



**UNIVERSIDAD LAICA ELOY ALFARO DE MANABÍ**

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA VIDA Y TECNOLOGÍAS**

**CARRERA DE TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN**

**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO  
DE INGENIERO EN TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN**

**TEMA:**

**DISEÑO DE UN SISTEMA INTEGRAL DE SONORIZACIÓN PROFESIONAL 3D  
EN EL AUDITORIO LEO CEDEÑO SÁNCHEZ DE LA UNIVERSIDAD LAICA  
ELOY ALFARO DE MANABÍ**

**AUTORES:**

**GUDIÑO AVILA ANTHONY RAÚL**

**PALACIOS RIVAS RÓMULO MANUEL**

**TUTOR:**

**ING. LUIS JACINTO MENDOZA CUZME**

**2025-2**

## DECLARACIÓN EXPRESA DE AUTORÍA

Nosotros, **Gudiño Avila Anthony Raúl**, con cédula de ciudadanía **131566286-4** y **Palacios Rivas Rómulo Manuel**, con cédula de ciudadanía **131468519-7**, en calidad de autores del trabajo de titulación:

**“Diseño de un Sistema Integral de Sonorización Profesional 3D en el Auditorio Leo Cedeño Sánchez de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí”**

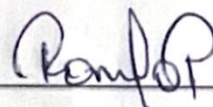
Declaramos que este trabajo es original y de nuestra autoría, hemos citado correctamente las fuentes utilizadas y respetado las leyes vigentes sobre derechos de autor.

Autorizamos a la **Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí** a usar este trabajo con fines académicos o investigativos, así como a publicarlos en su repositorio digital



**Gudiño Avila Anthony Raúl**

**C.I. 131566286-4**



**Palacios Rivas Rómulo Manuel**

**C.I. 131468519-7**

## CERTIFICACIÓN

En calidad de docente tutor de la Facultad Ciencias de la Vida y Tecnologías de la Universidad Laica "Eloy Alfaro" de Manabí, CERTIFICO:

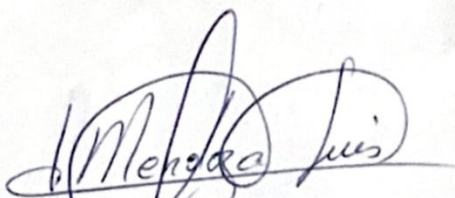
Haber dirigido y revisado el trabajo de investigación, bajo la autoría del estudiante **GUDIÑO AVILA ANTHONY RAÚL**, legalmente matriculado en la carrera de Tecnologías de la Información, período académico 2025\_2, cumpliendo el total de 400 horas, bajo la opción de titulación de Proyecto Integrador, cuyo tema del proyecto es **"DISEÑO DE UN SISTEMA INTEGRAL DE SONORIZACIÓN PROFESIONAL 3D EN EL AUDITORIO LEO CEDEÑO SÁNCHEZ DE LA UNIVERSIDAD LAICA ELOY ALFARO DE MANABÍ"**.

La presente investigación ha sido desarrollada en apego al cumplimiento de los requisitos académicos exigidos por el Reglamento de Régimen Académico y en concordancia con los lineamientos internos de la opción de titulación en mención, reuniendo y cumpliendo con los méritos académicos, científicos y formales, suficientes para ser sometida a la evaluación del tribunal de titulación que designe la autoridad competente.

Particular que certifico para los fines consiguientes, salvo disposición de Ley en contrario.

Manta, 05 de enero de 2025.

Lo certifico,



Ing. Luis Jacinto Méndez Cuzme, Mg.  
**Docente Tutor**  
**Facultad de Ciencias de la Vida y Tecnologías**



## CERTIFICACIÓN

En calidad de docente tutor de la Facultad Ciencias de la Vida y Tecnologías de la Universidad Laica "Eloy Alfaro" de Manabí, CERTIFICO:

Haber dirigido y revisado el trabajo de investigación, bajo la autoría del estudiante **PALACIOS RIVAS RÓMULO MANUEL**, legalmente matriculado en la carrera de Tecnologías de la Información, período académico 2025\_2, cumpliendo el total de 400 horas, bajo la opción de titulación de Proyecto Integrador, cuyo tema del proyecto es " **DISEÑO DE UN SISTEMA INTEGRAL DE SONORIZACIÓN PROFESIONAL 3D EN EL AUDITORIO LEO CEDEÑO SÁNCHEZ DE LA UNIVERSIDAD LAICA ELOY ALFARO DE MANABÍ**".

La presente investigación ha sido desarrollada en apego al cumplimiento de los requisitos académicos exigidos por el Reglamento de Régimen Académico y en concordancia con los lineamientos internos de la opción de titulación en mención, reuniendo y cumpliendo con los méritos académicos, científicos y formales, suficientes para ser sometida a la evaluación del tribunal de titulación que designe la autoridad competente.

Particular que certifico para los fines consiguientes, salvo disposición de Ley en contrario.

Manta, 05 de enero de 2025.

Lo certifico,



Ing. Luis Jacinto Mendoza Cuzme, Mg.

**Docente Tutor**

**Facultad de Ciencias de la Vida y Tecnologías**

## AGRADECIMIENTO

En primer lugar, queremos expresar nuestro más profundo agradecimiento a Dios, quien nos ha dado la fortaleza, sabiduría y salud para llegar a esta etapa tan significativa en nuestras vidas. Su guía constante ha sido la luz que nos permitió superar cada desafío con confianza y determinación hasta culminar este sueño.

A nuestras familias, quienes, con su apoyo incondicional, amor y sacrificio han sido nuestra mayor inspiración. De manera especial, a nuestros padres, porque con su ejemplo, correcciones acertadas y constante aliento, han estado presentes en cada paso de este recorrido, impulsándonos a ser mejores cada día.

A nuestros docentes y mentores, en especial a los ingenieros Luis Mendoza, Mike Machuca y Oscar González. Agradecemos su tiempo, sus correcciones precisas y su guía inestimable durante el desarrollo de este trabajo de titulación. Gracias por su compromiso con la excelencia académica y por compartir su experiencia con nosotros; su apoyo no solo nos guio en lo técnico, sino que también nos ayudó a madurar como profesionales.

A nuestra prestigiosa Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, por ser el espacio donde hemos adquirido las herramientas y conocimientos necesarios para nuestra formación. Las experiencias vividas en sus aulas y el compañerismo forjado en sus pasillos han marcado un antes y un después en nuestro desarrollo personal y profesional.

También extendemos nuestra gratitud a nuestros amigos y compañeros de estudio, quienes con su compañía, consejos y momentos de distracción hicieron este camino más llevadero y enriquecedor.

Finalmente, a todas aquellas personas que, de una u otra forma, contribuyeron a la realización de esta tesis. A cada uno de ustedes, gracias por ser parte de este logro que es tan nuestro como suyo.

*Anthony Raúl Gudiño Avila*

*Rómulo Manuel Palacios Rivas*

## DEDICATORIA

A Dios, por ser mi guía constante en todo este camino y darme la fortaleza para poder superar cada desafío que me puso en el camino.

A mi padre, José Gudiño por todo su apoyo incondicional y por todo el sacrificio realizado. A mi madre Karen Avila por todo su amor infinito y su presencia constante, que han sido mi refugio y mi motor para seguir en mi profesión. Gracias por creer en mis sueños y por ser mis pilares fundamentales que me permitió alcanzar esta grandiosa meta.

A toda mi familia, por ser mi soporte en los momentos más difíciles de esta increíble travesía y por celebrar cada pequeño logro que me propongo en mi vida.

A mi compañero y amigo de tesis Rómulo Palacios. Gracias por tu entrega y ser una de las personas que me ha apoyado en todo, gracias a eso pudimos hacer un gran trabajo en nuestro proyecto final de la universidad.

A mis grandes amigos que conocí en todo este tramo de mi carrera universitaria: Carolina Ayala, Maholy Andrade, Angelo Menéndez, Douglas Cevallos, Erwin Guadamud, Silvia Miele, Adrián Zamora, Alan Reyna y Luis Sánchez. Agradezco por todo su apoyo y guía en esta gran aventura, al igual por cada momento compartido. Gracias por hacer de los años universitarios una experiencia inolvidable.

A mi amiga incondicional, Carmen Vera, Aunque el tiempo ha sido breve, tu amistad y tus consejos han dejado una huella profunda. Valoro enormemente la firmeza con la que ha crecido nuestro vínculo en tan poco tiempo.

A mis docentes: Ing. Luis Mendoza, Ing. Mike Machuca, Ing. Oscar González, Ing. Henry Mero. Agradezco profundamente por todo su conocimiento adquirido en toda esta aventura universitaria y que gracias a la ayuda de ellos hemos logrado terminar nuestro proyecto de titulación.

A todos ustedes, les dedico este trabajo con el más profundo agradecimiento, su respaldo no solo me permitió superarme en esta etapa académica, sino que me ayudó a crecer como persona.

*Anthony Raúl Gudiño Avila*

## DEDICATORIA

A Dios, por ser quien me ha dado la fortaleza y la sabiduría para culminar con éxito esta etapa de mi vida, y por poner en mi camino a las personas que me apoyaron en todo momento.

A mi padre, Rómulo Palacios. Gracias por depositar en mí la semilla del saber y por brindarme acceso a tu vasta sabiduría, la cual ha sido mi mayor herencia y mi mejor recurso para enfrentar los retos de esta carrera.

A mi madre, Vilma Rivas, mi refugio y mi fortaleza. Gracias por tu amor inagotable, por la sabiduría de tus correcciones acertadas que me mantuvieron enfocado, y por esas palabras de aliento que transformaron mis dudas en certezas. Sin tu apoyo, este camino no habría sido posible.

A Génessis Paredes, gracias por estar siempre a mi lado, por tu amor, por ser mi compañera incondicional y mi motivación diaria en este camino. Gracias por creer en mí incluso más de lo que yo mismo lo hacía.

A mi grupo de amigos: Carolina Ayala, Maholy Andrade, Erwin Guadamud, Alan Reyna, Adrián Zamora, gracias eternas por compartir conmigo esta experiencia universitaria inolvidable, Sin su apoyo y colaboración, este resultado no habría sido posible.

Y, sobre todo, a Anthony Gudiño, quien más que un compañero de tesis ha sido un hermano en este proceso. Gracias por tu perseverancia y por no dejarme caer el ánimo. Hemos compartido estrés, correcciones y cansancio, pero hoy compartimos el orgullo del deber cumplido. Gracias por tu amistad y tu excelencia profesional.

A mi familia, por ser el origen de mis valores y el apoyo constante que me impulsa a ser mejor cada día. Este triunfo también les pertenece.

A mi alma mater Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, por ser el escenario de mi formación académica.

A mis mentores, Ing. Luis Mendoza, Ing. Mike Machuca e Ing. Oscar González, por su tiempo, sus correcciones precisas y su guía inestimable durante el desarrollo de este trabajo de titulación. Gracias por su compromiso con la excelencia académica.

*Rómulo Manuel Palacios Rivas*

## Índice de contenidos

|                                                                                                |       |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| RESUMEN .....                                                                                  | XVIII |
| ABSTRACT.....                                                                                  | XIX   |
| CAPÍTULO I .....                                                                               | XIX   |
| 1. Introducción.....                                                                           | 20    |
| 1.1. Presentación del tema .....                                                               | 21    |
| 1.2. Ubicación y contextualización de la problemática .....                                    | 21    |
| 1.3. Planteamiento de problema .....                                                           | 22    |
| 1.3.1. Problematización .....                                                                  | 22    |
| 1.3.2. Génesis del problema.....                                                               | 23    |
| 1.3.3. Estado actual del problema .....                                                        | 23    |
| 1.4. Diagrama causa – efecto del problema.....                                                 | 25    |
| 1.5. Objetivos.....                                                                            | 26    |
| 1.5.1. Objetivo general.....                                                                   | 26    |
| 1.5.2. Objetivos específicos .....                                                             | 26    |
| 1.6. Justificación.....                                                                        | 27    |
| 1.7. Impactos esperados.....                                                                   | 27    |
| 1.7.1. Impacto tecnológico.....                                                                | 27    |
| 1.7.2. Impacto Social .....                                                                    | 28    |
| 1.7.3. Impacto Ecológico .....                                                                 | 28    |
| CAPÍTULO II .....                                                                              | 29    |
| 2. Marco Teórico de la Investigación .....                                                     | 29    |
| 2.1. Antecedentes históricos .....                                                             | 29    |
| 2.1.1. Evolución de los Sistemas de Sonorización .....                                         | 29    |
| 2.1.2. Introducción de las Tecnologías Inmersivas (Audio 3D) .....                             | 29    |
| 2.1.2.1. Sensurround en los años 70 y su evolución hacia tecnologías inmersivas modernas ..... | 29    |



|            |                                                             |    |
|------------|-------------------------------------------------------------|----|
| 2.1.3.     | Antecedentes Nacionales .....                               | 30 |
| 2.1.3.1.   | Propuesta de Diseño Acústico en Ecuador .....               | 30 |
| 2.2.       | Definiciones conceptuales .....                             | 31 |
| 2.2.1.     | Sonido .....                                                | 31 |
| 2.2.1.1.   | Propiedades físicas del sonido .....                        | 31 |
| 2.2.1.2.   | Cualidades del Sonido .....                                 | 34 |
| 2.2.1.3.   | Niveles acústicos.....                                      | 35 |
| 2.2.1.     | Sonorización .....                                          | 36 |
| 2.2.2.1.   | Definición .....                                            | 36 |
| 2.2.2.2.   | Tipos de sonorización .....                                 | 37 |
| 2.2.1.2.1. | Sonorización Convencional (Mono y Estéreo).....             | 37 |
| 2.2.1.2.2. | Sonorización Envolvente (Surround Sound) .....              | 38 |
| 2.2.1.2.3. | Sonorización Inmersiva .....                                | 39 |
| 2.2.1.2.4. | Sonorización Pseudo-3D.....                                 | 40 |
| 2.2.2.     | Acústica de Auditorios.....                                 | 41 |
| 2.2.3.1.   | Principales Características Acústicas de un Auditorio.....  | 42 |
| 2.2.3.     | Tecnologías de Sonido Envolvente.....                       | 43 |
| 2.2.4.1.   | Surgimiento de la Tecnología de Sonorización Pseudo-3D..... | 43 |
| 2.2.4.2    | Definición y Principios de la Sonorización Pseudo-3D.....   | 44 |
| 2.2.4.3    | Principios claves de la Sonorización Pseudo-3D.....         | 44 |
| 2.2.4.4    | Características Técnicas de la Sonorización Pseudo-3D ..... | 45 |
| 2.3.       | Fundamentos Tecnológicos .....                              | 47 |
| 2.3.1.     | Micro-frameworks para Sistemas Embebidos .....              | 47 |
| 2.3.2.     | Persistencia de Datos en Entornos Locales.....              | 47 |
| 2.3.3.     | Patrones de Diseño de Software .....                        | 48 |
| 2.3.4.     | Arquitectura RESTful .....                                  | 49 |
| 2.3.4.1.   | Mapeo de Métodos HTTP.....                                  | 49 |

|                                                              |    |
|--------------------------------------------------------------|----|
| 2.3.4.2. Serialización de Datos mediante JSON .....          | 51 |
| 2.3.5. Tecnologías de Interfaz y Renderizado Asíncrono ..... | 51 |
| 2.3.6. Visualización de Datos en Tiempo Real .....           | 52 |
| 2.3.6.1. Interacción Hombre-Máquina (HMI) .....              | 52 |
| 2.3.7. Estándares de Seguridad en IoT.....                   | 53 |
| 2.3.8. Modelos de Calidad de Software .....                  | 54 |
| 2.3.8.1. ISO/IEC 25010 .....                                 | 54 |
| 2.3.8.2. Eficiencia de Desempeño.....                        | 54 |
| 2.3.8.3. Usabilidad y Experiencia de Usuario.....            | 55 |
| 2.3.8.4. Fiabilidad .....                                    | 55 |
| CAPÍTULO III.....                                            | 57 |
| 3. Marco Investigativo .....                                 | 57 |
| 3.1. Tipo de investigación.....                              | 57 |
| 3.1.1. Analítico.....                                        | 57 |
| 3.1.2. Descriptivo.....                                      | 57 |
| 3.1.3. Aplicada.....                                         | 58 |
| 3.2. Métodos de investigación .....                          | 58 |
| 3.2.1. Inductivo .....                                       | 58 |
| 3.2.2. Deductivo.....                                        | 58 |
| 3.2.3. Bibliográfico .....                                   | 59 |
| 3.3. Metodología de Desarrollo .....                         | 59 |
| 3.3.1. Prototipado Evolutivo .....                           | 59 |
| 3.4. Población y Muestra .....                               | 60 |
| 3.4.1. Población Objetivo y Estrategia de Muestreo.....      | 60 |
| 3.5. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos.....    | 61 |
| 3.5.1. Encuesta.....                                         | 61 |
| 3.5.2. Cuestionario de preguntas cerradas .....              | 61 |

|                                                                 |    |
|-----------------------------------------------------------------|----|
| 3.5.3. Objetivo .....                                           | 61 |
| 3.5.4. Diseño y Justificación de los Ítems.....                 | 62 |
| 3.6. Herramientas e Instrumento de Recolección .....            | 65 |
| 3.6.1. Herramientas.....                                        | 65 |
| 3.6.1.1. Instrumental de diagnóstico y medición. ....           | 65 |
| 3.6.1.2. Herramientas de implementación física.....             | 65 |
| 3.6.2. Instrumentos.....                                        | 66 |
| 3.7. Plan Estratégico para la Captura de Datos.....             | 66 |
| 3.7.1. Plan de Recolección de Datos.....                        | 66 |
| 3.8. Recursos Investigativos .....                              | 66 |
| 3.8.1. Talento Humano.....                                      | 67 |
| 3.8.2. Recursos Tecnológicos y Materiales.....                  | 67 |
| 3.8.3. Recursos Financieros .....                               | 67 |
| 3.9. Presentación y Análisis de Resultados: Informe Final ..... | 67 |
| 3.9.1. Caracterización de la Muestra y Ubicación .....          | 68 |
| 3.9.2. Diagnóstico de Deficiencias Acústicas .....              | 69 |
| 3.10. Análisis y Resultados: Informe Final .....                | 77 |
| CAPÍTULO IV .....                                               | 79 |
| 4. Marco Propositivo .....                                      | 79 |
| 4.1. Introducción.....                                          | 79 |
| 4.2. Descripción de la Propuesta .....                          | 79 |
| 4.3. Determinación de Recursos .....                            | 81 |
| 4.3.1. Recursos Humanos .....                                   | 81 |
| 4.3.2. Recursos Tecnológicos.....                               | 81 |
| 4.3.3. Recursos Económicos .....                                | 83 |
| 4.4. Etapas operativas para el desarrollo de la propuesta ..... | 84 |
| 4.4.1. Enfoques metodológicos empleados.....                    | 84 |

|                                                                           |     |
|---------------------------------------------------------------------------|-----|
| 4.4.1.1. Metodología en Cascada.....                                      | 84  |
| 4.4.1.2. Enfoque colaborativo.....                                        | 84  |
| 4.4.2. Aplicación de la Metodología.....                                  | 85  |
| 4.4.2.1. Fase preliminar: Levantamiento y Análisis Acústico .....         | 85  |
| 4.4.2.2. Fase de planificación y diseño de ingeniería .....               | 86  |
| 4.4.2.3. Definición de funcionalidades del sistema .....                  | 88  |
| 4.4.3. Fase de implementación y Control .....                             | 90  |
| 4.4.3.1. Control del Administrador: Gestión de Consola y<br>Procesamiento | 90  |
| 4.4.3.2. Control del Usuario: Experiencia del Ponente y Audiencia ...     | 92  |
| 4.4.4. Fase de Calibración y Despliegue.....                              | 93  |
| 4.4.4.1. Herramientas de Hardware y Software de Análisis .....            | 94  |
| 4.4.4.2. Entorno de Desarrollo: Adecuación del Recinto.....               | 95  |
| 4.4.4.3. Revisión y retrospectiva (Commissioning).....                    | 97  |
| 4.5. Diseño del Sistema de Gestión de Audio.....                          | 99  |
| 4.5.1. Arquitectura del Sistema.....                                      | 99  |
| 4.5.2. Stack Tecnológico y Entorno .....                                  | 100 |
| 4.5.3. Modelo de Datos y Persistencia (Capa de Datos).....                | 100 |
| 4.5.4. Seguridad y Robustez (Capa de Lógica).....                         | 102 |
| 4.5.5. Interfaz y Experiencia de Usuario (Capa de Presentación) .....     | 103 |
| CAPÍTULO V .....                                                          | 105 |
| 5. Evaluación de Resultados .....                                         | 105 |
| 5.1. Introducción.....                                                    | 105 |
| 5.2. Resultados de la Validación Técnica .....                            | 105 |
| 5.2.1. Protocolo de Pruebas y Mediciones.....                             | 105 |
| 5.2.2. Instrumentación y Herramientas de Análisis .....                   | 106 |
| 5.2.3. Metodología de Medición en Sitio.....                              | 106 |

|                                                                                           |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 5.2.4. Criterios de Aceptación.....                                                       | 107 |
| 5.3. Validación Funcional del Software.....                                               | 108 |
| 5.3.1. Pruebas de Rendimiento (Performance Testing).....                                  | 109 |
| 5.3.2. Pruebas de Seguridad.....                                                          | 113 |
| 5.4. Análisis de Resultados Técnicos .....                                                | 116 |
| 5.4.1. Comparativa de Cobertura (SPL) Antes y Después.....                                | 116 |
| 5.4.2. Respuesta en Frecuencia e Inteligibilidad .....                                    | 118 |
| 5.4.2.1. Análisis de la Curva de Respuesta (RTA).....                                     | 119 |
| 5.4.2.2. Metodología de Medición Espectral .....                                          | 120 |
| 5.5. Validación de la Experiencia Pseudo-3D.....                                          | 121 |
| 5.5.1. Introducción a la Experiencia Pseudo-3D en el Auditorio Leo<br>Cedeño Sánchez..... | 121 |
| 5.5.2. Fundamentos Técnicos y Metodología de Validación .....                             | 121 |
| 5.5.2.1. Fundamentos Técnicos de la Sonorización Pseudo-3D .....                          | 121 |
| 5.5.2.2. Metodología de Validación .....                                                  | 122 |
| 5.5.2.2.1. Evaluación técnica .....                                                       | 122 |
| 5.5.2.2.2. Evaluación subjetiva .....                                                     | 123 |
| 5.5.2.2.3. Criterios de aceptación.....                                                   | 123 |
| 5.6. Resultados de Validación.....                                                        | 124 |
| 5.6.1. Resultados Técnicos .....                                                          | 124 |
| CAPÍTULO VI .....                                                                         | 126 |
| 6. Conclusiones y Recomendaciones.....                                                    | 126 |
| 6.1. Conclusiones.....                                                                    | 126 |
| 6.2. Recomendaciones .....                                                                | 127 |
| Bibliografías.....                                                                        | 128 |
| Anexos .....                                                                              | 132 |



## Índice de Ilustraciones

|                                                                                       |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Ilustración 1.</b> Auditorio Leo Cedeño Sánchez.....                               | 22 |
| <b>Ilustración 2.</b> Representación del sistema Sensurround en un auditorio.....     | 30 |
| <b>Ilustración 3.</b> Transmisión del Sonido.....                                     | 31 |
| <b>Ilustración 4.</b> Amplitud .....                                                  | 32 |
| <b>Ilustración 5.</b> Subdivisión de Frecuencia .....                                 | 33 |
| <b>Ilustración 6.</b> Velocidad del Sonido.....                                       | 33 |
| <b>Ilustración 7.</b> Nivel de presión acústica (SPL).....                            | 36 |
| <b>Ilustración 8.</b> Diferencia entre Sonorización Convencional (Mono y Estéreo). 38 |    |
| <b>Ilustración 9.</b> Sonorización Envolvente (Surround Sound).....                   | 39 |
| <b>Ilustración 10.</b> Sistema de Audio Inmersivo .....                               | 40 |
| <b>Ilustración 11.</b> Esquema de funcionamiento de la sonorización Pseudo-3D.....    | 41 |
| <b>Ilustración 12.</b> Dinámica de propagación del sonido en un Auditorio. ....       | 43 |
| <b>Ilustración 13.</b> Arquitectura de flujo de señal: Canales vs. Objetos.....       | 46 |
| <b>Ilustración 14.</b> Modelo MVC .....                                               | 48 |
| <b>Ilustración 15.</b> Arquitectura REST.....                                         | 49 |
| <b>Ilustración 16.</b> Transferencia de Estado Representacional.....                  | 50 |
| <b>Ilustración 17.</b> Interpretación de rol en la institución.....                   | 68 |
| <b>Ilustración 18.</b> Ubicación de Deficiencias Acústicas .....                      | 69 |
| <b>Ilustración 19.</b> Inteligibilidad de la palabra.....                             | 70 |
| <b>Ilustración 20.</b> Uniformidad de Cobertura .....                                 | 71 |
| <b>Ilustración 21.</b> Relación Señal/Ruido.....                                      | 72 |
| <b>Ilustración 22.</b> Fatiga Auditiva.....                                           | 73 |
| <b>Ilustración 23.</b> Calificación General del Equipo .....                          | 74 |
| <b>Ilustración 24.</b> Necesidad de cobertura uniforme.....                           | 75 |

|                                                                                       |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Ilustración 25.</b> Prioridad de Renovación.....                                   | 76  |
| <b>Ilustración 26.</b> Aceptación del Sonido Envoltente .....                         | 77  |
| <b>Ilustración 27.</b> Arquitectura de la solución planteada .....                    | 80  |
| <b>Ilustración 28.</b> Proceso de medición de presión sonora. ....                    | 86  |
| <b>Ilustración 29.</b> Interfaz de simulación y predicción acústica. ....             | 88  |
| <b>Ilustración 30.</b> Gestión dinámica del sistema de sonoro. ....                   | 89  |
| <b>Ilustración 31.</b> Estación de control operativo y procesamiento de señal. ....   | 91  |
| <b>Ilustración 32.</b> Dispositivos de captura inalámbrica y movilidad del usuario .. | 93  |
| <b>Ilustración 33.</b> Interfaz de software para la medición RTA.....                 | 94  |
| <b>Ilustración 34.</b> Fijación mecánica y orientación de parlantes .....             | 96  |
| <b>Ilustración 35.</b> Tendido de cables .....                                        | 97  |
| <b>Ilustración 36.</b> Validación operativa y entrega técnica del sistema.....        | 98  |
| <b>Ilustración 37.</b> Diagrama de Arquitectura Lógica del Sistema.....               | 99  |
| <b>Ilustración 38.</b> Diagrama Entidad-Relación del Sistema .....                    | 101 |
| <b>Ilustración 39.</b> Interfaz de Control y Monitoreo .....                          | 104 |
| <b>Ilustración 40.</b> Ubicación de los puntos de medición y control. ....            | 107 |
| <b>Ilustración 41.</b> Dashboard principal del sistema (estado, CPU, latencia). ....  | 111 |
| <b>Ilustración 42.</b> Timeline de cambios de modo con tiempos (ms).....              | 112 |
| <b>Ilustración 43.</b> Dashboard sistema de control en modo Conferencia. ....         | 112 |
| <b>Ilustración 44.</b> Pantalla de Login del Sistema. ....                            | 114 |
| <b>Ilustración 45.</b> Panel de administración con roles y usuarios. ....             | 114 |
| <b>Ilustración 46.</b> Gestión de Logs (búsqueda y filtrado) Modo ADMIN. ....         | 115 |
| <b>Ilustración 47.</b> Configuración del Sistema (solo admin).....                    | 115 |
| <b>Ilustración 48.</b> Captura de mediciones SPL en la ultimas zonas.....             | 117 |
| <b>Ilustración 49.</b> Captura de datos postimplementación. ....                      | 118 |

|                                                                                       |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Ilustración 50.</b> Curva de respuesta en frecuencia final del sistema.....        | 119 |
| <b>Ilustración 51.</b> Proceso de medición de respuesta en frecuencia en sitio.....   | 120 |
| <b>Ilustración 52.</b> Respuesta de frecuencia final del sistema.....                 | 123 |
| <b>Ilustración 53.</b> Medición de SPL en la zona A del auditorio.....                | 125 |
| <b>Ilustración 54.</b> Medición de campo en la Zona C del auditorio. ....             | 125 |
| <b>Ilustración 55.</b> Estado inicial del recinto previo a la intervención. ....      | 132 |
| <b>Ilustración 56.</b> Perspectiva del área de audiencia y geometría del auditorio. . | 132 |
| <b>Ilustración 57.</b> Conexión de cables de audio.....                               | 133 |
| <b>Ilustración 58.</b> Adecuación de Auditorio Leo Cedeño Cabezas.....                | 133 |
| <b>Ilustración 59.</b> Montaje y cableado de los componentes del sistema.....         | 134 |
| <b>Ilustración 60.</b> Enrutamiento vertical del cableado de señal.....               | 134 |
| <b>Ilustración 61.</b> Levantamiento técnico de infraestructura en el sitio.....      | 135 |
| <b>Ilustración 62.</b> Activación de puntos en el sistema de control del auditorio..  | 135 |
| <b>Ilustración 63.</b> Verificación de la directividad de los parlantes.....          | 136 |
| <b>Ilustración 64.</b> Calificación de campo con instrumentos de análisis acústico    | 136 |
| <b>Ilustración 65.</b> Medición de Niveles de Presión Sonora .....                    | 137 |
| <b>Ilustración 66.</b> Evaluación de los niveles de presión sonora.....               | 137 |
| <b>Ilustración 67.</b> Valoración subjetiva de la respuesta en timbre y voz.....      | 138 |
| <b>Ilustración 68.</b> Verificación de la integridad de la señal de audio.....        | 139 |
| <b>Ilustración 69.</b> Configuración y calibración del centro de control de audio. .. | 140 |
| <b>Ilustración 70.</b> Perspectiva final de la infraestructura desde escenario.....   | 141 |
| <b>Ilustración 71.</b> Vista general del recinto tras la implementación del sistema.  | 142 |
| <b>Ilustración 72.</b> Centro de control implementado.....                            | 142 |

## Índice de Tablas

|                                                                              |     |
|------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Tabla 1.</b> Tabulación de roles de encuestados. ....                     | 68  |
| <b>Tabla 2.</b> Tabulación de ubicación frecuente. ....                      | 69  |
| <b>Tabla 3.</b> Tabulación de inteligibilidad del sistema. ....              | 70  |
| <b>Tabla 4.</b> Tabulación de uniformidad de cobertura. ....                 | 71  |
| <b>Tabla 5.</b> Tabulación de presencia de ruido. ....                       | 72  |
| <b>Tabla 6.</b> Tabulación de fatiga auditiva. ....                          | 73  |
| <b>Tabla 7.</b> Tabulación de obsolescencia tecnológica percibida. ....      | 74  |
| <b>Tabla 8.</b> Tabulación de demanda de equidad auditiva. ....              | 75  |
| <b>Tabla 9.</b> Tabulación de prioridad de renovación. ....                  | 76  |
| <b>Tabla 10.</b> Tabulación de aceptación del sonido envolvente. ....        | 77  |
| <b>Tabla 11.</b> Recursos Humanos y Funciones. ....                          | 81  |
| <b>Tabla 12.</b> Recursos utilizados y su función. ....                      | 82  |
| <b>Tabla 13.</b> Detalle de Recursos Económicos ....                         | 83  |
| <b>Tabla 14.</b> Stack Tecnológico. ....                                     | 100 |
| <b>Tabla 15.</b> Tabla system_logs ....                                      | 101 |
| <b>Tabla 16.</b> Tabla system_config. ....                                   | 102 |
| <b>Tabla 17.</b> Tabla access_users. ....                                    | 102 |
| <b>Tabla 18.</b> Relación de equipamiento utilizado para la validación. .... | 106 |
| <b>Tabla 19.</b> Resultados de Pruebas Funcionales ....                      | 110 |
| <b>Tabla 20.</b> Registro Comparativo de Presión Sonora ....                 | 116 |

## RESUMEN

La presente investigación se centró en el diseño e implementación de un sistema integral de sonorización profesional con enfoque Pseudo-3D para el Auditorio "Leo Cedeño Sánchez" de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí. El problema identificado radicaba en una obsolescencia funcional crítica de la infraestructura analógica preexistente, caracterizada por una distribución deficiente del sonido, zonas de sombra acústica y una nula inteligibilidad en puntos clave del aforo, donde el 71% de los usuarios reportaba dificultades para comprender el mensaje de los conferencistas.

La metodología empleada integró enfoques analíticos y descriptivos mediante una investigación aplicada, utilizando el método de prototipado evolutivo para el desarrollo del software de gestión. Para el diseño acústico, se realizaron mediciones in situ de presión sonora (SPL) y simulaciones 3D con software especializado (EASE), lo que permitió definir una arquitectura híbrida de altavoces orientada a optimizar la cobertura y eliminar ecos molestos.

Como resultado principal, se logró la modernización tecnológica del recinto mediante la integración de una topología de audio inmersivo controlada por una interfaz de software basada en Python y Flask. Las pruebas de validación técnica demostraron una mejora significativa en la inteligibilidad de la palabra (STI) y una respuesta de frecuencia lineal en el rango de voz, manteniendo una latencia de control inferior a los 50 ms para garantizar una operación fluida en tiempo real.

En conclusión, la intervención transformó un entorno "analógico y desconectado" en una infraestructura inteligente y escalable, eliminando las deficiencias acústicas iniciales y dotando a la institución de una herramienta de gestión centralizada que eleva el estándar técnico de los eventos académicos y culturales de la universidad.

## ABSTRACT

This research focused on the design and implementation of a comprehensive professional sound system with a pseudo-3D approach for the "Leo Cedeño Sánchez" Auditorium at the Eloy Alfaro Lay University of Manabí. The identified problem was the critical functional obsolescence of the existing analog infrastructure, characterized by poor sound distribution, acoustic shadow zones, and a lack of intelligibility in key areas of the auditorium, where 71% of users reported difficulty understanding the speakers' messages.

