



**Pontificia Universidad
Católica del Ecuador**

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

TRABAJO DE TITULACIÓN

**OPTIMIZACIÓN ACÚSTICA DE OFICINAS DEL PERSONAL DOCENTE 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
ARQUITECTA**

AUTORA

GABRIELA ALEJANDRA MOGROVEJO RUIZ

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 al primer día 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 al primer día del mes de abril de dos mil veinte y cinco.

Arq. Aimee del Rocío Delgado Cruz
C.C. 1105632358
Lectora Revisora

Arq. Paul Alejandro Intriago Solorzano
C.C. 1310398274
Lector Revisor

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 al primer día del mes de abril de dos mil veinte y cinco.

Gabriela Alejandra Mogrovejo Ruiz

C.C. 1351422355

Autora

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 al primer día del mes de abril de dos mil veinte y cinco.

Gabriela Alejandra Mogrovejo Ruiz

C.C. 1351422355

Autora

DEDICATORIA

A Dios, por ser la luz que guía mi camino permitirme haber llegado tan lejos.

A mi querida familia por ser mi refugio y mi impulso, por siempre estar siempre presentes con sus palabras de aliento y su apoyo incondicional, y siempre ayudarme en las noches más difíciles.

A mi pareja y amigos, por la paciencia en los días de estrés y las palabras de aliento que me recordaron por qué sigo adelante y ayudarme siempre que lo necesito, por sacarme una risa cuando más lo necesitaba y por ofrecer un hombro cuando parecía que ya no daba más.

A esos profesores que alimentaron mi curiosidad, y que, también cuando el miedo al futuro me hizo dudar, supieron darme las palabras justas para devolverme la confianza. Gracias por ayudarme a reconsiderar mi camino y hacerme ver la arquitectura desde una nueva perspectiva.

A todo quienes soñaron conmigo este logro, incluso antes de que fuera una realidad.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por ser la luz que guía mi camino y la fuerza que me sostuvo en cada desafío y por recordarme que todo esfuerzo tiene su recompensa

A mis padres Nuvia y Fabricio, por todo su amor, apoyo y esfuerzo, y a mi hermana Dany por tus abrazos en la noche para que siga adelante y ayudarme siempre a hacer árboles para las maquetas.

A mi madrina Doris por ser una guía a lo largo de todo el proceso de la carrera.

A mis profesores de la carrera de Arquitectura que me hicieron recordar la pasión que me da diseñar y por todo su conocimiento entregado, especialmente a mi tutor el Arq. Jorge Cevallos, a la Arq. Patricia Vargas y al Arq. Santiago Granda por su gran apoyo e inspiración.

A mis amigos de la facultad Ramón Cedeño, Geovanny Ramírez y Emily Mendoza que sin su amistad incondicional durante estos cinco años no hubiera sobrellevado cada entrega, especialmente a Ramoncito por ser un gran pilar en mi vida y mi dupla infalible en taller.

A mis amigos fuera de la facultad, como Angie, Jamie, José y Rosa por su apoyo y compañía en esta etapa de mi vida.

A mi pareja, por la paciencia en los días de estrés y las palabras de aliento que me recordaron por qué sigo adelante.

Y a todas las personas especiales que forman parte de mi vida y me han ayudado a salir adelante y estuvieron siempre para mí.

Resumen

El presente estudio investiga la influencia de los materiales en las superficies de oficinas sobre el tiempo de reverberación (T60) en una universidad privada en su campus en Manta, Ecuador. La contaminación acústica en estos espacios impacta negativamente en el bienestar de los empleados donde la exposición prolongada al ruido reduce la concentración y el rendimiento laboral, evidenciando la necesidad de optimizar la acústica en estos espacios. A pesar de la disponibilidad de diversos materiales acústicos, persistía la necesidad de comprender cómo los materiales específicos contribuyen a la reverberación y cómo estos efectos pueden gestionarse para crear entornos acústicos óptimos como hipótesis. Para esto, se empleó una metodología del tipo descriptiva donde se analizaron seis tipologías de oficinas, calculando el T60 inicial mediante la fórmula de Sabine. Este enfoque reveló el incumplimiento de la normativa UNEN-ISO 22955 como indicador clave. Posteriormente, se propuso la sustitución de materiales por alternativas absorbentes, como alfombras, cielorrasos y paneles acústicos, recalculando el T60 para demostrar su reducción a valores normativos (<0.5 s). Los resultados confirman que los materiales de las superficies influyen en el tiempo de reverberación, donde las superficies con mayor recubrimiento de materiales con coeficiente de absorción alta ayudan a bajar el T60. Se concluye que la selección adecuada de materiales mejora la percepción del habla y el confort acústico, proporcionando una guía práctica para futuras intervenciones en espacios de oficina.

Palabras clave: Tiempo de reverberación, acondicionamiento acústico, coeficiente de absorción, oficinas, fórmula de Sabine.

Abstract

This study investigates the influence of office surface materials on the reverberation time (T60) at a private university campus in Manta, Ecuador. Acoustic pollution in these spaces negatively impacts employee well being, where prolonged exposure to noise reduces concentration and work performance, highlighting the need to optimize acoustics in these spaces. Despite the availability of various acoustic materials, there was a need to understand how specific materials contribute to reverberation and how these effects can be managed to create optimal acoustic environments as a hypothesis. For this, a descriptive methodology was employed, analyzing six office typologies and calculating the initial T60 using the Sabine formula. This approach revealed non-compliance with the UNEN-ISO 22955 standard as a key indicator. Subsequently, the replacement of materials with absorbent alternatives, such as carpets, ceilings, and acoustic panels, was proposed, recalculating the T60 to demonstrate its reduction to normative values (<0.5 s). The results confirm that surface materials influence reverberation time, where surfaces with higher coverage of materials with high absorption coefficients help lower the T60. It is concluded that the appropriate selection of materials improves speech perception and acoustic comfort, providing a practical guide for future interventions in office spaces.

Keywords: Reverberation time, acoustic conditioning, absorption coefficient, offices, Sabine formula.

Tabla de Contenidos

Introducción	1
Planteamiento.....	1
Problema General.....	3
Hipótesis Central.....	4
Justificación	4
Estado de la cuestión.....	5
Formulación	8
Problema Especifico	8
Preguntas de Investigación	8
Marco Teórico.....	9
Objetivos.....	12
Hipótesis	13
Métodos.....	13
Diseño del Objeto	13
Tipo de Investigación.....	13
Modelo de Análisis	13
Unidad de Análisis	14
Variables y Dimensiones	14

Fuentes de Datos (Recolección).....	14
Diseño de los Procedimientos.....	15
Campo de Análisis	15
Unidad de Observación.....	16
Técnicas (Análisis).....	24
Instrumentos y Recursos	25
Indicadores	25
Resultados	26
Recolección y Procesamiento	26
Presentación de Resultados.....	26
Tratamiento y Análisis.....	29
Análisis de Resultados	29
Discusión.....	39
Discusión.....	39
Conclusiones y Recomendaciones	43
Conclusiones	43
Recomendaciones	45
Referencias Bibliográficas	47
Anexos	51

Índice de Figuras

Figura 1 <i>Ubicación general de las oficinas de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador- sede Manabí. Campus Manta</i>	16
Figura 2 <i>Oficina para Docentes de Tiempo Parcial tipo Abierta</i>	17
Figura 3 <i>Espacio de la oficina para Docentes de Tiempo Parcial tipo Abierta</i>	17
Figura 4 <i>Oficina para Docentes Permanentes- Cubículos Tipo 1</i>	18
Figura 5 <i>Espacio de oficina para Docentes Permanentes- Cubículos Tipo 1</i>	18
Figura 6 <i>Oficina para Docentes Permanentes- Cubículos Tipo 2</i>	19
Figura 7 <i>Espacio de la oficina para Docentes Permanentes- Cubículos Tipo 2</i>	20
Figura 8 <i>Oficina para Docentes Permanentes- Cubículos Tipo 3</i>	21
Figura 9 <i>Espacio de la Oficina para Docentes Permanentes- Cubículos Tipo 3</i>	21
Figura 10 <i>Oficina para Docentes Permanentes- Cubículos Tipo 4</i>	22
Figura 11 <i>Espacio de la Oficina para Docentes Permanentes- Cubículos Tipo 4</i>	22
Figura 12 <i>Oficina para Docentes Permanentes- Cubículos Tipo 5</i>	23
Figura 13 <i>Espacio de la Oficina para Docentes Permanentes- Cubículos Tipo 5</i>	24
Figura 14 <i>Ubicación de las oficinas por planta dentro del edificio</i>	27
Figura 15 <i>Representación gráfica de resultados obtenidos con materialidad inicial</i>	30
Figura 16 <i>Representación gráfica de los resultados obtenidos con la normativa ISO 22955</i>	31
Figura 17 <i>Resultados del cálculo de tiempo de reverberación con la materialidad modificada</i>	34
Figura 18 <i>Comparación gráfica entre tipologías por modificaciones con la normativa ISO 22955</i>	35

Figura 19 <i>Representación arquitectónica de la propuesta de acondicionamiento acústico en tipología 1</i>	36
Figura 20 <i>Representación arquitectónica de la propuesta de acondicionamiento acústico en tipología 2</i>	37
Figura 21 <i>Representación arquitectónica de la propuesta de acondicionamiento acústico en tipología 3</i>	37
Figura 22 <i>Representación arquitectónica de la propuesta de acondicionamiento acústico en tipología 4</i>	38
Figura 23 <i>Representación arquitectónica de la propuesta de acondicionamiento acústico en tipología 5</i>	38
Figura 24 <i>Representación arquitectónica de la propuesta de acondicionamiento acústico en tipología 6</i>	39

Índice de Tablas

Tabla 1 <i>Valores referenciales para los espacios de oficina</i>	26
Tabla 2 <i>Clasificación de las tipologías</i>	28
Tabla 3 <i>Resultados del cálculo de tiempo de reverberación con la materialidad inicial</i>	30
Tabla 4 <i>Comparación del tiempo de reverberación con materialidad inicial con la normativa ISO 22955</i>	31
Tabla 5 <i>Opciones para el reemplazo de la materialidad</i>	32
Tabla 6 <i>Elección del reemplazo de la materialidad para el acondicionamiento acústico</i>	33
Tabla 7 <i>Resultados del cálculo de tiempo de reverberación con la materialidad modificada</i>	34
Tabla 8 <i>Comparación del tiempo de reverberación con modificaciones con la normativa ISO 22955</i>	35

Introducción

En los últimos años, ha crecido el interés de los arquitectos por abordar problemáticas relacionadas con las condiciones el interior de las oficinas. Diversos estudios han demostrado como el diseño moderno del espacio trabajo, con la estandarización de los ambientes, así como el uso de sistemas de iluminación, calefacción, ventilación y aire acondicionado, prioriza los objetivos empresariales por encima del bienestar de los empleados. Esta situación ha derivado, a problemáticas como el deterioro de la salud mental debido al ruido y la mala calidad del aire (Arbitó y Contreras, 2022).

Como consecuencia, la contaminación acústica en entornos de oficina se ha convertido en una preocupación creciente, debido a sus impactos negativos en la salud y el rendimiento de los empleados. Si bien la importancia de la acústica en ambientes cerrados es ampliamente reconocida, existe una limitada investigación enfocada en el análisis del tiempo de reverberación en espacios laborales. A pesar de la existencia de directrices y recomendaciones dentro de las normativas internacionales vigentes y a la literatura especializada, muchas de estas resultan incompletas o poco claras. Esto se debe a que provienen de diversas disciplinas y carece de una aplicación integral en el diseño arquitectónico.

En respuesta a esta brecha, el presente estudio se propone investigar de qué manera los materiales utilizados en las superficies de las áreas de oficina influyen en la acústica y en el tiempo de reverberación, buscando comprender cómo la elección y disposición de materiales impactan la calidad acústica del espacio y, en última instancia, el bienestar de los usuarios.

Planteamiento

En relación con este tema, la acústica en ambientes cerrados como oficinas es fundamental para crear un ambiente de trabajo favorable; sin embargo, se encontraron pocos estudios que han

abordado el análisis del tiempo de reverberación en estas oficinas dentro del contexto ecuatoriano. El tiempo de reverberación es un factor clave a considerar, ya que afecta la claridad del sonido y la capacidad de concentración de los usuarios y del personal académico.

El tiempo de reverberación (RT60) es un parámetro acústico que mide el tiempo que tarda un sonido en decaer 60 dB después de que se detiene la fuente de sonido. Este tiempo es crucial para determinar la calidad acústica de la sala, ya que afecta directamente a la inteligibilidad del habla y a la percepción general del entorno sonoro (Fernández, 2017).

En oficinas, un tiempo de reverberación adecuado es esencial para facilitar la comunicación efectiva y reducir el estrés asociado al ruido ambiental. Cada tipo de oficina, como las de planta abierta o compartimentadas, presenta distintos desafíos acústicos. Las oficinas abiertas, por ejemplo, tienden a tener mayores tiempos de reverberación debido a la falta de superficies que absorban el sonido, lo que puede resultar en distracciones y reducción de la privacidad acústica (Nowoświat, 2023).

