



**Pontificia Universidad
Católica del Ecuador**

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR
SEDE MANABÍ
CARRERA DE ARQUITECTURA**

TRABAJO DE TITULACIÓN

**OPTIMIZACIÓN ACÚSTICA DE AULAS DE EDUCACIÓN SUPERIOR PARA REDUCIR
EL TIEMPO DE REVERBERACIÓN**

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

**DISEÑO, INFRAESTRUCTURA Y SISTEMAS SOCIALES Y AMBIENTALES PARA UN
HÁBITAT SOSTENIBLE**

SUBLÍNEA DE INVESTIGACIÓN

**PLANIFICACIÓN URBANO-ARQUITECTÓNICA PARA TERRITORIOS EN
DESARROLLO**

**PREVIO AL TÍTULO DE
ARQUITECTO**

AUTOR

RAMÓN VICENTE CEDEÑO MENDOZA

TUTOR

ARQ. JORGE LEONARDO CEVALLOS CARRILLO, MGTR EN URBANISMO

PORTOVIEJO, ABRIL 2025

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de tutor del trabajo de integración curricular, certifico haber revisado el presente manuscrito de investigación, el mismo que se ajusta a las normas vigentes de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Manabí, cumpliendo la Normativa del Trabajo de Integración Curricular; en consecuencia, es apto para su presentación y sustentación.

En la ciudad de Portoviejo a los dos días del mes de abril de dos mil veinte y cinco.

ARQ. JORGE LEONARDO CEVALLOS CARRILLO
C.C. 1309490850

Tutor

ACTA DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL

El jurado examinador aprueba el presente trabajo de integración curricular en nombre de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Sede Manabí.

En la ciudad de Portoviejo a los dos días del mes de abril de dos mil veinte y cinco.

ARQ. DIEGO XAVIER HIDALGO BUNREO
C.C. 1103696504
Lector Revisor

ARQ. AIMEE DEL ROCIO DELGADO CRUZ
C.C. 1105632358
Lector Revisora

ARQ. JORGE LEONARDO CEVALLOS CARRILLO
C.C. 1309490850
Tutor

DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD

Este manuscrito no contiene ningún tipo de material que ha sido aceptado para la obtención de un título universitario en otra institución, excepto en forma de información de soporte que ha sido debidamente citada en mi trabajo.

Este trabajo es de total responsabilidad del autor, quien declara bajo juramento que ninguna sección de este trabajo de integración curricular infringe los derechos de autor de nadie.

En la ciudad de Portoviejo a los dos días del mes de abril de dos mil veinte y cinco.

RAMÓN VICENTE CEDEÑO MENDOZA

C.C. 1350082838

Autor

DECLARACIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador a distribuir este manuscrito de investigación en medios físicos y electrónicos con el fin de promover la divulgación de mis resultados a la comunidad científica y a la sociedad en general. Adicionalmente autorizo el uso de los contenidos de esta investigación como bibliografía para fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, citando como fuente de información al autor de este trabajo.

En la ciudad de Portoviejo a los dos días del mes de abril de dos mil veinte y cinco.

RAMÓN VICENTE CEDEÑO MENDOZA

C.C. 1350082838

Autor

DEDICATORIA

Dedico este logro a mi familia y seres queridos, quienes con su apoyo incondicional me han impulsado a seguir adelante. A mis profesores de la carrera de arquitectura y compañeros de la segunda cohorte de arquitectura, por ser parte de este camino de aprendizaje.

RAMÓN VICENTE CEDEÑO MENDOZA

C.C. 1350082838

Autor

AGRADECIMIENTOS

A mis padres y hermanos, por su paciencia y apoyo incondicional durante los momentos de estrés a lo largo de estos años. A los docentes que han formado parte de la Carrera de Arquitectura, especialmente al Arq. Jorge Cevallos, la Arq. Patricia Vargas y el Arq. Santiago Granda, quienes han tenido un impacto significativo en mi formación como arquitecto.

A mis amigos y compañeros de la segunda cohorte de Arquitectura, con quienes compartí aprendizajes y experiencias inolvidables. En especial, a mis compañeros del grupo acústico, cuyo apoyo mutuo fueron fundamentales para superar los desafíos y culminar con éxito esta tesis.

A mi amiga Gaby Mogrovejo, por su valiosa amistad y compañerismo, y a su familia, por acogerme en múltiples ocasiones durante largas jornadas de trabajo en maquetería.

Y a mis amigos fuera de la institución, Angie Mero, Bryan García y Kevium Alvarado, quienes han sido un pilar fundamental en mi desarrollo profesional, brindándome su apoyo en todo momento.

RAMÓN VICENTE CEDEÑO MENDOZA

C.C. 1350082838

Autor

Resumen

El diseño acústico en equipamientos educativos tuvo un impacto directo en la inteligibilidad del habla y el rendimiento académico de los estudiantes. Esta investigación tuvo como propósito proponer materiales acústicos de alta absorción para optimizar el tiempo de reverberación en las aulas del bloque C de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Sede Manabí (Campus Portoviejo). Se planteó la hipótesis de que la aplicación de materiales con alta capacidad de absorción contribuiría a mejorar el tiempo de reverberación, permitiendo cumplir con los estándares acústicos internacionales. Para ello, se analizaron diversas tipologías de aulas de educación superior, se evaluaron los coeficientes de absorción de los materiales y se aplicó la fórmula de Sabine como método descriptivo y comparativo no experimental para determinar los tiempos de reverberación. Todo ello con el objetivo de cumplir con los estándares acústicos recomendados, tales como ANSI S12.60, BB93 y NTC 4595. Los resultados iniciales demuestran que ninguna de las aulas educativas cumple con los requisitos establecidos por los estándares internacionales. Por ello, se lleva a cabo un acondicionamiento acústico mediante la instalación de paneles absorbentes en paredes y techos, lo que permite que las aulas finalmente cumplan con los requerimientos normativos, validando así la hipótesis planteada. En conclusión, esta investigación revela que las aulas del bloque C de la PUCE Sede Manabí presentan tiempos de reverberación elevados debido al uso de materiales altamente reflectantes. No obstante, la incorporación de paneles acústicos de alta absorción reduce estos valores, asegurando el cumplimiento de los estándares acústicos internacionales.

Palabras clave: equipamientos educativos, materiales acústicos, tiempo de reverberación, coeficiente de absorción, fórmula de Sabine.

Abstract

Acoustic design in educational facilities has a direct impact on speech intelligibility and students' academic performance. This research aimed to propose high-absorption acoustic materials to optimize the reverberation time in the classrooms of Block C at the Pontifical Catholic University of Ecuador, Manabí campus (Portoviejo). The hypothesis was that the application of materials with high absorption capacity would contribute to improving the reverberation time, allowing compliance with international acoustic standards. To this end, various types of higher education classrooms were analyzed, the absorption coefficients of the materials were evaluated, and the Sabine formula was applied as a descriptive and comparative non-experimental method to determine reverberation times. All this with the aim of meeting recommended acoustic standards, such as ANSI S12.60, BB93, and NTC 4595. Initial results show that none of the educational classrooms meet the requirements established by international standards. Therefore, acoustic conditioning was carried out by installing absorbent panels on walls and ceilings, allowing the classrooms to finally meet regulatory requirements, thus validating the proposed hypothesis. In conclusion, this research reveals that the classrooms in Block C of PUCE Manabí campus have high reverberation times due to the use of highly reflective materials. However, the incorporation of high-absorption acoustic panels reduces these values, ensuring compliance with international acoustic standards.

Keywords: educational facilities, acoustic materials, reverberation time, absorption coefficient, Sabine formula.

Tabla de Contenidos

Introducción	1
Problema General.....	1
Hipótesis Central.....	2
Justificación	2
Estado de la cuestión.....	2
Formulación	5
Problema Especifico	5
Preguntas de Investigación	5
Marco Teórico.....	6
Objetivos.....	8
Hipótesis	9
Métodos.....	9
Diseño del Objeto	9
Unidad de Análisis.....	10
Variables y Dimensiones	11
Fuentes de Datos (Recolección).....	11
Diseño de los Procedimientos.....	11
Campo de Análisis	11

Unidad de Observación.....	12
Técnicas (Análisis).....	13
Instrumentos y Recursos.....	14
Indicadores.....	14
Resultados.....	15
Discusión.....	25
Discusión.....	25
Conclusiones.....	28
Recomendaciones.....	29
Referencias Bibliográficas.....	31
Anexos.....	35

Índice de Tablas

Tabla 1 Valores de normativas internacionales según Duran et al. (2021).....	15
Tabla 2 Clasificación de las distintas tipologías de aulas en la planta baja del Bloque C.	16
Tabla 3 Resultados del cálculo del tiempo de la reverberación por cada tipología.	18
Tabla 4 Resultados del cálculo del tiempo de la reverberación y las distintas normativas.	18
Tabla 5 Materiales acústicos provenientes de dBAS Materiales Acústicos (2022).....	20
Tabla 6 Material inicial y el material seleccionado para el acondicionamiento	20

Tabla 7 Resultados del cálculo del tiempo de la reverberación por cada tipología con el acondicionamiento acústico.....	21
Tabla 8 Resultados del cálculo del tiempo de la reverberación con el acondicionamiento contra las distintas normativas	21

Índice de Figuras

Figura 1 Aulas Educativas de la planta baja del Bloque C de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador-Sede Manabí. Campus Portoviejo	10
Figura 2 Esquema de las distintas tipologías de aulas en la planta baja del Bloque C....	15
Figura 3 Resultados del cálculo del tiempo de la reverberación y las distintas normativas	19
Figura 4 Resultados de la comparativa de los cálculos del tiempo de reverberación y las distintas normativas.....	22
Figura 5 Tipología 1 y 3 estado inicial	23
Figura 6 Tipología 2,4 y 5 estado inicial	23
Figura 7 Tipología 1 y 3 con intervención acústica.....	24
Figura 8 Tipología 2,4 y 5 con intervención acústica.....	24

Introducción

La acústica en espacios cerrados, como las aulas de educación superior, constituye un factor clave para garantizar la calidad del sonido y el confort de los usuarios. El tiempo de reverberación, definido como el período que tarda el sonido en disminuir su intensidad dentro de un espacio cerrado, incide directamente en la inteligibilidad de la voz, la capacidad de concentración y, en casos extremos, en la salud de los usuarios, pudiendo causar estrés, fatiga, aumento de la presión sanguínea e incluso daños auditivos (Svantek, 2022).