The methodology employed integrated analytical and descriptive approaches through applied research, using the evolutionary prototyping method for the development of the management software. For the acoustic design, on-site sound pressure level (SPL) measurements and 3D simulations were performed using specialized software (EASE), which allowed for the definition of a hybrid loudspeaker architecture aimed at optimizing coverage and eliminating unwanted echoes.

The main result was the technological modernization of the venue through the integration of an immersive audio topology controlled by a software interface based on Python and Flask. Technical validation tests demonstrated a significant improvement in speech intelligibility (STI) and a linear frequency response in the voice range, maintaining a control latency of less than 50 ms to ensure smooth, real-time operation.

In conclusion, the intervention transformed an "analog and disconnected" environment into a smart and scalable infrastructure, eliminating the initial acoustic deficiencies and providing the institution with a centralized management tool that raises the technical standard of the university's academic and cultural events.

# CAPÍTULO I

## 1. Introducción

En la actualidad, los sistemas de sonorización desempeñan un papel crucial en la calidad de las presentaciones orales y musicales dentro de espacios académicos y culturales. Cuando el audio está bien instalado y ajustado y controlado mediante herramientas tecnológicas adecuadas, la experiencia se vuelve mucho más clara y envolvente, algo clave en auditorios universitarios donde hay desde congresos y clases hasta eventos importantes. Si el sonido acompaña, no solo se entiende mejor lo que se dice, sino que la conexión entre quienes presentan y el público se vuelve mucho más fluida y cercana.

El Auditorio Leo Cedeño Sánchez, se encuentra ubicado en el Campus Manta de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, es uno de los lugares principales para este tipo de actividades. Sin embargo, hoy por hoy el sistema de sonido que no tiene alcanza para ofrecer la experiencia que se espera. El audio no llega parejo a todo el espacio y los equipos ya no están a la altura, así que las presentaciones terminan perdiendo calidad, tanto para quienes asisten como para quienes las organizan.

Por eso, este proyecto propone diseñar e instalar un sistema integral que fusiona la ingeniería acústica con las Tecnologías de la Información, con un enfoque pseudo-3D, pensado especialmente para el Auditorio Leo Cedeño Sánchez. El propósito es optimizar a fondo la experiencia auditiva, distribuyendo el sonido de forma más uniforme y alcanzando una acústica superior en todo el auditorio mediante un software de control. Es una solución con tecnología accesible, eficiente y escalable que se ajusta a las necesidades del espacio. Esto permitirá que el auditorio se modernice y se perciba un cambio de calidad en cada evento académico o cultural.

No solo se busca corregir las actuales fallas de audio, sino también proveer a la institución con una herramienta innovadora de gestión. Esto elevará el nivel técnico de los eventos, garantizando que el sonido esté a la altura de las expectativas y que el auditorio cuente con una infraestructura inteligente preparada para los desafíos académicos del futuro.

## **1.1. Presentación del tema**

DISEÑO DE UN SISTEMA INTEGRAL DE SONORIZACIÓN  
PROFESIONAL 3D EN EL AUDITORIO LEO CEDEÑO SÁNCHEZ DE LA  
UNIVERSIDAD LAICA ELOY ALFARO DE MANABÍ

## **1.2. Ubicación y contextualización de la problemática**

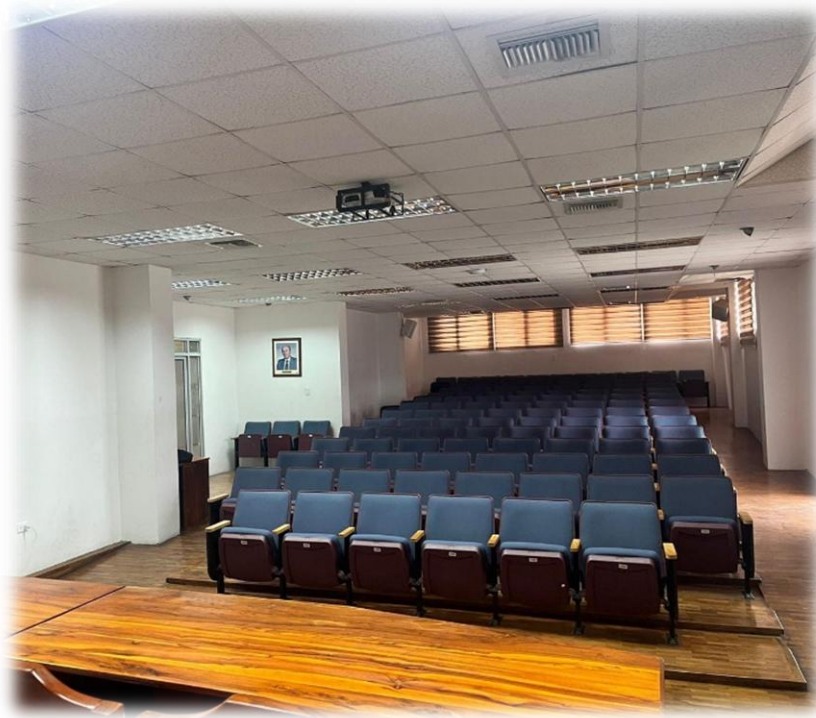
El Auditorio Leo Cedeño Sánchez, ubicado en el campus Manta de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí y administrado por la Facultad de Ciencias de la Vida y Tecnologías, es muy importante para llevar a cabo congresos, conferencias y encuentros académicos o administrativos. De la misma manera, tiene un rol fundamental en la universidad, ya que es en este lugar donde se llevan a cabo eventos importantes que contribuyen al campo académico de la institución.

No obstante, en la actualidad, desde la perspectiva de las Tecnologías de la Información, se considera un entorno "analógico y desconectado", a pesar de todas las actividades que allí tienen lugar. Aunque el sistema de audio está diseñado para funcionar de forma autónoma, sin vinculación con la infraestructura de datos institucional, y a pesar de que la instalación se ubica en la zona cubierta por la Intranet universitaria y cuenta con nodos de red disponibles, este contexto desconectado es el más adecuado para implementar una solución IoT. Por lo tanto, el proyecto no solo se ocupa de la intervención del espacio acústico, sino que además emplea la infraestructura de telecomunicaciones preexistente para modernizar la gestión del lugar.

El problema no solo es la falta de cobertura en las filas traseras, sino también la escasa acústica. La escasez de interfaces de gestión se hace presente: hoy en día, cualquier cambio requiere que los equipos complejos sean manipulados físicamente, lo que aumenta el desgaste del hardware y el riesgo de error humano. La ausencia de un sistema de control centralizado por software dificulta la respuesta rápida ante incidentes y el monitoreo a distancia, lo cual pone de manifiesto una desventaja tecnológica entre la infraestructura moderna de la ULEAM y las operaciones obsoletas del auditorio.



**Ilustración 1.** Auditorio Leo Cedeño Sánchez.



**Nota.** Imagen Auditorio Leo Cedeño Sánchez de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí (ULEAM). **Fuente.** Elaboración Propia.

## 1.3. Planteamiento de problema

### 1.3.1. Problematicación

**¿Por qué el auditorio no cuenta con un sistema de sonorización 3D adecuado?**

El Auditorio Leo Cedeño Sánchez de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí (ULEAM) es escenario de una amplia variedad de eventos académicos y culturales. Cada uno exige un sonido claro y potente para que la comunicación funcione y la experiencia del público no quede a los medios. Sin embargo, el sistema actual deja mucho que desear: hay zonas donde el audio prácticamente se pierde, y la nitidez simplemente no está a la altura. Aunque se han hecho arreglos menores, cambiando cables o renovando consolas y micrófonos, la verdad es que los parlantes y la configuración siguen siendo viejos y limitan lo que el auditorio puede ofrecer a su público. Esto impide cualquier tipo de monitoreo remoto o ajuste automatizado, limitando severamente la capacidad de respuesta ante fallos durante los eventos.

## **¿Qué pasa cuando esto no se resuelve en los eventos?**

La falta de un sistema de sonido 3D decente se nota en cada evento, quienes asisten muchas veces no logran entender bien a los conferencistas, ni disfrutar de las presentaciones musicales o culturales. Hay partes del auditorio donde el sonido apenas llega o suena distorsionado. Esto deja a la gente incómoda, y la reputación del lugar como sede de eventos académicos y culturales termina lastimada: no parece el espacio preparado para encuentros de alto nivel que promete ser.

### **1.3.2. Génesis del problema**

Conforme la universidad se fue ampliando y diversificando sus actividades académicas y culturales, el problema de la brecha tecnológica y de la sonorización deficiente del Auditorio Leo Cedeño Sánchez comenzó a notarse. El sistema de sonido que se incorporó en sus primeros años de operación era adecuado para eventos de menor escala, pero con el tiempo las restricciones del sistema comenzaron a ser más notorias debido a la demanda de cubrir grandes conferencias, congresos y shows musicales.

Se ha reemplazado la consola, se han conseguido micrófonos nuevos y los cables han sido sustituidos en repetidas ocasiones a lo largo de los años. Sin embargo, se sintió que solo estaban aplicando "parches". El problema real fue que, aunque la universidad se estaba digitalizando, el auditorio continuaba en un proceso manual. La ausencia de una arquitectura de integración que facilitara la administración del audio mediante el software provocó un desfase entre lo moderno y lo obsoleto en términos operativos del recinto. Lo que más nos costó fue ver la frustración de las personas al no entender una conferencia, lo que nos dejó claro que los cambios menores en el hardware ya no eran suficientes.

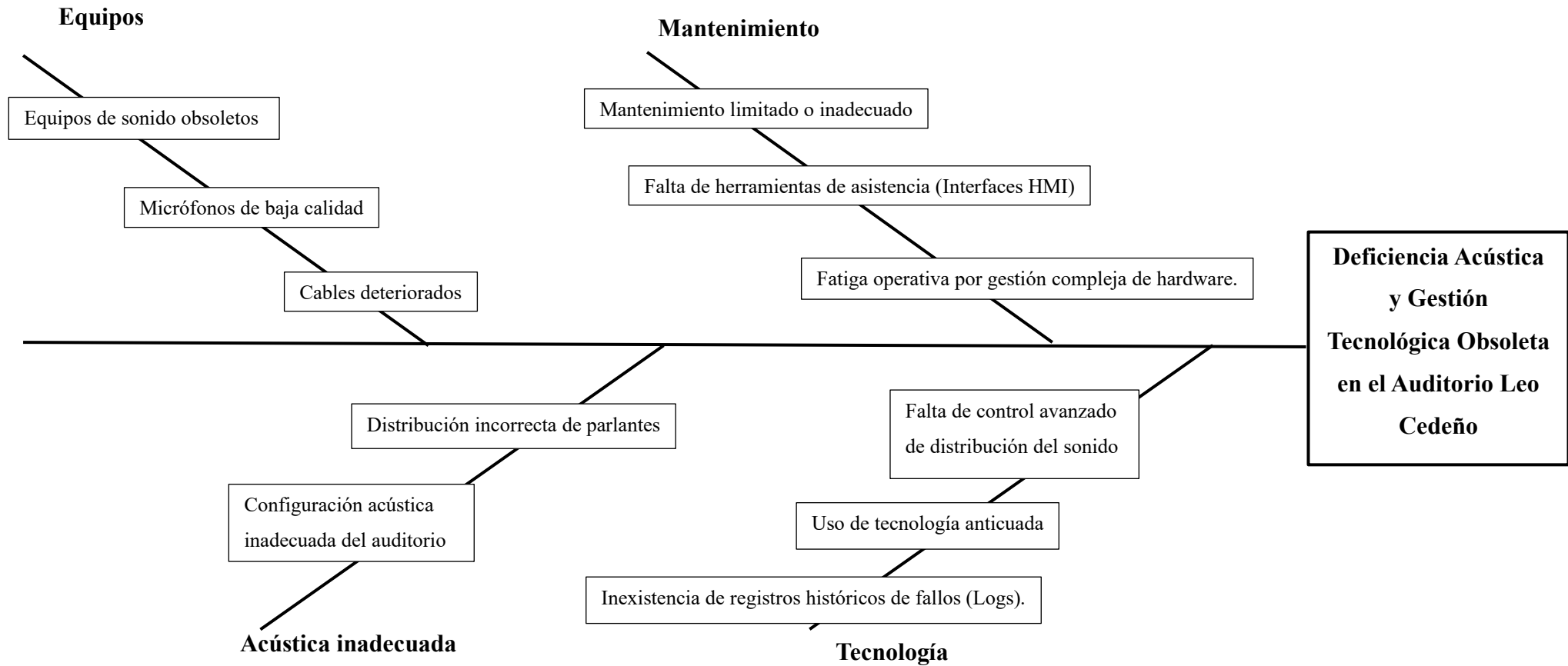
### **1.3.3. Estado actual del problema**

El sistema de sonorización del Auditorio Leo Cedeño Sánchez está compuesto por equipos que han superado su vida útil y no se han adaptado a las necesidades actuales de los eventos académicos y culturales. Actualmente, el auditorio está equipado con parlantes y otros dispositivos que, aunque funcionales, no están configurados para proporcionar una experiencia auditiva coherente y de alta calidad en todo el espacio.

A pesar de los mantenimientos básicos que se han hecho, los equipos todavía no alcanzan a cubrir todo el espacio ni logran brindar el sonido claro y definido que piden los eventos grandes.

Aunque no se ha dejado de darle mantenimientos a los a los equipos, se siente que el sistema ya no puede alcanzar el ritmo de lo que se necesita en el auditorio. Es una tristeza que, en eventos grandes, el sonido no llegué con la nitidez que debería para poder conectarse con la persona que esta dando dicha conferencia. Esto no solo incomoda a las personas que asisten, sino que también impide que dicho recinto sea utilizado para eventos de mayor calidad en un futuro.

#### 1.4. Diagrama causa – efecto del problema



## **1.5. Objetivos**

### **1.5.1. Objetivo general**

Diseñar un sistema integral de sonorización profesional 3D y arquitectura de control IoT para para el Auditorio Leo Cedeño Sánchez de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, garantizando una cobertura uniforme y clara en todo el espacio, y responda a las necesidades acústicas de los eventos académicos y culturales que se realizan en dicho auditorio.

### **1.5.2. Objetivos específicos**

- Analizar las limitaciones de calidad y cobertura del sistema de sonorización actual en el Auditorio Leo Cedeño Sánchez, con el fin de identificar las deficiencias técnicas y acústicas que afectan la experiencia auditiva.
- Establecer la arquitectura física y lógica del sistema, estableciendo una topología de distribución estratégica de señal para el control y la ubicación de altavoces para lograr el efecto Pseudo 3D
- Establecer el subsistema de hardware y el prototipo de software de control bajo una arquitectura Cliente-Servidor necesarios para la gestión automatizada de escenas.
- Demostrar el desempeño integral de la solución mediante pruebas de cobertura acústica, análisis de inteligibilidad y verificación de funcionamiento del software de control, asegurando el cumplimiento de los estándares de calidad de servicio (QoS).

## **1.6. Justificación**

El Auditorio Leo Cedeño Sánchez de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí (ULEAM) es un espacio clave para actividades académicas y culturales. Sin embargo, el sistema de sonorización actual no cumple con los requisitos necesarios para ofrecer una experiencia auditiva óptima. Las deficiencias en la cobertura y calidad del sonido afectan la comprensión de los mensajes y la inmersión de los asistentes en los eventos, lo que limita la efectividad de las presentaciones.

Nuestra meta con este proyecto es transformar la acústica del auditorio mediante un sistema de sonido 3D profesional. Al utilizar tecnología de vanguardia, pero con un enfoque más eficiente y sencillo, queremos asegurar que el audio se distribuya de forma perfecta: no importa dónde te sientes, la claridad será la misma en cada rincón.

El objetivo de nosotros es que tanto estudiantes, profesores e invitados disfruten de los eventos a realizarse aquí, lo que haría es fortalecer la imagen de la institución que está apostando por la innovación y bienestar de la comunidad universitaria. Este proyecto representará una inversión en la infraestructura tecnológica de la ULEAM, para así fortalecer las necesidades para eventos académicos y culturales.

## **1.7. Impactos esperados**

### **1.7.1. Impacto tecnológico**

El impacto tecnológico más importante de este proyecto es la modernización del sistema de sonorización en la convergencia entre la ingeniería acústica y las Tecnologías de la Información en el Auditorio Leo Cedeño Sánchez, incorporando tecnología de vanguardia. Queremos que cada evento en la ULEAM se escuche con una claridad que sorprenda. Al instalar este nuevo sistema de sonido pseudo-3D, lograremos que el audio te envuelva por completo, sin importar si estás en la primera fila o en el fondo, y que no opera de forma autónoma, sino que se integra mediante una capa de software desarrollada a medida (Web Server) que permite la gestión centralizada de los recursos electroacústicos. No solo estamos renovando equipos; estamos transformando nuestro auditorio en un espacio de vanguardia. Con esta tecnología, nuestra universidad se pone al nivel de los mejores escenarios del mundo, demostrando que en la ULEAM apostamos por la innovación real. Esto no solo optimiza la experiencia para los

asistentes, sino que también mejora la capacidad de la universidad para albergar eventos de alta calidad técnica.

### **1.7.2. Impacto Social**

El verdadero precio de este sistema se empieza a asomarse cuando el sonido fluye a cada uno de los asientos. Cuando el sonido fluye a cada uno de los asientos, las clases se convierten en experiencias mucho más humanas y dinámicas, donde se puede fluir sin que haya factores que le distraigan. Un lugar donde se escucha bien suena como un lugar donde se puede conectar mejor. Además, el proyecto es un paso muy firme hacia la verdadera inclusión que se quiere en la ULEAM, ya que facilita que las personas con dificultades auditivas puedan seguir el ritmo de cualquier evento sin ser limitados.

### **1.7.3. Impacto Ecológico**

Nuestro compromiso con la tecnología también implica un compromiso con el planeta. Cuando seleccionamos equipos con un alto rendimiento y un bajo consumo de energía, no solo aspiramos a obtener un sonido perfecto, sino también a disminuir el impacto ecológico de la universidad. Para disminuir la producción de residuos electrónicos, priorizamos sistemas con una larga vida útil para prevenir el reemplazo continuo de componentes. En la ULEAM, entendemos que la innovación tiene que ser sostenible, garantizando que nuestra infraestructura sea tan responsable con el medio ambiente como lo es en su rendimiento avanzado.

## CAPÍTULO II

### 2. Marco Teórico de la Investigación

#### 2.1. Antecedentes históricos

##### 2.1.1. Evolución de los Sistemas de Sonorización

Desde una perspectiva de ingeniería, la evolución de los sistemas de audio no ha sido lineal, sino que responde a la necesidad de resolver limitaciones físicas de cobertura y espacialidad. Lo que comenzó como una amplificación bruta de señales ha derivado en arquitecturas complejas de procesamiento digital (DSP). El estándar inicial, la arquitectura Monofónica, se basaba en la suma de todas las señales en un único bus de salida. Aunque hoy parece rudimentario por su incapacidad para generar espacialidad, técnicamente sentó las bases de la ganancia y la distribución de potencia eléctrica que seguimos utilizando para garantizar que la presión sonora supere el piso de ruido en grandes recintos (Bohn, 2019).

En sus inicios, el estándar era el sonido monofónico, audio mono, que básicamente opera con un único canal de salida de audio. Aunque técnicamente es muy limitado porque no permite crear una imagen espacial o de profundidad, fue el punto de partida necesario para entender cómo amplificar señales en espacios grandes como teatros. Sin esta etapa inicial de la radio y el cine, no tendríamos las bases de potencia y distribución de señal que aplicamos actualmente. (Everest & Pohlmann, 2015).

##### 2.1.2. Introducción de las Tecnologías Inmersivas (Audio 3D)

###### 2.1.2.1. Sensurround en los años 70 y su evolución hacia tecnologías inmersivas modernas

La evolución de los sistemas de sonorización es un campo de estudio crucial para comprender el desarrollo de la tecnología de audio moderna. Su historia es una crónica del ingenio humano para superar las limitaciones de la acústica natural y, posteriormente, para manipular el sonido de maneras cada vez más sofisticadas. El desarrollo del audio tridimensional tiene sus raíces en las décadas de 1970, con la introducción de sistemas de codificación de sonido esférico como Sensurround. (Franco, 2024)



**Ilustración 2.** Representación del sistema Sensurround en un auditorio.



**Nota.** Las cajas negras indican la posición de los “cuernos” (plagados de woofers Cerwin-Vega) en la configuración utilizada por el Teatro Chino Grauman para el estreno de *Terremoto*). Tomado de (Franco, 2024).

La muestra una representación de la disposición típica de un sistema Sensurround. En ella se aprecia la distribución semicircular de los asientos frente a una gran pantalla, con altavoces ubicados en las paredes laterales, zona frontal y trasera, así como en estructuras arquitectónicas que también funcionaban como difusores acústicos.

Hoy en día nos hemos habituado a sonidos extraordinarios, pero todo comenzó a transformarse con experimentos como el Sensurround de la década de 1970. Lo que hacían era poner altavoces de gran potencia para que las vibraciones de los bajos te movieran el cuerpo. El propósito seguía siendo el mismo que tenemos hoy en día, aunque se trataba de una tecnología incipiente: lograr que el sonido llegue a todos los asientos por igual y que la experiencia sea tan realista que te olvides de estar en un cine.

### **2.1.3. Antecedentes Nacionales**

#### **2.1.3.1. Propuesta de Diseño Acústico en Ecuador**

En el ámbito nacional, el trabajo titulado “Propuesta de diseño acústico arquitectónico de una sala de cine en el Cantón Naranjal” es un antecedente relevante. Este proyecto es pionero al abordar la adecuación acústica de infraestructuras culturales en ciudades de Ecuador, demostrando cómo una correcta planificación acústica en salas

de cine no solo fortalece la difusión del arte audiovisual, sino que también contribuye al desarrollo cultural y social de la región (Avendaño Galarza, 2019)

Este proyecto sirve como base para nuestra investigación porque valida un modelo de implementación viable. Nos enseña que, aplicando correctamente la teoría acústica y las herramientas de simulación, es posible diseñar sistemas de sonorización profesionales en auditorios con presupuesto limitado, algo muy común en nuestro entorno.

## 2.2. Definiciones conceptuales

### 2.2.1. Sonido

El sonido es un fenómeno físico que se origina a partir de las vibraciones producidas por un objeto emisor. Estas oscilaciones se propagan a través de un medio elástico, que puede ser líquido, sólido o gaseoso. Esto permite que se propaguen hasta llegar al oído humano o a un sistema receptor creado para este propósito. El aire, el agua y una variedad de materiales sólidos como el plástico, el cobre o el hierro son ejemplos de estos medios elásticos (Audiotech, 2023).

#### 2.2.1.1. Propiedades físicas del sonido

Desde un punto de vista físico, el sonido es un fenómeno que consiste en una onda mecánica de presión generada por la vibración de un objeto. Para que las partículas de un medio material transmitan la energía de la vibración, es necesario que exista dicho medio para que ocurra el proceso de propagación del sonido. Esta transmisión se lleva a cabo como una onda longitudinal. La longitud de onda, la amplitud, la frecuencia y la velocidad de propagación son las propiedades físicas esenciales que caracterizan una onda sonora. (Fernández Guerra, Pagadigorria Ruiz, Alonso Ruiz de Erenchun, & Narvaiza Amillategi, 2013)

*Ilustración 3. Transmisión del Sonido*

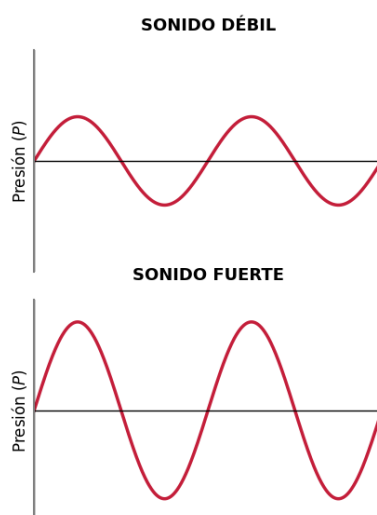


**Nota.** Imagen extraída de (Millan Esteller, 2022)

Las características esenciales que describen el comportamiento de una onda sonora son:

- a. Amplitud ( $A$ ) de una onda sonora es el valor más alto que la oscilación de las partículas del medio logra durante un ciclo. Esta característica es la que determina la energía que transporta la onda y está directamente relacionada con cómo percibimos el volumen o la intensidad del sonido. Una amplitud más extensa genera una energía vibratoria más elevada, lo que produce un sonido con mayor intensidad o fuerza.

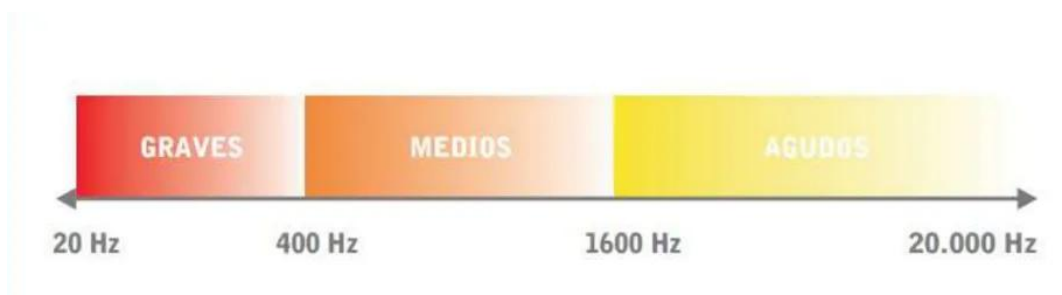
**Ilustración 4. Amplitud**



**Nota.** El gráfico superior muestra una onda de menor amplitud, correspondiente a un sonido débil. El gráfico inferior muestra una mayor amplitud, percibida como un sonido más fuerte. **Fuente:** Elaboración propia de los autores.

- b. Frecuencia ( $f$ ) es el número de oscilaciones o ciclos que se repiten en un segundo. La unidad de medida de la frecuencia es el hertzio (Hz). La frecuencia es la característica física que más influye en la percepción del tono de un sonido. Los sonidos de vibraciones lentas tienen baja frecuencia y se oyen graves, y los de vibraciones rápidas, de alta frecuencia, se oyen agudos. El oído humano puede oír entre 20 Hz y 20.000 Hz, pero este margen disminuye con la edad.

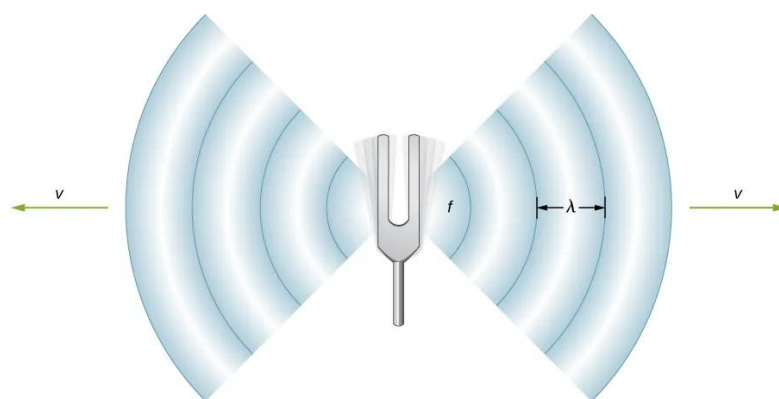
**Ilustración 5.** Subdivisión de Frecuencia



**Nota.** Diagrama que ilustra la división convencional del espectro audible humano en rangos de frecuencias graves, medias y aguda. Tomado de (España, s.f.)

- c. La longitud de onda ( $\lambda$ ) es la distancia física entre dos puntos consecutivos de la onda que se encuentran en la misma fase, es decir, donde la onda se repite.
- d. La velocidad de propagación ( $v$ ) de la onda sonora es función de las propiedades del medio por el que se desplaza (elasticidad y densidad). Por lo general, el sonido viaja más rápido en medios más densos y rígidos. Es por lo que la velocidad de propagación es mayor en los sólidos que en los líquidos, y en estos que en los gases. Por ejemplo, en el aire a 20 °C el sonido viaja a 340m/s, en el agua a 1,500 m/s y en el acero a 5,000 m/s. La temperatura del medio también influye, ya que a mayor temperatura mayor velocidad de las partículas.

**Ilustración 6.** Velocidad del Sonido



**Nota.** Representación de una onda sonora que emana de un diapasón. Se muestran la frecuencia ( $f$ ), la longitud de onda ( $\lambda$ ) y la velocidad de propagación ( $v$ ). Tomado de (Moebs W. L., 2021)

Estas tres propiedades principales se encuentran interconectadas a través de la relación fundamental de las ondas:

$$v = f * \lambda$$

Donde la velocidad ( $v$ ) es el producto de la longitud de onda ( $\lambda$ ) por la frecuencia ( $f$ ).

Si hablamos de física, esta relación matemática nos dice cómo se comporta una onda al cruzar distintos materiales. Cuando el sonido pasa, por ejemplo, del aire a una pared sólida, lo que sucede es una refracción: la velocidad con la que viaja cambia de golpe, aunque la frecuencia sigue igual porque solo depende de la fuente que emite el sonido. Por eso la longitud de onda tiene que ajustarse para que todo siga cuadrando.

En la vida real del diseño acústico, este efecto es el que complica el aislamiento: el sonido se cuela fácilmente por la estructura. Como las ondas viajan mucho más rápido por el concreto o el acero que por el aire, la estructura del edificio termina funcionando como un puente que transmite las vibraciones. Por eso, cuando se diseñan espacios sensibles como auditorios o estudios, el desafío no es solo tapar el ruido del aire, sino separar mecánicamente las superficies para evitar que esas vibraciones corran tan rápido por los sólidos. (Moebs W. L., 2021)

#### **2.2.1.2. Cualidades del Sonido**

Lo que se refiere a las cualidades del sonido representan una interpretación subjetiva y perceptual que el cerebro humano realiza de las propiedades físicas de una onda sonora. (Cualidades del sonido. Hifi Center, 2024). Estas cualidades son las que nos permiten diferenciar un sonido de otro totalmente externo y son el resultado de descifrar la información vibratoria que llega al oído. Dentro de las cuatro cualidades principales se encuentran:

- a. Altura o tono, es la cualidad que permite a nuestro oído ubicar un sonido en la escala musical, distinguiendo entre los sonidos graves, medios y agudos. Como se ha mencionado, esta percepción se vincula directamente a la frecuencia de la onda sonora; las frecuencias bajas producen tonos graves y las altas, tonos agudos. (Torres, s.f.)
- b. La intensidad, es la cualidad que nos permite diferenciar los sonidos fuertes de los débiles. Físicamente, la intensidad está determinada por la potencia de la onda, que a su vez es una función de su amplitud. Es fundamental distinguir entre la intensidad física, que es la cantidad de energía que se propaga por

unidad de tiempo y área, y la intensidad auditiva, que es la percepción subjetiva de dicha energía, comúnmente conocida como volumen. La intensidad auditiva se mide en decibelios (dB). (Torres, s.f.)

- c. El timbre, desde la perspectiva del análisis de señales, el timbre no es una simple cualidad estética, sino la huella digital compleja de una onda sonora. Técnicamente, es lo que nos permite distinguir dos fuentes de audio, aunque estén emitiendo la misma nota a la misma intensidad. Esto ocurre porque, aunque la frecuencia fundamental sea idéntica, la composición armónica varía drásticamente entre ambos instrumentos. (Torres, s.f.)
- d. La duración, se refiere al tiempo durante el cual un sonido se mantiene o persiste. Permite la distinción entre sonidos largos y cortos. La duración física y la duración percibida están estrechamente relacionadas, aunque no son exactamente lo mismo. Un intervalo de tiempo mínimo de 12 a 15 centésimas de segundo es necesario para que el cerebro pueda reconocer la altura de un sonido (Torres, s.f.).

### 2.2.1.3. Niveles acústicos

La medición de los niveles sonoros constituye uno de los aspectos más relevantes en la ingeniería acústica y en el diseño de sistemas de sonorización, debido a la amplia gama de intensidades que el oído humano puede percibir. En cuanto a la presión sonora, la diferencia entre el sonido más tenue que se puede detectar y aquel que es doloroso supera un millón a uno. Se emplea una escala logarítmica, el decibelio (dB), para gestionar esta magnitud de forma práctica. La medida más utilizada en acústica es el Nivel de Presión Sonora (NPS o SPL, acrónimo en inglés), que se define como una relación logarítmica entre la presión efectiva de una onda sonora y un valor de referencia estándar, que corresponde al límite auditivo del ser humano (Kuczyński, 2025). La fórmula para calcular el NPS es la siguiente:

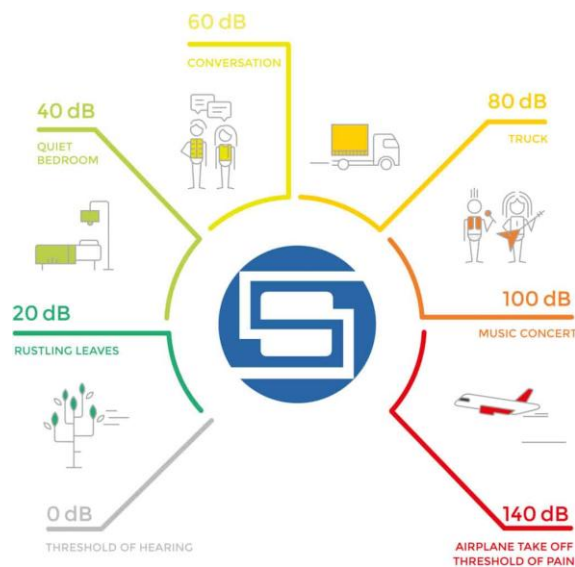
$$L_p = 20 \log_{10} \left( \frac{p}{p_0} \right)$$

Desde el punto de vista de la ingeniería, el uso de una escala logarítmica no es caprichoso: es la única forma viable de manejar el inmenso rango dinámico de la

presión sonora y correlacionarlo con la respuesta no lineal del oído humano (Kuczyński, 2025)

Matemáticamente, hay que tener cuidado al interpretar estos valores. Al no ser lineales, un incremento de 6 dB implica duplicar la presión sonora física, aunque psico acústicamente el cerebro necesite un aumento de entre 8 y 10 dB para sentir que el volumen se ha duplicado. (Kuczyński, 2025).

