de poder desencadenar diversas alteraciones tanto psicológicas como fisiológicas en los individuos expuestos (Agenda Ambiental

Ambato, 2018).

Por otro lado, la **Distribución Espacial** que se refiere a la disposición y organización de los elementos dentro de un espacio, considerando sus relaciones funcionales, estéticas y estructurales. (Van Der Maas, 2011) la distribución espacial no solo responde a criterios funcionales, sino que también busca generar experiencias sensoriales y mejorar el flujo dentro de un entorno determinado. Este concepto es clave en la arquitectura, ya que influye en cómo los usuarios perciben y se desplazan por el espacio.

Igualmente, el **Diseño Formal** puede entenderse como “la configuración estética y estructural de un objeto o espacio, basada en principios compositivos como la proporción, el equilibrio y la armonía” (Guerri, 2001). En el ámbito arquitectónico, el diseño formal integra formas, volúmenes y texturas, buscando un lenguaje visual coherente que dialogue con el entorno y los usuarios.

La **proporción en el diseño** se define como la relación matemática o visual entre las dimensiones de los elementos dentro de un conjunto (Walter & Fornari, 2007). Es un principio fundamental que asegura equilibrio y armonía en la composición,

influyendo tanto en la funcionalidad como en la percepción estética de un espacio u objeto; este concepto está estrechamente relacionado con la **altura de entepiso**, que se refiere a la distancia vertical entre dos niveles consecutivos de un edificio, generalmente medida desde el suelo acabado de un piso hasta el suelo acabado del siguiente. Según esta medida afecta directamente factores como la ventilación, iluminación natural y percepción espacial de los ambientes interiores. (Caicedo, 2013)

Dispersión sonora, es “el fenómeno mediante el cual las ondas sonoras se distribuyen de manera uniforme en todas las direcciones al interactuar con obstáculos o materiales en el espacio” (Ferreyra & Ramos, 2007)

Dentro del ámbito del Diseño Acústico Arquitectónico encontramos la **geometría fractal**, que es una rama de la matemática que estudia formas complejas y semejantes, es decir, patrones que se repiten a diferentes escalas. Según (Mandelbrot, s/f), “los fractales describen estructuras irregulares en la naturaleza, como montañas, costas y nubes, aplicándose también en el diseño arquitectónico para crear formas innovadoras y orgánicas”. En el campo

también hablamos de **sonido reflectante**, es aquel que, al encontrarse con una superficie, regresa hacia su punto de origen o se propaga en una dirección específica sin ser absorbido. Este fenómeno es fundamental en la acústica, ya que determina aspectos como el eco, la reverberación y la claridad del sonido en un espacio (Jaramillo, 2007).

El **Eco**, se puede definir como un fenómeno físico de reflexión del sonido, "El eco es la repetición de un sonido original causada por la reflexión de las ondas sonoras en una superficie que las devuelve al oyente con un retardo perceptible" (F. Alton Everest, 2001).

La **Reverberación** ocurre cuando el sonido rebota múltiples veces en las superficies de un recinto cerrado. Según (Kuttruff, 2018) "La reverberación es el conjunto de reflexiones sonoras que permanecen en un espacio después de que la fuente original ha cesado, creando una persistencia acústica"

Al hablar de **Estructuras Insonorizadas**, se refiere a construcciones diseñadas para minimizar la transmisión de sonidos no deseados entre espacios. Según (Fuentes Fuentes, 2019), las estructuras insonorizadas emplean materiales y técnicas específicas para reducir la propagación de vibraciones

y ondas sonoras, creando ambientes acústicamente controlados. Dentro de las estructuras también se pueden encontrar Barreras Acústicas, estas son elementos físicos diseñados para bloquear o desviar las ondas sonoras, reduciendo el impacto del ruido en áreas específicas. (Pfreutzschner et al., 2001) mencionan que "estas estructuras se utilizan comúnmente en carreteras, áreas urbanas y entornos industriales, ofreciendo una solución efectiva para mitigar la contaminación sonora."

La **mitigación de vibraciones** se refiere al conjunto de técnicas y medidas destinadas a reducir o controlar las vibraciones generadas por maquinaria, tránsito u otras fuentes. Según (Castaño Lerma, 2015) esto incluye el uso de aislantes, amortiguadores y diseños estructurales que minimicen el impacto de las vibraciones en edificios y espacios habitados.

Los **Materiales Resilientes** o resiliencia de materiales es la capacidad de un material para absorber energía bajo deformación y regresar a su forma original una vez cesada la fuerza aplicada. (Cely, 2015) explican que "en el diseño arquitectónico, este concepto es crucial para seleccionar materiales que ofrezcan durabilidad y

adaptabilidad en condiciones extremas". El recubrimiento estructural es la aplicación de capas de material sobre una estructura para protegerla, mejorar su durabilidad o añadir características funcionales. (Herrera, 2017) mencionan que "en el diseño acústico, los recubrimientos también cumplen un rol crucial al influir en la absorción, transmisión o reflexión del sonido."

En cuanto a materiales, es importante revisar las **Texturas Superficiales**, concepto que refiere a las características físicas de las superficies que influyen en su interacción con la luz, el sonido y otros elementos del entorno. (Albrecht Arquer, 1997), "las texturas superficiales pueden ser rugosas, lisas o mixtas, y desempeñan un papel clave en el diseño arquitectónico, afectando tanto la estética como la funcionalidad de los espacios.". Un ejemplo de estas texturas son los **paneles acústicos**, estos son elementos diseñados específicamente para mejorar la calidad sonora en un espacio mediante la absorción, reflexión o difusión del sonido. (Narvárez Reyes & Villavicencio Berrú, 2022) los definen como "materiales que, al instalarse en paredes o techos, controlan la reverberación y el eco, optimizando el confort acústico en interiores." Asimismo, es imperativo describir a los tipos de

superficies, las **Superficies Absorbentes** son superficies diseñadas para capturar y disipar las ondas sonoras, reduciendo la reverberación y el eco en un espacio. Según (Möser & Barros, 2009) estas superficies están compuestas de materiales porosos o fibrosos que transforman la energía sonora en calor, mejorando el confort acústico, y las **superficies transmisoras** permiten el paso de las ondas sonoras a través de ellas, ya sea parcialmente o en su totalidad. Para este tema, (Jaramillo, 2007) explica que el grado de transmisión depende del material y su espesor, siendo un factor crítico en el aislamiento y la propagación del sonido en los espacios.

Las **propiedades sonoras** hacen referencia a las características físicas del sonido, como la frecuencia, amplitud, velocidad y dirección, que determinan su comportamiento en diferentes medios. Según Hernández (2021), "estas propiedades influyen directamente en la percepción del sonido, así como en su manipulación para fines arquitectónicos y acústicos." Una de las propiedades es el **Equilibrio del Sonido**, este refiere a la distribución uniforme de las frecuencias sonoras dentro de un espacio, logrando una percepción auditiva clara y agradable. Según López (2022), "este

concepto es fundamental en el diseño acústico, ya que busca evitar áreas con ecos, sonidos excesivamente fuertes o desbalanceados.”

El **nivel de ruido** se define como “la intensidad del sonido, medida generalmente en decibeles (dB), que puede afectar tanto el confort como la funcionalidad de los espacios” (Pérez & Ramírez, 2021). Este concepto es esencial en la acústica para evaluar y controlar el impacto del ruido en diversos entornos. La **variación de ruido** se refiere a los cambios en la intensidad y frecuencia del sonido en un periodo de tiempo. Según López y Fernández (2020), “este fenómeno puede ser causado por fluctuaciones en las fuentes sonoras, la distancia o la interacción del sonido con las superficies del entorno.”

En estas variaciones podemos derivar el concepto de **ruido ambiental** se entiende como “la suma de todos los sonidos no deseados presentes en un espacio exterior o interior, provenientes de diversas fuentes como el tráfico, la industria o actividades humanas” (Martínez, 2019). Es una forma de contaminación que afecta tanto el bienestar como la calidad de vida.

Indicadores Acústicos se refiere métricas utilizadas para evaluar y analizar la calidad sonora en un entorno. Según Gómez y Herrera (2021), “los indicadores acústicos incluyen parámetros como el tiempo de reverberación, el nivel de presión sonora y la inteligibilidad del habla, proporcionando datos esenciales para el diseño acústico.” Y referente a la calidad sonora propiamente dicha está el sonido saturado, este ocurre cuando un espacio recibe una cantidad excesiva de ondas sonoras, dificultando la percepción clara de los sonidos. Pérez y Gómez (2018) explican que “esta condición puede ser causada por una mala distribución sonora o una excesiva densidad de fuentes sonoras.”

El **diseño acústico** en espacios educativos se apoya en diversos estudios que destacan la importancia de aspectos técnicos y específicos para lograr ambientes óptimos para el aprendizaje. (Mora Raya, 2019) subraya que la efectividad acústica de un espacio depende de factores fundamentales, como la geometría del entorno, la selección de materiales, las técnicas de acondicionamiento empleadas y el uso planificado del espacio. Estos elementos determinan cómo el sonido interactúa en el lugar, afectando directamente la

calidad acústica y, por ende, la experiencia educativa.

La **accesibilidad**, para (Luque-Parra et al., 2005) se define como el diseño de productos, entornos y servicios que sean accesibles para todas las personas, sin importar sus habilidades físicas, sensoriales o cognitivas. Este concepto es fundamental para garantizar la inclusión social y la igualdad de oportunidades. Según (Alonso, 2007), la accesibilidad no solo favorece a las personas con discapacidad, sino que también optimiza la experiencia de uso para todos, abarcando desde el diseño arquitectónico hasta las soluciones digitales. Un ejemplo clave es la Norma (UNE 170001-2:2007 Accesibilidad universal. Parte 2: Sistema de..., s/f), que establece criterios técnicos para la accesibilidad en edificios.

Las **áreas comunitarias** son espacios públicos o semipúblicos diseñados para fomentar la interacción social y actividades colectivas. Según (Project for Public Spaces, 2024), "las áreas comunitarias exitosas integran diseño inclusivo, seguridad y multifuncionalidad, como plazas, parques y centros culturales". (Gehl, 2010) destaca que "la vitalidad urbana depende de espacios que inviten a permanecer, conversar y

participar". Ejemplos incluyen bibliotecas públicas y centros de reunión vecinal.

Por otro lado, las **áreas de estudio** están diseñadas para facilitar el aprendizaje individual o grupal, priorizando la concentración y el confort. Según un estudio (Gonzalez et al., 2023), la disposición flexible y la reducción de ruido son claves para optimizar estas áreas.

El **bienestar psicológico** es un estado de equilibrio emocional y satisfacción vital. La (OMS, 2022) lo define como la capacidad de gestionar estrés, trabajar productivamente y contribuir a la comunidad. Según, (Vielma Ranger & Alonso, 2010) es un estado en el que una persona experimenta un equilibrio emocional, satisfacción con la vida y un sentido de propósito. No se trata solo de la ausencia de problemas mentales, sino de la capacidad de afrontar los desafíos, mantener relaciones saludables y sentirse realizado en diferentes aspectos de la vida.

La **concentración** es la capacidad de mantener la atención en una tarea específica, minimizando distracciones. (García-Mendoza & Corral-Joza, 2021) revelaron que la multitarea reduce la productividad en un 40% y que los espacios con luz natural

y mínima contaminación sonora mejoran la capacidad de concentración. Técnicas como el Pomodoro (La técnica Pomodoro® - Francesco Cirillo | PlanetadeLibros, s/f) son ampliamente utilizadas.

El **desempeño docente** se refiere a la eficacia pedagógica medida por la capacidad de facilitar aprendizaje significativo. (Hattie, 2018) identificó factores clave como la retroalimentación formativa y la claridad educativa.

El **diseño arquitectónico** es el proceso de planificación, conceptualización y materialización de espacios habitables y funcionales que responden a necesidades humanas, técnicas y estéticas. Involucra la organización de volúmenes, estructuras, materiales, iluminación y ventilación, considerando aspectos funcionales, ambientales y culturales. (Beltrán, 2011)

La **ergonomía** es la ciencia que adapta los entornos y objetos a las necesidades humanas. La (ISO 26800, 2011) la define como "optimización del bienestar y rendimiento mediante el diseño". La Asociación Internacional de Ergonomía (What Is Ergonomics (HFE)?, s/f) distingue tres áreas: física, cognitiva y organizacional.

Ejemplos incluyen sillas ajustables y pantallas antirreflejo.

La **estancia** hace referencia al tiempo que un usuario permanece en un espacio, influido por confort y funcionalidad. (Rodero & Cárdenas, 2017) vinculan la estancia a la "teoría del lugar", donde factores como temperatura y diseño afectan la percepción. Un estudio del (Yang et al., 2017) demostró que espacios con vegetación incrementan la estancia en un 35%.

El **estrés** es una respuesta fisiológica a desafíos externos, con efectos positivos (eustrés) o negativos (distrés). La (APA, 2022) lo define una respuesta natural a las exigencias diarias, pero puede volverse perjudicial si interfiere con el funcionamiento habitual. Afecta diversos sistemas del cuerpo, influyendo tanto en las emociones como en el comportamiento de las personas, se recomienda técnicas como meditación y diseño de espacios tranquilos para su gestión.

La **iluminación natural** implica el uso de luz solar para iluminar espacios, reduciendo consumo energético y mejorando salud visual. En el artículo "Iluminación Natural" de (Lechner, 2008) establece que es la luz

proveniente del sol que se aprovecha en los espacios interiores a través de elementos arquitectónicos como ventanas, tragaluces, claraboyas y fachadas traslúcidas. Su propósito es mejorar la visibilidad, el confort visual y el bienestar de los ocupantes, reduciendo el consumo de energía eléctrica y favoreciendo condiciones saludables.

La **interacción social** es el intercambio comunicativo que construye relaciones y cultura. Para (Marc & Picard, 1992) es el proceso mediante el cual las personas se comunican, intercambian ideas, emociones y acciones dentro de un contexto social. Se da a través de gestos, palabras, normas y comportamientos que estructuran las relaciones humanas.

La **productividad** es la eficiencia en la realización de tareas, medida por resultados vs. recursos. Según (J. L. Herrera, 2012) "la productividad es la habilidad para producir cualquier objeto por medio de energía". La (Gestión de la seguridad: un lugar de trabajo seguro es un buen negocio | Administración de Seguridad y Salud Ocupacional, s/f) recomienda ergonomía y ventilación adecuada para optimizarla.

Rendimiento académico se refiere al nivel

de logro o desempeño de un estudiante en sus actividades educativas, medido a través de evaluaciones, calificaciones, participación y cumplimiento de objetivos de aprendizaje. Refleja el grado en que un estudiante ha adquirido conocimientos, habilidades y competencias en una determinada área de estudio. (García, 2018).

4. MARCO LEGAL

NORMATIVAS DE CONSTRUCCIÓN

De acuerdo con la Cámara de Industrias y Producción del Ecuador (CIP), para evaluar una fuente fija de emisión de ruido se deben llevar a cabo los siguientes pasos:

- Identificación de los puntos de muestreo.
- Realización de mediciones en el campo.
- Procesamiento de los datos obtenidos en las mediciones.
- Elaboración de un informe sobre los resultados de la medición.

Según la Cámara de Industrias y Producción del Ecuador (CIP, 2023), en

zonas rurales, los niveles de presión sonora provenientes de una fuente fija, medidos desde la posición del receptor, no deben superar en más de 10 dB el nivel de ruido ambiente. Las fuentes fijas deben cumplir con las normativas sobre límites máximos de presión sonora, según la ubicación del receptor. Es esencial respetar las normas y los usos que promuevan la convivencia, evitando generar molestias a los vecinos para que puedan descansar o desempeñarse en sus actividades sin problemas (CIP, 2023).

Además, la CIP señala que la Entidad Ambiental de Control (EAC) es una organización encargada de exigir e inspeccionar, antes de cualquier construcción, el impacto sonoro que esta podría causar en la sociedad (CIP, 2023).

Límites máximos permisibles del ruido Los niveles sonoros expresados en decibeles en ponderación con escala A, no podrán exceder los valores que se establecen en la tabla 1. (CIP, 2023)

TIPO DE ZONA SEGÚN USO DEL SUELO	LÍMITES DE PRESIÓN SONORA	
	EQUIVALENTE NPS eq dB	
	De 06H00 a 20H00	De 20H00 a 06H00
Zona Hospitalaria y educativa	55	45
Zona residencial	60	50
Zona residencial mixta	65	55
Zona Comercial	65	55
Zona Comercial Mixta	70	60
Zona Industrial	75	65
Zona de Preservación de hábitat	60	50

Tabla O2. Límites Máximos Permisibles de Ruido

Obtenido de (CIP, 2023)

NORMATIVAS Y ESTÁNDARES DE ACÚSTICA ARQUITECTÓNICA

Las normativas y estándares establecidos por organizaciones nacionales e internacionales ofrecen pautas claras para el diseño de edificaciones. Comprender y aplicar estas normativas es esencial para garantizar que el centro de desarrollo social cumpla con los requisitos legales y proporcione un entorno acústico adecuado.

En relación al aislamiento acústico, la norma ISO 717-2, recogida en la normativa española, se enfoca en la acústica y en la evaluación del aislamiento acústico en edificios y elementos de construcción. Este documento:

- Define magnitudes globales para el aislamiento contra ruido de impactos en edificios y suelos.

- Proporciona reglas para determinar estas magnitudes a partir de resultados de mediciones en bandas de tercio de octava, de acuerdo con las normativas.

- Establece magnitudes globales para la reducción del ruido de impactos en cubiertas de suelos y suelos flotantes, basándose en los resultados de mediciones.

- Especifica un procedimiento para evaluar la reducción ponderada del nivel de presión acústica de impactos mediante revestimientos de suelo sobre suelos ligeros.

Estas magnitudes globales tienen como finalidad clasificar el aislamiento acústico y facilitar la formulación de requisitos acústicos en los códigos de edificación (UNE-EN, 2021).

Impacto de la contaminación acústica en la salud

Diversos estudios han demostrado que la exposición constante al ruido puede generar estrés, interferir con la concentración y afectar la calidad del sueño. Por ello, es fundamental implementar estrategias de gestión acústica para disminuir el ruido no deseado y crear un ambiente tranquilo y confortable en el centro de desarrollo social.

La investigación también ha revelado que el ruido es un problema que puede causar efectos diversos en las personas, afectando la audición, provocando estrés, perjudicando la calidad del sueño, dificultando la comunicación oral y afectando la salud mental. La Asociación Médica Mundial (WMA - The World Medical Association-Declaración de la AMM sobre

la Contaminación Acústica, s/f) ofrece una serie de recomendaciones para abordar la contaminación acústica, entre las cuales destacan:

- Informar a las personas sobre los problemas que puede causar la contaminación acústica.
- Convocar a transportistas y planificadores para reducir los niveles de ruido ambiental.
- Apoyar las normativas orientadas a prevenir la contaminación acústica.
- Subrayar la importancia de protegerse del ruido para cuidar la salud.

Por su parte, la Norma Ecuatoriana de Construcción (NEC) en el apartado de climatización (CL) enfatiza que, para lograr el confort, es necesario asegurar una buena calidad en el ambiente acústico, limitando el riesgo de molestias o enfermedades causadas por el ruido o las vibraciones de una instalación (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2020).

CAPITULO 3

CAPÍTULO 3

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

LÍNEA Y SUBLÍNEA DE INVESTIGACIÓN

La investigación se enmarca dentro de la línea de investigación: Diseño técnica y sostenibilidad (DITES), la cual aborda la integración de soluciones innovadoras y sostenibles en el diseño arquitectónico y urbano, promoviendo el equilibrio entre funcionalidad, confort y respeto por el entorno. Desde esta perspectiva, se prioriza el uso eficiente de recursos, tecnologías avanzadas y metodologías adaptadas al contexto local.

Con la sublínea de investigación:

Estudio y producción del hábitat humano, análisis, innovación, planificación diseño y construcción, esta investigación profundiza en la creación de entornos habitables que respondan a las necesidades de los usuarios, considerando factores como el confort acústico, la sostenibilidad y la interacción con el entorno construido. En este marco, el estudio del diseño acústico en espacios educativos se convierte en un componente esencial para garantizar la calidad del aprendizaje y el bienestar de las comunidades académicas, como el caso específico del Campus Agramonte de la Universidad Indoamérica

Enfoque de investigación

De acuerdo con (Hernández Sampieri et al., 2014), la investigación cualitativa se caracteriza por explorar fenómenos en su entorno natural, permitiendo comprender las percepciones, experiencias y dinámicas de los participantes dentro de un contexto específico. Y el enfoque cuantitativo representa una metodología rigurosa y sistemática para la investigación científica. Este método se caracteriza por seguir una secuencia lógica y probatoria donde cada

paso está cuidadosamente conectado con el siguiente, formando una cadena metodológica coherente y estructurada, se caracteriza por la medición sistemática de las variables para analizarlas estadísticamente.

Porello, la presente investigación adoptará un enfoque mixto ya que por una parte está centrada en las cualidades espaciales del Campus Agramonte de la Universidad Indoamérica. Y por otro lado se enfoca en los datos recopilados a través de técnicas como levantamiento planimétrico y medición in situ que buscará evaluar cómo las condiciones acústicas influyen en el confort de los usuarios y en el desempeño educativo. Este enfoque permitirá capturar las interacciones y necesidades específicas de la comunidad académica, proporcionando una base sólida para el desarrollo de propuestas de diseño acústico adaptadas al contexto local.

Nivel de investigación

El nivel de investigación es exploratorio y descriptivo (OJO revisar no me acuerdo los niveles). Inicialmente se realizará una revisión

de estudios, conceptos y teorías fundamentales sobre diseño acústico.

Posteriormente, se hará un diagnóstico de las condiciones acústicas actuales en el sitio de estudio (Universidad Indoamérica: Campus Agramonte), a través de mediciones con sonómetro, observación directa y levantamiento planimétrico. Finalmente, se desarrollará una propuesta de diseño acústico para el caso de estudio al contexto local, validados mediante el análisis de resultados.

Tipo de investigación

La investigación tendrá un enfoque mixto, combinando técnicas documentales y de campo:

- Documental: Revisión de estudios, normativas y estándares acústicos aplicables; desarrollo de la propuesta de diseño acústico.

La modalidad investigativa documental consiste en examinar y estudiar fuentes escritas en diversas formas, como investigaciones previas, documentos impresos y digitales, entre otros. Según (Morales, 2003) en este enfoque, el investigador recopila, analiza y sintetiza información relevante para su estudio a partir de fuentes documentales

ya disponibles, lo que implica un proceso organizado de recolección, indagación, análisis, estructuración e interpretación de datos.

De campo: Mediciones in situ de niveles de ruido, evaluación de la distribución del sonido, identificación de factores externos que afectan la acústica, análisis de las características constructivas; consulta a expertos para validación de estrategias.

La investigación de campo, también conocida como investigación directa, se lleva a cabo en el lugar y momento en que ocurren los fenómenos que se desean analizar. Por su parte, la investigación mixta combina características tanto de la investigación documental como de la de campo. (Tevni, 2000).

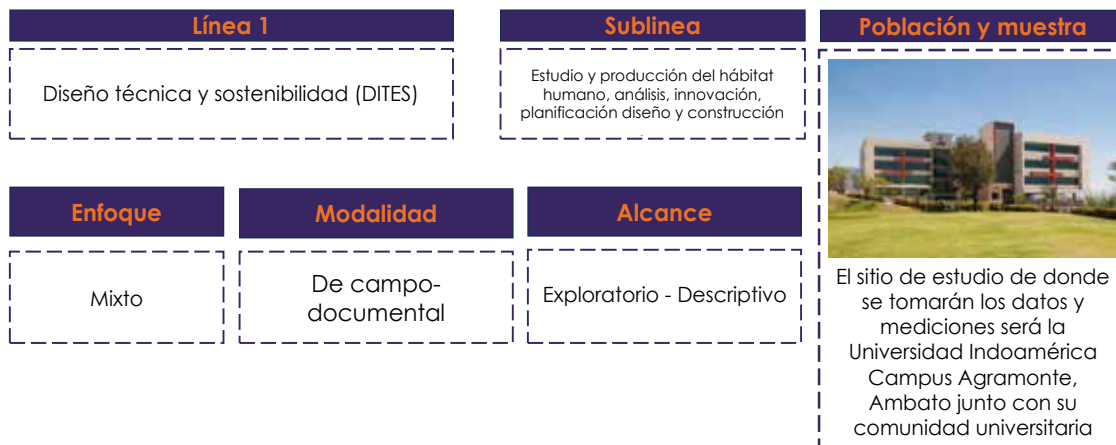


Figura O5. Metodología Aplicada



Figura O6. Esquema de Diseño Metodológico

Técnicas e instrumentos

Técnica: Análisis documental

Según (Useche et al., 2019) en su significado práctico y operativo, ofrece una amplia variedad de métodos, técnicas y procedimientos para emprender cualquier búsqueda de conocimientos. En este sentido, existen métodos generales y particulares de indagación. Estos últimos, es decir, los métodos de investigación particulares, responden de manera específica a un paradigma y a determinadas disciplinas científicas. Es así como las ciencias naturales y exactas se caracterizan por el uso de métodos cuantitativos, mientras que en las ciencias sociales se presenta un debate paradigmático entre los métodos cualitativos y los cuantitativos. Ahora bien, independientemente del paradigma asumido, cada método de investigación posee sus instrumentos específicos para la obtención de datos. Tales instrumentos requieren un diseño y construcción rigurosos, de manera que garanticen la validez y confiabilidad de los resultados. De este aspecto concreto trata la obra de María Cristina Useche, Wileidys Artigas, Beatriz Queipo y Édison Perozo, la cual tiene como virtudes la vigencia, precisión y pertinencia.

En este sentido, el texto contribuye a satisfacer una necesidad, concretamente en un tópico tan específico como lo son las técnicas e instrumentos de recolección de datos.

En el contexto de este análisis, la revisión documental será utilizada para identificar conceptos y teorías acústicas de referentes en la materia aplicables al contexto de Ecuador y América Latina. A través de esta técnica, se recopilarán datos clave que permitan destacar las cualidades de las estrategias acústicas empleadas en casos exitosos e indexarlas por su aplicabilidad al caso de estudio.

La información obtenida de la revisión de documentos, como artículos especializados en arquitectura, publicaciones académicas y registros en libros, proporcionará una base sólida de datos esenciales. Esto contribuirá a comprender qué elementos y enfoques son más útiles para abordar las necesidades acústicas del espacio en análisis, ofreciendo lineamientos para su adaptación al contexto particular del proyecto.

Instrumento: Tabla de Análisis de Referentes

Esta tabla de análisis de referentes organiza la información recopilada de diversas fuentes relacionadas con conceptos y teorías acústicas aplicadas a entornos educativos y arquitectónicos. Se utiliza como un instrumento para documentar y analizar datos relevantes, permitiendo identificar elementos clave para el diseño acústico en contextos específicos.

Es importante destacar que esta herramienta no se emplea para realizar

mediciones directas, sino para facilitar la sistematización y comparación de datos provenientes de diferentes referencias. El análisis incluye referencias relacionadas con metodologías, enfoques, limitaciones y su aplicabilidad a casos de estudio como el Campus Agramonte, proporcionando un marco conceptual para adaptar las soluciones acústicas al contexto ecuatoriano y latinoamericano.

Tabla de Teorías Acústicas Fundamentales

Teoría	Autor(es)	Año	Fuente	Tema Principal	Aportes Relevantes	Metodología o Enfoque	Aplicabilidad al Caso de Estudio	Limitaciones Identificadas
--------	-----------	-----	--------	----------------	--------------------	-----------------------	----------------------------------	----------------------------

Tabla O3. Tabla de Teorías Acústicas Fundamentales

Técnica: Medición in situ.

Según la serie de normas de (UNE-EN, 2019), la medición in situ del aislamiento acústico en edificios abarca procedimientos para evaluar el aislamiento al ruido aéreo, de impactos y de fachadas. Este método permite obtener datos empíricos en tiempo real y bajo las condiciones específicas del contexto, lo que facilita un análisis preciso y contextualizado de los fenómenos estudiados.

En el ámbito de investigaciones arquitectónicas y acústicas, esta técnica se complementa con el levantamiento planimétrico, que consiste en la representación gráfica detallada del espacio físico a través de planos arquitectónicos. Este levantamiento permite identificar con precisión la disposición espacial, los materiales y las dimensiones de los elementos que componen el edificio, proporcionando una base sólida para el análisis acústico.

En el caso particular del análisis acústico del Campus Agramonte, se implementará la medición in situ junto con el levantamiento planimétrico. Las mediciones considerarán variables clave como el horario de mayor exposición y lugares de mayor ocupación, utilizando equipos especializados como el sonómetro. Por otro lado, los planos elabo-

rados del edificio permitirán contextualizar y correlacionar los datos acústicos con las características físicas del espacio. Esta combinación de herramientas será esencial para identificar las condiciones acústicas actuales y diagnosticar las problemáticas principales del edificio en cuanto a confort acústico para la comunidad educativa.

Instrumento: Tabla de Medición (dBA).

Esta tabla de medición sonora organiza los datos recopilados durante un levantamiento acústico in situ realizado en el horario de las 10:00, permitiendo registrar las lecturas máximas, mínimas y calcular los promedios de los niveles de ruido ambiental (dBA) en tres puntos específicos del área de estudio.

La estructura de la tabla facilita la documentación de hasta cinco mediciones consecutivas en cada punto, proporcionando un análisis detallado de las condiciones acústicas actuales. Este instrumento es clave para evaluar el comportamiento del sonido en el espacio y detectar variaciones significativas que puedan influir en la calidad acústica del entorno.

Punto	Medicion (dBA) Horario 18H00				
	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
1	Lectura Max				
	Lectura Min				
	Promedio				
2	Lectura Max				
	Lectura Min				
	Promedio				
3	Lectura Max				
	Lectura Min				
	Promedio				

Tabla O4. Tabla de medición dBA

Instrumento: Levantamiento Planimétrico

Un plano arquitectónico es una representación gráfica que describe detalladamente un proyecto de construcción, incluyendo la distribución de espacios, dimensiones y elementos constructivos. (Características básicas de un plano arquitectónico | Teat, 2023)

En el contexto de esta investigación, el Levantamiento Planimétrico implica la elaboración de planos arquitectónicos precisos del Campus Agramonte. Este proceso

documenta gráficamente las dimensiones, distribución espacial y características constructivas de las edificaciones existentes. La información obtenida es esencial para analizar cómo las características físicas del espacio afectan el comportamiento del sonido y para identificar áreas que requieran mejoras acústicas. Además, estos planos sirven como base técnica para desarrollar propuestas de diseño acústico adaptadas al contexto específico del sitio de estudio.

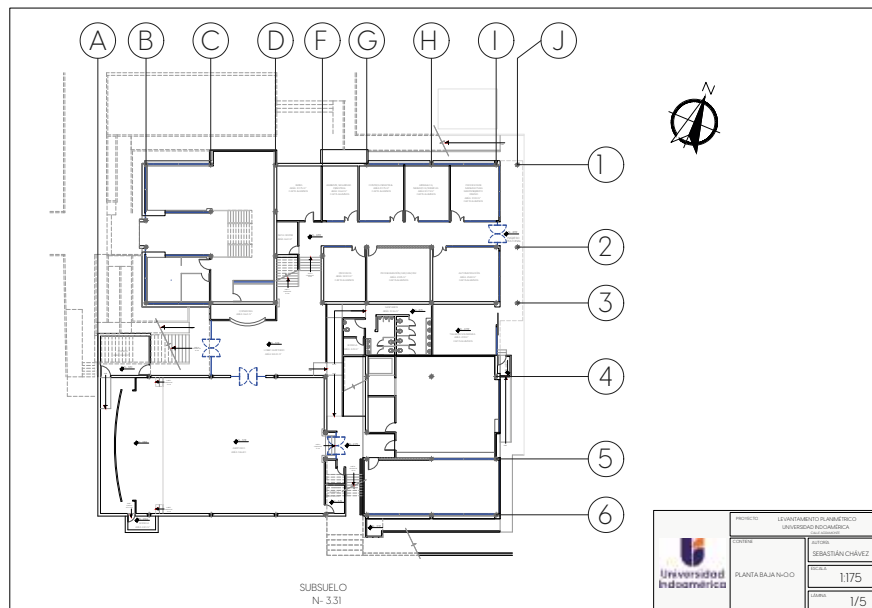


Figura O7. Planimetría Arquitectónica Universidad Indoamérica

Población y muestra

Se aplicará un muestreo cualitativo. La muestra estará conformada por:

Universidad Indoamérica como sitio de estudio.

