



**Pontificia Universidad  
Católica del Ecuador**

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

**TRABAJO DE TITULACIÓN**  
“OPTIMIZACIÓN DEL TIEMPO DE REVERBERACIÓN EN OFICINAS  
UNIVERSITARIAS”

**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**  
GEOVANNY ANDRÉS RAMÍREZ 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 04 días del mes de Abril de dos mil veinte y cinco.

---

**ARQ. JORGE LEONARDO CEVALLOS CARRILLO, MGTR EN URBANISMO**  
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 04 días 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, MGTR EN URBANISMO**  
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 04 días del mes de Abril de dos mil veinte y cinco.

---

Geovanny Andrés Ramírez Mendoza

C.C. 1315114346

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 04 días del mes de Abril de dos mil veinte y cinco.

---

Geovanny Andrés Ramírez Mendoza

C.C. 1315114346

Autor

## **DEDICATORIA**

A mi familia y amigos.

---

Geovanny Andrés Ramírez Mendoza

C.C. 1315114346

Autor

## AGRADECIMIENTOS

A mi familia, a mis padres por su apoyo y esfuerzo; y especialmente a mis abuelos Chavica y Joaquín, quienes hicieron posible que pudiera estudiar arquitectura.

A Emily Mendoza, Gabriela Mogrovejo, Gabriela Galárraga y Ramón Vicente por su amistad incondicional a lo largo de la carrera.

A mi tutor de tesis, el Arq. Jorge Cevallos por su valiosa orientación durante este proceso.

También a todos los profesores de la carrera de Arquitectura por compartir su conocimiento.

Y a todas las personas especiales que forman parte de mi vida.

---

Geovanny Andrés Ramírez Mendoza

C.C. 1315114346

Autor

## Resumen

El diseño acústico en oficinas universitarias es fundamental para garantizar la concentración y productividad, ya que una mala calidad sonora puede afectar el ambiente laboral. En este contexto uno de los parámetros más relevantes es el tiempo de reverberación (RT) que afecta directamente al confort acústico. A pesar de su importancia y de las normativas que regulan su diseño, se constató que las oficinas objeto de estudio no consideraban criterios acústicos idóneos. Esta investigación analiza la optimización del RT en oficinas universitarias mediante la implementación de materiales absorbentes. La pregunta que surgió fue, ¿cómo optimizar el RT en las oficinas del edificio administrativo de la PUCE, sede Manabí, campus Portoviejo mediante materiales acústicos adecuados? Se eligieron las oficinas del tercer piso por su forma regular, requisito para la aplicación de la fórmula de Sabine, además se midió el volumen y se obtuvieron los coeficientes de absorción de los materiales de las superficies. Los resultados iniciales constataron que ninguna oficina cumplía con los 0.5 segundos recomendados por la normativa ISO 22955. Por ende, se propuso la aplicación de lana de vidrio y baffles de poliuretano en el techo y después del cálculo post intervención los resultados confirmaron la hipótesis, la cual planteaba que la aplicación de materiales absorbentes en el techo reduciría significativamente el RT alcanzado los valores de recomendados, favoreciendo las condiciones acústicas y el desempeño laboral. Se recomienda aplicar otros materiales como textiles, maderas o materiales ecológicos. Asimismo, considerar factores adicionales como mobiliario, personas o ruido externo.

*Palabras clave:* Acústica, Diseño Acústico, Tiempo de reverberación, Absorción Sonora, Oficinas Universitarias.