Las oficinas modernas al ser espacios abiertos y multifuncionales, el confort acústico juega un papel vital en la productividad y bienestar de los empleados. Estudios han mostrado que un tiempo de reverberación demasiado largo puede dificultar la comprensión del discurso y contribuir a un ambiente ruidoso y caótico (Hernández, 1998). Por otro lado, un tiempo demasiado corto puede hacer que el espacio suene estéril e incómodo.

Valladares, (2012) indica que “La configuración de los espacios de oficina, incluyendo el tipo de materiales utilizados, tiene un impacto significativo en el tiempo de reverberación. Las oficinas equipadas con elementos como alfombras, cortinas y muebles tapizados tienden a tener tiempos de reverberación más bajos, lo cual es beneficioso para la comunicación”. Además, se ha

demostrado que el diseño interior puede ser ajustado mediante simulaciones acústicas para optimizar estos parámetros antes de la construcción o renovación.

Por otra parte, se necesitará evaluar las conformidades acústicas. La fórmula de Sabine no solo proporciona un método para estimar el tiempo de reverberación, sino que también es un punto de partida para realizar intervenciones acústicas en espacios (Narváez et al., 2022).

Problema General

La contaminación acústica en entornos de oficina se ha convertido en una preocupación creciente debido a sus impactos negativos en la salud y el bienestar de los empleados. Este fenómeno se refiere al exceso de ruido que altera las condiciones normales del ambiente laboral, afectando tanto la productividad como la calidad de vida de los trabajadores. La exposición prolongada a niveles elevados de ruido puede generar diversos problemas de salud, entre ellos estrés, ansiedad y trastornos del sueño (Organización Internacional del Trabajo, 2023).

No obstante, el ruido constante incrementa los niveles de estrés, lo que a su vez puede llevar derivar en ansiedad y depresión. Además, la contaminación acústica es una causa frecuente de insomnio, afectando la recuperación y el rendimiento diario de los trabajadores. Su impacto no se limita a la salud física y mental, sino que; también influye directamente en la productividad laboral. Los empleados que trabajan en ambientes ruidosos suelen presentar dificultades para concentrarse, ya que la presencia de ruidos distractores interfiere con su capacidad de atención.

En este contexto, los materiales utilizados en las superficies de los espacios de trabajo influyen significativamente en las propiedades acústicas de la sala, especialmente en el tiempo de reverberación. A pesar de la disponibilidad de diversos materiales acústicos, persiste la necesidad de una comprensión de cómo los materiales específicos de la superficie de las paredes contribuyen

a la reverberación y cómo estos efectos pueden gestionarse para crear entornos acústicos óptimos. Por lo tanto, se necesita investigación para averiguar la relación entre las propiedades del material de las paredes, el tiempo de reverberación y el impacto resultante en la percepción del habla y el confort acústico general dentro de diversos espacios interiores.

Hipótesis Central

¿De qué manera los materiales utilizados en las superficies de las áreas de oficina influyen en el tiempo de reverberación?

Justificación

Las investigaciones sobre el tiempo de reverberación en oficinas universitarias en Ecuador son fundamentales para diseñar espacios que se adapten a las necesidades de sus ocupantes, sin embargo, la bibliografía en este contexto es limitada, lo que dificulta la toma de decisiones informadas en el diseño y acondicionamiento acústico de los espacios.

En este sentido, la importancia del estudio radica en la necesidad de optimizar las condiciones acústicas de las oficinas universitarias. Según Miyara (2006), el tiempo de reverberación aumenta sino se consideran los materiales absorbentes adecuados para cada espacio. Para analizar este fenómeno, la fórmula de Sabine se presenta como una herramienta clave que permite evaluar y cumplir con los estándares acústicos recomendados.

Diversos estudios han demostrado que las condiciones acústicas influyen no solo en funcionalidad del espacio, sino también el bienestar psicológico de los trabajadores. Por ejemplo, se ha encontrado que ambientes con tiempos de reverberación bien controlados pueden reducir la fatiga auditiva y mejorar la concentración (Cárdenas y Correa, 2012).

De acuerdo con normativas la NBE-CA-82, se establece que el tiempo de reverberación óptimo para oficinas debe estar entre 0.5 y 1.1 segundos. Estas recomendaciones están basadas en estudios que indican que este rango favorece tanto la claridad del habla como el confort general dentro del espacio laboral (Hernández, A. 1998).

En estos entornos universitarios, el tiempo de reverberación puede aumentar debido a la ausencia de materiales absorbentes en superficies como techos, paredes y suelos, lo que provoca que la persistencia del sonido afecte negativamente la inteligibilidad del habla, incrementando la distracción en el entorno ambiente laboral.

En el contexto ecuatoriano, y específicamente en la institución donde se desarrollará el estudio, este enfoque adquiere una relevancia particular debido al crecimiento y diversificación de las actividades académicas, así como a la necesidad de mejorar las condiciones acústicas en los espacios de trabajo destinados para docentes y personal administrativo. A partir de estos antecedentes, se justifica la presente investigación.

Estado de la cuestión

A nivel internacional, Nowoświat y Olechowska (2016) realizaron una investigación en países nórdicos en los que analizaron diseños acústicos para oficinas y sus requerimientos. En este estudio, se encontró que la acústica en oficinas abiertas ha sido objeto de regulación en los países nórdicos durante varios años, debido a su importancia en el desarrollo social dentro de espacios cerrados, especialmente en entornos académicos y laborales donde resulta fundamental garantizar una adecuada comprensión del discurso.

En el análisis de investigaciones previas, Arroyo y Méndez (2018), resaltan la importancia de estudiar los materiales en espacios experimentales, lo que permite evaluar su impacto en la

acústica y el comportamiento de los revestimientos utilizados para optimizar el diseño y materialidad de los espacios. Asimismo, señalan que es crucial garantizar que el tiempo de reverberación sea el adecuado. Según estos autores, las fibras naturales, como la caña de azúcar representan una alternativa eficiente para la transferencia acústica, además de ser una opción económica, en comparación con otros materiales convencionales. En su estudio, destacan que la caña de azúcar es una “alternativa amigable con el medio ambiente que sustituya a materiales acústicos que se encuentre en el mercado.” (p. 5), al contribuir a la reducción del tiempo de reverberación en espacios cerrados.

Por su parte Yahya y Vui (2017) identificaron que la energía acústica puede penetrar fácilmente en materiales porosos, permitiendo que las frecuencias más bajas atraviesen materiales porosos con facilidad con menor resistencia. Esto, es crucial para comprender como influye fenómenos como la absorción y transmisión de sonidos en el diseño acústico.

En caso de oficinas abiertas, también conocidas como "open-plan offices" (OPOs), se presentan tiempos de reverberación elevados. Este tipo de diseño suele generar problemas acústicos, ya que el sonido se propaga sin obstrucciones, lo que afecta negativamente la calidad acústica del espacio (Yadav et al., 2021).

En este contexto, Valentina et al. (2021) analizaron el efecto del tiempo de reverberación en la privacidad y el confort dentro de las oficinas diseñadas bajo el concepto de open-plan office. Su estudio identificó que la falta de privacidad es una de las principales problemáticas en estos espacios laborales. Para mitigar este problema, proponen el uso del enmascaramiento del sonido a través de materiales que regulen el tiempo de reverberación. Cuando un espacio no cuenta con las propiedades acústicas adecuadas, se dificulta la inteligibilidad del habla y, por ende, la comunicación efectiva de los trabajadores.

Esta investigación se centró en analizar la relación entre el tiempo que tarda un sonido en disiparse en un espacio (reverberación) y la facilidad para comprender el habla. Los datos obtenidos de manera objetiva sugieren que, a mayor reverberación, menor es la capacidad del enmascarador para ocultar sonidos. Sin embargo, las evaluaciones subjetivas indican un resultado opuesto: cuanto mayor es el tiempo de reverberación, más eficaz es el enmascarador. Para profundizar en esta cuestión, los autores (Valentina et al., 2021) proponen estudiar la percepción de los trabajadores respecto al uso de enmascaradores acústicos en sus oficinas.

Por otra parte, Keränen et.al (2020) señalan que los materiales con bajos coeficientes de absorción acústica contribuyen a tiempos de reverberación más prolongados en espacios cerrados. Científicamente, este fenómeno se produce porque las superficies con baja absorción reflejan una parte importante de la energía sonora incidente de regreso a la habitación. En consecuencia, cuando prevalecen materiales como el hormigón sin tratar, el vidrio o el yeso duro, que normalmente presentan coeficientes de absorción bajos ($\alpha < 0,2$) en todo el rango de frecuencia audible, las ondas sonoras persisten durante períodos prolongados debido a reflexiones repetidas (Everest y Pohlmann, 2009). Estos efectos están respaldados por numerosos estudios que cuantifican la relación entre las propiedades del material de la superficie y los parámetros acústicos de la sala, destacando la importancia de considerar la absorción del sonido en el diseño arquitectónico (Long, 2014).

Consecuentemente, es relevante considerar las recomendaciones de Arvidsso et.al (2021) para realizar acondicionamientos acústicos quienes destacan que “el techo acústico es un buen punto de partida, que afecta varios parámetros acústicos de la habitación”. Esto implica que el techo es el elemento principal utilizado para controlar la acústica de la habitación, por lo que se debería priorizar la aplicación de materiales absorbentes para reducir el tiempo de reverberación.

Formulación

Problema Especifico

De acuerdo con los antecedentes mencionados, en las oficinas de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador campus Manta, el tiempo de reverberación a menudo no cumple con los estándares acústicos establecidos, lo que puede afectar negativamente en la comunicación y la capacidad de concentración de los usuarios. Esta problemática surge principalmente por la falta de un análisis exhaustivo del tiempo de reverberación y los materiales empleados en estos espacios, los cuales presentan una baja absorción del ruido. Una acústica inadecuada puede generar un entorno poco propicio para el trabajo, impactando la productividad y el bienestar de los ocupantes.

Por lo tanto, es fundamental realizar un análisis detallado de los tiempos de reverberación en estas oficinas, con un enfoque en la materialidad y su coeficiente de absorción. En este estudio, se empleará la fórmula de Sabine con el fin de evaluar la conformidad de estos espacios con las normativas acústicas vigentes. Este diagnóstico permitirá identificar áreas laborales específicas que requieren mejoras en el ambiente acústico universitario, contribuyendo así a la optimización de las condiciones de trabajo.

En contexto, la presente investigación tiene como objetivo analizar estos aspectos en una institución universitaria en Manta, Ecuador, utilizando la fórmula de Sabine como herramienta matemática de referencia para el cálculo del tiempo de reverberación, y que se complemente con la bibliografía especializada.

Preguntas de Investigación

¿Cuáles son las tipologías de oficinas dentro del entorno universitario, según su volumen y materialidad?

¿En qué medida se diferencian las condiciones acústicas actuales de las oficinas universitarias respecto a las normativas acústicas recomendadas? ¿Se están cumpliendo los estándares de tiempo de reverberación y niveles de ruido?

Marco Teórico

Para el desarrollo del marco teórico de la presente investigación es fundamental comprender conceptos básicos relacionados con la acústica, con el fin de abordar los problemas de ruido y reverberación. Para ello, se presenta una revisión bibliográfica que respaldan las siguientes conceptualizaciones.

El sonido, según Carrión (1998), se propaga a través del aire, un medio elástico y denso, mediante vibraciones que generan una sensación audible. Este fenómeno se asocia con un estímulo físico, es decir, una sensación auditiva producida por una vibración mecánica que se transmite a través de un medio elástico y denso. Por otro lado, el ruido se define como cualquier sonido percibido como indeseado o molesto, lo que puede generar efectos perjudiciales para el receptor.

Si bien esta definición tiene un componente subjetivo, Figueras (2009) señala que este aspecto se considera al establecer límites sonoros en un ambiente determinado, tomando en cuenta lo que se percibe como aceptable y lo que podría resultar dañino, indicando la importancia de evaluar la percepción al definir estándares acústicos.

En cuanto a los fenómenos acústicos dimensionales, la reverberación es un fenómeno de reflexión que ocurre en un recinto cuando una onda sonora incide contra las superficies como paredes, suelo y techo. El conjunto de estas reflexiones conforma el campo reverberante. El tiempo de reverberación, como indica Carrión (1998), es el parámetro que permite cuantificar el grado de reverberación de una sala.

Guzmán (2019) destaca que, cuando se requiere un adecuado acondicionamiento acústico, es necesario utilizar materiales absorbentes, ya que su estructura granular y fibrosa permite una absorción de ondas sonoras. A mayor porosidad, mayor será la absorción de las frecuencias sonoras."

A partir de lo anterior, es importante señalar la relevancia de Sabine en esta investigación. Su aporte pionero en la acústica de recintos revolucionó la comprensión del sonido y su interacción con el entorno, estableciendo principios fundamentales que permiten entender cómo las características físicas de un espacio afectan la propagación del sonido.