PROCESAMIENTO DE DATOS

Cartografía Social

Representación Gráfica de Dinámicas Espaciales y Temporales

La cartografía social, en este contexto, se refiere a la creación de planos detallados que ilustran las dinámicas de uso del espacio en el Campus Agramonte, integrando información sobre focos de circulación, horarios de mayor actividad y áreas críticas en términos acústicos. Este instrumento combina la percepción de los usuarios con datos objetivos obtenidos a través de observaciones y levantamientos in situ.

Según el documento de investigación (Escolarización de niños y adolescentes: acceso universal y permanencia selectiva - UNESCO Biblioteca Digital, s/f), la cartografía social es un método participativo de investigación y planificación que utiliza mapas como herramientas para analizar

y visualizar dinámicas territoriales desde las perspectivas de los usuarios. Esta metodología permite identificar problemáticas y oportunidades en un espacio, integrando la percepción de los actores involucrados con datos objetivos.

Mediante el uso de colores y distintivos en los planos, se representan visualmente las siguientes variables:

Zonas de alta circulación: Identificadas con colores cálidos como el rojo y naranja, que reflejan mayor intensidad de uso.

Horarios de máxima actividad: Incluidos en un sistema de capas que permite relacionar los datos temporales con el uso del espacio.

Áreas de confort y conflicto acústico: Señaladas con íconos o texturas que destacan los puntos donde las condiciones acústicas son óptimas o requieren intervención.

Esta herramienta no solo facilita la visualización de patrones complejos, sino que también sirve como insumo clave para desarrollar propuestas de diseño acústico que respondan a las necesidades específicas del sitio de estudio.

Instrumento: Matriz de Evaluación

Es una herramienta que permite analizar y comparar diferentes opciones o alternativas de manera sistemática. Se utiliza para evaluar criterios específicos y asignarles un peso relativo según su importancia, facilitando la identificación de la opción más adecuada basada en los parámetros establecidos. (¿Qué es la Matriz de Evaluación?, s/f)

Esta herramienta se estructura generalmente en una tabla de doble

entrada donde se describen criterios y niveles de calidad de una tarea, objetivo o competencia. Cada fila representa los criterios de evaluación, mientras que las columnas corresponden a los niveles de desempeño o calidad. Las celdas contienen descripciones específicas que indican cómo se manifiesta cada nivel en relación con cada criterio. (Granados et al., 2021).

Matriz de Evaluación de Teorías							
Referente	Impacto en la Acústica Arquitectónica	Caso de Estudio	Aplicabilidad al Caso de Estudio	SopORTE Científico	Complejidad de Implementación	Pertinencia para Espacios Educativos	Promedio

Tabla O5. Matriz de Evaluación

CAPITULO 4

CAPÍTULO 4

Resultados Objetivo 1

Listar conceptos y teorías acústicas implementadas de referentes en la materia, adaptables al contexto de Ecuador y América Latina específicamente del caso de estudio, por medio de un análisis de referentes.

Revisión Documental

Para cumplir con el objetivo de listar conceptos y teorías acústicas implementadas por referentes en la materia, adaptables al contexto del caso de estudio, se llevó a cabo un análisis sistemático de diversas fuentes académicas relevantes en el campo de la acústica arquitectónica. Este proceso incluyó la revisión detallada de artículos científicos, libros especializados, trabajos de titulación y normativas internacionales,

En primera instancia, se identificaron conceptos clave como el tiempo de reverberación, la inteligibilidad del habla, el diseño acústico basado en el rendimiento y la zonificación acústica. Estos conceptos fueron seleccionados debido a su aplicabilidad en espacios educativos y su capacidad para mejorar el confort acústico en contextos urbanos con alta contaminación sonora, como el caso de Ambato.

Teoría de la Reverberación

El comportamiento del sonido dentro de una habitación sigue un patrón definido. Cuando un altavoz se activa, emite ruido que aumenta rápidamente hasta alcanzar un punto de estabilidad. Este punto, conocido como estado estacionario o equilibrio, se logra cuando la energía acústica generada por el altavoz compensa las pérdidas ocasionadas por la absorción del aire y las superficies que delimitan el espacio. Si el altavoz emite más energía, el nivel de equilibrio será mayor, mientras que con una emisión menor el nivel de equilibrio disminuye. Una vez que el altavoz deja de funcionar, el sonido en la habitación tarda un tiempo determinado en disiparse por completo hasta volverse imperceptible. Este fenómeno, conocido como "reverberación",

tiene un papel crucial en la percepción de la calidad acústica de un espacio.

Por ejemplo, una orquesta sinfónica grabada en una cámara anecoica, casi totalmente libre de reverberación, produciría un audio con una calidad significativamente baja para una experiencia auditiva convencional. En tales condiciones, el sonido resultante sería aún más débil y carente de resonancia en comparación con grabaciones realizadas al aire libre, que suelen percibirse como "planas". Diversos estudios han demostrado que la música sinfónica, así como otros géneros musicales, requiere cierta cantidad de reverberación para alcanzar una calidad sonora satisfactoria. (Everest & Pohlmann, 2009)

De manera similar, hay espacios donde la reverberación es esencial para que el sonido se disperse adecuadamente y llegue a los oyentes presentes, como ocurre en iglesias y teatros de ópera. Tradicionalmente, la reverberación se consideraba el atributo más relevante para evaluar la acústica de un lugar destinado al habla o la música. En la actualidad, aunque sigue siendo un aspecto importante, es solo uno de varios factores medibles que contribuyen a definir la calidad del sonido en un entorno acústico.

En términos sencillos, la reverberación se relaciona con la rapidez con la que la energía sonora se desvanece en una habitación. Un espacio vacío con superficies duras, como una iglesia, genera una mayor percepción de reverberación en comparación con una sala decorada y con mobiliario, que tiende a absorber parte del sonido y a reducir este efecto.

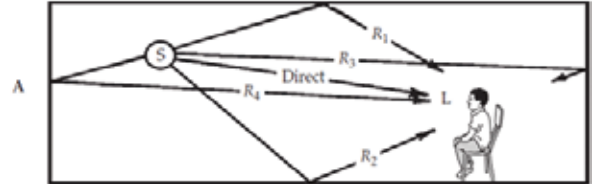


Figura O8. El fenómeno de la reverberación: El sonido directo llega primero a tiempo $t = 0$, los componentes reflejados llegan más tarde.

Tomado de (Everest & Pohlmann, 2009)

En relación con la figura O8, se observa una fuente sonora, S, y un oyente, L, ubicados dentro de una habitación. Cuando S comienza a emitir sonido de manera repentina, este se propaga en todas direcciones. Una de las trayectorias lleva el sonido directamente hacia L, marcando el momento inicial o tiempo cero, cuando el sonido directo alcanza los oídos del oyente. En este punto, la presión sonora en L

aumenta de forma inmediata, aunque a un nivel menor al que tenía al salir de S, debido a la dispersión esférica y a ligeras pérdidas ocasionadas por el aire (D).

Este nivel de presión acústica se mantiene constante hasta que llega la primera reflexión, R1, momento en el cual la presión en L se incrementa súbitamente a un nuevo valor, equivalente a $D + R1$. Poco después, llega otra reflexión, R2, que provoca un aumento adicional en la presión sonora. Conforme las reflexiones sucesivas alcanzan al oyente, este patrón se repite, y el nivel de presión sonora continúa creciendo de manera gradual hasta alcanzar un límite definido.

La razón por la cual la presión sonora en L no alcanza su valor final de inmediato radica en que las ondas sonoras viajan a través de trayectorias de diferente longitud. Debido a la velocidad constante del sonido, las reflexiones llegan con un retraso proporcional a la diferencia en la distancia entre la trayectoria directa y las trayectorias reflejadas. Este proceso ocurre en un período de tiempo extremadamente breve, pero es suficiente para que el fenómeno se desarrolle de forma progresiva. (F. Alton Everest, 2001)

Teoría de la Absorción

En el ámbito acústico, el término absorción describe el proceso mediante el cual un material, estructura u objeto capta energía sonora cuando una onda incidente impacta en su superficie. Una parte de esta energía se convierte en calor, mientras que otra parte atraviesa el cuerpo del material, que en este caso actúa como "absorbente". La energía convertida en calor se considera "perdida", aunque en realidad sigue vigente el principio de conservación de la energía.

Según este principio, la energía no puede ser creada ni destruida, pero sí transformada de una forma a otra. En una habitación con un exceso de energía sonora, esta no puede eliminarse directamente, pero puede transformarse en una forma que no cause interferencias. Es aquí donde entran en juego los materiales diseñados para absorber el sonido, cumpliendo la función de moderar y controlar el nivel de ruido.

Los materiales que absorben el sonido suelen clasificarse en tres categorías principales:

- Materiales porosos,
- Absorbentes de panel,

Absorbentes de resonancia.

Cada tipo tiene un rango de eficacia distinto según las frecuencias involucradas. Los materiales porosos tienden a ser más eficientes en la absorción de frecuencias altas, mientras que los absorbentes de panel y resonancia suelen funcionar mejor en frecuencias bajas.

Cuando una onda sonora impacta en una superficie dentro de un espacio cerrado, se le denomina onda incidente y lleva consigo una cantidad específica de energía acústica, considerada como el valor total de referencia. Al encontrarse con un obstáculo, una fracción de esta energía se refleja nuevamente hacia el interior del recinto, mientras que otra parte penetra en la superficie.

De la energía que logra ingresar, una porción es absorbida por el material, transformándose en energía térmica, y el resto se transmite a través del cuerpo del material. La proporción de energía convertida en calor depende de las características propias del material que actúa como absorbente. La figura O9 presenta un diagrama ilustrativo de este proceso.



Figura O9. Onda sonora que choca con un obstáculo
Tomado de (Conocimiento acústico| Visión general |
Ecophon, s/f)

En la figura O9 se ilustra el comportamiento de una onda sonora (3) al impactar contra el techo de un recinto. Parte de esta onda se refleja (4) formando un ángulo que cumple con la ley de Snell (es una fórmula utilizada para calcular el ángulo de refracción de cualquier tipo de onda electromagnética al atravesar la superficie de separación entre dos medios de propagación de la luz), otra fracción penetra en la superficie y es absorbida (2), mientras que el resto se transmite hacia un espacio contiguo (1). Desde una perspectiva energética, la energía total de la onda incidente equivale a la suma de las energías absorbida, reflejada y transmitida.

Teoría de Doppler

El efecto Doppler se basa en el cambio en la frecuencia percibida de una onda (sonora, electromagnética o de cualquier tipo) debido al movimiento relativo entre el emisor (foco) y el receptor (observador). Este fenómeno ocurre porque el movimiento del foco o del receptor altera la longitud de onda y, por ende, la frecuencia observada.

Christian Andreas Doppler lo describió por primera vez en 1842, usando ondas sonoras. Más tarde, en 1848, Armand Fizeau amplió la comprensión al aplicarlo a ondas electromagnéticas, como la luz. Por ello, el efecto también se denomina efecto Doppler-Fizeau.

Para comprender por qué ocurre este fenómeno, imaginemos que la sirena emite ondas periódicamente. Estas ondas pueden estar muy juntas o separadas dependiendo de si el tono es agudo o grave. Ahora, visualicemos que cada vez que se emite una onda, esta se expande en forma de un círculo en crecimiento, mientras la ambulancia avanza hacia un lado de la onda. Para el momento en que se emita una segunda onda, la ambulancia estará más cerca de un lado del círculo que del otro, lo que provoca que esta nueva onda también

esté desplazada en esa dirección. Como resultado, la distancia entre la primera y la segunda onda será diferente según el lado del círculo. Si te encuentras frente a la ambulancia, percibirás un sonido más agudo debido a que las ondas están comprimidas; sin embargo, cuando la ambulancia pase frente a ti, el sonido se percibirá más grave, ya que las ondas estarán más separadas. (Correa, 2014)

Teoría de la Difracción

Se habla de difracción cuando el sonido, en lugar de propagarse en línea recta al encontrar obstáculos o aberturas, se dispersa. Esto se explica con el Principio de Huygens, que indica que cada punto de un frente de ondas puede actuar como un emisor de nuevas ondas idénticas a las originales.

Cuando una onda sonora llega a una abertura o a un obstáculo que impide su paso, cada punto de esa superficie se convierte en una fuente secundaria de ondas, generando lo que se llama ondas difractadas. Este fenómeno ocurre principalmente por dos razones:

Cuando una onda sonora encuentra un

pequeño obstáculo, lo rodea. Esto sucede más fácilmente con ondas de frecuencias bajas, porque tienen longitudes de onda largas (entre 3 cm y 12 m), lo que les permite superar la mayoría de los obstáculos que encuentran.

Cuando la onda encuentra una pequeña abertura, pasa a través de ella, y la cantidad de difracción depende del tamaño de la abertura y de la longitud de onda.

Si la abertura es grande en comparación con la longitud de onda, la difracción será mínima, y el sonido se propagará de manera más directa, como lo hace la luz en forma de rayos rectos. Por el contrario, si la abertura es del mismo tamaño o menor que la longitud de onda, los efectos de la difracción serán más pronunciados, y el sonido se comportará como si proviniera de una fuente puntual en la abertura. (Roldán Pinilla, s/f)

Teoría Estadística del Sonido

Esta teoría se basa en entender el campo sonoro como un conjunto de numerosas ondas reflejadas en las superficies internas de un espacio cerrado, dispersándose en todas direcciones y transfiriendo energía acústica. Este enfoque permite calcular la energía en

cualquier punto del recinto, así como la suma de los valores promedio de las energías reflejadas que llegan a ese punto específico. El método estadístico, fundamentado en la probabilidad y utilizando matemáticas básicas, facilita extraer conclusiones objetivas del proceso y detectar posibles imperfecciones. Es especialmente útil en el análisis de la reverberación, es decir, la persistencia del sonido tras detenerse la fuente emisora. Por esta razón, el tiempo de reverberación se considera un parámetro crucial para evaluar las propiedades acústicas de un espacio. (Roldán Pinilla, s/f)

En la figura 10 se observa cómo varía la energía sonora emitida por una fuente que opera a potencia constante durante un tiempo determinado antes de apagarse. En la etapa transitoria A, la energía en el recinto aumenta rápidamente debido al sonido directo de la fuente y sus reflejos. Posteriormente, se alcanza un estado estable B, donde la energía absorbida por el recinto iguala la emitida por la fuente. Finalmente, en el segundo transitorio C, la energía disminuye gradualmente tras la desconexión de la fuente, primero por la ausencia del sonido directo y luego por el decrecimiento progresivo de las reflexiones. Este último período define el tiempo de

reverberación (T), que mide cuánto tarda el sonido en reducirse hasta el umbral audible.

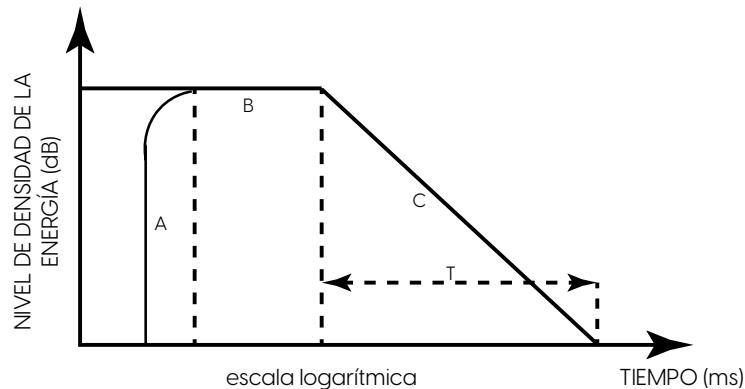


Figura 10. Balance sonoro en el interior de un recinto

Tomado de (Roldán Pinilla, s/f)

Para aplicar un análisis estadístico al proceso de variación energética en un recinto, es necesario asumir ciertas condiciones sobre las características del campo sonoro. Esto se debe a la ausencia de criterios uniformes para tratar todas las reflexiones, ya sean iniciales o pertenecientes a la cola reverberante. Estas condiciones incluyen:

Las ondas reflejadas llegan a cualquier

punto del recinto desde direcciones igualmente probables.

La energía sonora en un punto se calcula sumando los promedios de las energías de las reflexiones que lo atraviesan, considerando igual probabilidad para todos los posibles desfaseamientos entre ondas.

La densidad de energía acústica en un momento dado es uniforme en todo el espacio

del recinto.

Se asume que el recinto tiene dimensiones grandes en comparación con la longitud de onda, y que sus superficies presentan baja capacidad de absorción acústica y propiedades homogéneas.

Un campo sonoro que cumple estas hipótesis se denomina difuso. Aunque estas simplificaciones hacen que los resultados de esta teoría sean aproximados, permiten comprender y describir mejor el comportamiento del campo sonoro dentro de un recinto.

Teoría Geométrica

La teoría estadística previamente mencionada es aplicable únicamente al análisis de recintos donde la energía sonora se distribuye de manera uniforme. Sin embargo, existe una amplia variedad de espacios que no cumplen con esta condición. En estos casos, es necesario realizar un análisis más minucioso, con especial énfasis en las superficies internas que generan la falta de uniformidad en la distribución energética.

Cuando la teoría estadística no resulta adecuada, se recurre a un enfoque

alternativo basado en la representación del campo sonoro como un conjunto de rayos, siguiendo los principios de la óptica geométrica. En este modelo, las ondas sonoras se sustituyen por rayos a lo largo de los cuales se propaga la energía.

Este enfoque permite identificar los puntos de incidencia de los rayos en las superficies delimitadoras del recinto y calcular las pérdidas de energía asociadas a las propiedades de absorción de los materiales que recubren dichas superficies. Cada ubicación específica dentro del espacio se define por las reflexiones iniciales o tempranas, es decir, aquellas que alcanzan al oyente en los 100 milisegundos posteriores a la llegada del sonido directo desde la fuente.

Así, la propagación de estos rayos dentro del recinto obedece las leyes de la óptica geométrica, entre ellas:

Propagación en línea recta.

Leyes de reflexión.

Ley de refracción de Snell.

Para aplicar esta teoría, deben adoptarse ciertas suposiciones:

Refracción: Se descarta el fenómeno, ya que se considera un único medio homogéneo e isotrópico en el recinto cerrado, sin variaciones en sus propiedades según la dirección de propagación.

Difracción: No se considera, dado que la longitud de onda sonora es significativamente menor que las dimensiones de los obstáculos y aberturas presentes.

Reflexiones: Se asume que son especulares, permitiendo aplicar las leyes de reflexión, dado que las superficies se consideran lisas.

Fase: No se distinguen diferencias de fase entre ondas coincidentes en un punto, por lo que sus intensidades se suman directamente, omitiendo fenómenos de interferencia.

Se puede concluir que, el método geométrico es preciso principalmente en recintos con grandes superficies reflectantes o para sonidos de frecuencias medias y altas. Sin embargo, su precisión disminuye considerablemente al analizar frecuencias bajas.

Teoría Ondulatoria

Esta teoría considera que el espacio de un recinto actúa como un sistema vibratorio complejo con parámetros distribuidos. Dicho sistema es activado por la señal emitida desde la fuente sonora, lo que genera modos de vibración característicos que se atenúan progresivamente debido a la pérdida de energía en las superficies que delimitan el recinto. Este enfoque permite describir con precisión el fenómeno sonoro que ocurre en el interior del espacio, así como sus propiedades fundamentales.

Se utiliza para analizar la respuesta en frecuencia de una sala, basándose en la naturaleza ondulatoria del sonido para describir el campo acústico interno a través de la resolución de la ecuación de ondas. Los modos de vibración se obtienen como soluciones de esta ecuación y ocurren a frecuencias específicas denominadas frecuencias de resonancia o propias. La aparición de estos modos y sus respectivas frecuencias están determinadas por la geometría y las dimensiones del recinto.

Para lograr que el comportamiento acústico del recinto sea lo más neutral posible, es fundamental que exista un gran número de frecuencias características y que

estas se distribuyan de manera uniforme. Esto es especialmente relevante para evitar que, en señales complejas como la música o el habla, las frecuencias ubicadas entre dos frecuencias características queden anuladas. De lo contrario, podrían amplificarse ciertas frecuencias por resonancia, lo que desestabilizaría la respuesta acústica del espacio.

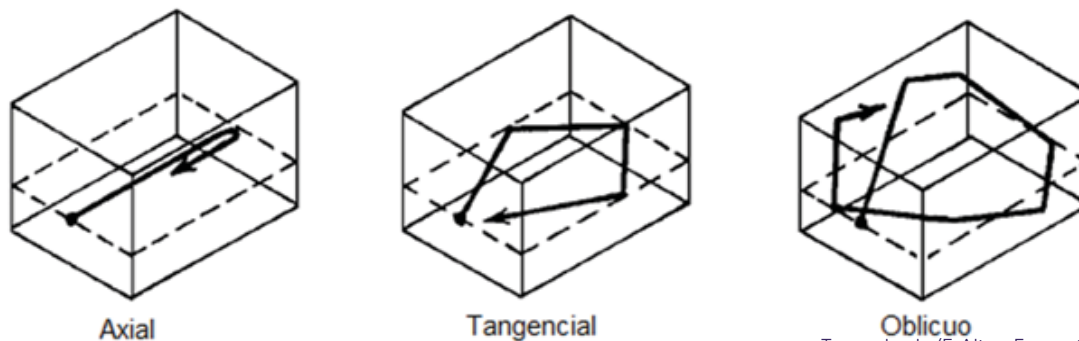
Los modos propios de vibración se clasifican en tres categorías principales :

Axiales: En este caso, las ondas se desplazan paralelas a un único eje, lo que implica que el movimiento ocurre en una sola dimensión. Por esta razón, dos de los

índices (k,m,n) son iguales a cero. Este tipo de modo es responsable de la generación de ecos dentro de un recinto.

Tangenciales: Aquí, las ondas se propagan tangencialmente a dos superficies opuestas, mientras que se reflejan en las otras dos. Este comportamiento se desarrolla en dos dimensiones, dejando uno de los índices (k,m,n) igual a cero.

Oblicuos: En estos modos, las ondas se mueven en trayectorias oblicuas, interactuando con las seis superficies del recinto. En este caso, todos los índices (k,m,n) tienen valores distintos de cero.



Tomado de (F. Alton Everest, 2001)

Figura 11. Representación gráfica de los modos axiales, tangenciales y oblicuos

En todos los modos propios, se observa que la presión sonora alcanza su máximo en las esquinas del recinto. Esto implica que, al colocar una fuente sonora en estas ubicaciones, es posible activar todos los modos propios de vibración, distribuyendo su efecto a lo largo de todo el espacio.

Este enfoque, junto con las expresiones derivadas, es aplicable únicamente a recintos de forma rectangular, cuyas dimensiones sean pequeñas y estén perfectamente definidas. En recintos de gran tamaño, donde las proporciones entre las dimensiones no son simples, o que incluyen elementos difusores o paredes con un falso paralelismo, el espectro de frecuencias tiende a volverse prácticamente continuo, y el campo sonoro adquiere una distribución uniforme. En estos casos, resulta más adecuado emplear la teoría estadística en lugar de la basada en principios ondulatorios. Un fenómeno similar ocurre en recintos pequeños cuando se analizan frecuencias bajas. Al incrementarse los valores de los índices k, m, n , el espectro también tiende a volverse continuo, limitando la precisión del análisis ondulatorio. (Roldán Pinilla, s/f)

Todas las **teorías fundamentales** de la acústica **incluyen fórmulas** para resolver los cálculos correspondientes. Dichas fórmulas se pueden encontrar en la sección Anexos.

Tabla de Teorías Fundamentales de la Acústica

Con los resultados obtenidos, se elaboró una tabla de análisis de las teorías fundamentales de la acústica que sintetiza los principales aportes, teorías y metodologías aplicables al contexto local. Este instrumento permitió visualizar de manera estructurada las estrategias acústicas utilizadas y su potencial para ser implementadas en el Campus Agramonte. El análisis de los referentes seleccionados resalta la importancia de considerar diversos aspectos del diseño acústico. Cada teoría aporta herramientas metodológicas, parámetros de diseño y estrategias prácticas que, al integrarse en el caso de estudio permitirían abordar la problemática acústica de manera integral. A partir de una revisión bibliográfica exhaustiva, se han recopilado y comparado enfoques teóricos y metodológicos utilizados en diversos estudios evidenciando su relevancia en el diseño acústico de espacios educativos.

Entre los hallazgos más relevantes, se destacan los conceptos clave de tiempo de reverberación, inteligibilidad del habla, diseño acústico basado en el rendimiento

y zonificación acústica. Estos elementos son fundamentales para mejorar la calidad sonora en entornos educativos y mitigar los efectos de la contaminación acústica urbana. Además, la comparación de estudios nacionales e internacionales permitió establecer criterios específicos para la adaptación de estrategias acústicas en el contexto local.

Se identificó que la teoría de la reverberación es crucial para evaluar el confort acústico de los espacios, mientras que la teoría de la absorción proporciona directrices para la selección de materiales adecuados en función de la reducción del ruido y el control del sonido interno. Asimismo, la teoría de la difracción y la teoría del efecto Doppler explican fenómenos acústicos que pueden influir en la percepción sonora dentro del campus.

La información obtenida sienta las bases para el diseño y la implementación de estrategias acústicas que optimicen la experiencia de los usuarios en el campus, contribuyendo así a un entorno académico más confortable y eficiente.

Tabla de Teorías Acústicas Fundamentales

Teoría	Autor(es)	Año	Fuente	Tema Principal	Aportes Relevantes	Metodología o Enfoque	Aplicabilidad al Caso de Estudio	Limitaciones Identificadas
1. Teoría de la Reverberación	Wallace Clement Sabine	1900	Publicación original	Tiempo de reverberación y su relación con dimensiones y materiales.	Fórmula de Sabine, base de la acústica arquitectónica.	Experimental y empírico.	Diseño de espacios con características acústicas específicas.	No considera completamente la absorción variable de ciertos materiales.
2. Teoría de la Absorción	Varios, basada en múltiples contribuciones.	Siglo XX	Estudios sobre materiales	Reducción de energía sonora mediante materiales absorbentes.	Identificación de coeficientes específicos para diferentes materiales.	Medición en cámaras anecoicas y estudios matemáticos.	Selección de materiales para optimizar la acústica interna	Variabilidad entre condiciones reales y de laboratorio.
3. Teoría de Doppler	Christian Doppler	1842	Estudios de física del sonido	Cambios en la frecuencia del sonido debido al movimiento relativo.	Fundamento para estudios en acústica ambiental y dinámica.	Teórico y validado experimentalmente.	Análisis de efectos dinámicos en entornos acústicos exteriores.	Aplicabilidad limitada en espacios cerrados sin movimiento relativo significativo.
4. Teoría de la Difracción	Augustin-Jean Fresnel	Siglo XIX	Principios ópticos aplicados	Comportamiento del sonido frente a obstáculos.	Explicación de cómo las ondas sonoras se curvan alrededor de objetos.	Matemático y experimental.	Diseño de barreras acústicas y optimización del sonido.	Complejidad matemática para predecir con precisión en escenarios reales.

5. Teoría Estadística del Sonido	Varios, basada en múltiples contribuciones.	Siglo XX	Acústica arquitectónica	Distribución energética del sonido en un espacio.	Relación entre energía sonora y geometría espacial.	Estudio estadístico de la propagación sonora.	Modelos predictivos para la distribución uniforme del sonido.	Mayor aplicabilidad en espacios grandes y homogéneos.
6. Teoría Geométrica	Basada en principios ópticos	Siglos XVIII-XX	Estudios acústicos aplicados	Propagación lineal del sonido en forma de rayos.	Base para el diseño de simulaciones acústicas.	Simulación y análisis numérico.	Modelado acústico previo al diseño.	No considera fenómenos ondulatorios como la difracción.
7. Teoría Ondulatoria	Huygens, Fresnel y otros	Siglos XVII-XIX	Física ondulatoria	Comportamiento del sonido como onda.	Explicación de fenómenos como interferencia y resonancia.	Física teórica y experimental.	Predicción de fenómenos complejos en diseño acústico.	Complejidad de implementación en software de diseño.

Tabla O6. Tabla de Teorías Acústicas Fundamentales

Procesamiento de los datos obtenidos

Para procesar los datos recopilados en el análisis de referentes, se construyó una línea de tiempo que organiza cronológicamente los aportes clave de cada trabajo analizado. Este enfoque permite visualizar cómo han evolucionado las propuestas y teorías acústicas aplicadas al contexto educativo y cultural en Ecuador y América Latina. La línea de tiempo resalta el contexto histórico y la relevancia de cada proyecto, mostrando su influencia en el diseño acústico actual.

La elaboración de la línea de tiempo incluyó los siguientes pasos:

Identificación cronológica: Se

organizaron los trabajos según su año de publicación.

Análisis de aportes: Se sintetizaron las contribuciones de cada referente, destacando su impacto en la acústica arquitectónica.

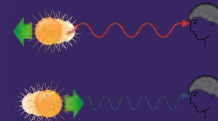
- Análisis Documental -

Aportes en Acústica Arquitectónica

1842
CHRISTIAN
DOPPLER

Teoría de Doppler

Explica cómo cambia la frecuencia del sonido cuando hay un movimiento relativo entre la fuente del sonido y el receptor. Es crucial para entender la propagación del sonido en situaciones donde el movimiento es significativo, como en el caso de vehículos o aviones.

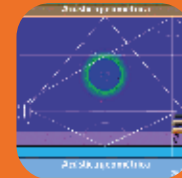


Efecto Doppler relativista.
Tošovsky, 2006

SIGLOS
XVIII-XX
PRINCIPIOS
ÓPTICOS

Teoría Geométrica

Propone que el sonido se propaga en línea recta, similar a los rayos de luz, y puede ser analizado usando principios geométricos. Es fundamental para el diseño acústico y la simulación de la propagación del sonido en espacios, aunque no tiene en cuenta efectos como la difracción.

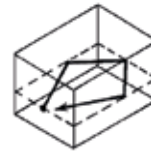


Acústica Geométrica,
rbalzan79en, 2020. Tomado de
HiveBlog

**SIGLOS
XVII-XIX
HUYGENS,
FRESNEL Y
OTROS**

Teoría Ondulatoria

Considera el sonido como una onda y describe fenómenos como interferencia, difracción y resonancia. Esta teoría es clave para entender cómo se comporta el sonido en entornos complejos y cómo interactúan las ondas sonoras entre sí.



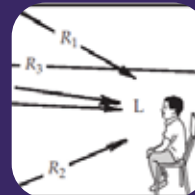
Tangencial

Representación gráfica de los modos tangenciales y oblicuos. (F. Alton Everest, 2001 p. 324)

**1900
WALLACE
CLEMENT
SABINE**

Teoría de la Reverberación

Se centra en el tiempo de reverberación del sonido dentro de un espacio, dependiendo de las dimensiones y materiales del mismo. Sabine desarrolló una fórmula para calcular este tiempo, que es fundamental para diseñar acústicamente los espacios.

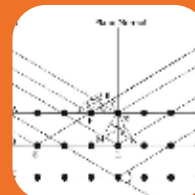


El fenómeno de la reverberación. (Everest & Pohlmann, 2009)

**SIGLO
XIX
AUGUSTIN-
JEAN
FRESNEL**

Teoría de la Difracción

Esta teoría explica cómo las ondas sonoras se curvan y se propagan alrededor de obstáculos. Es esencial para entender cómo las barreras acústicas o las irregularidades del espacio afectan la propagación del sonido.



Esquema de la difracción. Fuente: cullity, Wikimedia Commons

**SIGLO
XX
MÚLTIPLES
APORTES**

Teoría de la Absorción

Se enfoca en cómo los materiales pueden absorber el sonido, reduciendo la energía sonora en un espacio. Cada material tiene un coeficiente de absorción específico, lo que influye en el diseño acústico de interiores, especialmente en auditorios y salas de conciertos.

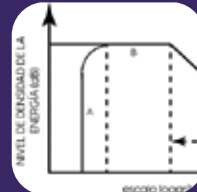


Onda sonora que choca con un obstáculo (Conocimiento acústico| Visión general | Ecophon, s/f)

**SIGLO
XX
MÚLTIPLES
APORTES**

Teoría Estadística del Sonido

Aborda la distribución energética del sonido en un espacio, considerando el comportamiento probabilístico de las ondas sonoras. Es utilizada principalmente para diseñar acústica en espacios grandes y complejos, como auditorios o iglesias, para asegurar una distribución uniforme del sonido.