Desde la perspectiva arquitectónica, abordar estos problemas exige una cuidadosa selección y diseño de materiales que, en función de su coeficiente de absorción, permitan optimizar el rendimiento acústico de los espacios sin comprometer su funcionalidad ni estética. Este enfoque interdisciplinario enfatiza la importancia de integrar la técnica y el diseño arquitectónico para mejorar la calidad del entorno educativo.

Problema General

Diversos estudios han destacado la relevancia de optimizar el tiempo de reverberación mediante la aplicación de materiales absorbentes, como paneles acústicos, alfombras y revestimientos, con el objetivo de mejorar la acústica en estos entornos (Laurià et al., 2020; Palacio et al., 2023). No obstante, surge la cuestión de cómo integrar dichos elementos en el diseño arquitectónico. Por ello, las soluciones deben adaptarse no solo a las características específicas del aula de educación superior en cuestión, sino también considerar su relación con el diseño y la percepción del espacio. Este enfoque permite abordar los retos acústicos y los desafíos arquitectónicos de manera integral, generando oportunidad para mejorar la experiencia educativa y promover entornos de aprendizaje más seguros.

Hipótesis Central

¿Cuáles materiales con propiedades de absorción acústica podrían sustituirse en las aulas de educación superior para reducir el tiempo de reverberación?

Justificación

Un estudio realizado por Laurià et al. (2020) en Florencia, Italia, demuestra que solo el 34% de los espacios analizados cumple con el límite determinado por la normativa, mientras que el resto excede considerablemente el valor óptimo establecido, presentando problemas acústicos debido a tiempos de reverberación excesivos (Laurià et al., 2020). Por su parte, en un caso en Colombia, se evidenció que el 100% de los espacios evaluados presenta problemas acústicos (Palacio et al., 2023), lo que dificulta una comunicación clara y afecta la concentración de los usuarios.

Estas deficiencias suelen originarse por el uso de materiales con bajos coeficientes de absorción en sus superficies. Por ello, resulta fundamental investigar qué materiales pueden emplearse en estos entornos para reducir el tiempo de reverberación y cumplir con las normativas acústicas, mejorando así la experiencia de los usuarios. Cabe destacar que, en el contexto de Ecuador, este aspecto no ha recibido la atención necesaria, ya que no existe una normativa específica para el análisis acústico de los espacios, lo que sugiere que la relevancia de este tema ha sido subestimada.

Estado de la cuestión

La acústica es un aspecto fundamental en el diseño de espacios académicos, ya que contribuye a fortalecer los ambientes de aprendizaje. En este contexto, la arquitectura desempeña un papel clave al ofrecer soluciones adaptadas a estas necesidades. Investigaciones como la de Savage (2007) refieren el interés científico en abordar esta problemática, planteando la relación

entre el ruido y el tiempo de reverberación como factores que dificultan la comprensión del discurso. Los hallazgos indican que una falta de cumplimiento de los estándares acústicos establecidos puede afectar negativamente el rendimiento académico. Esta perspectiva es respaldada por Svantek (2022), quien señala que el tiempo de reverberación incide directamente en la inteligibilidad de la voz y el estado fisiológico de las personas que interactúan en dichos espacios.

En concordancia con esta perspectiva, Arvidsson et al. (2021) amplían este análisis al enfatizar que un entorno sonoro inadecuado no solo afecta la inteligibilidad del habla, sino que también incide directamente en el rendimiento cognitivo, generando estrés y reduciendo la capacidad de concentración. En este sentido, identifican que el tratamiento acústico más eficiente para mejorar la inteligibilidad del habla en distintos espacios es aquel que combina elementos absorbentes y difusores. En particular, han determinado que configuraciones con un alto nivel de absorción, como la integración de un techo absorbente junto con paneles acústicos en las paredes, favorecen una mayor claridad del habla, reducen el tiempo de reverberación y disminuyen los niveles de ruido ambiental.

Según Savage (2007), los materiales empleados en la construcción de un espacio académico influyen significativamente en el tiempo de reverberación. Por ello, para reducirlo será necesario utilizar materiales con propiedades de absorción acústica. Sin embargo, para seleccionar el material adecuado, resulta esencial medir tanto el tiempo de reverberación como los coeficientes de absorción de los materiales disponibles.

Por su parte, Chen y Dayi (2021) realizaron un estudio sobre los efectos del tiempo de reverberación y el ruido del tráfico en la comprensión auditiva del inglés en estudiantes universitarios chinos. Los resultados evidenciarían que el tiempo de reverberación afecta la comprensión auditiva y que los estudiantes perciben el ruido como una molestia, especialmente

durante tareas de comprensión en un idioma extranjero. Asimismo, se concluyó que las percepciones subjetivas de los estudiantes son más sensibles a los cambios en la condición acústica que su rendimiento objetivo. Esta investigación se considera uno de los primeros referentes sobre el impacto de la acústica en el diseño de aulas universitarias en China.

En esta línea, Laurià et al. (2020) propusieron un sistema para mejorar la calidad acústica en aulas de mediante el diseño del espacio, la reducción del tiempo de reverberación y la incorporación de superficie fonoabsorbente. La propuesta se basó en el uso de paneles de fibra de poliéster, determinando el porcentaje óptimo de superficie cubierta con este material en relación con el volumen del aula. La elección de la fibra de poliéster respondió a sus propiedades de absorción acústica, así como a su resistencia al agua, carácter hipoalergénico y ligereza. Además, se destacó su sostenibilidad, dado que puede fabricarse con material reciclado y reciclarse al final de su vida útil.

En el contexto latinoamericano, Duran et al. (2021) emplearon el término *discomfort acústico* para describir los efectos negativos causados por tiempos prolongados de reverberación, especialmente en salones de clases. Los autores identificaron como causa principal “ausencia de materiales de absorción del sonido en el aula” (p. 86), evidenciando la necesidad de evaluar las condiciones acústicas de los espacios educativos. La investigación concluyó que es imprescindible mejorar el diseño arquitectónico uso de materiales acústicamente eficientes, con énfasis en los paneles absorbentes.

Finalmente, Cajas y Gallegos (2017) realizaron un estudio en unidades educativas de Quito, Ecuador, en el cual evaluaron el tiempo de reverberación en salones de clases. Los resultados mostraron que los valores superaban los límites establecidos por las normativas internacionales, afectando la calidad acústica y dificultando la comunicación durante las clases.

Como solución, se recomendó el diseño arquitectónico con materiales de construcción que posean propiedades absorbentes o difusivas, así como la aplicación de criterios geométricos para optimizar la acústica de los espacios.

Formulación

Problema Específico

Considerando los antecedentes mencionados, el problema específico de esta investigación se refiere a la posible dificultad causada por las condiciones acústicas actuales en las aulas de educación superior de una universidad en Portoviejo, Ecuador, específicamente la PUCE Sede Manabí. Esta problemática podría deberse a las tipologías de los espacios arquitectónicos, al uso inadecuado de materiales con baja capacidad de absorción que impedirían alcanzar los estándares recomendados y la ausencia de normativas sobre diseño acústico en el contexto local, lo que evidencia una falta de regulación y, por ende, de atención en la planificación arquitectónica.

Preguntas de Investigación

¿Cuáles son las diferentes tipologías de espacios arquitectónicos en las aulas de la planta baja del bloque C de la PUCE Sede Manabí, campus Portoviejo, considerando su volumen y materialidad dentro del entorno universitario?

¿Cuáles son las condiciones acústicas actuales, respecto al tiempo de reverberación, en las distintas tipologías de aulas del bloque C de la PUCE Sede Manabí, campus Portoviejo?

¿Los espacios arquitectónicos de las distintas tipologías de aulas del bloque C de la PUCE Sede Manabí, campus Portoviejo, cumplen con los estándares acústicos internacionales de tiempo de reverberación (ANSI S12.60, BB93 y NTC 4595)?

¿Qué materiales absorbentes se pueden sugerir para las aulas de educación superior que no cumplan con la normativa acústica internacional, empleando la fórmula de Sabine?

¿En qué medida influye la incorporación de materiales absorbentes en la reducción del tiempo de reverberación dentro de las aulas educativas analizadas?

Marco Teórico

Para la arquitectura, es fundamental considerar los tiempos de reverberación, dado que este término refiere al “tiempo que permanece el sonido en un espacio antes de desaparecer” (Díaz, 2019, p. 39). Este fenómeno está directamente relacionado con la forma, los materiales y los objetos presentes en un espacio, los cuales influyen en la percepción del sonido.