Grinn (1978), en su obra *Architectural Acoustics* constituye un referente clave en el estudio teórico de la acústica en la arquitectura. En esta publicación, el autor analiza el tiempo de reverberación y señala que, la fórmula de Sabine incluye aspectos como la geometría acústica, estableciendo la relación entre el sonido absorbido por el material y el que sería absorbido por un área equivalente de una ventana abierta. De acuerdo con esta teoría, el coeficiente de absorción de una superficie perfectamente absorbente es igual a 1. Por lo tanto, conociendo las áreas superficiales y los coeficientes de absorción de los distintos materiales, es posible determinar el tiempo de reverberación de un espacio en la etapa de diseño.

Las teorías de Sabine y Grinn han sido objeto de múltiples investigaciones. En un estudio más reciente, Møller y Rasmussen (2018) concluyen que, para optimizar el tiempo y las condiciones de trabajo en espacios de oficina, es esencial conocer el tiempo de reverberación y, posteriormente, determinar los materiales adecuados según las características del lugar.

Así mismo, Nowoświat y Olechowska (2016) revisan la teoría de Sabine respecto al tiempo de reverberación y señalan que este parámetro influye en otros aspectos del diseño acústico de

distintos tipos de espacios. Su estudio demuestra que la fórmula de Sabine permite predecir el tiempo de reverberación y señalan que este parámetro influye en otros aspectos del diseño acústico de distintos tipos de espacios. Su estudio demuestra que la fórmula de Sabine permite predecir el tiempo de reverberación en interiores y que los materiales utilizados, según su naturaleza y coeficiente de absorción, directamente dicho tiempo, lo que posibilita realizar ajustes en función de las necesidades específicas de cada ambiente.

Según lo que indica Boschi, C (2008) plantea que la fórmula de Sabine es un recurso fundamental para calcular el tiempo de reverberación en una sala; expresándose de la siguiente manera:

$$T_{60} (\text{Sabine}) = 0,161 [V/A]$$

En donde:

T Tiempo de reverberación (s)

V Volumen de la sala (m³)

A Absorción total (m²)

Para calcular el valor de A, se debe conocer y asignar los coeficientes de absorción de cada material, así como sus áreas correspondientes, así:

$$A = \sum S_i \alpha_i$$

En donde:

S_i es el área de la superficie “i”, en m²

α_i es el coeficiente de absorción de la superficie “i”.

No obstante, es importante reconocer las limitaciones inherentes a esta fórmula. La ecuación de Sabine asume un campo acústico uniforme y no considera factores como la absorción adicional provocada por la presencia de aire, mobiliario o personas dentro del espacio, lo que puede generar desviaciones en los resultados. A pesar de estas limitaciones, su uso es pertinente, ya que proporciona una base sólida para identificar las deficiencias acústicas y establecer un diagnóstico inicial (Abad, 2013).

Objetivos

Objetivo General.

Proponer materiales acústicos de alta absorción para optimizar el tiempo de reverberación en las oficinas educativas de la PUCE, sede Manabí, campus Manta, a partir del análisis del coeficiente de absorción de los materiales en las superficies y aplicación de la fórmula de Sabine, con el fin de alcanzar los estándares acústicos recomendados.

Objetivo Específico.

Clasificar las tipologías arquitectónicas de los espacios de oficinas educativas de la PUCE sede Manabí campus Manta, considerando su volumen y materialidad, para comprender su influencia en las condiciones acústicas.

Analizar las condiciones acústicas actuales de los espacios de oficinas de la PUCE sede Manabí del campus Manta mediante la comparación con normativas acústicas internacionales, evaluando el cumplimiento de los estándares de tiempo de reverberación.

Diseñar propuestas de implementación de materiales absorbentes adecuados para los espacios de oficinas de la PUCE sede Manabí campus Manta que no cumplan con los estándares acústicos, utilizando la fórmula de Sabine para validar la reducción del tiempo de reverberación.

Hipótesis

La aplicación de materiales acústicos con alta capacidad de absorción en las oficinas administrativas de la PUCE Sede Manabí, campus Manta, contribuirá a optimizar el tiempo de reverberación, permitiendo alcanzar los estándares acústicos internacionales

Métodos

Diseño del Objeto

Tipo de Investigación

La presente investigación es de tipo no experimental con un enfoque descriptivo, en la que se aplica la fórmula de Sabine y se realizan mediciones de las oficinas para analizar su tiempo de reverberación. Posteriormente, se describe los aspectos relevantes en relación con los objetos de estudios.

Modelo de Análisis

La elección de la fórmula de Sabine como método principal para esta investigación se fundamenta en su amplia aceptación y uso como herramienta matemática para calcular el tiempo de reverberación en espacios cerrados. Este modelo es especialmente útil debido a su simplicidad y capacidad para proporcionar una primera aproximación al comportamiento acústico de un espacio en función de los coeficientes de absorción de los materiales presentes.

Se utilizará la fórmula de Sabine para determinar el tiempo de reverberación en una sala; expresado de la siguiente manera:

$$T_{60} (\text{Sabine}) = 0,161 [V/A]$$

En el contexto de las oficinas universitarias, esta elección permitirá evaluar de manera práctica y efectiva el cumplimiento de los estándares acústicos establecidos, lo que sentará las

bases para futuras intervenciones que serán destinadas a optimizar las condiciones laborales en estos espacios.

Unidad de Análisis

Una oficina es un espacio físico en el que se coordinan procesos para el desarrollo de actividades laborales, generalmente de índole administrativa, tales como archivar, redactar, organizar y gestionar tareas relacionadas con la organización.

Este espacio está destinado a ser utilizado por determinados individuos que, con la ayuda de herramientas tecnológicas como computadoras, impresoras, calculadoras, máquinas de escribir, entre otras, llevan a cabo sus actividades laborales. Además, funciona como un equipo de trabajo en el que cada persona posee un rango y un cargo específico (Frederick, 2022).

Variables y Dimensiones

VARIABLES INDEPENDIENTES: Volumen y absorción total de material utilizado.

SUBVARIABLES: Superficie del espacio analizado (piso, paredes y techo) y coeficientes de absorción.

VARIABLE DEPENDIENTE: Tiempo de reverberación en el espacio.

Fuentes de Datos (Recolección)

La recopilación de información se lleva a cabo con el fin de obtener datos precisos del espacio, mediante la medición de las dimensiones y superficies de los materiales. Para determinar el coeficiente de absorción acústica de los materiales, es necesario consultar a una revisión bibliográfica que proporcione tablas con los valores correspondientes.

Además, los parámetros obtenidos deben ser comparados, enfocándose especialmente en el tiempo de reverberación en entornos laborales. Este análisis se complementa con el estudio de normativas relevantes, como las normas UNE-EN ISO 3382, UNE-EN ISO 3448 y UNE-EN ISO 22955, que se utilizan como referencia en España para la medición de parámetros acústicos.

Diseño de los Procedimientos

Campo de Análisis

El campo de análisis de esta investigación son las oficinas para docentes universitarios del edificio aulario de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, sede Manabí en el campus Manta. Esta ciudad también conocida como San Pablo de Manta, es la cabecera del cantón homónimo y, es la urbe más grande y poblada de la provincia de Manabí. Ubicada en la costa del océano Pacífico, se encuentra en el centro de la región litoral del Ecuador, a una altitud aproximada de 6 metros sobre el nivel del mar.

Según el censo de 2022, Manta tiene una población de 258 697 habitantes, lo que la convierte en la séptima ciudad más poblada del país. Además, Manta es el núcleo del área metropolitana de Manabí centro, donde convergen importantes actividades comerciales, educativas y culturales.

El campus universitario de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador está situado en la zona urbana de la ciudad, específicamente en el barrio “Jesús de Nazareth”, y se construye sobre 3.7 hectáreas de terreno. Hasta la fecha de esta investigación, se han construidos dos edificios: el edificio aulario y el edificio administrativo. El edificio aulario alberga aulas y espacios destinados a actividades académicas, mientras que el edificio administrativo se ocupa de las funciones administrativas y de gestión institucional.

Figura 1

Ubicación general de las oficinas de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador- sede Manabí. Campus Manta



Nota. Adaptado de *Google Earth Pro* (2024) Fuente. Todos los derechos reservados 2020 por Google. Adaptado con permiso del autor.

Unidad de Observación

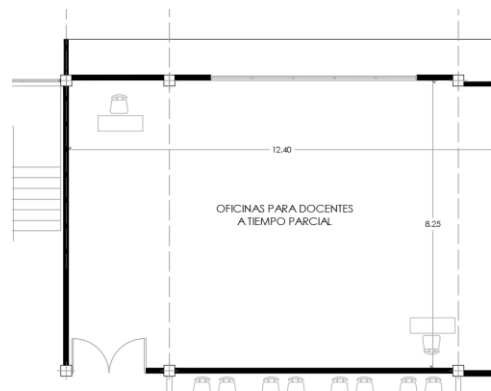
Se analizarán las oficinas docentes pertenecientes al edificio aulario de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, sede Manabí dentro del campus Manta. En total, el edificio cuenta con 17 oficinas, de las cuales se dividió en las siguientes tipologías:

TI- DPA -OAI: significa “Tipología de Docentes a Tiempo Parcial – Oficina Abierta”. Esta oficina, anteriormente utilizada como aula, ha sido cuidadosamente adaptada para servir como un espacio abierto destinado al trabajo de los docentes de tiempo parcial. Se encuentra ubicada en la primera planta alta. La materialidad del lugar incluye acabados de cerámica lisa en el piso, tres paredes revestidas con gypsum (una de ellas con una ventana de 6.00 x 2.70 m que proporciona

abundante luz natural), una pared adicional de hormigón; y un cielo raso de gypsum. Las dimensiones de la oficina son de 8.25 m de ancho, 12.40 m de largo y 3.15 m de altura, lo que da como resultado un volumen de 322.25 m³.

Figura 2

Oficina para Docentes de Tiempo Parcial tipo Abierta



Nota. Adaptado de *Proyecto Nuevo Aulario Campus Manta*, de Cagigal, J. et al (2023) Pontificia Universidad Católica del Ecuador- Sede Manabí. Adaptado con permiso del autor.

Figura 3

Espacio de la oficina para Docentes de Tiempo Parcial tipo Abierta

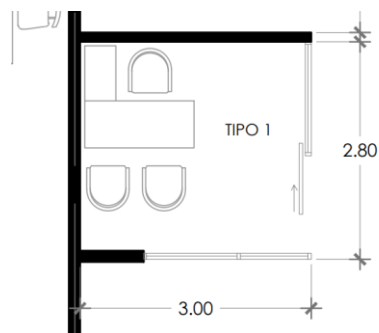


T2-DPE-C1: significa “Tipología de Docentes Permanentes – Cubículos 1”. Esta oficina está destinada a los docentes de tiempo completo y ha sido organizada en cubículos individuales

para optimizar el espacio y favorecer la privacidad laboral. Los cubículos de este tipo, en particular, están distribuidos tanto en la primera como en la segunda planta alta, y son del tipo esquinero, sumando un total de cuatro cubículos con estas características. La materialidad del espacio incluye acabados de cerámica lisa en el piso, dos paredes revestidas con gypsum, dos muros cortina de vidrio, y un cielo raso de gypsum. Cada cubículo cuenta con dimensiones de 3.00 m de ancho, 2.80 m de largo y 3.15 m de altura, lo que genera un volumen de 26.46 m³.

Figura 4

Oficina para Docentes Permanentes- Cubículos Tipo 1

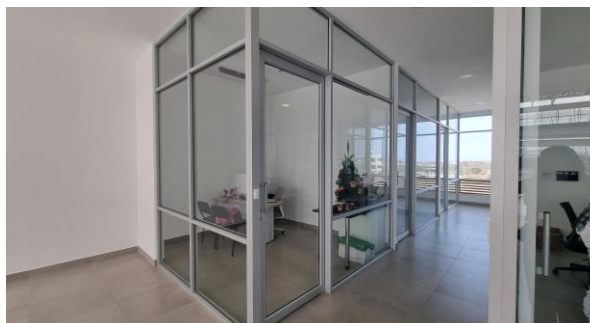


Nota. Adaptado de *Proyecto Nuevo Aulario Campus Manta*, de Cagigal, J. et al (2023)

Pontificia Universidad Católica del Ecuador- Sede Manabí. Adaptado con permiso del autor.

Figura 5

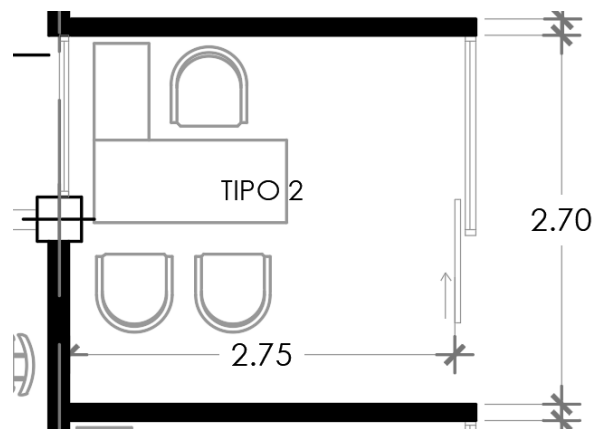
Espacio de oficina para Docentes Permanentes- Cubículos Tipo 1



T3-DPE-C2: significa “Tipología de Docentes Permanentes – Cubículos 2”. Esta oficina está destinada a los docentes de tiempo completo y ha sido organizada en cubículos individuales. Los cubículos de este tipo, en particular, están distribuidos tanto en la primera como en la segunda planta alta, y son del tipo medianero, sumando un total de cuatro cubículos con estas características. La materialidad del espacio incluye acabados de cerámica lisa en el piso, dos paredes revestidas con gypsum, 1 pared de gypsum junto a una ventana que va de techo a piso de 1.30 x 3.15 m, 1 muro cortina de vidrio al frente, y un cielo raso de gypsum. Cada cubículo cuenta con dimensiones de 2.75 m de ancho, 2.70 m de largo y 3.15 m de altura, lo que genera un volumen de 23.83 m³.