**Ilustración 7.** Nivel de presión acústica (SPL)



**Nota.** Niveles de categoría según sus decibelios. Extraído de (Kuczyński, 2025)

Además, el nivel de presión sonora disminuye con la distancia respecto a la fuente emisora. En el caso de fuentes lineales de sonido, el NPS se reduce aproximadamente 3 dB cada vez que la distancia se duplica. Este principio resulta esencial para diseñar sistemas de sonorización en espacios amplios, abiertos o cerrados, permitiendo predecir la cobertura del sonido y garantizar una distribución uniforme y eficiente hacia el público. La aplicación de estos conceptos es indispensable para la correcta planificación y calibración de sistemas de megafonía (Kuczyński, 2025).

## 2.2.1. Sonorización

### 2.2.2.1. Definición

La sonorización es un proceso integral que abarca la captura, procesamiento, amplificación y reproducción del sonido dentro de un espacio específico, con el objetivo de garantizar que todos los oyentes perciban el audio de manera clara, equilibrada y uniforme. Este proceso no solo depende de los sistemas electrónicos y altavoces, sino

también del diseño acústico del recinto, la disposición del mobiliario y los tratamientos acústicos aplicados. Una correcta sonorización mejora significativamente la inteligibilidad del habla y la percepción musical, lo cual es crucial en auditorios universitarios y salas culturales, donde la interacción entre ponentes y público debe ser óptima para la transmisión del conocimiento y la experiencia artística. (Martínez, 2021)

La sonorización ya no se limita a la amplificación del sonido, sino que incluye la creación de experiencias inmersivas y envolventes que permiten al público percibir la ubicación espacial de los sonidos, generando un entorno más realista y emocionalmente impactante. Esto es especialmente relevante en auditorios de gran tamaño, donde la simple proyección sonora no garantiza una cobertura uniforme. Por esta razón, la sonorización se considera un elemento clave en la planificación de eventos culturales, conferencias y presentaciones académicas, integrando tanto aspectos técnicos como perceptuales del sonido. (Hernández & Pérez, 2022)

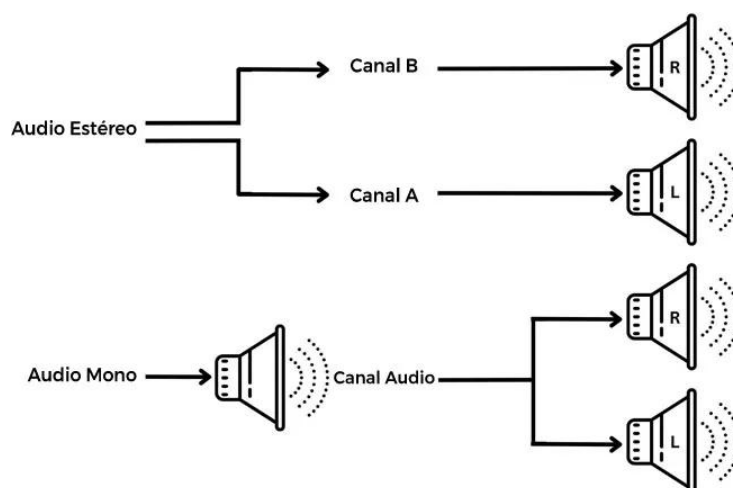
#### **2.2.2.2. Tipos de sonorización**

##### **2.2.1.2.1. Sonorización Convencional (Mono y Estéreo)**

Los sistemas de sonorización convencionales se basan principalmente en altavoces de uno o dos canales, conocidos como mono y estéreo. Estos sistemas han sido esenciales durante décadas para garantizar la transmisión clara de voz e instrumentos en auditorios y salas pequeñas. Sin embargo, presentan limitaciones como zonas con diferencias de intensidad de sonido y la falta de percepción de espacialidad. Este tipo de sonorización sigue siendo ampliamente utilizado en entornos educativos y conferencias, donde la claridad del mensaje es más importante que la experiencia inmersiva (Rumsey, Spatial audio (2nd ed.), 2019).



**Ilustración 8.** *Diferencia entre Sonorización Convencional (Mono y Estéreo).*

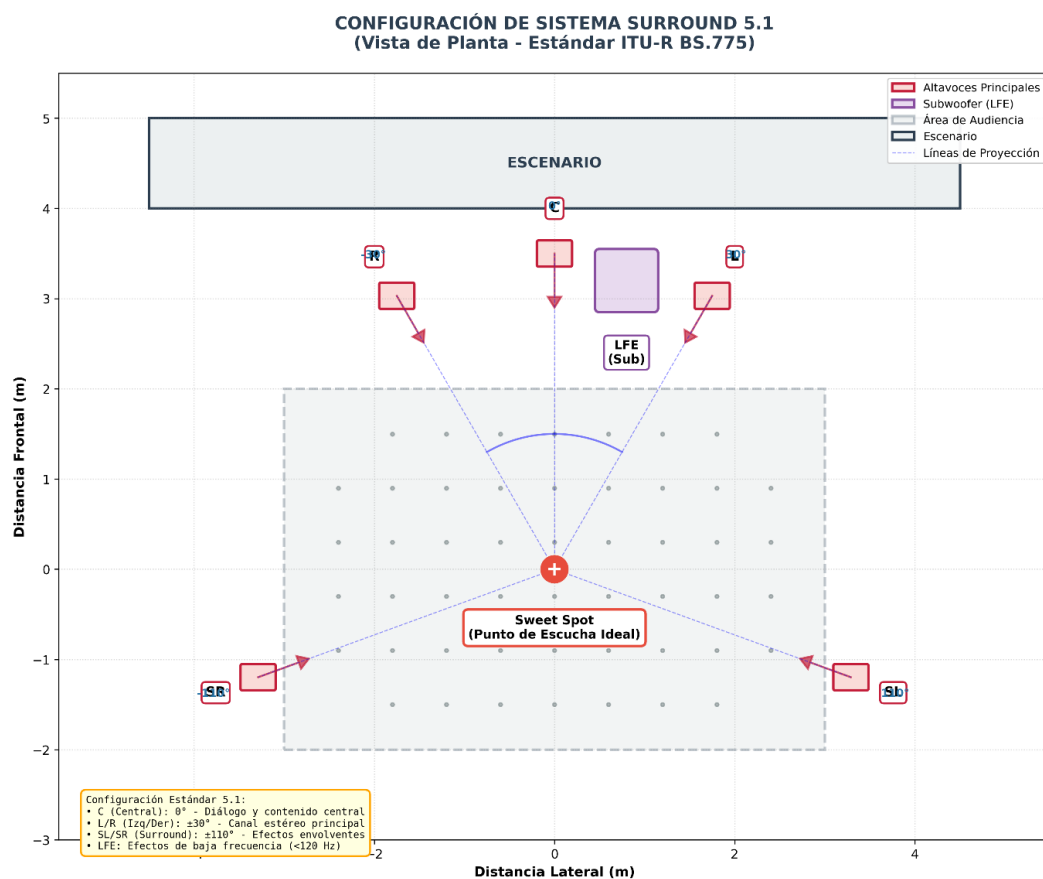


**Nota.** Desde un enfoque operativo, el sistema mono busca uniformidad para maximizar la inteligibilidad (típico en megafonía), a diferencia del estéreo, que manipula la amplitud y el tiempo entre canales para generar espacialidad y profundidad en el contenido musical. Tomado de (Acusmatica, 2025).

#### **2.2.1.2.2. Sonorización Envolvente (Surround Sound)**

La sonorización envolvente utiliza múltiples altavoces distribuidos alrededor del espacio, generando un campo sonoro tridimensional que permite al público percibir la ubicación exacta de cada fuente de audio. Esta tecnología es común en cines, auditorios y teatros modernos, donde se busca maximizar la experiencia inmersiva y realista del espectador. Los sistemas multicanal permiten que los sonidos se desplacen de manera fluida dentro del espacio, mejorando la sensación de presencia y profundidad (Berg, 2018).

### Ilustración 9. Sonorización Envolvente (Surround Sound)

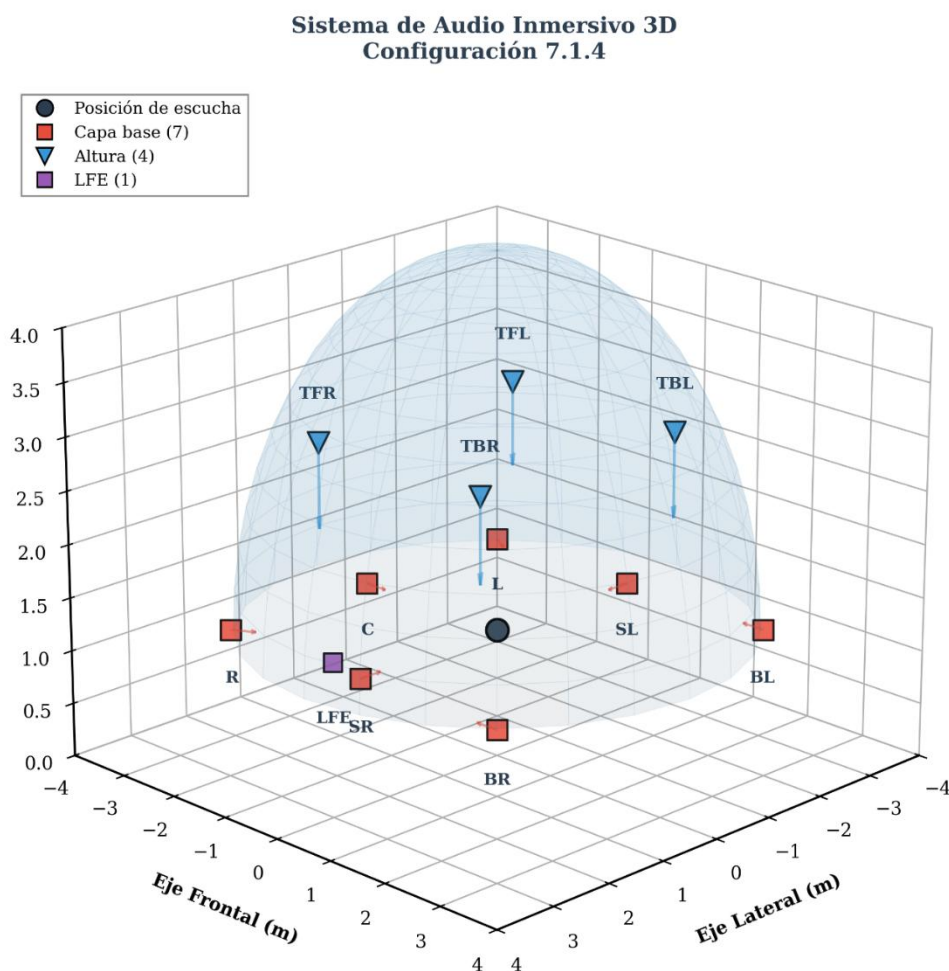


**Nota.** Esquema de distribución de altavoces en un sistema envolvente. La disposición perimetral de múltiples fuentes independientes permite generar un campo sonoro tridimensional y preciso, superando la frontalidad del sistema estéreo. **Fuente.** Elaboración propia

#### 2.2.1.2.3. Sonorización Inmersiva

La sonorización inmersiva representa la evolución más avanzada de los sistemas de sonido, integrando tecnologías como Dolby Atmos, DTS:X y otras soluciones de audio tridimensional que buscan una experiencia totalmente envolvente. Este tipo de sonorización mejora la interacción del público con el contenido, aumentando la atención y la comprensión de lo presentado, especialmente en presentaciones educativas y culturales. Además, requiere planificación acústica especializada y equipos avanzados para posicionar los sonidos con precisión dentro de un espacio tridimensional (Choi S. , 2020)

**Ilustración 10.** Sistema de Audio Inmersivo

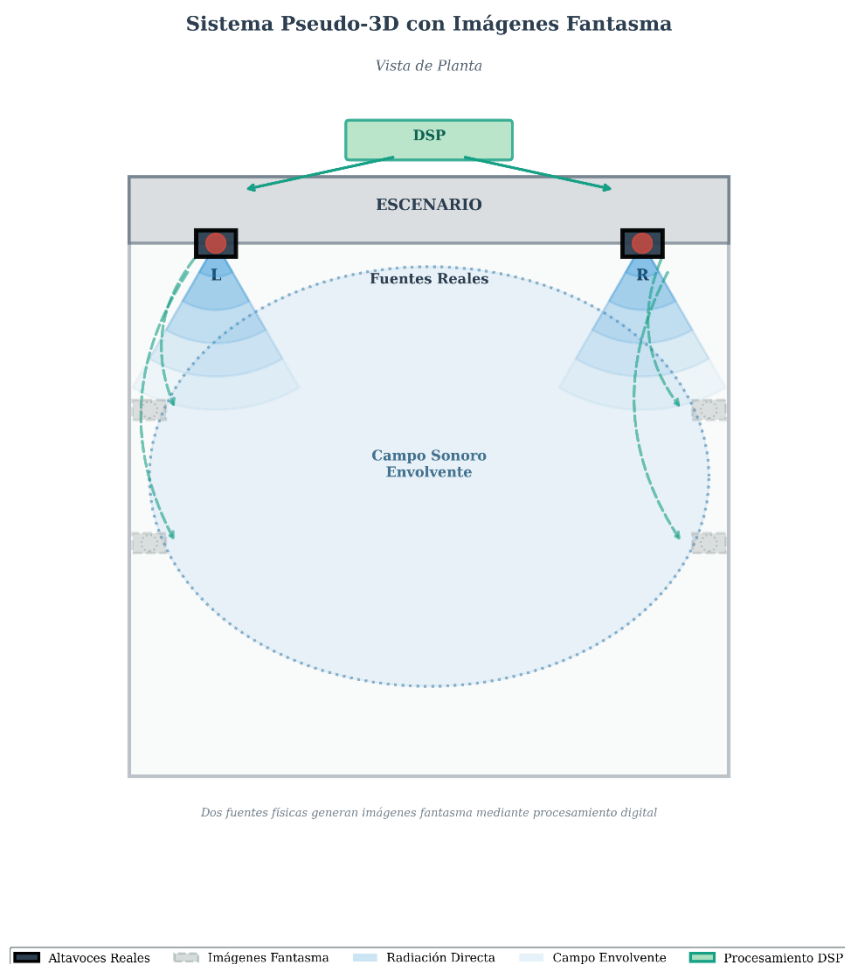


**Nota.** Diagrama de configuración espacial para un sistema inmersivo 7.1.4. Se distinguen tres niveles operativos: la capa base (7 canales a nivel del oído), la capa de altura (4 canales superiores que generan la cúpula semiesférica) y el canal de baja frecuencia (LFE). Esta disposición permite la renderización precisa de objetos sonoros en coordenadas tridimensionales (X, Y, Z). **Fuente:** Elaboración Propia.

#### 2.2.1.2.4. Sonorización Pseudo-3D

La sonorización pseudo-3D surge como una alternativa intermedia entre los sistemas estéreo convencionales y los sistemas de sonido envolvente completos. Su objetivo es ofrecer sensación de espacialidad y profundidad sin requerir una instalación multicanal compleja, ideal para auditorios pequeños y medianos. Este tipo de sonorización combina técnicas de procesamiento digital y filtros de ubicación sonora que simulan la percepción tridimensional, proporcionando una experiencia inmersiva accesible y económica (Martínez, 2021).

**Ilustración 11.** Esquema de funcionamiento de la sonorización Pseudo-3D.



**Nota.** Esquema de funcionamiento de la sonorización Pseudo-3D. Mediante el procesamiento digital de señales (DSP) aplicado a un sistema físico estéreo (dos altavoces frontales), se generan diferencias de fase y frecuencia que engañan al sistema auditivo humano. Esto crea fuentes virtuales o imágenes fantasma en la periferia, simulando una envolvente acústica sin la necesidad de altavoces físicos laterales o traseros. **Fuente.** Elaboración Propia.

### 2.2.2. Acústica de Auditorios

El diseño de un sistema de sonorización profesional en un espacio cerrado, como un auditorio, debe considerar de forma integral los principios de la acústica arquitectónica. La acústica de auditorios es la rama de la física y la ingeniería que estudia el comportamiento del sonido dentro de estos espacios, con el objetivo de optimizar la calidad de la escucha para la audiencia. Un conocimiento profundo de estas

características es fundamental para diagnosticar problemas y diseñar soluciones efectivas que mejoren la experiencia sonora.

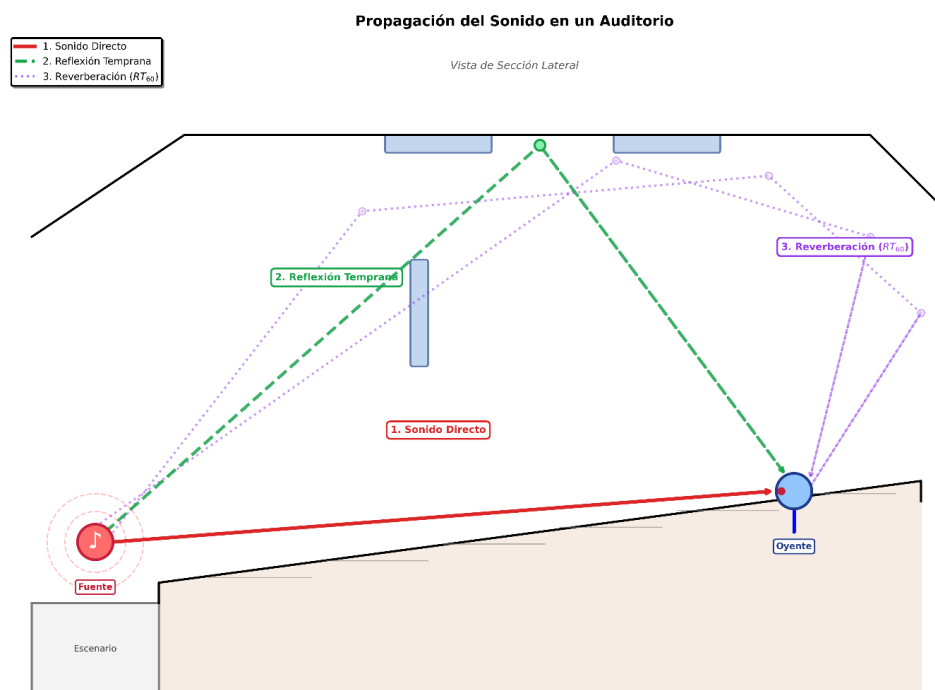
### 2.2.3.1. Principales Características Acústicas de un Auditorio

Las propiedades acústicas de un auditorio se definen por una serie de parámetros que influyen directamente en la inteligibilidad del habla y la riqueza de la música. Los más relevantes para esta investigación son:

- a. **Tiempo de reverberación ( $T_R$ ):** En el dimensionamiento acústico, el  $RT_{60}$  actúa como la métrica de control principal. Técnicamente, analizamos la curva de caída de energía para determinar cuánto tarda la señal en atenuarse 60 dB tras el corte de la fuente. No buscamos un valor arbitrario, sino un equilibrio matemático: aplicamos la Ecuación de Sabine para correlacionar el volumen físico de la sala ( $V$ ) con los coeficientes de absorción ( $\alpha$ ) de los materiales instalados. El objetivo de ingeniería es calibrar este tiempo para que la sala no quede ni acústicamente 'muerta' (sin brillo) ni saturada de cola reverberante que emborrone el audio. (Everest & Pohlmann, 2015)
- b. **Inteligibilidad de la palabra (STI):** Para validar si el sistema realmente funciona para conferencias, no nos basamos en opiniones subjetivas, sino en el estándar STI (Speech Transmission Index). Esta métrica, que oscila entre 0 y 1, cuantifica la fidelidad con la que se transmite el mensaje desde el micrófono hasta el oído del receptor, considerando las pérdidas por ruido de fondo o mala acústica. En un entorno académico, el diseño debe priorizar un STI alto (superior a 0.6) para garantizar que la información técnica se transmita sin errores de interpretación debido a la degradación de la señal. (Everest & Pohlmann, 2015)
- c. **Distribución del sonido y reflexiones:** El reto en la distribución no es solo que 'suene fuerte', sino lograr una presión sonora uniforme en toda el área de audiencia. Aquí diferenciamos el comportamiento de las ondas: las reflexiones tempranas son útiles porque el cerebro las suma a la señal directa (Efecto Haas), aumentando la potencia aparente. “Sin embargo, mediante el diseño geométrico y la ubicación de altavoces, debemos anular las reflexiones tardías, ya que estas llegan desfasadas y se perciben como eco o ruido destructivo que ensucia la mezcla final (Everest & Pohlmann, 2015)”.

- d. **Ruido de fondo:** Es el sonido ambiental que existe en un auditorio sin que haya una fuente sonora intencional. Puede provenir del sistema de climatización, de la calle o de la misma audiencia. Un nivel alto de ruido de fondo puede enmascarar el sonido principal, afectando la inteligibilidad. La norma internacional establece niveles máximos recomendados para diferentes tipos de espacios (Everest & Pohlmann, 2015).

**Ilustración 12.** Dinámica de propagación del sonido en un Auditorio.



**Nota.** Esquema de la interacción entre la geometría del auditorio y las ondas sonoras. Se diferencia el sonido directo, crucial para la inteligibilidad (STI), de las reflexiones tempranas que aportan riqueza, y la reverberación tardía resultante de múltiples rebotes en las superficies ( $S$ ). El equilibrio entre estos componentes determina el Tiempo de Reverberación ( $RT_{60}$ ) calculado mediante la fórmula de Sabine. **Fuente.** Elaboración propia.

### 2.2.3. Tecnologías de Sonido Envolvente

#### 2.2.4.1. Surgimiento de la Tecnología de Sonorización Pseudo-3D

La tecnología de sonorización pseudo-3D ha surgido como una alternativa más accesible a los sistemas de sonido envolventes tradicionales. Utiliza procesamiento digital y algoritmos de localización para simular la sensación de espacialidad y profundidad del sonido, sin requerir un sistema de

múltiples altavoces distribuidos. Este tipo de tecnología permite recrear una experiencia inmersiva utilizando pocos elementos, como auriculares o altavoces limitados, lo cual resulta ideal para auditorios pequeños y medianos. Además, hace posible que las instituciones culturales puedan acceder a tecnologías de sonido envolvente de alta calidad sin los elevados costos de los sistemas complejos. (Narváez Reyes, 2022)

#### **2.2.4.2 Definición y Principios de la Sonorización Pseudo-3D**

Desde una perspectiva de ingeniería, la sonorización Pseudo-3D se define como la aplicación intensiva de Procesamiento Digital de Señales (DSP) para superar las limitaciones físicas de un sistema estéreo convencional. Esta técnica emplea algoritmos psicoacústicos para manejar variables como el retardo interaural y la fase, a diferencia de los formatos surround reales que se basan en canales discretos (un altavoz físico por canal).

El objetivo técnico es generar fuentes fantasmas, mediante el filtrado preciso de la señal, se logra que el cerebro del oyente ubique sonidos fuera del arco estéreo tradicional, percibiendo información de altura (eje Z) y profundidad sin tener altavoces en el techo o atrás. Para el diseño de este proyecto, esta arquitectura representa una optimización de recursos crítica: nos permite entregar una imagen sonora espacial robusta reduciendo drásticamente la carga de hardware y el coste de la infraestructura. (Choi S. L., 2023)

#### **2.2.4.3 Principios claves de la Sonorización Pseudo-3D**

El funcionamiento de la sonorización Pseudo-3D no se basa en la multiplicación de canales físicos según, sino en la aplicación de modelos psicoacústicos avanzados, siendo el HRTF (Head-Related Transfer Function) el núcleo del procesamiento.

Mediante procesos de convolución digital, el algoritmo calcula cómo interactuaría teóricamente el frente de onda con las superficies y obstáculos de un recinto virtual. Esto permite inyectar en la señal las reflexiones tempranas y colas de reverberación precisas, dotando al audio de profundidad espacial y contexto físico.

Finalmente, la ejecución de estos modelos recae sobre filtros digitales y algoritmos de localización. Estos bloques de DSP (Digital Signal Processing) son los encargados de manipular en tiempo real las diferencias interaurales de tiempo (ITD) y

de nivel (ILD). Al alterar estos parámetros con precisión de microsegundos, el sistema logra posicionar fuentes sonoras fantasmas en coordenadas tridimensionales específicas, permitiendo que un arreglo de altavoces convencional proyecte una escena sonora espacialmente rica y detallada. (Choi S. L., 2023)

#### **2.2.4.4 Características Técnicas de la Sonorización Pseudo-3D**

Estas son algunas de las características técnicas más importantes de la Sonorización Pseudo-3D:

##### **1. Uso de HRTF para renderizado espacial binaural**

El Head-Related Transfer Function (HRTF) es una técnica clave que simula cómo el sonido llega a cada oído, teniendo en cuenta las características de la cabeza, las orejas y el torso. Esto permite crear la sensación de que el sonido proviene de una ubicación específica en el espacio tridimensional. En sistemas pseudo-3D, esta tecnología se utiliza para lograr una localización precisa de los sonidos en entornos virtuales o en auditorios pequeños, generando una experiencia inmersiva para el oyente. (ruschi, y otros, 2024)

##### **2. Procesamiento digital de señales / mezcla espacial**

El procesamiento digital permite modificar las señales de audio para simular un entorno acústico tridimensional. A través de técnicas como el renderizado binaural, el sonido puede ser posicionado en cualquier parte del espacio tridimensional, permitiendo la creación de una experiencia auditiva envolvente utilizando solo auriculares o un sistema de altavoces mínimo. La mezcla espacial también permite la simulación de movimiento de las fuentes sonoras dentro del espacio. (Reyes-Lecuona, González-Toledo, & Cuevas-Rodríguez, 2025)

##### **3. Simulación del entorno acústico**

En la sonorización pseudo-3D, uno de los principios fundamentales es simular el entorno acústico para que la experiencia sonora sea realista. Esto implica la emulación de la reverberación, las reflexiones y la absorción del sonido, lo que contribuye a crear la sensación de un espacio tridimensional. Los sistemas de procesamiento digital permiten modelar cómo las ondas sonoras interactúan con los objetos y superficies en un espacio físico, mejorando la percepción de la distancia y la posición de las fuentes sonoras. (Rafaely, 2022)



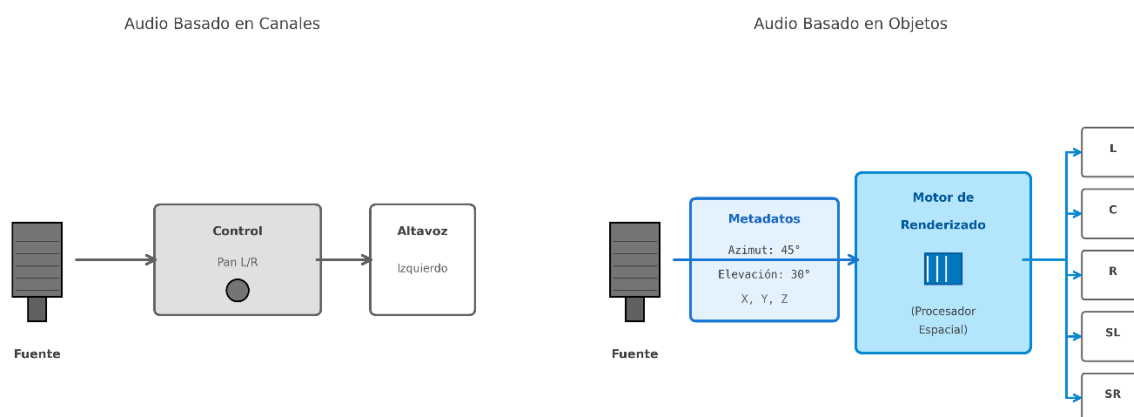
#### 4. Flexibilidad en la reproducción (auriculares o altavoces)

A nivel de implementación, la ventaja operativa del sistema Pseudo-3D radica en que es agnóstico al hardware de salida. Técnicamente, el algoritmo adapta el procesamiento según el transductor final. Si la salida es por auriculares, se aplican filtros HRTF (Head-Related Transfer Function) para sintetizar la posición binaural directamente en el canal auditivo. Por el contrario, si se utilizan altavoces estéreo convencionales, el sistema recurre a técnicas de cancelación de diafonía (crosstalk cancellation) y manipulación de fase. Esto permite proyectar una imagen sonora espacialmente coherente sin necesidad de invertir en una infraestructura física multicanal optimizando el coste del proyecto (Choi S. L., 2023).. (Choi S. L., 2023)

#### 5. Posicionamiento de fuentes sonoras (audio basado en objetos)

El núcleo del sistema abandona el paradigma tradicional de 'mezcla por canales' para adoptar el Audio Basado en Objetos. En esta arquitectura, el sonido no se asigna a una pista fija (Izquierda/Derecha), sino que se trata como un objeto de datos independiente acompañado de metadatos espaciales. Estos metadatos contienen coordenadas vectoriales precisas (Azimut, Elevación y Profundidad). Gracias a esto, es el procesador el que calcula en tiempo real dónde debe sonar el objeto dentro del campo estéreo virtual, permitiendo una localización matemática exacta que no depende de la posición física de los altavoces. (Reyes-Lecuona, González-Toledo, & Cuevas-Rodríguez, 2025).

**Ilustración 13.** *Arquitectura de flujo de señal: Canales vs. Objetos.*



**Nota.** Comparativa funcional. A la izquierda, el modelo tradicional establece una ruta fija donde la señal se asigna irreversiblemente a un canal físico. A la derecha, el

modelo basado en objetos conserva la señal junto con sus metadatos espaciales (coordenadas); un Motor de Renderizado interpreta estos datos en tiempo real y realiza una distribución dinámica adaptada a los altavoces disponibles. **Fuente.** Elaboración propia.

## **2.3. Fundamentos Tecnológicos**

La confluencia entre los sistemas físicos (hardware de audio) y la gestión digital requiere una base teórica sólida en tecnologías de desarrollo. Para la implementación del subsistema de control de audio, se han seleccionado arquitecturas y patrones de diseño que garantizan la escalabilidad, la seguridad y el rendimiento en tiempo real, fundamentales para aplicaciones de tipo IoT (Internet of Things).

### **2.3.1. Micro-frameworks para Sistemas Embebidos**

En lugar de los frameworks monolíticos de siempre, que suelen traer capas innecesarias para este tipo de aplicaciones, aquí se propone una arquitectura basada en Micro-frameworks Web. El estándar WSGI (Web Server Gateway Interface), específicamente implementado con Flask, es la base elegida.

Como destaca (Pinto & Morejón, 2025), los micro-frameworks sobresalen por ser modulares y rápidos, lo que permite poner en marcha servicios RESTful sin exigir mucho al procesador o la memoria. Esto es clave en este proyecto: el servidor de control tiene que funcionar a la par del procesamiento de audio, pero sin sumar latencia que pueda fastidiar al usuario. Apostar por este diseño hace posible separar el núcleo lógico de las dependencias externas, lo que también facilita, más adelante, integrarlo con protocolos de hardware como MQTT.

### **2.3.2. Persistencia de Datos en Entornos Locales**

Para manejar los registros de auditoría (logs) y el estado del sistema, se eligió un modelo de base de datos relacional sin servidor (SQLite). Esta decisión tiene sentido porque asegura la integridad de los datos, pero sin la carga de administrar un servidor tipo cliente-servidor, como PostgreSQL o MySQL.

El motor usado cumple con las propiedades ACID (Atomicidad, Consistencia, Aislamiento y Durabilidad). En la práctica, esto significa que, en un sistema de auditoría de un auditorio universitario, cada evento (como encender, cambiar el modo o apagar) queda guardado como una transacción completa. Incluso si hay un corte de luz

en medio de la operación, el sistema de archivos protege la base de datos para que no se dañe, manteniendo así la trazabilidad necesaria para el mantenimiento preventivo

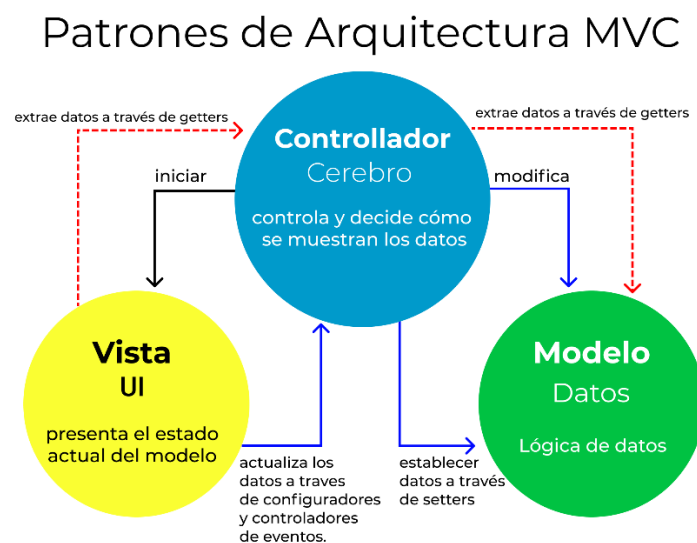
### 2.3.3. Patrones de Diseño de Software

Para que el código sea fácil de mantener y de buena calidad, se siguieron patrones reconocidos de la industria, alejándose de la programación estructurada clásica. Es por esto se opta por hacer uso de patrones conocidos por estas cualidades como se detalla en (Gavilánez Álvarez, Layedra, & Ramos, 2022) la estructura y componente que hace destacar en cuanto a los demás patrones de diseño.

A. Patrón MVC (Modelo-Vista-Controlador) Se implementó una división clara de funciones:

- Modelo: Contiene la lógica de datos y las reglas del negocio (por ejemplo, cómo se manejan los estados del DSP).
- Vista: Una interfaz de usuario (Dashboard) separada, que se limita a mostrar la información del servidor.
- Controlador: Es quien recibe y maneja las peticiones HTTP, decidiendo qué acciones llevar a cabo. Con este esquema, si el día de mañana se quiere cambiar la interfaz gráfica, no hace falta reescribir toda la parte de control de hardware.