De acuerdo con Miyara (2006), la permanencia del sonido, denominada reverberación, puede medirse mediante el concepto de tiempo de reverberación, definido como “el tiempo que demora el sonido en bajar 60 dB por debajo de su nivel inicial” (p. 46). El autor señala que este tiempo depende directamente de la capacidad de absorberencia de las superficies de un espacio:

“se necesitarán muchas reflexiones para que se extinga el sonido, y entonces T será grande. Si, en cambio, son muy absorbentes, en cada reflexión se absorberá una proporción muy alta del sonido, por lo tanto, en unas pocas reflexiones el sonido será prácticamente inaudible” (Miyara, 2006, p. 46).

A partir de estas propiedades, el autor plantea que este fenómeno puede expresarse mediante la fórmula de Sabine:

$$T = 0,161 \times \frac{V}{A}$$

En donde:

T Tiempo de reverberación (s)

V Volumen de la sala (m^3)

A Absorción total (m^2)

Según Boschi (2008), esta fórmula se desarrolló bajo el supuesto de una distribución homogénea de absorbentes con un coeficiente de absorción bajo (p. 3). Dicha fórmula permite calcular el tiempo de reverberación (T), y considera el volumen (V), de la habitación en metros cúbicos (m^3), así como la absorción total (A) en metros cuadrados (m^2), obtenida a partir del cálculo de la sumatoria de las superficies (S) del suelo, paredes y techo en metros cuadrados (m^2), multiplicadas por el coeficiente de absorción sonora (α) del material, expresado en la fórmula: $A = \sum (S \times \alpha)$.

Según Kuttruff (2000), el tiempo de reverberación (T) está directamente relacionado con el volumen (V) de la sala, de modo que, a medida que el volumen aumenta, el tiempo de reverberación también tiende a incrementarse, siempre que la superficie y la absorción se mantengan constantes. Por otro lado, el tiempo de reverberación es inversamente proporcional a la superficie total (S) de las paredes y al coeficiente de absorción promedio (α) de los materiales. En este sentido, un mayor coeficiente de absorción, es decir, el uso de materiales más absorbentes disminuye el tiempo de reverberación, mientras que una mayor superficie puede contribuir a su incremento si los materiales presentan bajos coeficientes de absorción.

Si bien el concepto de tiempo de reverberación es esencial, también es importante comprender el significado de las variables de las que este depende: El volumen (V) es una magnitud física que representa la extensión de un cuerpo en tres dimensiones: largo, ancho y alto.

En el sistema internacional de unidades (SI), se expresa en metros cúbicos (m^3). (Real Academia Española, 2014).

La superficie (S) en términos matemáticos, la magnitud representa la extensión de un cuerpo en dos dimensiones: longitud y anchura. En el SI, se mide en metros cuadrados (m^2). (Real Academia Española, 2014).

El coeficiente de absorción (α) es un índice que mide la capacidad de un material para absorber la energía acústica incidente en su superficie, en lugar de reflejarla. Su valor oscila entre 0 y 1, donde los valores cercanos a 0 indican materiales altamente reflectantes, mientras que los valores próximos a 1 corresponden a materiales con mayor capacidad de absorción (Dinasen, 2023; Chloé, 2022). En este contexto, la absorción total (A) se refiere a la suma de los productos obtenidos al multiplicar los coeficientes de absorción de los materiales por las superficies que ocupan.

Objetivos

Objetivo General.

Proponer materiales acústicos de alta absorción para optimizar el tiempo de reverberación en las aulas del bloque C de la PUCE Sede Manabí (Campus Portoviejo), a través del análisis de su coeficiente de absorción y la aplicación de la fórmula de Sabine, con el fin de alcanzar los estándares acústicos recomendados, tales como ANSI S12.60, BB93 o NTC4595.

Objetivo Específico.

Identificar las diferentes tipologías de espacios arquitectónicos de las aulas de educación superior dentro del entorno universitario, considerando tanto su volumen como la materialidad de sus elementos, y calcular el tiempo de reverberación correspondiente para cada una de ellas.

Comparar las condiciones acústicas actuales de estos espacios arquitectónicos con las normativas acústicas recomendadas, evaluando si cumplen con los estándares de tiempo de reverberación.

Diseñar una propuesta para la implementación de paneles acústicos absorbentes, compuestos por materiales como caucho, yeso y fibras, entre otros, que sean adecuados para los espacios arquitectónicos de aulas de educación superior que no cumplan con la normativa acústica internacional. Para ello, se empleará la fórmula de Sabine como método de análisis, a fin de verificar la reducción del tiempo de reverberación.

Hipótesis

La aplicación de materiales acústicos con alta capacidad de absorción en las aulas de la planta baja del Bloque C de la PUCE Sede Manabí contribuirá a optimizar el tiempo de reverberación, permitiendo alcanzar los estándares acústicos internacionales establecidos en las normativas ANSI S12.60, BB93 o NTC 4595.

Métodos

Diseño del Objeto

Por lo tanto, la presente investigación es de tipo descriptiva y no experimental comparativa, enfocándose en el análisis acústico mediante el cálculo del tiempo de reverberación. La fórmula de Sabine permitirá determinar el tiempo de reverberación en las aulas, considerando el volumen de la sala y el coeficiente de absorción de los materiales. Se analizará el espacio como un volumen cúbico homogéneo, el sonido como un fenómeno uniforme, sin mobiliarios, y se utilizará una aproximación al coeficiente de absorción de los materiales.

$$T = 0,161 \times \frac{V}{A}$$

Unidad de Análisis

Según la Real Academia Española (2014), un aula se define como una “sala donde se dan las clases en los centros docentes”, es decir, un espacio destinado a la interacción entre docentes y estudiantes, en el cual la inteligibilidad del habla resulta fundamental. Por ello, garantizar una adecuada acústica es un aspecto crucial. En este contexto, el presente estudio se desarrolla en aulas de educación superior. La investigación surge ante la posible problemática de que estos espacios no cumplan con los estándares acústicos establecidos debido al uso de materiales que no respondan a los criterios recomendados para el acondicionamiento acústico.

Figura 1

Aulas Educativas de la planta baja del Bloque C de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador-Sede Manabí. Campus Portoviejo



Variables y Dimensiones

- Dependientes: Tiempo de reverberación.
- Independiente: Volumen del espacio, absorción total material utilizado en las superficies.
 - Subvariables independientes: Superficie (piso, paredes y techo), coeficiente de absorción.

Fuentes de Datos (Recolección)

Los datos se obtendrán a partir de las revisiones bibliográficas relacionadas con la aplicación del tiempo de reverberación en espacios académicos, como aulas, así como de una tabla de materiales que contenga información sobre el material en cuestión y su coeficiente de absorción. Para recopilar los datos referentes a las tipologías de las aulas educativas, se utilizarán los planos arquitectónicos de las mismas, los cuales serán corroborados mediante visitas *in situ*. Durante estas visitas, se realizarán mediciones precisas del volumen total y de cada una de las superficies que las conforman. Finalmente, se considerarán referencias normativas como el estándar acústico ANSI S12.60, aplicable a aulas educativas y espacios de aprendizaje en Estados Unidos; la norma BB93, que regula la acústica en escuelas del Reino Unido; y la NTC 4595, que establece criterios de ambientación en entornos escolares, incluyendo aspectos acústicos, en Colombia.

Diseño de los Procedimientos

Campo de Análisis

Se analizarán las aulas de educación superior de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Sede Manabí, ubicada en el campus Portoviejo. Este campus se localiza en la ciudad de Portoviejo, capital de la provincia de Manabí, la cual, según el Gobierno Autónomo Descentralizado (GAD) Municipal de Portoviejo (2021), tiene una extensión de 957,740

kilómetros cuadrados. Asimismo, de acuerdo con el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC), en 2023 la ciudad registró una población de 332,925 habitantes.

La universidad está situada en la calle Eduardo Ibarra, de la ciudadela Primero de Mayo, de la parroquia 18 de Octubre. El campus tiene una extensión aproximada de 28.000 metros cuadrados, destinada a actividades educativas y administrativas. Además, según la Secretaría de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación (SIIES) en 2023, actualmente cuenta con una población estudiantil cercana a los 2.214 estudiantes universitarios.

Unidad de Observación

Se analizará específicamente la planta baja del bloque C de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Sede Manabí, la cual comprende un total de 10 aulas educativas. Esta área, que abarca 642 metros cuadrados, representa el 2,3 % del área total del campus. La selección de este espacio se debe a que en él se imparten clases de diversas carreras, entre ellas Arquitectura, Administración de Empresas, Derecho, Negocios Internacionales y Posgrados. Además, dado que las clases son de carácter teórico, la inteligibilidad del habla adquiere una relevancia fundamental.

A partir del análisis realizado, se identificaron cinco tipologías de aula:

- Tipología 1: Tiene un volumen de 204.12 metros cúbicos y cuenta con 2 paredes de ladrillo, 2 paredes acristaladas, un suelo de cerámica y un techo de gypsum.
- Tipología 2: Tiene un volumen de 149.10 metros cúbicos y consta de 3 superficies de gypsum (2 paredes y 1 techo), 1 pared compuesta por ladrillo y vidrio (mitad y mitad), 1 pared totalmente acristalada y un suelo de cerámica.
- Tipología 3: Tiene un volumen de 204.12 metros cúbicos, incluye 2 superficies de gypsum (una pared y un techo), 1 pared de ladrillo, 2 paredes acristaladas y un suelo de cerámica.

- Tipología 4: Tiene un volumen de 152.30 metros cúbicos y presenta 2 superficies de gypsum (una pared y un techo), 1 pared de ladrillo, 1 pared compuesta de ladrillo y vidrio (mitad y mitad), 1 pared acristalada y un suelo de cerámica.
- Tipología 5: Tiene un volumen de 152.30 metros cúbicos y consta de 3 superficies de gypsum (2 paredes y 1 techo), 1 pared compuesta por ladrillo y vidrio (mitad y mitad), 1 pared acristalada y un suelo de cerámica.