Figura 6

Oficina para Docentes Permanentes- Cubículos Tipo 2



Nota. Adaptado de *Proyecto Nuevo Aulario Campus Manta*, de Cagigal, J. et al (2023)

Pontificia Universidad Católica del Ecuador- Sede Manabí. Adaptado con permiso del autor.

Figura 7

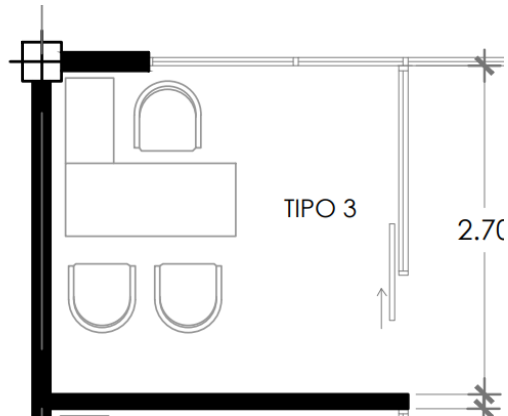
Espacio de la oficina para Docentes Permanentes- Cubículos Tipo 2



T4-DPE-C3: significa “Tipología de Docentes Permanentes – Cubículos 3”. Esta oficina está destinada a los docentes de tiempo completo y ha sido organizada en cubículos individuales. Los cubículos de este tipo, en particular, están distribuidos tanto en la primera como en la segunda planta alta, y son del tipo esquinero, sumando un total de cuatro cubículos con estas características. La materialidad del espacio incluye acabados de cerámica lisa en el piso, 1 pared revestidas con gypsum, 1 pared con acabado de hormigón, 1 pared de gypsum que contiene a una ventana grande de 2.10 x 3.15 m, 1 muro cortina de vidrio al frente, y un cielo raso de gypsum. Cada cubículo cuenta con dimensiones de 2.70 m de ancho, 2.70 m de largo y 3.15 m de altura, lo que genera un volumen de 22.96 m³.

Figura 8

Oficina para Docentes Permanentes- Cubículos Tipo 3



Nota. Adaptado de *Proyecto Nuevo Aulario Campus Manta*, de Cagigal, J. et al (2023)

Pontificia Universidad Católica del Ecuador- Sede Manabí. Adaptado con permiso del autor.

Figura 9

Espacio de la Oficina para Docentes Permanentes- Cubículos Tipo 3



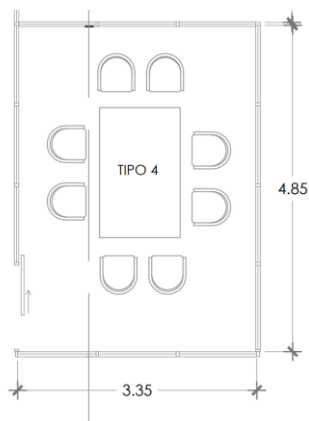
T5-DPE-C4: significa “Tipología de Docentes Permanentes – Cubículos 4”. Esta oficina está destinada a los docentes de tiempo completo y ha sido organizada en cubículos individuales.

Los cubículos de este tipo, en particular, están distribuidos tanto en la primera como en la segunda

planta alta, y son del tipo medianero, sumando un total de dos cubículos con estas características. La materialidad del espacio incluye acabados de cerámica lisa en el piso, 1 pared revestidas con gypsum, 3 muros cortinas de vidrio, y un cielo raso de gypsum. Cada cubículo cuenta con dimensiones de 3.35 m de ancho, 4.85 m de largo y 3.15 m de altura, lo que genera un volumen de 51.18 m³.

Figura 10

Oficina para Docentes Permanentes- Cubículos Tipo 4



Nota. Adaptado de *Proyecto Nuevo Aulario Campus Manta*, de Cagigal, J. et al (2023)

Pontificia Universidad Católica del Ecuador- Sede Manabí. Adaptado con permiso del autor.

Figura 11

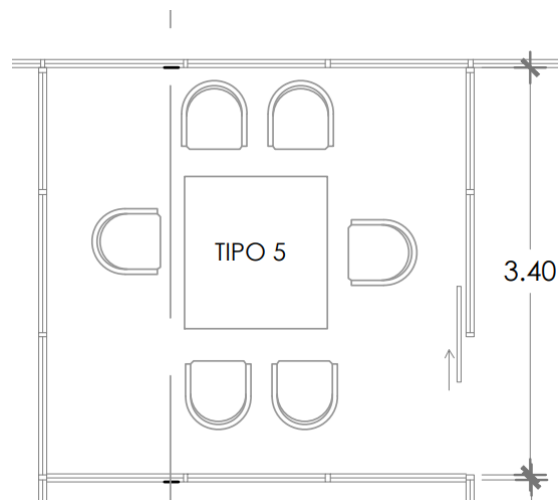
Espacio de la Oficina para Docentes Permanentes- Cubículos Tipo 4



T6-DPE-C5: significa “Tipología de Docentes Permanentes – Cubículos 5”. Esta oficina está destinada a los docentes de tiempo completo y ha sido organizada en cubículos individuales. Los cubículos de este tipo, en particular, están distribuidos tanto en la primera como en la segunda planta alta, y son del tipo medianero, sumando un total de dos cubículos con estas características. La materialidad del espacio incluye acabados de cerámica lisa en el piso, 1 pared revestidas con gypsum, 1 pared revestida de gypsum con un gran ventanal de 3.35 x 3.15 m, 2 muros cortinas de vidrio, y un cielo raso de gypsum. Cada cubículo cuenta con dimensiones de 3.35 m de ancho, 3.40 m de largo y 3.15 m de altura, lo que genera un volumen de 35.88 m³.

Figura 12

Oficina para Docentes Permanentes- Cubículos Tipo 5



Nota. Adaptado de *Proyecto Nuevo Aulario Campus Manta*, de Cagigal, J. et al (2023)

Pontificia Universidad Católica del Ecuador- Sede Manabí. Adaptado con permiso del autor.

Figura 13

Espacio de la Oficina para Docentes Permanentes- Cubículos Tipo 5



Técnicas (Análisis)

Para determinar el tiempo de reverberación, se utilizará la fórmula de Sabine, que calcula este parámetro considerando el volumen de la oficina, las áreas de las superficies y los coeficientes de absorción de los materiales que conforman dichas superficies.

El proceso de estimación de la absorción acústica implicará medir las dimensiones del entorno (largo, ancho y altura) y asignar los valores de absorción correspondientes según los materiales presentes, empleando tablas de coeficientes estándar para materiales como madera, concreto y vidrio (Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo de Uruguay, 2010).

Posteriormente, los tiempos de reverberación calculados para cada oficina serán comparados con los valores establecidos por normativas acústicas internacionales que definen los rangos óptimos de tiempo de reverberación para espacios laborales. Con base en estas normas, se verificará si cada oficina cumple con los requisitos indicados en la UNE- EN: ISO 22955.

Una vez abordado el punto anterior, y en caso de que los materiales evaluados no cumplan con los requisitos establecidos por la normativa vigente, se procederá a realizar una minuciosa revisión de las opciones disponibles en el mercado actual. Este análisis tiene como objetivo

identificar y recomendar materiales alternativos que puedan ser utilizados como reemplazo, asegurando que estos cumplan con los estándares necesarios.

Finalmente, se llevará a cabo un análisis comparativo entre los resultados iniciales y aquellos obtenidos tras la implementación de materiales absorbentes, con el objetivo de evaluar la eficacia de estas intervenciones en la mejora de las condiciones acústicas de los espacios laborales.

Instrumentos y Recursos

Para recabar la información, se tomarán medidas de manera manual y electrónica, utilizando un flexómetro STALENY 30-615 y el dispositivo BOSCH GLM 40, lo que facilitará la obtención de las dimensiones de todas las superficies y los volúmenes. De igual manera, se verificarán las medias con la información proporcionada por los planos arquitectónicos.

El cálculo del tiempo de reverberación se llevará a cabo mediante una combinación de herramientas. En primer lugar, se realizará una tabulación y clasificación de los datos, seguida de su cálculo utilizando el programa Microsoft Excel.

Los resultados serán validados mediante tablas estándar de coeficientes de materiales como madera, concreto y vidrio. Este enfoque permitirá aumentar la precisión de los cálculos y ajustar el análisis a las características particulares de las oficinas como objeto de estudio.

Indicadores

Se utilizarán rangos de tiempo de reverberación para las oficinas universitarias, basados en las distintas normativas internacionales, con el fin de identificar si cumple o no cumple con los valores establecidos. Los indicadores considerados corresponden a los valores recomendados de tiempo de reverberación según tres normas internacionales. Se tomará en cuenta la normativa

vigente, utilizando como referentes los parámetros establecidos en la normativa UNE-EN ISO 22955:

Tabla 1

Valores referenciales para los espacios de oficina

Tipo de espacio	Descripción de la actividad realizada	Atenuación del habla entre puestos de trabajo	Tiempo de reverberación	Decaimiento especial del habla
Espacio 1	Espacios hábiles para actividades de telecomunicación	$D_{A_1S} \geq 6dB$	$T \leq 0.5 s$ $T_{125Hz} \leq 0.8 s$	$D_{2,s} \geq 7dB$
Espacio 2	Principalmente trabajo colaborativo	$D_{A_1S} \geq 4dB$	$T \leq 0.5 s$ $T_{125Hz} \leq 0.8 s$	$D_{2,s} \geq 8dB$
Espacio 3	Trabajo colaborativo esporádico	$D_{A_1S} \geq 6dB$	$T \leq 0.5 s$ $T_{125Hz} \leq 0.8 s$	$D_{2,s} \geq 7dB$
Espacio 4	Recepción del público	$D_{A_1S} \geq 6dB$	$T \leq 0.8 s$ $T_{125Hz} \leq 1 s$	-

Nota. Adaptado de ISO 22955: *Calidad acústica de oficinas abiertas* de Morten et al (2021) Saint-Gobain Ecophon.

Resultados

Recolección y Procesamiento

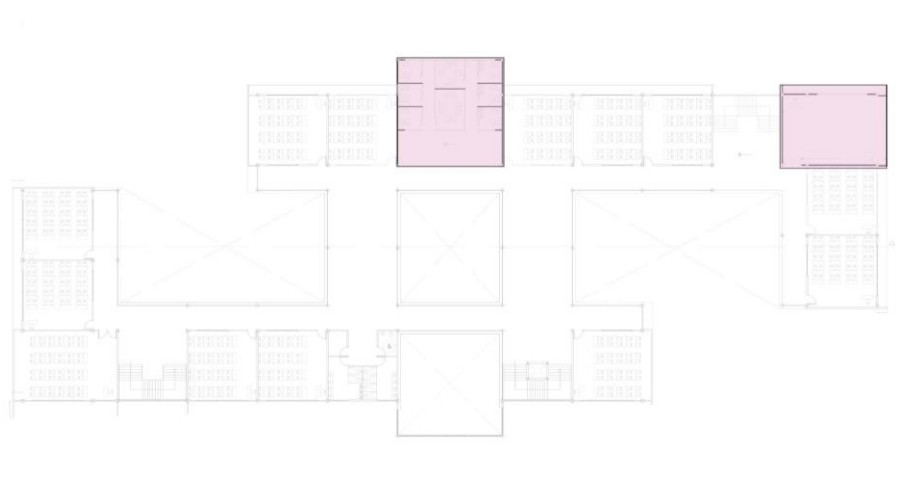
Presentación de Resultados

El proceso comenzó con el reconocimiento de las instalaciones de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, sede Manabí, campus Manta, con el objetivo de identificar las tipologías de oficinas presentes en el lugar.

Las oficinas están distribuidas en zonas específicas: en el extremo derecho se encuentra un área de oficina general, mientras que en el centro se ubican los cubículos de trabajo. Esta distribución se repite en ambos pisos para su análisis.

Figura 14

Ubicación de las oficinas por planta dentro del edificio



Nota. Adaptado de *Proyecto Nuevo Aulario Campus Manta*, de Cagigal, J. et al (2023) Pontificia Universidad Católica del Ecuador- sede Manabí. Adaptado con permiso del autor.

Clasificación de las tipologías existentes





Se identificaron 6 tipologías con la siguiente codificación en ellas:



- T- DPA – O: Tipología de Docentes a Tiempo Parcial – Oficina abierta.
- T-DPE- C: “Tipología de Docentes Permanentes – Cubículos.