*Ilustración 14. Modelo MVC*



**Nota.** Diseño basado en tres capas esenciales dentro de la programación web. Tomado de (Hernandez, 2021)

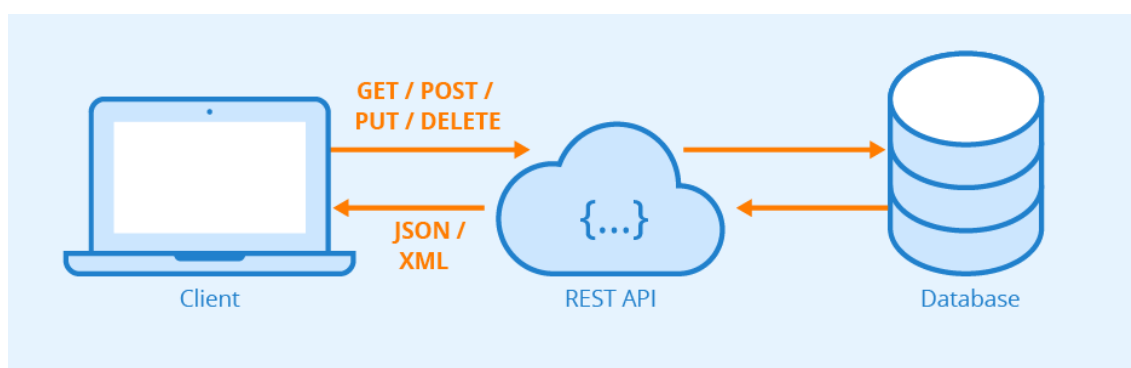
- B. Patrón DAO (Data Access Object) se usa el patrón DAO para abstraer y encapsular todo el acceso a los datos. Es decir, la lógica del software no hace consultas SQL directas, sino que llama a métodos de una interfaz diseñada para ese fin. Así, el sistema se protege contra inyecciones SQL y toda la lógica de persistencia está centralizada, lo que facilita las pruebas unitarias y permite migrar a otros motores de base de datos si algún día hace falta escalar.

### 2.3.4. Arquitectura RESTful

La arquitectura REST (Representational State Transfer o Transferencia de Estado Representacional), propuesta originalmente por (Roy Fielding's misappropriated REST dissertation., 2025), se ha consolidado como el paradigma predominante para el diseño de sistemas distribuidos en la web moderna. A diferencia de un protocolo estricto, REST se define como un estilo arquitectónico que establece un conjunto de restricciones para la comunicación entre componentes, orientadas a mejorar la escalabilidad, el rendimiento y la simplicidad de las interfaces.

REST transforma la información en recursos que se encuentran fácilmente. Al emplear identificadores uniformes en vez de procedimientos complicados, conseguimos algo esencial: que el cliente y el servidor sean autónomos. Esto posibilita que cada capa se desarrolle, escale y mejore de manera independiente, sin romper nada en el proceso.

**Ilustración 15.** *Arquitectura REST*



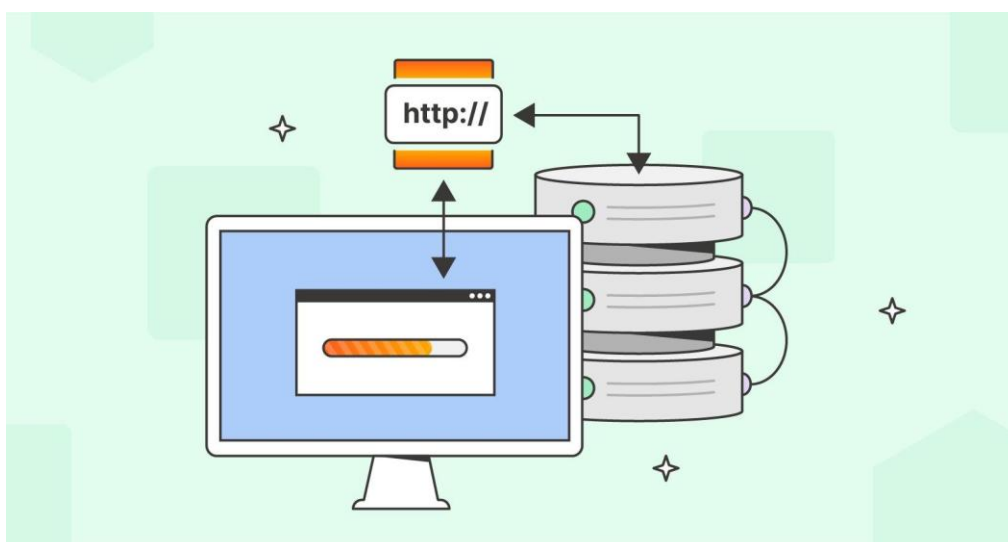
**Nota.** Manejo de intercambio de información mediante API REST. **Fuente.** Tomado de (Astera Marketing Team, 2025).

#### 2.3.4.1. Mapeo de Métodos HTTP

La arquitectura REST se apoya intrínsecamente en los estándares de (IBM Operational Decision Manager, 2025) del protocolo HTTP para gestionar las transiciones de estado de los recursos. La teoría establece que el uso correcto de los "verbos" o métodos HTTP es crucial para garantizar la semántica de la comunicación y la previsibilidad del sistema.

- **Método GET:** De acuerdo con la especificación del protocolo, este procedimiento tiene que ser "idempotente" y "seguro", lo cual quiere decir que su implementación se dirige únicamente a obtener información sin producir efectos secundarios en el servidor. En sistemas de monitoreo, constituye la norma para leer estados y telemetría.
- **Método POST:** El mecanismo utilizado para transmitir entidades al servidor, con frecuencia con el objetivo de generar nuevos recursos subordinados o procesar bloques de datos que provocan una modificación de estado no idempotente, se conoce como "mecanismo para enviar entidades".
- **Métodos PUT y PATCH:** Estos métodos para la modificación de recursos son diferenciados por la teoría. PATCH se emplea para hacer cambios parciales, mientras que PUT implica la sustitución total de la entidad (actualización completa); al enviar solamente los datos que han sufrido alteraciones, PATCH mejora el ancho de banda.

*Ilustración 16. Transferencia de Estado Representacional*



**Nota.** Los métodos HTTP permiten a los clientes de la API realizar acciones CRUD (Crear, Leer, Actualizar y Eliminar). **Fuente.** Tomado de (Postman, 2023)

#### 2.3.4.2. Serialización de Datos mediante JSON

El intercambio de datos en una arquitectura RESTful requiere un formato de serialización que sea agnóstico al lenguaje de programación y eficiente en su transmisión. Aunque históricamente XML (Extensible Markup Language) fue el estándar, en el desarrollo contemporáneo de sistemas IoT y web, JSON (JavaScript Object Notation) se ha establecido como la norma de facto.

En la ingeniería de sistemas, la predilección teórica por JSON se basa en su escasa sobrecarga sintáctica (Low Overhead). JSON, al eliminar la redundancia de etiquetas de cierre que son propias del XML, disminuye considerablemente el tamaño de la carga útil (payload) en cada transacción de red. Asimismo, su estructura de pares clave-valor es nativa para la mayor parte de los lenguajes de alto nivel contemporáneos, lo que facilita el análisis sintáctico y la serialización, disminuyendo la utilización de ciclos del CPU en el servidor y en el cliente.

#### 2.3.5. Tecnologías de Interfaz y Renderizado Asíncrono

En el marco de los sistemas de control y gestión, pasar del renderizado convencional al renderizado en tiempo real supone un avance significativo en la interacción entre humanos y máquinas. Esta evolución posibilita que los datos complejos sean procesados y visualizados casi al instante, lo cual hace más fácil la toma de decisiones.

A diferencia del renderizado tradicional, que se toma su tiempo para 'cocinar' cada imagen, el renderizado en tiempo real funciona a la velocidad de nuestra vista. Es lo que nos permite interactuar con un entorno digital sin esos molestos saltos o esperas. La verdadera magia está en esa respuesta inmediata: mueves algo y, al instante, la pantalla te devuelve el cambio. Es una conversación fluida entre el usuario y la máquina (Balea Domínguez, 2021)

El empleo de tecnologías asíncronas hace posible que la interfaz del sistema de audio cargue datos (por ejemplo, niveles de presión sonora o estados de red) en segundo plano. Esto garantiza que el operador pueda continuar enviando comandos mientras el sistema procesa y renderiza las métricas técnicas, lo cual previene que la

interfaz se "bloquee". Esta inmediatez, es posible a través de motores que mejoran el cálculo de datos. En este proyecto, eso se traduce en un seguimiento fluido mediante tableros dinámicos (Balea Domínguez, 2021)

Al integrar estas herramientas, la interfaz deja de ser un simple panel para convertirse en una aliada del diagnóstico. Poder analizar el audio en tiempo real y también con calma después nos permite detectar cualquier fallo, como un pico de latencia o una saturación, mucho antes de que el público note que algo va mal.

El renderizado asíncrono asegura que la visualización de los "logs" y las gráficas de rendimiento no utilicen recursos esenciales, lo que podría obstaculizar la reproducción del audio profesional

### **2.3.6. Visualización de Datos en Tiempo Real**

La visualización de datos en tiempo real trasciende la mera representación gráfica; se constituye como un sistema de retroalimentación crítica donde el flujo de información es procesado y renderizado casi en paralelo a su captura. La implementación de este tipo de tecnologías permite una interactividad sin precedentes, eliminando los tiempos de espera del renderizado tradicional (offline) y permitiendo que el usuario perciba cambios instantáneos en el entorno digital (Balea Domínguez, 2021)

Esta inmediatez es crucial para el seguimiento de la propagación acústica virtual dentro del marco de la sonorización 3D. El operador puede detectar visualmente fenómenos como el enmascaramiento o la saturación de frecuencia antes de que los transductores o la experiencia del oyente se vean irremediablemente perjudicados, gracias a la posibilidad de observar latencia de red y niveles de presión sonora (SPL) en milisegundos. La herramienta de verificación continua que garantiza la estabilidad del diseño teórico durante la implementación práctica no es solo velocidad, sino también tiempo real (Balea Domínguez, 2021)

#### **2.3.6.1. Interacción Hombre-Máquina (HMI)**

La idea de la interacción entre hombre y máquina (HMI) en sistemas embebidos de audio se basa en disminuir la carga cognitiva del operador. Una interfaz adecuadamente diseñada debe facilitar el manejo intuitivo de un sistema complejo que se basa en algoritmos DSP (de procesamiento digital de señales). Se

subraya que la visualización en tiempo real sirve como un "elemento de apoyo para el diseño y diagnóstico", lo cual posibilita que el técnico se enfoque en representaciones gráficas que simulan la conducta física del sonido, en vez de dedicarse a interpretar datos numéricos puros (Balea Domínguez, 2021)

En este proyecto, mediante un panel de control centralizado, la HMI permite gestionar variables importantes como el enrutamiento de señales inalámbricas y la configuración de capas tridimensionales. Esta democratización del control técnico garantiza que la infraestructura del auditorio funcione con extrema precisión, reduciendo al mínimo el peligro de errores operativos que se producen a menudo en sistemas analógicos tradicionales, en los cuales la ausencia de retroalimentación visual inmediata complica el diagnóstico de fallas en tiempo real.

### **2.3.7. Estándares de Seguridad en IoT**

Dado que el sistema interactúa dentro de la red institucional, la seguridad no es un aspecto opcional, según (Alvarez, Guillen, Cueva, & Iñiguez, 2025) el Open Web Application Security Project forma parte de la seguridad e integridad en el desarrollo de aplicativos webs, dentro de los principios establecidos por el proyecto OWASP para poder mitigar las diferentes vulnerabilidades se encuentran las siguientes:

Para nosotros, lo más relevante es que la información esté siempre segura. Por lo tanto, lo primero que hicimos fue establecer un 'filtro' muy riguroso en la entrada de nuestra API. Es parecido a una verificación de seguridad que examina cada solicitud antes de permitirle; si algo parece sospechoso o está mal, lo detiene inmediatamente. De esta manera, nos libramos de amenazas comunes, como los ataques de inyección, y garantizamos que únicamente la información limpia llegue al servidor. En última instancia, esto es lo que nos posibilita dormir tranquilos al tener la certeza de que el sistema está bien protegido y es estable.

Asimismo, se implementó un middleware de limitación de tasa (Rate Limiting) para garantizar la disponibilidad del servicio. Este procedimiento posibilita la regulación del tráfico de entrada al limitar el número de peticiones que se pueden hacer por dirección IP, defendiendo de esta manera los recursos del servidor contra intentos de saturación, como ataques de denegación de servicio (DoS) o ataques de fuerza bruta. Finalmente, respecto a la gestión de sesiones, se desarrolló el backend empleando una estructura sin estado (stateless), considerando que la implementación actual es un



prototipo operativo. Esto significa que el código ya posee la estructura necesaria para integrar un sistema de autenticación basado en Tokens (como JWT), permitiendo en futuras iteraciones un control de acceso granular (RBAC) sin necesidad de reescribir el núcleo del sistema.

### **2.3.8. Modelos de Calidad de Software**

#### **2.3.8.1. ISO/IEC 25010**

En ingeniería de sistemas, la "calidad" ya no es una idea vaga: ahora se mide y se audita con datos concretos. Para poder hablar de calidad con claridad, el sector adopta estándares internacionales que fijan métricas objetivas. La familia de normas ISO/IEC 25000, también llamada SQuaRE (por sus siglas en inglés), es hoy en día el estándar más empleado para evaluar la calidad del software. El objetivo de este conjunto de normas es definir un lenguaje técnico común que permita a los evaluadores, desarrolladores y clientes entenderse mejor cuando se trata de medir y evaluar las características de un producto informático (AENOR, s.f.)

La pieza clave aquí es la norma ISO/IEC 25010, que renovó y sustituyó a la ISO/IEC 9126. Si vamos al fondo, la ISO/IEC 25010 resulta esencial porque define el Modelo de Calidad del Producto. Ese modelo descompone la calidad en ocho grandes características (como la adecuación funcional, rendimiento, seguridad, usabilidad, entre otras). Para un arquitecto de software, este estándar es el punto de partida cuando se trata de plantear los Requisitos No Funcionales (RNF). La ISO/IEC 25010 asegura no solo que el diseño defina lo que el sistema debe hacer, sino también cómo debe comportarse en cuanto a viabilidad técnica, solidez y eficiencia real en uso.

#### **2.3.8.2. Eficiencia de Desempeño**

En el contexto de la arquitectura de software, la eficiencia no se define simplemente por la velocidad bruta de ejecución, sino por el equilibrio técnico entre el nivel de desempeño entregado y la cantidad de recursos consumidos para lograrlo. Especialmente en sistemas que operan en tiempo real, esta característica es crítica y se analiza, en primer lugar, desde su Comportamiento Temporal (Time Behavior). Bajo esta dimensión, el desafío teórico para el ingeniero no radica solo en mejorar los tiempos de respuesta, sino en optimizar métricas estrictas como la latencia de red y el throughput (tasa de procesamiento); el objetivo es afinar los ciclos de ejecución en el

backend para garantizar que la interacción del usuario se perciba como inmediata y fluida, cumpliendo con los umbrales de espera tolerables.

De manera complementaria e inseparable, la teoría exige evaluar la Utilización de Recursos como el indicador del “costo computacional” del software. Esta métrica cuantifica cuánta memoria RAM, ciclos de CPU o ancho de banda requiere el aplicativo para operar bajo condiciones de carga. Un diseño eficiente debe ser responsable con el hardware subyacente, lo que implica la implementación de estructuras de datos optimizadas y una gestión rigurosa de la memoria; esto es fundamental para liberar recursos inactivos y prevenir fenómenos destructivos como las fugas de memoria (memory leaks), que a largo plazo comprometerían la estabilidad y disponibilidad del servidor.

#### **2.3.8.3. Usabilidad y Experiencia de Usuario**

En el desarrollo de software, la usabilidad va mucho más allá de que la aplicación se vea bien estéticamente; según la norma, se trata de la capacidad real del producto para ser entendido y operado sin frustración. Un punto crítico aquí es la Operabilidad, que técnicamente nos obliga a diseñar flujos de trabajo lógicos. Para el desarrollador, el objetivo es que el usuario pueda realizar acciones complejas de forma intuitiva, reduciendo al mínimo la cantidad de clics o pasos necesarios para completar una tarea, lo cual es vital en sistemas de control donde la rapidez cuenta.

De igual importancia es la Protección contra Errores de Usuario. La teoría dicta que un buen sistema debe ser capaz de "defenderse" de un mal uso, por lo que es necesario implementar validaciones estrictas en el frontend que impidan que un error humano como ingresar un dato incorrecto o presionar un botón por accidente comprometa la estabilidad del aplicativo. Finalmente, esto se complementa con la Estética de la Interfaz; lejos de ser un adorno, una interfaz limpia y bien diseñada cumple una función ergonómica clave: reduce la fatiga cognitiva del operador, permitiéndole mantener la concentración durante sesiones de uso prolongadas sin cansarse visualmente.

#### **2.3.8.4. Fiabilidad**

Cuando se desarrolla un sistema, la fiabilidad significa asegurarse de que el software hace lo que debe sin interrupciones durante el tiempo previsto. En este contexto, la Disponibilidad es clave: muestra cuántas veces el sistema está listo y

accesible cuando alguien lo necesita. Para quien diseña el software, la meta es tener el servidor activo el mayor tiempo posible, sin depender de componentes inestables que puedan dejar fuera de servicio la aplicación.

Ahora, errores siempre van a aparecer. Por eso, la Tolerancia a Fallos importa tanto. Se trata de que la aplicación siga funcionando (o que, al menos, falle de forma controlada) aunque haya problemas en la interfaz o fallos en la lógica interna. Esto suele conseguirse con un manejo cuidadoso de excepciones en el código, para que un error inesperado no termine tirando abajo todo el sistema. Y ligado a esto está la Recuperabilidad: la posibilidad de restaurar los datos y el estado de la aplicación tras una caída, de forma que la información importante no se pierda aunque algo falle.

## CAPÍTULO III

### 3. Marco Investigativo

#### 3.1. Tipo de investigación

El desarrollo del presente trabajo de titulación se enmarca en un diseño metodológico riguroso que articula diferentes niveles de profundidad investigativa. Dada la complejidad técnica que implica la intervención acústica en un espacio físico preexistente, el estudio no se adscribe a una única tipología, sino que integra de manera sinérgica los enfoques analítico, descriptivo y aplicado para garantizar la robustez de los resultados.

##### 3.1.1. Analítico

Esta investigación no se queda en la superficie; adopta un enfoque analítico para desglosar cada factor que genera problemas de sonido en el auditorio. No nos limitamos a decir que el audio es deficiente, sino que buscamos entender la raíz del problema: cómo la tecnología antigua de los equipos actuales afecta directamente la claridad de la voz en zonas específicas.

Para lograrlo, analizamos a fondo variables críticas como la presión sonora, la respuesta de frecuencia y el estado real del cableado. Este nivel de detalle es lo que nos permite entender la física detrás de las fallas y, sobre todo, justifica técnicamente por qué la solución definitiva es la implementación de un sistema pseudo-3D.

##### 3.1.2. Descriptivo

En una segunda etapa, el estudio se enfoca en describir con precisión tanto el punto de partida como la meta que queremos alcanzar. Por un lado, documentamos a fondo la realidad actual del Auditorio Leo Cedeño Sánchez: cómo está construido, cómo es su acústica y qué limitaciones tiene el sistema de sonido que se usa hoy.

Por otro lado, detallamos la solución que proponemos. Aquí definimos con exactitud técnica cómo será el nuevo diseño, desde la ubicación estratégica de cada altavoz hasta la configuración de las señales. El objetivo es mostrar un perfil claro de cómo esta nueva tecnología logrará esa experiencia envolvente que el auditorio necesita, marcando una diferencia real frente a lo que tenemos ahora.

### **3.1.3. Aplicada**

Finalmente, y en total sintonía con lo que buscamos en la carrera de Tecnologías de la Información, esta investigación es de carácter aplicado y tecnológico. No solo queremos teorizar; nuestro objetivo es solucionar una necesidad concreta en la ULEAM. Estamos convirtiendo la ingeniería de audio en una realidad tangible: un sistema de sonido de calidad superior que opere sin inconvenientes. Con la instalación y el ajuste de los equipos, lograremos un impacto directo en nuestra universidad, mejorando la calidad de cada charla, concierto o actividad que llevemos a cabo juntos.

## **3.2. Métodos de investigación**

Para garantizar la coherencia lógica en el procesamiento de la información y la estructuración del diseño ingenieril, la investigación se apoyó en una combinación articulada de métodos científicos. Estos procedimientos permitieron transitar desde la observación empírica de las fallas actuales hasta la formulación teórica y práctica de la solución tecnológica.

### **3.2.1. Inductivo**

El método inductivo desempeñó un rol preponderante durante la fase exploratoria y de diagnóstico del proyecto. Nos dirigimos al auditorio para entender por qué había quejas de que las voces se perdían o de que el sonido se escuchaba distorsionado en algunos lugares.

Lo que hallamos fue que el inconveniente se extendía más allá de dos equipos con fallas; la infraestructura del Auditorio Leo Cedeño Sánchez sencillamente llegó a su límite. Este análisis minucioso fue el que nos hizo ver las cosas: para que el nuevo sistema pseudo-3D funcionara, no podíamos solucionarlo por partes; teníamos que concebir la solución de manera global.

### **3.2.2. Deductivo**

Como complemento, utilizamos el método deductivo para darle una base sólida a la etapa de ingeniería y diseño. Básicamente, fuimos de lo general a lo particular: tomamos las leyes universales de la física acústica y los estándares de

sonido envolvente que ya conocemos, y los aplicamos con rigor a la realidad de nuestro auditorio.

Este enfoque nos permitió 'bajar a tierra' la teoría para calcular exactamente dónde ubicar cada altavoz y predecir cómo se comportaría el sonido dentro de la forma única del recinto. Gracias a este razonamiento, pudimos asegurar que el diseño era viable y que funcionaría perfectamente en el papel antes de mover un solo cable o instalar el primer equipo.

### **3.2.3. Bibliográfico**

El método bibliográfico constituyó el eje transversal que otorgó sustento científico a toda la investigación. Se ejecutó mediante una revisión sistemática y crítica de fuentes documentales, abarcando desde la evolución histórica de tecnologías como el Sensurround y el Dolby Atmos, hasta antecedentes investigativos nacionales sobre diseño acústico arquitectónico. Este procedimiento no se limitó a la recopilación de datos, sino que implicó el análisis comparativo de manuales técnicos, tesis previas y literatura especializada, lo cual fue indispensable para construir un marco teórico robusto y seleccionar los criterios tecnológicos más adecuados para la modernización del sistema de sonorización en la ULEAM.

## **3.3. Metodología de Desarrollo**

### **3.3.1. Prototipado Evolutivo**

Para desarrollar el componente de software, optamos por la metodología de Prototipado Evolutivo. Elegimos este enfoque justamente porque es iterativo: nos permitió ir armando el sistema poco a poco. Primero sentamos las bases técnicas (Backend y Base de Datos) y, después, fuimos sumando y ajustando las funciones de la interfaz de control (Dashboard) hasta llegar a la versión operativa final.

El trabajo arrancó con un análisis de requerimientos a fondo, centrado en entender las necesidades operativas clave como la gestión de escenas y el control de volumen en tiempo real. En esa etapa también se fijaron restricciones técnicas, por ejemplo, que la latencia no superara los 50 ms para que la interfaz respondiera con soltura, además de definir protocolos de seguridad para el acceso.

Con estos criterios sobre la mesa, diseñamos la arquitectura siguiendo el patrón MVC (Modelo-Vista-Controlador). Apostar por este modelo nos ayudó a separar la lógica de negocio de la interfaz, lo que facilitó tener un código más modular y fácil de mantener.

Durante la codificación, usamos Python con el micro-framework Flask, ya que es eficiente para gestionar peticiones HTTP y consume poca memoria. También integramos la librería sqlite3 para guardar datos de forma ligera y sin depender de servidores externos. Por último, el proceso cerró con una fase de pruebas y validación utilizando técnicas de pruebas de caja negra (Black Box Testing).

### 3.4. Población y Muestra

#### 3.4.1. Población Objetivo y Estrategia de Muestreo

La población objetivo está constituida por la comunidad universitaria que hace uso de las instalaciones del auditorio. Teniendo en cuenta que la cantidad de asistencia varía dependiendo del evento, se eligió un muestreo por conveniencia (no probabilístico), eligiendo a los individuos que estaban disponibles durante las pruebas de campo. No obstante, el tamaño de esta muestra se estableció a través de criterios estadísticos para asegurar la validez de los datos. Se selecciono una muestra que sea representativa para los participantes en los eventos del auditorio y las pruebas del sistema, garantizando la inclusión de los tres roles definidos como fundamentales: el público general, los conferencistas y el personal administrativo. Basado en la capacidad física instalada de butacas en el recinto, se establece una población finita de  $N \approx 100$  individuos. Para calcular el tamaño de la muestra requerida, se aplicó la fórmula de Cochran para poblaciones finitas:

$$n = \frac{N * Z^2 * p * q}{e^2 * (N - 1) + Z^2 * p * q}$$

**Donde:**

- $N = 100$  (Población total aproximada).
- $Z = 1.96$  (Nivel de confianza del 95%).
- $e = 0.05$  (Margen de error del 5%).
- $p = 0.5$

- $q = 0.5$  (Variabilidad máxima).

$$n = \frac{100 * (1,96)^2 * 0,25}{(0,05)^2 * (100 - 1) + (1,96)^2 * 0,25} \approx 79.5$$

### **3.5. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos**

#### **3.5.1. Encuesta**

La encuesta fue el método elegido para la validación de campo, que se llevó a cabo mediante un cuestionario estructurado con preguntas cerradas. Este instrumento fue creado con una perspectiva técnico-funcional, con el objetivo de obtener indicadores categóricos y binarios que faciliten la verificación del cumplimiento de los parámetros de diseño acústico, a diferencia de las encuestas convencionales de satisfacción.

#### **3.5.2. Cuestionario de preguntas cerradas**

Se elaboró un cuestionario estructurado, que incluía ítems de respuesta cerrada (de selección múltiple y dicotómicos), para llevar a cabo la encuesta. Se decidió no usar escalas de intensidad, como la Likert, para dar prioridad a la recolección de datos definitivos sobre el desempeño del sistema.

Esta modalidad requiere que el encuestado adopte una posición precisa respecto a la calidad del audio (por ejemplo, ¿es claro el audio en su ubicación actual?). SÍ/NO), se deshace de la ambigüedad que presentan las interpretaciones subjetivas intermedias. Esto hace más sencillo el procesamiento estadístico binario, lo cual permite calcular con precisión el porcentaje de efectividad de la solución aplicada y comprobar si los indicadores del proyecto en términos de claridad y cobertura se están cumpliendo.

#### **3.5.3. Objetivo**

El objetivo principal del instrumento es diagnosticar el estado operativo y las deficiencias del sistema de sonorización actual en el Auditorio Leo Cedeño Sánchez de la ULEAM. Este diagnóstico busca obtener evidencia empírica que justifique técnicamente la necesidad de la renovación tecnológica propuesta en el siguiente capítulo.:

- Datos de Control: Rol y ubicación en la sala.
- Inteligibilidad: Claridad de la voz y niveles de volumen.



- Cobertura: Uniformidad del sonido y eliminación de zonas muertas.
- Experiencia Tecnológica: Percepción de la mejora y funcionalidad general.

#### **3.5.4. Diseño y Justificación de los Ítems**

El cuestionario se compone de 9 ítems estratégicos. El instrumento se estructuró mediante la operacionalización de las variables técnicas del proyecto. Cada reactivo del cuestionario fue diseñado no para medir opiniones subjetivas aisladas, sino para actuar como un indicador indirecto de parámetros físicos y acústicos específicos. A continuación, se detalla la estructura del instrumento y la justificación técnica de cada reactivo planteado:

#### **VALIDACIÓN TÉCNICA: Encuesta de calidad del nuevo sistema de sonido del Auditorio Leo Cedeño Sánchez.**

##### **1. Rol en la institución:**

- a) Estudiante
- b) Docente
- c) Administrativo
- d) Ponente
- e) Conferencista

Esta pregunta tiene como finalidad identificar la ocupación y el rol de las personas encuestadas dentro de la comunidad universitaria. El propósito es segmentar los datos para analizar si la percepción de las deficiencias sonoras varía según la actividad desempeñada (quien emite el mensaje frente a quien lo recibe), permitiendo así una solución técnica adaptada a todos los perfiles de usuario.

##### **2. Ubicación frecuente donde percibe problemas:**

- a) Filas Delanteras
- b) Zona Central
- c) Filas Posteriores
- d) Extremos Laterales

La presente interrogante busca mapear físicamente el desempeño acústico del auditorio. Se pueden determinar los puntos críticos que necesitan un ajuste en la

angulación de los altavoces o la instalación de refuerzos sonoros para eliminar las áreas con sombra acústica al identificar las zonas específicas con carencias.

**3. ¿Con el sistema actual, ha experimentado dificultad para entender claramente las palabras del conferencista (sonido borroso, eco o incomprensible)?**

- a) SÍ, frecuentemente es difícil entender.
- b) NO, se entiende claramente.

El objetivo de esta pregunta es medir el índice de inteligibilidad del sistema actual. Determinar si el mensaje llega de forma nítida es fundamental para justificar técnicamente el reemplazo de equipos que no logran vencer los problemas de reverberación y eco del recinto.

**4. ¿Ha notado que al sentarse en las filas de atrás o en los extremos, el volumen baja drásticamente o el sonido pierde calidad?**

- a) SÍ, el sonido no llega bien al fondo.
- b) NO, se escucha igual en todos lados.

El propósito es asegurarse de que andie en la audiencia se pierda nada debido a un sonido inconsistente. A partir de estos datos, podemos sugerir el empleo de altavoces de una nueva generación que reparte el sonido de manera uniforme, lo cual permite que la calidad se conserve constante desde la primera hasta la última fila.

**5. ¿Percibe ruidos molestos (zumbidos, estática o chillidos) que causen molestia o distracción durante los eventos?**

- a) SÍ, el audio es sucio/ruidoso.
- b) NO, el audio es limpio.

Esta pregunta tiene como propósito detectar interferencias electromagnéticas o fallos técnicos en la cadena de audio (micrófonos, cables o consolas). Identificar estos ruidos ayuda a validar la necesidad de un nuevo cableado estructurado y quipos con mejor relación señal-ruido.

**6. ¿Siente que debe realizar un esfuerzo excesivo para escuchar, lo que le genera fatiga auditiva o pérdida de concentración tras 15 o 20 minutos?**

- a) SÍ, me cansa intentar escuchar correctamente.
- b) NO, puedo mantener la atención sin esfuerzo.

Todos hemos experimentado la fatiga de tratar de oír en un sitio donde hay eco o ruido. Ese malestar que hemos estado evaluando aquí se denomina fatiga auditiva. Cuando optimizamos la acústica, no solo reparamos los altavoces, sino que también protegemos la atención y la salud de los alumnos.

**7. En términos generales, ¿cómo calificaría la calidad y modernidad tecnológica del equipo de sonido actual?**

- a) Deficiente / Obsoleta.
- b) Aceptable / Regular.
- c) Excelente / Moderna.

Esta pregunta busca cuantificar la percepción institucional sobre el estado de la tecnología actual. Permite documentar la necesidad de actualización frente a los avances tecnológicos modernos, fortaleciendo el argumento de la obsolescencia técnica.

**8. ¿Considera necesario que el nuevo sistema garantice el mismo nivel de volumen y claridad en el último asiento que en el primero?**

- a) Es un requisito indispensable.
- b) No es relevante.

Esta pregunta define el estándar de calidad esperado para el diseño de la nueva propuesta tecnológica. Sirve como un requisito de diseño para asegurar que la inversión cumpla con las expectativas de equidad auditiva para todos los asistentes.

**9. ¿Cree usted que la renovación total del sistema de audio es prioritaria para mejorar el prestigio y la calidad de los eventos de la institución?**

- a) Sí, es una inversión necesaria y prioritaria.
- b) NO, el sistema actual es suficiente por ahora.

Esta pregunta tiene como objetivo confirmar si el proyecto es viable y urgente desde la perspectiva administrativa y de la imagen institucional. La ejecución de la propuesta de tesis adquiere, en esta sección, un respaldo mayoritario que le otorga peso político y presupuestario.

**10. Para eventos culturales o proyecciones multimedia, ¿considera que una experiencia de sonido envolvente (que no venga solo del frente) mejoraría la calidad del evento?**

- a) Sí, mejoraría la experiencia significativamente.

b) NO, es innecesario.

Esta última pregunta evalúa el potencial de expansión del auditorio hacia un espacio polivalente. La idea es analizar el interés por el sonido inmersivo justifica la inclusión de sistemas surround que eleven la calidad de los eventos culturales y multimedia realizados en el recinto.

### **3.6. Herramientas e Instrumento de Recolección**

La fase operativa de la investigación exigió la selección y aplicación rigurosa de un conjunto de procedimientos técnicos y recursos materiales. Estos elementos fueron determinantes para garantizar tanto la recolección fidedigna de datos sobre la percepción acústica, como la ejecución eficiente de la ingeniería de instalación en el recinto universitario.

#### **3.6.1. Herramientas**

Dada la naturaleza dual del proyecto, que abarca tanto el análisis acústico como la intervención física de la infraestructura, se emplearon herramientas clasificadas en dos categorías operativas diferenciadas:

##### **3.6.1.1. Instrumental de diagnóstico y medición.**

Para la evaluación técnica del entorno acústico, se utilizaron dispositivos de medición de presión sonora (sonómetros) y software especializado de análisis de audio. Estas herramientas permitieron objetivar los parámetros físicos del sonido, identificando con precisión los tiempos de reverberación y las zonas muertas donde la señal de audio perdía potencia o claridad antes de la intervención.

##### **3.6.1.2. Herramientas de implementación física.**

Realizar el diseño del papel en la realidad del auditorio fue un trabajo de montaje intensivo. Como se puede apreciar en el informe de nuestro trabajo de campo, este procedimiento necesitó herramientas de ferretería profesional: empleamos taladros de percusión para fijar los soportes a las paredes y utensilios de precisión para organizar y preparar el nuevo cableado de audio. Asimismo, para llegar a las áreas más elevadas, donde colocamos los nuevos altavoces, fue fundamental el empleo de escaleras. Todo este despliegue técnico no solo fue necesario para que el sistema funcione, sino para garantizar que la instalación sea totalmente segura y duradera."