Técnicas (Análisis)

Para calcular el tiempo de reverberación, se empleará la fórmula de Sabine, la cual permite determinar este valor considerando el volumen de cada aula, las superficies y el coeficiente de absorción de los materiales que las componen.

Para estimar la absorción acústica de cada espacio, se medirán las áreas de las superficies del entorno (largo y alto) y se asignarán los coeficientes de absorción de acuerdo con la fuente de datos de la Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo en Uruguay (FADU, 2010), correspondientes a los materiales presentes en dichas superficies.

Una vez obtenidos los tiempos de reverberación para cada tipo de aula, se compararán los resultados con las normativas acústicas recomendadas, como las normas ANSI S12.60, BB93 y NTC4595, que establecen los rangos ideales de tiempo de reverberación para espacios educativos. Según estas normativas, se evaluará si cada aula cumple o no con los requisitos establecidos.

En caso de no cumplir con los estándares, se propondrá una nueva selección de materiales que se integre arquitectónicamente al espacio y que, a su vez, cuenten con un alto coeficiente de absorción para disminuir el tiempo de reverberación. Los materiales serán seleccionados de la empresa dBAS Materiales Acústicos (2022), especializada en la fabricación de elementos acústicos en Ecuador, con más de 15 años de experiencia en el sector de acondicionamiento

acústico. Esta empresa ofrece una amplia gama de soluciones mediante paneles acústicos que alcanzan coeficientes de absorción cercanos a 1, lo que, según Dinasen (2023), indica que estos materiales presentan una alta capacidad de absorción acústica.

Finalmente, se realizará un análisis comparativo entre las mediciones iniciales y las obtenidas tras aplicar los materiales absorbentes. De manera que se pueda cumplir con el último objetivo específico, se realiza la evaluación de la eficacia de estos en la optimización de las condiciones acústicas de las aulas.

Instrumentos y Recursos

Para obtener los datos de medición de las aulas, se utilizarán dispositivos como el BOSCH GLM 40, que permitirá recopilar las dimensiones de todas las superficies y los volúmenes, y el flexómetro de la marca CENTURY para aquellas medidas específicas, como por ejemplo las puertas y ventanas.

La herramienta empleada para calcular del tiempo de reverberación será Microsoft Excel. Los resultados serán contrastados con la información obtenida durante las visitas a las aulas educativas y con las tablas de coeficiente de absorción de los materiales, mediante la fuente de datos de la FADU (2010).

Indicadores

Se utilizarán rangos de tiempo de reverberación para las aulas de educación superior, basados en las distintas normativas internacionales, con el fin de identificar si cumple o no cumple con el valor recomendado. Los indicadores considerados corresponden a los valores de tiempo de reverberación establecidos por las tres normas internacionales, de acuerdo con Duran et al. (2021). Estos valores se encuentran ubicados en la Tabla 1.

Tabla 1

Valores de normativas internacionales según Duran et al. (2021).

Norma	Valor tiempo de reverberación
ANSI S12.60	0,6 – 0,7 s
BB93	0,8 s
NTC 4595	1 s

Cabe destacar que la normativa ANSI S12.60 establece dos valores para el tiempo de reverberación en salas educativas. El valor de 0.6 segundos se aplica a salas con un volumen menor o igual a 283 m³, mientras que el valor de 0.7 segundos corresponde a salas con volúmenes mayores a 283 m³ y hasta un máximo de 566 m³. (Palacio et al., 2023)

Resultados

Se realizó una visita in situ con el objetivo de identificar las distintas tipologías de aulas educativas. Durante esta inspección, se recopiló información relevante de cada aula, incluyendo sus dimensiones (largo, ancho y altura) y los materiales empleados en su construcción. Además, se registraron las superficies y sus respectivos coeficientes de absorción, lo que permitió clasificar las tipologías de aula. La diferenciación de estos datos se presenta mediante un esquema en la Figura 2, y su clasificación detallada se muestra en la Tabla 2.

Figura 2

Esquema de las distintas tipologías de aulas en la planta baja del Bloque C.

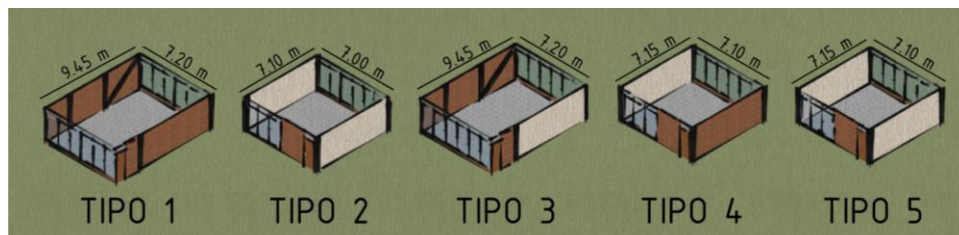






Tabla 2

Clasificación de las distintas tipologías de aulas en la planta baja del Bloque C.

Aulas	Imagen	Largo (m)	Ancho (m)	Altura (m)	Volumen (m ³)	Superficie (S) (m ²)	Coefficiente de absorción (α)
Tipo 1	D-01	9.45	7.20	3.00	204.12	Puerta de Madera <i>S:2.25 α: 0.09</i> Ladrillo visto <i>S:53.95 α: 0.04</i> Ventana de vidrio (6mm) <i>S:39.80 α: 0.04</i> Cerámica <i>S:68.04 α: 0.02</i> Cielorraso de placas de yeso 13 mm + espacio aire <i>S:68.04 α: 0.06</i> Metal <i>S:3.90 α: 0.10</i>	
	D-02, D-03, D-06						

Tipo 3	D-04, D-05, D-10		9.45	7.20	3.00	204.12	Puerta de Madera <i>S:2.25 α: 0.09</i> Ladrillo visto <i>S:32.80 α: 0.04</i> Placas de yeso 13+100 mm de aire <i>S:20.45 α: 0.07</i> Ventana de vidrio (6mm) <i>S:39.80 α: 0.04</i> Cerámica <i>S:68.75 α: 0.02</i> Cielorraso de placas de yeso 13 mm + espacio aire <i>S:68.04 α: 0.06</i> Metal <i>S:3.90 α: 0.10</i>	
	Tipo 4	D-07, D-08		7.10	7.15	3.00	152.30	Puerta de Madera <i>S:2.25 α: 0.09</i> Ladrillo visto <i>S:30.65 α: 0.04</i> Placas de yeso 13+100 mm de aire <i>S:20.16 α: 0.07</i> Ventana de vidrio (6mm) <i>S:29.35 α: 0.04</i> Cerámica <i>S:51.46 α: 0.02</i> Cielorraso de placas de yeso 13 mm + espacio aire <i>S:50.77 α: 0.06</i> Metal <i>S:2.40 α: 0.10</i>
	Tipo 5	D-09		7.10	7.15	3.00	152.30	Puerta de Madera <i>S:2.25 α: 0.09</i> Ladrillo visto <i>S:9.80 α: 0.04</i> Placas de yeso 13+100 mm de aire <i>S:40.31 α: 0.07</i> Ventana de vidrio (6mm) <i>S:29.35 α: 0.04</i> Cerámica

S:52.16 $\alpha: 0.02$
 Cielorraso de placas de
 yeso 13 mm + espacio
 aire
S:50.77 $\alpha: 0.06$
 Metal
S:2.40 $\alpha: 0.10$

En la Tabla 3 se presentan los resultados de los cálculos del tiempo de reverberación para las distintas tipologías. Los resultados del cálculo varían entre 2.69 segundos a 3.36 segundos.

Tabla 3

Resultados del cálculo del tiempo de la reverberación por cada tipología.

Aulas Tipo	Volumen (m³)	Absorción Total (A)	Tiempo de Reverberación (s)
Tipo 1	204.12	9.55	3.36
Tipo 2	149.10	8.68	2.73
Tipo 3	204.12	9.77	3.29
Tipo 4	152.30	8.20	2.94
Tipo 5	152.30	8.81	2.69

Al comparar los resultados del tiempo de reverberación con las normativas ANSI S12.60, BB93 y NTC 4595, se observa que ninguna de las tipologías de aulas educativas cumple con los estándares establecidos, como se muestra en la Tabla 4 y la Figura 3.

Tabla 4

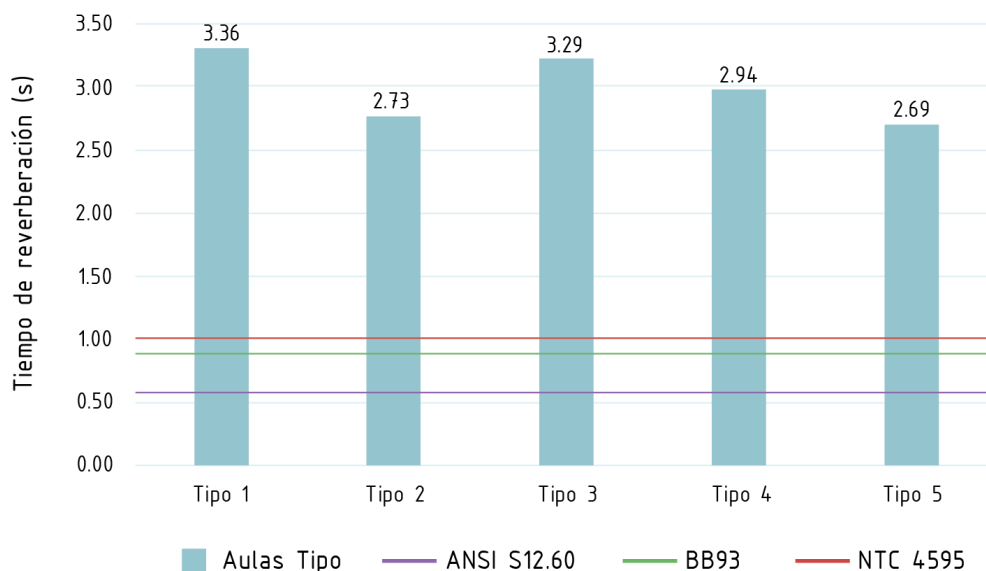
Resultados del cálculo del tiempo de la reverberación y las distintas normativas.