Balance sonoro en el interior de un recinto (Roldán Pinilla, s/f)

Figura 12. Línea de Tiempo. Aportes en Acústica Arquitectónica

Resultados Objetivo 2

Analizar las condiciones acústicas actuales y las principales problemáticas en el diseño acústico local, mediante levantamiento planimétrico y medición in situ de la condición sonora.

Levantamiento Planimétrico

Para lograr el levantamiento de información que permita analizar las condiciones acústicas actuales en el Campus Agramonte, se realizaron diversas actividades de recolección de datos mediante instrumentos técnicos y observación directa. Este proceso incluyó la aplicación de técnicas de levantamiento planimétrico que concluyen en documentar de manera precisa las características geométricas, distribución espacial y materiales constructivos de las edificaciones existentes en el campus. Esta información es clave para comprender cómo la configuración física del entorno incide en el comportamiento del sonido y en la percepción acústica de los usuarios.

La información recopilada in situ fue posteriormente digitalizada y representada mediante software de dibujo por computador 2D, aplicando los principios

fundamentales del dibujo arquitectónico como escalas normalizadas, sistemas de acotación, simbología estandarizada y jerarquización de líneas. Esta representación técnica bidimensional permitió generar una documentación precisa y detallada de la infraestructura existente, sentando las bases para el posterior análisis acústico y desarrollo de propuestas de intervención. Este proceso permitió establecer una base sólida de datos que facilitó la comprensión de cómo las características arquitectónicas impactan en la acústica de los espacios educativos, y cómo podrían optimizarse para mejorar la calidad del entorno sonoro en el Campus Agramonte.

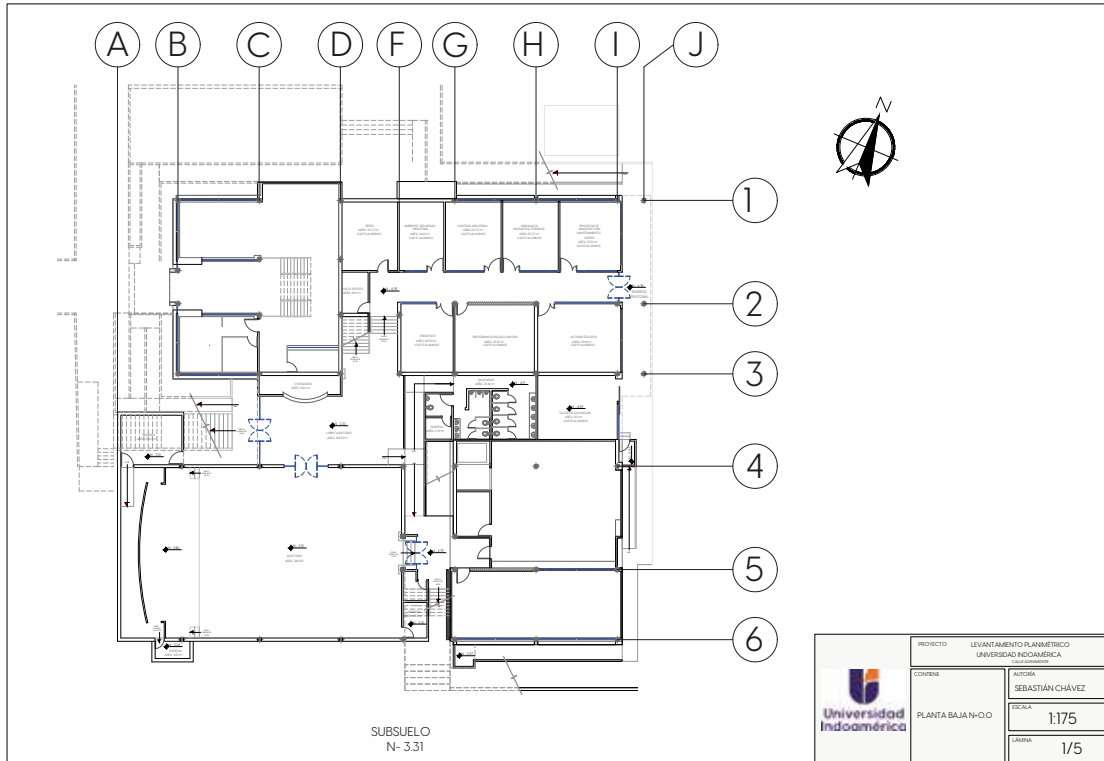
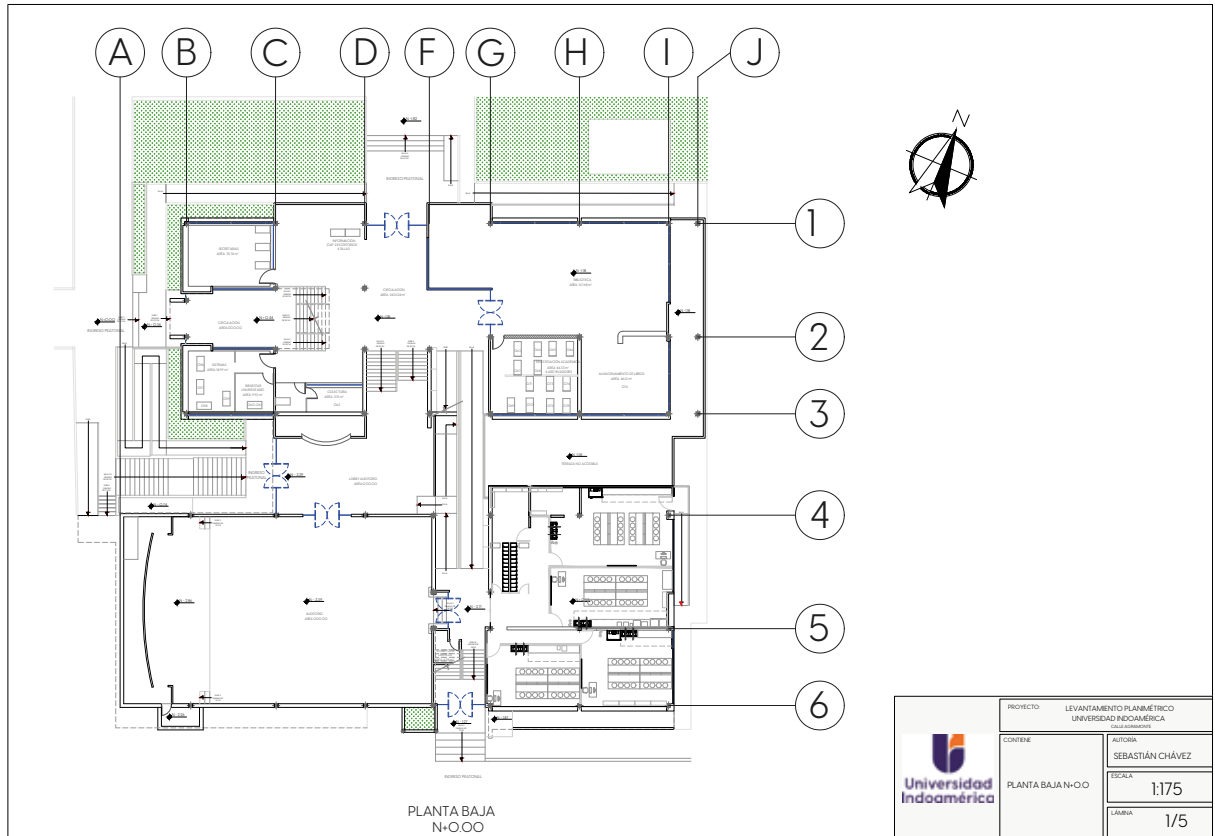


Figura 13. Planimetría Arquitectónica. Subsuelo



	PROYECTO LEVANTAMIENTO PLANIMÉTRICO UNIVERSIDAD INDOAMÉRICA GUAYAMA, P.R.	
	CODIGO	AUTORA SEBASTIÁN CHÁVEZ
	PLANTA BAJA N+00	ESCALA 1:175
	LABORA	1/5

Figura 14. Planimetría Arquitectónica. Planta Baja

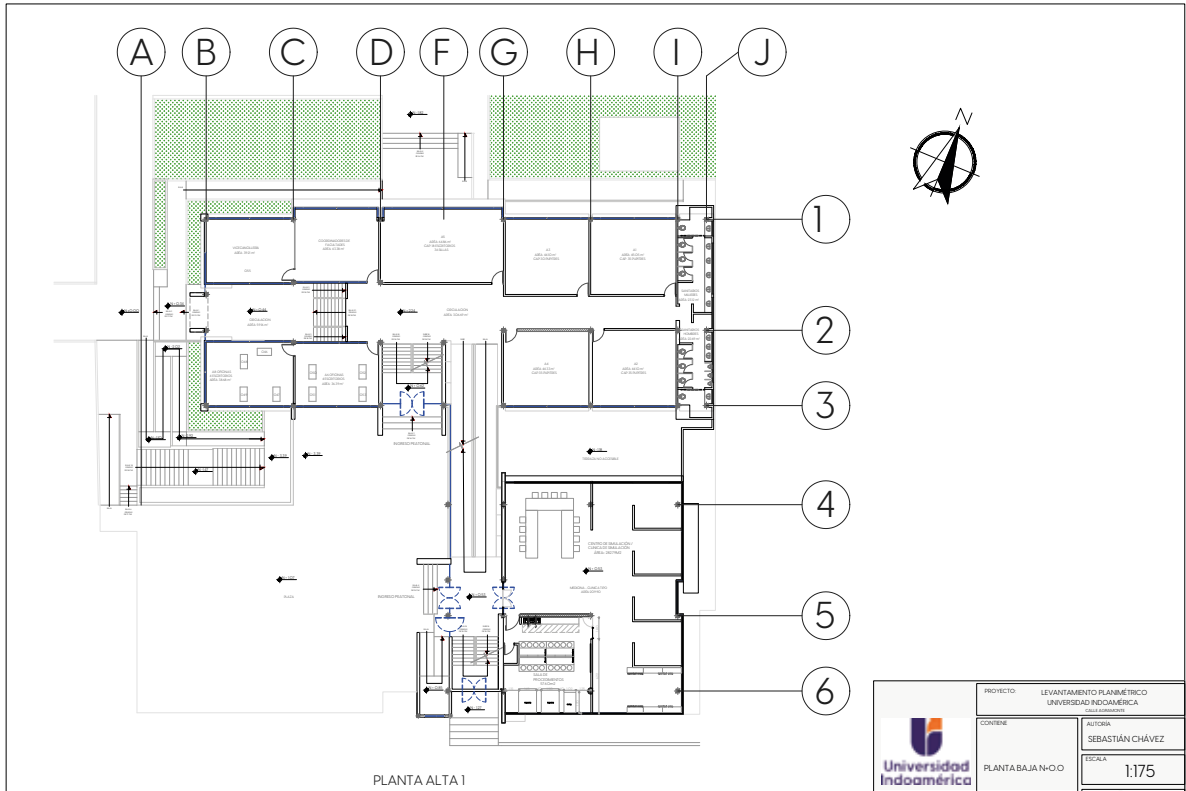


Figura 15. Planimetría Arquitectónica. Planta Alta 1

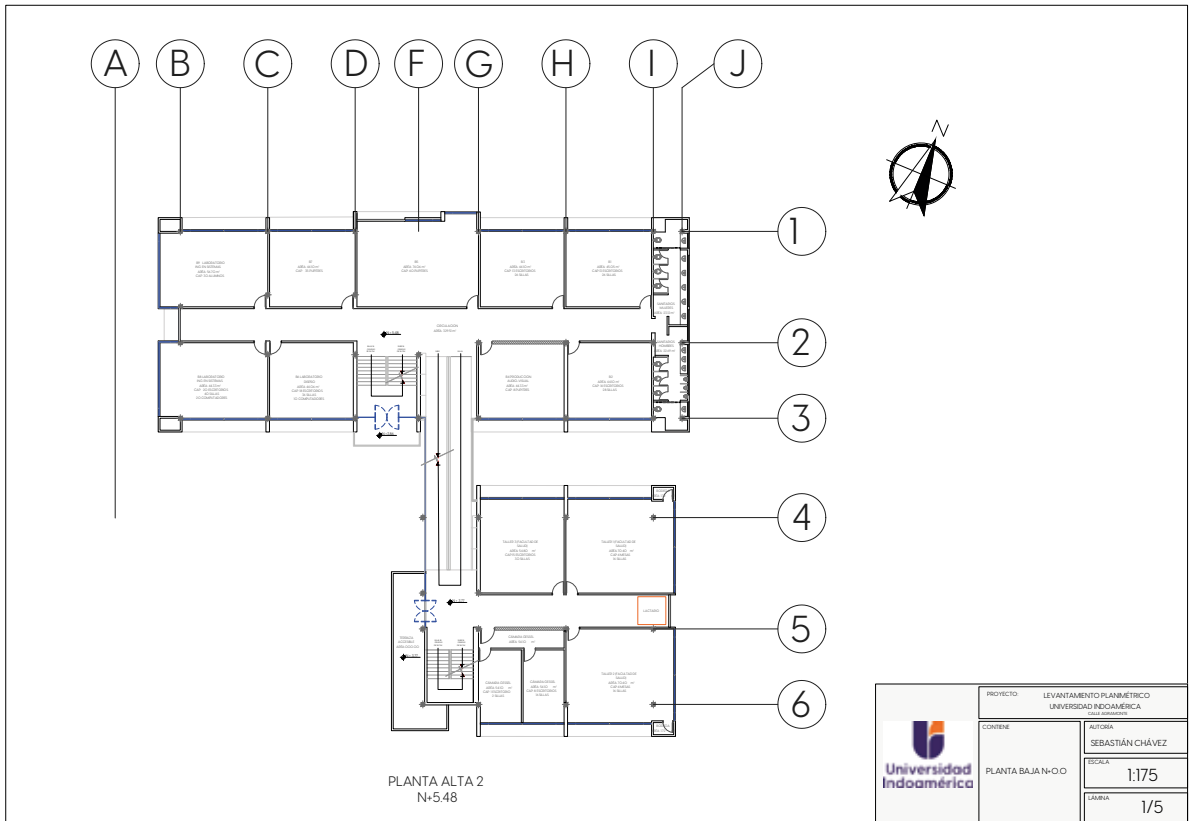
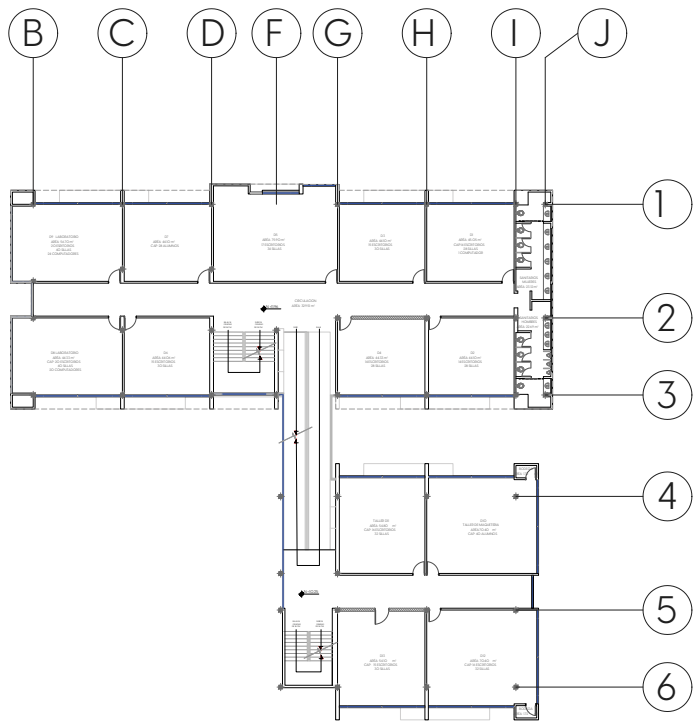


Figura 16. Planimetría Arquitectónica. Planta Alta 2



PLANTA ALTA 4
N:1196



	PROYECTO LEVANTAMIENTO PLANIMÉTRICO UNIVERSIDAD INDOAMÉRICA <small>UNIVERSIDAD INDOAMÉRICA</small>	
	COVENIO PLANTA BAJA N-O-O	AUTORA SEBASTIÁN CHÁVEZ
	ESCALA 1:175	LAYERS 1/5

Figura 18. Planimetría Arquitectónica. Planta Alta 4

Cartografía Social: Diagrama de Flujo y Permanencia

En el marco de la investigación, se llevó a cabo el levantamiento planimétrico del campus Agramonte de la Universidad Indoamérica. Durante este proceso, se utilizó la observación directa para recopilar la información necesaria y desarrollar un diagrama de flujo y permanencia. Este análisis permitió identificar la ruta más frecuentada por los estudiantes, así como las principales fuentes de ruido, tanto internas como externas.

A partir de estas observaciones, se seleccionaron los puntos de medición clave: las aulas A5, B5 y la biblioteca. La elección de estos espacios respondió a varios criterios: su ubicación hacia la fachada frontal del edificio, donde el ruido ambiental tiene mayor incidencia, y la alta concurrencia en sus pasillos. Además, determiné que los horarios de mayor actividad son las 10:00, 13:00 y 18:00 horas, aspectos que también fueron corroborados mediante la observación directa durante las mediciones realizadas in situ. Esta metodología permitió fundamentar de manera sólida las decisiones tomadas en el estudio.

Cartografía Social. Diagrama de circulación y permanencia, Planta Baja N+O.O.
 Universidad Indoamérica: Campus Agramonte.

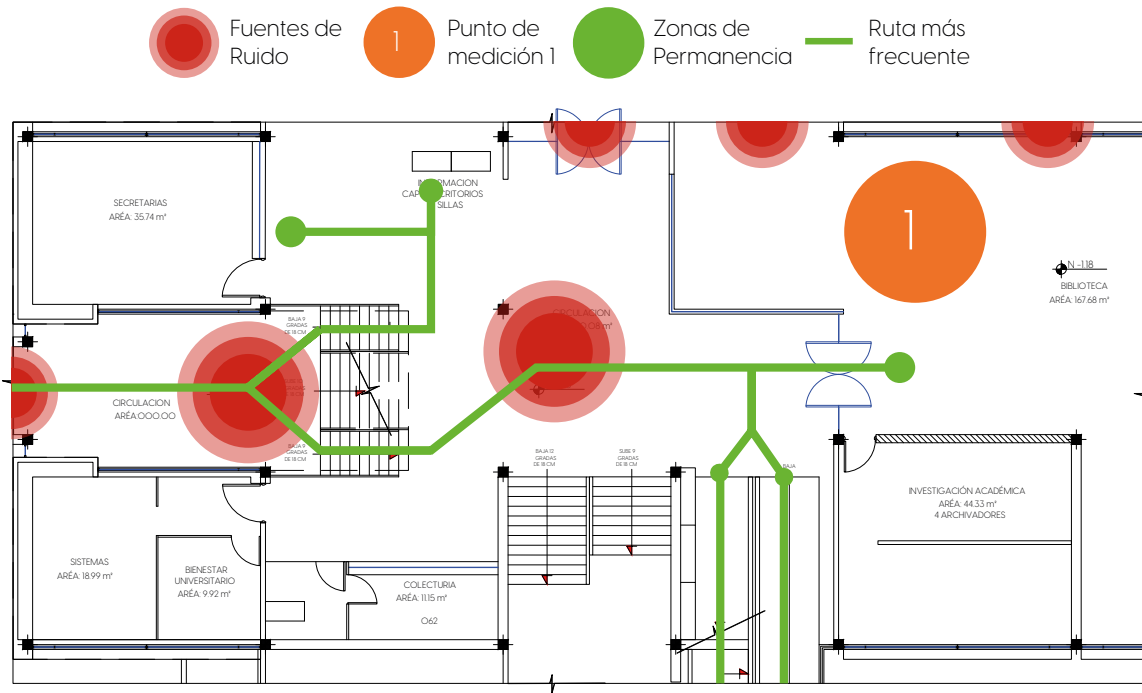


Figura 19. Diagrama de Flujo y Permanencia. Punto 1:
 Biblioteca

Cartografía Social. Diagrama de circulación y permanencia, Planta Alta 1 N+2.24.
 Universidad Indoamérica: Campus Agramonte.

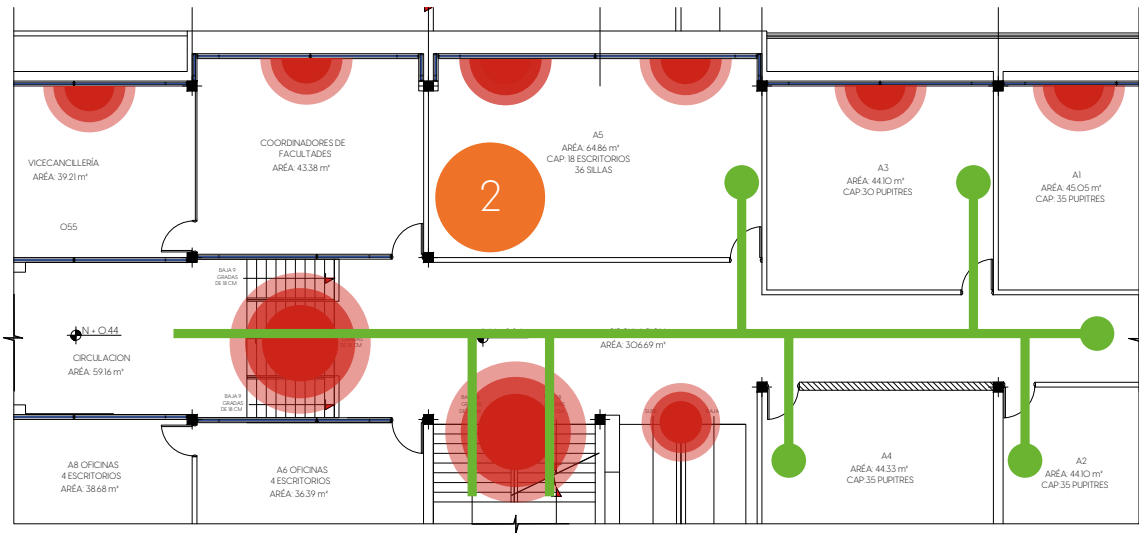


Figura 20. Diagrama de Flujo y Permanencia. Punto 2:
 Aula A5

Cartografía Social. Diagrama de circulación y permanencia, Planta Alta 2 N+8.72.
 Universidad Indoamérica: Campus Agramonte.

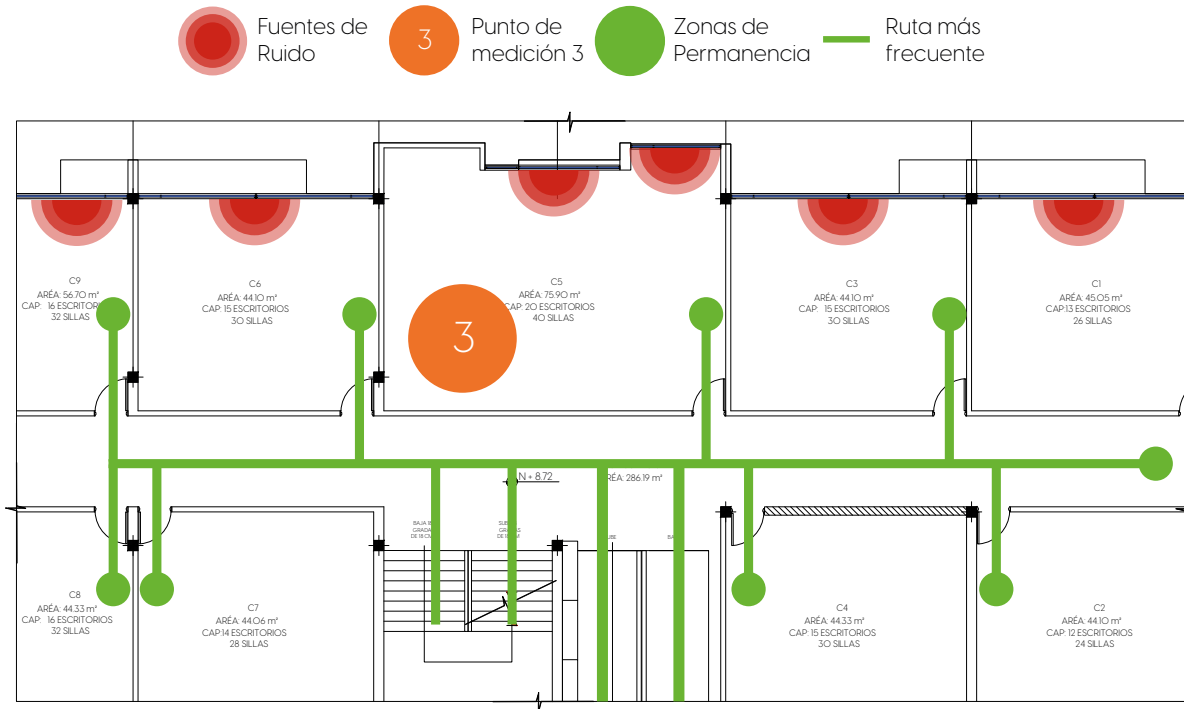


Figura 21. Diagrama de Flujo y Permanencia. Punto 2: Aula C5

Medición In Situ: Sonómetro

De manera complementaria, se llevaron a cabo mediciones acústicas con sonómetro modelo TO11 previamente calibrado por TADETO según el estándar IEC 61672-1:2013 de la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC en inglés) (International Electrotechnical Commission, 2013) en diferentes puntos estratégicos del campus, tomando como referencia horarios de mayor actividad académicas. Estas mediciones incluyeron parámetros como los niveles de presión sonora (dBA), proporcionando un análisis detallado de las condiciones acústicas actuales, cada medición se realizó según los términos de la norma de Acústica ISO1996 "Description, measurement and assessment of environmental noise" (ISO/PAS 1996-3, s/f), la norma indica que las mediciones con sonómetro deben realizarse colocando el equipo a una altura de 1.2 a 1.5 metros del nivel del suelo, para posteriormente tomar las medidas, para este ejercicio se realizarán cuatro medidas cada una en intervalos de cinco minutos para que en total sean sesiones de veinte minutos. Para llevar a cabo la recolección de los datos, se ha preparado una tabla, misma que está diseñada para registrar los datos obtenidos mediante mediciones acústicas utilizando

un sonómetro en tres puntos diferentes los cuales fueron escogidos con los datos obtenidos por la cartografía social, en tres horarios diferentes por día a las 10:00, 13:00 Y 18:00 a lo largo de los 5 días de la semana laboral de la Universidad Indoamérica: Campus Agramonte. La estructura de la tabla permite organizar los datos en las siguientes categorías:

Puntos de medición: Se divide en tres ubicaciones específicas numeradas como 1, 2 y 3. Cada punto corresponde a una posición en la que se realizarán las mediciones.

Mediciones (dBA): Para cada punto de medición, se registran cinco lecturas, una por cada día de la semana (Medición 1 a Medición 5). Esto asegura la obtención de un conjunto de datos representativos.

Lectura Máxima y Mínima: Se registran los valores más altos y más bajos obtenidos en las cinco mediciones realizadas en cada punto.

Promedio: Finalmente, se calcula y registra el promedio de las cinco lecturas en cada punto, lo que proporciona un valor representativo del nivel sonoro en esa ubicación

Condiciones para la medición



Figura 22. Medición Punto 1

Lugar: Biblioteca

Horario: 10H30

Aforo: Aproximadamente 35 personas



Figura 23. Medición Punto 2

Lugar: Aula A5

Horario: 13h15

Aforo: Aproximadamente 20 personas



Figura 24. Medición Punto 2

Lugar: Aula A5

Horario: 10H45

Aforo: Aproximadamente 35 personas



Figura 25. Medición Punto 1

Lugar: Biblioteca

Horario: 13h00

Aforo: Aproximadamente 25 personas



Figura 26. Medición Punto 3

Lugar: Aula C5

Horario: 10H45

Aforo: Aproximadamente 30 personas



Figura 27. Medición Punto 2

Lugar: Aula C5

Horario: 13h15

Aforo: Aproximadamente 30 personas



Figura 28. Medición Punto 1

Lugar: Biblioteca

Horario: 10H15

Aforo: Aproximadamente 25 personas



Figura 29. Medición Punto 1

Lugar: Biblioteca

Horario: 18h00

Aforo: Aproximadamente 15 personas



Figura 30. Medición Punto 3

Lugar: Aula C5

Horario: 10H00

Aforo: Aproximadamente 30 personas



Figura 31. Medición Punto 1

Lugar: Biblioteca

Horario: 10h30

Aforo: Aproximadamente 60 personas



Figura 32. Medición Punto 1

Lugar: Biblioteca

Horario: 13H45

Aforo: Aproximadamente 30 personas

Resultados de la Medición

Punto		Medición (dBA) Horario 10H00 - 11h00				
		Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
1	Lectura Max	66	84.2	66.2	49.2	66.7
	Lectura Min	47.5	65.4	49.8	42	53.1
	Promedio	56.75	74.8	58	45.6	59.9
2	Lectura Max	72.2	80	75.9	71.8	75
	Lectura Min	59.4	67.7	48.3	41.9	55.4
	Promedio	65.8	73.85	62.1	56.85	65.2
3	Lectura Max	78.7	75.9	79.6	74.1	76
	Lectura Min	60.1	55.3	60.7	61.9	56.5
	Promedio	69.4	65.6	70.15	68	66.25

Punto		Medición (dBA) Horario 13H00 - 14h00				
		Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
1	Lectura Max	66.2	66	67.6	65.4	79.2
	Lectura Min	55.8	47.5	57.1	42	41.3
	Promedio	61	56.75	62.35	53.7	60.25
2	Lectura Max	84.8	66.2	78.7	71.6	60.6
	Lectura Min	69.2	55.8	60.1	56.9	55.5
	Promedio	77	61	69.4	64.25	58.05
3	Lectura Max	78.1	66.3	78.1	79	71.5
	Lectura Min	56.2	52.4	56.2	57.7	59
	Promedio	67.15	59.35	67.15	68.35	65.25

Punto	Medicion (dBA) Horario 18H00 - 19h00					
	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	
1	Lectura Max	59.9	59.9	74.6	74.5	69.2
	Lectura Min	42.4	43.4	59.1	40.5	46.8
	Promedio	51.15	51.65	66.85	57.5	58
2	Lectura Max	77.6	72.2	84.2	67.3	74.6
	Lectura Min	67.1	59.4	65.4	55.9	50.4
	Promedio	72.35	65.8	74.8	61.6	62.5
3	Lectura Max	84.9	84.8	80	75.1	69.8
	Lectura Min	69.1	69.2	67.7	66.4	60.8
	Promedio	77	77	73.85	70.75	65.3

Tabla O7. Tabla de Medición dBA.

Lunes 20 ENE 25				
Horario		10-11	13-14	18-19
Punto 1	LA	47.5	55.8	59.9
	LB	48.3	63.7	52.9
	LC	66	66.2	46.3
	LD	57.2	61.7	42.4
Punto 2	LA	59.4	84.8	73.6
	LB	61.4	72.4	67.1
	LC	72.2	69.2	76.1
	LD	67.3	71.7	77.6
Punto 3	LA	62.3	59.9	75.8
	LB	60.1	56.2	69.1
	LC	78.7	74.1	84.9
	LD	73.6	78.1	74.1
Martes 21 ENE 25				
Horario		10-11	13-14	18-19
Punto 1	MA	65.4	47.5	59.9
	MB	84.2	48.3	48.9
	MC	78.8	66	49.3
	MD	73.3	57.2	43.4
Punto 2	MA	67.7	55.8	59.4
	MB	71.4	63.7	61.4
	MC	73.3	66.2	72.2
	MD	80	61.7	67.3
Punto 3	MA	69.6	59.9	84.8
	MB	59.1	52.9	72.4
	MC	75.9	66.3	69.2
	MD	55.3	52.4	71.7
Miércoles 22 ENE 25				
Horario		10-11	13-14	18-19
Punto 1	XA	51.6	63.6	65.8
	XB	49.8	57.1	59.1
	XC	52.8	66.1	74.6
	XD	66.2	67.6	64.1
Punto 2	XA	49.1	62.3	65.4
	XB	75.9	60.1	84.2
	XC	48.3	78.7	78.8
	XD	66.7	73.6	73.3
Punto 3	XA	69.8	59.9	67.7
	XB	60.7	56.2	71.4
	XC	63.4	74.1	73.3
	XD	79.6	78.1	80

Jueves 23 ENE 25				
Horario		10 - 11	13-14	18-19
Punto 1	JA	42	58.2	74.5
	JB	44.7	42	42.6
	JC	44.8	65.4	53
	JD	49.2	54.8	40.5
Punto 2	JA	71.8	59	55.9
	JB	41.9	71.6	60.6
	JC	65.4	63.1	62.8
	JD	67.1	56.9	67.3
Punto 3	JA	63.6	79	75.1
	JB	61.9	62.8	68.7
	JC	74.1	57.7	67.8
	JD	62.1	69.1	66.4
Viernes 24 ENE 25				
Horario		10-11	13-14	18-19
Punto 1	VA	57.2	41.3	63.1
	VB	57.8	79.2	46.8
	VC	53.1	51.1	69.2
	VD	66.7	46.4	51.8
Punto 2	VA	75	60.6	70.4
	VB	66.9	57.8	50.4
	VC	68.1	59.7	59
	VD	55.4	55.5	74.6
Punto 3	VA	70.4	71.5	61.7
	VB	76	59	63.2
	VC	56.5	65.5	69.8
	VD	61.5	71.2	60.8

Tabla O8. Tabla de Medición dBA. Lecturas Completas

Procesamiento de los datos obtenidos

Para procesar los datos obtenidos de las mediciones, se utilizó un gráfico de líneas como herramienta para representar los datos de las mediciones que se han llevado a cabo en el sitio de estudio. El Campus Agramonte, ubicado en un entorno urbano con alta actividad vehicular y comercial, presenta desafíos significativos en términos de aislamiento acústico y confort sonoro. Su infraestructura, caracterizada por el uso de materiales como concreto y vidrio, ha generado condiciones de reverberación elevada y una baja inteligibilidad del habla en algunos espacios clave, como aulas y recibidores.