### **3.6.2. Instrumentos**

El instrumento constituye el recurso tangible y operativo mediante el cual se aplica la técnica de recolección de datos previamente descrita. En el contexto de esta investigación, el diseño del instrumento fue fundamental para traducir las percepciones subjetivas de la audiencia sobre la calidad acústica en datos mensurables y analizables. Además, se utilizó la técnica de análisis documental y observación directa del flujo de trabajo actual en la cabina de control para determinar las "Historias de Usuario" que el software debía satisfacer.

## **3.7. Plan Estratégico para la Captura de Datos**

### **3.7.1. Plan de Recolección de Datos**

La estrategia de levantamiento de información se diseñó para ejecutarse durante la fase de validación, inmediatamente posterior a la calibración final del hardware. Priorizando la integridad de los datos y la eficiencia operativa, se descartó el uso de papel en favor de una instrumentación 100% digital implementada sobre la plataforma Microsoft Forms. Esta decisión técnica fue clave para automatizar la tabulación de resultados y, fundamentalmente, para eliminar el margen de error humano inherente a la transcripción manual de datos físicos.

Para el despliegue, se estableció un mecanismo de acceso de baja fricción mediante Códigos QR distribuidos estratégicamente en el recinto, permitiendo a la muestra interactuar con el instrumento desde sus propios dispositivos móviles bajo un esquema BYOD (Bring Your Own Device). Un factor crítico del diseño experimental fue la temporalidad sincrónica: la recolección se realizó estrictamente in situ y en tiempo real. Esto aseguró que la valoración subjetiva de los participantes se capturara en el instante mismo de la percepción, minimizando el sesgo de memoria y garantizando una correlación exacta entre el estímulo auditivo del sistema calibrado y el dato registrado.

## **3.8. Recursos Investigativos**

La viabilidad técnica, operativa y económica del proyecto se sustentó en la gestión eficiente y la disponibilidad de una serie de recursos indispensables para el desarrollo de la investigación y la implementación de la ingeniería.

### **3.8.1. Talento Humano**

El eje fundamental para la ejecución del proyecto estuvo conformado por el equipo de investigadores, Gudiño Ávila Anthony Raúl y Palacios Rivas Rómulo Manuel, responsables del diseño, instalación y configuración del sistema. Asimismo, se contó con la dirección metodológica y asesoría técnica del tutor, Ing. Luis Jacinto Mendoza Cuzme, quien supervisó la validación de los cálculos acústicos y la estructura del trabajo de titulación.

### **3.8.2. Recursos Tecnológicos y Materiales**

La investigación requirió el uso de infraestructura física y equipamiento especializado, incluyendo:

- El espacio físico del Auditorio Leo Cedeño Sánchez, ubicado en la Facultad de Ciencias de la Vida y Tecnologías de la ULEAM, como escenario de intervención y pruebas de campo.
- Hardware de procesamiento y software de simulación acústica para el modelado del comportamiento sonoro previo a la instalación.
- El sistema integral de sonorización adquirido e instalado, compuesto por altavoces de alta fidelidad, consola de mezcla, micrófonos y el cableado estructurado necesario para la topología de audio moderna.
- IDE y Herramientas de Depuración, se utilizó Visual Studio Code y las herramientas de desarrollo de navegador para monitorear el rendimiento del Frontend y la latencia de las peticiones de red.

### **3.8.3. Recursos Financieros**

La ejecución del proyecto se realizó mediante un presupuesto autofinanciado por los autores. Este fondo cubrió la adquisición de los equipos de audio, materiales de ferretería para la instalación, herramientas de medición y gastos logísticos, garantizando así la independencia y sostenibilidad de la propuesta tecnológica presentada a la universidad.

## **3.9. Presentación y Análisis de Resultados: Informe Final**

En esta sección se muestran los resultados tras usar el instrumento técnico en la muestra prevista. Los datos aparecen organizados según dimensiones operativas para facilitar el análisis. La encuesta se realizó entre estudiantes y profesionales de la

Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, centrados en la Facultad de Ciencias de la Vida y Tecnología, buscando lograr una visión completa y representativa de la comunidad.

3.9.1. Caracterización de la Muestra y Ubicación

1. Rol en la Institución.

La muestra es variada, aunque predominan los estudiantes (45%). El personal docente representa el 19%, y el administrativo el 17%. Llama la atención que el 19% corresponde a usuarios activos del escenario (conferencistas 11% y ponentes 8%), lo que da peso a los datos de monitoreo y captación de audio en tarima y asegura que el diagnóstico no se limite a los receptores en sala.

Ilustración 17. Interpretación de rol en la institución



*Nota.* Distribución porcentual de los roles encuestados. **Fuente.** Elaboración propia.

Tabla 1. Tabulación de roles de encuestados.

| Opciones       | Frecuencia | Porcentaje |
|----------------|------------|------------|
| Estudiante     | 37         | 45%        |
| Docente        | 16         | 19%        |
| Administrativo | 14         | 17%        |
| Ponente        | 7          | 8%         |
| Conferencista  | 9          | 11%        |
| Total          | 83         | 100%       |

*Nota.* Frecuencia de participación según el perfil del usuario. **Fuente.** Elaboración Propia

2. Ubicación frecuente donde percibe problemas.

Los datos confirman que los usuarios se distribuyen en toda el área del auditorio. Un hallazgo crítico para el diseño de ingeniería es que el 59% de los encuestados (34% Extremos + 25% Filas Posteriores) se ubica fuera del "punto dulce" o zona central. Este alto porcentaje de usuarios en zonas periféricas justifica la necesidad de un sistema de cobertura amplia y distribuida, ya que la mayoría de la audiencia no recibe el sonido directo del eje central.

*Ilustración 18. Ubicación de Deficiencias Acústicas*



*Nota.* Dispersión física de la audiencia en las zonas del auditorio. **Fuente.** Elaboración propia.

*Tabla 2. Tabulación de ubicación frecuente.*

| Opciones           | Frecuencia | Porcentaje |
|--------------------|------------|------------|
| Extremos Laterales | 28         | 34%        |
| Filas Posteriores  | 21         | 25%        |
| Filas Delanteras   | 21         | 25%        |
| Zona Central       | 13         | 16%        |
| Total              | 83         | 100%       |

*Nota.* Distribución de los usuarios según su ubicación en la sala. **Fuente.** Elaboración propia.

3.9.2. Diagnóstico de Deficiencias Acústicas

3. ¿Con el sistema actual, ha experimentado dificultad para entender claramente las palabras del conferencista (sonido borroso, eco o incomprensible)?



Este indicador revela una falla crítica en el sistema actual. El 71% de la audiencia reporta dificultades frecuentes para entender el mensaje (sonido borroso o incomprensible). En términos de ingeniería acústica, esto evidencia un Índice de Transmisión del Habla (STI) inaceptable. La incapacidad del sistema para reproducir con claridad las frecuencias vocales es la justificación técnica principal para la renovación de los transductores y propuesta.

**Ilustración 19.** Inteligibilidad de la palabra



**Nota.** Evaluación de la claridad del mensaje percibido (Inteligibilidad). **Fuente.** Elaboración propia.

**Tabla 3.** Tabulación de inteligibilidad del sistema.

| Opciones                                      | Frecuencia | Porcentaje  |
|-----------------------------------------------|------------|-------------|
| <b>SÍ, frecuentemente es difícil entender</b> | 59         | 71%         |
| <b>NO, se entiende claramente</b>             | 24         | 29%         |
| <b>Total</b>                                  | <b>83</b>  | <b>100%</b> |

**Nota.** Percepción de dificultad para comprender el discurso. **Fuente.** Elaboración propia.

#### 4. ¿Ha notado que al sentarse en las filas de atrás o en los extremos, el volumen baja drásticamente o el sonido pierde calidad?

El 46% de los encuestados percibe que el sonido "no llega bien al fondo". Aunque existe un segmento que no percibe la falla (54%), el hecho de que casi la mitad de la sala reporte una caída drástica de volumen es un indicador de falta de homogeneidad en el campo sonoro. Esto valida físicamente que el sistema de tiro

frontal actual no logra vencer la atenuación por distancia, fundamentando la implementación de las Líneas de Retardo (Delay Lines) para recuperar la presión sonora en las filas posteriores.

**Ilustración 20.** Uniformidad de Cobertura



**Nota.** Percepción de pérdida de presión sonora por distancia. **Fuente.**

Elaboración propia.

**Tabla 4.** Tabulación de uniformidad de cobertura.

| Opciones                             | Frecuencia | Porcentaje  |
|--------------------------------------|------------|-------------|
| NO, se escucha igual en todos lados  | 45         | 54%         |
| SÍ, el sonido no llega bien al fondo | 38         | 46%         |
| <b>Total</b>                         | <b>83</b>  | <b>100%</b> |

**Nota.** Detección de zonas de sombra acústica. **Fuente.** Elaboración propia.

## 5. ¿Percibe ruidos molestos (zumbidos, estática o chillidos) que causen molestia o distracción durante los eventos?

Los resultados dejan clara una división: el 48% de quienes respondieron notan ruidos molestos como zumbidos o estática. Este dato es preocupante para un ambiente académico, porque habla de una mala relación señal/ruido. Que estos sonidos estén presentes confirma la sospecha de que el cableado está en mal estado y podrían existir problemas de conexión a tierra. Todo esto refuerza la necesidad de cambiar la instalación por cableado balanceado de baja impedancia.

**Ilustración 21. Relación Señal/Ruido**



**Nota.** Detección de interferencias y ruido de fondo (SNR). **Fuente.** Elaboración propia.

**Tabla 5. Tabulación de presencia de ruido.**

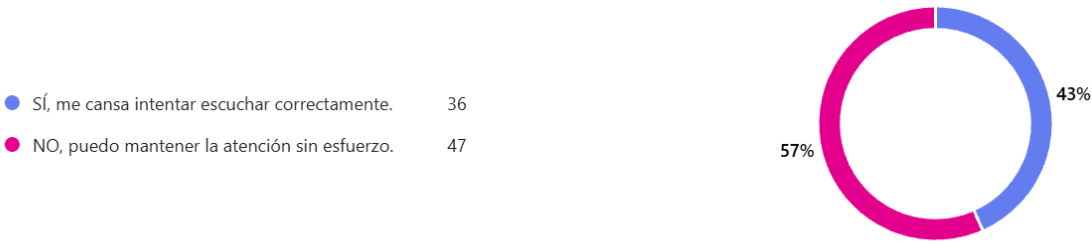
| Opciones                      | Frecuencia | Porcentaje  |
|-------------------------------|------------|-------------|
| NO, el audio es limpio        | 43         | 52%         |
| SÍ, el audio es sucio/ruidoso | 40         | 48%         |
| <b>Total</b>                  | <b>83</b>  | <b>100%</b> |

**Nota.** Percepción de limpieza de la señal de audio. **Fuente,** Elaboración propia.

**6. ¿Siente que debe realizar un esfuerzo excesivo para escuchar, lo que le genera fatiga auditiva o pérdida de concentración tras 15 o 20 minutos?**

El 43% de los usuarios manifiesta cansancio o pérdida de concentración al intentar escuchar. Este dato traslada el problema técnico a un impacto pedagógico negativo. La fatiga auditiva reportada es consecuencia directa del esfuerzo cognitivo necesario para decodificar un audio con distorsión o bajo volumen, reforzando la urgencia de la intervención para mejorar la calidad educativa.

Ilustración 22. Fatiga Auditiva



*Nota.* Impacto fisiológico del esfuerzo auditivo en los asistentes. **Fuente.** Elaboración propia.

Tabla 6 Tabulación de fatiga auditiva.

| Opciones                                     | Frecuencia | Porcentaje |
|----------------------------------------------|------------|------------|
| NO, puedo mantener la atención sin esfuerzo  | 47         | 57%        |
| SÍ, me cansa intentar escuchar correctamente | 36         | 43%        |
| Total                                        | 83         | 100%       |

*Nota.* Indicador de esfuerzo cognitivo y fatiga. **Fuente.** Elaboración propia.

7. En términos generales, ¿cómo calificaría la calidad y modernidad tecnológica del equipo de sonido actual?

La percepción de la calidad es mayoritariamente negativa o mediocre. Solo un 27% considera el sistema "Excelente". La suma de las percepciones "Deficiente/Obsoleta" (39%) y "Regular" (35%) indica que el 74% de la comunidad universitaria considera que el equipamiento actual no cumple con los estándares de modernidad requeridos, evidenciando el fin de su ciclo de vida útil

**Ilustración 23. Calificación General del Equipo**



**Nota.** Valoración cualitativa del equipamiento actual. **Fuente.** Elaboración propia.

**Tabla 7. Tabulación de obsolescencia tecnológica percibida.**

| Opciones              | Frecuencia | Porcentaje |
|-----------------------|------------|------------|
| Deficiente / Obsoleta | 32         | 39%        |
| Aceptable / Regular   | 29         | 35%        |
| Excelente / Moderna   | 22         | 26%        |
| Total                 | 83         | 100%       |

**Nota.** Evaluación del estado tecnológico del sistema. **Fuente.** Elaboración propia.

### 3.9.3. Validación de Requerimientos y Propuesta

#### 8. ¿Considera necesario que el nuevo sistema garantice el mismo nivel de volumen y claridad en el último asiento que en el primero?

El 63% de quienes respondieron considera indispensable que el sonido sea igual de bueno al fondo y al frente. Así que la ingeniería no puede apostar solo porque el audio "suene fuerte" cerca del escenario. El sistema tiene que cubrir todas las filas de manera pareja, incluso las del fondo; eso refuerza la idea de mantener una topología distribuida en el proyecto.

**Ilustración 24.** Necesidad de cobertura uniforme.

**Nota.** Verificación de la necesidad de una cobertura uniforme. **Fuente.** Elaboración propia.

**Tabla 8.** Tabulación de demanda de equidad auditiva.

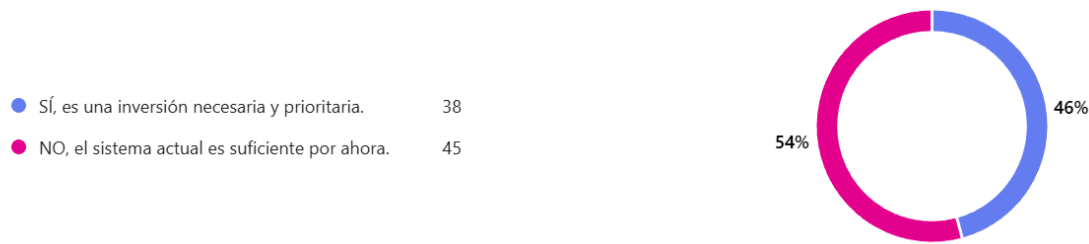
| Opciones                             | Frecuencia | Porcentaje  |
|--------------------------------------|------------|-------------|
| <b>Es un requisito indispensable</b> | 52         | 63%         |
| <b>No es relevante</b>               | 31         | 37%         |
| <b>Total</b>                         | <b>83</b>  | <b>100%</b> |

**Nota.** Nivel de exigencia sobre la uniformidad del sonido. **Fuente.** Elaboración propia

### 9. ¿Cree usted que la renovación total del sistema de audio es prioritaria para mejorar el prestigio y la calidad de los eventos de la institución?

Las opiniones están bastante divididas sobre si hace falta invertir de inmediato (46% SÍ frente a 54% NO). Aunque hay una leve mayoría que piensa que el sistema actual "alcanza", ese 46% que pide el cambio no es poca cosa. Viéndolo desde el lado técnico, esta diferencia de opiniones parece mostrar que muchos usuarios ya se acostumbraron a la calidad baja. Pero no hay que olvidar el dato fuerte: ese 71% reportado antes que dice que apenas se entiende lo que sale por el audio. Eso, en lo técnico, sigue siendo motivo suficiente para intervenir.

Ilustración 25. Prioridad de Renovación



**Nota.** Percepción administrativa sobre la urgencia de inversión. **Fuente.** Elaboración propia.

Tabla 9. Tabulación de prioridad de renovación.

| Opciones                                      | Frecuencia | Porcentaje |
|-----------------------------------------------|------------|------------|
| NO, el sistema actual es suficiente por ahora | 45         | 54%        |
| SÍ, es una inversión necesaria y prioritaria  | 38         | 46%        |
| Total                                         | 83         | 100%       |

**Nota.** Evaluación de la urgencia del proyecto. **Fuente.** Elaboración propia.

10. Para eventos culturales o proyecciones multimedia, ¿considera que una experiencia de sonido envolvente (que no venga solo del frente) mejoraría la calidad del evento?

La propuesta de implementar una experiencia envolvente (Pseudo-3D) cuenta con una aceptación del 49%, prácticamente la mitad de la población. Esto indica que existe un potencial claro para diversificar el uso del auditorio hacia eventos culturales y multimedia. La implementación de esta tecnología satisfará las expectativas de innovación de uno de cada dos usuarios, aportando un valor agregado diferencial a la institución.

*Ilustración 26. Aceptación del Sonido Envolverte*



**Nota.** Adopción de nuevas tecnologías inmersivas. **Fuente.** Elaboración propia.

*Tabla 10. Tabulación de aceptación del sonido envolvente.*

| Opciones                                        | Frecuencia | Porcentaje |
|-------------------------------------------------|------------|------------|
| NO, es innecesario                              | 42         | 51%        |
| SÍ, mejoraría la experiencia significativamente | 41         | 49%        |
| Total                                           | 83         | 100%       |

**Nota.** Interés en la implementación de tecnología Pseudo-3D. **Fuente.** Elaboración propia.

### 3.10. Análisis y Resultados: Informe Final

El presente informe sistematiza los hallazgos críticos derivados de la fase de diagnóstico para el diseño del Sistema Integral de Sonorización Profesional Pseudo-3D en el Auditorio Leo Cedeño Sánchez. El objetivo rector de esta investigación fue establecer una línea base técnica, cuantificando las deficiencias acústicas del recinto para fundamentar, con datos duros, la necesidad operativa de migrar hacia arquitecturas de audio avanzadas que garanticen la inteligibilidad del mensaje y la estandarización de la experiencia auditiva. La validación se sustentó en la aplicación de un instrumento estructurado a una muestra de n=83 actores clave del ecosistema universitario (docentes, estudiantes y personal técnico). El procesamiento de estos datos reveló una brecha operativa severa: un 71% de la muestra reportó incapacidad para decodificar claramente el mensaje del conferencista. Este indicador no es solo una métrica de insatisfacción, sino la evidencia estadística de la obsolescencia funcional del sistema



actual, el cual ya no cumple con los umbrales mínimos de transmisión de información requeridos para un entorno académico.

Al correlacionar la percepción del usuario con la geometría del recinto, se identificó un fallo crítico de cobertura. El análisis espacial muestra que el 59% de los usuarios tiende a ocupar zonas laterales o posteriores; sin embargo, en estas ubicaciones, un 46% experimenta una atenuación drástica tanto en presión sonora como en fidelidad. Estos datos validan la existencia de "zonas de sombra acústica" y respaldan la exigencia del 63% de los encuestados, quienes demandan una respuesta isobárica (uniforme) en todo el aforo. Adicionalmente, el diagnóstico de la capa física detectó que un 48% de los usuarios percibe ruido parásito (interferencias o hum eléctrico), síntoma inequívoco de la degradación del cableado y la falta de blindaje electromagnético en la infraestructura existente.

Finalmente, el estudio de percepción confirma la viabilidad del proyecto. A pesar de la habituación al bajo rendimiento actual, existe una demanda latente de modernización: un 49% de los encuestados identifica que la implementación de tecnologías inmersivas o envolventes elevaría sustancialmente la calidad de la producción académica. Este dato valida la pertinencia del diseño Pseudo-3D, confirmando que la solución propuesta no es un lujo técnico, sino una respuesta directa a una necesidad de comunicación multimedia no satisfecha.

## **CAPÍTULO IV**

### **4. Marco Propositivo**

#### **4.1. Introducción**

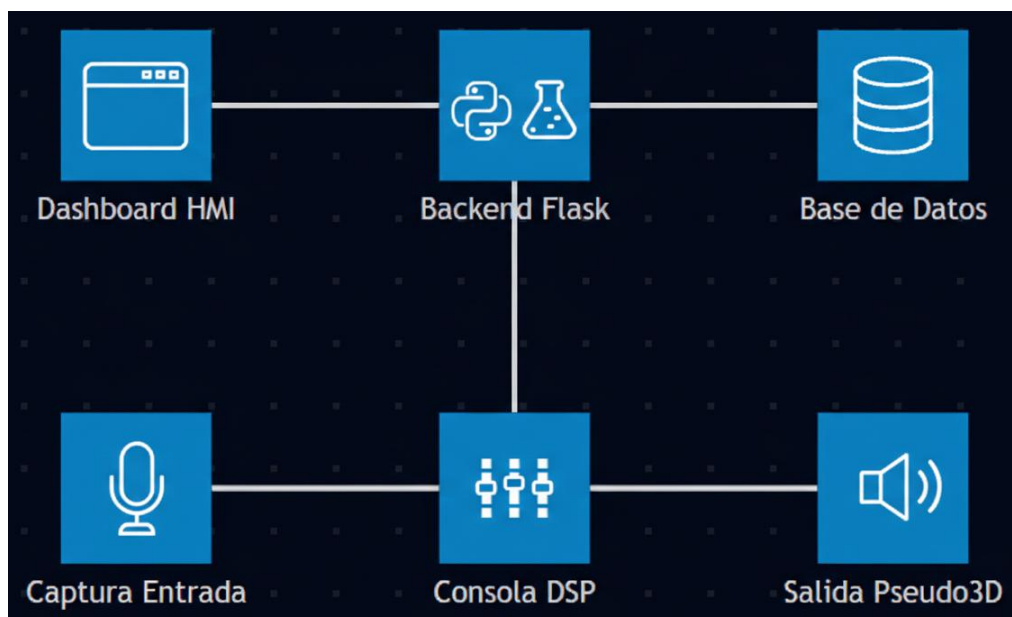
Este capítulo detalla la solución técnica diseñada para abordar las deficiencias acústicas identificadas y además de exponer el prototipo de sistema de control en el Auditorio Leo Cedeño Sánchez. Presenta el desarrollo integral de un sistema de sonido basado en una tecnología de sonorización pseudo-3D, concebido no solo como una actualización de hardware, sino también como una reingeniería completa de la cadena acústica del auditorio. La propuesta abarca desde el dimensionamiento de recursos y los cálculos de cobertura hasta las fases finales de implementación y calibración. El objetivo principal es dotar a la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí de una infraestructura de audio moderna que garantice la inteligibilidad de la voz y una experiencia inmersiva, cumpliendo con los estándares de calidad requeridos para eventos académicos de alto nivel.

#### **4.2. Descripción de la Propuesta**

La propuesta de sonorización integral se apoya en una arquitectura híbrida que interconecta equipos electroacústicos con una capa de control lógico. Este diseño permite que los componentes, trabajando de manera orquestada, logren cubrir el auditorio y adaptarse a su geometría acústica mediante procesamiento en tiempo real.

En el nivel de entrada, se proyecta la disposición de micrófonos de alta sensibilidad para la captura de voz, mientras que un núcleo de gestión centralizada se encarga de procesar digitalmente esa señal y enrutarla hacia diferentes zonas de altavoces. Así, se garantiza que todo el espacio reciba el audio de forma clara y uniforme. Además, se emplea una topología de sonorización Pseudo-3D para gestionar la proyección del sonido no solo desde el frente, sino también en las zonas posteriores (Surround), brindando la posibilidad de eliminar ecos y zonas muertas mediante algoritmos de corrección. Esto permite optimizar la experiencia auditiva y garantizar una operación precisa, monitoreada desde la interfaz de software propuesta.

*Ilustración 27. Arquitectura de la solución planteada*



**Nota.** El esquema destaca la renovación de la etapa de entrada (micrófonos y cableado), la actualización de la consola central y la división de la señal en dos zonas de cobertura (Frontal y Posterior) para lograr el efecto envolvente. **Fuente.** Elaboración Propia.

Este sistema nuevo no solo es potente, sino también inteligente y escalable; posee toda capacidad técnica de expandirse según los requisitos y las necesidades futuras del espacio. La propuesta se enfoca en asegurar la inteligibilidad de las conferencias, empleando nodos de sonido estratégicos para transmitir el audio al fondo del salón sin pérdidas. Mediante la consola central y el prototipo de interfaz de control (HMI), se establece un control absoluto para ecualizar y limpiar la señal, suprimiendo ruidos parásitos y manteniendo la calidad durante el evento.

Para lograr un buen auditorio, es esencial que la calidad del sonido sea uniforme en todas las áreas. El procesamiento de retardo nos ayuda a evitar que el sonido se perciba "lejos" al fondo, permitiendo una cobertura completa y ese toque de inmersión "pseudo-3D". Con este método, eliminamos la disparidad en el volumen y garantizamos que la audiencia se enfoque únicamente en disfrutar el evento, confiando en que el audio será perfecto desde cualquier asiento.

### 4.3. Determinación de Recursos

#### 4.3.1. Recursos Humanos

En esta fase, se conformó un equipo técnico especializado encargado de la planificación, diseño e implementación de la reingeniería acústica. La combinación de conocimientos en electrónica, física del sonido y gestión de proyectos fue esencial para llevar a cabo de manera eficiente la instalación del sistema de sonorización Pseudo-3D en el Auditorio Leo Cedeño Sánchez. Este enfoque colaborativo permitió abordar el cálculo acústico, el montaje físico y la calibración final con precisión técnica, asegurando un sistema funcional y adaptado a las exigencias académicas de la institución.

*Tabla 11. Recursos Humanos y Funciones*

| RECURSOS                               | FUNCION                                                                                                                                      |
|----------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Gudiño Avila Anthony Raúl</b>       | <b>Investigadores:</b> Responsables del diseño de ingeniería, instalación física, configuración de equipos y validación técnica del sistema. |
| <b>Palacios Rivas Rómulo Manuel</b>    |                                                                                                                                              |
| <b>Ing. Mendoza Cuzme Luis Jacinto</b> | <b>Tutor Académico:</b> Guía metodológica y supervisor técnico de la propuesta y validación de resultados.                                   |
| <b>Personal Técnico</b>                | <b>Apoyo Logístico:</b> Colaboración y adecuación de infraestructura.                                                                        |

*Nota.* Tabla sobre la distribución de roles en el proyecto. **Fuente.** Elaboración propia de los Autores.

#### 4.3.2. Recursos Tecnológicos

La materialización de la propuesta requirió la integración de hardware de audio profesional, componentes de automatización y estructura de la red para adaptar el espacio. La siguiente tabla detalla los activos tecnológicos involucrados y su función operativa dentro del sistema integral:

*Tabla 12. Recursos utilizados y su función*

| <b>RECURSOS UTILIZADOS</b>                       | <b>FUNCIONES DE LOS RECURSOS</b>                                                                                                                                                       |
|--------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Consola de Mezcla</b>                         | Es el núcleo del sistema. Su labor consiste en recibir el sonido, que está refinado y distribuido de forma balanceada, para crear un ambiente envolvente "Pseudo-3D" en toda la sala.  |
| <b>Sistemas de Microfonía</b>                    | Su prioridad es la nitidez. Para asegurar que cada palabra del orador se escuche nítida y sin dificultad en los oídos de los oyentes, recogen la voz con una fidelidad alta.           |
| <b>Hub de Domótica e Interfaz IR</b>             | Actúa como asistente inteligente. Extiende la vida útil de los equipos y facilita el manejo del salón al automatizar el ambiente y regular la temperatura desde una distancia.         |
| <b>Infraestructura de Red (Switch 8 puertos)</b> | Es el sistema nervioso del proyecto. Conecta todos los módulos digitales para que podamos administrar y controlar todo el ecosistema tecnológico desde una única ubicación.            |
| <b>Cámara de Monitoreo</b>                       | Nuestro par de ojos en la cabina. Posibilita observar en tiempo real que todo esté controlado y que los equipos estén protegidos durante su funcionamiento.                            |
| <b>Iluminación LED (Paneles 24W/6W)</b>          | Diseñada para la comodidad de vision. No solo ayuda a observar mejor los controles, sino que embellece el sitio, lo que contribuye a crear un entorno laboral grato.                   |
| <b>Interruptores Inteligentes</b>                | Nos permiten tener el control completo con solo un toque. Hacen posible que la energía y las luces se apaguen o enciendan automáticamente, lo cual mejora la eficiencia del auditorio. |
| <b>Cableado Estructurado</b>                     | Es la carretera de la información. Asegura la estabilidad del sistema en todo momento, garantizando que el audio y los datos se transmitan de manera rápida y sin interrupciones.      |

*Nota.* Tabla descriptiva del hardware y software empleado. **Fuente.** Elaboración propia de los Autores.

### 4.3.3. Recursos Económicos

La viabilidad financiera del proyecto se sustentó en la autogestión de los investigadores. En la siguiente tabla se presenta el desglose de los costos de inversión en equipamiento, materiales de instalación y logística necesarios para la ejecución del proyecto:

*Tabla 13. Detalle de Recursos Económicos*

| #        | DESCRIPCIÓN DEL RUBRO                                | COSTO (\$ USD)     |
|----------|------------------------------------------------------|--------------------|
| <b>1</b> | <b>SISTEMA DE AUDIO Y CAPTURA</b>                    | <b>\$ 525.00</b>   |
| 1.1      | Sistema de Micrófonos                                | 220.00             |
| 1.2      | Consola de Mezcla                                    | 215.00             |
| 1.3      | Cables de Sonido y Conectores                        | 50.00              |
| 1.4      | Mantenimiento y Calibración                          | 40.00              |
| <b>2</b> | <b>DOMÓTICA, RED Y SEGURIDAD</b>                     | <b>\$ 406.83</b>   |
| 2.1      | Hub de Domótica (Controlador Central)                | 200.00             |
| 2.2      | Switch de Red 8 Puertos                              | 21.85              |
| 2.3      | Cámara de Seguridad                                  | 100.00             |
| 2.4      | Interruptores Inteligentes (3 un.)                   | 68.98              |
| 2.5      | Controlador IR AC (Aire Acondicionado)               | 16.00              |
| <b>3</b> | <b>INFRAESTRUCTURA ELÉCTRICA E ILUMINACIÓN</b>       | <b>\$ 230.80</b>   |
| 3.1      | Paneles LED 24W Luz Fría (32 un.)                    | 163.77             |
| 3.2      | Paneles LED 6W Luz Cálida (21 un.)                   | 28.35              |
| 3.3      | Luces de Emergencia (2 un.)                          | 25.00              |
| 3.4      | Tapas de Tomacorriente y Ciegas                      | 13.68              |
| <b>4</b> | <b>ADECUACIÓN CIVIL Y MATERIALES</b>                 | <b>\$ 411.37</b>   |
| 4.1      | Mobiliario Técnico                                   | 193.00             |
| 4.2      | Fibra y Rieles de Montaje                            | 126.00             |
| 4.3      | Pintura y Empaste                                    | 82.75              |
| 4.4      | Canaletas y Cinta Aislante                           | 3.62               |
| 4.5      | Insumos Varios y Logística (Alimentación/Transporte) | 6.00               |
| <b>5</b> | <b>TOTAL, DE INVERSIÓN DEL PROYECTO</b>              | <b>\$ 1,574.00</b> |

**Nota.** El presupuesto incluye la inversión en hardware, adecuación física del auditorio y componentes de automatización. **Fuente.** Elaboración propia de los Autores.

## **4.4. Etapas operativas para el desarrollo de la propuesta**

### **4.4.1. Enfoques metodológicos empleados**

La metodología que se adaptó para este proyecto está basada en un enfoque secuencial y estructurado, diseñado para garantizar que cada fase del desarrollo se ejecute de forma ordenada y eficiente, cumpliendo con los objetivos establecidos. Utilizamos una combinación de metodología en cascada y enfoque colaborativo, lo que nos permite obtener resultados consistentes y mejor documentados en cada etapa.

#### **4.4.1.1. Metodología en Cascada**

Este enfoque, conocido como modelo en cascada, permite dividir el proyecto en fases claramente definidas, donde el avance de una fase depende completamente de la finalización exitosa de la anterior. Este proceso se compone por las siguientes fases:

- 1. Diagnóstico:** Identificamos los problemas presentes para desarrollar las soluciones futuras.
- 2. Planificación y diseño:** Desarrollamos una experiencia de sonido que ha sido diseñada especialmente para nuestra infraestructura.
- 3. Implementación:** Implementamos tecnología avanzada en nuestras instalaciones para desarrollar el nuevo sistema.
- 4. Pruebas y calibración:** Perfeccionamos el sonido hasta que lo logremos envolvente, nítido y perfecto.
- 5. Despliegue y retroalimentación:** Nos instruimos basándonos en la experiencia de quienes utilizan el auditorio para seguir mejorando continuamente.

#### **4.4.1.2. Enfoque colaborativo**

Durante todo el proceso, los equipos técnicos, administrativos y operativos trabajarán de manera estrecha. Este enfoque colaborativo nos permite ajustar y adaptar el diseño en tiempo real, a medida que surgen nuevas necesidades o se detectan mejoras potenciales en la propuesta inicial.

#### 4.4.2. Aplicación de la Metodología

##### 4.4.2.1. Fase preliminar: Levantamiento y Análisis Acústico

En esta etapa inicial, el objetivo es obtener un diagnóstico detallado sobre el comportamiento acústico del Auditorio Leo Cedeño Sánchez, para identificar los problemas y deficiencias existentes en el sistema actual de sonorización. Las actividades claves en esta fase incluyen:

1. **Medición de parámetros acústicos:** Para evaluar la calidad acústica, se utilizan sonómetros y micrófonos calibrados que permiten medir la presión sonora (SPL) en diversas zonas del auditorio. Se lleva a cabo una medición de la reverberación (RT60), la inteligibilidad de la palabra, y la uniformidad del sonido en diferentes frecuencias.
  - Se utilizan sistemas de análisis de frecuencias que permiten identificar las frecuencias problemáticas (bajas o altas) y áreas donde el sonido se dispersa de manera ineficiente.
2. **Simulación acústica 3D:** con el uso del software especializado EASE, se simula la propagación del sonido en el espacio. Esto nos permite visualizar áreas con zonas muertas (áreas donde el sonido es débil o inaudible) y puntos de reflexión que causan reverberaciones no deseadas.
3. **Evaluación de la distribución de los altavoces:** Se revisa el sistema de altavoces existente para identificar su capacidad de cobertura en las zonas del auditorio. A menudo, los altavoces no están correctamente ubicados o no ofrecen la dispersión adecuada para garantizar que el sonido llegue de manera uniforme a todos los asistentes.