Aulas Tipo	Tiempo de Reverberación (s)	ANSI S12.60 (0.6s)	BB93 (0.8s)	NTC 4595 (1s)
Tipo 1	3.36	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE
Tipo 2	2.73	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE
Tipo 3	3.29	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE

Tipo 4	2.94	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE
Tipo 5	2.69	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE

Figura 3

Resultados del cálculo del tiempo de la reverberación y las distintas normativas.



Tras confirmar que ninguna de las tipologías cumplía con las normativas establecidas, se procedió a realizar un acondicionamiento acústico utilizando materiales de la empresa dBAS Materiales Acústicos, la cual dispone de un catálogo de paneles con distintos coeficientes de absorción y dimensiones, como se muestra en la Tabla 5.

De este catálogo, se seleccionaron dos paneles acústicos, las características que cumplían refieren a un coeficiente de absorción superior al de los materiales iniciales de cada tipología, además de ser los que presentan los valores más altos de absorción, como se observa en la Tabla 6.

Tabla 5*Materiales acústicos provenientes de dBAS Materiales Acústicos (2022).*

Uso	Material	Coefficiente de absorción (α)	Dimensiones (mm)
Pared	Paneles acústicos absorbentes dBAS Saw 64	0.80	600 x 600 x 109
	Paneles acústicos absorbentes dBAS Hex P87-50 ^a	0.75	600 x 600 x 210mm
	Paneles acústicos absorbentes dBAS Ranurado 70-30-15	0.90	600 x 600 x 70
	Paneles acústicos absorbentes dBAS Perforado D8P32A	0.70	600 x 600 x 15
	Paneles acústicos absorbentes dBAS Sorento	0.95	600 x 1200 x 50
Techo	Paneles acústicos absorbentes dBAS Sirio	0.85	1200 x 600 x 50
	Paneles acústicos absorbentes dBAS Imperia	0.95	1200 x1200 x50

Tabla 6*Material inicial y el material seleccionado para el acondicionamiento.*

Uso	Material Inicial	Coefficiente de absorción del Material Inicial (α)	Material del Acondicionamiento	Coefficiente de absorción del Material de Acondicionamiento (α)
Pared	Placas de yeso 13+100 mm de aire	0.07	Paneles acústicos absorbentes dBAS Sorento	0.95
	Ladrillo visto	0.04	Paneles acústicos absorbentes dBAS Sorento	0.95

Techo	Cielorraso de placas de yeso 13 mm + espacio aire	0.06	Paneles acústicos absorbentes dBAS Imperia	0.95
--------------	---	------	--	------

Con esta mejora, se recalcularon los tiempos de reverberación, cuyos resultados se presentan en la Tabla 7. Los valores finales obtenidos, que van de 0.58 a 0.6 segundos, como se indica la Tabla 8 y la Figura 4, confirman que todas las tipologías de aulas educativas cumplen con las tres normativas establecidas.

Tabla 7

Resultados del cálculo del tiempo de la reverberación por cada tipología con el acondicionamiento acústico.

Aulas Tipo	Volumen (m³)	Absorción Total (A)	Tiempo de Reverberación Final (s)	Tiempo de Reverberación Inicial (s)
Tipo 1	204.12	54.96	0.60	3.36
Tipo 2	149.10	40.70	0.59	2.73
Tipo 3	204.12	56.87	0.58	3.29
Tipo 4	152.30	40.63	0.60	2.94
Tipo 5	152.30	40.83	0.60	2.69

Tabla 8

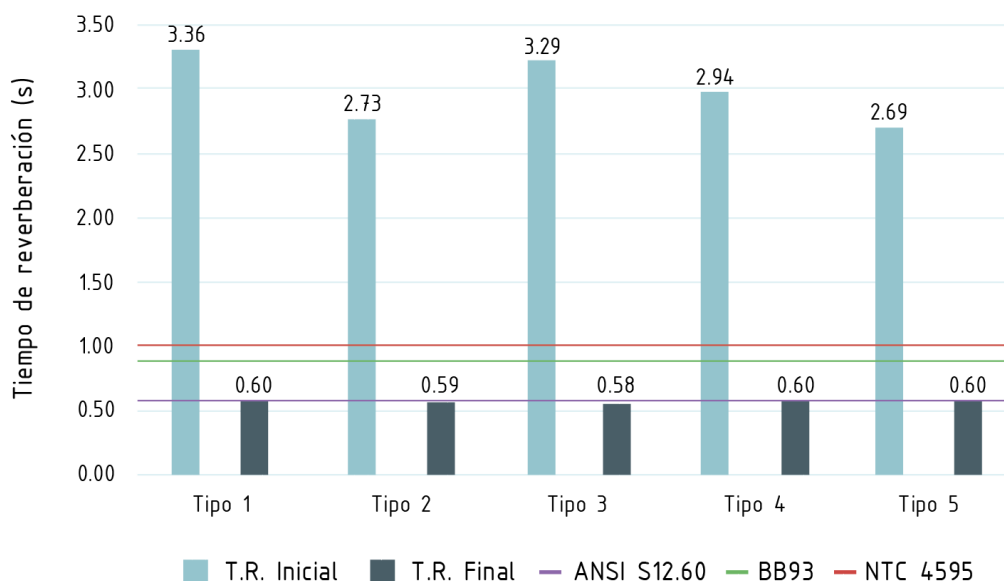
Resultados del cálculo del tiempo de la reverberación con el acondicionamiento contra las distintas normativas

Aulas Tipo	Tiempo de Reverberación (s)	ANSI S12.60 (0.6s)	BB93 (0.8s)	NTC 4595 (1s)
Tipo 1	0.60	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
Tipo 2	0.59	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
Tipo 3	0.58	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE

Tipo 4	0.60	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
Tipo 5	0.60	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE

Figura 4

Resultados de la comparativa de los cálculos del tiempo de reverberación y las distintas normativas



Las Figuras 5 y 6 presentan un modelo virtual que representa el estado inicial de las tipologías de las aulas. Por su parte, las Figuras 7 y 8 muestran una propuesta de diseño para el acondicionamiento acústico, utilizando los paneles descritos en la Tabla 6 y ubicándolos en las superficies indicadas. La distribución de estos paneles sigue un patrón que no interfiere con el uso principal del aula y, al mismo tiempo, se basa en la configuración propuesta por Arvidsson et al. (2021), en el cual se prioriza la integración de un techo absorbente en combinación con paneles acústicos en las paredes.

Figura 5

Tipología 1 y 3 estado inicial



Figura 6

Tipología 2,4 y 5 estado inicial



Figura 7

Tipología 1 y 3 con intervención acústica

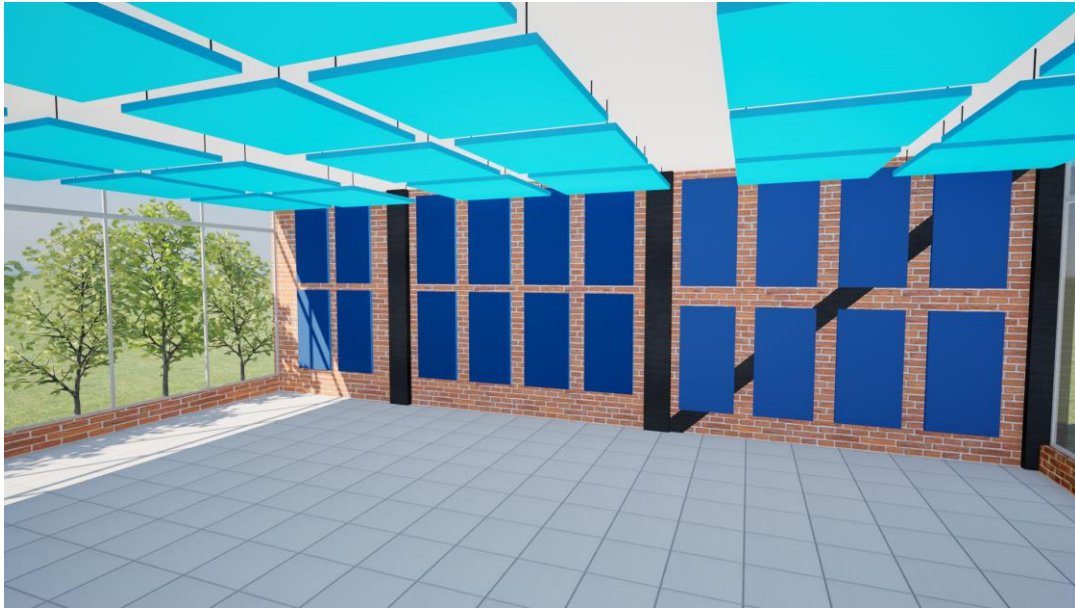
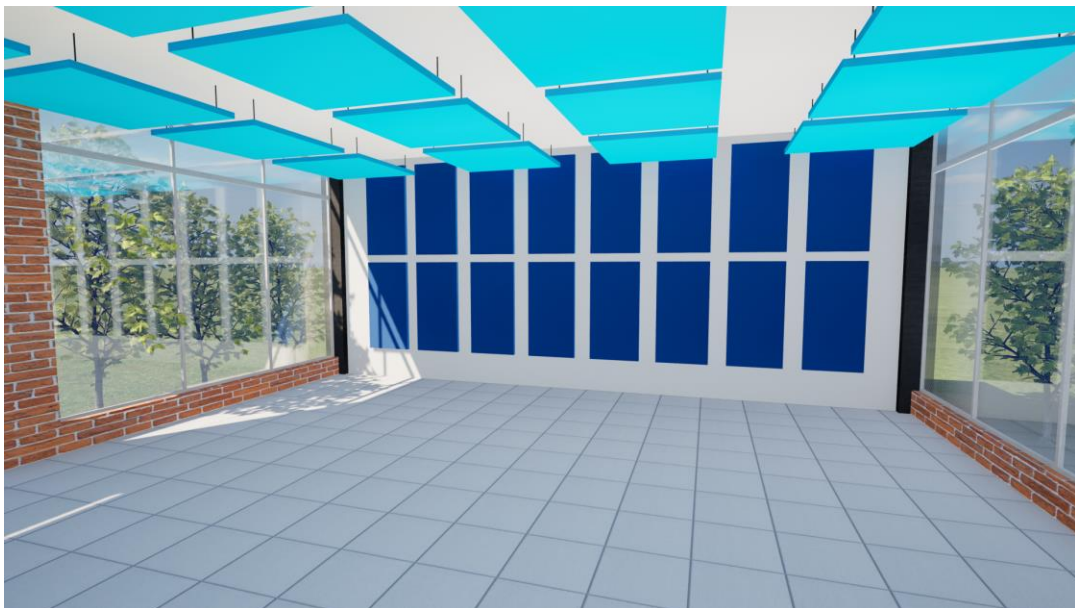