## **Abstract**

Acoustic design in university offices is fundamental to ensuring concentration and productivity, as poor sound quality can affect the work environment. In this context, one of the most relevant parameters is reverberation time (RT), which directly affects acoustic comfort. Despite its importance and the regulations governing its design, it was found that the offices under study did not consider appropriate acoustic criteria. This research analyzes the optimization of RT in university offices through the implementation of absorbent materials. The question that arose was, how to optimize RT in the offices of the administrative building at PUCE, Manabí campus, Portoviejo, using suitable acoustic materials? The offices on the third floor were chosen for their regular shape, a requirement for applying the Sabine formula. Additionally, the volume was measured, and the absorption coefficients of the surface materials were obtained. Initial results showed that none of the offices met the 0.5 seconds recommended by ISO 22955. Therefore, the application of fiberglass and polyurethane baffles on the ceiling was proposed, and post-intervention calculations confirmed the hypothesis, which stated that the application of absorbent materials on the ceiling would significantly reduce RT to recommended values, improving acoustic conditions and work performance. It is recommended to apply other materials such as textiles, wood, or ecological materials. Additionally, consider additional factors such as furniture, people, or external noise.

*Keywords:* Acoustics, Acoustic Design, Reverberation Time, Sound Absorption, University Offices.

## Tabla de Contenidos

Introducción .....	1
Planteamiento.....	2
Problema General.....	2
Hipótesis Central.....	2
Justificación .....	2
Estado de la cuestión.....	3
Formulación .....	5
Problema Especifico .....	5
Preguntas de Investigación .....	5
Marco Teórico.....	6
Objetivos.....	9
Hipótesis específica .....	9
Materiales y métodos .....	10
Diseño del Objeto .....	10
Tipo de investigación.....	10
Modelo de Análisis .....	10
Unidades de análisis.....	11
Variables y Dimensiones .....	11

Fuentes de datos .....	11
Diseño de los Procedimientos .....	11
Campo de Análisis .....	11
Unidades de Observación .....	12
Técnica de Análisis .....	16
Instrumentos y recursos .....	17
Indicadores .....	17
Resultados .....	17
Recolección y procesamiento .....	17
Presentación de resultados .....	17
Tratamiento y Análisis .....	20
Análisis de resultados .....	20
Discusión.....	27
Conclusión .....	30
Recomendaciones .....	31
Referencias Bibliográficas .....	33
Anexos .....	36

## Índice de tablas

Tabla 1 <i>Tipologías de la ISO 22955</i> .....	8
Tabla 2 <i>Valores para oficinas de Trabajo colaborativo esporádico</i> .....	17
Tabla 3 <i>Dimensiones y materialidad de las tipologías</i> .....	18
Tabla 4 <i>Resultados del RT por tipología</i> .....	19
Tabla 5 <i>Comparativa entre resultados obtenidos y RT recomendado</i> .....	19
Tabla 6 <i>Opciones de materiales absorbentes para techo</i> .....	21
Tabla 7 <i>Opciones de materiales absorbentes para piso</i> .....	22
Tabla 8 <i>Diferencias de NRC entre materiales actuales y propuestos</i> .....	22
Tabla 9 <i>Resultados del RT con la implementación de materiales</i> .....	23
Tabla 10 <i>Comparativa entre resultados con recomendación de materiales y RT recomendado</i> .....	24

## Índice de figuras

Figura 1 <i>Ubicación de la PUCE, sede Manabí, campus Portoviejo</i> .....	12
Figura 2 <i>Ubicación de las tipologías</i> .....	13
Figura 3 <i>Comparativa entre resultados obtenidos y RT recomendado</i> .....	20
Figura 4 <i>Comparativa entre resultados con recomendación de materiales y RT recomendado</i> .....	24
Figura 5 <i>Estado actual de tipologías OT1, OT2, OT3, OT4, OT6 y OT7, configuración individual</i> .....	25
Figura 6 <i>Estado actual de tipología OT5, configuración abierta</i> .....	25
Figura 7 <i>Resultado final de tipologías OT1, OT2, OT3, OT4, OT6 y OT7, configuración individual</i> .....	26
Figura 8 <i>Resultado final de tipología OT5, configuración abierta</i> .....	26

## **Introducción**

En las oficinas universitarias, donde la comunicación verbal es fundamental, la adecuada absorción acústica es indispensable. En este contexto, las oficinas del edificio administrativo de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, sede Manabí, campus Portoviejo, presentan características arquitectónicas que generan altos niveles de reverberación, lo que afecta a la calidad acústica del ambiente. Por lo tanto, es crucial identificar e implementar soluciones que permitan reducir el tiempo de reverberación.