Tras la codificación, se procedió a clasificar las tipologías, permitiendo distinguir tanto los volúmenes como las características de los materiales de superficie de cada oficina.

Tabla 2

Clasificación de las tipologías

TIPOLOGÍA	IMAGEN	LARGO	ANCHO	ALTURA	VOLUMEN	SUPERFICIE DEL MATERIAL (m2)	COEFICIENTE DE ABSORCIÓN (α)
Tipología 1 (T1- DPA - OA1)		8.25	12.40	3.15	322.25	Cerámica lisa =105,2 Cielo raso de gypsum = 101 Pared revocada con mortero = 26 Paredes de gypsum = 43 Ventana de vidrio= 16 Puerta de madera= 5.45 Acero=0.20	Cerámica lisa =0,02 Cielo raso de gypsum =0.06 Pared revocada con mortero = 0.02 Paredes de gypsum = 0.06 Ventana de vidrio = 0.04 Puerta de madera= 0.09 Acero= 0.1
Tipología 2 (T2- DPE -C1)		3.00	2.80	3.15	26.46	Cerámica lisa =9,06 Cielo raso de gypsum = 8.40 Pared revocada con mortero = 18.3 Paredes de gypsum = 2.50 Ventana de vidrio= 15.75	Cerámica lisa =0,02 Cielo raso de gypsum =0.06 Pared revocada con mortero = 0.02 Paredes de gypsum = 0.06 Ventana de vidrio = 0.04
Tipología 3 (T3- DPE -C2)		2.75	2.70	3.15	23.39	Cerámica lisa =8.10 Cielo raso de gypsum = 7.70 Pared revocada con mortero = 17.50 Ventana de vidrio= 12.20 Acero=0.10	Cerámica lisa =0,02 Cielo raso de gypsum =0.06 Pared revocada con mortero = 0.02 Ventana de vidrio = 0.04 Acero= 0.1
Tipología 4 (T4- DPE -C3)		2.70	2.70	3.15	22.96	Cerámica lisa =8.10 Cielo raso de gypsum = 7.30 Pared revocada con	Cerámica lisa =0,02 Cielo raso de gypsum =0.06

						mortero = 19.20 Ventana de vidrio= 15.20 Acero=0.10	Pared revocada con mortero = 0.02 Ventana de vidrio = 0.04 Acero= 0.1
Tipología 5 (T5- DPE -C4)		3.35	4.85	3.15	51.18	Cerámica lisa =16.60 Cielo raso de gypsum = 16.25 Paredes de gypsum = 10.55 Ventana de vidrio= 41.10	Cerámica lisa =0,02 Cielo raso de gypsum =0.06 Paredes de gypsum = 0.06 Ventana de vidrio = 0.04
Tipología 6 (T6- DPE -C5)		3.35	3.40	3.15	35.88	Cerámica lisa =11.75 Cielo raso de gypsum = 11.40 Paredes de gypsum = 10.55 Ventana de vidrio= 32.00	Cerámica lisa =0,02 Cielo raso de gypsum =0.06 Paredes de gypsum = 0.06 Ventana de vidrio = 0.04

Cabe destacar que la tipología 1 incluye únicamente una oficina para analizar. Las tipologías 2, 3 y 4 comprenden cuatro oficinas cada una, mientras que las tipologías 5 y 6 cuentan con dos oficinas cada una.

Tratamiento y Análisis

Análisis de Resultados

Cálculos del tiempo de reverberación con el espacio inicial

Se realizaron los cálculos de los tiempos de reverberación en las oficinas en la condición actual, sin ningún acondicionamiento acústico. En la tabla y el gráfico de barras, podemos verificar los resultados del cálculo de los tiempos de reverberación en la condición inicial:

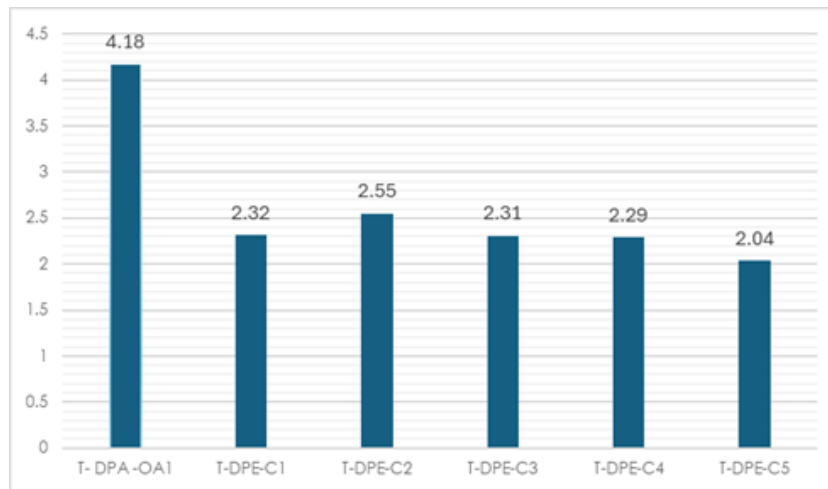
Tabla 3

Resultados del cálculo de tiempo de reverberación con la materialidad inicial

Tipologías	Volumen (m3)	Tiempo de reverberación $T=0,161 [V/A]$
Tipología 1 - (T1- DPA -OA1)	322.25	4.17
Tipología 2 - (T2 -DPE-C1)	26.46	2.33
Tipología 3 - (T3-DPE-C2)	23.39	2.56
Tipología 4 - (T4-DPE-C3)	22.96	2.31
Tipología 5 - (T5-DPE-C4)	51.18	2.30
Tipología 6 - (T6-DPE-C5)	35.88	2.04

Figura 15

Representación gráfica de los resultados obtenidos con la materialidad inicial



Se puede apreciar que en la Tipología 1(T1-DPA-OA1), el tiempo de reverberación está por encima de los 4 segundos, y en el resto de las tipologías, es decir la T-DPE-C1, T-DPE-C2, T-DPE-C3, T-DPE-C4, y T-DPE-C5 se encuentran en el rango entre 2 a 2.55 segundos.

Debido a esto, se hace una comparación con lo requerido en la normativa UNEN-ISO 22955 este contraste es clave para una evaluación de los requerimientos normativos sobre tiempos de reverberación de las oficinas, teniendo en cuenta que corresponden a “espacios hábiles para actividades de telecomunicación” y “Principalmente trabajo colaborativo” con $T \leq 0.5$ s.

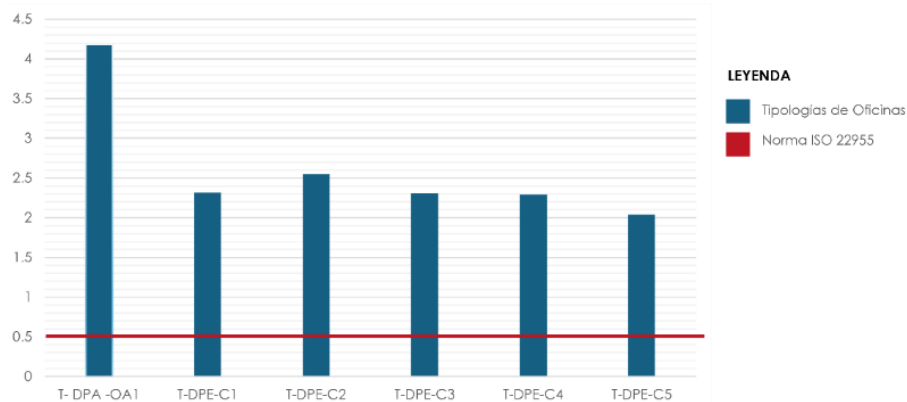
Tabla 4

Comparación del tiempo de reverberación con materialidad inicial con la normativa ISO 22955

Tipologías	Tiempo de reverberación $T=0,161 [V/A]$	Normativa ISO 22955	Cumplimiento de la Normativa
Tipología 1 – (T1- DPA -OA1)	4.18	≤ 0.5	NO CUMPLE
Tipología 2 – (T2 -DPE-C1)	2.32	≤ 0.5	NO CUMPLE
Tipología 3 – (T3-DPE-C2)	2.55	≤ 0.5	NO CUMPLE
Tipología 4 – (T4-DPE-C3)	2.31	≤ 0.5	NO CUMPLE
Tipología 5 – (T5-DPE-C4)	2.29	≤ 0.5	NO CUMPLE
Tipología 6 – (T6-DPE-C5)	2.04	≤ 0.5	NO CUMPLE

Figura 16

Representación gráfica de los resultados obtenidos con la normativa ISO 22955



Se puede apreciar que en la todas las tipologías (T-DPA-OA1, T-DPE-C1, T-DPE-C2, T-DPE-C3, T-DPE-C4, y T-DPE-C5), sobrepasan lo indicado en la normativa UNEN-ISO 22955 como menor o igual de 0.5 segundos. Todos los resultados superan más del triple de lo permitido para poder trabajar sin problemas en una oficina.

Cambios en la materialidad

En el mercado ecuatoriano se identificaron diversas alternativas para optimizar el tiempo de reverberación. El estudio recopiló diversas opciones para mejorar el acondicionamiento acústico de las oficinas que mejoran la calidad sonora y el confort en estos ambientes laborales.

Tabla 5

Opciones para el reemplazo de la materialidad

ESPACIO	MATERIAL REEMPLAZO	COEFICIENTE DE ABSORCIÓN DEL MATERIAL	MEDIDAS DEL MATERIAL
Piso	Alfombra delgada pegada al contrapiso	0.25	-
Pared	Paneles acústicos absorbentes de pared dBAS Sorento	0.95	0.60 x 1.20
	Paneles acústicos absorbentes de pared dBAS Saw 64	0.80	0.60 x 0.60
	Paneles acústicos absorbentes de pared dBAS Hex P87-50A	0.75	0.60 x 0.60
	Paneles acústicos fonoabsorbentes ranurados dBAS Ranurado 70-30-15	0.90	0.60 x 0.60
	Paneles de pared perforados con respaldo acústico amaderados	0.50	5.55 x 0.96

Techo	Paneles acústicos fonoabsorbentes perforados dBAS D8P32A	0.70	0.60 x 0.60
	Baffles acústicos fonoabsorbentes aéreos dBAS Sirio	0,85	1.20 x 0.60
	Baffles acústicos fonoabsorbentes aéreos dBAS Imperia	0,95	1.20 x 1.20

De la lista de posibles materiales para el acondicionamiento, se seleccionaron los materiales más compatibles para un diseño en oficinas y efectivos para reducir el tiempo de reverberación.

Tabla 6

Elección del reemplazo de la materialidad para el acondicionamiento acústico

ESPACIO	MATERIAL INICIAL	COEFICIENTE DE ABSORCIÓN DEL MATERIAL INICIAL	MATERIAL REEMPLAZO	COEFICIENTE DE ABSORCIÓN CON EL REEMPLAZO
Piso	Cerámica con superficie lisa	0.02	Alfombra delgada pegada al contrapiso	0.25
Pared	Placa de yeso 25 mm con espacio de aire	0.06	Paneles acústicos absorbentes con lana de roca	0.95
Techo	Cielorraso de placas de yeso 13 mm + espacio de aire	0.06	Paneles acústicos fonoabsorbentes perforados	0.7

En la tipología 1 se hizo un reemplazo en el techado, e inclusión de nuevo piso y paneles acústicos en las paredes; y en las tipologías 2,3,4,5 y 6 se hizo un reemplazo en el techado, e inclusión de nuevo piso.

Cálculos del tiempo de reverberación con el espacio inicial

Después de la intervención, se realizaron ajustes para mejorar el espacio de manera más efectiva. Posteriormente, se llevaron a cabo los cálculos de los tiempos de reverberación en las oficinas con el acondicionamiento acústico. Los resultados de estos cálculos se presentan en la tabla 7 y la figura 17, donde se pueden verificar el tiempo de reverberación en esta condición.

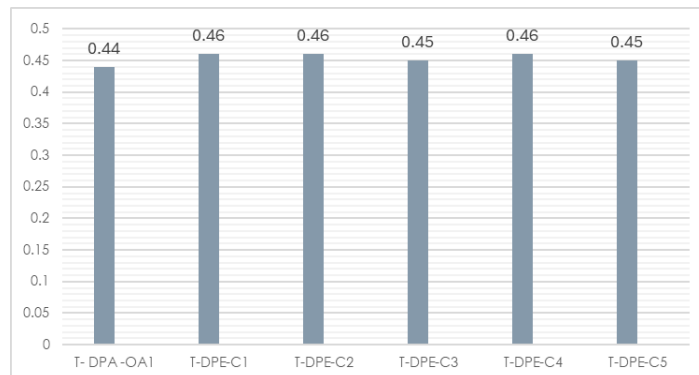
Tabla 7

Resultados del cálculo de tiempo de reverberación con la materialidad modificada

Tipologías	Volumen (m3)	Tiempo de reverberación T=0,161 [V/A]
Tipología 1 - (T1- DPA -OA1)	322.25	0.44
Tipología 2 - (T2 -DPE-C1)	26.46	0.46
Tipología 3 - (T3-DPE-C2)	23.39	0.46
Tipología 4 - (T4-DPE-C3)	22.96	0.45
Tipología 5 - (T5-DPE-C4)	51.18	0.46
Tipología 6 - (T6-DPE-C5)	35.88	0.45

Figura 17

Resultados del cálculo de tiempo de reverberación con la materialidad modificada



Se puede observar que el tiempo de reverberación en la Tipología 1(T-DPA-OA1) es de 0.44 segundos, mientras que las tipologías 2,3 y 5 (T-DPE-C1, T-DPE-C2, y T-DPE-C4) presentan un valor de 0.46 segundos. Finalmente, las Tipologías 4 y 6 (T-DPE-C3 y T-DPE-C5) tienen un tiempo de reverberación de 0.45 segundos. A partir de estos resultados, se realiza una comparación con lo estipulado en la normativa UNEN-ISO 22955 para evaluar de los cumplimientos de los requerimientos acústicos en las oficinas.