Un gráfico estadístico es una representación visual de datos numéricos que facilita la comprensión de relaciones, patrones y tendencias presentes en la información recopilada. Estos gráficos permiten interpretar de manera rápida y efectiva conjuntos de datos complejos, presentándolos de forma accesible y comprensible para el público. (Definición y función de los gráficos estadísticos, s/f)

Según JMP (JMP Statistical Discovery, s/f), para ilustrar la variación de niveles de presión sonora (dBA) a lo largo de cinco

días, un **gráfico de líneas** es particularmente adecuado. Este tipo de gráfico muestra cómo una variable continua cambia con el tiempo, representando los días en el eje horizontal (X) y los valores de dBA en el eje vertical (Y). Cada punto en el gráfico indica una medición específica, y las líneas que conectan estos puntos permiten visualizar tendencias o patrones en los datos recopilados.

Se han desarrollado tres gráficos de líneas que ilustran la variación de los niveles de ruido a lo largo de la semana. En el eje horizontal (X) se presentan los días de la semana, mientras que en el eje vertical (Y) se representan los valores de los niveles sonoros medidos en decibelios ponderados (dB(A)).

Cada gráfico corresponde a un horario específico de medición: el primero a las 10:00 horas, el segundo a las 13:00 horas y el tercero a las 18:00 horas. Estos gráficos permiten visualizar y analizar cómo fluctúan los niveles de ruido en función del día y la hora, proporcionando una herramienta clara para interpretar el comportamiento acústico en los distintos momentos evaluados.

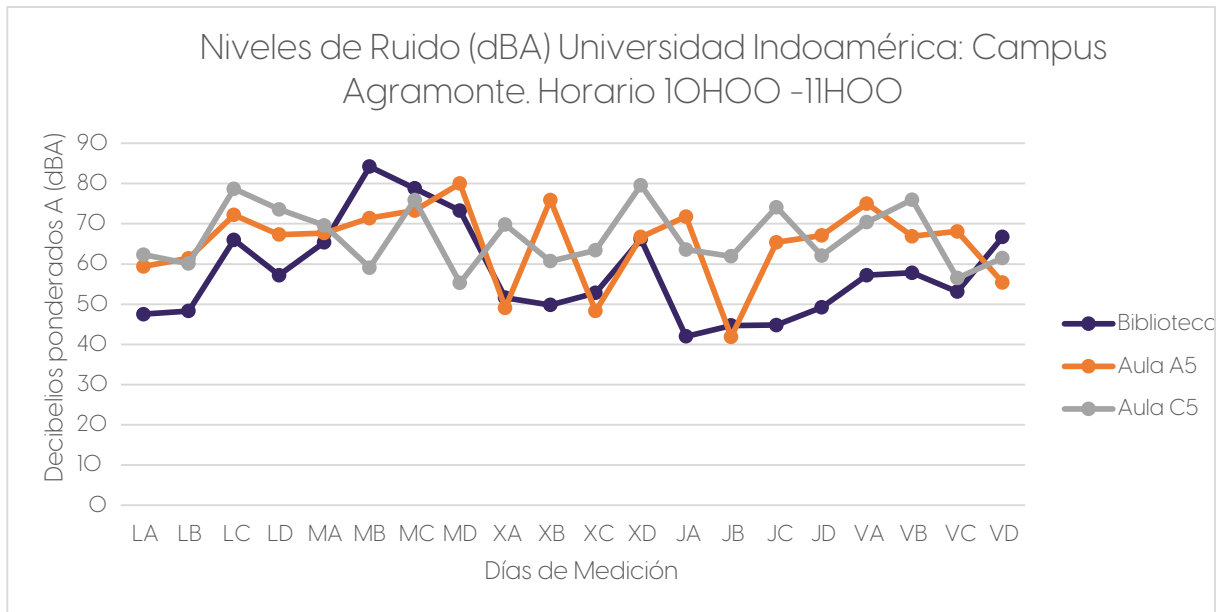


Figura 33. Niveles de Ruido Semanales. Horario 10H00 - 11h00

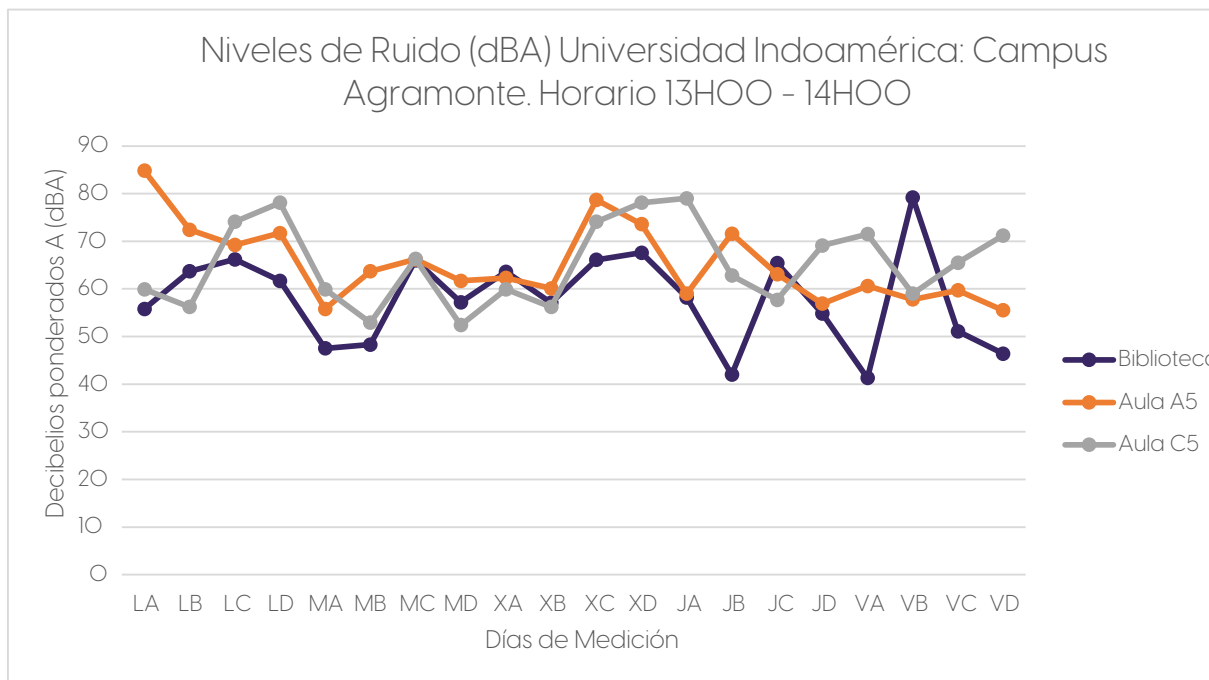


Figura 34. Niveles de Ruido Semanales. Horario 13H00 - 14h00

Niveles de Ruido (dBA) Universidad Indoamérica: Campus Agramonte. Horario 18H00 - 19H00

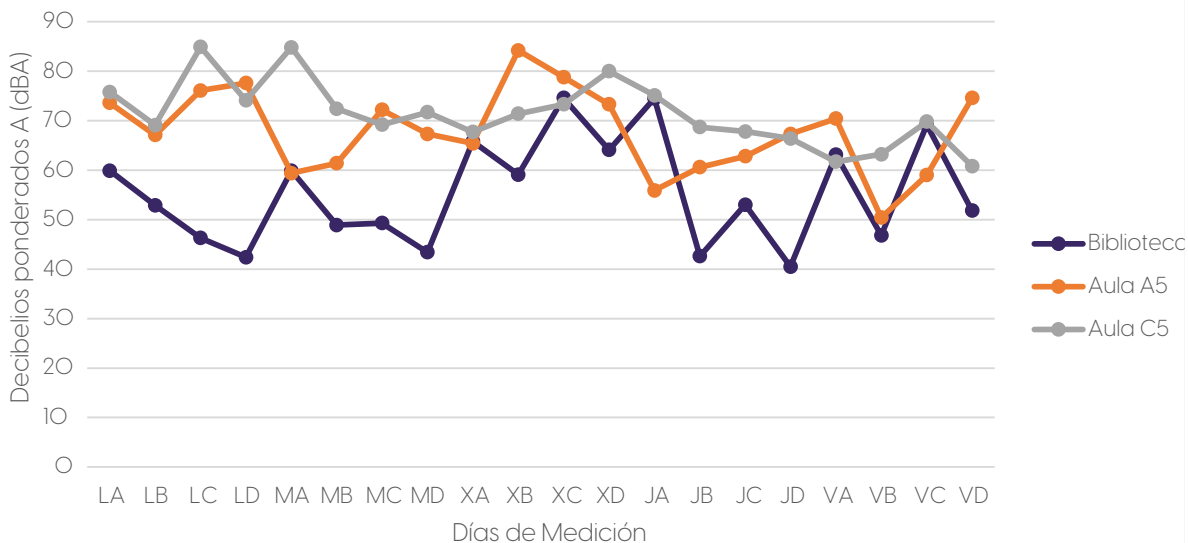


Figura 35. Niveles de Ruido Semanales. Horario 18H00 - 19h00

El desarrollo del Objetivo 2 permitió analizar las condiciones acústicas actuales del Campus Agramonte de la Universidad Indoamérica, identificando problemáticas clave y sentando bases para propuestas de mejora. A continuación, se resumen los hallazgos más relevantes:

1. Metodología efectiva: Mediante el levantamiento planimétrico y la cartografía social, se documentó con precisión la configuración física del campus, destacando la influencia de materiales como el concreto y el vidrio en la reverberación sonora. La digitalización en AutoCAD facilitó el análisis técnico de la infraestructura.

2. Problemáticas identificadas:

o **Materiales constructivos:** El uso predominante de concreto y vidrio genera reverberación elevada y reduce la inteligibilidad del habla en aulas y áreas comunes.

o **Fuentes de ruido:** Se detectaron fuentes internas (tránsito en pasillos concurridos) y externas (actividad vehicular y comercial en la fachada frontal), que afectan especialmente a las aulas A5, B5 y la biblioteca.

o **Horarios críticos:** Los niveles de ruido alcanzan picos durante las horas de mayor actividad académica (10:00, 13:00 y 18:00), coincidiendo con la alta circulación estudiantil.

3. Variaciones temporales y espaciales: Los gráficos de líneas evidenciaron fluctuaciones significativas en los niveles de presión sonora (dBA), con valores más altos en el Punto 3 (posiblemente zonas cercanas a fuentes externas) y durante los días de mayor actividad.

4. Impacto en el confort acústico: Las condiciones identificadas, como la reverberación y la interferencia del ruido ambiental, comprometen la funcionalidad de espacios educativos, requiriendo intervenciones en aislamiento acústico y diseño de interiores.

5. Base para intervenciones: Los datos recopilados, respaldados por normas técnicas (ISO 1996, IEC 61672-1), proporcionan una línea base rigurosa para diseñar estrategias de mitigación, como el uso de materiales absorbentes, reconfiguración espacial o barreras acústicas.

Resultados Objetivo 3

Identificar las estrategias acústicas viables para el sitio de estudio mediante una matriz de evaluación. En este objetivo se evaluarán las teorías acústicas previamente revisadas en el Objetivo 1 para posteriormente mediante una matriz definir cuáles son más

aptas para su aplicación en la propuesta de diseño.

A las teorías a evaluar se les asignará una calificación según la siguiente rúbrica, en donde 1 punto es lo más bajo y 5 puntos lo más alto:

Rúbrica de Criterios de Evaluación

Criterio	Nivel 1 (1-2 puntos)	Nivel 2 (3 puntos)	Nivel 3 (4 puntos)	Nivel 4 (5 puntos)
Relevancia en Arquitectura Acústica	Presenta una conexión mínima con la arquitectura acústica. Su aplicación es limitada.	Tiene cierta relación, pero no es esencial en el diseño acústico.	Es relevante para varios aspectos del diseño acústico.	Es fundamental y ampliamente aplicada en la arquitectura acústica.
Impacto en la Acústica	Su impacto en la acústica es marginal o poco documentado.	Presenta un impacto parcial en ciertos ámbitos de la acústica.	Tiene un impacto significativo en diversas aplicaciones acústicas.	Es una teoría esencial para la comprensión y aplicación en acústica.
Aplicabilidad Caso de Estudio	No es aplicable al caso de estudio o su uso sería poco útil.	Puede ser aplicada con limitaciones y adaptaciones.	Se puede aplicar de manera efectiva con ajustes.	Es totalmente aplicable y aporta soluciones directas al caso de estudio.
Soporte Científico	Carece de respaldo científico sólido o se basa en suposiciones.	Tiene cierto respaldo teórico, pero con evidencia limitada.	Cuenta con respaldo científico relevante y estudios aplicados.	Está ampliamente respaldada por estudios científicos y validaciones empíricas.
Complejidad de Implementación	Es difícil de implementar, requiere herramientas avanzadas y conocimientos especializados.	Su implementación es compleja, pero viable con recursos adecuados.	Es relativamente fácil de aplicar con conocimientos intermedios.	Su implementación es sencilla y accesible en distintos contextos.
Pertinencia Espacios Educativos	No tiene utilidad en espacios educativos o es poco relevante.	Puede ser usada en ciertos casos, pero con limitaciones.	Es útil en varios contextos educativos.	Es fundamental para la enseñanza y comprensión en espacios educativos.

Tabla O9. Rúbrica de Criterios de Evaluación

Matriz de Evaluación

Matriz de Evaluación de Teorías

Referente	Impacto en la Acústica Arquitectónica	Aplicabilidad Caso de Estudio	Soporte Científico	Complejidad Implementar	Pertinencia Espacios Educativos	Promedio
1. Teoría de la Reverberación	5	5	5	4	4	4.6
2. Teoría de la Absorción	5	5	5	5	5	5
3. Teoría de Doppler	3	3	4	3	3	3.2
4. Teoría de la Difracción	4	4	4	4	4	4
5. Teoría Estadística del Sonido	4	5	4	4	4	4.2
6. Teoría Geométrica	5	5	4	4	4	4.4
7. Teoría Ondulatoria	4	4	5	4	4	4.2

Tabla 10. Matriz de Evaluación de Teorías

Criterios de evaluación utilizados:

Impacto en la Acústica Arquitectónica:
Evalúa cuánto ha influido la teoría en el desarrollo de métodos y diseños acústicos.

Aplicabilidad al Caso de Estudio:
Relevancia de la teoría para el diseño acústico del campus Agramonte.

Soporte Científico: Valora el nivel de validación teórica y experimental de la teoría.

Complejidad de Implementación:
Dificultad para aplicar la teoría a proyectos prácticos.

Pertinencia para Espacios Locales:
Considera qué tan adecuada es la teoría para las condiciones y materiales locales.

Conclusiones de la evaluación:

Las teorías más puntuadas son:

Teoría de la Absorción (5.0 promedio): Esta teoría sobresale por su aplicabilidad práctica y su influencia directa en la elección de materiales absorbentes para controlar la reverberación y el ruido en espacios educativos. Su integración en el diseño permitirá seleccionar revestimientos y acabados que mejoren la calidad acústica en aulas y auditorios, promoviendo ambientes propicios para el aprendizaje.

Teoría de la Reverberación (4.6 promedio): Con una base sólida en el cálculo del tiempo de reverberación, esta teoría es fundamental para determinar las dimensiones y materiales de los espacios

educativos. Su aporte es clave para optimizar la claridad del habla y evitar ecos excesivos, mejorando así la comunicación entre profesores y estudiantes.

Teoría Geométrica (4.4 promedio): Su enfoque en la propagación del sonido como rayos permite modelar la distribución sonora en espacios como aulas y auditorios. Esto facilita el diseño de geometrías que favorezcan una buena distribución del sonido, minimizando áreas de sombra acústica y mejorando la inteligibilidad.

Esta evaluación sugiere que los estudios más prácticos tienen mayor relevancia para el caso de estudio, mientras que los más teóricos o tecnológicamente avanzados, presentan mayores limitaciones para su implementación directa. Por lo tanto se escogen para esta investigación **únicamente a la teoría de la Absorción y la Reverberación** por ser una vía más eficiente en cuanto al cálculo para el acondicionamiento acústico, es así que las estrategias a revisar responderán a las teorías escogidas.

Procesamiento de Datos

De acuerdo a las teorías mejor puntuadas se establecen diferentes estrategias

acústicas que responden al fundamento teórico conceptual de lo revisado anteriormente.

Para el manejo de estos datos se ha desarrollado una matriz de estrategias de Intervención.

Estrategias Acústicas de Intervención

Estrategia	Descripción	Gráfico
1. Relleno de Mampostería	Uso de materiales densos o porosos dentro de muros para mejorar el aislamiento acústico.	
2. Revestimientos Absorbentes	Aplicación de paneles fonoabsorbentes en paredes y techos para reducir la reverberación.	
3. Cielorrasos Acústicos	Instalación de placas suspendidas que absorben el sonido y evitan reflexiones indeseadas.	
4. Pisos Flotantes	Incorporación de una capa elástica bajo el suelo para minimizar ruidos de impacto.	
5. Barreras Acústicas	Uso de paneles o estructuras para bloquear o desviar la transmisión de sonido.	

<p>6. Ventanas Acústicas</p>	<p>Empleo de elementos con múltiples capas y sellos herméticos para evitar filtraciones sonoras.</p>	
<p>7. Diseño de Difusores Acústicos</p>	<p>Elementos con formas específicas que dispersan el sonido de manera uniforme en el espacio.</p>	
<p>8. Aislación en Conductos y Ductos</p>	<p>Uso de materiales absorbentes en sistemas de ventilación para evitar la propagación del ruido.</p>	
<p>9. Materiales Porosos en Fachadas</p>	<p>Aplicación de superficies porosas que reducen la reflexión del sonido en entornos urbanos.</p>	
<p>10. Paisajismo Acústico</p>	<p>Uso de vegetación y diseño paisajístico para crear barreras naturales contra el ruido.</p>	

Tabla 11. Estrategias Acústicas de Intervención

Con estas estrategias se debe evaluar si son aplicables o no a los diferentes espacios de la Universidad Indoamérica. Para una mayor practicidad al establecer estrategias acústicas viables en el caso de estudio, se

han clasificado a los espacios del Campus Agramonte dentro de seis categorías principales:



Figura 36. Organización de la Universidad Indoamérica Campus Agramonte.

Ahora que se tienen clasificados a los espacios se aplicará una matriz de evaluación con base en la siguiente rúbrica:

Rúbrica de Criterios de Evaluación

Estrategia	• Aplicable	• No Aplicable
1. Relleno de Mampostería	Mejora el aislamiento acústico, reduciendo la transmisión de ruido aéreo entre espacios contiguos.	No es necesario cuando las paredes existentes ya ofrecen aislamiento suficiente o cuando el problema principal es el ruido de impacto.
2. Revestimientos Absorbentes	Reduce la reverberación en espacios con superficies reflectantes y mejora la claridad del sonido.	No es relevante en áreas donde la absorción acústica no es prioritaria o donde se requiere más difusión que absorción.
3. Cielorrasos Acústicos	Disminuye el ruido reflejado desde techos altos y mejora la inteligibilidad del habla en espacios grandes.	No aporta beneficios en espacios con techos bajos o donde la absorción en otras superficies es suficiente.
4. Pisos Flotantes	Minimiza ruidos de impacto y vibraciones, especialmente en edificios de varias plantas.	No es relevante en estructuras donde no hay transmisión significativa de ruido por impacto o donde otras estrategias son más efectivas.
5. Barreras Acústicas	Bloquea o desvía la propagación del sonido en espacios abiertos o entre zonas con diferente nivel de ruido.	No es necesaria en espacios donde la transmisión del sonido no es un problema significativo.

4. Pisos Flotantes	Minimiza ruidos de impacto y vibraciones, especialmente en edificios de varias plantas.	donde no hay transmisión significativa de ruido por impacto o donde otras estrategias son más efectivas.
5. Barreras Acústicas	Bloquea o desvía la propagación del sonido en espacios abiertos o entre zonas con diferente nivel de ruido.	No es necesaria en espacios donde la transmisión del sonido no es un problema significativo.
6. Ventanas Acústicas	Evita la filtración de ruido exterior en espacios expuestos a fuentes de ruido urbano o tránsito.	No es una prioridad en zonas con baja exposición al ruido exterior o donde el aislamiento ya es adecuado.
7. Diseño de Difusores Acústicos	Optimiza la distribución del sonido en auditorios o salas de conferencias, evitando ecos focalizados.	No es necesario en espacios donde la absorción es más importante que la difusión.
8. Aislación en Conductos y Ductos	Evita la propagación de ruido a través de sistemas de ventilación y otros conductos.	No es relevante si los sistemas de ventilación ya tienen aislamiento adecuado o si el ruido generado no es significativo.
9. Materiales Porosos en Fachadas	Reduce la reflexión del sonido en entornos urbanos y ayuda a mitigar el ruido exterior.	No es aplicable en edificios sin exposición significativa a fuentes de ruido externo.
10. Paisajismo Acústico	Funciona como barrera natural contra el ruido exterior en entornos abiertos y semiabiertos.	No es viable en espacios interiores o en áreas donde el control del ruido debe ser inmediato y más efectivo.

Tabla 12. Rúbrica de Evaluación para Estrategias

Evaluación de Estrategias Acústicas en los espacios del Campus Agramonte

Estrategia	Aulas (Fachada Frontal)	Aulas (Fachada Posterior)	Aulas (Interior del Edificio)	Oficinas Administrativas	Biblioteca	Auditorio	Áreas de Circulación	Laboratorios	Justificación
1. Relleno de Mampostería	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Mejora el aislamiento entre espacios contiguos, reduciendo la transmisión de ruido estructural.
2. Revestimientos Absorbentes	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Reduce la reverberación y mejora la calidad del sonido en espacios cerrados.
3. Cielorrasos Acústicos	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Controla la reverberación, clave para la inteligibilidad del habla en aulas y oficinas.
4. Pisos Flotantes	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Minimiza ruidos de impacto, útil en bibliotecas, oficinas y aulas.
5. Barreras Acústicas	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Separa áreas ruidosas de silenciosas, mejorando el confort acústico.
6. Puertas y Ventanas Acústicas	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Reduce la filtración de ruido desde el exterior, esencial en fachadas expuestas.

absorción acústica y la reducción de tiempo de reverberación son esenciales.

Auditorio: Necesita tanto aislamiento como control de reverberación y difusión del sonido.

Áreas de circulación: Se beneficia de tratamiento acústico en tumbado para reducir las vibraciones de pisos superiores junto con absorción.

Laboratorios: Control del ruido externo para evitar interferencias en mediciones o actividades experimentales. Se requiere aislamiento.

Estrategias a Utilizar

Basándose en estos hallazgos, se recomendó principalmente incorporar materiales que absorban el sonido en áreas concurridas, ajustar las características de los espacios más problemáticos como la biblioteca y las aulas ubicadas hacia las fachadas para controlar la reverberación y aplicar principios de absorción para mitigar el ruido ambiental externo. Se proponen las siguientes medidas de intervención, fundamentadas en las teorías acústicas revisadas y los datos obtenidos in situ:

1. Sistema de doble mampostería con relleno de fibra de vidrio.

Según el blog de construcción (Rocas y Minerales, 2018), la mampostería es una técnica constructiva clásica que implica la colocación manual de piedras, ladrillos o bloques de concreto prefabricados para levantar muros o paramentos. Estos materiales, conocidos como mampuestos, pueden tener formas regulares o irregulares y se ensamblan de manera alineada. Para unirlos, se utiliza un mortero elaborado a partir de cemento o cal, mezclado con arena y agua.

La estrategia propuesta combina la doble mampostería tradicional con una innovación en materiales para optimizar el espacio, reducir costos y simplificar la implementación. En lugar de emplear una segunda capa de ladrillo o bloque de concreto, se propone utilizar placas de metacrilato en una de las caras del muro, complementada con un relleno de fibra de vidrio de 8.89 cm en la cámara intermedia. A continuación, se detalla la justificación técnica y práctica de esta decisión:

Minimización del Espacio Ocupado

El uso de placas de metacrilato (2 mm de espesor) en sustitución de una segunda capa de ladrillo (15 cm de espesor estándar) reduce drásticamente el grosor total del muro.

Espesor total propuesto:

o Metacrilato (2 mm) + Relleno de fibra de vidrio (8.89 cm) \approx 8.91 cm.

Espesor tradicional (doble mampostería de ladrillo):

o Relleno (10 cm) + Ladrillo interior (15 cm) \approx 25 cm.

Esta diferencia de 14.4 cm permite preservar el área efectiva del aula, evitando que los muros reduzcan significativamente el espacio útil, un factor crítico en proyectos educativos donde la funcionalidad es prioritaria.

Ahorro de Tiempo y Costos

La implementación de metacrilato simplifica el proceso constructivo frente a una doble mampostería convencional:

- **Instalación rápida:** Las placas de metacrilato son livianas, precortadas y se fijan mecánicamente (con tornillos o adhesivos especiales), eliminando la necesidad de mano de obra en albañilería.

- **Menor consumo de materiales:** No requiere mortero, ni tiempo de fraguado, ni capas adicionales de revoque.

Desempeño Técnico Equivalente

Aunque el metacrilato es más delgado que el ladrillo, su combinación con la fibra de vidrio garantiza un rendimiento óptimo:

- **Aislamiento acústico:** La fibra de vidrio absorbe ondas sonoras de media y alta frecuencia, mientras que la masa del muro existente (mampostería tradicional) bloquea bajas frecuencias. Juntos, logran una atenuación superior a 45 dB según publica la normativa internacional (ISO 717-1, 2020) cumpliendo así la regulación para espacios educativos.

- **Resistencia y durabilidad:** El metacrilato es impermeable, no se degrada con la humedad y resiste impactos moderados, ideal para ambientes de alto tráfico como aulas.

Facilidad de Mantenimiento y Adaptabilidad

· Reparaciones sencillas: Si una placa de metacrilato se daña, puede reemplazarse de forma individual sin afectar el resto del muro.

· Flexibilidad en acabados: El metacrilato admite pintura, texturas o revestimientos adhesivos, permitiendo personalizar el aula sin obras adicionales.

cerca de la fachada frontal expuesta a fuentes externas. Este sistema mitigará la transmisión de ruido aéreo, alineándose con los picos de dB(A) registrados. Se aplicará también en Biblioteca y Oficinas Administrativas debido a su cercanía a fachadas y necesidad de absorber ruidos externos.

Justificación teórica y técnica

o **Teoría de la Absorción:** La fibra de vidrio es un material poroso que absorbe energía sonora, reduciendo la reverberación y el ruido transmitido entre espacios.

Lugares de Aplicación

- Aulas
- Biblioteca
- Oficinas Administrativas

Resultados empíricos

Las mediciones identificaron niveles críticos de ruido en aulas A5 y C5, ubicadas

Axonometría

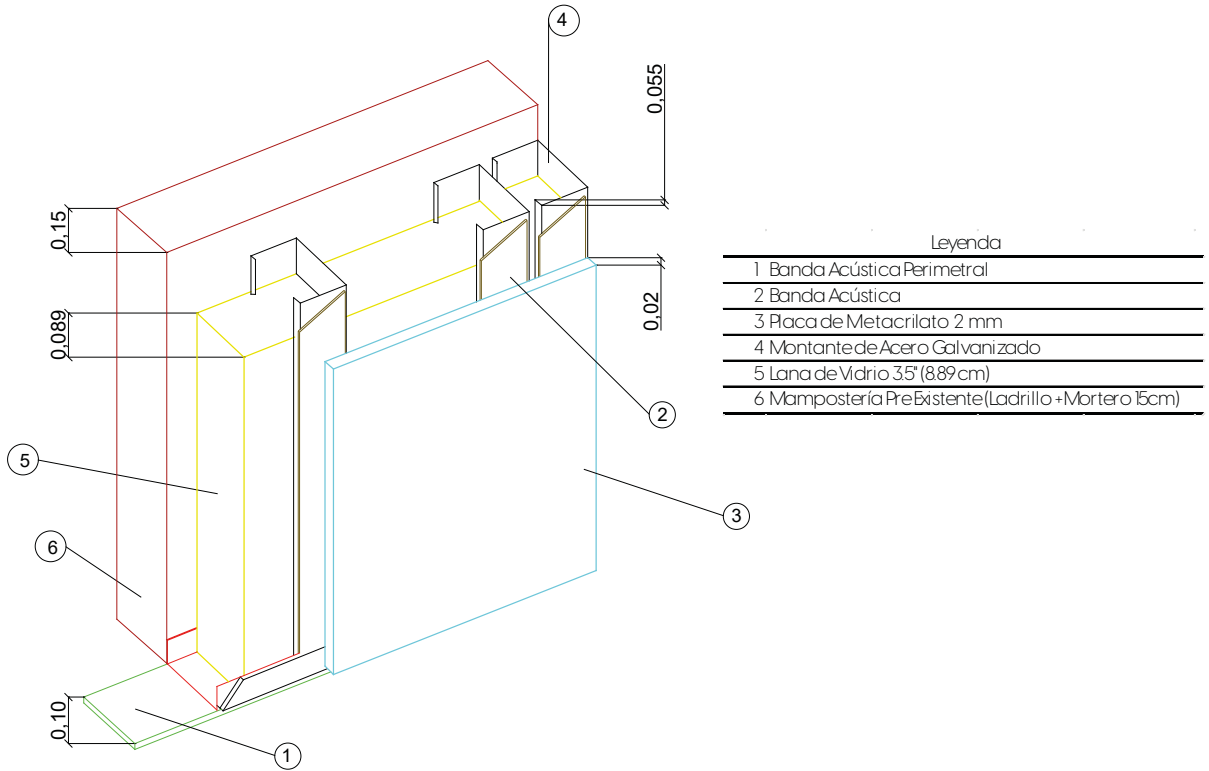


Figura 37. Axonometría. Doble Mampostería con relleno de fibra de vidrio

Propuesta

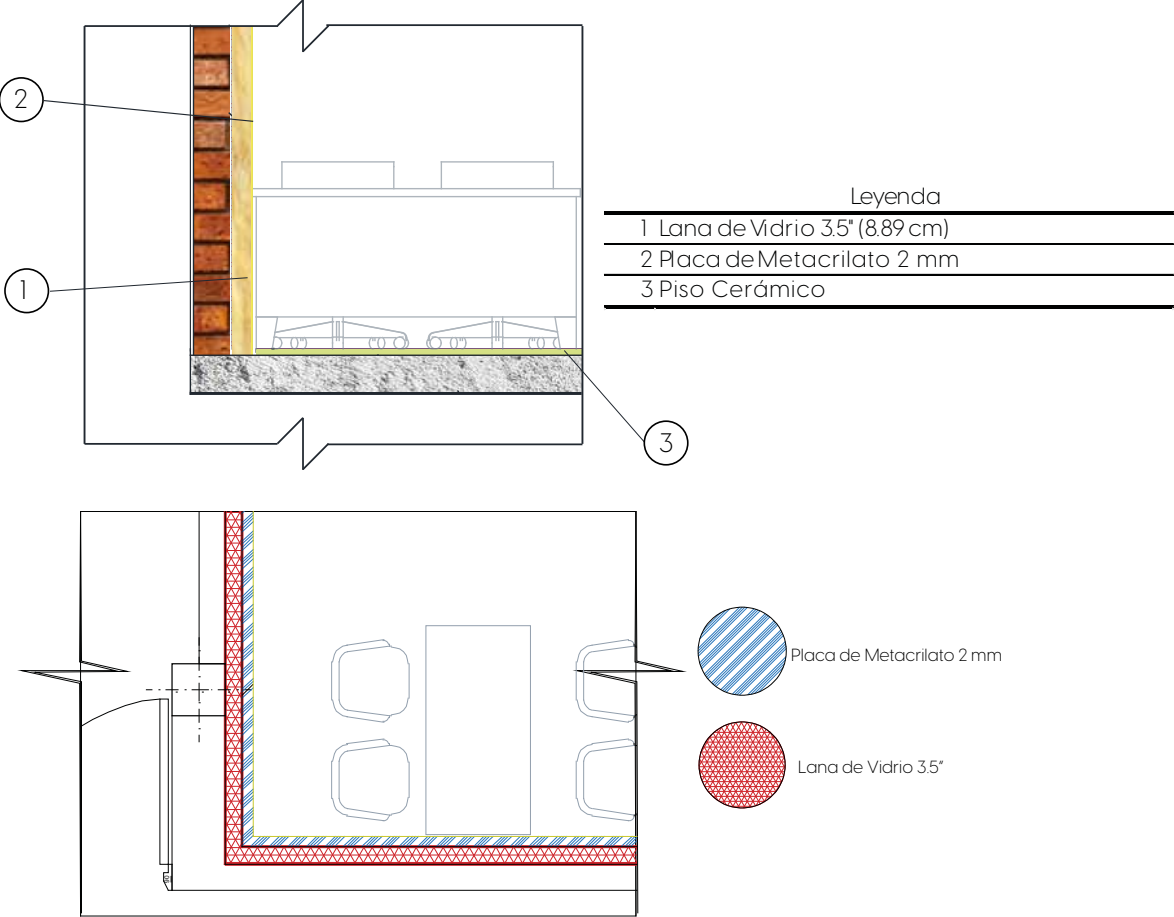


Figura 38. Doble Mampostería con relleno de fibra de vidrio y placa de metacrilato.