Diversas investigaciones han abordado la optimización acústica en las oficinas, analizando parámetros como el tiempo de reverberación que adelante se denominara (RT), la absorción acústica de los materiales y la configuración espacial. Múltiples estudios han demostrado que la absorción del techo es la estrategia más eficiente para mejorar la atenuación del habla, asimismo se ha evidenciado que los difusores también contribuyen a una mejor uniformidad del sonido. De igual forma, varios estudios han abarcado este tema desde un enfoque contemporáneo, tomado en cuenta no solo el diseño acústico sino también el diseño sostenible, incorporación materiales orgánicos, inorgánicos o reciclados, para reducir el tiempo de reverberación. Por otro lado, existen normativas internacionales específicas para oficinas, como la ISO 22955, la cual proporciona parámetros acústicos adecuados, para así asegurar la calidad acústica.

Este estudio tiene como objetivo evaluar el impacto de diferentes materiales absorbentes en la reducción del tiempo de reverberación en las oficinas abiertas. Utilizando la fórmula de Sabine como herramienta de análisis. A partir de las características acústicas de las oficinas estudiadas, se busca identificar las deficiencias actuales y sugerir la implementación de materiales que contribuyan a una mejorar del confort acústico.

## **Planteamiento**

### ***Problema General***

La gestión inadecuada del tiempo de reverberación en las oficinas puede generar diversos efectos adversos en el espacio, produciendo ecos y una baja claridad en el sonido, además de afectar a la inteligibilidad del habla, dificultando la concentración, lo que, en última instancia, reduce la productividad de sus empleados. Según Rawlings, (2015), especialista en acústica de oficinas, los empleados pierden de 10 a 15 minutos de trabajo concentrado debido a la distracción provocada por el ruido.

Desde un enfoque arquitectónico, la reverberación compromete al diseño espacial, (Diasen, 2023) menciona que, la forma, el tamaño, el tipo de material utilizado y la presencia de muebles en una habitación afectan a la reverberación. Asimismo, Miyara, (2006) menciona que el RT depende de cuán absorbentes sean las superficies de un espacio, materiales reflectantes como lo pueden ser el hormigón, vidrio o acero, necesitaran muchas reflexiones para disminuir el sonido lo que ocasiona que el RT sea alto, en comparación con materiales absorbentes tales como maderas o lanas, los cuales con cada reflexión absorben una porción grande del sonido, lo que provoca que el RT sea poco.

### ***Hipótesis Central***

La variación del coeficiente de absorción de los materiales reduce o aumenta el RT de las oficinas, mejorando la inteligibilidad del habla y la concentración de los usuarios.

### ***Justificación***

Los hallazgos de esta investigación tienen el potencial de contribuir a la arquitectura y a al diseño acústico local. En lo práctico, ofrece soluciones que pueden incluirse en proyectos existentes o futuros, mientras que el ámbito teórico, ofrece datos relevantes que favorecen al

conocimiento sobre el diseño acústico. Finalmente, los resultados pueden servir como base para generar recomendaciones que promuevan un diseño acústico con estándares más eficientes.

Asimismo, es pertinente debido a la creciente necesidad de mejorar las condiciones acústicas en los espacios de trabajo y estudios lo que influye directamente en el desempeño y confort de los usuarios. Esta investigación responde a la falta de estudios locales sobre el impacto del RT en las oficinas, proporcionando información relevante para un diseño acústico adecuado.

### ***Estado de la cuestión***

Diversos estudios han abordado la problemática de la calidad acústica en oficinas abiertas, con especial énfasis en la reducción del RT Caballola y Raposo, (2016) realizaron un experimento en el que colocaron materiales absorbentes en piezas separadas, concluyendo que esta disposición incrementa la absorción acústica. Más recientemente, Caballola et al. (2022) retomaron esta línea de investigación y hallaron que la absorción acústica aumenta cuando los materiales absorbentes se colocan en piezas separadas, debido al incremento de la difusión y al efecto de borde, una consideración clave en el diseño arquitectónico.