A continuación, se presenta la evidencia del procedimiento técnico realizado in situ para la recolección de datos acústicos iniciales:



**Ilustración 28.** *Proceso de medición de presión sonora.*



**Nota.** Documentación de las pruebas de sonido que se llevaron a cabo en el lugar. Empleamos instrumentos de precisión para examinar la manera en que el ruido afecta zonas claves del auditorio y para identificar eventuales inconvenientes acústicos. **Fuente.** Archivo fotográfico de los autores.

Desde este punto, elaboraremos un informe que exhiba la realidad acústica del auditorio. En este, analizaremos la distribución del sonido y localizaremos los problemas más serios. Contar con esta visión nítida del panorama actual es lo que nos posibilitará elaborar la solución técnica más adecuada en las etapas siguientes.

#### **4.4.2.2. Fase de planificación y diseño de ingeniería**

Una vez hayamos obtenidos los resultados del diagnóstico inicial, la fase de planificación se dedica a diseñar el sistema de sonorización más adecuado para el auditorio. Aquí se define el diseño técnico y estructural del nuevo sistema, adaptado a las características acústicas del espacio.

Las actividades principales en esta fase incluyen:

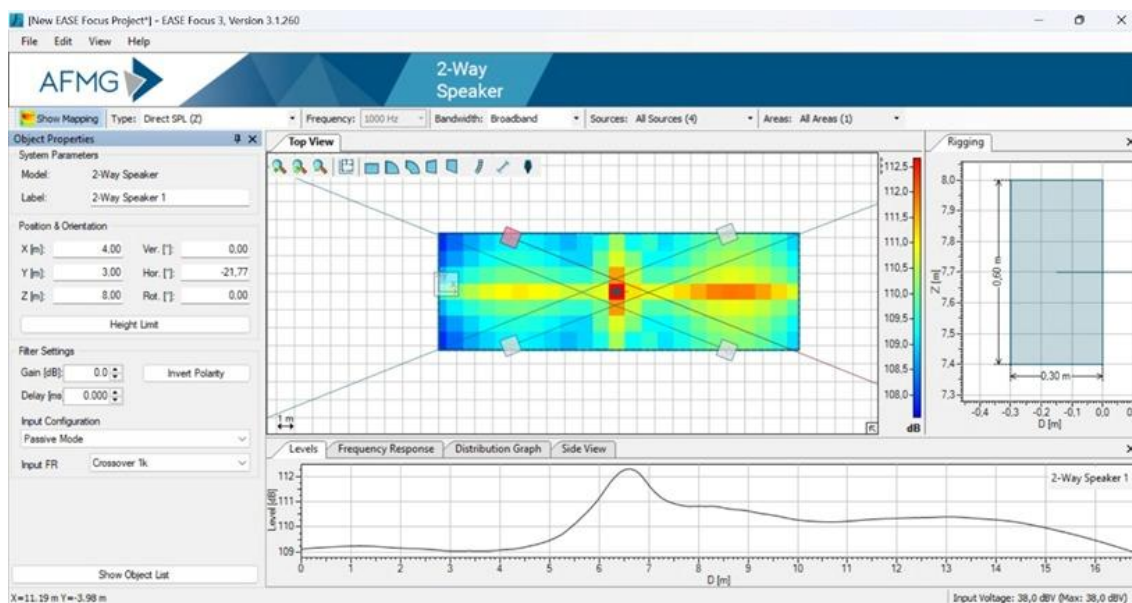
- 1. Selección de los equipos:** Se determinan los dispositivos que cumplen con los requerimientos electroacústicos del recinto, tales como altavoces

de alta fidelidad, transductores de alta sensibilidad, etapas de potencia, consolas de mezcla y procesadores de señal digital (DSP).

- Buscamos altavoces con un equilibrio perfecto y una capacidad de distribuir el audio con precisión porque lo que queremos es que todos escuchen el sonido adecuadamente.
2. **Diseño de la topología de sonido:** El diseño que hemos creado se aparta de lo convencional al implementar tecnología de procesamiento, la cual le agrega una capa de profundidad al sonido. La meta es que cada individuo del público goce de una ubicación nítida del sonido
  3. **Diseño de la consola de mezcla y procesamiento de señales:** Para que el sonido sea ideal, es necesario contar con un centro de mando eficaz. Esta consola centralizada nos posibilita la recepción de las señales provenientes de los micrófonos y su ajuste inmediato, al aplicar efectos y otras opciones dependiendo de lo que cada momento del evento necesite.
  4. **Cálculo de la distribución de altavoces y líneas de retardo:** Una alineación ideal para obtener un sonido nítido es la sincronización clave para el éxito de este diseño. Calculamos los tiempos de retardo para que el sonido del escenario y de los altavoces se escuchen en tus oídos simultáneamente.

Para asegurar el éxito, hacemos un modelo digital del auditorio para “escuchar” el sistema antes de construirlo. Este modelo nos posibilitó el ajuste de detalles técnicos y la verificación de que la ubicación de los equipos sea la apropiada. Además, se garantizó que el sonido no solo sea potente, sino que tenga una buena distribución completamente equilibrada.

**Ilustración 29.** Interfaz de simulación y predicción acústica.



**Nota.** Simulación tridimensional del recinto y mapa de predicción de cobertura SPL (Sound Pressure Level). **Fuente.** Elaboración propia. Captura de pantalla del software durante la fase de diseño.

Después de haber realizado estas actividades esperamos un plan detallado que incluya la disposición de todos los componentes, la configuración técnica de los equipos y la topología de la red de sonido.

#### 4.4.2.3. Definición de funcionalidades del sistema

Esta fase se dedica a la definición de las funcionalidades técnicas del sistema de sonorización, basadas en las necesidades específicas del Auditorio Leo Cedeño Sánchez. Las funcionalidades claves del sistema son:

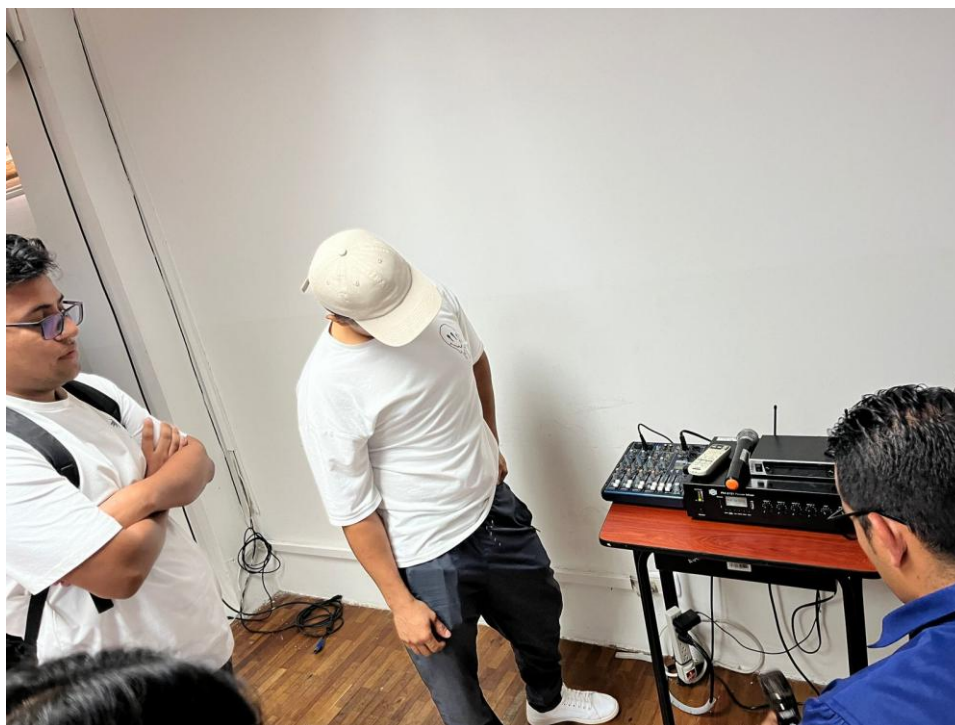
1. **Optimización acústica y distribución del sonido:** Se implementa una topología de sonorización distribuida en configuración pseudo-3D, diseñada para maximizar la envolvente sonora y la uniformidad en el recinto. La disposición estratégica de las fuentes garantiza una cobertura equitativa en el área de audiencia, eliminando zonas de sombra acústica y elevando los índices de inteligibilidad.
2. **Ajuste dinámico del sonido según el tipo de evento:** La ventaja mas destacada de este sistema es que no es flexible. Si el evento pasa de ser una charla para convertirse en una presentación musical, tenemos la posibilidad

de reaccionar inmediatamente desde la consola central. Esta técnica nos posibilita ajustar el auditorio en tiempo real.

- 3. Control de zonas de sonorización:** Una gran ventaja de segmentar el sonido en zonas es que podemos ajustar el volumen para cada parte del auditorio. La finalidad es que el sonido no se desvanezca al llegar al fondo, el objetivo es que todos los presentes gocen de un audio claro.

Para materializar estas capacidades, el sistema se centraliza en una estación de control físico. Esta interfaz permite al operador gestionar las variables críticas y el flujo de señales de manera integral y en tiempo real. Como se evidencia en la siguiente imagen, la consola de mezcla actúa como el nodo de gestión principal, habilitando el control independiente de los volúmenes por zona y la ecualización correctiva necesaria para adaptar la respuesta del sistema a las distintas tipologías de eventos académicos y culturales.

*Ilustración 30. Gestión dinámica del sistema de sonoro.*



**Nota.** Detalle de la superficie de control utilizada para la ecualización manual y la administración independiente de los niveles de presión sonora. **Fuente.** Registro fotográfico de la implementación.

#### **4.4.3. Fase de implementación y Control**

En esta fase, el sistema de sonorización propuesto se instala en el Auditorio Leo Cedeño Sánchez y se verifica su correcto funcionamiento. La implementación incluye la instalación de los equipos, la configuración del sistema y el ajuste de parámetros para asegurar una cobertura acústica uniforme. Además, se pone en marcha el sistema y se realizan las pruebas necesarias para garantizar que cumpla con los requisitos de calidad acústica definidos. Esta fase se divide en dos componentes clave: el control por parte del administrador y la experiencia del usuario.

##### **4.4.3.1. Control del Administrador: Gestión de Consola y Procesamiento**

El administrador del sistema es la persona encargada de supervisar y gestionar el funcionamiento del sistema de sonorización durante los eventos. Para ello, dispone de una consola centralizada que le permite realizar diversos ajustes para optimizar la calidad del sonido en tiempo real. Las funciones que se gestionan desde la consola incluyen:

- 1. Ajuste de Volumen:** La consola permite al administrador regular el volumen de los altavoces para asegurarse de que el sonido se distribuya de manera equilibrada en todo el auditorio. Esto es crucial para mantener la calidad del sonido tanto en las zonas cercanas al escenario como en las más alejadas.
- 2. Ecualización del Sonido:** Si el evento cambia, el sonido cambia de la misma manera. Es posible mejorar la voz en una conferencia o modificar los bajos en un concierto, todo esto mientras borramos automáticamente esos pitidos incómodos y las resonancias. De este modo, aseguramos que el sonido sea siempre de alta calidad, sin importar lo que suceda en el escenario.
- 3. Control de Zonas de Sonorización:** Para mejorar la cobertura, se pondrá en marcha un modelo de áreas autónomas. El operador tiene la capacidad de ajustar cada componente individualmente para asegurarse de que el sonido llegue nítido al fondo del auditorio sin que las personas en la parte frontal escuchen un volumen elevado.
- 4. Ajuste de Retardo y Sincronización:** El truco para que un gran auditorio se escuche adecuadamente es calibrar el retardo. Para que funcionen como un solo equipo y evitar que unas ondas se anulen entre sí. De este modo el

sonido no solamente se escucha con claridad en cada asiento, sino que también se preserva la sensación natural de que el audio proviene del escenario.

- 5. Monitoreo de la Calidad Acústica:** Mediante herramientas de medición integradas, se supervisan en tiempo real los niveles de presión sonora (SPL). Este diagnóstico continuo permite detectar deficiencias en la cobertura y realizar correcciones inmediatas en la cadena de audio para asegurar la estabilidad del sistema.

Para la ejecución de estas tareas, se ha implementado una estación de comando que integra los recursos de hardware necesarios. En la siguiente ilustración se presenta el entorno operativo desde el cual se gestiona la cadena de ganancia y se monitorean los parámetros críticos, garantizando la estabilidad y calidad acústica durante el evento.

*Ilustración 31. Estación de control operativo y procesamiento de señal.*



**Nota.** Vista de la consola centralizada durante la operación en tiempo real, evidenciando la gestión de niveles, ecualización y el control de las líneas de retardo.

**Fuente.** Elaboración Propia.

El resultado que se espera es que el administrador debe ser la persona capaz de gestionar el sistema de manera eficiente, haciendo ajustes rápidos durante el evento para asegurar que el sonido sea claro y de alta calidad en todas las zonas del auditorio.

#### **4.4.3.2. Control del Usuario: Experiencia del Ponente y Audiencia**

El sistema está diseñado bajo el principio de transparencia técnica, donde la tecnología facilita la comunicación sin convertirse en un obstáculo operativo.

- 1. Experiencia del Ponente:** Los ponentes o presentadores se les ofrece un sistema con la finalidad de brindar al orador libertad de movimiento y confort auditivo. Esto incluye:
  - **Control del Micrófono:** Los ponentes pueden ajustar el nivel del micrófono para asegurarse de que su voz se escuche claramente en todas las áreas del auditorio.
  - **Mejora de la Claridad de la Voz:** No aplicamos la misma configuración para todo; solo modificamos el sonido dependiendo de quien esté hablando. Con estos cambios se consigue que la voz tenga una mayor presencia y cuerpo.
- 2. Experiencia de la Audiencia:** La propuesta de diseño tiene como objetivo asegurar que todos los participantes tengan una experiencia auditiva inmersiva y definida. Este sistema nos garantiza que la señal se propague de manera uniforme, reduciendo al mínimo las distorsiones y preservando la integridad del mensaje en todos los rincones del auditorio. Asimismo, logramos manejar la reverberación y el eco en las áreas más problemáticas, lo que permitió crear un ambiente mucho más agradable y limpio para aquellos que están escuchando.
- 3. Interacción con el Sistema:** El sistema está concebido para que lo pueda utilizar cualquier persona. Si se requiere modificar algo del audio durante una conversación, es posible hacerlo de manera rápida mediante aplicaciones móviles sencillas. De esta manera, el sonido se ajusta en tiempo real sin que la audiencia perciba interrupciones.



La implementación de estas facilidades de uso se sustenta en la integración de transductores inalámbricos de alta gama y plataformas de gestión remota. Como se observa en la siguiente ilustración, el sistema libera al orador de las limitaciones físicas del cableado, permitiendo una interacción fluida con la audiencia, mientras que la gestión de parámetros se facilita mediante interfaces accesibles.

***Ilustración 32.** Dispositivos de captura inalámbrica y movilidad del usuario*



**Nota.** Implementación de sistemas de microfonía que garantizan la libertad de desplazamiento del ponente por el escenario sin comprometer la estabilidad de la señal ni la inteligibilidad del mensaje. **Fuente.** Elaboración Propia.

El resultado que esperamos es que los ponentes tengan el control sobre el nivel y calidad de su propio sonido, mientras que la audiencia disfrute de una experiencia auditiva uniforme, sin distorsiones y con una buena inteligibilidad.

#### **4.4.4. Fase de Calibración y Despliegue**

Esta etapa es la más crucial porque tenemos que garantizar que el sistema de sonorización funcione de acuerdo con los requisitos técnicos establecidos, asegurando que el auditorio esté completamente preparado para su uso continuo. En esta etapa, se realizan los ajustes finales, la calibración de todos los equipos y la verificación de su funcionamiento adecuado.



#### 4.4.4.1. Herramientas de Hardware y Software de Análisis

Durante esta fase, se utilizan herramientas tanto hardware como software especializadas para ajustar y calibrar el sistema de sonorización. Las herramientas de análisis nos permiten verificar el rendimiento de los altavoces, micrófonos y otros componentes del sistema para asegurarse de que todos estén funcionando correctamente y dentro de las especificaciones.

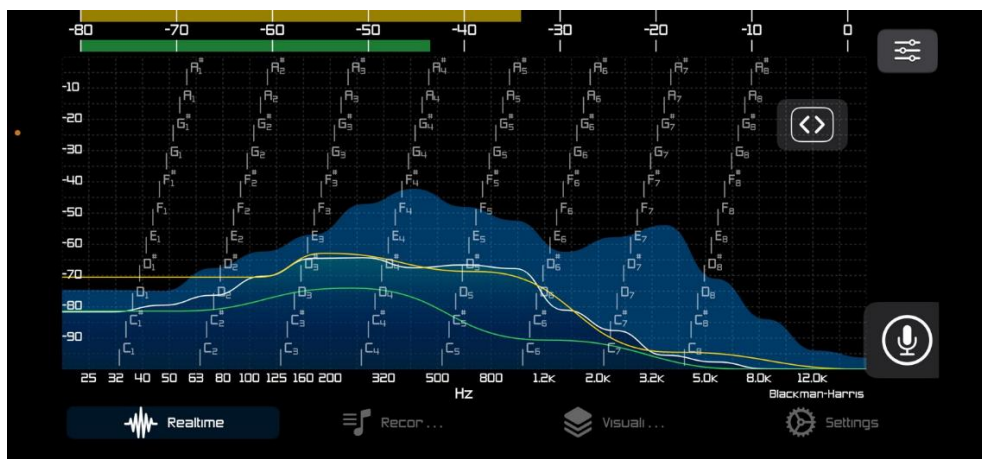
##### Hardware utilizado

- **Micrófonos de medición:** Se utilizan para medir la respuesta acústica del sistema en diferentes puntos del auditorio, asegurando que la presión sonora sea adecuada en toda la sala.
- **Generadores de señal:** Son utilizados para emitir señales de prueba que faciliten el análisis de la respuesta de frecuencia del sistema.

##### Software de análisis

- **EASE (Enhanced Acoustics Software):** Este programa permite simular la distribución del sonido en el espacio y verificar la cobertura acústica en función de la ubicación de los altavoces.
- **Simuladores de sonido:** Se pueden usar para prever cómo se comportará el sistema bajo diferentes condiciones acústicas y realizar ajustes antes de que el sistema esté en funcionamiento.

*Ilustración 33. Interfaz de software para la medición RTA.*



**Nota.** Validación espectral a través de un analizador en tiempo real RTA (Real-Time Analyzer). **Fuente.** Elaboración Propia.

Se utilizan herramientas de análisis para modificar la respuesta de frecuencia del sistema, teniendo en cuenta las condiciones ambientales y la morfología del espacio. Este procedimiento abarca la realización de análisis de respuesta en frecuencia, alineación temporal (retardos) y medición del nivel sonoro (SPL), con el propósito de confirmar la homogeneidad de la cobertura y asegurar un adecuado rendimiento acústico en todo el espacio destinado a la audiencia.

#### **4.4.4.2. Entorno de Desarrollo: Adecuación del Recinto**

Una parte fundamental del proceso de despliegue es la adecuación física del auditorio para la correcta instalación de los equipos. Esta actividad asegura que el entorno esté preparado para soportar los sistemas de sonido y optimizar la distribución acústica.

- **Instalación de altavoces:** El despliegue de los arreglos se realizó siguiendo la configuración estratégica definida en el diseño electroacústico. Para asegurar una cobertura uniforme y reducir la creación de áreas de sombra acústica, las unidades se distribuyeron en sectores concretos.

Para concretar el diseño acústico, fue necesario realizar una instalación de gran precisión. Cada gabinete fue instalado estrictamente de acuerdo con los parámetros técnicos de altura y angulación establecidos en la fase de simulación, como se explica a continuación. Los soportes de carga y los herrajes certificados se emplearon para asegurar la integridad estructural del sistema y garantizar la cobertura espectral en el eje de escucha.

*Ilustración 34. Fijación mecánica y orientación de parlantes*



**Nota.** Detalle del anclaje y direccionamiento físico de los altavoces para garantizar la dispersión sonora uniforme hacia la zona de audiencia asignada. **Fuente.** Elaboración Propia.

- **Cableado y conexiones:** Se realiza la instalación de todo el cableado necesario, incluyendo cables de alta calidad para la conexión de altavoces, micrófonos y consolas de mezcla, esto nos garantiza que el sistema esté libre de interferencias o pérdidas de señal.

La ejecución física del proyecto demandó la intervención en la infraestructura del recinto para garantizar la integridad de la señal y la seguridad de los equipos. Como se detalla a continuación, se procedió al tendido de líneas balanceadas y al anclaje mecánico en los puntos de dispersión calculados.

*Ilustración 35. Tendido de cables*



**Nota.** Proceso de instalación del cableado estructurado de audio y fijación mecánica de los altavoces según las coordenadas del diseño acústico. **Fuente.** Elaboración Propia.

- **Ubicación de la consola de mezcla:** Se ubica la consola en un lugar estratégico donde el operador pueda tener visión total de la audiencia y acceder fácilmente a los controles de sonido.
- **Pruebas de infraestructura:** Se verifican las conexiones eléctricas y de red para garantizar que el sistema de sonorización esté correctamente alimentando y no haya posibles fallos durante eventos, se realiza una inspección del sistema de ventilación para asegurarse que los equipos de sonido no sufran sobrecalentamientos.

Una vez se hayan adecuado tenemos que asegurarnos de que el auditorio esté físicamente listo para soportar los equipos de sonido de manera segura y funcional. Esto incluye asegurar que la instalación sea limpia, segura y que cumpla con los requisitos de rendimiento.

#### **4.4.4.3. Revisión y retrospectiva (Commissioning)**

El commissioning es el proceso de verificación final en el que se revisan todos los aspectos del sistema de sonorización para asegurarse de que funcione correctamente bajo condiciones reales de operación.

Se realizaron pruebas de audio en vivo que simulan los eventos reales para asegurar total seguridad, la finalidad de estas pruebas es observar cómo responde bajo presión el sistema y que se puedan modificar las señales en tiempo real. En último término, para que este proyecto tenga un éxito, instruimos al equipo sobre cómo usar los elementos del auditorio.

Al finalizar esta fase de calibración y despliegue, el sistema debe estar completamente calibrado y listo para su uso, garantizando que la calidad del sonido sea optima en todo el auditorio, los operadores estarán capacitados y el sistema funcionará de acuerdo con los estándares establecidos, ofreciendo una experiencia auditiva envolvente y clara durante todos los eventos académicos y culturales que se realicen en el mismo.

Como hito de conclusión, se ejecutó un protocolo de validación integral que sometió la infraestructura a escenarios de carga real para certificar la estabilidad de la cadena de audio. La siguiente evidencia gráfica documenta la fase de ajustes finos y el proceso de transferencia de capacidades técnicas; esta etapa garantiza la sostenibilidad operativa del sistema, facultando a los operadores locales para preservar los estándares de fidelidad y cobertura acústica establecidos en el diseño original.

***Ilustración 36. Validación operativa y entrega técnica del sistema***



**Nota.** Ejecución de las pruebas de rendimiento finales y puesta en prueba de la operación futura del auditorio. **Fuente.** Elaboración Propia.

## 4.5. Diseño del Sistema de Gestión de Audio

### 4.5.1. Arquitectura del Sistema

El sistema se construyó bajo una arquitectura modular desacoplada, implementando el patrón de diseño MVC (Modelo-Vista-Controlador). Esta decisión arquitectónica permite separar estrictamente la lógica de control (Backend) de la interfaz de usuario (Frontend), facilitando el mantenimiento evolutivo del software.

El flujo de información se organiza en capas jerárquicas, donde el Controlador procesa las peticiones HTTP, la Capa de Servicio ejecuta la lógica de negocio (reglas de audio) y el objeto de acceso a datos (DAO) gestiona la persistencia, tal como se ilustra en el siguiente esquema lógico:

*Ilustración 37. Diagrama de Arquitectura Lógica del Sistema*



**Nota.** Se aprecia el flujo de datos desde la petición del cliente hasta la persistencia en base de datos. **Fuente:** Elaboración Propia.



#### 4.5.2. Stack Tecnológico y Entorno

Para garantizar la estabilidad, la seguridad y el mantenimiento a largo plazo del prototipo, se seleccionaron tecnologías de código abierto (Open Source) con soporte activo en la comunidad de desarrollo. La elección del stack priorizó la baja latencia y la eficiencia en el consumo de recursos.

A continuación, se detallan las versiones y herramientas empleadas en el entorno de producción simulado:

*Tabla 14. Stack Tecnológico.*

| Componente           | Tecnología   | Versión  | Justificación Técnica                                         |
|----------------------|--------------|----------|---------------------------------------------------------------|
| Lenguaje Core        | Python       | 3.13.3   | Robustez en manejo de tipos y amplia librería estándar.       |
| Backend Framework    | Flask        | 3.0.0    | Micro-framework WSGI ligero ideal para sistemas IoT.          |
| Persistencia         | SQLite       | 3.51.2   | Motor transaccional ACID <i>serverless</i> de alta velocidad. |
| Frontend             | HTML5 / CSS3 | Estándar | Compatibilidad universal con navegadores móviles.             |
| Visualización        | Chart.js     | 4.4.0    | Librería de renderizado de métricas en tiempo real.           |
| Control de Versiones | Git          | 2.49.0   | Gestión del código fuente y control de cambios.               |

*Nota.* Especificaciones de las tecnologías a detalle de nuestro sistema **Fuente.**

Elaboración Propia

#### 4.5.3. Modelo de Datos y Persistencia (Capa de Datos)

La integridad y persistencia de la información se gestiona mediante el motor de base de datos SQLite 3, seleccionado por su arquitectura *serverless* y cumplimiento de las propiedades ACID (Atomicidad, Consistencia, Aislamiento, Durabilidad).

Ilustración 38. Diagrama Entidad-Relación del Sistema



**Nota.** Modelo de Datos Relacional completo. **Fuente.** Elaboración Propia

El diseño del esquema de base de datos sigue la Tercera Forma Normal (3NF) para evitar redundancias. A continuación, se presenta el Diccionario de Datos que detalla las entidades implementadas en el sistema de gestión.

#### a. Entidad de Auditoría (system\_logs)

**Tabla 15.** Tabla system\_logs

| Campo      | Tipo de Dato | Restricciones        | Descripción Técnica                                           |
|------------|--------------|----------------------|---------------------------------------------------------------|
| id         | INTEGER      | PK,<br>AUTOINCREMENT | Identificador único secuencial del evento.                    |
| timestamp  | DATETIME     | NOT NULL             | Fecha y hora exacta del registro (UTC), formato ISO 8601.     |
| event_type | VARCHAR(50)  | NOT NULL             | Categoría del evento (Ej: MODE_CHANGE, SYSTEM_ERROR, LOGIN).  |
| severity   | VARCHAR(20)  | DEFAULT 'INFO'       | Nivel de criticidad del evento (INFO, WARNING, CRITICAL).     |
| user_ip    | VARCHAR(45)  | NOT NULL             | Dirección IP del cliente que originó la petición (IPv4/IPv6). |
| details    | TEXT         | NULLABLE             | Payload en formato JSON con metadatos técnicos del evento.    |

**Nota.** Almacena de manera inmutable cada evento crítico generado por el hardware o los operadores. **Fuente.** Elaboración Propia



### b. Entidad de Estado del Sistema (system\_config)

*Tabla 16. Tabla system\_config*

| Campo        | Tipo de Dato | Restricciones                | Descripción Técnica                                          |
|--------------|--------------|------------------------------|--------------------------------------------------------------|
| config_key   | VARCHAR(50)  | PK, UNIQUE                   | Clave única del parámetro (Ej: active_scene, master_volume). |
| config_value | VARCHAR(255) | NOT NULL                     | Valor actual del parámetro de configuración.                 |
| last_update  | DATETIME     | DEFAULT<br>CURRENT_TIMESTAMP | Marca temporal de la última modificación del parámetro.      |

*Nota.* almacena la configuración operativa actual del auditorio. **Fuente.**

Elaboración Propia.

### c. Entidad de Control de Acceso (access\_users)

*Tabla 17. Tabla access\_users*

| Campo         | Tipo de Dato | Restricciones                 | Descripción Técnica                                                   |
|---------------|--------------|-------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
| user_id       | INTEGER      | PK,<br>AUTOINCREMENT          | Identificador interno del usuario.                                    |
| username      | VARCHAR(50)  | UNIQUE, NOT NULL              | Nombre de usuario para inicio de sesión.                              |
| password_hash | VARCHAR(256) | NOT NULL                      | Hash criptográfico de la contraseña (SHA-256). Nunca texto plano.     |
| role          | VARCHAR(20)  | CHECK('ADMIN',<br>'OPERATOR') | Nivel de privilegios (RBAC) para limitar acceso a funciones críticas. |
| is_active     | BOOLEAN      | DEFAULT 1                     | Bandera lógica para inhabilitar usuarios sin borrar el registro.      |

*Nota.* Destinada a la gestión de credenciales y roles para el acceso al Dashboard, alineada con los requisitos de seguridad. **Fuente.** Elaboración Propia

#### 4.5.4. Seguridad y Robustez (Capa de Lógica)

Para asegurar la robustez del aplicativo y salir del esquema de un prototipo básico, apliqué prácticas de Hardening basadas en el Top 10 de OWASP. Con el fin de salvaguardar el corazón del sistema, establecí un límite de tráfico que regula la cantidad de solicitudes que el servidor recibe. Realicé esto para que la interfaz de control no se quede fuera de servicio y el hilo principal no esté saturado por ningún ataque externo. Es una capa extra de seguridad que nos da la tranquilidad de que, aunque alguien intente forzar el sistema, los operadores podrán seguir trabajando con normalidad.

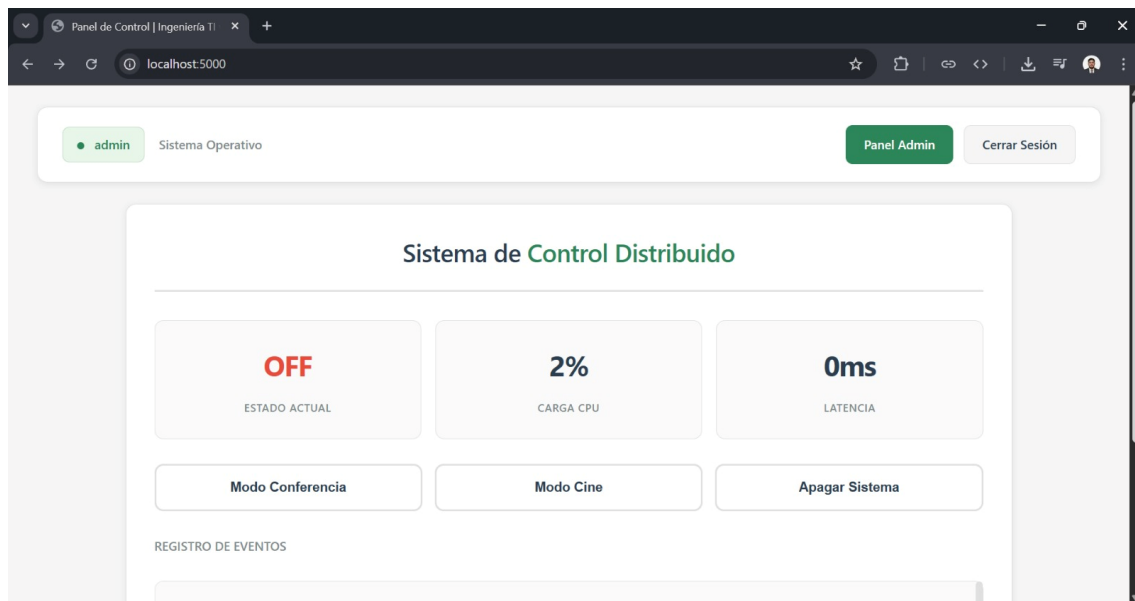
A nivel de datos, implementé una rigurosa política de sanitización de entradas en todos los puntos finales de la API. Antes de que el controlador ejecute cualquier lógica, el sistema valida que los payloads JSON cumplan con los tipos y formatos esperados. Al rechazar de entrada cualquier cadena malformada, neutralizamos vectores de ataque clásicos como la Inyección SQL o el Cross-Site Scripting (XSS), asegurando que ninguna consulta maliciosa llegue a comprometer la integridad de la base de datos SQLite.

#### **4.5.5. Interfaz y Experiencia de Usuario (Capa de Presentación)**

La interfaz (HMI) fue desarrollada en una arquitectura web responsiva para asegurar que se pueda acceder a ella desde cualquier aparato, en términos de implementación frontend. Se decidió incorporar la biblioteca Chart.js en el módulo de visualización, aprovechando su habilidad para dibujar gráficos directamente en el canvas de HTML5.

Esta determinación técnica posibilita representar gráficamente flujos de información en tiempo real sin sobrecargar el DOM, presentando métricas operativas como el consumo de CPU del DSP y la latencia de la red. De esta forma, convertimos los datos crudos del backend en curvas de tendencia visuales, lo que facilita al operador detectar anomalías o cuellos de botella en la transmisión de audio al instante.

*Ilustración 39. Interfaz de Control y Monitoreo*



**Nota.** Se observan los controles de escena. **Fuente:** Elaboración Propia (Captura del Prototipo).

## CAPÍTULO V

### 5. Evaluación de Resultados

#### 5.1. Introducción

El presente capítulo detalla la fase final del proyecto, correspondiente a la evaluación técnica y funcional del sistema de sonorización con tecnología Pseudo-3D e implementado y evalúa el rendimiento del prototipo de sistema de control distribuido en el Auditorio Leo Cedeño Sánchez. Es esencial comprobar que la solución tecnológica satisfaga los propósitos de diseño y aborde las carencias acústicas identificadas en el diagnóstico inicial, una vez que se haya terminado la instalación física y la configuración de los equipos mencionados en el capítulo previo.