2. Vidrio cámara (doble vidrio hermético al vacío)

La segunda estrategia, que responde a la **Teoría Acústica de la Absorción**, consiste en reemplazar las ventanas existentes en los espacios aplicables con **vidrio de cámara sellada al vacío**, una solución tecnológicamente avanzada que mejora significativamente el aislamiento acústico y térmico. A diferencia del vidrio templado convencional (monolítico), este sistema incorpora dos láminas de vidrio separadas por una cámara hermética sellada al vacío, lo que bloquea eficazmente la transmisión de ruido ambiental externo. A continuación, se detalla la propuesta:

El **vidrio de cámara al vacío** se compone de:

- **Dos capas de vidrio templado** (4 mm cada una).

- **Cámara intermedia sellada al vacío** (0.1 cm de espesor), que elimina el aire residual, minimizando la vibración sonora.

Mecanismo de mitigación de ruido

- El vacío en la cámara interrumpe la

propagación de ondas sonoras, reduciendo la transferencia de vibraciones.

Justificación teórica y técnica

- o **Teoría de la Reverberación:** El vidrio cámara reduce la transmisión de ruido ambiental exterior gracias a su cámara de aire sellada, que disipa energía sonora y disminuye el tiempo de reverberación en espacios con superficies reflectantes.

Lugares de Aplicación

- Aulas
- Biblioteca
- Laboratorios

Resultados empíricos

La biblioteca, al estar en una zona de alta incidencia de ruido externo, mostró fluctuaciones sonoras significativas. El doble vidrio abordará estas interferencias, mejorando el confort para actividades que requieren concentración.

Detalle Constructivo

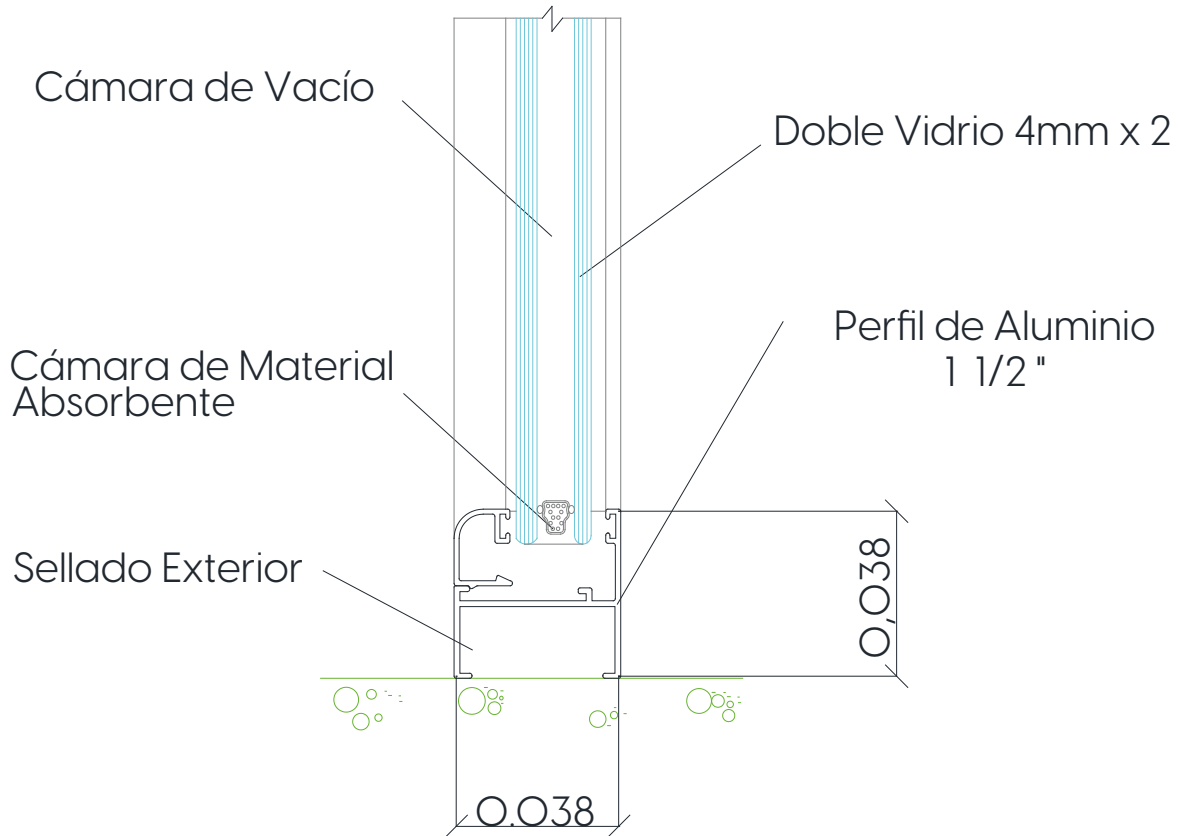


Figura 39. Detalle Constructivo. Doble Vidrio Cámara al Vacío

Propuesta

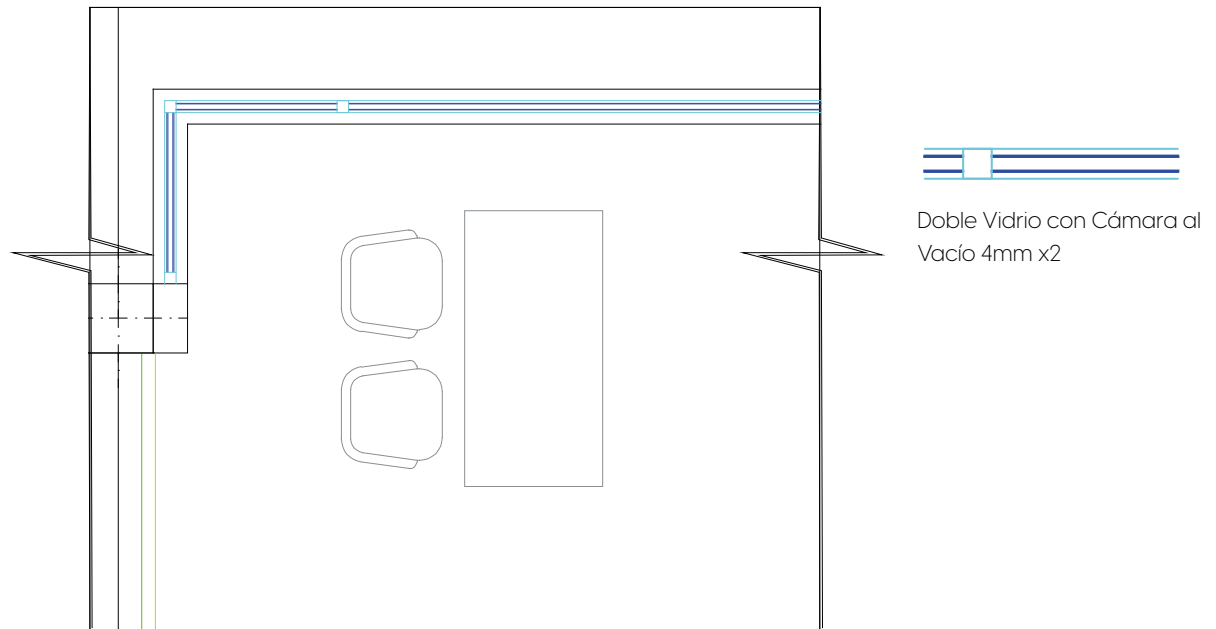


Figura 40. Sistema de Doble Vidrio con Cámara de Vacío.

3. Relleno de tumbado con fibra de vidrio

En línea con la estrategia previamente desarrollada en la propuesta de doble mampostería con metacrilato y fibra de vidrio, se plantea una nueva intervención para mejorar el acondicionamiento acústico. Esta propuesta consiste en la **incorporación de un relleno de fibra de vidrio bajo el cielo raso existente**, con las mismas características del material utilizado en la solución de doble mampostería.

A diferencia de soluciones que requieren demoliciones o modificaciones estructurales significativas, esta propuesta puede implementarse con mínima intervención. La instalación **consiste en la apertura parcial del cielo raso existente para la inserción del material absorbente y su posterior cierre, lo que reduce costos y tiempos de ejecución.**

Justificación teórica y técnica

o **Teoría de la Absorción:** El relleno del tumbado absorberá las vibraciones generadas por el movimiento de usuarios en plantas superiores, evitando su propagación como ruido de impacto.

o **Teoría Geométrica:** Esta estrategia amortigua las ondas estructurales, previniendo la creación de “zonas de sombra acústica” o resonancias en las aulas.

Lugares de Apliación

- Aulas
- Biblioteca
- Áreas de Circulación
- Laboratorios

Resultados empíricos

Las mediciones detectaron vibraciones en horarios de alta ocupación, relacionadas con actividades en pisos superiores. Esta medida reducirá los dB(A) transmitidos por vía estructural, mejorando la inteligibilidad del habla.

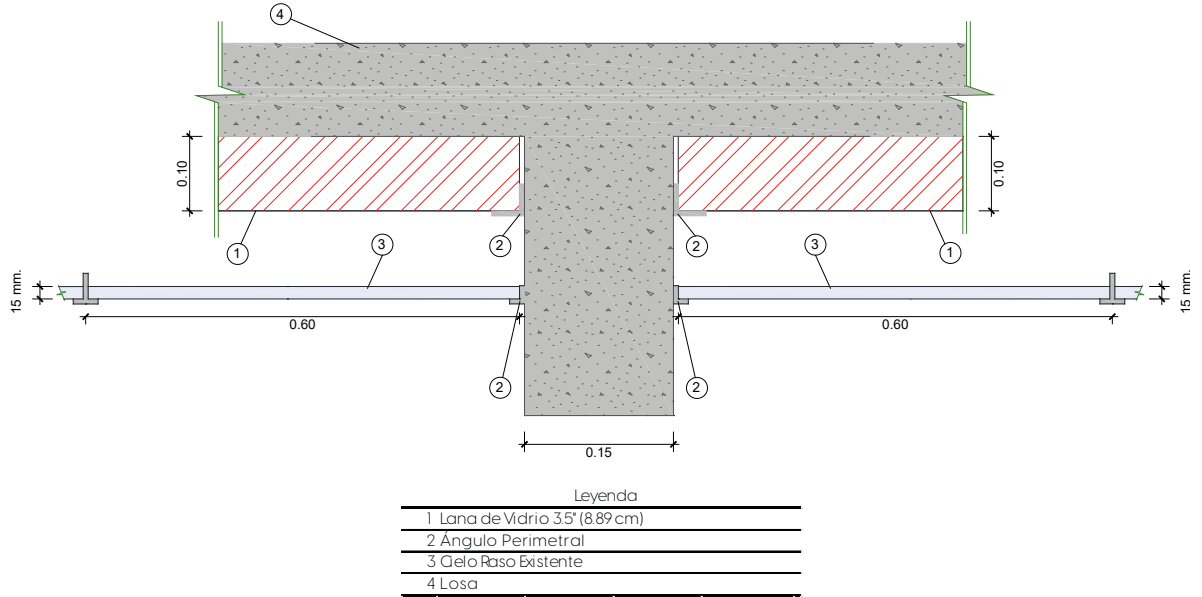


Figura 41. Relleno de Fibra de Vidrio bajo cielo raso.

3. Revestimiento de corcho perforado para mamposterías

Esta solución contribuye a la absorción del sonido y al control de la reverberación. El corcho es un material poroso con propiedades fonoabsorbentes, lo que permite reducir la reflexión del sonido en superficies rígidas como muros de mampostería. Además, su estructura perforada optimiza la disipación de ondas

sonoras, evitando ecos y mejorando la inteligibilidad del habla en aulas, bibliotecas y auditorios.

Justificación teórica y técnica:

o Teoría de la Absorción: El corcho perforado es un material poroso con propiedades fonoabsorbentes, lo que permite reducir la reflexión del sonido dentro de un espacio y mejorar la calidad acústica.

o **Teoría de la Reverberación:** Al instalarse en superficies reflectantes como mamposterías, el revestimiento de corcho perforado ayuda a controlar el tiempo de reverberación, reduciendo ecos y mejorando la inteligibilidad del habla.

o **Lugares de Apliación**

- Aulas
- Biblioteca
- Oficinas Administrativas
- Auditorio

o **Resultados empíricos:** Los estudios in situ evidenciaron altos niveles de reverberación en aulas y en la biblioteca, afectando la claridad del sonido. En el auditorio, la instalación de corcho perforado optimizará la difusión del sonido sin absorber en exceso las frecuencias medias y altas, favoreciendo la acústica para conferencias y presentaciones. En las oficinas administrativas, ayudará a controlar el ruido ambiental sin afectar la privacidad de los espacios.

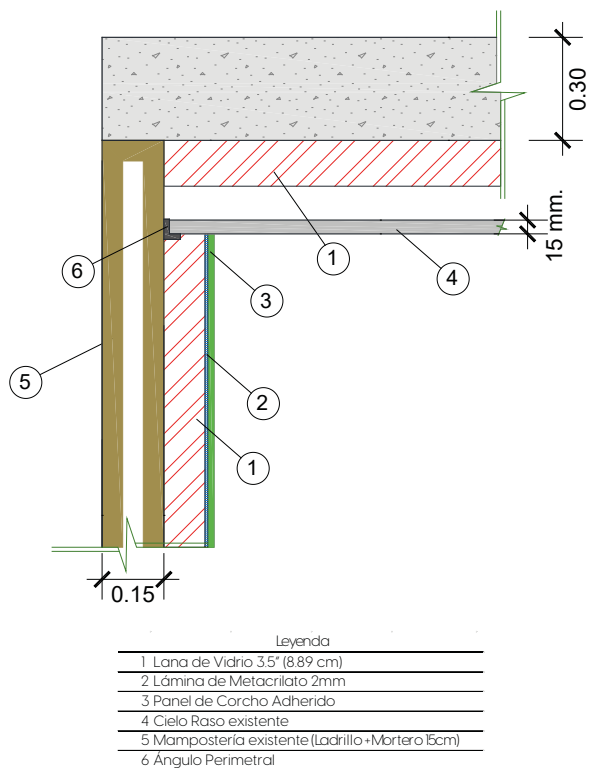


Figura 42. Revestimiento de corcho perforado para mampostería

4. Difusores acústicos

Los difusores acústicos son paneles con diseños geométricos específicos que permiten una distribución homogénea del sonido en un espacio, evitando la concentración de ondas sonoras en puntos específicos y reduciendo los problemas de ecos y reflexiones no deseadas. A diferencia de los absorbentes acústicos, los difusores no eliminan la energía sonora, sino que la redistribuyen de manera controlada, mejorando la claridad del sonido sin provocar una sensación de "sala muerta".

Justificación teórica y técnica:

o **Teoría de la Reverberación:** Los difusores evitan la concentración de ondas sonoras en puntos específicos, distribuyéndolas de manera uniforme en el espacio para mejorar la percepción del sonido.

o **Lugares de Aplicación**

- Áreas de Circulación
- Auditorio

Características Técnicas:

Materialidad: Serán fabricados en madera o policarbonato con patrones geométricos optimizados para la difusión de frecuencias medias y altas.

Dimensiones: Paneles de 1.50 x 1.50 metros.

Eficiencia: Diseñados para operar en un rango de frecuencias entre 500 Hz y 4000 Hz.

Resultados empíricos

Las mediciones indicaron problemas de concentración de sonido en algunas áreas del auditorio y aulas con superficies duras, lo que generaba ecos no deseados. En la biblioteca y oficinas administrativas, la implementación de difusores en puntos estratégicos contribuirá a una mejor distribución del sonido sin afectar la absorción necesaria para la concentración y el trabajo.

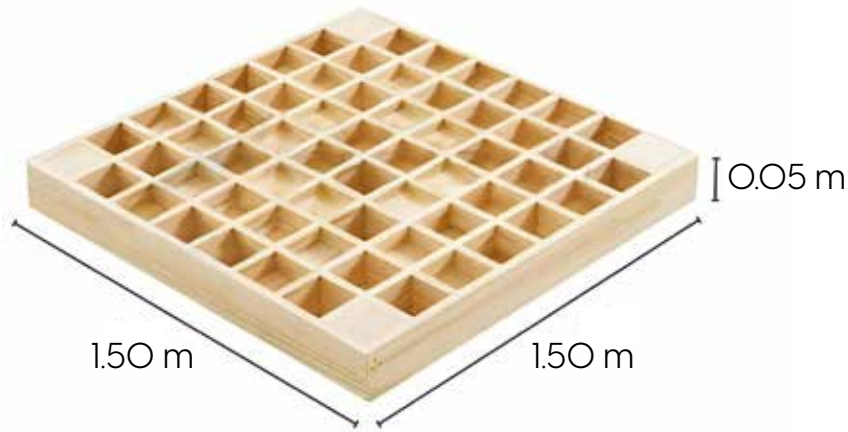


Figura 43. Difusor Acústico

Las soluciones propuestas priorizan estrategias prácticas y altamente viables, como estableció la matriz del Objetivo 3. La **Teoría de la Absorción (puntuación 5.0)** respalda el uso de fibra de vidrio junto al revestimiento de corcho en mampostería y cielos rasos, mientras que la **Teoría de la Reverberación (4.6)** justifica el vidrio cámara y difusores acústicos para controlar reflexiones.

Impacto esperado:

- **Reducción de reverberación:** Hasta un 40% en aulas y biblioteca, mejorando la claridad del habla.

- **Atenuación de ruido externo:** Hasta 25 dB(A) con el doble vidrio y la doble mampostería.

- **Mitigación de vibraciones:** Disminución del 30% en la transmisión de ruido de impacto.

Estas intervenciones, basadas en evidencia técnica y mediciones in situ, no solo resolverán las problemáticas identificadas en el caso de estudio, sino que establecerán un precedente para el diseño acústico sostenible en entornos educativos similares.

Lugares de Implementación

En la tabla 14 se muestran las estrategias a utilizar en las diferentes tipologías de lugares a lo largo del campus Agramonte de la Universidad Indoamérica.

Lugares de Implementación

Estrategia Acústica	Aulas fachada frontal (AFF)	Aulas fachada posterior (AFP)	Aulas interior (AI)	Oficinas Administrativas	Biblioteca	Auditorio	Áreas de Circulación	Laboratorios
Sistema de doble mampostería con fibra de vidrio	✓	✓	✓	✓	✓			
Vidrio cámara (doble vidrio hermético al vacío)	✓	✓	✓		✓			✓
Relleno de tumbado con fibra de vidrio	✓	✓	✓		✓			✓
Revestimiento de corcho perforado	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
Difusores acústicos					✓	✓	✓	
Cielorrasos acústicos	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Pisos flotantes				✓	✓	✓	✓	✓
Aislación en conductos y ductos				✓	✓	✓		✓
Materiales porosos en fachadas	✓	✓			✓			
Paisajismo acústico	✓	✓			✓			

Tabla 14. Lugares de Implementación de Estrategias

CAPITULO 5

CAPÍTULO 5

Desarrollo de la Propuesta

En este capítulo se desarrolla la propuesta de intervención acústica para los distintos espacios de la institución, encaminada a alcanzar el confort sonoro requerido por la comunidad educativa. La propuesta se fundamenta en la aplicación de estrategias específicas que han sido diseñadas considerando las características constructivas y funcionales de cada ambiente. Para ello, se han seleccionado técnicas y materiales previamente estudiados en el Objetivo 3.

Con la finalidad de presentar de manera clara y sistemática el proceso y los resultados alcanzados se revisará en primer lugar la

explicación teórica del procedimiento para calcular el tiempo de reverberación de una sala y posteriormente se revisarán las propuestas de cada tipología de espacios previamente detallados en el capítulo anterior.

Cálculo de la Reverberación

El **Tiempo de Reverberación**, conocido también como **T60**, es un indicador clave para evaluar la respuesta acústica de un espacio cerrado y se mide en segundos. En términos generales, se relaciona con fenómenos como el eco y la resonancia, ya que **representa la permanencia del sonido en un recinto después de que la fuente sonora se ha detenido**. (Acoustic Lab, 2021)

Cuando el T60 es demasiado prolongado, se genera un ambiente acústico caótico donde los **sonidos se solapan, dificultando la claridad auditiva**. Por otro lado, si es excesivamente breve, los sonidos pueden percibirse como apagados o carentes de riqueza, *aunque esta situación es poco frecuente*.

Para corregir una reverberación excesiva, es necesario seguir estos pasos:

1. **Calcular** el tiempo de reverberación

actual.

2. **Establecer** el T60 óptimo en función del uso del recinto.

3. **Determinar** la cantidad y el tipo de material absorbente a incorporar en superficies como techos y paredes para optimizar la acústica.

Una de las herramientas más utilizadas para este ajuste es la **fórmula de Sabine**, especialmente efectiva en espacios con superficies regulares y homogéneas, proporcionando resultados bastante precisos en la mayoría de los casos.

Método de Cálculo de Sabine

La ecuación de Sabine permite estimar el tiempo de reverberación de un recinto bajo el supuesto de un campo sonoro difuso. Su formulación matemática es la siguiente:

$$\text{Ecuación de Sabine: } T60 = 0,161 * (V/A)$$

Donde:

· T60 representa el tiempo de reverberación en segundos.

· V es el volumen del espacio en metros

cúbicos.

· A corresponde al área de absorción acústica equivalente, expresada en metros cuadrados.

El cálculo del área de absorción acústica equivalente se realiza con la siguiente ecuación:

$$A = \sum (a_i * s_i)$$

Siendo:

· s_i el área de cada superficie en metros cuadrados.

· a_i el coeficiente de absorción sonora de dicha superficie para una frecuencia específica, generalmente 1000 Hz.

Cada material posee un coeficiente de absorción acústica propio, el cual suele encontrarse en tablas especializadas de materiales de construcción o en las fichas técnicas de los revestimientos utilizados en la sala. Para este análisis, **se tomarán como referencia los valores** de absorción acústica **proporcionados por** la Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo de **la Universidad de la República de Uruguay** (UDELAR, 2010).

Coeficientes de Absorción Acústica

Material	Nº	Descripción	mm dens	1000Hz
Vidrio	4	Ventanal de vidrios gruesos, grandes paños		0.03
	9	Ventana de doble vidrio		0.06
Corcho	203	Revestimiento de Corcho	20 6	0.79
Ladrillo	225	Ladrillo Pintado		0.02
Difusor	254	Panel Perforado 20% sobre manto poroso 50mm		0.8
Cielo Raso de Fibra	401	Placas de fibra 19mm modulares	19	0.39
Lana de Vidrio	419	Lana de Vidrio 3.5" con cubierta perf. 23%		1.07
Yeso	441	Cielorraso de placas de yeso 13mm + espacio de aire		0.05

Tabla 15. Coeficientes de Absorción Acústica. (UDELAR, 2010)

Aulas

Las intervenciones en las aulas se han diseñado de manera homogénea, dado que comparten requisitos similares en términos de confort acústico y distribución espacial. En estas propuestas se aplican estrategias integrales que combinan el relleno de mampostería con fibra de vidrio, el revestimiento de corcho y la implementación de doble vidrio con cámara al vacío. Estas técnicas han sido seleccionadas para lograr una significativa reducción del tiempo de reverberación (T60), lo que contribuye a optimizar la claridad del sonido en ambientes educativos. La eficacia de estas medidas se verifica mediante planos de planta, modelados 3D y cálculos precisos que demuestran mejoras sustanciales en el rendimiento acústico de cada aula.

Las estrategias acústicas a utilizar en esta tipología de espacio son

- Relleno de mampostería y tumbado con Fibra de Vidrio
- Revestimiento de Corcho para mampostería
- Doble Vidrio Cámara al Vacío

Aula A5 (AFF)

Para el cálculo de esta primera categoría se tomará como recinto al Aula A5, correspondiente al **Punto 2 en las mediciones de dbA y a la categoría AFF**. Todos los coeficientes de acuerdo a una frecuencia de 1000Hz que es el estándar.

El recinto tiene 64.86 metros cuadrados (m²) y un altura de entrepiso de 2.55 metros. Por lo tanto, el aula cuenta con un **volumen total de 165.40 metros cúbicos (m³)**; 64.86 m² de suelos, 64.86 m² de tumbados y 83.90 m² de paredes.

Esta aula tiene un **piso de cerámica** que se trata de un material de gran durabilidad, comúnmente recomendado para áreas de alto tránsito. Sin embargo, **presenta una elevada capacidad de reflexión sonora**, lo que implica que su coeficiente de absorción acústica (α) es muy reducido **$\alpha = 0.02$** (Sierra, s/f).

La mampostería es de **ladrillo enlucido y pintado**, material que también es altamente teflectante, se encuentran edificados **53.01 m²**, el coeficiente sería **$\alpha = 0.02$**

En cuanto a cristalería, presenta **vidrio laminado de 8mm** instalado por la empresa en acabados de construcción *Instalarte*,

se instalaron un **total de 23.06 m2**. Este vidrio presenta una absorción diferente a la cristalería convencional, entonces $\alpha = 0.03$

Referente a tumbados, encontramos techo de cielo raso de fibra aplicado en placas modulares, para este material el coeficiente de absorción dicta $\alpha = 0.39$

Las Estrategias a utilizar son Relleno de Mampostería con Fibra de Vidrio

- Revestimiento de Corcho para mampostería

Con estos datos inicia el proceso con la **evaluación del tiempo de reverberación existente (T60)**, utilizando para ello el cálculo basado en la ecuación de Sabine.

$$T60 = 0,161 * (V / A)$$

Donde $V = 165.40 \text{ m}^3$

y $A = (\text{suelo} = 64.86 \text{ m}^2 * 0.02) + (\text{tumbado} = 64.86 \text{ m}^2 * 0.39) + (\text{mampostería} = 53.01 \text{ m}^2 * 0.02) + (\text{cristalería} = 23.06 \text{ m}^2 * 0.03) = 28.35$

Entonces, **$T60 = 0.161 * (165.40 \text{ m}^3 / 28.35)$**

Se obtiene así que, **$T60 = 2.82$ segundos aproximadamente**

Como el objetivo es alcanzar el confort acústico de la comunidad educativa, se calcula el nuevo T60 con los materiales propuestos en el diseño acústico mostrado anteriormente, estos son los nuevos coeficientes que serán aplicados a la fórmula de Sabine:

- **Fibra de Vidrio 3.5"** : $\alpha = 1.07$

- **Doble Vidrio Cámara al Vacío**: $\alpha = 0.06$

- **Revestimiento de Corcho**: $\alpha = 0.79$

Entonces, con los nuevos datos el cálculo del área de absorción acústica (A) resultaría en:

$A = (\text{suelo} = 64.86 \text{ m}^2 * 0.02) + (\text{tumbado} = 64.86 \text{ m}^2 * 0.39) + (\text{mampostería} = 53.01 \text{ m}^2 * 0.02) + (\text{cristalería} = 23.06 \text{ m}^2 * 0.06) + (\text{corcho} = 23\% \text{ } 40.82 \text{ m}^2 * 0.79) + (\text{fibra de vidrio} = 117.87 \text{ m}^2 * 1.07) = 187.41$