El realizado por Keränen et al. (2020) analizó el impacto de la absorción acústica en el techo, las paredes y los paneles, así como la altura de estos últimos en la disminución de la propagación del habla en oficinas abiertas. Los resultados evidenciaron que el techo es la forma más eficiente de aumentar la atenuación del habla. Lo mismo indica en la normativa ISO 22955 (2021). Este enfoque arquitectónico fue respaldado por Arvidsson et al. (2021), quienes afirmaron que un techo absorbente es una buena línea base, aunque recalcaron que aún es necesario un tratamiento adicional y que los difusores también contribuyen a una mejor uniformidad del sonido.

En cuanto a los materiales comerciales habituales para el aislamiento acústico, como las lanas minerales, el estudio de Rodero y Peinado (2007) concluyeron que el espesor de las lanas minerales no presenta una diferencia significativa en su coeficiente de absorción, un dato para tener en cuenta en diseños arquitectónicos. Este material es mencionado por Knaufinsulation (2023) destacando a las lanas mineral como un excelente aislante acústico, debido a su estructura porosa pueden atrapar la energía sonora y disiparla en sus poros. Asimismo, Campo y Orbe (2023) mencionan que el poliuretano permite que las ondas sonoras penetren a través de un gran número de poros, hasta disiparlas. Lo expuesto por estos autores tiene relación con lo señalado por Tapia (2019), quien menciona que los materiales porosos como lanas minerales o el poliuretano, que presentan una estructura interna conformada por varias cavidades. Esta característica les permite absorber un amplio espectro de frecuencias. Además de los materiales comerciales, en la actualidad se buscan soluciones más ecológicas, como los materiales de origen natural o reciclado, los cuales también poseen buenos coeficientes de absorción.

Como el realizado por Ružickij et al. (2023) donde llevaron a cabo un estudio en el que crearon un material acústico a partir de fibras textiles de neumáticos y lodos de papel, demostrando que este material puede reducir el tiempo de reverberación y sustituir a las lanas minerales en el aislamiento de paredes, siendo esta una alternativa viable para proyectos arquitectónicos donde se prioriza la sostenibilidad. Finalmente, Darwish y Midani (2022) realizaron un estudio sobre el coeficiente de absorción de la fibra extraída de la nervadura de la palmera datilera (*Phoenix dactylifera*), logrando una muestra con un equilibrio entre tortuosidad y porosidad, lo que demuestra que los materiales de origen natural pueden ofrecer un rendimiento acústico eficiente.

En definitiva, es posible reducir el tiempo de reverberación con materiales absorbentes, tanto comerciales como reciclados, se afirma que los espesores de la lana mineral no presentan un gran impacto en la reducción del RT por lo que la selección de espesores se podría optimizar, además cabe destacar que varios estudios y normativa afirman que la superficie que más impacto tiene en el RT es el techo y esta tiene que ser lo más absorbente posible.

## **Formulación**

### ***Problema Especifico***

Con base en los estudios previos y los datos presentados, resulta probable que, en las oficinas del edificio administrativo de la PUCE, sede Manabí, campus Portoviejo, haya una mala acústica, especialmente por el uso de sus materiales, los cuales en su mayoría poseen un bajo coeficiente de absorción esto eventualmente, genera un mayor RT respecto de los recomendados en las normativas internacionales como la ISO 22955. Lo anterior tendría varios efectos negativos tales como afectar negativamente al confort acústico, inteligibilidad del habla, la concentración, y consecuentemente la productividad.

Esto demuestra la falta de estudios acústicos previos en el diseño de estas oficinas, lo que refleja una desconexión entre las necesidades acústicas y el diseño arquitectónico, por lo que es urgente abordar este problema mediante una recomendación de intervención que integre principios de diseño acústico.