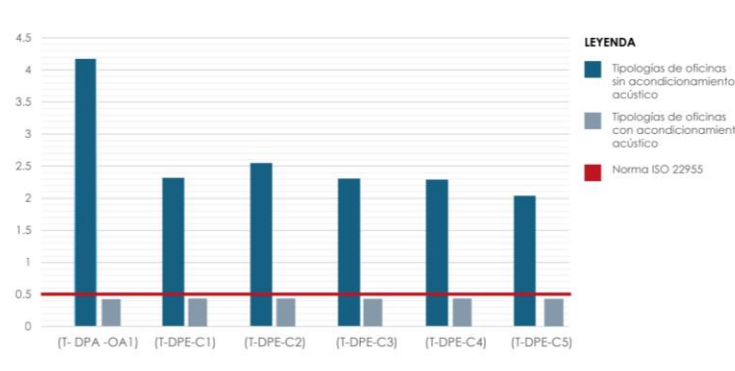
Tabla 8

Comparación del tiempo de reverberación con modificaciones con la normativa ISO 22955

Tipologías	Tiempo de reverberación $T=0,161 [V/A]$	Normativa ISO 22955	Cumplimiento de la Normativa
Tipología 1 – (T1- DPA -OA1)	0.44	≤ 0.5	SÍ CUMPLE
Tipología 2 – (T2 -DPE-C1)	0.46	≤ 0.5	SÍ CUMPLE
Tipología 3 – (T3-DPE-C2)	0.46	≤ 0.5	SÍ CUMPLE
Tipología 4 – (T4-DPE-C3)	0.45	≤ 0.5	SÍ CUMPLE
Tipología 5 – (T5-DPE-C4)	0.46	≤ 0.5	SÍ CUMPLE
Tipología 6 – (T6-DPE-C5)	0.45	≤ 0.5	SÍ CUMPLE

Figura 18

Comparación gráfica entre tipologías por modificaciones con la normativa ISO 22955



Se puede observar que en todas las tipologías (T-DPA-OA1, T-DPE-C1, T-DPE-C2, T-DPE-C3, T-DPE-C4, y T-DPE-C5), el tiempo de reverberación se encuentra por debajo de los 0.5 segundos debido a las modificaciones realizadas. De esta manera, el 100% de las tipologías cumplen estos parámetros de la normativa.

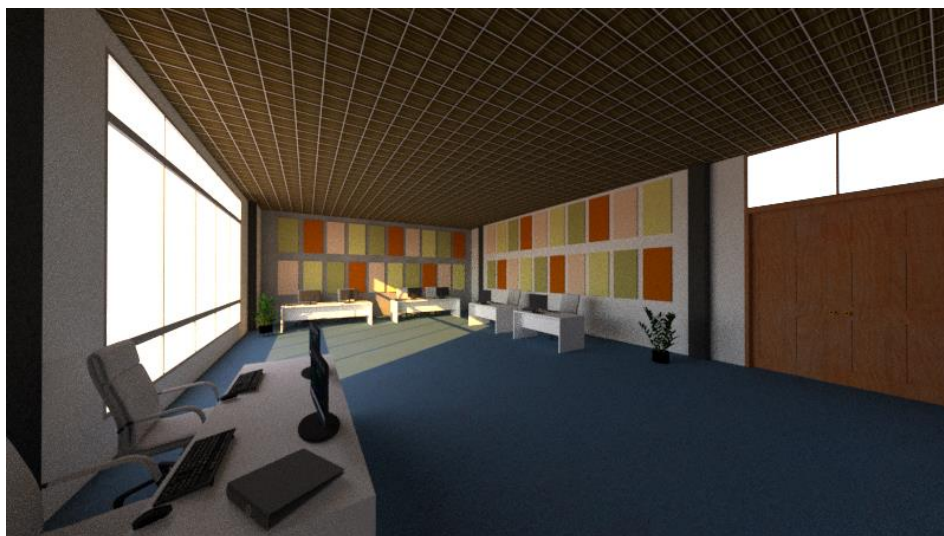
Representación arquitectónica de los espacios modificados

Tras realizar las modificaciones propuestas, se presenta la versión ajustada del diseño con el acondicionamiento acústico incorporado. Esta propuesta muestra cómo los cambios aplicados contribuyen a mejorar las condiciones sonoras del espacio, enfocándose en la reducción del tiempo de reverberación y el aumento del confort acústico en las oficinas.

En la figura 19 se señala el acondicionamiento realizado, que incluye la incorporación de paneles acústicos absorbentes con lana de roca en las paredes, así como cambio en la materialidad del techado y del piso.

Figura 19

Representación arquitectónica de la propuesta de acondicionamiento acústico en tipología 1



En la figura 20,21,22,23 y 24 se señala el acondicionamiento realizado, donde existe un cambio de materialidad en el techado y en el piso.

Figura 20

Representación arquitectónica de la propuesta de acondicionamiento acústico en tipología 2



Figura 21

Representación arquitectónica de la propuesta de acondicionamiento acústico en tipología 3

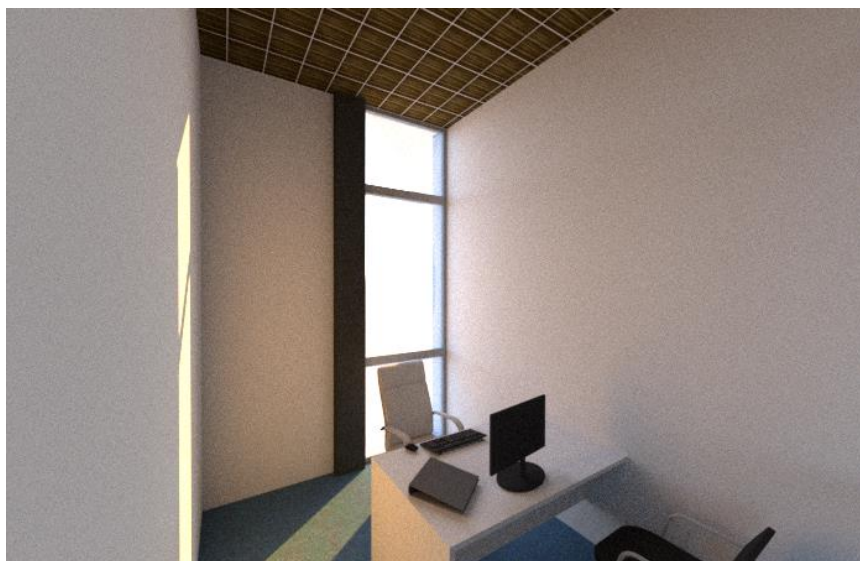


Figura 22

Representación arquitectónica de la propuesta de acondicionamiento acústico en tipología 4

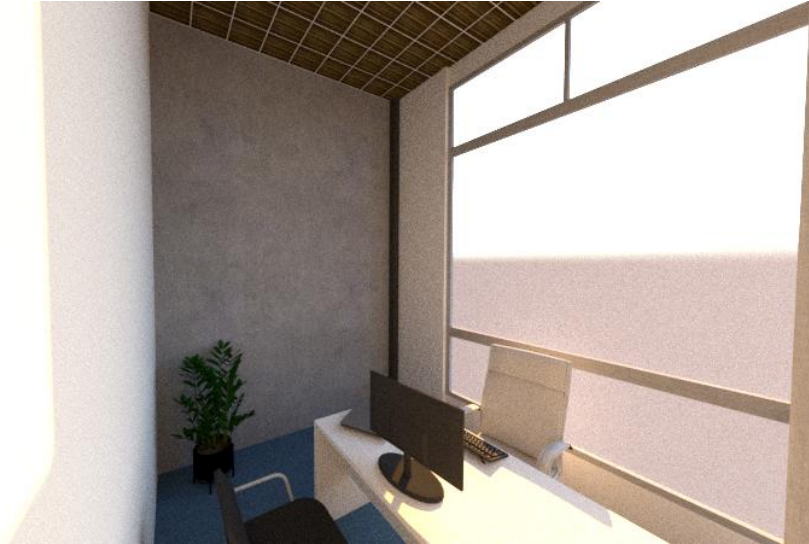


Figura 23

Representación arquitectónica de la propuesta de acondicionamiento acústico en tipología 5

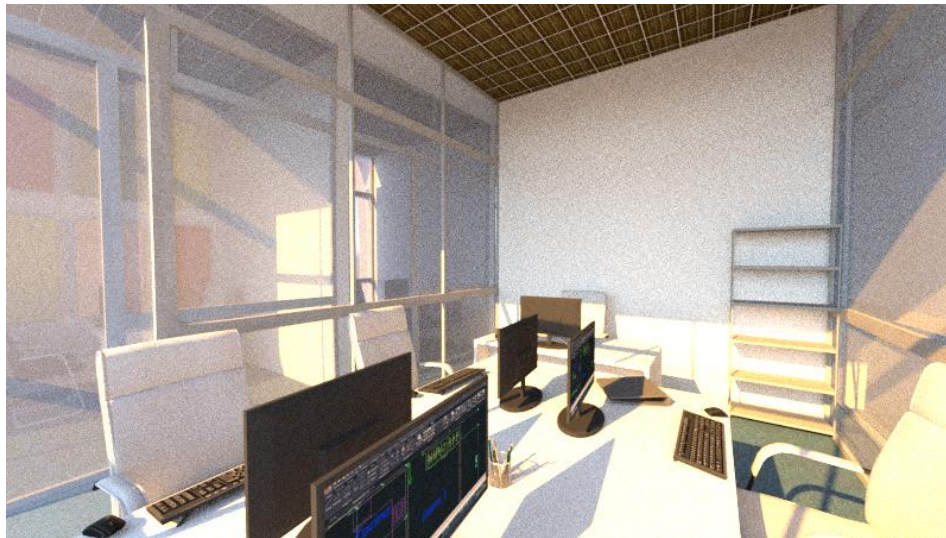


Figura 24

Representación arquitectónica de la propuesta de acondicionamiento acústico en tipología 6



Discusión

Discusión

El presente estudio planteó como hipótesis la siguiente interrogante: ¿La aplicación de materiales acústicos con alta capacidad de absorción en las oficinas administrativas de la PUCE sede Manabí, campus Manta, contribuirá a optimizar el tiempo de reverberación, permitiendo alcanzar los estándares acústicos internacionales? Los resultados obtenidos confirman la hipótesis planteada, demostrando que la sustitución estratégica de materiales en las oficinas educativas de la PUCE sede Manabí campus Manta impacta significativamente en la reducción del tiempo de reverberación y, por ende, en la mejora de la calidad acústica del espacio.

Así, se reafirma la importancia del tratamiento acústico en espacios de oficina para mejorar las condiciones sonoras y, en consecuencia, la calidad del ambiente laboral. Los resultados obtenidos evidencian que el tiempo de reverberación inicial en todas las tipologías de oficinas analizadas superaba ampliamente el límite recomendado por la normativa UNEN-ISO 22955, lo que generaba un entorno desfavorable para la comunicación efectiva y el confort acústico.

Al respecto, Møller y Rasmussen (2018) enfatizan la necesidad de conocer el tiempo de reverberación para determinar los materiales adecuados y optimizar las condiciones de trabajo en oficinas, por lo que el uso de la fórmula de Sabine permitió conocer el comportamiento acústico en las tipologías de las oficinas de la zona de estudio.

Específicamente, el análisis del tiempo de reverberación (T60) reveló que las oficinas, en su condición inicial y con su materialidad original, presentaban valores significativamente superiores a los recomendados por la normativa UNEN-ISO 22955 para espacios destinados a actividades de telecomunicación y trabajo colaborativo. Como se observa en la Tabla 3 y Figura 15, la Tipología 1 (T-DPA-OA1) superaba los 4 segundos, mientras que el resto de las tipologías (T-DPE-C1 a T-DPE-C5) se encontraban en un rango entre 2 y 2.55 segundos. Estos valores, más del triple de lo permitido por la normativa, evidenciaban la necesidad de implementar medidas de acondicionamiento acústico para garantizar un ambiente de trabajo confortable y propicio para la comunicación efectiva. Esta situación concuerda con lo expuesto por Nowoświat (2023), quien destaca que las oficinas abiertas, como la Tipología 1, tienden a presentar mayores tiempos de reverberación debido a la falta de superficies absorbentes, lo que puede generar distracciones y reducir la privacidad acústica.