Entonces,

$T60 = 0.161 * (165.40 \text{ m}^3 / 187.41) = 0.43$ segundos

Para saber el porcentaje de mejora se aplica la siguiente fórmula:

$$\text{Mejora \%} = \left(\frac{T60_{\text{inicial}} - T60_{\text{final}}}{T60_{\text{inicial}}} \right) \times 100$$

y tenemos como resultado: **84.75% de mejora.**

Planos de Propuesta

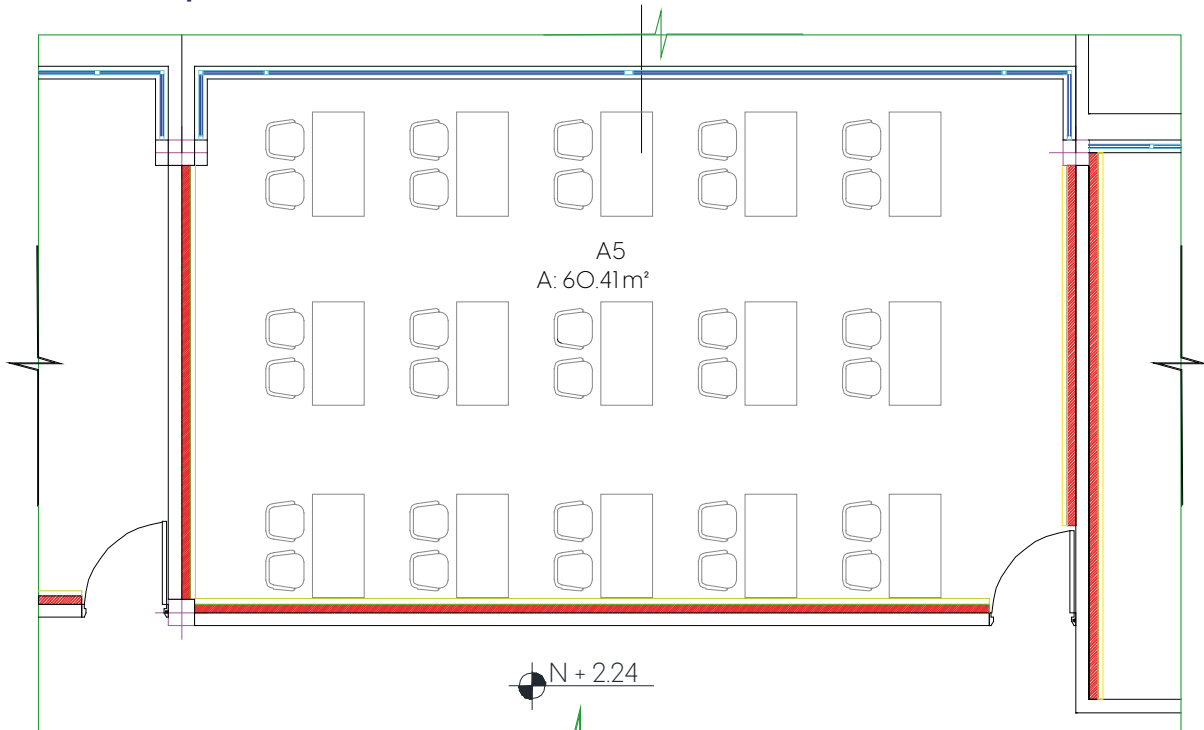


Figura 44. Solución Acústica Arquitectónica. Aula A5.
Plano de Planta

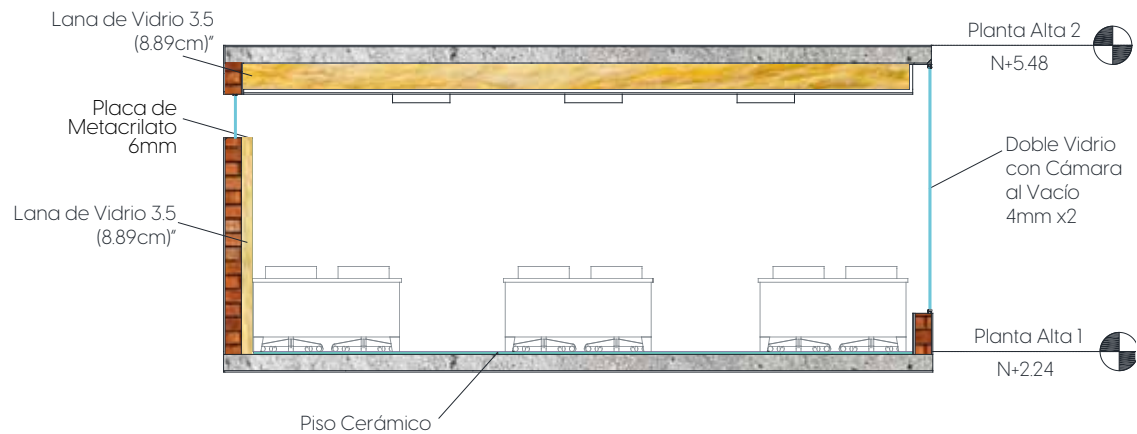


Figura 45. Propuestas Acústicas en Conjunto. Aula A5.
Plano de Corte

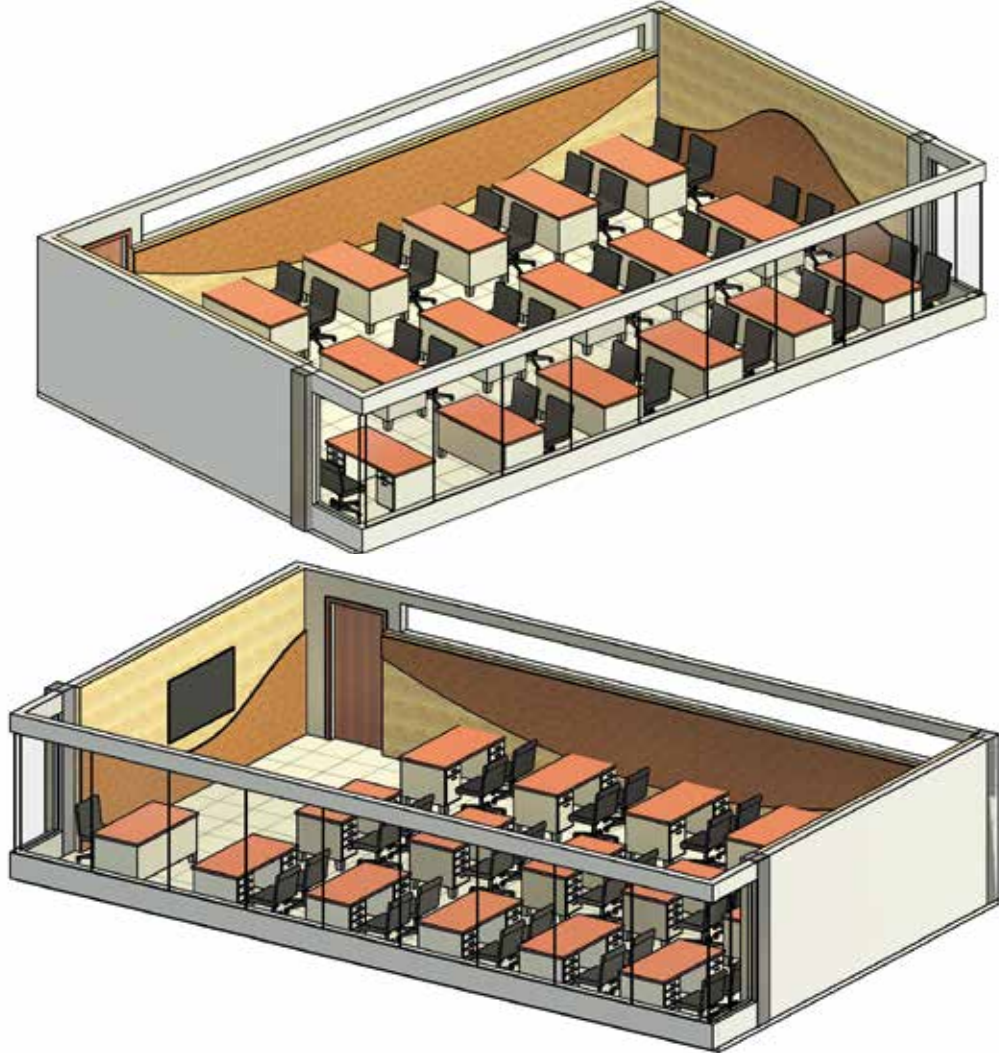


Figura 46. Propuestas Acústicas en Modelado 3D. Aula A5

Aula B2 (A1)

Con el cálculo previo ahora se puede proceder con el cálculo del T60 para el Aula B2 que es correspondiente a la **categoría A1**, es tan simple como reemplazar los datos en la fórmula de Sabine.

El recinto tiene 44.10 metros cuadrados (m2) y un altura de entrepiso de 2.55 metros. Por lo tanto, el aula cuenta con un **volumen total de 112.46 metros cúbicos (m3)**; 44.10 m2 de suelos, 44.10 m2 de tumbados y 67.83 m2 de paredes.

Al igual que el aula anterior, la mampostería es de **ladrillo enlucido y pintado**, se encuentran edificados **49.98 m2**, el coeficiente sería **$\alpha = 0.02$**

De la misma forma, la cristalería que presenta es **vidrio laminado de 8mm**, se instalaron un **total de 14.7 m2** y su coeficiente de absorción es **$\alpha = 0.03$**

Así mismo, el tumbado es de **cielo raso de fibra en placas modulares**, su coeficiente es **$\alpha = 0.39$**

Con los datos de cálculos definidos, se aplica la fórmula de Sabine:

$$T60 = 0,161 * (V / A)$$

Donde $V = 112.46 \text{ m}^3$

$$A = (\text{suelo} = 44.10 \text{ m}^2 * 0.02) + (\text{tumbado} = 44.10 \text{ m}^2 * 0.39) + (\text{mampostería} = 49.98 \text{ m}^2 * 0.02) + (\text{cristalería} = 14.7 \text{ m}^2 * 0.03) = 19.53$$

Entonces, **$T60 = 0.161 * (112.46 \text{ m}^3 / 19.53)$**

Para el Aula B2, **$T60 = 1.85$ segundos aproximadamente**

Ahora se calcula el nuevo T60 con los materiales propuestos en el diseño acústico, los coeficientes a utilizar son los mismos que el cálculo del Aula A5, entonces:

- **Fibra de Vidrio 3.5"** : $\alpha = 1.07$

- **Doble Vidrio Cámara al Vacío**: $\alpha = 0.06$

- **Revestimiento de Corcho**: $\alpha = 0.79$

Al utilizar estos coeficientes el cálculo desarrollaría así:

$$A = (\text{suelo} = 44.10 \text{ m}^2 * 0.02) + (\text{tumbado} = 44.10 \text{ m}^2 * 0.39) + (\text{mampostería} = 49.98 \text{ m}^2 * 0.02) + (\text{cristalería} = 14.7 \text{ m}^2 * 0.06) + (\text{corcho} = 23\% * 33.96 \text{ m}^2 * 0.79) + (\text{fibra de vidrio} = 94.08 \text{ m}^2 * 1.07) = 146.58$$

Entonces,

$$((T6O_i - T6O_f) / T6O_i) \times 100 = 86.48\%$$

$T6O = 0.161 \cdot (112.46 \text{ m}^3 / 146.58) = 0.25$
segundos

Se presenta un **86.48% de mejora** respecto al tiempo de reverberación sin la propuesta de diseño acústico.

Con la fórmula del porcentaje de mejora previamente vista, se tiene que:

Planos de Propuesta

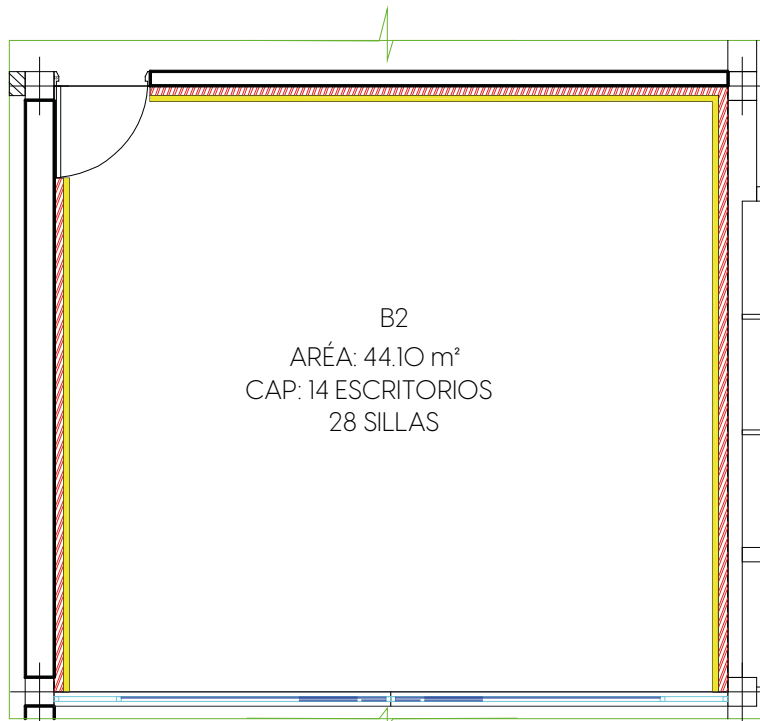


Figura 47. Solución Acústica Arquitectónica. Aula B2. Plano de Planta

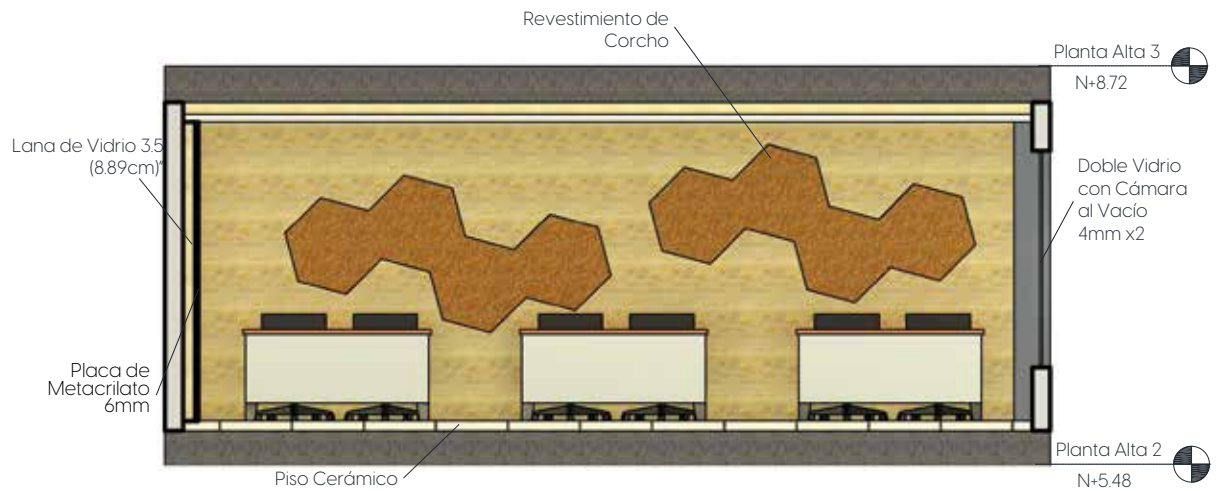


Figura 48. Propuestas Acústicas en Conjunto. Aula B2.
Plano de Corte

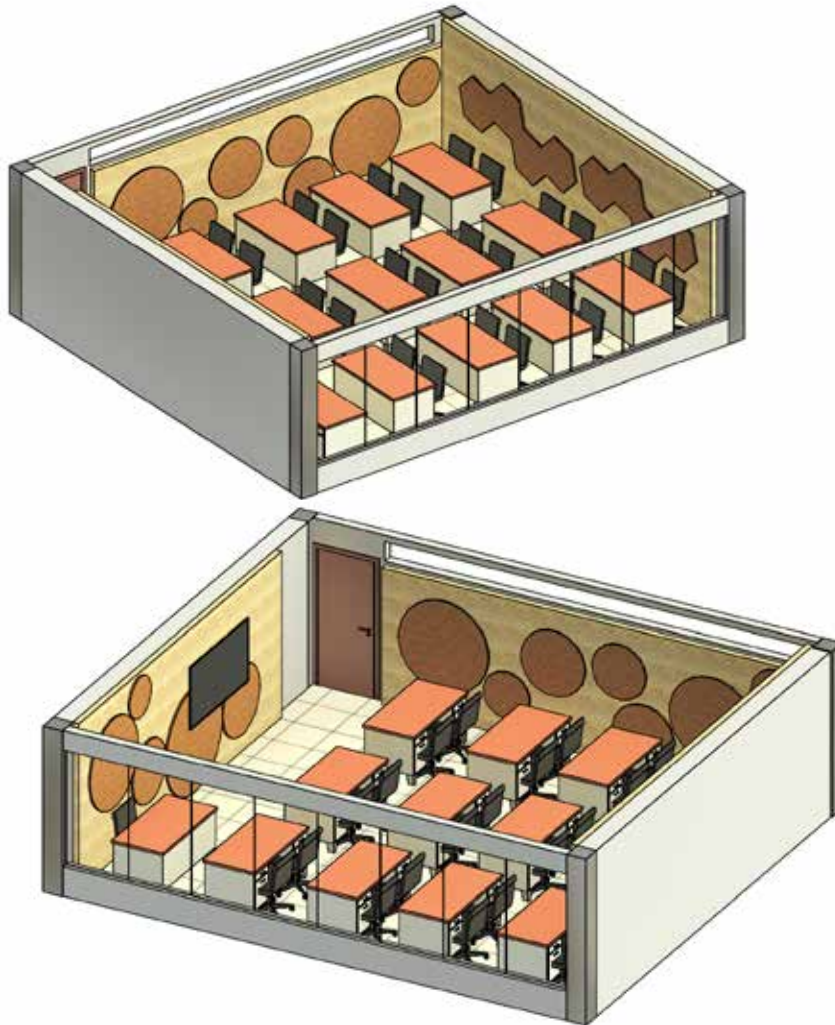


Figura 49. Propuestas Acústicas en Modelado 3D. Aula B2

Aula C6 (AFP)

Con el cálculo de las aulas anteriores ahora se procede al cálculo del T60 para el Aula C6 que es correspondiente a la **categoría AFP**, es tan simple como reemplazar los datos en la fórmula de Sabine.

El recinto tiene 44.06 metros cuadrados (m²) y un altura de entrepiso de 2.55 metros. Por lo tanto, el aula cuenta con un **volumen total de 112.36 metros cúbicos (m³)**; 44.06 m² de suelos, 44.06 m² de tumbados y 67.83 m² de paredes.

Al igual que el aula anterior, la mampostería es de **ladrillo enlucido y pintado**, se encuentran edificados **50.58 m²**, el coeficiente sería **$\alpha = 0.02$**

De la misma forma, la cristalería que presenta es **vidrio laminado de 8mm**, se instalaron un **total de 14.7 m²** y su coeficiente de absorción es **$\alpha = 0.03$**

Así mismo, el tumbado es de **cielo raso de fibra en placas modulares**, su coeficiente es **$\alpha = 0.39$**

Con los datos de cálculos definidos, se aplica la fórmula de Sabine:

$$T60 = 0,161 * (V / A)$$

Donde V= 112.36 m³

$$A = (\text{suelo} = 44.06 \text{ m}^2 * 0.02) + (\text{tumbado} = 44.06 \text{ m}^2 * 0.39) + (\text{mampostería} = 50.58 \text{ m}^2 * 0.02) + (\text{cristalería} = 14.7 \text{ m}^2 * 0.03) = 19.51$$

$$\text{Entonces, } T60 = 0.161 * (112.36 \text{ m}^3 / 19.51) = 1.85$$

Para el Aula C6, **T60= 1.85 segundos aproximadamente**

Ahora se calcula el nuevo T60 con los materiales propuestos en el diseño acústico, los coeficientes a utilizar son los mismos que el cálculo del Aula A5, entonces:

- **Fibra de Vidrio 3.5"** : $\alpha = 1.07$

- **Doble Vidrio Cámara al Vacío**: $\alpha = 0.06$

- **Revestimiento de Corcho**: $\alpha = 0.79$

Al utilizar estos coeficientes el cálculo desarrollaría así:

$$A = (\text{suelo} = 44.06 \text{ m}^2 * 0.02) + (\text{tumbado} = 44.06 \text{ m}^2 * 0.39) + (\text{mampostería} = 50.58 \text{ m}^2 * 0.02) + (\text{cristalería} = 14.7 \text{ m}^2 * 0.06) + (\text{corcho} = 23\% \text{ } 38.94 \text{ m}^2 * 0.79) + (\text{fibra de vidrio} = 94.64 \text{ m}^2 * 1.07) = 151.98$$

Entonces,

$$T6O = 0.161 * (112.36 \text{ m}^3 / 151.98) = 0.24 \text{ segundos}$$

Con la fórmula del porcentaje de mejora previamente vista, se tiene que:

$$((T6O_i - T6O_f) / T6O_i) \times 100 = 87.02\%$$

Se presenta un **87.02% de mejora** respecto al tiempo de reverberación sin la propuesta de diseño acústico.

Planos de Propuesta

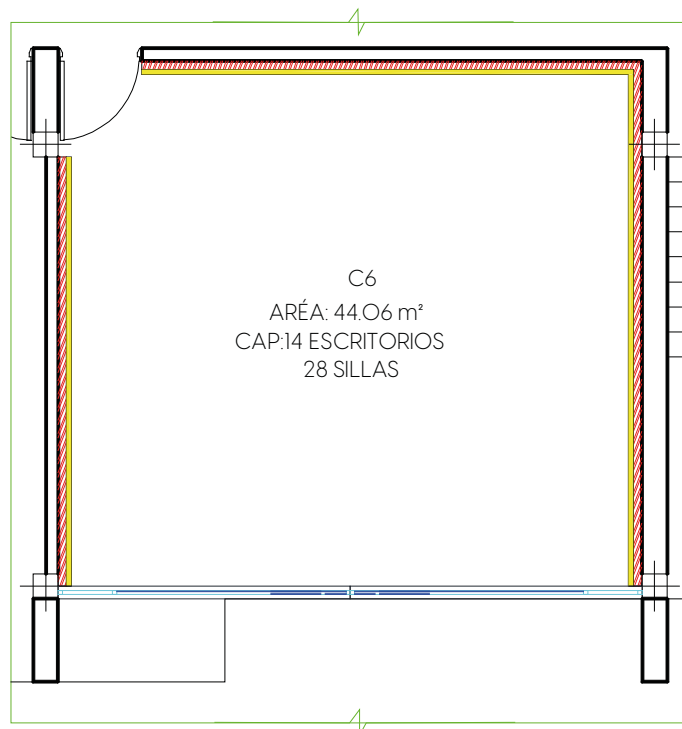


Figura 50. Solución Acústica Arquitectónica. Aula C6. Plano de Planta

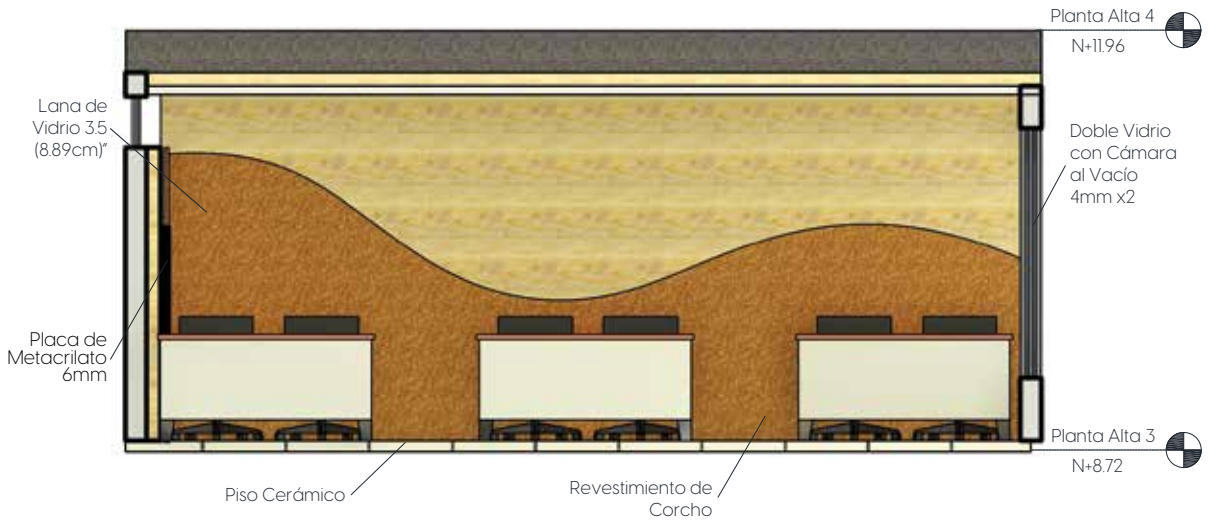


Figura 51. Propuestas Acústicas en Conjunto. Aula C6. Plano de Corte

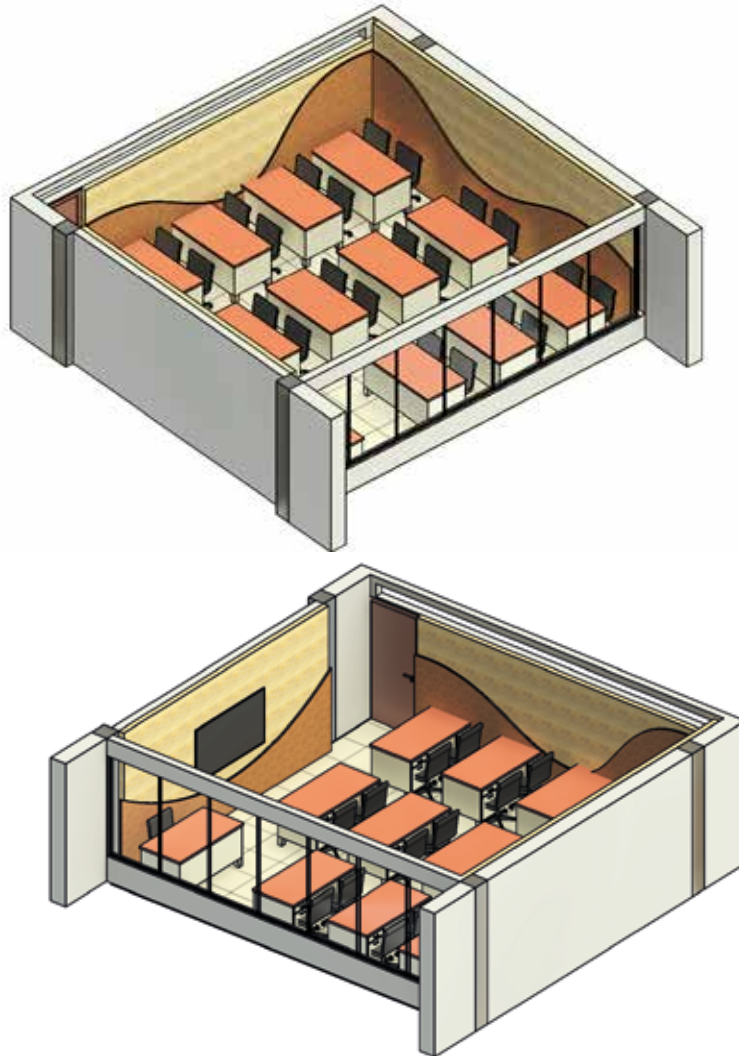


Figura 52. Propuestas Acústicas en Modelado 3D. Aula C6

Biblioteca

La propuesta para la Biblioteca se centra en adaptar las estrategias de absorción acústica a un espacio de alta concurrencia. Se utiliza una combinación de materiales como fibra de vidrio, doble vidrio y revestimiento de corcho, adecuándose a las características específicas de un entorno de lectura y estudio. Los planos, modelado 3D y el análisis del tiempo de reverberación evidencian un entorno sonoro significativamente mejorado, propicio para el aprendizaje.

Estrategias a utilizar:

- Relleno de mampostería y tumbado con Fibra de Vidrio
- Revestimiento de Corcho para mampostería
- Doble Vidrio Cámara al Vacío

Para el cálculo del T60 en la **Biblioteca** de la Universidad Indoamérica, correspondiente al **Punto 1 de las mediciones de dbA**, se utiliza el mismo principio que en los demás recintos ya que es un diseño acústico adaptable a todo el edificio. Empezando por las características de este espacio:

La biblioteca tiene un área de 167.68 metros cuadrados (m²) y un entrepiso de 2.45 metros. Por lo que cuenta con un **volumen total de 411.31 metros cúbicos (m³)**; 167.68 m² de suelos, 167.68 m² de tumbados y 135.1 m² de paredes.

Al igual que las aulas A5 y C5, sus materiales son **ladrillo enlucido y pintado (64.52 m²)**, **vidrio laminado de 8mm (51.9 m²)**.

En esta ocasión el tumbado es de **Gypsum enlucido y pintado**, el coeficiente de absorción para este material es **$\alpha = 0.05$**

Con la información definida, el cálculo del T60 de la biblioteca es:

$$T60 = 0,161 * (V / A)$$

Donde V= 411.31 m³

y A= (suelo= 167.68 m² * 0.02) + (tumbado= 167.68 m² * 0.05) + (mampostería 64.52 m² * 0.02) + (cristalería 51.9 m² * 0.03) = 14.59

$$\text{Entonces, } T60 = 0.161 * (411.31 \text{ m}^3 / 14.59)$$

Para la Biblioteca, el **T60= 4.54 segundos aproximadamente**

Ahora se aplican las propuestas de diseño acústico con los siguientes coeficientes:

- **Fibra de Vidrio 3.5" : $\alpha = 1.07$**
- **Doble Vidrio Cámara al Vacío: $\alpha = 0.06$**
- **Revestimiento de Corcho: $\alpha = 0.79$**

El cálculo de Sabine se desarrolla de esta manera:

$$A = (\text{suelo} = 167.68 \text{ m}^2 * 0.02) + (\text{tumbado} = 167.68 \text{ m}^2 * 0.05) + (\text{mampostería} = 64.52 \text{ m}^2 * 0.02) + (\text{cristalería} = 51.9 \text{ m}^2 * 0.06) + (\text{corcho} = 23\% \text{ } 49.69 \text{ m}^2 * 0.79) + (\text{fibra de vidrio} = 232.2 \text{ m}^2 * 1.07) = 303.86$$

Entonces,

$$T60 = 0.161 * (411.31 \text{ m}^3 / 303.86) = 0.22 \text{ segundos}$$

Con la fórmula del porcentaje de mejora previamente vista, se tiene que:

$$((T60i - T60f) / T60i) * 100 = 95.16$$

En la Biblioteca se evidencia un **95.16% de mejora** respecto al tiempo de reverberación sin la propuesta de diseño acústico.

Planos de Propuesta

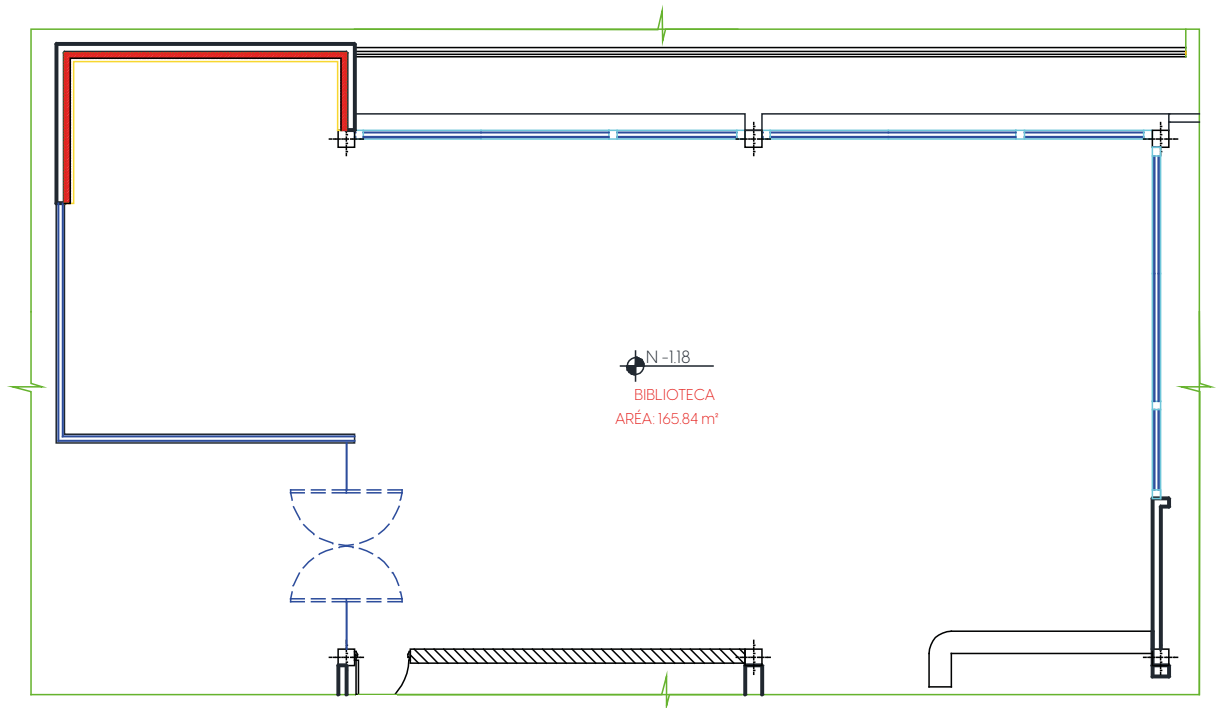


Figura 53. Solución Acústica Arquitectónica. Biblioteca. Plano de Planta

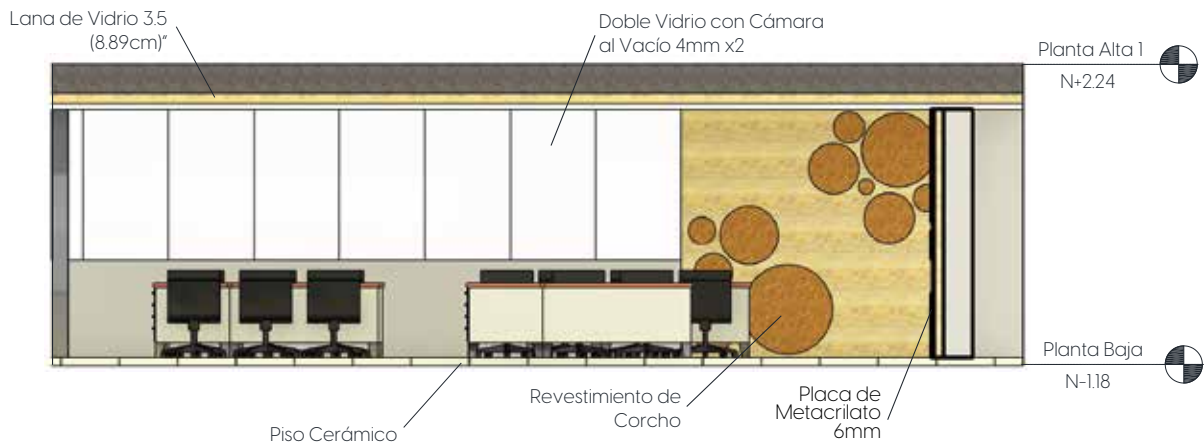


Figura 54. Propuestas Acústicas en Conjunto. Biblioteca.
Plano de Corte

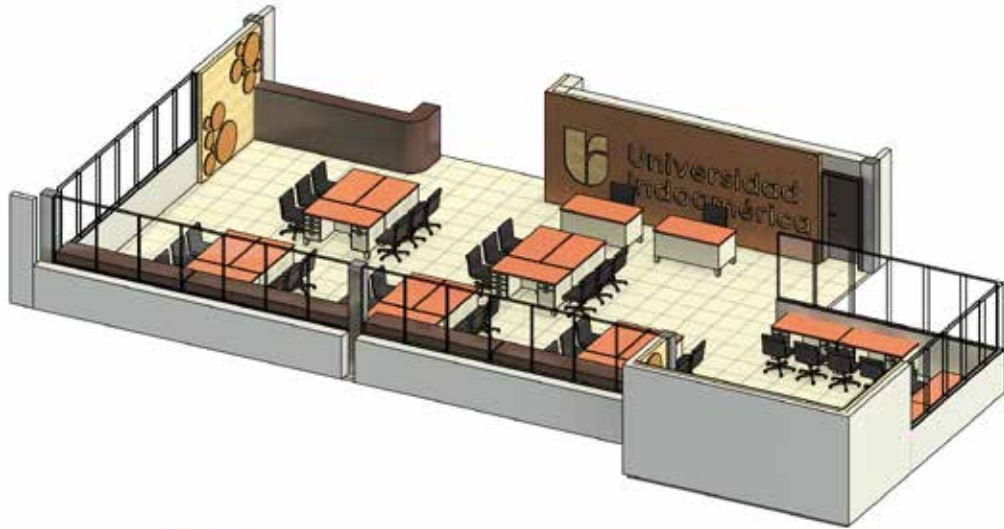


Figura 55. Propuestas Acústicas en Modelado 3D. Biblioteca

Auditorio

En el Auditorio se ha adoptado un enfoque particular que integra difusores acústicos y revestimientos de corcho, para contrarrestar la prolongada reverberación de un espacio de gran envergadura. Los soportes visuales en planos y modelados 3D, junto con el riguroso cálculo del T60, confirman la efectividad de la propuesta para generar un ambiente controlado y adecuado para presentaciones y eventos.