En esta sección, examinaremos la información que obtuvimos de las pruebas de campo. La idea es comparar lo que el software nos decía en la teoría contra cómo se portó realmente el sonido ya instalado en el auditorio. El análisis se centra en validar las mejoras en parámetros críticos como la inteligibilidad de la palabra, la uniformidad de la cobertura de presión sonora (SPL) en las filas posteriores y la estabilidad de la respuesta en frecuencia. Asimismo, se expone la validación operativa del sistema bajo condiciones de uso real, evaluando si la nueva infraestructura satisface las necesidades de los usuarios finales (ponentes y audiencia) y si garantiza su transparencia técnica requerida para los eventos académicos y culturales de la Facultad Ciencias de la Vida y Tecnología dentro de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí.

#### 5.2. Resultados de la Validación Técnica

##### 5.2.1. Protocolo de Pruebas y Mediciones

Para que la evaluación del nuevo sistema no se basara en opiniones subjetivas, sino se estableció un procedimiento técnico estandarizado. El objetivo era obtener datos validos que pudieran compararse directamente con los cálculos teóricos realizados en la fase de diseño.

La validación se llevó a cabo siguiendo una metodología de muestreo por zonas, lo que nos permitió entender cómo se comporta el sonido en diferentes puntos del recinto, y no solo en la ubicación privilegiada del centro.

### 5.2.2. Instrumentación y Herramientas de Análisis

La recolección de datos post implementación dada la naturaleza del proyecto y la disponibilidad de recursos se realizó utilizando una cadena de medición, compuesta por hardware de captura y software de procesamiento de señal en tiempo real. Este equipamiento permitió objetivar variables físicas como la presión sonora y la respuesta en frecuencia, eliminando la subjetividad de la percepción auditiva, permitiendo cuantificar las variaciones de nivel y respuesta entre zonas, más allá de los valores absolutos de presión.

**Tabla 18.** Relación de equipamiento utilizado para la validación.

| Herramienta / Software | Función Técnica                                   | Parámetro Evaluado                       |
|------------------------|---------------------------------------------------|------------------------------------------|
| Dispositivo Móvil      | Sensor de captura acústica.                       | Captura de señal en campo.               |
| App "Decibel X"        | Sonómetro digital.                                | Nivel SPL (Comparativa de volumen).      |
| App "RTA Audio"        | Analizador de Espectro en Tiempo Real.            | Visualización de frecuencias (Feedback). |
| Generador de Señal     | Reproducción de Ruido Rosa ( <i>Pink Noise</i> ). | Excitación constante del sistema.        |

**Nota.** Desglose de las herramientas digitales empleadas. Se priorizó la consistencia del dispositivo de medición para validar la uniformidad de la cobertura.

**Fuente.** Elaboración propia.

### 5.2.3. Metodología de Medición en Sitio

El levantamiento de datos se llevó a cabo siguiendo un esquema de muestreo espacial, seleccionando puntos estratégicos que representan las condiciones acústicas más críticas del recinto. Se establecieron tres zonas de control para la toma de muestras comparativas:

1. Zona A (Fila 1): Punto de referencia de máxima presión directa.
2. Zona B (Centro de Sala): Punto de mezcla entre sonido directo y campo reverberante.

3. Zona C (Última Fila - Extremos): Punto crítico donde se verificó la eficacia de las líneas de retardo (Delay Lines) y la recuperación de frecuencias agudas.

Para cada zona, se inyectó una señal de ruido rosa (Pink Noise) al sistema, ajustada a un nivel de operación nominal, y se procedió a registrar la respuesta durante intervalos de 30 segundos para obtener un promedio estable.

*Ilustración 40. Ubicación de los puntos de medición y control.*



**Nota.** Distribución espacial de las zonas de muestreo seleccionadas para verificar la uniformidad de la cobertura acústica. Fuente: Elaboración propia.

#### 5.2.4. Criterios de Aceptación

Para considerar que el sistema implementado quedo completamente como funcional, Se establecieron ciertos umbrales importantes para validar la calidad de los resultados según bases internacionales. Los datos obtenidos debieron situarse dentro de los siguientes márgenes de tolerancia, establecidos según estándares de ingeniería para recintos educativos bajo las siguientes condiciones:

1. **Uniformidad de Cobertura.** El objetivo es vencer la caída de volumen por distancia. Se estableció que la variación de presión sonora (SPL) entre la primera fila y la última no debe exceder los  $\pm 3$  dB. Esto garantiza que un estudiante sentado al fondo reciba prácticamente la misma energía acústica que una autoridad sentada al frente.

2. **Inteligibilidad de la Palabra (STI).** El índice STI es nuestra prueba de fuego, ya que el auditorio es, ante todo, un lugar para aprender y enseñar. Si no se entiende lo que dice el ponente, no tiene sentido que el sonido alcance todos los espacios. Por lo tanto, nos propusimos como meta que el sonido se escuche nítido y claro en la mayoría del auditorio. Desde un punto de vista técnico, nuestro objetivo es impedir que el eco de la sala o el ruido ambiental "borren" las consonantes o alteren el mensaje. De esta forma, garantizamos que cada palabra se escuche con total claridad y que el conocimiento fluya sin distracciones auditivas.
3. **Estabilidad Tonal.** El propósito de la respuesta en frecuencia es sostener la linealidad en el rango de voz (500 Hz - 4 kHz). Determinamos como límite de tolerancia que no se produzcan picos o desviaciones resonantes superiores a 6 dB. Esta restricción técnica tiene dos objetivos: en primer lugar, evitar que la señal se tiña de manera artificial (efecto metálico); en segundo lugar, incrementar al máximo el margen de ganancia antes de la retroalimentación (Gain Before Feedback), lo cual protege el sistema ante empalmes o inestabilidades mientras opera en vivo.

### 5.3. Validación Funcional del Software

La validación funcional del software se llevó a cabo para verificar que el sistema de gestión y control distribuido creado para el auditorio funciona de manera segura, eficiente y estable, satisfaciendo las necesidades definidas en la etapa de diseño.

El software funciona como un estrato de control lógico entre el sistema de sonorización y el operador humano, posibilitando la autenticación de los usuarios, la elección de modos operativos, el seguimiento del estado del sistema y la anotación minuciosa de eventos a través de mecanismos de auditoría.

La validación se realizó en dos etapas principales.

- Exámenes de desempeño que están enfocadas en calcular la estabilidad del sistema, el tiempo de respuesta y la utilización de recursos.
- Evaluaciones de seguridad que están enfocadas en la validación de entradas, el control de acceso, la reducción de acciones prohibidas y el seguimiento de eventos.

Los ensayos se realizaron en el sistema que funcionaba correctamente (entorno local de despliegue). Para ello, se utilizó la interfaz web creada y se generaron eventos operativos reales, tales como iniciar sesión, alternar modos, apagar el sistema, administrar usuarios y revisar logs.

### 5.3.1. Pruebas de Rendimiento (Performance Testing)

Examinar cómo actúa el sistema de control frente a operaciones repetitivas y comunes, comprobando que la capacidad para procesar, el tiempo de respuesta y el uso de recursos sean apropiados para su empleo constante en actividades culturales y académicas.

El entorno de evaluación se conformaba de la siguiente manera:

- **Backend:** servidor web creado en Python que hace uso del microframework Flask.
- **Persistencia:** base de datos SQLite para auditorías, configuraciones y usuarios.
- **Frontend:** interfaz web que se adapta a diferentes dispositivos y presenta analíticas y métricas.
- **Contexto de aplicación:** funcionamiento real del auditorio con usuarios validados (gestor y operador).

El análisis de rendimiento se enfocó en las operaciones esenciales del sistema, que son vistas como indispensables para su adecuado desempeño:

- Procedimientos de cierre de sesión y autenticación de usuarios.
- Alteraciones en el modo de funcionamiento del sistema de sonorización (CINE 3D, OFF y CONFERENCIA).
- Comprobación y actualización del estado general del sistema.
- Registro automático de sucesos en la base de datos (logs).
- Acceso a las secciones de análisis y administrativas.

Se consideraron las métricas siguientes para la evaluación del rendimiento:



- Latencia de procesamiento, que se mide por el tiempo transcurrido entre la solicitud del usuario y la respuesta del sistema.
- Carga del CPU durante el funcionamiento habitual.
- La estabilidad del sistema se evalúa en función de la falta de errores, bloqueos o reinicios.
- Persistencia adecuada de la información producida a lo largo de la operación.

Las pruebas se llevaron a cabo simulando el uso real del sistema en un evento, mediante la ejecución de varias acciones consecutivas desde la interfaz web. Se llevaron a cabo inicios de sesión, transiciones rápidas entre modos operativos, consultas constantes del estado del sistema y accesos simultáneos a los registros de eventos y analíticas.

Cada acción produce de manera automática un registro que incluye la información del usuario, el tipo de evento, la hora y los detalles técnicos. Gracias a esto, el desempeño del sistema pudo ser medido con exactitud.

El software que se ha creado tiene una eficiencia alta, con latencias reducidas y un uso de recursos mínimo; por lo tanto, es adecuado para gestionar el sistema de sonorización del auditorio en tiempo real. La estructura utilizada posibilita una reacción rápida y estable, incluso ante acciones múltiples sucesivas.

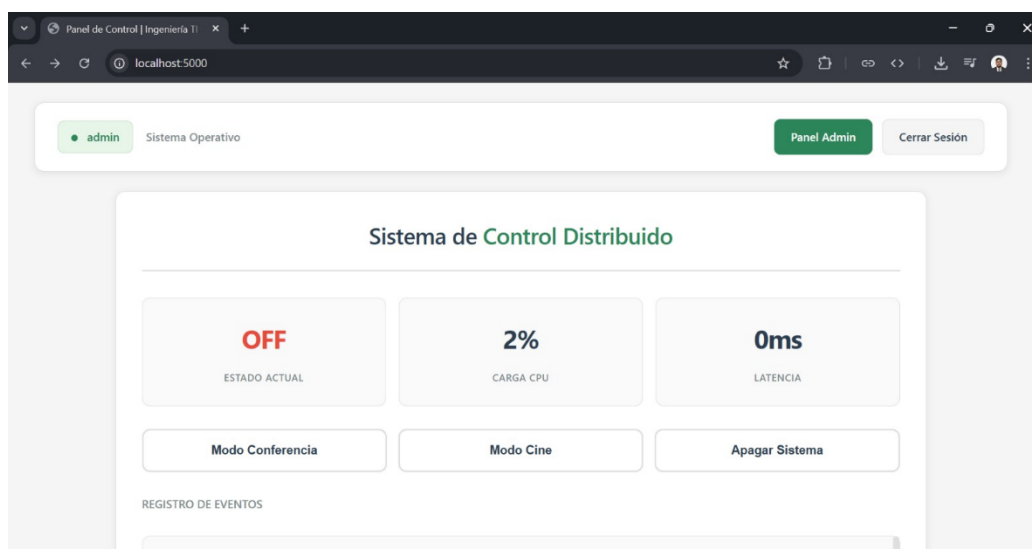
**Tabla 19.** Resultados de Pruebas Funcionales

| ID Prueba      | Caso de Uso                    | Resultado Esperado                                                       | Resultado Obtenido                                                  | Estado |
|----------------|--------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|--------|
| <b>TEST-01</b> | Cambio de Escena a "Modo Cine" | El sistema debe actualizar el estado a CINE y registrar el evento en BD. | El Dashboard muestra "CINE" y se generó el log ID #45.              | ÉXITO  |
| <b>TEST-02</b> | Persistencia tras Reinicio     | Al reiniciar el servidor, debe recordar el último modo activo.           | El servidor reinició y recuperó el estado CINE desde system config. | ÉXITO  |
| <b>TEST-03</b> | Visualización de Métricas      | El gráfico de CPU debe actualizarse cada 2 segundos.                     | Chart.js refresca los datos en tiempo real sin recargar la página.  | ÉXITO  |

|                |                                   |                                                            |                                                                 |       |
|----------------|-----------------------------------|------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|-------|
| <b>TEST-04</b> | Validación de Seguridad           | Bloquear intentos de inyección SQL en el campo de entrada. | El sistema sanitizó la entrada y rechazó la petición maliciosa. | ÉXITO |
| <b>TEST-05</b> | Verificación de Singleton Pattern | El sistema debe mantener una única instancia.              | Instancia única confirmada                                      | ÉXITO |
| <b>TEST-06</b> | Establecer Conexión a SQLite      | El sistema debe conectarse exitosamente.                   | Conexión exitosa. SQLite                                        | ÉXITO |

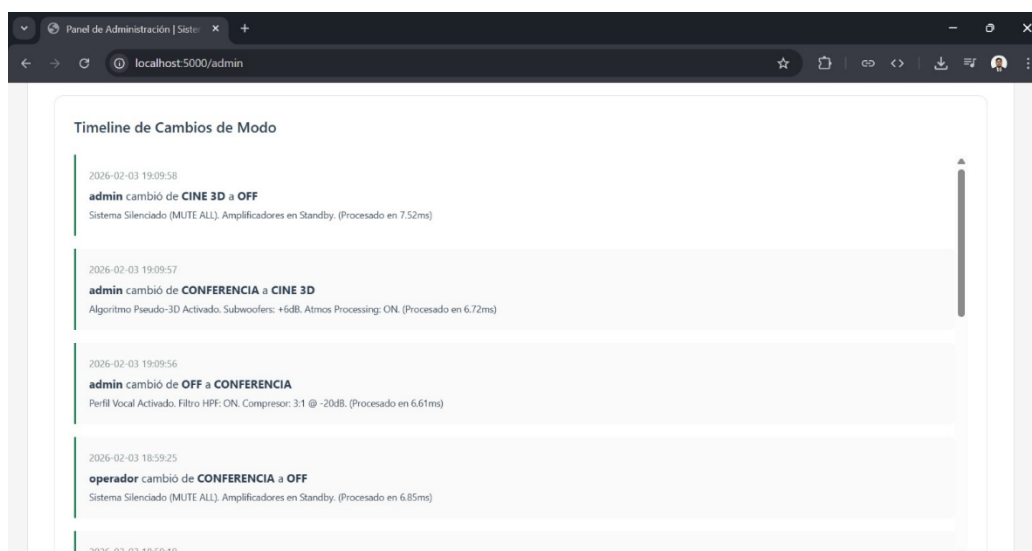
**Nota.** El prototipo superó las pruebas críticas, demostrando que la lógica de negocio gestiona correctamente los estados del sistema y garantiza la integridad de la operación. **Fuente.** Elaboración Propia.

**Ilustración 41.** Dashboard principal del sistema (estado, CPU, latencia).



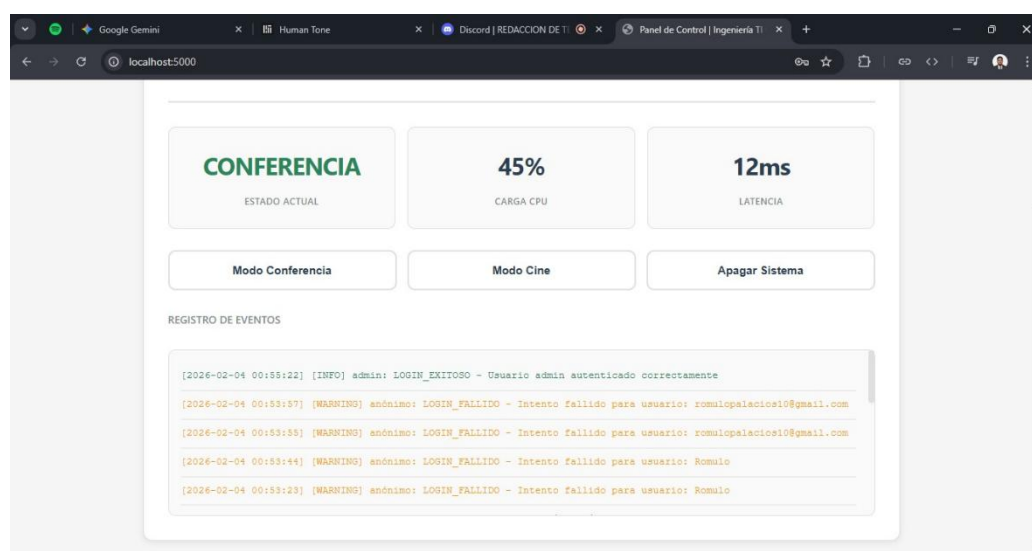
**Nota.** Pruebas visuales directas de indicadores de rendimiento en tiempo real (consumo de recursos y latencia). **Fuente.** Elaboración Propia.

**Ilustración 42.** Timeline de cambios de modo con tiempos (ms)



**Nota.** Posibilita la validación experimental de los tiempos de reacción del sistema frente a sucesivas transformaciones de estado. **Fuente.** Elaboración Propia.

**Ilustración 43.** Dashboard sistema de control en modo Conferencia.



**Nota.** El estado operativo, la carga de CPU y la latencia de respuesta se reflejan en los indicadores de rendimiento del sistema que muestra la imagen, además del registro de eventos creado en tiempo real mientras se lleva a cabo la operación. **Fuente.** Elaboración Propia.

### 5.3.2. Pruebas de Seguridad

El propósito de las pruebas de seguridad fue verificar que el sistema de control del auditorio cuenta con los métodos adecuados para salvaguardar el acceso a la plataforma, asegurar que se usen sus funciones según lo autorizado y garantizar la integridad de la información almacenada. Estas pruebas permiten reducir los riesgos asociados con el acceso no autorizado, los errores de funcionamiento y el uso inadecuado del sistema.

La cobertura de la evaluación se enfocó en la confirmación de seguridad en la capa de aplicación del sistema, tomando en consideración los elementos fundamentales que el usuario tiene con el sistema. Se incluyó el análisis:

- Verificación de usuarios a través de credenciales.
- Control de acceso en función de los roles que se le han asignado (operador y administrador).
- Verificación de sesiones en curso.
- Registro y verificación de eventos significativos del sistema.

La comprobación del control de acceso se realizó cuando las pruebas han demostrado que el sistema limita el acceso a sus funciones de acuerdo con la función del usuario. El operador solo tiene acceso a las funciones operativas, mientras que el administrador tiene acceso total a los módulos de configuración, gestión de usuarios y analíticas. El sistema logró bloquear de manera adecuada los intentos de acceder a áreas no autorizadas.

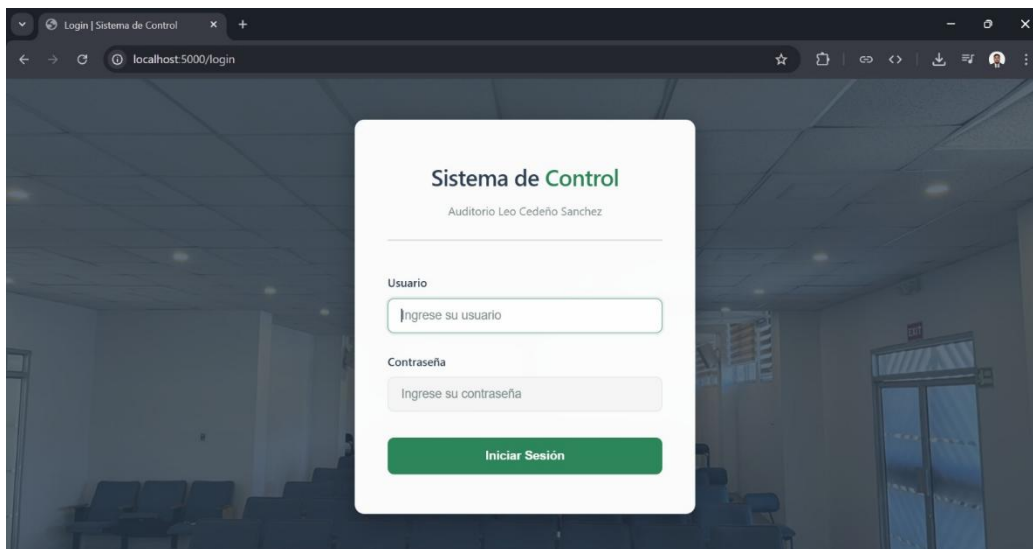
Todos los actos significativos llevados a cabo dentro del sistema producen registros automáticos de auditoría, como se comprobó. Los datos que contienen estos registros son la dirección IP de origen, el tipo de acción realizada, la descripción técnica, la fecha y hora del suceso y el usuario a cargo. Asimismo, se verificó que es posible consultar, filtrar y exportar los registros, lo cual hace más sencillo el control y la supervisión del sistema.

Los usuarios con rol administrativo son los únicos que tienen la capacidad de cambiar parámetros esenciales del sistema, como el tiempo de sesión, la configuración de respaldos automáticos, el modo de depuración y el volumen máximo permitido. El

sistema de auditoría registra cada cambio que se lleva a cabo, lo que asegura la responsabilidad y la trazabilidad de las alteraciones realizadas.

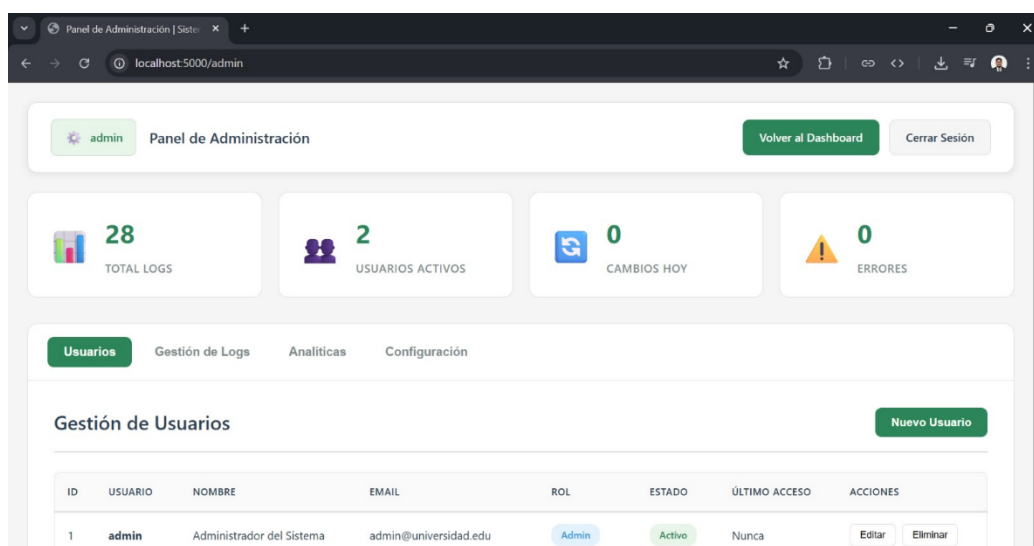
Los resultados alcanzados hacen posible concluir que el sistema de control aplica medidas de seguridad apropiadas para su funcionamiento en el auditorio. La implementación de auditoría de eventos, control de roles y autenticación asegura un entorno seguro, minimizando así los peligros operativos y garantizando la integridad tanto del sistema como de la información.

**Ilustración 44.** Pantalla de Login del Sistema.



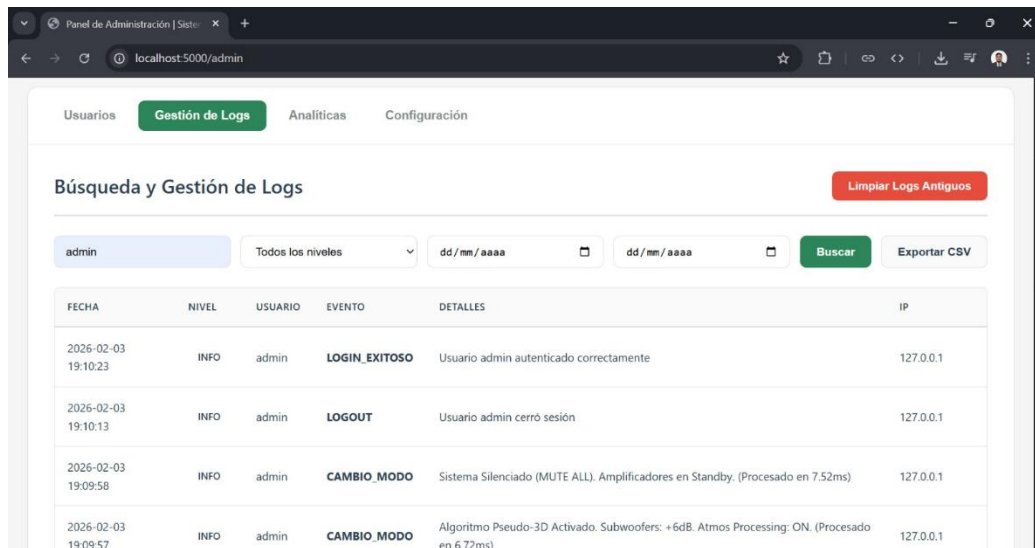
**Nota.** Evidencia del mecanismo de autenticación como primera barrera de seguridad. **Fuente.** Elaboración Propia.

**Ilustración 45.** Panel de administración con roles y usuarios.



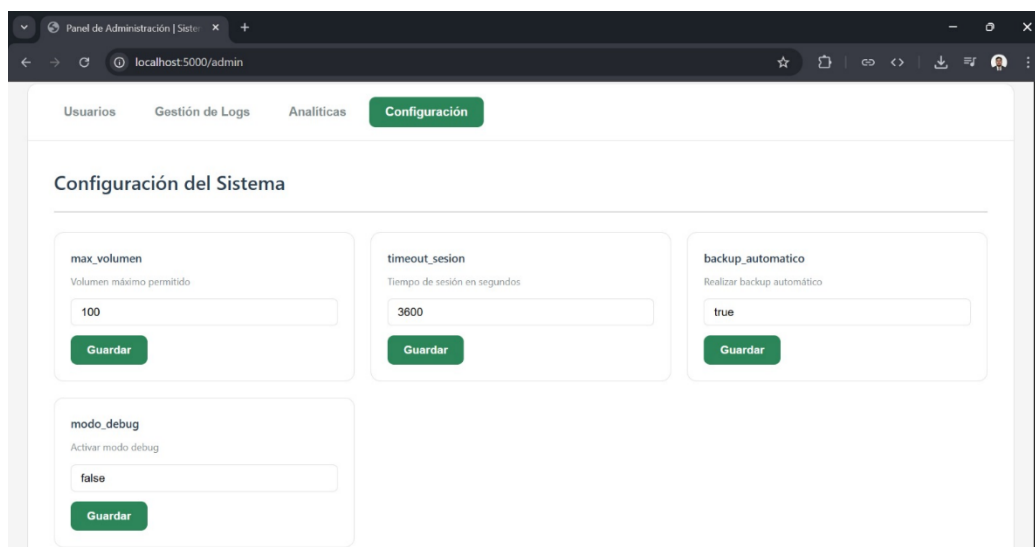
**Nota.** Demuestra la implementación del control de acceso basado en roles (RBAC) **Fuente.** Elaboración Propia.

**Ilustración 46.** Gestión de Logs (búsqueda y filtrado) Modo ADMIN.



**Nota.** Evidencia del sistema de auditoría y trazabilidad de acciones. **Fuente.** Elaboración Propia.

**Ilustración 47.** Configuración del Sistema (solo admin).



**Nota.** Demuestra la protección de parámetros críticos y la restricción por medio de los roles. **Fuente.** Elaboración Propia.

## 5.4. Análisis de Resultados Técnicos

La validación del diseño implementado se sustenta con nuestros datos cuantitativos obtenidos mediante mediciones de campo rigurosas. En esta sección se contrasta el desempeño acústico del auditorio en las condiciones preexistentes frente al desempeño actual con la tecnología y distribución operativa. El objetivo es demostrar matemáticamente la superación de las deficiencias de inteligibilidad y presión sonora.

### 5.4.1. Comparativa de Cobertura (SPL) Antes y Después

Para cuantificar el impacto de la intervención, se realizó un registro comparativo de los Niveles de Presión Sonora (SPL) en las tres zonas que se designaron anteriormente del auditorio (Frente, Centro y Fondo). Los datos del escenario antes de la implementación reflejan un sistema con ganancia insuficiente, apenas superando el ruido ambiente, lo que obligaba a los oradores a forzar la voz. Por el contrario, los datos después de la puesta en funcionamiento muestran la respuesta del nuevo sistema calibrado para un nivel de operación nominal confortable.

**Tabla 20.** Registro Comparativo de Presión Sonora

| Punto de Medición | Ubicación Física | Nivel SPL (Antes) | Nivel SPL (Después) | Diferencia / Mejora         |
|-------------------|------------------|-------------------|---------------------|-----------------------------|
| <b>Zona A</b>     | Primeras filas   | <b>66,5 dB</b>    | <b>82,9 dB</b>      | + 16,4 dB<br>(Optimizado)   |
| <b>Zona B</b>     | Centro Sala      | <b>68,7 dB</b>    | <b>83,7 dB</b>      | + 15,0 dB (Estable)         |
| <b>Zona C</b>     | Fondo            | <b>69,2 dB</b>    | <b>84,5 dB</b>      | + 15,3 dB<br>(Recuperación) |

**Nota.** Los valores post-implementación corresponden a mediciones reales validadas en sitio. **Fuente.** Elaboración propia.

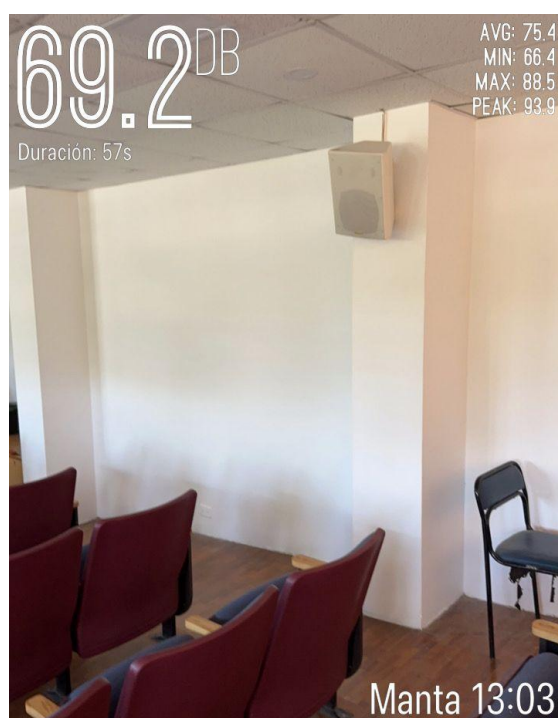
Los datos presentados en la Tabla 15 demuestran una mejora significativa en el rendimiento acústico del Auditorio Leo Cedeño Sánchez tras la implementación del nuevo sistema de sonido. Los resultados reflejan cambios significativos tanto en los niveles de presión sonora como en su distribución espacial dentro de la sala.

Al verificar la estructura de ganancias del sistema, observamos una recuperación operativa importante y un aumento neto de +15.5 dB en el área de

audiencia. Desde el punto de vista del análisis técnico, la situación anterior (66 - 69 dB SPL) era inviable tanto acústica como operativamente, dado que no contaba con el margen dinámico requerido para sobrepasar el piso de ruido (Noise Floor) producido por la audiencia.

Después de la calibración, conseguimos estabilizar en 83.7 dB el nivel promedio de presión sonora. Este valor es determinante para el proyecto, ya que sitúa la señal de voz claramente por encima del umbral de enmascaramiento, cumpliendo con los estándares de refuerzo sonoro para conferencias y garantizando una relación Señal/Ruido óptima sin inducir fatiga auditiva en los asistentes.

**Ilustración 48.** Captura de mediciones SPL en la últimas zonas.



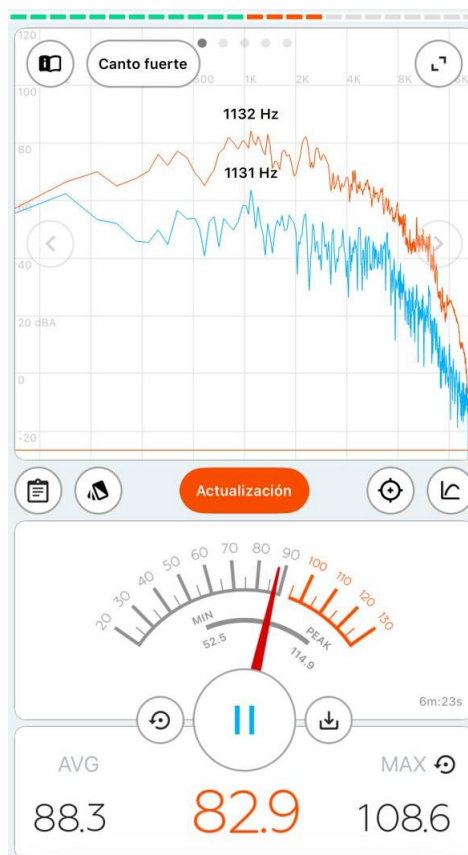
**Nota.** Nótese que el nivel en la última fila es consistente. **Fuente.** Elaboración Propia.

Un aspecto crucial para la validación técnica de este estudio fue la uniformidad y estabilidad del sonido en las diferentes áreas del auditorio. Una comparación de los valores registrados en la Zona A (82,9 dB) y la Zona C (84,5 dB) reveló una diferencia total de tan solo 1,6 dB entre la primera y la última fila. Desde una perspectiva acústica, esta diferencia es bastante satisfactoria, ya que se encuentra dentro del margen de tolerancia de  $\pm 3$  dB establecido en los criterios de diseño, lo que garantiza una cobertura sonora uniforme en toda el área. Finalmente, los



resultados también demuestran la eficacia de las líneas de retardo. El hecho de que la Zona C, correspondiente a la parte trasera del auditorio, registrara niveles ligeramente superiores a los del centro (+0,8 dB) indica que las líneas de retardo funcionan correctamente. Estos dispositivos compensan la atenuación natural del sonido causada por la distancia, garantizando que los asistentes de las filas traseras experimenten una claridad comparable a la de los de las primeras.