Figura 8

Tipología 2,4 y 5 con intervención acústica



Discusión

Discusión

La aplicación de materiales acústicos con alta capacidad de absorción en las aulas de la planta baja del Bloque C de la PUCE Sede Manabí contribuirá a optimizar el tiempo de reverberación, permitiendo alcanzar los estándares acústicos internacionales establecidos en las normativas ANSI S12.60, BB93 o NTC 4595. Según la teoría, la acústica de un espacio está determinada por factores como el volumen, los materiales de construcción y su correspondiente coeficiente de absorción. Se identificó que estos factores presentan volúmenes elevados y superficies altamente reflectantes, lo que ocasiona tiempos de reverberación prolongados. Sin embargo, el acondicionamiento con materiales acústicos permitió reducir significativamente el tiempo de reverberación, confirmando la hipótesis planteada.

De acuerdo con los objetivos específicos, se ha determinado que todas las tipologías de aulas exceden significativamente los límites establecidos por las normativas. Los valores de tiempo de reverberación oscilan entre 2.69 y 3.36 segundos, superando ampliamente los umbrales permitidos. Según la normativa ANSI S12.60, cuyo límite es de 0.6 segundos, las aulas lo sobrepasan hasta en un 5.6 veces. En el caso de la normativa BB93, con un límite de 0.8 segundos, el exceso alcanza hasta 4.2 veces. Finalmente, la normativa NTC 4595 establece un máximo de 1 segundo, pero las aulas lo superan hasta en un 3.4 veces.

Esta problemática se debe principalmente a la materialidad de los espacios, ya que las aulas están construidas con materiales altamente reflectantes, como el ladrillo, con un coeficiente de absorción de 0.04; el yeso, con 0.07 para paredes y 0.06 para techos; la cerámica, con 0.04; y el vidrio, también con 0.04. Como señala Chloé (2022), los materiales con coeficientes de absorción cercanos a 0 tienden a reflejar el sonido en lugar de absorberlo. Por lo tanto, la predominancia de

estos materiales en las aulas genera tiempos de reverberación elevados, afectando las condiciones acústicas. Cabe resaltar que las aulas de las tipologías 1 y 3 presentan un tiempo de reverberación más alto, lo que se debe al mayor volumen de estas aulas, además de los materiales reflectantes.

El estudio realizado en Colombia realizado por Palacio et, al (2023) también muestra que ninguna de las aulas que analizaron cumple con el tiempo de reverberación establecidos por la normativa ANSI S12.60. Esto se debe principalmente a la presencia de materiales reflectantes como el hormigón, cerámica y el vidrio, los cuales coinciden con las problemáticas observadas las aulas educativas de la PUCE Sede Manabí.

Los resultados de la investigación de Cajas y Gallegos (2017) en Quito, Ecuador, si bien se centra en la calidad acústica, demuestran que la mayoría de las aulas analizadas no cumple con una calidad acústica adecuada, con calificaciones que van de pobre a mala. De 40 aulas, solo 2 se encuentran en el rango “bueno”. Una de las causas de estos resultados coincide con la investigación actual, ya que los materiales de construcción no son los adecuados para el manejo de la acústica, como el uso de ventanas amplias, cerámica, y láminas de yeso en el techo. Esta coincidencia en los resultados se atribuye en parte a la falta de una normativa que regule la acústica en el Ecuador.

Dado que ninguna de las tipologías cumple con la normativa internacional, se diseñó una propuesta utilizando materiales acústicos de la empresa dBAS Materiales Acústicos (2022), que ofrece una gama amplia de paneles acústicos para paredes y techos. Se optó por los paneles dBAS Sorento para paredes y dBAS Imperia para techos, ya que tienen un mayor coeficiente de absorción siendo este de 0.95. Además, estos materiales fueron elegidos por su bajo espesor y facilidad de instalación, lo que los hace arquitectónicamente menos invasivos. La aplicación de estos materiales en cada tipología de aula resultó en una mejora considerable: la tipología 1 experimento

una reducción del 82% en el tiempo de reverberación, la tipología 2 un 78%, la tipología 3 un 82%, la tipología 4 un 80% y finalmente la tipología 5 un 78%.

En cuanto a la comparativa con las normativas internacionales, el 100% de las tipologías están se encuentran dentro de los límites establecidos. En la normativa BB93 y NTC 4595, todas las tipologías están por debajo del límite, mientras que en la normativa ANSI S12.60, solo las tipologías 2 y 3 están por debajo del límite, mientras que las tipologías 1,4 y 5 están al límite, pero aún cumple con el estándar.

En un estudio similar realizado por Palacio et. al (2023) se utilizó un acondicionamiento acústico mediante la instalación de un techo de placa de yeso con fibra de vidrio, cortinas y paneles acústicos con coeficientes de absorción de 0.73, 0.55 y 0.8, respectivamente, lo que permitió una reducción significativa del tiempo de reverberación. Sin embargo, a pesar del acondicionamiento, solo 2 aulas cumplieron con los estándares acústicos, lo que difiere de los resultados obtenidos en la PUCE Sede Manabí, donde el acondicionamiento con paneles acústicos permitió que todas las tipologías de aulas educativas cumplieran con los tiempos de reverberación establecidas en las normativas ANSI S12.60, BB93 y NTC 4595.

Esto se debe principalmente al coeficiente de absorción de los materiales empleados, los cuales presentan un valor de 0.95 tanto en el techo como en las paredes. Además, la intervención se centró exclusivamente en estos elementos, lo que resultó suficiente para alcanzar los estándares acústicos recomendados. Este enfoque es consistente con lo planteado por Arvidsson et al. (2021), quienes destacan la importancia de integrar un techo absorbente en conjunto con paneles acústicos en las paredes para lograr un alto nivel de absorción. No obstante, a diferencia del estudio de Palacio et al. (2023), en el cual se emplearon cortinas acústicas, estas no generan un impacto significativo en la reducción del tiempo de reverberación, ya que presentan un coeficiente de

absorción medio. Esto implica que no son altamente reflectantes, pero tampoco completamente absorbentes, por lo que su contribución a la mejora acústica resulta limitada, siendo que lo mismo abarcaría para los materiales empleados en el techo y paredes ya que si alcanzan valores absorbentes altos, pero no lo suficiente para acondicionar todas las aulas a los estándares acústicos recomendados. Del mismo modo, los materiales empleados en el techo y las paredes, si bien alcanzan valores de absorción elevados, no son lo suficientemente efectivos para acondicionar todas las aulas conforme a los estándares acústicos recomendados.

Conclusiones

A manera de conclusión, la investigación se realizó con el objetivo de proponer materiales acústicos de alta absorción para optimizar el tiempo de reverberación en las aulas del bloque C de la PUCE Sede Manabí (Campus Portoviejo), mediante el análisis de sus características arquitectónicas y la aplicación de la fórmula de Sabine, con el fin de alcanzar los estándares acústicos recomendados, tales como ANSI S12.60, BB93 o NTC4595.

En relación con el primer objetivo específico, se identificaron las diferentes tipologías arquitectónicas de las aulas de la PUCE Sede Manabí, a través de una visita de reconocimiento en la que se determinaron cinco tipologías en la planta baja del bloque C, considerando su volumen y la materialidad de sus superficies. Posteriormente, se realizó el cálculo del tiempo de reverberación de cada tipología mediante la fórmula de Sabine, obteniéndose valores entre 2.69 y 3.36 segundos.