### ***Preguntas de Investigación***

En base a la problemática, surge la pregunta: ¿Cómo optimizar el RT en las oficinas de la tercera planta del edificio administrativo de la PUCE, sede Manabí, campus Portoviejo mediante la implementación de materiales acústicos adecuados? Para responder a este cuestionamiento, se requiere, además, responder otras cuestiones, como ¿Qué materiales predominan y como afectan

al RT?, ¿En qué medida las condiciones de las oficinas cumplen con los estándares acústicos? y ¿Qué materiales absorbentes son los más adecuados para reducir el RT de las oficinas?

### ***Marco Teórico***

Wallace Clement Sabine (1868 – 1919) considerado el “padre” de la acústica arquitectónica, fue un físico americano, graduado de la universidad de Ohio con estudios de posgrados en la universidad de Harvard (American Physical Society, [APS], 2011). Ya siendo profesor de Harvard a Sabine se le fue asignado buscar una solución para el Fogg Art Museum el cual poseía una pésima calidad acústica. Su descubrimiento fue que, la reverberación de un recinto era inversamente proporcional a la cantidad de absorción acústica del mismo (Carrión, 1998).

Al RT se lo puede definir como una frecuencia determinada como el tiempo (en segundos) que transcurre desde que la fuente emisor de sonido se detiene hasta el momento en que el nivel de presión sonora (SPL) disminuye 60 dB en comparación con su valor inicial (Carrión, 1998).

Para poder cuantificar el RT, existen varias teorías entre estas, la teoría de Sabine, la cual, parte del, “supuesto de que existe un reparto homogéneo de absorbentes con un coeficiente de absorción bajo” (Boschi, 2008, p.3). Además, Carrión (1998) señala que es la fórmula con más aceptación a nivel internacional por su sencillez de cálculo. Esta se muestra a continuación.

$$T = 0,161 [V/A]$$

En donde:

T= Tiempo de reverberación (s)

V= Volumen de la sala (m<sup>3</sup>)

A= Absorción total (m<sup>2</sup>)

Sin embargo, la fórmula de Wallace Sabine presenta ciertas limitaciones. Facundo (2015) menciona que esta presupone dos condiciones: por un lado, que el campo sonoro sea difuso, es decir, que el sonido esté uniformemente distribuido en todas las direcciones, y, por otra parte, que el campo sonoro sea homogéneo, es decir, que la intensidad del sonido sea la misma en todos los puntos del espacio, condiciones sin las cuales la fórmula deja de ser válida. De igual manera, menciona que, la fórmula pierde validez por el uso de fuentes de sonido direccionales, ya que el recinto dejaría de ser difuso. Asimismo, Marin (2016) menciona que la validez de la fórmula es cuestionable cuando el recinto presenta formas irregulares, ya que en ciertos ángulos o esquinas se concentrarían las reflexiones del sonido, por lo que el campo dejaría de ser difuso y la trayectoria del sonido sería impredecible. El mismo autor menciona que la distribución no uniforme de la absorción acústica limita la existencia del campo sonoro difuso. Para finalizar menciona que, mientras más elevado sea el coeficiente medio de absorción más rápido decae el campo sonoro por lo que también se perdería las condiciones de difuso.

Carrión (1998), define al coeficiente de absorción ( $\alpha$ ) como “la relación entre la energía absorbida de dicho material y la energía incidente sobre el mismo”. Y se mide por medio de una cámara reverberante según la normativa internacional EN ISO 354.

$$\alpha = \frac{\text{Energía absorbida}}{\text{Energía Incidente}}$$

European Acustica (2018) define a los materiales absorbentes como aquellos que evitan que el ruido se refleje lo más posible. Además, los divide en cuatro grupos:

**Materiales resonantes:** presenta una máxima absorción a una frecuencia determinada.

**Materiales porosos:** absorben más sonido a medida que aumenta la frecuencia, es decir que mientras más alta la frecuencia (agudos) mayor absorción y mientras más porosidad tenga el material mayor será su absorción.