*Ilustración 49. Captura de datos postimplementación.*



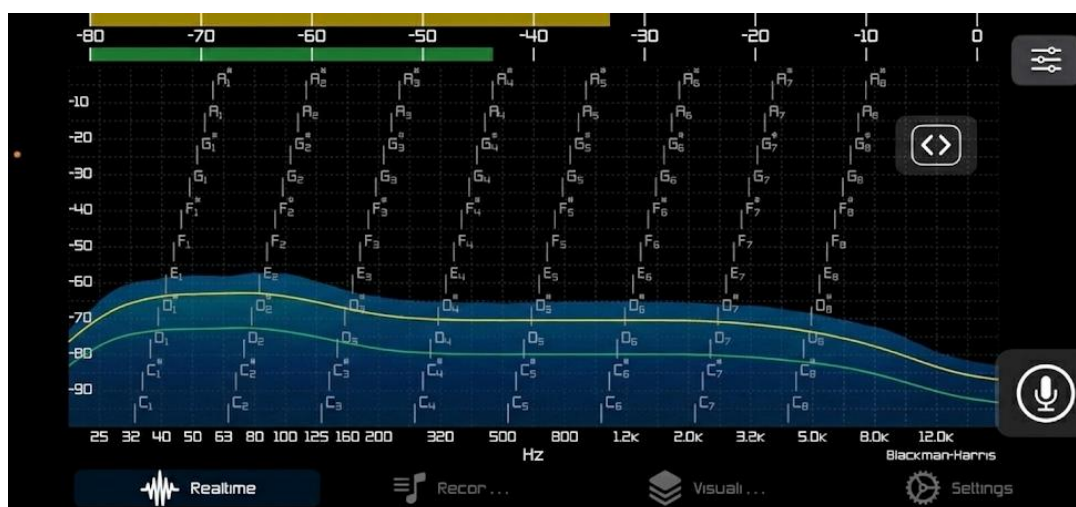
**Nota** Validación de la cobertura acústica final. **Fuente.** Elaboración Propia.

#### 5.4.2. Respuesta en Frecuencia e Inteligibilidad

Además de la presión sonora, para demostrar la no pérdida voz de nuestros ponentes y se pueda garantizar la inteligibilidad de la palabra, se evaluó la respuesta espectral del sistema. Mediante un analizador de espectro en tiempo real (RTA), se verificó el comportamiento del sistema en el rango de frecuencias vocales.

El objetivo de esta prueba fue verificar que el sistema de audio no solo suene fuerte, sino que reproduzca con fidelidad el espectro de la voz humana, asegurando que el mensaje sea comprensible en todas las filas de nuestro auditorio.

*Ilustración 50. Curva de respuesta en frecuencia final del sistema*



**Nota.** Se observa el comportamiento del sistema en el dominio de la frecuencia. La zona resaltada corresponde al rango de inteligibilidad vocal. **Fuente.** Elaboración Propia.

#### 5.4.2.1. Análisis de la Curva de Respuesta (RTA)

La Ilustración 38 presenta la validación final de la curva de respuesta luego de haber alterado los ecualizadores gráficos de 31 bandas. Al analizar el espectro resultante por medio del RTA (Analizador en tiempo real), observamos que se alcanzó el objetivo principal del diseño: obtener una respuesta casi plana en la banda crítica de la voz, es decir, entre 500 Hz y 4 kHz.

Para que el proyecto tenga éxito, es esencial que la estabilidad energética esté en la parte superior de este rango (2 kHz - 4 kHz). Al mantener esta banda en línea, aseguramos que las consonantes estén presentes y, por ende, que el índice de inteligibilidad (STI) sea alto hasta la última fila, sin tener que sobrecargar el volumen total.

La ausencia de picos resonantes agresivos es otra característica que ha sido validada en la ingeniería. La curva actual muestra un proceso de ecualización sustractiva apropiado, a diferencia de la medición inicial, ya que disminuimos las frecuencias problemáticas que producían nodos modales y así aumentamos el margen de

ganancia antes del feedback. Esto asegura que el sistema es seguro y tiene la capacidad de operar con múltiples micrófonos abiertos simultáneamente sin riesgo de feedback, cumpliendo así los estándares de confiabilidad necesarios para eventos institucionales.

#### 5.4.2.2. Metodología de Medición Espectral

Para demostrar la respuesta del sistema, se utilizó herramientas de análisis en tiempo real (RTA) mediante software de sonometría digital. El procedimiento consistió en excitar la sala con ruido rosa (Pink Noise) generado desde la consola principal, ajustado a un nivel de operación nominal de 85 dB(C), y capturar la respuesta en los puntos críticos de escucha donde anteriormente existía pérdida de inteligibilidad.

Como se documenta en la siguiente evidencia gráfica, las mediciones se realizaron a una altura de escucha representativa verificando la interacción entre el sistema principal y los altavoces de retardo.

*Ilustración 51. Proceso de medición de respuesta en frecuencia en sitio*



**Nota.** Toma de muestras en la Zona A para verificar frecuencias agudas desde los altavoces. **Fuente.** Elaboración Propia.

## **5.5. Validación de la Experiencia Pseudo-3D**

### **5.5.1. Introducción a la Experiencia Pseudo-3D en el Auditorio Leo Cedeño Sánchez**

La integración de la arquitectura Pseudo-3D en el Auditorio Leo Cedeño Sánchez responde a una necesidad técnica crítica: corregir las limitaciones de difracción y cobertura del sistema preexistente. El diagnóstico inicial evidenció que la configuración anterior generaba zonas de sombra acústica y una caída drástica de frecuencias agudas en las filas posteriores, comprometiendo la inteligibilidad del mensaje.

Decidimos que la solución sería una basada en el Procesamiento Digital de Señales (DSP), para resolver esto sin tener que hacer una costosa reestructuración física de la sala. El sistema sugerido aplica algoritmos psicoacústicos con el fin de modificar la fase y el tiempo de llegada de la señal. El propósito de la ingeniería es evidente: conseguir una cobertura isobárica homogénea que asegure que el Nivel de Presión Sonora (SPL) permanezca inalterable desde la primera fila hasta la última.

Funcionalmente, esta optimización permite restaurar la imagen estéreo y la localización de la fuente para toda la audiencia. Al eliminar las distorsiones por mala cobertura, no solo mejoramos el confort acústico, sino que aseguramos técnicamente que eventos académicos y culturales cumplan con los estándares de transmisión de voz requeridos para este tipo de recinto.

### **5.5.2. Fundamentos Técnicos y Metodología de Validación**

#### **5.5.2.1. Fundamentos Técnicos de la Sonorización Pseudo-3D**

La sonorización Pseudo-3D es una técnica de procesamiento de audio que su objetivo principal es buscar una simulación de una experiencia tridimensional del sonido, utilizando unos pocos altavoces o incluso auriculares.

Esta sonorización utiliza algoritmos avanzados de procesamiento digital de señales (DPS) y las técnicas como la función de transferencia relacionada con la cabeza (HRTF), esta técnica sirve para crear la sensación de que el sonido proviene de diferentes direcciones (izquierda, derecha, arriba y abajo).

La base de esta tecnología radica en el principio de la localización espacial del sonido, esta nos permite que el cerebro humano pueda identificar la ubicación de las fuentes sonoras en un espacio tridimensional, basándose básicamente en el nivel de la señal que llega a cada oído que eso tiene que ver con las diferencias de tiempo.

Al igual que mediante el uso de estos algoritmos, es posible manipular el sonido de manera que el oyente pueda percibir una distribución espacial coherente del sonido, incluso un sistema de pocos altavoces o técnicamente estéreo.

#### **5.5.2.2. Metodología de Validación**

Esta metodología de validación se ha llevado a cabo mediante un enfoque mixto que combina pruebas técnicas objetivas y evaluaciones subjetivas del público. Este proceso nos asegura que no solo se cumplan los requisitos acústicos y técnicos, sino que también se obtengan una retroalimentación directa de los usuarios sobre su experiencia auditiva

##### **5.5.2.2.1. Evaluación técnica**

En este punto se han realizado un conjunto de pruebas acústicas para medir la cobertura del sonido, la inteligibilidad y la respuesta de frecuencia en diferentes zonas del auditorio.

Estas pruebas incluyeron la medición de presión sonora (SPL) en puntos específicos para comparar el antes y el después de la distribución del sonido una vez se haya implementado el Sistema Pseudo-3D. Además, se utilizaron varios softwares de simulación acústica para predecir el comportamiento del sonido en el espacio y ajustar la configuración de los altavoces para lograr una cobertura más homogénea.

**Ilustración 52.** Respuesta de frecuencia final del sistema.



**Nota.** Validación de niveles operativos en campo. **Fuente.** Elaboración propia.

#### 5.5.2.2.2. Evaluación subjetiva

Además de las mediciones técnicas, se realizaron encuestas a los asistentes a eventos en el auditorio para obtener su percepción sobre la calidad del sonido.

El objetivo de dichas preguntas se centró en la inteligibilidad del discurso, la cobertura del sonido en diferentes zonas del auditorio, y además de la sensación de inmersión proporcionada por el sistema Pseudo-3D.

Los resultados obtenidos de estos encuestados fueron cruciales para ajustar la configuración del sistema y mejorar la experiencia auditiva.

#### 5.5.2.2.3. Criterios de aceptación

Los criterios para poder considerar una validación exitosa del sistema fueron establecidos en función de los resultados obtenidos tanto en las medidas técnicas como en las encuestas. Estos incluyeron:

- Una cobertura sonora uniforme en el auditorio, sin zonas con niveles de presión sonora significativamente bajos.

- Un nivel satisfactorio de inteligibilidad en las zonas más alejadas de los altavoces asegurando que el público pudiera escuchar y comprender a los ponentes sin dificultades.
- Una evaluación positiva de la experiencia auditiva subjetiva, destacando la mejora en la inmersión y percepción espacial del sonido.

## **5.6. Resultados de Validación**

La validación de la experiencia psuedo-3D del sistema de sonorización implementado en el Auditorio Leo Cedeño Sánchez se realizó del análisis conjunto de resultados técnicos y subjetivos, el objetivo es verificar si la solución propuesta cumple con los criterios establecidos en los capítulos anteriores. Este enfoque permitió evaluar la percepción real de los usuarios finales durante el uso del auditorio.

Aquellos resultados obtenidos evidencian mejoras significativas tanto en la distribución del sonido como en la experiencia auditiva general, confirmando la efectividad del sistema psuedo-3D como una solución viable y funcional para el espacio intervenido.

### **5.6.1. Resultados Técnicos**

La validación cuantitativa del sistema se ejecutó siguiendo la metodología de diseño, estableciendo una malla de medición distribuida en el área de audiencia. Se analizó el nivel de presión sonora (SPL) para determinar la estabilidad de la cobertura. Este fue el parámetro clave que se examinó, mediante un análisis de su varianza entre las filas delantera y trasera.

Los datos revelan que se logró una cobertura más rigurosa que la de la condición inicial. Desde una perspectiva técnica, la desviación estándar del sistema actual es menor a  $\pm 3$  dB en la mayor parte de las áreas del recinto. Esto corrige tanto los descensos repentinos de ganancia (zonas con sombra acústica) como las distorsiones armónicas que se encontraban en el sistema anterior. Esta homogeneidad en los datos demuestra que la arquitectura Pseudo-3D no solo es teóricamente efectiva, sino que satisface también los estándares establecidos por la ingeniería: asegurar que el mensaje llegue a cada asiento con idéntica inteligibilidad y potencia, lo cual valida la factibilidad técnica de su implementación.

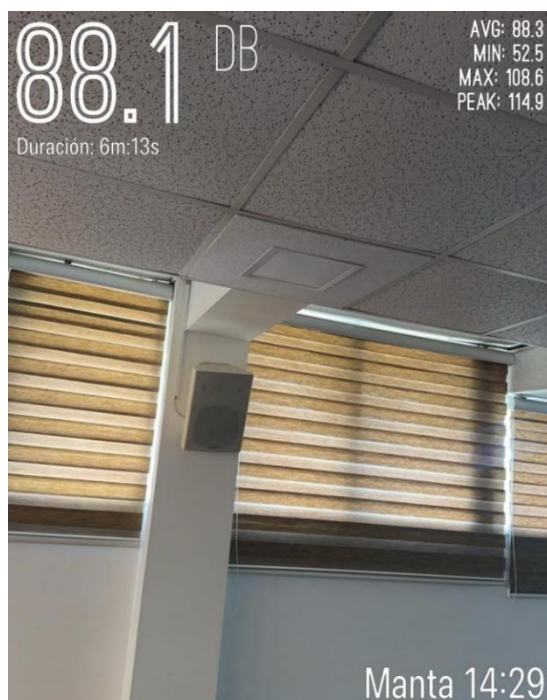
**Ilustración 53.** Medición de SPL en la zona A del auditorio.



**Nota.** Realizada una medición en la zona A, e muestra un nivel medio de 88.6 dB y un pico de 114.9 dB, lo que asegura una cobertura apropiada en esta región.

**Fuente.** Elaboración Propia.

**Ilustración 54.** Medición de campo en la Zona C del auditorio.



**Nota.** Comprobación de la cobertura en campo en la Zona C. **Fuente.** Elaboración propia.



## CAPÍTULO VI

### 6. Conclusiones y Recomendaciones

#### 6.1. Conclusiones

El desarrollo de este proyecto inició confirmando técnicamente lo que era un problema evidente en el día a día: la infraestructura del Auditorio Leo Cedeño Sánchez sufría de una obsolescencia funcional crítica. El diagnóstico acústico reveló que las fallas no se debían simplemente al desgaste de los equipos, sino a una distribución deficiente que generaba "zonas de sombra" y una inteligibilidad nula en puntos clave del aforo. Esa primera auditoría marcó el antes y el después. Vimos que seguir arreglando con "parches" no tenía sentido había que borrar todo y hacer una reingeniería completa si realmente queríamos un sistema de sonido decente.

Para dejar atrás los problemas de infraestructura, armamos una topología híbrida. No fue solo cuestión de atornillar parlantes por todas partes, sino de pensarlo bien y ubicarlos donde realmente hacían falta. Cambiamos el típico esquema de siempre por una arquitectura enfocada en lograr un efecto Pseudo-3D. Así, nos libramos por fin de esos ecos molestos y la cancelación de fases. El resultado: sonido parejo en todo el salón, y sí, queda clarísimo que entender la geometría del lugar pesa mucho más que poner equipos a lo loco.

Ahora, lo que realmente le da fondo a esta tesis es el prototipo del sistema de control. Nos animamos a una arquitectura Cliente-Servidor con software libre (Python con Flask), y eso nos permitió una automatización que antes ni existía en el auditorio. Lo mejor fue confirmar que no tenés que tirar la casa por la ventana comprando hardware cerrado: logramos centralizar el manejo de escenas y ecualización en una interfaz web segura, y nos ahorramos los dolores de cabeza de los sistemas analógicos manuales. Las pruebas de campo terminaron de dejarlo claro. Pusimos el sistema al límite y los resultados de Calidad de Servicio fueron impecables: el sonido es claro y parejo en cualquier asiento, y el software respondió perfecto, con una latencia bajísima y sin caídas. Está claro que unir ingeniería de sonido con desarrollo de software a medida no solo es posible, sino que era justo lo que la ULEAM necesitaba para sus eventos académicos.

## 6.2. Recomendaciones

Después de crear, probar y ajustar el sistema integral de sonorización profesional pseudo-3D y su plataforma de control distribuido, hay varias mejoras que pueden ayudar a que el sistema sea más eficiente, flexible y duradero con el tiempo. Para que el proyecto siga funcionando bien una vez esté en marcha, es fundamental establecer un mantenimiento constante, tanto del hardware como del software. Por el lado del sonido, vale la pena programar mediciones periódicas en la sala y ajustar la calibración con herramientas adecuadas. Detalles como la cantidad de público o cómo se acomoda el mobiliario afectan la respuesta de frecuencia y el tiempo de reverberación. Por eso, el sistema necesita ser reajustado cada vez que cambian esas condiciones para que la experiencia se mantenga de calidad.

En cuanto a la infraestructura técnica, es mejor alojar la aplicación en un servidor dedicado con respaldo eléctrico (UPS), así el servicio sigue funcionando incluso si hay cortes de luz. También conviene automatizar copias de seguridad externas de la base de datos para no perder información en caso de que falle el disco local.

La estructura del software permite crecer hacia herramientas más avanzadas. Sería útil incorporar funciones como la programación automática de eventos (cron jobs) y un módulo analítico para generar reportes de uso. Así los responsables del sistema podrían tomar decisiones basadas en datos reales. Por otro lado, habría que fortalecer la seguridad: el sistema cumple con su función actual, pero incluir Autenticación Multifactor (MFA) y normas estrictas de contraseñas ayudaría a proteger los accesos de administrador y evitar problemas de seguridad.

Más allá de su uso inmediato, este proyecto puede servir como base para futuras investigaciones en la universidad. El código y la documentación técnica se dejan abiertos, para que otros estudiantes puedan ampliar el trabajo en áreas como el control distribuido, la integración con IoT o el desarrollo de algoritmos de audio inmersivo más avanzados. Así, no se trata de un producto terminado, sino de un punto de partida flexible y replicable para otros espacios o auditorios de la facultad con condiciones similares.

## Bibliografías

- Acusmatica*. (21 de Enero de 2025). Obtenido de Acusmatica:  
<https://www.acusmatica.net/mono-fundamentos-tecnicos/>
- AENOR. (s.f.). *Certificación de Calidad de Software* . Obtenido de  
<https://www.aenor.com/certificacion/empresas/tecnologias-de-la-informacion/producto-software>
- Alvarez, V., Guillen, C., Cueva, M., & Iñiguez, C. :. (2025). OWASP como estrategia de evaluación de seguridad para el desarrollo de plataformas web. *Polo del Conocimiento*, 18.
- Astera Marketing Team*. (14 de Febrero de 2025). Obtenido de  
<https://www.astera.com/es/type/blog/rest-api-definition/>
- Audiotech, L. (26 de 01 de 2023). *LDA Audiotech*. Obtenido de LDA Audiotech:  
<https://lda-audiotech.com/2018/01/11/que-es-sonido-y-como-se-produce/>
- Avendaño Galarza, C. (2019). *Propuesta de diseño acústico arquitectónico de una sala de cine en el Cantón Naranjal*. Naranjal: Universidad de las Artes.
- Balea Domínguez, F. (2021). *Renderizado en tiempo real en la visualización arquitectónica*. Coruña: Repositorio Universidade da Coruña.
- Berg, R. (2018). *Multichannel audio: Concepts and applications*. New York: Springer.
- Bohn, M. (2019). *History of sound technology in public spaces*. Berlín: Springer.
- Choi, S. (2020). *Immersive sound systems: Theory and practice*. Seúl.
- Choi, S. L. (2023). *Virtual 3D audio system based on binaural technology for immersive environments*. New York: Journal of Audio Engineering Society, 71(5), 331–344.
- Cualidades del sonido. Hifi Center*. (20 de Abril de 2024). Obtenido de Cualidades del sonido. Hifi Center: <https://www.hificenter.es/blog-cualidades-sonido/>
- España, B. (s.f.). *Propiedades del sonido amplitud y frecuencia*. Obtenido de Propiedades del sonido amplitud y frecuencia:  
<https://www.bmigroup.com/es/blog/propiedades-del-sonido-amplitud-y-frecuencia/>

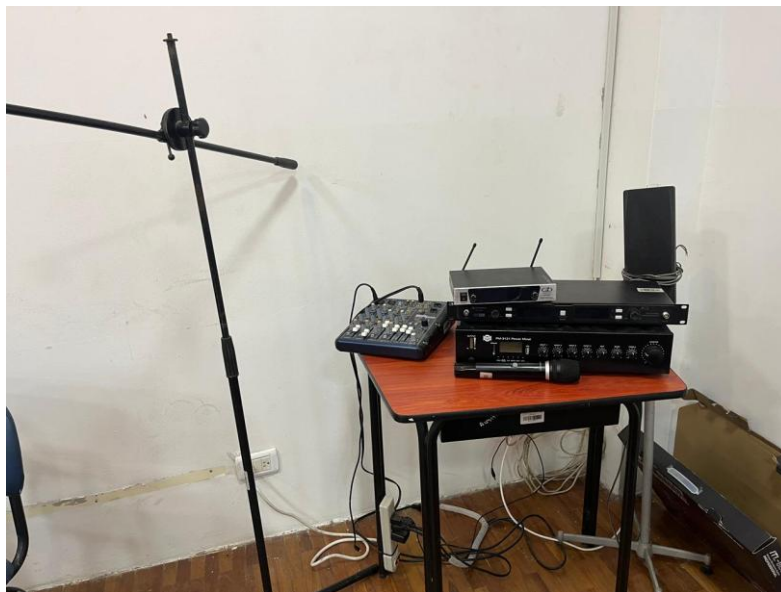
- Everest, F. A., & Pohlmann, K. C. (2015). *Master Handbook of Acoustics (6th ed.)*. Nueva York: McGraw-Hill Education.
- Fernández Guerra, V., Pagadigorria Ruiz, A., Alonso Ruiz de Erenchun, E., & Narvaiza Amillategi, B. (2013). *TEMA 9: Sonido*. Fundamentos de la teoría y técnicas audiovisuales, Universidad del País Vasco.
- Flores, L. (2022). *Diseño y Construcción de una Cabeza Binaural para Reproducción 3D (o similar)*.
- Franco, A. (9 de junio de 2024). *Datacraft*. Obtenido de Datacraft: <https://www.datacraft.com.ar/critica-sensurround/>
- Gaveau, & V. (2022). *Benefits of active listening during 3D sound localization*.
- Gavilán Álvarez, O. D., Layedra, N., & Ramos, V. (2022). *Análisis comparativo de Patrones de Diseño de Software*. Obtenido de Dialnet: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9042927>
- Glaser, M. (2025). *Spatial versus normal audio guides in exhibitions*. Journal on Educational Technology Research & Development.
- Gunnarsson, V. (2024). *Binaural Modeling for High-Fidelity Spatial Audio*.
- Hernández, L. F., & Pérez, M. (2022). *Sonido inmersivo y percepción espacial en auditorios*. Quito: Editorial Universitaria.
- Hernandez, R. D. (28 de Junio de 2021). *freecodecamp*. Obtenido de El patrón modelo-vista-controlador: Arquitectura y frameworks explicados: <https://www.freecodecamp.org/espanol/news/el-modelo-de-arquitectura-view-controller-pattern/>
- Hong, & J.Y. (2017). *Spatial Audio for Soundscape Design: Recording and Reproduction Techniques*. Applied Sciences / Spatial Audio special issue.
- IBM Operational Decision Manager. (18 de 12 de 2025). Obtenido de IBM Operational Decision Manager: <https://www.ibm.com/docs/es/odm/8.12.0?topic=api-http-methods>
- Kubler, C. D. (2021). *Acústica para ingenieros y arquitectos*. Madrid: Revert.

- Kuczyński, J. (24 de Abril de 2025). *Nivel de presión sonora SPL. SVANTEK - Sound And Vibration*. Obtenido de Nivel de presión sonora SPL. SVANTEK - Sound And Vibration.: <https://svantek.com/es/academia/nivel-de-presion-sonora-spl/>
- Lakka, E., Malamos, A. G., Pavlakis, K. G., & Ware., J. A. (2018). *Spatial Sound Rendering – A Survey*. Revista científica de sonido/realidad virtual/inmersiva.
- Liu, H., & Luo, T. (2025). *OmniAudio: Generating Spatial Audio from 360-Degree Video*.
- Malecki, & P. (2024). *Assessing Spatial Audio: A Listener-Centric Case Study on Spatial Sound Technologies*.
- Martínez, J. C. (2021). *Sistemas de sonorización en espacios culturales: Principios y aplicaciones*. Madrid: Acústica Moderna.
- Mavridou, I. (2025). *Software-based spatial audio enhancements increase self-reported immersion, perceived sound quality, and emotional involvement in virtual reality experiences*. Frontiers in Virtual Reality.
- Millan Esteller, J. M. (2022). *Instalaciones de megafonía y sonorización 2.ª edición*. Ediciones Paraninfo, S.A., 2022.
- Moebs, W. L. (28 de 09 de 2021). *17.2 Velocidad del sonido - Física universitaria volumen 1 | OpenStax*. Obtenido de 17.2 Velocidad del sonido - Física universitaria volumen 1 | OpenStax: <https://openstax.org/books/f%C3%ADsica-universitaria-volumen-1/pages/17-2-velocidad-del-sonido>
- Moebs, W. L. (28 de Septiembre de 2021). *OpenStax*. Obtenido de 17.2 Velocidad del sonido - Física universitaria volumen 1: <https://openstax.org/books/f%C3%ADsica-universitaria-volumen-1/pages/17-2-velocidad-del-sonido>
- Moiragias, G. (2023). *A listener preference model for spatial sound reproduction formats*.
- Narváez Reyes, N. A. (2022). *Development and implementation of acoustic panels for cultural interior spaces: Casa de la Cultura Cuenca*. DAYA. Diseño, Arte y Arquitectura.

- Pan, T., Liu, J., & Huang, Z. (2025). *In-the-wild Audio Spatialization with Flexible Text-guided Localization*.
- Pinto, L. N., & Morejón, G. E. (2025). FLASK: El microframework para el desarrollo rápido de aplicaciones con Python. *Revista Social Fronteriz*.  
doi:10.59814/resofro.2025.5(1)597
- Postman. (3 de Agosto de 2023). Obtenido de <https://blog.postman.com/what-are-http-methods/>
- Rafaely, B. (2022). *Spatial audio signal processing for binaural reproduction of...*  
Berlín: Acta Acustica.
- Reyes-Lecuona, A., González-Toledo, D., & Cuevas-Rodríguez, M. (2025).  
*Renderizado de Audio Espacial en Realidad Virtual con el Binaural Rendering Toolbox (BRT)*. España: Interacción — Revista digital de AIPO.
- Roy Fielding's misappropriated REST dissertation. (28 de Junio de 2025). Obtenido de  
<https://twobithistory.org/2020/06/28/rest.html>
- Rumsey, F. (2017). *Spatial Audio (2nd ed.)*. . London: Focal Press.
- Rumsey, F. (2019). *Spatial audio (2nd ed.)*. Oxford: Focal Press.
- ruschi, V., Grossi, L., Dourou, N. A., Quattrini, A., Vancheri, A., Leidi, T., & Cecchi, S.  
(2024). *A Review on Head-Related Transfer Function Generation for Spatial Audio*. Basel: Applied Sciences, MDPI.
- Torres, L. M. (s.f.). *Cualidades del sonido*. Scribd. Obtenido de Cualidades del sonido.  
Scribd.: <https://es.scribd.com/document/407242976/Cualidades-Del-Sonido>
- Zhu, Z. (2025). *ASAudio: A Survey of Advanced Spatial Audio Research*.

## Anexos

*Ilustración 55. Estado inicial del recinto previo a la intervención.*



*Nota.* Estado de la zona de control y del equipamiento antes de que se ejecutara el proyecto. **Fuente.** Elaboración Propia.

*Ilustración 56. Perspectiva del área del auditorio.*



*Nota.* Vista general del recinto que permite identificar la configuración arquitectónica y la disposición de las butacas. Se observa la ubicación de las unidades de megafonía convencionales instaladas originalmente. **Fuente.** Elaboración Propia.

*Ilustración 57. Conexión de cables de audio.*



**Nota.** Instalación de cableado de sistemas de sonido. **Fuente:** Elaboración Propia.

*Ilustración 58. Adecuación de Auditorio Leo Cedeño Cabezas*



**Nota.** Ajustes de la acústica del espacio. **Fuente.** Elaboración Propia de los Autores.



**Ilustración 59.** Montaje y cableado de los componentes del sistema.



**Nota.** Ejecución de las labores de montaje en altura, conexión y aseguramiento de los puntos de audio superiores para la distribución espacial requeridos para la cobertura inmersiva. **Fuente.** Elaboración propia.

**Ilustración 60.** Enrutamiento vertical del cableado de señal.



**Nota.** Fijación y guiado del conducto de audio a través de los paramentos verticales del Auditorio. **Fuente.** Elaboración Propia.

**Ilustración 61.** Levantamiento técnico de infraestructura en el sitio.



**Nota.** Conectar la mesa de mezclas, el amplificador de potencia y los módulos de recepción es parte del montaje, lo que permite centralizar el control operativo del sistema sonoro en un lugar seguro y accesible. **Fuente.** Elaboración propia.

**Ilustración 62.** Instalación de puntos en el sistema de control del auditorio.



**Nota.** Adecuación de las acometidas para los canales de audio, internet y eléctrico. **Fuente.** Elaboración Propia.

**Ilustración 63.** Verificación de la directividad de los parlantes.



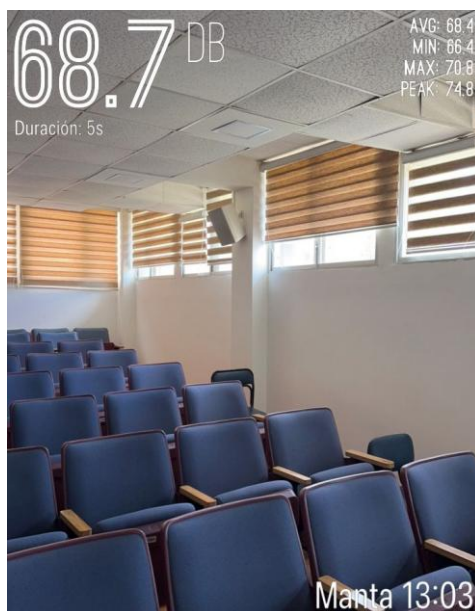
**Nota.** Alineación temporal y dispersión de frecuencias altas. **Fuente.** Elaboración propia.

**Ilustración 64.** Calificación de campo con instrumentos de análisis acústico



**Nota.** Se verificó la respuesta de los transductores instalados en distintos puntos de la sala para garantizar que no existan "zonas de sombra" acústica y que la presión sonora se mantenga constante según los cálculos de diseño. **Fuente.** Elaboración propia.

**Ilustración 65.** Medición de Niveles de Presión Sonora



**Nota.** Registro en tiempo real de las métricas acústicas. **Fuente.** Elaboración propia.

**Ilustración 66.** Evaluación de los niveles de presión sonora.



**Nota.** e detecta una estabilidad débil en la presión sonora (SPL), lo que confirma que el sistema requiere una intervención rápida. **Fuente.** Elaboración propia.

*Ilustración 67. Valoración de respuesta de timbre y voz.*



**Nota.** Comprobación de reproducción de voz y sonido registrado por los micrófonos. **Fuente.** Elaboración propia.



**Ilustración 68.** Verificación de la integridad de la señal de audio.



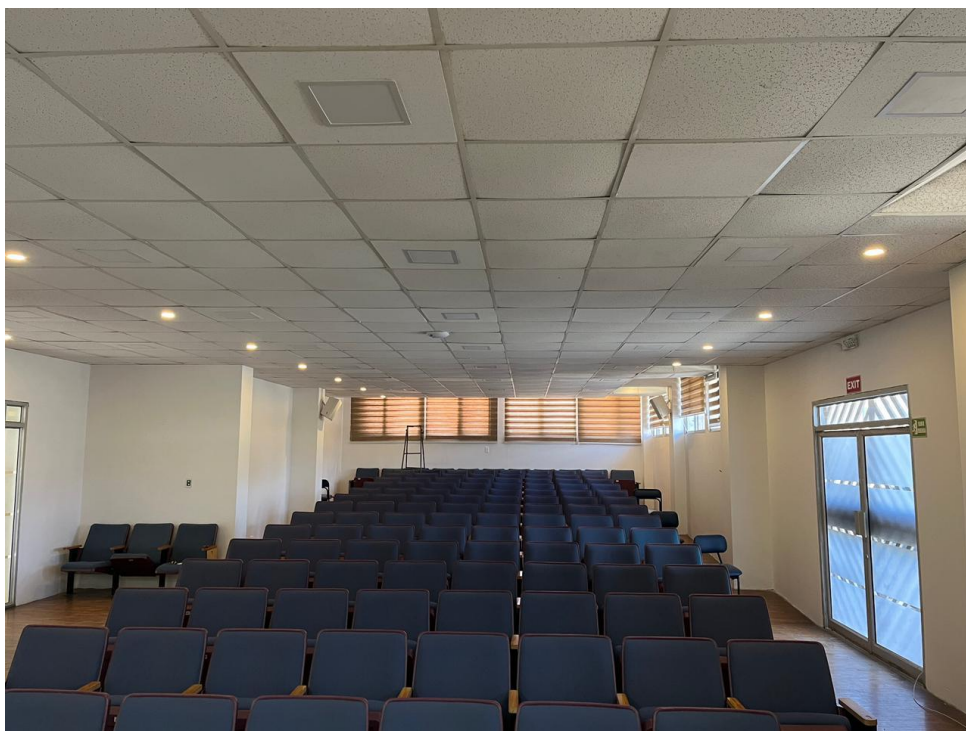
**Nota.** Pruebas de funcionamiento y enrutamiento. Se verifica la correcta recepción y envío de señales desde las fuentes (micrófonos) hacia las etapas de potencia, validando la operatividad de las conexiones realizadas previamente. **Fuente.** Elaboración propia.

**Ilustración 69.** Configuración y calibración del centro de control de audio.



**Nota.** Ajuste de parámetros en la cadena de procesamiento de señal. Se observa la integración de la consola de mezcla, la etapa de amplificación y los receptores inalámbricos. **Fuente.** Elaboración propia.

**Ilustración 70.** *Perspectiva final de la infraestructura desde escenario.*



**Nota.** Perspectiva desde el área del escenario hacia la audiencia. La altura y angulación de los altavoces instalados corresponden a las coordenadas calculadas en la fase de diseño para asegurar una cobertura homogénea en toda el área de escucha, eliminando las zonas de sombra acústica detectadas en el diagnóstico inicial. **Fuente.** Elaboración propia.



*Ilustración 71. Vista general del recinto tras la implementación del sistema.*



**Nota.** Resultado de la adaptación tecnológica del auditorio. **Fuente.** Elaboración propia.

*Ilustración 72. Centro de control acústico.*



**Nota.** Gabinete técnico finalizado con la cadena de señal operativa. **Fuente.** Elaboración propia.