Estrategias a utilizar:

- Revestimiento de Corcho para mampostería
- Difusores Acústicos

El Auditorio es el espacio a calcular **más grande** dentro de este diseño acústico, en cuanto a sus características se registra que este espacio tiene un área de 386.80 metros cuadrados (m²) y un entrepiso de 3 metros. Por lo que cuenta con un **volumen total de 1160.4 metros cúbicos (m³)**; 386.80 m² de suelos, 386.80 m² de tumbados y 243.40 m² de paredes.

Al igual que los demás espacios dentro de la Universidad, sus materiales son **ladrillo enlucido y pintado (221.4 m²)**, **vidrio**

laminado de 8mm (17.38 m²).

En esta ocasión, al igual que en la biblioteca el tumbado es de **Gypsum enlucido y pintado**, el coeficiente de absorción para este material es **$\alpha = 0.05$**

En este espacio se observa presencia de **absorores acústicos de material textil**, se toma un área aproximada de **15 m²**, su coeficiente de absorción es de **$\alpha = 0.84$**

Con la información definida, el cálculo del T60 del auditorio es:

$$T60 = 0,161 * (V / A)$$

Donde V= 1160.4 m³

y A=(suelo= 386.80 m² * 0.02) + (tumbado= 386.80 m² * 0.05) + (mampostería 221.4 m² * 0.02) + (cristalería 17.38 m² * 0.03) = 32.03

Entonces, **T60=0.161*(1160.4 m³ / 32.03)**

Para el Auditorio, el **T60= 5.83 segundos aproximadamente (Preocupante para un recinto de esta tipología).**

Ahora se aplican las propuestas de diseño acústico con los siguientes coeficientes:

- Difusor Acústico 20% 50 mm $\alpha = 0.80$

- Revestimiento de Corcho: $\alpha = 0.79$

El cálculo de Sabine se desarrolla de esta manera:

$$A = (\text{suelo} = 386.80 \text{ m}^2 * 0.02) + (\text{tumbado} = 386.80 \text{ m}^2 * 0.05) + (\text{mampostería} = 221.4 \text{ m}^2 * 0.02) + (\text{cristalería} = 17.38 \text{ m}^2 * 0.03) + (\text{corcho} = 23\% \cdot 170.48 \text{ m}^2 * 0.79) + (6 \text{ difusor acústico} = 20\% \cdot 13.5 \text{ m}^2 * 0.80) = 177.51$$

Entonces,

$$T60 = 0.161 * (1160.4 \text{ m}^3 / 177.51) = 1.06 \text{ segundos}$$

Con la fórmula del porcentaje de mejora previamente vista, se tiene que:

$$((T60i - T60f) / T60i) * 100 = 81.82$$

Para el Auditorio se evidencia un **81.82% de mejora** respecto al tiempo de reverberación sin la propuesta de diseño acústico.

Planos de Propuesta

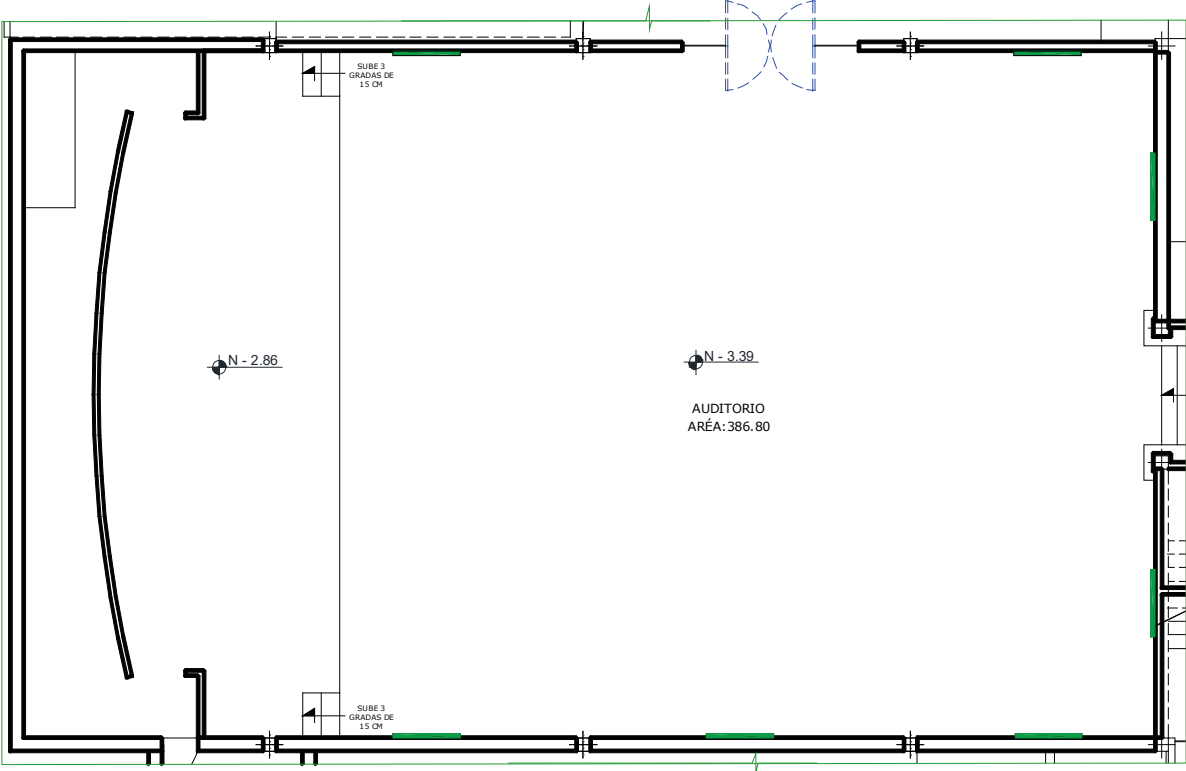


Figura 56. Solución Acústica Arquitectónica. Auditorio.
Plano de Planta



Figura 57. Propuestas Acústicas en Conjunto. Auditorio.
Plano de Corte

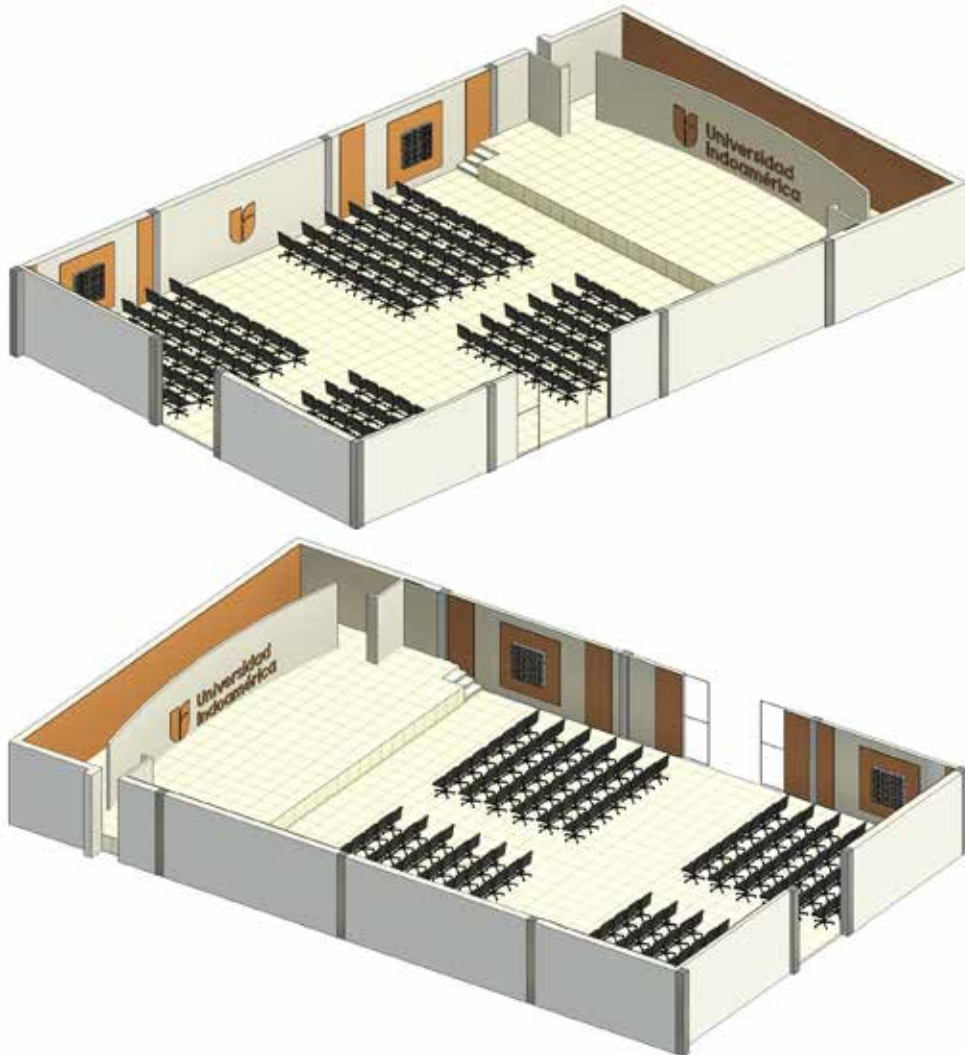


Figura 58. Propuestas Acústicas en Modelado 3D. Auditorio.

Áreas de Circulación : Pasillo piso D

La intervención en las áreas de circulación, se fundamenta en la aplicación de revestimientos de corcho para tumbado y difusores acústicos. Estas soluciones están orientadas a reducir la reverberación en zonas de alto tránsito y aunque se ha escogido pasillo del piso D puso haber sido cualquiera de los pasillos el seleccionado ya que las propuestas son adaptables a cualquier espacio en el edificio , lo cual se refleja en planos, modelados 3D y los cálculos que demuestran una mejora notable en la calidad acústica del entorno.

Estrategias a utilizar:

- Revestimiento de Corcho para tumbado
- Difusores Acústicos

Para el cálculo de esta categoría se tomará en cuenta al **pasillo de la Planta Alta 3**, en sus características encontramos que posee un área de 106.24 metros cuadrados (m²) y un entrepiso de 2.55 metros. Por lo que cuenta con un **volumen total de 270.92 metros cúbicos (m³)**; 106.4 m² de suelos, 106.4 m² de tumbados y 185.64 m² de paredes.

Al igual que los demás espacios dentro de la Universidad, sus materiales son **ladrillo enlucido y pintado (167.44 m²)**, **vidrio laminado de 8mm (29.12 m²)**.

El tumbado es de **Gypsum enlucido y pintado**, el coeficiente de absorción para este material es **$\alpha = 0.05$**

Con la información definida, el cálculo del T60 del pasillo es:

$$T60 = 0,161 * (V / A)$$

Donde V= 270.92 m³

y A= (suelo= 104.24 m² * 0.02) + (tumbado= 104.24 m² * 0.05) + (mampostería 167.44 m² * 0.02) + (cristalería 29.12 m² * 0.03) = 11.52

Entonces, **T60=0.161*(270.92 m³ / 11.52)**

Para el pasillo de la Planta Alta 3, el **T60= 3.79 segundos aproximadamente.**

Ahora se aplican las propuestas de diseño acústico con los siguientes coeficientes:

- **Difusor Acústico 20% 50 mm $\alpha = 0.80$**
- **Revestimiento de Corcho: $\alpha = 0.79$**

El cálculo de Sabine se desarrolla de esta

manera:

$$A = (\text{suelo} = 104.24 \text{ m}^2 * 0.02) + (\text{tumbado} = 104.24 \text{ m}^2 * 0.05) + (\text{mampostería} = 167.44 \text{ m}^2 * 0.02) + (\text{cristalería} = 29.12 \text{ m}^2 * 0.03) + (\text{corcho} = 23\% \cdot 80.27 \text{ m}^2 * 0.79) + (\text{8 difusor acústico} = 20\% \cdot 18 \text{ m}^2 * 0.80) = 89.34$$

Entonces,

$$T60 = 0.161 * (270.92 \text{ m}^3 / 89.34) = 0.49 \text{ segundos}$$

Con la fórmula del porcentaje de mejora previamente vista, se tiene que:

$$((T60i - T60f) / T60i) * 100 = 87.08$$

Para el área de circulación del piso D se evidencia un **87.08% de mejora** respecto al tiempo de reverberación sin la propuesta de diseño acústico.

Planos de Propuesta

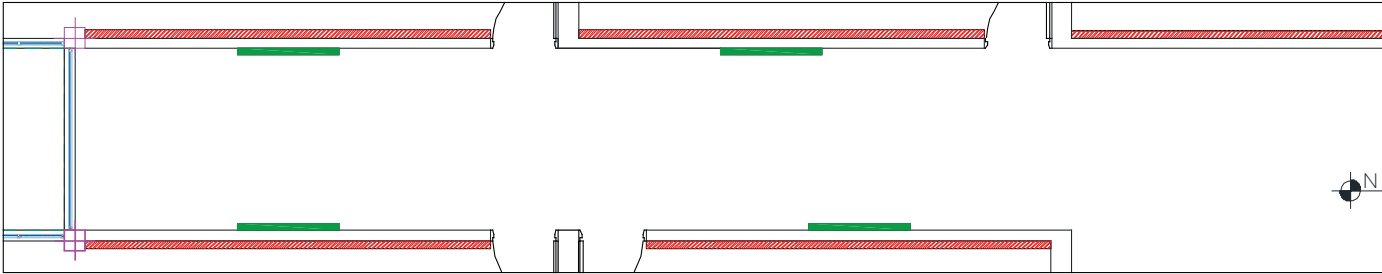
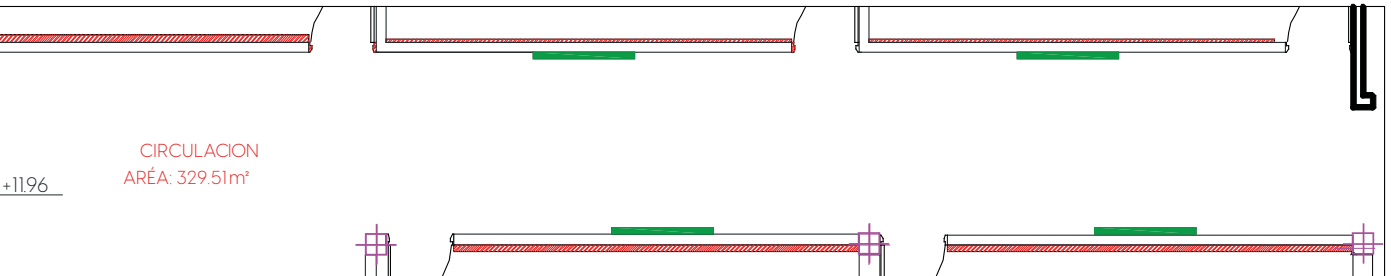


Figura 59. Solución Acústica Arquitectónica. Pasillo piso D. Plano de Planta



CIRCULACION
ARÉA: 329.51m²

+11.96



Figura 6O. Propuestas Acústicas en Conjunto. Pasillo de Circulación Piso D. Plano de Corte

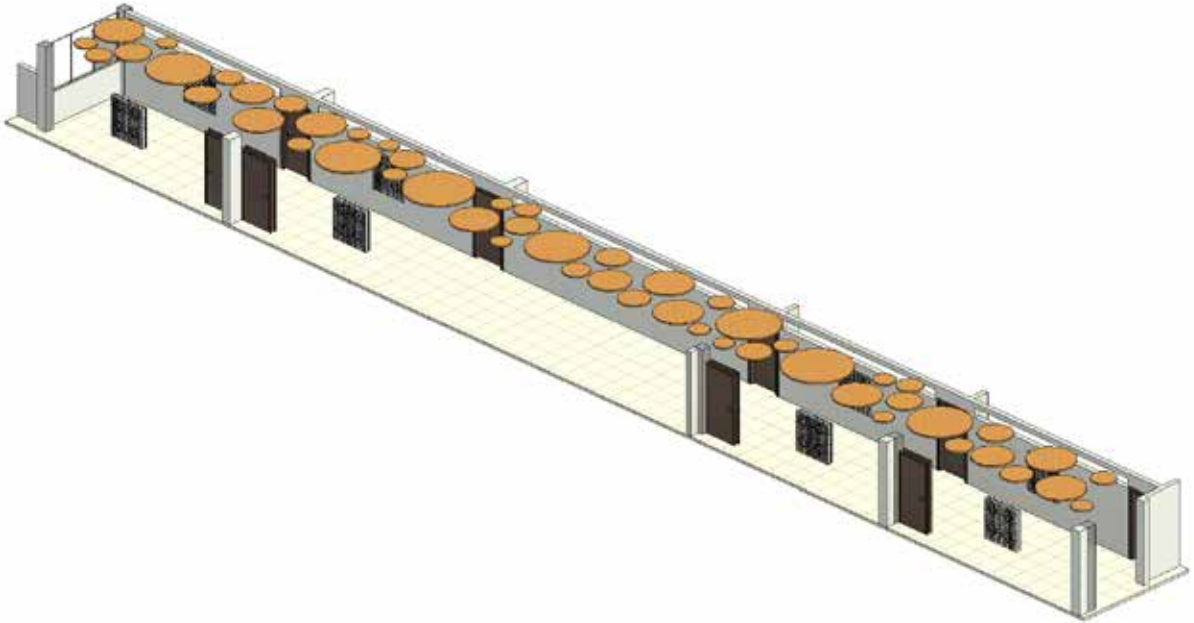


Figura 61. Propuestas Acústicas en Modelado 3D.
Pasillo D

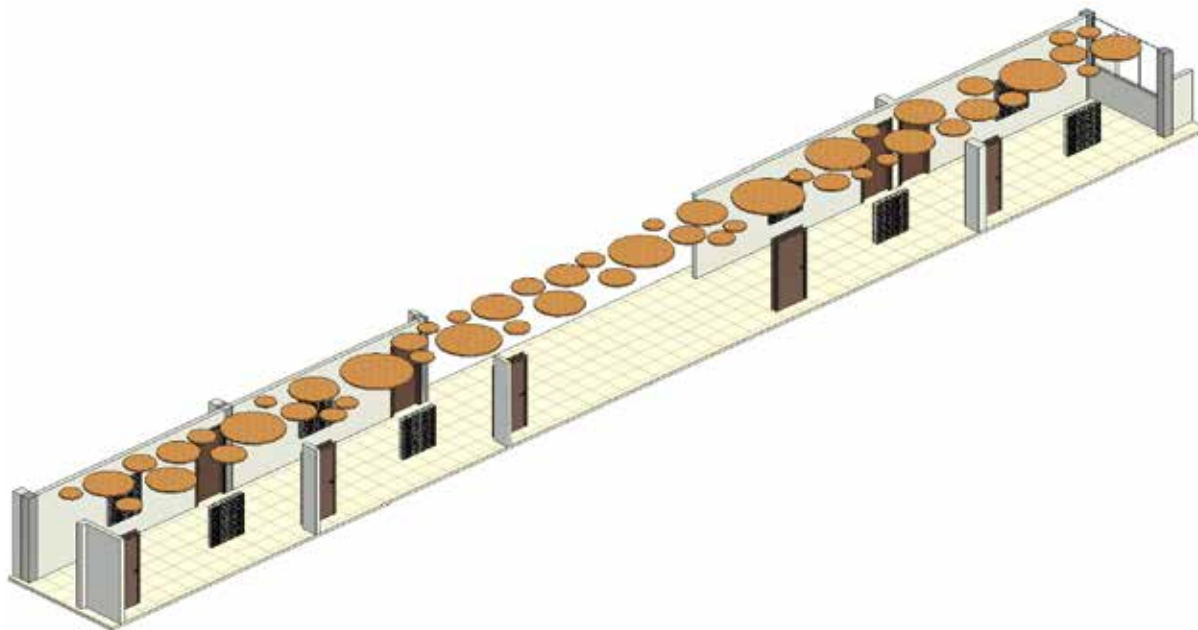


Figura 62. Propuestas Acústicas en Modelado 3D.
Pasillo D

Oficinas Administrativas (Secretarías)

Las oficinas administrativas han sido diseñadas con estrategias específicas que combinan el relleno con fibra de vidrio y el revestimiento de corcho, adaptadas a espacios reducidos y con necesidades de privacidad y concentración. El uso de planos, modelado 3D y el análisis de T6O evidencian una drástica reducción de la reverberación, generando condiciones ideales para el entorno laboral.

Estrategias a utilizar:

- Relleno de Mampostería con Fibra de Vidrio
- Revestimiento de Corcho para Mampostería

Para el cálculo de esta categoría se tomará en cuenta a las oficina de las secretarías de carrera, ubicada en la Planta Baja del Edificio, frente a la biblioteca. En sus características encontramos que posee un área de 35.74 metros cuadrados (m²) y un entrepiso de 2.55 metros. Por lo que cuenta con un **volumen total de 91.14 metros cúbicos (m³)**; 35.74 m² de suelos, 35.74 m² de tumbados y 59.68 m² de paredes.

Al igual que los demás espacios dentro

de la Universidad, sus materiales son **ladrillo enlucido y pintado (42.26 m²)**, **vidrio laminado de 8mm (13.98 m²)**.

El tumbado es de **Gypsum enlucido y pintado**, el coeficiente de absorción para este material es **$\alpha = 0.05$**

Con la información definida, el cálculo del T6O de las oficinas es:

$$T6O = 0,161 * (V / A)$$

Donde V= 91.14 m³

y A= (suelo= 35.74 m² * 0.02) + (tumbado= 35.74 m² * 0.05) + (mampostería 42.26 m² * 0.02) + (cristalería 13.98 m² * 0.03) = 3.77

Entonces, **T6O=0.161*(91.14 m³ / 3.77)**

Para las secretarías, el **T6O= 3.89 segundos aproximadamente**.

Ahora se aplican las propuestas de diseño acústico con los siguientes coeficientes:

- **Fibra de Vidrio 3.5"** : $\alpha = 1.07$

- **Revestimiento de Corcho**: $\alpha = 0.79$

El cálculo de Sabine se desarrolla de esta manera:

$A = (\text{suelo} = 35.74 \text{ m}^2 * 0.02) + (\text{tumbado} = 35.74 \text{ m}^2 * 0.05) + (\text{mampostería} = 42.26 \text{ m}^2 * 0.02) + (\text{cristalería} = 13.98 \text{ m}^2 * 0.03) + (\text{corcho } 23\% = 32.55 \text{ m}^2 * 0.79) + (\text{fibra de vidrio } 78 \text{ m}^2 * 1.07) = 112.95$

Entonces,

$T60 = 0.161 * (91.14 \text{ m}^3 / 112.95) = 0.13$
segundos

Con la fórmula del porcentaje de mejora previamente vista, se tiene que:

$$((T60i - T60f) / T60i) * 100 = 96.66$$

Para las secretarías, se evidencia un **96.66% de mejora** respecto al tiempo de reverberación sin la propuesta de diseño acústico.

Planos de Propuesta

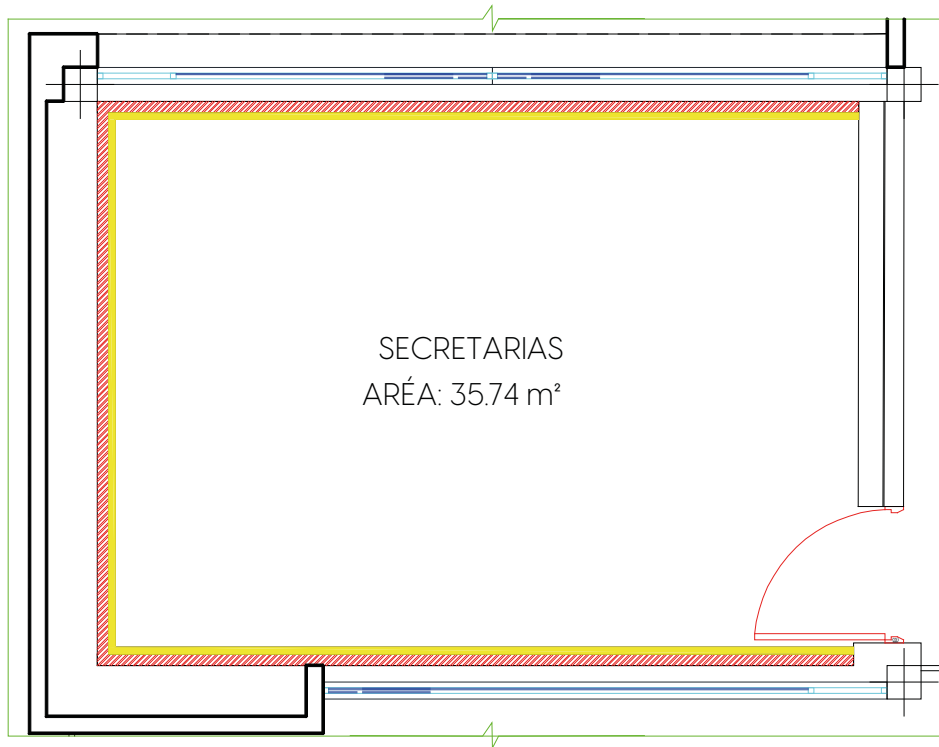


Figura 63. Solución Acústica Arquitectónica.
Secretarías. Plano de Planta



Figura 64. Propuestas Acústicas en Conjunto. Secretarías. Plano de Corte

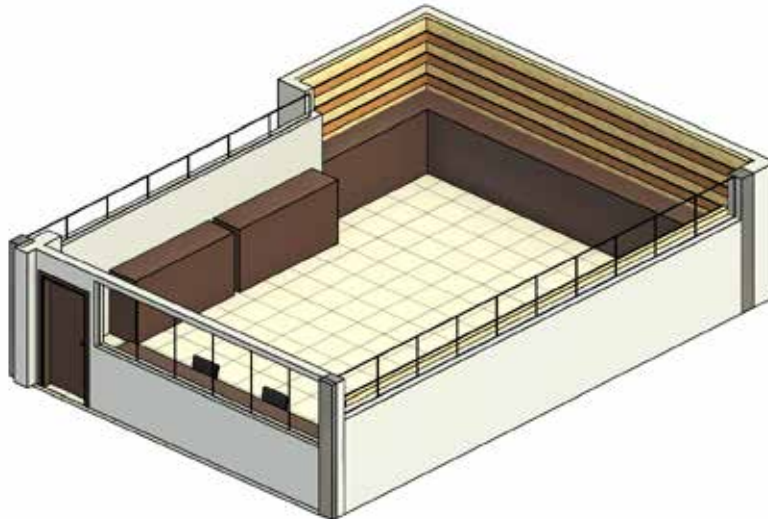
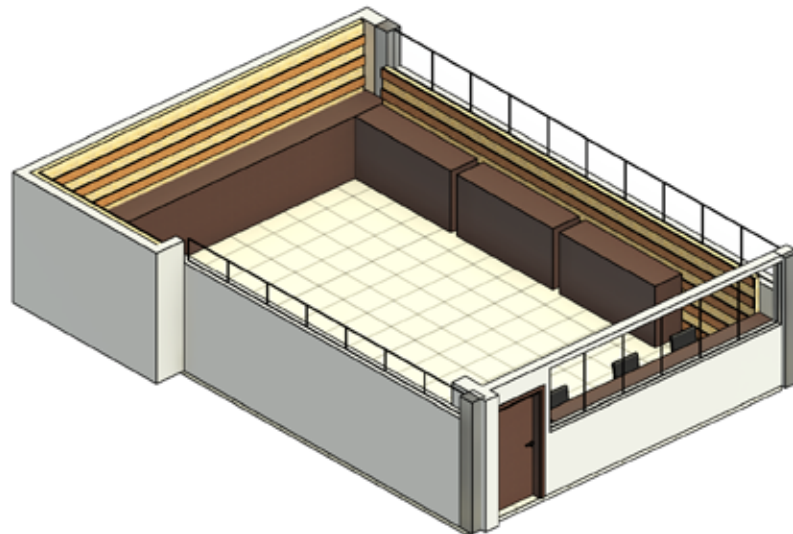


Figura 65. Propuestas Acústicas en Modelado 3D. Secretarías

Laboratorios (Odontología)

La propuesta para los Laboratorios de Odontología se orienta a crear un entorno controlado y preciso para el desarrollo de actividades prácticas. Se aplican técnicas de absorción acústica con fibras de vidrio y revestimientos de corcho, que, respaldadas por planos, modelados 3D y cálculos de reverberación, aseguran un ambiente sonoro idóneo para la ejecución de simulaciones y prácticas especializadas.

Estrategias a utilizar:

- Relleno de Mampostería con Fibra de Vidrio
- Revestimiento de Corcho para Mampostería

Para el cálculo de esta categoría se tomará como recinto al **laboratorio de simulación Odontología**, ubicado en el Subsuelo de la Universidad. El recinto cuenta con un área de 75.35 metros cuadrados (m²) y un entrepiso de 2.55 metros. Por lo que cuenta con un **volumen total de 192.15 metros cúbicos (m³)**; 75.35 m² de suelos, 75.35 m² de tumbados y 93.69 m² de paredes.

Al igual que los demás espacios dentro de la Universidad, sus materiales son **ladrillo enlucido y pintado (62.53 m²)**, **vidrio laminado de 8mm (25.73 m²)**.

El tumbado es de **Gypsum enlucido y pintado**, el coeficiente de absorción para este material es **$\alpha = 0.05$**

Con la información definida, el cálculo del T₆₀ del laboratorio es:

$$T_{60} = 0,161 * (V / A)$$

Donde V= 192.15 m³

y A= (suelo= 75.35 m² * 0.02) + (tumbado= 75.35 m² * 0.05) + (mampostería 62.53 m² * 0.02) + (cristalería 25.73 m² * 0.03) = 7.30

Entonces, **T₆₀=0.161*(192.15 m³ / 7.30)**

Para el laboratorio, el **T₆₀= 4.24 segundos aproximadamente**.

Ahora se aplican las propuestas de diseño acústico con los siguientes coeficientes:

- **Fibra de Vidrio 3.5"** : $\alpha = 1.07$
- **Revestimiento de Corcho**: $\alpha = 0.79$

El cálculo de Sabine se desarrolla de esta

manera:

$$A = (\text{suelo} = 75.35 \text{ m}^2 * 0.02) + (\text{tumbado} = 75.35 \text{ m}^2 * 0.05) + (\text{mampostería} = 62.53 \text{ m}^2 * 0.02) + (\text{cristalería} = 25.73 \text{ m}^2 * 0.03) + (\text{corcho } 23\% = 48.15 \text{ m}^2 * 0.79) + (\text{fibra de vidrio} = 137.88 \text{ m}^2 * 1.07) = 197.87$$

Entonces,

$$T60 = 0.161 * (192.15 \text{ m}^3 / 197.87) = 0.15 \text{ segundos}$$

Con la fórmula del porcentaje de mejora previamente vista, se tiene que:

$$((T60i - T60f) / T60i) * 100 = 96.47$$

Para los Laboratorios de Simulación de Odontología se evidencia un **96.47% de mejora** respecto al tiempo de reverberación sin la propuesta de diseño acústico.