Es importante destacar que la principal contribución a estos altos valores de T60 provenía de las grandes superficies reflectantes presentes en los espacios, como los pisos cerámicos, las paredes de bloque visto con pintura lisa y los cielorrasos de yeso, materiales que ofrecen una baja absorción acústica. Para abordar esta problemática, se propuso la sustitución de materiales con bajo coeficiente de absorción por alternativas más absorbentes, seleccionando materiales compatibles con el diseño de oficinas y efectivos para reducir el tiempo de reverberación. Los resultados demostraron una reducción significativa del T60 en todos los casos, situándose por

debajo de los 0.5 segundos, cumpliendo así con los parámetros establecidos por la normativa UNEN-ISO 22955.

Para realizar el acondicionamiento acústico fue relevante considerar las recomendaciones de Arvidsso et.al (2021) al señalar el techo como el elemento principal utilizado para controlar la acústica. Bajo este contexto, se incorporaron paneles fonoabsorbentes en el techo y, en el caso de la Tipología 1 (oficina abierta), también en las paredes, con el objetivo de aumentar la absorción en las superficies verticales y horizontales. Esta estrategia se fundamenta en el principio de que los materiales porosos reducen la reflexión del sonido, evitando ecos y distorsiones. De manera complementaria, se reemplazó el suelo original por un revestimiento textil tipo alfombra aprovechando la porosidad inherente de estos materiales para capturar las ondas sonoras y disminuir la energía reverberante; tal como señalan Villavicencio y Narváez (2022): “la fibra de textil nos ayuda a absorber la onda sonora logrando evitar el rebote de esta, anulando así distorsiones, ecos y la reverberación que es perjudicial para el usuario y para el espacio, obteniendo una confortabilidad acústica en los mismos”.

Si bien Arroyo y Méndez (2018) resaltan el potencial de las fibras naturales, como la caña de azúcar, como alternativas sostenibles a los materiales acústicos convencionales, la presente investigación optó por la implementación de materiales fonoabsorbentes con lana de roca. Esta decisión se basó en la priorización de la eficacia en la reducción del tiempo de reverberación, considerando las características específicas de las oficinas y la necesidad de cumplir con los estándares normativos en un plazo razonable.

Estos hallazgos se alinean con lo planteado por Valladares (2012), quien señala que la configuración de los espacios de oficina, incluyendo el tipo de materiales convencionales

utilizados, tiene un impacto significativo en el tiempo de reverberación, siendo beneficioso el uso de elementos como alfombras, cortinas y muebles tapizados para reducirlo.

Con lo respecta al ruido en las oficinas, este reconocido como un factor perjudicial para el bienestar y la productividad de los empleados (Hernández, 1998). La aplicación de los cambios propuestos no solo asegura el cumplimiento de la normativa acústica, sino que también optimiza la inteligibilidad del habla, reduce el estrés laboral y aumenta la concentración, elementos críticos en oficinas académicas donde la claridad en la comunicación impacta directamente la eficiencia organizacional. Al mejorar el tiempo de reverberación, y de manera teórica, se adecuó el espacio con la propuesta arquitectónica para promover un ambiente de trabajo más saludable y productivo para los docentes.

Si bien la presente investigación demostró la efectividad de las intervenciones propuestas para reducir el tiempo de reverberación y cumplir con la normativa acústica, es importante reconocer que no se evaluó directamente el impacto de estos cambios en el bienestar de los usuarios de las oficinas. Determinar si la mejora en las condiciones acústicas se traduce en un mayor confort, productividad o satisfacción requeriría de metodologías y enfoques de investigación adicionales, que se centren en la percepción subjetiva y la experiencia de los ocupantes.

En resumen, esta investigación ofrece una guía práctica para la mejora de las condiciones acústicas en oficinas, resaltando la importancia de la selección de materiales y su impacto en el tiempo de reverberación y el confort de los usuarios. La implementación de estas estrategias puede contribuir significativamente al bienestar de los empleados y al mejor desempeño de sus funciones en sus jornadas.

Conclusiones y Recomendaciones

Conclusiones

Como punto de partida, la presente investigación se propuso como objetivo clasificar las oficinas educativas de la PUCE sede Manabí campus Manta, identificando un total de 17 espacios que fueron agrupados en seis tipologías distintas: Tipología 1 – (T1-DPA-OA1), Tipología 2 – (T2-DPE-C1), Tipología 3 – (T3-DPE-C2), Tipología 4 – (T4-DPE-C3), Tipología 5 – (T5-DPE-C4), Tipología 6 – (T6-DPE-C5). Esta clasificación inicial resultó fundamental para comprender las particularidades acústicas de cada tipo de espacio y orientar el diseño de soluciones de acondicionamiento personalizadas.

Las oficinas analizadas se agruparon en seis tipologías que diferían en volumen y materialidad. La Tipología 1, con 322.25 m², era significativamente mayor que las demás (22.96 m² - 51.18 m²). En cuanto a la materialidad, todas las tipologías compartían la presencia de superficies reflectantes como cerámica lisa, cielorraso de gypsum y paredes revocadas o de gypsum, junto con ventanas de vidrio. Esta predominancia de materiales reflectantes fue un factor determinante en el comportamiento acústico inicial de las oficinas.

Para evaluar la adecuación de los materiales en relación con las superficies de las tipologías de oficinas analizadas, se aplicó la fórmula de Sabine, buscando determinar si la combinación de materiales y áreas superficiales contribuía a un ambiente acústicamente confortable. Con estos resultados se permitió conocer el tiempo de reverberación para evaluar si cumple con los estándares normativos.

Una conclusión clave de este estudio que se relaciona con el segundo objetivo es que las condiciones acústicas existentes en las oficinas analizadas no cumplen con los estándares

internacionales. Los tiempos de reverberación medidos inicialmente (en un intervalo entre 2.04 a 4.18 segundos) exceden significativamente el límite de 0.5 segundos establecido por la normativa UNEN-ISO 22955, lo que confirma la necesidad de implementar estrategias de acondicionamiento acústico para mejorar la calidad sonora de los espacios.

Con el diseño de la propuesta del acondicionamiento acústico de las oficinas que no cumplen los estándares como tercer objetivo, se usaron materiales absorbentes para captar el sonido. La selección estratégica de materiales absorbentes, como la alfombra en el piso ($\alpha = 0.25$), los paneles acústicos en las paredes ($\alpha = 0.95$) y los paneles en el techo ($\alpha = 0.70$), resultó en una reducción efectiva del tiempo de reverberación en todas las tipologías estudiadas, alcanzando valores entre 0.44 y 0.46 segundos, logrando el cumplimiento del 100% con la normativa UNEN-ISO 22955.

En conclusión, los resultados de esta investigación confirman la hipótesis planteada: La aplicación de materiales acústicos con alta capacidad de absorción en las oficinas administrativas de la PUCE Sede Manabí, campus Manta, contribuirá a optimizar el tiempo de reverberación, permitiendo alcanzar los estándares acústicos internacionales. Los resultados obtenidos confirman la hipótesis planteada, demostrando que la sustitución estratégica de materiales en las oficinas educativas de la PUCE, sede Manabí, campus Manta, impacta significativamente en la reducción del tiempo de reverberación y, por ende, en la mejora de la calidad acústica del espacio. El cumplimiento del 100% con la normativa UNEN-ISO 22955 tras la implementación de las modificaciones propuestas valida la efectividad de esta estrategia para mejorar el ambiente sonoro en espacios de trabajo.

Recomendaciones

Dado que esta investigación se basó en cálculos teóricos utilizando la fórmula de Sabine, y considerando las limitaciones de la fórmula, se recomienda realizar mediciones in situ del tiempo de reverberación (T60) en las oficinas, tanto antes como después de la implementación de las modificaciones propuestas. Estas mediciones, utilizando equipos especializados y metodologías estandarizadas (como la norma ISO 3382), permitirán validar la precisión de los cálculos teóricos y obtener una comprensión más precisa del comportamiento acústico real de los espacios. Esta validación experimental es crucial para superar las limitaciones inherentes a la fórmula de Sabine, que asume un campo sonoro difuso y no considera la direccionalidad de las fuentes sonoras ni la complejidad de la geometría del espacio.

Además del análisis de los materiales absorbentes, se recomienda investigar el impacto de la geometría de las oficinas y la difusión del sonido en el tiempo de reverberación. Futuras investigaciones podrían explorar cómo la forma de los espacios, la presencia de elementos difusores (como estanterías o mobiliario irregular) y la ubicación estratégica de los materiales absorbentes pueden influir en la distribución del sonido y, por ende, en el tiempo de reverberación. Se sugiere utilizar software de modelado acústico avanzado (como Odeon o EASE) para simular diferentes escenarios y optimizar el diseño acústico de las oficinas.

Se propone fomentar la realización de investigaciones que profundicen en aspectos de la evaluación de confort de los usuarios en base a las modificaciones específicas de la acústica en oficinas. Así se evaluará el impacto de las modificaciones acústicas en la percepción del confort, la privacidad y la inteligibilidad del habla por parte de los usuarios de las oficinas, utilizando encuestas, entrevistas y pruebas de percepción.

Se debe realizar un análisis exhaustivo de las normativas acústicas existentes (a nivel nacional e internacional) y promover su cumplimiento en el diseño y la construcción de oficinas. Además, se sugiere impulsar la creación de una línea normativa específica para el acondicionamiento acústico de oficinas en Ecuador, considerando las particularidades del contexto local y las necesidades de los usuarios. Esta línea normativa podría establecer estándares mínimos de tiempo de reverberación, niveles de presión sonora y otros parámetros acústicos relevantes.

Se propone investigar el uso de materiales absorbentes más amigables con el medio ambiente, que minimicen la contaminación y el consumo de recursos naturales. Futuras investigaciones podrían explorar el potencial de materiales reciclados (como textiles o PET reciclados), materiales de origen vegetal (como fibras de coco o caña de azúcar) y materiales de bajo VOC (compuestos orgánicos volátiles) para reducir el tiempo de reverberación sin comprometer la calidad del aire interior.

La evaluación económica detallada de las soluciones de acondicionamiento acústico propuestas se debe considerar, que pueden incluir un análisis de costos directos (materiales, mano de obra, transporte, etc.), una estimación de los costos indirectos (diseño, permisos, gestión de proyectos, etc.), evaluación de los beneficios económicos a largo plazo (ahorro de energía, aumento de la productividad, reducción del absentismo laboral, etc.), entre otras.

El confort acústico, más allá de su aplicación en oficinas como se analizó en este estudio, puede extenderse a otras tipologías de espacios. Sería valioso investigar cómo el estudio de la reverberación puede aplicarse en entornos comerciales, donde la naturaleza de las actividades difiere y los parámetros normativos a cumplir son distintos, adaptando así las soluciones acústicas a las necesidades específicas de cada tipo de espacio.

Referencias Bibliográficas

Abad Sorbet, M. (2013). *Estudio acústico y electroacústico de la sala de conciertos Ritmo y Compás (Madrid)*. Trabajo de Fin de Máster, Máster en Ingeniería Acústica de la Edificación y Medio Ambiente.

Arbito-Chica, M. V., & Contreras-Lojano, C. E. (2022). ANÁLISIS Y ESTRATEGIAS DE CONFORT EN ESPACIOS PATRIMONIALES DE USO LABORAL: Estrategias de diseño interior de confort térmico, lumínico y acústico en espacios laborales de oficina ubicadas dentro de edificaciones patrimoniales (Categoría VAR B) con tipología casa – patio en la ciudad de Cuenca. *DISEÑO ARTE Y ARQUITECTURA*, (12), 67–109. <https://doi.org/10.33324/daya.vi12.504>

Arroyo, J. y Méndez, S. (2018). Obtención y caracterización de un panel acústico a partir del desecho de la caña de azúcar [Tesis de grado, Universidad de las Américas]. Repositorio Digital Universidad De Las Américas. <http://dspace.udla.edu.ec/handle/33000/8724>

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>

Cárdenas, D y Correa, I. (2011). Método de auralización orientado a la implementación de teoría acústica de preferencia subjetiva en salas de concierto. [Trabajo de grado, Universidad de San Buenaventura].

Carrión, A. (1998). *Diseño Acústico de espacios arquitectónicos*. Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya.

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

Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo, Uruguay (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>

Fernández, P. (24 de marzo de 2017). T60, el estándar de medida del tiempo de reverberación. Hispasonic. <https://www.hispasonic.com/tutoriales/t60-estandar-medida-tiempo-reverberacion/42767>

Figueras, M. (2009). Estudio del acondicionamiento acústico de las aulas especiales i y ii de la escuela universitaria de arquitectura técnicas de la universidad de coruña. Corruña: Escuela Universitaria de Arquitectura técnica de la Universidad de Corruña.

Grinn, K. (1978). *Architectural Acoustics*. Brüel & Kjæl.

Guzmán, S. (2019) Estrategias para el acondicionamiento acústico interior. Trabajo de grado, Universidad del Azuay. Repositorio Digital de la Universidad del Azuay. <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/9082>

Hernández Calleja, A. (1998). NTP 503: Confort acústico: el ruido en oficinas. Centro Nacional de Condiciones de Trabajo.