En cuanto al segundo objetivo específico, basado en la comparación de los resultados obtenidos con las normativas internacionales, se evidencio que los tiempos de reverberación están muy por encima de los límites establecidos, llegando a superarlos hasta 5.6 veces. Este resultado permitió identificar que el principal factor de los elevados tiempos de reverberación es la

composición de la materialidad de los espacios en todas las tipologías analizadas, las cuales están conformadas por materiales altamente reflectantes, como el yeso, el ladrillo, la cerámica y las ventanas. Por tanto, se determinó que todas las tipologías de aulas requieren un acondicionamiento acústico.

Considerando las condiciones detectadas y en cumplimiento del tercer objetivo específico, se diseñó una propuesta de acondicionamiento acústico para todas las tipologías de aulas. en la cual se realizó la búsqueda de materiales acústicos de la empresa dBAS, donde se encontraron paneles acústicos con un coeficiente de absorción alto, y mediante el acondicionamiento de las aulas mediante estos paneles, se recalculó, encontrando que efectivamente el proponer el panel acústico en las tipologías de aulas educativas de la planta baja del bloque C de la PUCE Sede Manabí, redujo el tiempo de reverberación mejorando las condiciones acústicas de las aulas, alcanzando los estándares acústicos recomendados.

En síntesis, la investigación demostró que las aulas del bloque C de la PUCE Sede Manabí presentan tiempos de reverberación elevados debido al uso de materiales altamente reflectivos. Sin embargo, la implementación de paneles acústicos de alta absorción permitió reducir estos valores dentro de los límites establecidos por las normativas internacionales, mejorando la calidad acústica y el confort auditivo en los espacios educativos. Esto resalta la importancia del diseño acústico en la arquitectura de las aulas y su impacto en el confort auditivo y la inteligibilidad del habla, sentando las bases para futuras intervenciones y optimizaciones en entornos de aprendizaje.

Recomendaciones

La primera recomendación radica en la necesidad de regular las condiciones acústicas para su aplicación en el contexto local, dado que, en la presente investigación, se recurrió a normativas internacionales, debido a la ausencia de una normativa específica en el Ecuador. La

implementación de una normativa nacional permitirá considerar las condiciones acústicas desde la etapa de diseño y construcción de los espacios, promoviendo el uso de materiales con mayor coeficiente de absorción.

En línea con esta recomendación, se sugiere realizar un análisis en un mayor número de instituciones educativas en Ecuador, ya que es posible que muchas de ellas enfrenten condiciones acústicas inadecuadas. Este problema afecta directamente la inteligibilidad del habla, un aspecto esencial para garantizar la calidad de las actividades de enseñanza.

Asimismo, como estudio complementario a la presente investigación, se recomienda analizar el impacto del tiempo de reverberación en el rendimiento académico de los estudiantes. Para ello, se podrían realizar pruebas comparativas en aulas sin acondicionamiento acústico y en aulas que cuenten con un tratamiento acústico adecuado al uso.

Aunque los resultados obtenidos son coherentes considerando las condiciones impuestas por la materialidad y el volumen, es importante reconocer las limitaciones de la fórmula de Sabine. Esta metodología, si bien válida para el cálculo del tiempo de reverberación, se basa en un modelo cúbico homogéneo y supone que el sonido se distribuye de manera uniforme dentro del espacio, sin considerar la influencia de ruidos externos, la presencia de mobiliario ni las aberturas de ventanas, lo que puede afectar la precisión del cálculo. Además, su aplicación se limita a espacios con formas cúbicas o rectangulares, lo que restringe su uso en entornos con geometrías más complejas, como aquellas con configuraciones prismáticas. Asimismo, la fórmula no tiene en cuenta la ubicación específica de los materiales, ya que su cálculo se basa en el promedio de la absorción total de las superficies, proporcionando un valor aproximado en lugar de uno exacto.

Adicionalmente, la distribución de los paneles acústicos propuesta en este estudio representa solo una de las posibles soluciones para reducir el tiempo de reverberación. Dado que el cálculo se realiza bajo el supuesto de un volumen homogéneo y, aunque la distribución está respaldada por investigaciones previas, no es posible asegurar con certeza que esta sea la más eficiente. Podrían existir áreas vulnerables a la reverberación, como las ventanas y el piso, que no han sido completamente abordadas en el acondicionamiento

Esto sugiere que, aunque el método empleado resulta útil para la estimación del comportamiento acústico del espacio, la solución propuesta podría no ser completamente efectiva en la práctica. En este sentido, se recomienda llevar a cabo futuras investigaciones que empleen equipos especializados para medir el tiempo de reverberación en tiempo real y directamente en el sitio, lo que permitiría obtener datos más precisos.

No obstante, a pesar de estas limitaciones, los resultados evidencian deficiencias en las condiciones acústicas de las aulas educativas en la PUCE Sede Manabí. En este sentido, se recomienda llevar a cabo futuras investigaciones que empleen equipos especializados para medir el tiempo de reverberación en tiempo real y directamente en el sitio, lo que permitiría obtener datos más precisos. Como punto de partida, la presente investigación puede servir de referencia para el desarrollo de soluciones acústicas más efectivas y adaptadas a las características específicas de cada espacio.

Referencias Bibliográficas

Arvidsson, E., Nilsson, E., Bard-Hagberg, D., & Karlsson, O. J. I. (2021). Subjective experience of speech depending on the acoustic treatment in an ordinary room. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(23), 12274. <https://doi.org/10.3390/ijerph182312274>

Boschi, C. E. (2008). MÉTODO PARA MEDIR EL TIEMPO DE REVERBERACIÓN EN RECINTOS.
http://www1.frm.utn.edu.ar/laboratoriodeacustica/Metodo_experimental_para_medir_el_TR60.pdf

Cajas, N. y Gallegos, E. (2017). Evaluación de la calidad acústica en las aulas de las unidades educativas del milenio en la ciudad de Quito. [Trabajo de Fin de Grado, Universidad de las Américas (UDLA)].

Chen, Q. y Ou, D. (2021). The effects of classroom reverberation time and traffic noise on English listening comprehension of Chinese university students. *Applied Acoustics*, 179, 1-11.
<https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2021.108082>

Chloé. (26 de mayo de 2022). Guía para tratar la absorción acústica de los espacios [importancia, materiales y consejos]. Woodslines. <https://woodslines.com/es/guia-absorcion-acustica/>

dBAS Materiales Acústicos. (2 de mayo de 2022). *dBAS Materiales Acústicos*. dbas.com.ec. <https://dbas.com.ec/tienda/index.php>

Diasen. (12 de junio de 2023) Absorción acústica. Recuperado el 17 de diciembre de 2024, de [https://www.diasen.com/es/absorcion-acustica/#:~:text=El%20coeficiente % 20de % 20absorción % 20acústica % 20es %20un % 20índice % 20que % 20mide,%él % 20en % 20lugar % 20de % 20reflejarla.](https://www.diasen.com/es/absorcion-acustica/#:~:text=El%20coeficiente%20de%20absorci%C3%B3n%20ac%C3%BAstica%20es%20un%20%C3%ADndice%20que%20mide,%C3%A9l%20en%20lugar%20de%20reflejarla.)

Díaz, B. (2019). *Arquitectura y Sonido El Evento Sonoro Como Generador del Proyecto*. [Trabajo de Fin de Grado, Universidad Politécnica].

Duran, A., Rodríguez, D., Jimeno, M., Meléndez, A., Mendoza, D. y Palacios, W. (2021). Condiciones acústicas en las aulas de clase: Una revisión de la literatura. *Revista Investigación e Innovación en Ingenierías*, 9(2), 79-90. <http://dx.doi.org/10.17081/invinno.9.2.4908>

Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo, Uruguay (FADU). (27 de agosto, 2010). Coeficientes de absorción acústica 2010. Recuperado de <https://www.fadu.edu.uy/acondicionamiento-acustico/wp-content/blogs.dir/27/files/2012/02/Tablas-de-Absorcion.pdf>

Fuksman, C. (21 de enero de 2012). ¿Qué es el tiempo de reverberación y cómo influyen en él sus techos? Recuperado de <https://sonoflex.com.ar/que-es-el-tiempo-de-reverberacion-y-como-influye/>

Gobierno Autónomo Descentralizado (GAD) Municipal de Portoviejo. (2021). Plan Portoviejo 2035- La mejor ciudad para vivir del Ecuador

Instituto Nacional de Estadística y Censos. (2023). 201.279 personas más viven en Manabí. Recuperado de <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/institucional/201-279-personas-mas-viven-en-manabi/>

ISINAC. (2023). Absorción acústica, ¿qué es y cómo funciona? Recuperado de <https://isinac.com/es/absorcion-acustica-post/absorcion-acustica>

Laurià, A., Secchi, S., y Vessella, L. (2020). Acoustic comfort as a salutogenic resource in learning environments—A proposal for the design of a system to improve the acoustic quality of classrooms. *Sustainability*, 12(22), 9733. <https://doi.org/10.3390/su12229733>

Kuttruff, H. (2000). *Room acoustics* (4th ed.). CRC Press.

Miyara, F. (2006). Acústica y sistemas de sonido. UNR Editora (Universidad Nacional de Rosario).

Palacio, A., Antonio, M., y Maza, Y. (2023). Vista de Evaluación Teórica del Tiempo de Reverberación en una Aula de Enseñanza. Boletín de Innovación, Logística y Operaciones, BILO, 5(1). <https://revistascientificas.cuc.edu.co/bilo/article/view/4989/4912>

Real Academia Española. (23 de abril de 2024). Aula. En Diccionario de la lengua española (23.^a ed.). <https://dle.rae.es/superficie>

Real Academia Española. (16 de octubre del 2014). Superficie. En Diccionario de la lengua española (23.^a ed.). <https://dle.rae.es/superficie>

Real Academia Española. (16 de octubre del 2014). Volumen. En Diccionario de la lengua española (23.^a ed.). <https://dle.rae.es/volumen>

Savage, C. (2007). Classroom acoustics and intervention strategies to enhance the learning environment. [Disertación doctoral, Louisiana Tech University].