Planos de Propuesta

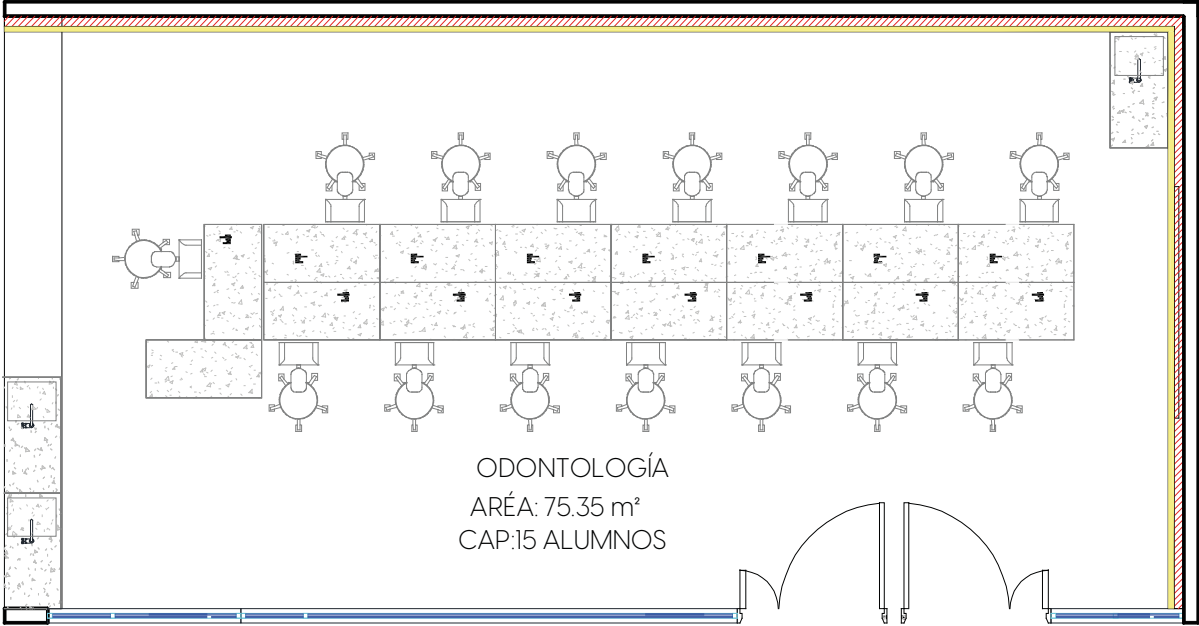


Figura 66. Solución Acústica Arquitectónica.
Laboratorios de Odontología. Plano de Planta

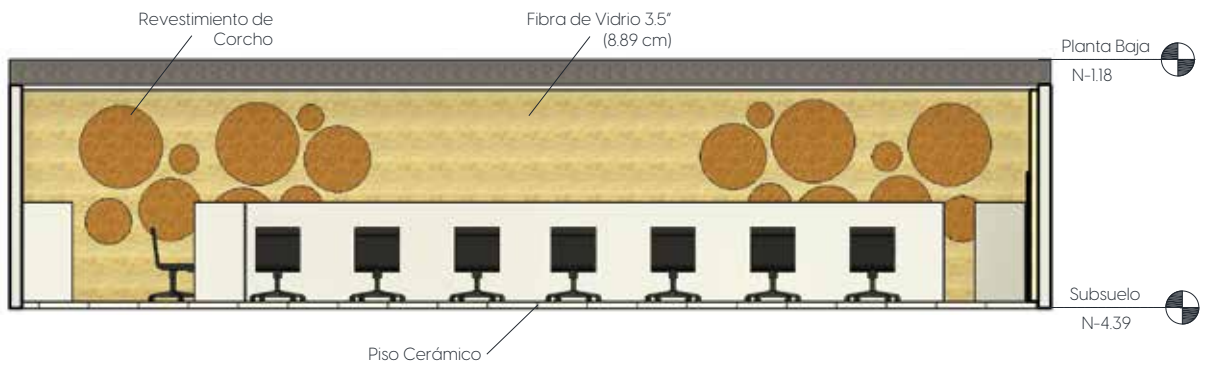


Figura 67. Propuestas Acústicas en Conjunto. Laboratorio de Odontología. Plano de Corte

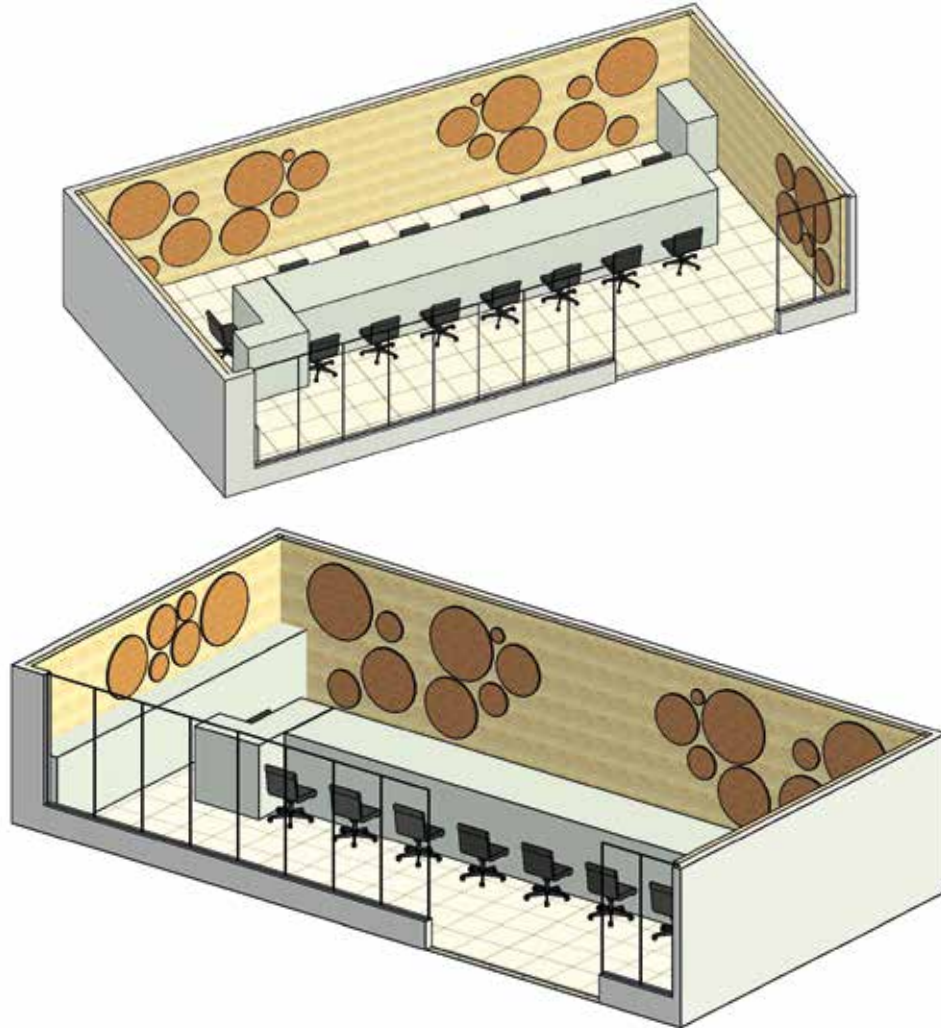


Figura 68. Propuestas Acústicas en Modelado 3D. Laboratorios de Odontología

Resultados

Con el cálculo podemos concluir que con las propuestas de diseño acústico para la intervención del **Aula A5** el tiempo de **reverberación se reduce de 2.82 segundos a 0.43 segundos** que se traduce en una **mejora del 84.75%**.

También se observa que el **Aula B2** el tiempo de **reverberación disminuye de 1.85 segundos a 0.25 segundos**, representando una **mejora del 86.48%**.

En el **Aula C6**, el tiempo se **reduce de 1.85 segundos a 0.24 segundos**, alcanzando una **mejora del 87.02%**.

Así mismo, en la **Biblioteca** el tiempo de **reverberación se reduce de 5.14 segundos a 0.23 segundos** que representa una **mejora del 95.53%**.

En el **Auditorio**, el tiempo de **reverberación se reduce de 5.83 segundos a 1.06 segundos**, implicando una **mejora del 81.82%**.

En cuanto al área de circulación (**Pasillo del piso D**), la **reverberación disminuye de 3.79 segundos a 0.49 segundos**, lo que representa una **mejora del 87.08%**.

En las **Oficinas Administrativas**

(Secretarías), el tiempo de **reverberación se reduce de 3.89 segundos a 0.13 segundos**, evidenciando una **mejora del 96.66%**.

Y en cuanto los **Laboratorios de Odontología**, el tiempo pasa de **4.24 segundos a 0.15 segundos**, lo que supone una **mejora del 96.47%**.

Todos estos resultados son evidencia que corresponde con el objetivo de llegar al **confort acústico de la comunidad educativa**.

Conclusiones

La investigación desarrollada en esta tesis demuestra que la ausencia de un diseño acústico adecuado en los espacios educativos incide de manera negativa tanto en la calidad del aprendizaje como en el bienestar de la comunidad educativa. A partir de los análisis y mediciones realizados en el Campus Agramonte, se evidenció la existencia de elevados niveles de reverberación, deficiencias en el aislamiento sonoro y una distribución ineficiente de la energía acústica. Estas condiciones comprometen la inteligibilidad del habla y dificultan la concentración dentro del aula.

Como consecuencia, se constató un impacto directo en el rendimiento académico y en la calidad de vida de estudiantes y docentes, quienes deben desenvolverse en ambientes donde el ruido, proveniente de fuentes tanto externas como internas, genera una constante contaminación sonora. Frente a este diagnóstico, la propuesta de diseño presentada se sustenta en un riguroso análisis de teorías acústicas y normativas vigentes, complementado por técnicas de medición y evaluación que aseguran su viabilidad.

La estrategia considera el uso de materiales absorbentes, la implementación de sistemas

de doble mampostería y la inclusión de barreras acústicas, configurando un **modelo replicable en contextos similares** que contribuye a una mejora significativa de la calidad sonora en entornos educativos. Además, el enfoque metodológico adoptado –que articula teoría y práctica mediante mediciones de campo, revisión documental y matrices evaluativas– ha permitido el desarrollo de una propuesta sólida y bien fundamentada. Esta no solo responde a las necesidades locales, sino que también constituye una referencia útil para investigaciones futuras en el ámbito del diseño acústico arquitectónico.

Recomendaciones

A partir de los resultados obtenidos y considerando el impacto potencial de la propuesta en la mejora del confort acústico, se plantean una serie de acciones estratégicas para garantizar su efectividad y sostenibilidad en el tiempo. Se sugiere iniciar con una implementación gradual de las intervenciones, priorizando la instalación de materiales absorbentes y el tratamiento de las superficies más críticas. Este enfoque por etapas permitirá evaluar los resultados de manera progresiva y ajustar la estrategia según las necesidades detectadas.

Paralelamente, se hace necesario que las autoridades institucionales y gubernamentales revisen y actualicen las normativas locales relacionadas con la calidad acústica en entornos educativos. Es fundamental incorporar lineamientos técnicos respaldados por estándares internacionales, adaptándolos al contexto específico, con el objetivo de orientar adecuadamente futuros proyectos de construcción y remodelación.

Una vez aplicadas las soluciones, resulta esencial establecer un programa de mantenimiento preventivo de los elementos instalados. Esta medida asegurará la permanencia y el correcto funcionamiento de las mejoras a lo largo del tiempo.

Asimismo, se recomienda desarrollar programas de capacitación dirigidos a la comunidad educativa –incluyendo docentes, estudiantes y personal administrativo– que promuevan la sensibilización sobre la importancia del diseño acústico y su incidencia en la calidad del entorno académico. Esta formación contribuirá a un uso más consciente de los espacios y a una mayor apropiación de las intervenciones realizadas.

En este marco, también se destaca la necesidad de fomentar la investigación aplicada en acústica arquitectónica, incentivando estudios que profundicen en la evaluación y optimización del confort sonoro. La experiencia generada a partir de este proyecto puede convertirse en una base valiosa para nuevas propuestas tecnológicas y metodológicas que beneficien a otras instituciones educativas.

Finalmente, se considera clave promover la integración interdisciplinaria, consolidando vínculos entre arquitectos, ingenieros acústicos y especialistas en salud ambiental. Esta colaboración permitirá abordar de forma integral tanto los aspectos técnicos como los impactos psicosociales asociados a la contaminación sonora, elevando así la calidad de los proyectos y su alcance transformador.



ANEXOS

Fórmulas propuestas por las teorías fundamentales de la acústica.

Coefficiente de absorción de un recinto

$$\alpha = \frac{\sum S_i \alpha_i}{S_{tot}}$$

Fórmula de Rayleigh: Ecuación de Ondas y frecuencias en un recinto paralelepípedo y de caras reflectantes

$$f_{k,m,n} = \frac{c}{2} \cdot \sqrt{\left(\frac{k}{L_x}\right)^2 + \left(\frac{m}{L_y}\right)^2 + \left(\frac{n}{L_z}\right)^2}$$

Teoría de Doppler: Cálculo del efecto cuando el foco esta en movimiento y el observador en reposo

$$f' = f \cdot \frac{v}{v \mp v_F}$$

Teoría de Doppler: Cálculo del efecto cuando el foco esta en reposo y el observador en movimiento

$$f' = f \cdot \frac{v \pm v_R}{v}$$

Teoría de Doppler: Cálculo del efecto cuando el foco y el observador están en movimiento

$$f' = f \cdot \frac{v \mp v_R}{v \mp v_F}$$

BIBLIOGRAFÍA

Acoustic Lab. (2021, abril 29). Tiempo de reverberación y formula de Sabine. AcousticLab. <https://www.acousticlab.com/tiempo-de-reverberacion-y-formula-de-sabine/>

Aguilar, J. R. (2019). Una mirada a los criterios de diseño acústico de la infraestructura educacional en Chile A review of acoustic design criteria for school infrastructure in Chile. 34.

Albrecht Arquer, G. (1997). OTRAS CARACTERISTICAS SUPERFICIALES. II JORNADAS SOBRE CARACTERISTICAS SUPERFICIALES DE LOS PAVIMENTOS. <https://trid.trb.org/View/990107>

Alonso, F. (2007). Algo más que suprimir barreras: Conceptos y argumentos para una accesibilidad universal. *TRANS: revista de traductología*, 11, 15–30.

APA. (2022). Stress. <https://www.apa.org>. <https://www.apa.org/topics/stress>

Badino, E., Manca, R., Shtrepi, L., Calleri, C., & Astolfi, A. (2019). Effect of façade shape and acoustic cladding on reduction of leisure noise levels in a street canyon. *Building and Environment*, 157, 242–256. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.04.039>

Beltrán, Y. (2011). Metodología del diseño arquitectónico.

Caicedo, M. D. (2013). Configuración y Arquitectura. *Revista de Arquitectura e Ingeniería*, 7(1), 1–13.

Características básicas de un plano arquitectónico | Teat. (2023, agosto 25). <https://www.teat.es/noticias/caracteristicas-basicas-de-un-plano-arquitectonico/>

Castaño Lerma, F. (2015). Sistemas de mitigación de vibraciones basados en TLDs. Simulación numérica y estudio experimental. <https://uvadoc.uva.es/handle/10324/14815>

Castro-Martínez, J. A., Chavarría Roa, J., Parra Benítez, A., & González, S. (2016). Effects of classroom-acoustic change on the attention level of university students. *Interdisciplinaria*, 33(2), 201–214.

Catálogo de Visualización de Datos. (s/f). Gráfico Radial. Catálogo de Visualización de Datos. Recuperado el 26 de enero de 2025, de https://datavizcatalogue.com/ES/metodos/grafico_radial.html

Cely, O. C. (2015). Propiedades que definen los materiales resilientes en arquitectura. *Revista de Tecnología (Archivo)*, 14(1), Article 1.

<https://doi.org/10.18270/rt.v14i1.1854>

CIP. (2023). NORMA TÉCNICA QUE ESTABLECE LOS LIMITES PERMISIBLES DE RUIDO AMBIENTE PARA FUENTES FIJAS Y FUENTES MÓVILES. Cámara de Industrias y Producción. <https://www.cip.org.ec/attachments/article/450/ANEXO%205%20RUIDO.pdf>

Conocimiento acústico| Visión general | Ecophon. (s/f). Recuperado el 15 de enero de 2025, de <https://www.ecophon.com/es/about-ecophon/acoustic-knowledge/>

Correa, D. (2014, Agosto). El Efecto Doppler. [Tw__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV-4ZA](https://dlwqtxtslxzle7.cloudfront.net/39911555/EI_Efecto_Doppler-libre.pdf?1447278867=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DEI_Efecto_Doppler.pdf&Expires=1737740629&Signature=RTktAoOktR87R3SAudPtLrDQUagjyc4gomuX56KJz-tgPpHbu84Ue-Fm-FzVWmLxQnAkIqExYKTFjWhWLO6pr-j89wtCjB7YYCtY3MGz2BICNofhbCpQ-qbgVVLyyapYlcWOQ6ERh-39NdPvborE8Ra-dVqxg2ObCfU7itvYwn37EsWc8RHWT-bxYHoGYhB-Y9F8c9onBFqrPVLcL5hgS-yasAgizriC5dahwaGoxIJXwAvLBlr2CxEd8Zl6JAHvZ2HfI7anrKufWb3tliGmJWbtjzIH9TiQslrKWcwJGUmoxYuAmly9rh-CweVohYCfrERbum-UytOOnTV9T4oJWsiSc-</p></div><div data-bbox=)

Definición y función de los gráficos estadísticos. (s/f). Recuperado el 19 de enero de 2025, de <https://cards.algoreducation.com/es/content/ydXl5tqm/graficos-estadisticos-datos>

Dias, F. A. M., Santos, B. A. dos, & Mariano, H. C. (2019). Níveis de pressão sonora em salas de aula de uma Universidade e seus efeitos em alunos e professores. *CoDAS*, 31, e20180093. <https://doi.org/10.1590/2317-1782/20182018093>

Escolarización de niños y adolescentes: Acceso universal y permanencia selectiva— UNESCO Biblioteca Digital. (s/f). Recuperado el 17 de enero de 2025, de <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000370939>

ETECÉ. (s/f). ¿Qué es Acústica? - Ramas, fenómenos que estudia, contaminación. <https://concepto.de/>. Recuperado el 15 de enero de 2025, de <https://concepto.de/acustica/>

Everest, F. A., & Pohlmann, K. (2009). *Master Handbook of Acoustics*. McGraw Hill Professional.

F. Alton Everest. (2001). *Master Hand-*

book of Acoustics, Fourth Edition (Fourth Edition). McGraw-Hill Education. <https://www.accessengineeringlibrary.com/content/book/9780071360975>

Fernández, J. L. (s/f). Efecto Doppler. Física-Lab. Recuperado el 24 de enero de 2025, de <https://www.fisicalab.com/apartado/efecto-doppler>

Ferreyra, S. P., & Ramos, O. A. (2007). Análisis Físico-Acústico-Espacial de Respuestas Impulsivas de un Recinto con Alta Dispersión Sonora Obtenidas por Métodos Indirectos. *Mecánica Computacional, O*, Article O.

Flérez, J. L. O., & Rojas, S. T. (2022). Condiciones acústicas en las Instituciones Educativas: Una revisión de literatura. *Enfoque latinoamericano*, 5(1), Article 1. <https://revistas.ul.edu.co/index.php/rel/article/view/6>

Fuentes Fuentes, J. M. (2019). Determinación de Factores que Afectan la Medición de los Niveles de Ruido y Aislamiento Acústico en una Cabina Insonorizada para Autopartes. *FIGEMPA: Investigación y Desarrollo*, 8(2), 52–65. <https://doi.org/10.29166/revfig.vi21706>

García, A. E. (2018). Estilos de aprendizaje y rendimiento académico. *Revista Boletín Re-*

dipe, 7(7), Article 7.

García-Mendoza, D., & Corral-Joza, K. (2021). El microaprendizaje y su aporte en la habilidad de concentración en estudiantes de bachillerato. *Revista Innova Educación*, 3(4), Article 4. <https://doi.org/10.35622/j.rie.2021.04.002>

Gehl, J. (2010). *CITIES FOR PEOPLE*. <https://www.naoslibros.es/libros/cities-for-people/978-1-59726-573-7/>

Gestión de la seguridad: Un lugar de trabajo seguro es un buen negocio | Administración de Seguridad y Salud Ocupacional. (s/f). Recuperado el 12 de febrero de 2025, de <https://www.osha.gov/safety-management>

González, L. S. J. (2017). Estudio de la calidad de la acústica de espacios educativos. *Propuestas de mejora*.

Gonzalez, P. G., Noh, D., & Wilson, D. (2023). *Making the Space for Learning*.

Granados, A. C., Mata, A. C. U., Simpson, C. H., Jiménez, C. A., Álvarez, C. V., Rodríguez, D. D., Rojas, E. B., Quirós, G. A., Campos, I. S., Blanco, K. S., Aragón, L. J., Mesén, L. B., Sossa, M. A., Quirós, N. S., Gómez, P. B., Pineda, R. A., Alfa-

ro, S. M., Berrocal, V., Ballester, X. C., ... Gutiérrez, Y. D. (2021). Matriz de valoración. <https://multimedia.uned.ac.cr/pem/libros/criterios-asignaturas-cursos-en-linea/chapter/matriz-de-valoracion/>

Guerra, C. F. (2001). Lenguajes, diseño y arquitectura. Cuadernos de la Facultad de Humanidades y Ciencias Sociales. Universidad Nacional de Jujuy, 17, 211–250.

Hattie, J. (2018). Hattie effect size list–256 Influences Related To Achievement. VISIBLE LEARNING. <https://visible-learning.org/hattie-ranking-influences-effect-sizes-learning-achievement/>

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). Metodología Investigación Científica 6ta ed (Vol. 6). <https://www.esup.edu.pe/wp-content/uploads/2020/12/2.%20Hernandez,%20Fernandez%20y%20Baptista-Metodolog%C3%ADa%20Investigacion%20Cientifica%206ta%20ed.pdf>

Herrera, J. L. (2012). Productividad. Palibrio.

Herrera, M. (2017, julio 12). Item 1003/413 | Repositorio CICY. Repositorio Cicy. <http://cicy.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1003/413>

International Electrotechnical Commission, I. (2013). IEC 61672-1:2013. <https://webstore.iec.ch/en/publication/5708>

Ipinza-Olatte, C., Piderit-Moreno, M. B., Bluysen, P., & Trebilcock-Kelly, M. (2023). Students' Perceptions of acoustic comfort in traditional and flexible learning environments: A study in Chile. *Journal of Physics: Conference Series*, 2600(12), 122001. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2600/12/122001>

ISO 717-1:2020. (2020). ISO. <https://www.iso.org/standard/77435.html>

ISO 26800. (2011). UNE-EN ISO 26800:2011 (Ratificada) Ergonomía. Enfoque general,... <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=NOO48675>

ISO/PAS 1996-3:2022. (s/f). ISO. Recuperado el 19 de enero de 2025, de <https://www.iso.org/standard/77035.html>

Jácome Luzuriaga, M. D. (2009). Propuesta de diseño, acondicionamiento y aislamiento acústico para aulas de la Unidad Educativa Montebello Academy [bachelor-Thesis, Quito: Universidad de las Américas, 2009]. <http://dspace.udla.edu.ec/handle/33000/2570>

Jaramillo, A. M. J. (2007). ACÚSTICA: La ciencia del sonido. ITM.

JMP Statistical Discovery. (s/f). Gráfico de líneas. Recuperado el 19 de enero de 2025, de https://www.jmp.com/es_cl/statistics-knowledge-portal/exploratory-data-analysis/line-graph.html

Kuttruff, H. (2018). Room Acoustics (5a ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781482266450>

La técnica Pomodoro®—Francesco Cirillo | PlanetadeLibros. (s/f). Recuperado el 11 de febrero de 2025, de <https://www.planeta-delibros.com.ec/libro-la-tecnica-pomodoro/347751>

Lechner, N. (2008). Iluminación natural [Text]. Biblioteca Hernán Malo González de la Universidad del Azuay; Biblioteca Hernán Malo González. <https://biblioteca.uazuay.edu.ec/buscar/item/933>

Luque-Parra, D. J., Rodríguez-Infante, G., & Romero-Pérez, J. F. (2005). Accesibilidad y universidad. Un estudio descriptivo. <https://riuma.uma.es/xmlui/handle/10630/36221>

Mandelbrot, B. B. (s/f). LA GEOMETRÍA FRACTAL DE LA NATURALEZA.

Marc, E., & Picard, D. (1992). La Interacción Social: Cultura, instituciones y comunicación. 1. http://e-biblio.univ-mosta.dz/bitstream/handle/123456789/10242/Marc_Picard_linguistica.pdf

Minelli, G., Puglisi, G., & Astolfi, A. (2021). Acoustical parameters for learning in classroom: A review. *Building and Environment*, 208, 108582. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108582>

Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda. (2020). NEC-HS-CL-Climatización. Norma Ecuatoriana de la Construcción - Climatización. <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/2020/07/NEC-HS-CL-Climatizaci%C3%B3n.pdf>

Mogas Recalde, J., Palau, R., & Márquez, M. (2021). How classroom acoustics influence students and teachers: A systematic literature review. *Journal of Technology and Science Education*, 11, 245–259. <https://doi.org/10.3926/jotse.1098>

Mora Raya, A. (2019, junio). Autismo y arquitectura: Estrategias para diseñar espacios educativos [Info:eu-repo/semantics/bachelorThesis]. E.T.S. Arquitectura (UPM). <https://oa.upm.es/55822/>

Morales, O. A. (2003). FUNDAMENTOS DE LA INVESTIGACIÓN DOCUMENTAL Y LA MONOGRAFÍA.

Möser, M., & Barros, J. L. (2009). Fundamentos de la acústica de salas. En M. Möser & J. L. Barros (Eds.), Ingeniería Acústica: Teoría y Aplicaciones (pp. 213–232). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-02544-0_7

Muñoz Tamayo, W. J. (2014). Acondicionamiento y aislamiento acústico del auditorio del Colegio de Liga [bachelorThesis, Quito: Universidad de las Américas, 2014]. <http://dspace.udla.edu.ec/handle/33000/2627>

Mylonas, G., Fraile, L. P., Tsampas, S., & Kalogeras, A. (2023). A Study on Indoor Noise Levels in a Set of School Buildings in Greece utilizing an IoT infrastructure (No. arXiv:2309.02797). arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2309.02797>

Narváez Reyes, N. A., & Villavicencio Berú, A. F. (2022). Desarrollo e implementación de paneles acústicos en espacios interiores culturales [bachelorThesis, Universidad del Azuay]. <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/12069>

Negreira, J. (s/f). Absorción acústica –

Concepto, medidas e indicadores ponderados.

OMS. (2022). Salud mental: Fortalecer nuestra respuesta. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/mental-health-strengthening-our-response>

Pena, S. N. (2021, mayo 13). El sonido como activador de espacios y su inclusion en el proceso de diseno arquitectonico. https://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lar/novoa_pena_s/

Perfect Acoustic. (2023, abril 4). Materiales y tejidos: ¿cómo afectan a la acústica? Perfect Acoustic. <https://perfectacoustic.es/materiales-y-tejidos-como-afectan-a-la-acustica/>

Pfretzschner, J., Simon, F., & Rodriguez, R. (2001). Barreras Acústicas. Revista de acústica, ISSN 0210-3680, Vol. 32, No. 1-2, 2001, pags. 1-4. https://doi.org/10.1007/978-3-642-02544-0_10

Project for Public Spaces. (2024). What is Placemaking? <https://www.pps.org/article/what-is-placemaking>

¿Qué es la Matriz de Evaluación? | Definición y Componentes. (s/f). Recuperado el 19

de enero de 2025, de <https://financionario.com/definicion-matriz-de-evaluacion>

Rocas y Minerales. (2018, junio 16). Mampostería | Qué es, definición, tipos, información, muros. Rocas y Minerales. <https://www.rocasyminales.net/mamposteria/>

Rodero, M., & Cárdenas, J. (2017). Diseño Paisajístico de Senderos y Zonas de Estancia en la Fracción del bosque de la Corporación Universitaria del Caribe – CECAR, sede principal, municipio de Sincelejo. <https://repositorio.cecar.edu.co/server/api/core/bitstreams/9e868874-970a-499e-8f99-2915e59c53b9/content>

Roldán Pinilla, M. (s/f). ACONDICIONAMIENTO ACÚSTICO DE LOS LABORATORIOS DE LA E.S.I. DE SEVILLA. Recuperado el 24 de enero de 2025, de <https://biblus.us.es/bibing/proyectos/use/abreproy/11340/direccion/PF-C+Acondicionamiento+ac%C3%BAstico+laboratorios+ESI+Sevilla+%252F>

Sierra, A. J. S. (s/f). Soluciones cerámicas acústicas para el cumplimiento del DB-HR.

Suárez, R., Alonso, A., & Sendra, J. J. (2018). Virtual acoustic environment reconstruction of the hypostyle mosque of Cordoba. *Applied Acoustics*, 140, 214–224. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2018.06.006>

[org/10.1016/j.apacoust.2018.06.006](https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2018.06.006)

Tevni, G. (2000). TIPOS DE INVESTIGACION.

Tobío, J. M. (1970). Aislamiento acústico. *Informes de la Construcción*, 23(222), Article 222. <https://doi.org/10.3989/ic.1970.v23.i222.3547>

UDELAR. (2010). Tablas-de-Absorción. Tablas de Absorción Acústica, FADU. <https://www.fadu.edu.uy/acondicionamiento-acustico/wp-content/blogs.dir/27/files/2012/02/Tablas-de-Absorcion.pdf>

UNE 170001-2:2007 Accesibilidad universal. Parte 2: Sistema de... (s/f). Recuperado el 11 de febrero de 2025, de <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=NOO40253>

UNE-EN. (2019). UNE-EN ISO 16283-2:2019 Acústica. Medición in situ del aislami... <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma/?c=NOO61523>

UNE-EN. (2021). UNE-EN ISO 717-2:2021 | Normas AENOR. <https://tienda.aenor.com/norma-une-en-iso-717-2-2021-nOO66728>

UNE-EN 13501-1:2019 Clasificación en función del comportamient... (s/f). Recuperado el

10 de febrero de 2025, de <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=NOO62154>

Useche, M. C., Artigas, W., Queipo, B., & Pe-rozo, É. (2019). Técnicas e instrumentos de recolección de datos cuali-cuantitativos. Universidad de la Guajira. <https://repositoryinst.uniguajira.edu.co/handle/uniguajira/467>

Van Der Maas, S. (2011). El diagrama en la arquitectura. *Dearq*, 8, 32–43. <https://doi.org/10.18389/dearq8.2011.05>

Vendrell, F. J. S., Galiana, L., & Reyna, A. L. (s/f). ACÚSTICA ARQUITECTÓNICA Y URBANÍSTICA.

Vielma Ranger, J., & Alonso, L. (2010). El Estudio Del Bienestar Psicológico Subjetivo. Una Breve Revisión Teórica. <https://www.redalyc.org/pdf/356/35617102003.pdf>

Walter, A. B., & Fornari, A. (2007). Simetría y proporción: Ordenadores proyectuales en la obra del Arq. Francisco Salamone. <https://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/167288>

What Is Ergonomics (HFE)? | International Ergonomics Association. (s/f). Recuperado el 12 de febrero de 2025, de <https://iea.cc/about/what-is-ergonomics/>

WMA - The World Medical Association-Declaración de la AMM sobre la Contaminación Acústica. (s/f). Recuperado el 15 de enero de 2025, de <https://www.wma.net/es/policies-post/declaracion-de-la-amm-sobre-la-contaminacion-acustica/>

Yang, L., Youcef-Toumi, K., & Tan, U.-X. (2017). Detect-Focus-Track-Servo (DFTS): A vision-based workflow algorithm for robotic image-guided micromanipulation. Other Repository. <https://dspace.mit.edu/handle/1721.1/120058>