Keränen, J., Hakala, J., & Hongisto, V. (2020). Effect of sound absorption and screen height on spatial decay of speech – Experimental study in an open-plan office. *Applied Acoustics*, 166(107340), 107340. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2020.107340>

Long, M. (2014). *Architectural Acoustics*. Academic Press.

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

Møller, C. y Rasmussen, B. (2018). Acoustic design of open-plan offices and comparison of requirements in the Nordic countries. *Baltic-Nordic Acoustics Meeting*, 15(18), 1-8. https://odeon.dk/pdf/2026382_C_M_Petersen_BNAM2018.pdf

Morten et al (2021). Calidad acústica de oficinas abiertas: Resumen de la norma ISO 22955. Saint-Gobain Ecophon. https://www.ecophon.com/globalassets/media/pdf-and-documents/latam/exp_latam_iso22955_-oficinas-abiertas_lr.pdf/

Narváez-Reyes, N. A., Villavicencio Berrú, A. F., & Contreras Lojano, C. E. (2022). Desarrollo e implementación de paneles acústicos para espacios interiores culturales: Casa de la Cultura Cuenca: Salas de cine, audiovisuales y conciertos. *Diseño Arte y Arquitectura*, (13), 136–146. <https://doi.org/10.33324/daya.vi13.558>

Nowoświat, A. (2023). Determination of the Reverberation Time Using the Measurement of Sound Decay Curves" *Applied Sciences* 13(15). <https://doi.org/10.3390/app13158607>

Nowoświat, A. y Olechowska, M. (2016). Investigation Studies on the Application of Reverberation Time. *Archives of Acoustics*, 41(1), 15-26. https://www.researchgate.net/publication/297608553_Investigation_Studies_on_the_Application_of_Reverberation_Time/fulltext/56e0f31e08ae979addf10179/Investigation-Studies-on-the-Application-of-Reverberation-Time.pdf

Organización Internacional del Trabajo. (n.d.). *La seguridad y salud en el trabajo: Guía para inspectores del trabajo y ruido*. <https://www.ilo.org/es/temas/administracion-e-inspeccion->

del-trabajo/biblioteca-de-recursos/la-seguridad-y-salud-en-el-trabajo-guia-para-inspectores-del-trabajo-y/ruido

Valladares, C. (2012). Aislamiento, acondicionamientos acústicos y diseño electroacústico de la sala de uso múltiple, de la asociación de lojanos residentes en Quito. [Tesis de pregrado, Universidad de las Américas, Quito].

Yadav, M., Cabrera, D., Kim, J., Fels, J., y de Dear, R. (2021). Sound in occupied open-plan offices: Objective metrics with a review of historical perspectives. *Applied Acoustics*, 177. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2021.107943>

Yahya, M. y Vui, D. (2017). A Review on the Potential of Natural Fibre for Sound Absorption Application. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, (226). [doi:10.1088/1757-899X/226/1/012014](https://doi.org/10.1088/1757-899X/226/1/012014)

Anexos

Figura 25

Cálculos del tiempo de reverberación de cada tipología con las condiciones actuales

TIPOLOGÍA 1- (T1-DPA-OA1)					
VOLUMEN DE LA SALA (m3)					322.25
INFORMACIÓN			CÁLCULO		
MATERIALES	COEFICIENTE DE ABSORCIÓN (α)	SUPERFICIE (S)(m2)	S x α	ABSORCIÓN TOTAL A= $\sum S_i \times \alpha_i$	TIEMPO DE REVERBERACIÓN T= $0,161 [V/A]$
Cerámica con superficie lisa	0.02	105.1625	2.10325	12.429685	4.173995158
Puerta (Madera)	0.09	5.4575	0.491175		
Cielorraso de placas de yeso 13 mm + espacio de aire	0.06	101.0625	6.06375		
Pared revocada	0.02	25.9875	0.51975		
Ventana de vidrio	0.04	16.2	0.648		
Placa de yeso 25 mm con espacio de aire	0.06	43.06	2.5836		
Acero	0.1	0.2016	0.02016		

TIPOLOGÍA 2- (T2-DPE-C1)					
VOLUMEN DE LA SALA (m3)					26.46
INFORMACIÓN			CÁLCULO		
MATERIALES	COEFICIENTE DE ABSORCIÓN (α)	SUPERFICIE (S)(m2)	S x α	ABSORCIÓN ABSOLUTA A= $\sum S_i \times \alpha_i$	TIEMPO DE REVERBERACIÓN T= $0,161 [V/A]$
Cerámica con superficie lisa	0.02	9.06	0.1812	1.8318	2.32561415
Cielorraso de placas de yeso 13 mm + espacio de aire	0.06	8.4	0.504		
Pared revocada	0.02	18.27	0.3654		
Ventana de vidrio	0.04	15.75	0.63		
Placa de yeso 25 mm con espacio de aire	0.06	2.52	0.1512		

TIPOLOGÍA 3- (T3-DPE-C2)					
VOLUMEN DE LA SALA (m3)					23.39
INFORMACIÓN			CÁLCULO		
MATERIALES	COEFICIENTE DE ABSORCIÓN (α)	SUPERFICIE (S)(m2)	S x α	ABSORCIÓN ABSOLUTA A= $\sum S_i \times \alpha_i$	TIEMPO DE REVERBERACIÓN T= $0,161 [V/A]$
Cerámica con superficie lisa	0.02	8.093	0.16186	1.47247	2.557327993
Cielorraso de placas de yeso 13 mm + espacio de aire	0.06	7.7	0.462		
Pared revocada	0.02	17.4825	0.34965		
Acero	0.1	0.1008	0.01008		
Ventana de vidrio	0.04	12.222	0.48888		

TIPOLOGÍA 4- (T4-DPE-C3)					
VOLUMEN DE LA SALA (m3)					22.96
INFORMACIÓN			CÁLCULO		
MATERIALES	COEFICIENTE DE ABSORCIÓN (α)	SUPERFICIE (S)(m2)	S x α	ABSORCIÓN ABSOLUTA A= $\sum S_i \times \alpha_i$	TIEMPO DE REVERBERACIÓN T= $0,161 [V/A]$
Cerámica con superficie lisa	0.02	8.1	0.162	1.59858	2.312754757
Cielorraso de placas de yeso 13 mm + espacio de aire	0.06	7.29	0.4374		
Pared revocada	0.02	19.215	0.3843		
Acero	0.1	0.1008	0.01008		
Ventana de vidrio	0.04	15.12	0.6048		

TIPOLOGÍA 5- (T5-DPE-C4)					
VOLUMEN DE LA SALA (m3)					51.18
INFORMACIÓN			CÁLCULO		
MATERIALES	COEFICIENTE DE ABSORCIÓN (α)	SUPERFICIE (S)(m2)	S x α	ABSORCIÓN ABSOLUTA A= $\sum S_i \times \alpha_i$	TIEMPO DE REVERBERACIÓN T= $0,161 [V/A]$
Cerámica con superficie lisa	0.02	16.5825	0.33165	3.58395	2.299116792
Cielorraso de placas de yeso 13 mm + espacio de aire	0.06	16.2475	0.97485		
Ventana de vidrio	0.04	41.1075	1.6443		
Placa de yeso 25 mm con espacio de aire	0.06	10.5525	0.63315		

TIPOLOGÍA 6- (T6-DPE-C5)					
VOLUMEN DE LA SALA (m3)					35.88
INFORMACIÓN			CÁLCULO		
MATERIALES	COEFICIENTE DE ABSORCIÓN (α)	SUPERFICIE (S)(m2)	S x α	ABSORCIÓN ABSOLUTA A= $\sum S_i \times \alpha_i$	TIEMPO DE REVERBERACIÓN T= $0,161 [V/A]$
Cerámica con superficie lisa	0.02	11.725	0.2345	2.82995	2.04118041
Cielorraso de placas de yeso 13 mm + espacio de aire	0.06	11.39	0.6834		
Ventana de vidrio	0.04	31.9725	1.2789		
Placa de yeso 25 mm con espacio de aire	0.06	10.5525	0.63315		

Figura 26

Cálculos del tiempo de reverberación de cada tipología con el acondicionamiento acústico

TIPOLOGÍA 1- (T1-DPA-OA1)					
VOLUMEN DE LA SALA (m3)					322.25
INFORMACIÓN			CÁLCULO		
MATERIALES	COEFICIENTE DE ABSORCIÓN (α)	SUPERFICIE (S) (m2)	S x α	ABSORCIÓN TOTAL A=ΣS i x α i	TIEMPO DE REVERBERACIÓN T=0,161 [V/A]
Alfombra delgada pegada al contrapiso	0.25	105.1625	26.290625	116.67626	0.444661536
Puerta (Madera)	0.09	5.4575	0.491175		
Paneles acústicos fonoabsorbentes perforados	0.7	101.0625	70.74375		
Pared revocada	0.02	25.9875	0.51975		
Ventana de vidrio	0.04	16.2	0.648		
Paneles acústicos absorbentes con lana de roca	0.95	17.28	16.416		
Placa de yeso 25 mm con espacio de aire	0.06	25.78	1.5468		
Acero	0.1	0.2016	0.02016		

TIPOLOGÍA 2- (T2-DPE-C1)					
VOLUMEN DE LA SALA (m3)					26.46
INFORMACIÓN			CÁLCULO		
MATERIALES	COEFICIENTE DE ABSORCIÓN (α)	SUPERFICIE (S) (m2)	S x α	ABSORCIÓN ABSOLUTA A=ΣS i x α i	TIEMPO DE REVERBERACIÓN T=0,161 [V/A]
Alfombra delgada pegada al contrapiso	0.25	9.06	2.265	9.2916	0.458485083
Paneles acústicos fonoabsorbentes perforados	0.7	8.4	5.88		
Pared revocada	0.02	18.27	0.3654		
Ventana de vidrio	0.04	15.75	0.63		
Placa de yeso 25 mm con espacio de aire	0.06	2.52	0.1512		

TIPOLOGÍA 3- (T3-DPE-C2)					
VOLUMEN DE LA SALA (m3)					23.39
INFORMACIÓN			CÁLCULO		
MATERIALES	COEFICIENTE DE ABSORCIÓN (α)	SUPERFICIE (S) (m2)	S x α	ABSORCIÓN ABSOLUTA A=ΣS i x α i	TIEMPO DE REVERBERACIÓN T=0,161 [V/A]
Alfombra delgada pegada al contrapiso	0.25	8.093	2.02325	8.26186	0.455779782
Paneles acústicos fonoabsorbentes perforados	0.7	7.7	5.39		
Pared revocada	0.02	17.4825	0.34965		
Acero	0.1	0.1008	0.01008		
Ventana de vidrio	0.04	12.222	0.48888		

TIPOLOGÍA 4- (T4-DPE-C3)					
VOLUMEN DE LA SALA (m3)					22.96
INFORMACIÓN			CÁLCULO		
MATERIALES	COEFICIENTE DE ABSORCIÓN (α)	SUPERFICIE (S) (m2)	S x α	ABSORCIÓN ABSOLUTA A=ΣS i x α i	TIEMPO DE REVERBERACIÓN T=0,161 [V/A]
Alfombra delgada pegada al contrapiso	0.25	8.1	2.025	8.12718	0.454908529
Paneles acústicos fonoabsorbentes perforados	0.7	7.29	5.103		
Pared revocada	0.02	19.215	0.3843		
Acero	0.1	0.1008	0.01008		
Ventana de vidrio	0.04	15.12	0.6048		

TIPOLOGÍA 5- (T5-DPE-C4)					
VOLUMEN DE LA SALA (m3)					51.18
INFORMACIÓN			CÁLCULO		
MATERIALES	COEFICIENTE DE ABSORCIÓN (α)	SUPERFICIE (S) (m2)	S x α	ABSORCIÓN ABSOLUTA A=ΣS i x α i	TIEMPO DE REVERBERACIÓN T=0,161 [V/A]
Alfombra delgada pegada al contrapiso	0.25	16.5825	4.145625	17.796325	0.463012427
Paneles acústicos fonoabsorbentes perforados	0.7	16.2475	11.37325		
Ventana de vidrio	0.04	41.1075	1.6443		
Placa de yeso 25 mm con espacio de aire	0.06	10.5525	0.63315		

TIPOLOGÍA 6- (T6-DPE-C5)					
VOLUMEN DE LA SALA (m3)					35.88
INFORMACIÓN			CÁLCULO		
MATERIALES	COEFICIENTE DE ABSORCIÓN (α)	SUPERFICIE (S) (m2)	S x α	ABSORCIÓN ABSOLUTA A=ΣS i x α i	TIEMPO DE REVERBERACIÓN T=0,161 [V/A]
Alfombra delgada pegada al contrapiso	0.25	11.725	2.93125	12.8163	0.450710306
Paneles acústicos fonoabsorbentes perforados	0.7	11.39	7.973		
Ventana de vidrio	0.04	31.9725	1.2789		
Placa de yeso 25 mm con espacio de aire	0.06	10.5525	0.63315		