Secretaría de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación. (2023). Universidades y Escuelas Politécnicas - Matrículas. Recuperado de <https://siau.senescyt.gob.ec/universidades-y-escuelas-politecnicas-matriculas/>

Svantek. (3 de noviembre de 2022). El ruido en las escuelas. SVANTEK Academy. <https://svantek.com/es/academia/el-ruido-en-las-escuelas/>

Anexos

Tabla A1

Cálculo del tiempo de reverberación inicial de la tipología 1

TIPOLOGÍA 1						
Material	Superficie (S) (m ²)	Coefficiente de absorción (α)	S×α	Absorción Absoluta A=∑(S×α)	Volumen (m ³)	Tiempo de Reverberación T=0,161 ×V/A
Puerta (Madera)	2.25	0.09	0.20			
Ladrillo visto	53.95	0.04	2.16			
Ventana de vidrio 6 mm	39.80	0.04	1.59			
Cerámica con superficie lisa	68.04	0.02	1.36	9.79	204.12	3.36
Cielorraso de placas de yeso 13 mm + espacio aire	68.04	0.06	4.08			
Metal	3.9	0.10	0.39			

Tabla A2

Cálculo del tiempo de reverberación inicial de la tipología 2

TIPOLOGÍA 2						
Material	Superficie (S) (m ²)	Coefficiente de absorción (α)	S×α	Absorción Absoluta A=∑(S×α)	Volumen (m ³)	Tiempo de Reverberación T=0,161 ×V/A
Puerta (Madera)	2.25	0.09	0.20	8.79	149.10	2.73
Ladrillo visto	9.48	0.04	0.38			

Placas de yeso 13+100 mm de aire	40.02	0.07	2.80
Ventana de vidrio 6 mm	29.08	0.04	1.16
Cerámica con superficie lisa	51.08	0.02	1.02
Cielorraso de placas de yeso 13 mm + espacio aire	49.70	0.06	2.98
Metal	2.4	0.10	0.24

Tabla A3

Cálculo del tiempo de reverberación inicial de la tipología 3

TIPOLOGÍA 3						
Materiales	Superficie (S) (m²)	Coefficiente de absorción (α)	S$\times$$\alpha$	Absorción Absoluta $A=\sum$ (S$\times$$\alpha$)	Volume n (m³)	Tiempo de Reverberación $T=0,161 \times V/A$
Puerta (Madera)	2.25	0.09	0.20			
Ladrillo visto	32.80	0.04	1.31			
Placas de yeso 13+100 mm de aire	20.45	0.07	1.43			
Ventana de vidrio 6 mm	39.80	0.04	1.59	9.99	204.12	3.29
Cerámica con superficie lisa	68.75	0.02	1.37			
Cielorraso de placas de yeso 13 mm + espacio aire	68.04	0.06	4.08			

Metal	3.9	0.10	0.39
-------	-----	------	------

Tabla A4

Cálculo del tiempo de reverberación inicial de la tipología 4

TIPOLOGÍA 4						
Materiales	Superficie (S) (m²)	Coefficiente de absorción (α)	S×α	Absorción Absoluta A=∑ (S×α)	Volumen (m³)	Tiempo de Reverberación T=0,161 ×V/A
Puerta (Madera)	2.25	0.09	0.20			
Ladrillo visto	30.65	0.04	1.23			
Placas de yeso 13+100 mm de aire	20.16	0.07	1.41			
Ventana de vidrio 6 mm	29.35	0.04	1.17	8.33	152.30	2.94
Cerámica con superficie lisa	51.46	0.02	1.03			
Cielorraso de placas de yeso 13 mm + espacio aire	50.77	0.06	3.05			
Metal	2.4	0.10	0.24			

Tabla A5

Cálculo del tiempo de reverberación inicial de la tipología 5

TIPOLOGÍA 5						
Materiales	Superficie (S) (m²)	Coefficiente de absorción (α)	S×α	Absorción Absoluta A=∑ (S×α)	Volumen (m³)	Tiempo de Reverberación T=0,161 ×V/A
Puerta (Madera)	2.25	0.09	0.20			
Ladrillo visto	9.80	0.04	0.39			
Placas de yeso 13+100 mm de aire	40.31	0.07	2.82	8.92	152.30	2.69

Ventana de vidrio 6 mm	29.35	0.04	1.17
Cerámica con superficie lisa	52.16	0.02	1.04
Cielorraso de placas de yeso 13 mm + espacio aire	50.77	0.06	3.05
Metal	2.4	0.10	0.24

Tabla A6

Cálculo del tiempo de reverberación con el acondicionamiento de la tipología 1

TIPOLOGÍA 1						
Materiales	Superficie (S) (m²)	Coefficiente de absorción (α)	S×α	Absorción Absoluta A=∑ (S×α)	Volume n (m³)	Tiempo de Reverberación T=0,161 ×V/A
Puerta (Madera)	2.25	0.09	0.20			
Ladrillo visto	38.11	0.04	1.52			
Ventana de vidrio 6 mm	39.80	0.04	1.59			
Cerámica con superficie lisa	68.04	0.02	1.36	54.96	204.12	0.60
Cielorraso de placas de yeso 13 mm + espacio aire	33.48	0.06	2.01			
Paneles acústicos	34.56	0.95	32.83			

Absorbentes Imperia Paneles acústicos	15.84	0.95	15.05
Absorbentes Sorento Metal	3.9	0.10	0.39

Tabla A7

Cálculo del tiempo de reverberación con el acondicionamiento de la tipología 2

TIPOLOGÍA 2						
Materiales	Superficie (S) (m²)	Coefficiente de absorción (α)	S$\times$$\alpha$	Absorción Absoluta A=\sum(S$\times$$\alpha$)	Volume n (m³)	Tiempo de Reverberación T=0,161 \times V/A
Puerta (Madera)	2.25	0.09	0.20			
Ladrillo visto	9.48	0.04	0.38			
Placas de yeso 13+100 mm de aire	27.06	0.07	1.89			
Ventana de vidrio 6 mm	29.08	0.04	1.16			
Cerámica con superficie lisa	51.08	0.02	1.02			
Cielorraso de placas de yeso 13 mm + espacio aire	26.66	0.06	1.60	40.70	149.10	0.59
Paneles acústicos	23.04	0.95	21.89			
Absorbentes Imperia Paneles acústicos	12.96	0.95	12.31			
Absorbentes Sorento Metal	2.4	0.10	0.24			

Tabla A8

Cálculo del tiempo de reverberación con el acondicionamiento de la tipología 3

TIPOLOGÍA 3						
Materiales	Superficie (S) (m²)	Coefficiente de absorción (α)	S×α	Absorción Absoluta A=∑(S×α)	Volumen n(m³)	Tiempo de Reverberación T=0,161 ×V/A
Puerta (Madera)	2.25	0.09	0.20			
Ladrillo visto	15.52	0.04	0.62			
Placas de yeso 13+100 mm de aire	20.45	0.07	1.43			
Ventana de vidrio 6 mm	39.80	0.04	1.59			
Cerámica con superficie lisa	68.75	0.02	1.37			
Cielorraso de placas de yeso 13 mm + espacio aire	33.48	0.06	2.01	56.87	204.12	0.58
Paneles acústicos Absorbentes Imperia	34.56	0.95	32.83			
Paneles acústicos Absorbentes Sorento	17.28	0.95	16.42			
Metal	3.9	0.10	0.39			

Tabla A9

Cálculo del tiempo de reverberación con el acondicionamiento de la tipología 4

TIPOLOGÍA 4						
Materiales	Superficie (S) (m²)	Coefficiente de absorción (α)	S×α	Absorción Absoluta A=∑(S×α)	Volumen	Tiempo de Reverberación T=0,161 ×V/A

Puerta (Madera)	2.25	0.09	0.20	40.63	152.30	0.60
Ladrillo visto	17.69	0.04	0.71			
Placas de yeso 13+100 mm de aire	20.16	0.07	1.41			
Ventana de vidrio 6 mm	29.35	0.04	1.17			
Cerámica con superficie lisa	51.46	0.02	1.03			
Cielorraso de placas de yeso 13 mm + espacio aire	27.73	0.06	1.66			
Paneles acústicos Absorbentes Imperia	23.04	0.95	21.89			
Paneles acústicos Absorbentes Sorento	12.96	0.95	12.31			
Metal	2.4	0.10	0.24			

Tabla A10

Cálculo del tiempo de reverberación con el acondicionamiento de la tipología 5

TIPOLOGÍA 5						
Materiales	Superficie (S) (m ²)	Coefficiente de absorción (α)	S×α	Absorción Absoluta $A=\sum (S\times\alpha)$	Volumen	Tiempo de Reverberación $T=0,161 \times V/A$
Puerta (Madera)	2.25	0.09	0.20			
Ladrillo visto	9.80	0.04	0.39			
Placas de yeso 13+100 mm de aire	27.35	0.07	1.91	40.83	152.30	0.60

Ventana de vidrio 6 mm	29.35	0.04	1.17
Cerámica con superficie lisa	52.16	0.02	1.04
Cielorraso de placas de yeso 13 mm + espacio aire	27.73	0.06	1.66
Paneles acústicos Absorbentes Imperia	23.04	0.95	21.89
Paneles acústicos Absorbentes Sorento	12.96	0.95	12.31
Metal	2.4	0.10	0.24