**Absorbentes en forma de panel o membrana:** presentan una mayor absorción de frecuencias bajas (graves).

**Absorbente Helmholtz:** creado artificialmente para absorber una frecuencia determinada.

Por último, en el año 2021 la Organización Internacional de Normalización abreviada ISO, publicaría la normativa ISO 22955 Calidad Acústica de Espacios de Oficina Abiertos. Esta normativa ofrece información técnica y metodológica sobre la calidad de la acústica en oficinas abiertas (Berg & Green, 2021). Además, ofrece principios de diseño de acondicionamiento acústico que van desde, tratamiento de techos, suelos y pisos, mobiliario, distribución en planta y geometría del espacio, cabe destacar que la ISO establece 6 tipologías de oficinas en función del uso, cada una con sus respectivos parámetros acústicos: atenuación del habla, decaimiento espacial del habla y RT. Las tipologías mencionadas por la normativa se describen a continuación:

**Tabla 1**

*Tipologías de la ISO 22955.*

Tipologías de la ISO 22955	Área de absorción equivalente	Atenuación del habla entre puestos de trabajo	Tiempo de reverberación		Decaimiento espacial del habla
			T	T125	
Actividad todavía sin definir	A/suelo $\geq 0,9$	-	-	-	-
Tele- y video-comunicación	-	$D_{A_s} \geq 6$ dB	$T \leq 05$ s	$T_{125\text{Hz}} \leq 08$ s	$D_{2,s} \geq 7$ dB
Principalmente trabajo colaborativo	-	$D_{A_s} \geq 4$ dB	$T \leq 05$ s	$T_{125\text{Hz}} \leq 08$ s	$D_{2,s} \geq 8$ dB
Trabajo colaborativo esporádico	-	$D_{A_s} \geq 6$ dB	$T \leq 05$ s	$T_{125\text{Hz}} \leq 08$ s	$D_{2,s} \geq 8$ dB
Recepción de público	-	$D_{A_s} \geq 6$ dB	$T \leq 08$ s	$T_{125\text{Hz}} \leq 01$ s	-

*Nota.* adaptado de *ISO 22599 Calidad Acústica de Oficinas Abiertas* (Berg & Green, 2021). La tipología 6 Actividades Mixtas no se incluye debido a la naturaleza de su uso, no es posible definir una actividad o actividades específicas, por lo que no es óptimo dar valores objetivos generales para todo el espacio (Berg & Green, 2021).

## ***Objetivos***

### **Objetivo General**

Proponer materiales acústicos de alta absorción para optimizar el RT en las oficinas de la planta alta del edificio administrativo de la PUCE sede Manabí, Campus Portoviejo, mediante el análisis de sus características acústicas y la aplicación de la fórmula de Sabine, con el fin de alcanzar los estándares acústicos recomendados.

### **Objetivos Específicos**

Clasificar las tipologías arquitectónicas de las oficinas de la tercera planta del edificio administrativo de la PUCE Sede Manabí, Campus Portoviejo, considerando su volumen y materialidad, para comprender su influencia en las condiciones acústicas.

Analizar las condiciones acústicas actuales de las oficinas del edificio antes dicho mediante la comparación con normativas acústicas internacionales, evaluando el cumplimiento de los estándares de tiempo de reverberación.

Diseñar propuestas de implementación con lana de vidrio y paneles de poliuretano para las oficinas del edificio administrativo que no cumplan con los estándares acústicos, utilizando la fórmula de Sabine para validar la reducción del tiempo de reverberación.

### ***Hipótesis específica***

La implementación de materiales acústicos con alta capacidad de absorción especialmente en el techo de las oficinas de la tercera planta del edificio administrativo de la PUCE, Sede Manabí, Campus Portoviejo, reducirán el RT alcanzando los estándares acústicos recomendados por la ISO 22599.

## **Materiales y métodos**

### **Diseño del Objeto**

#### ***Tipo de investigación***

El campo de esta investigación se enmarca en el ámbito científico, con un enfoque en la comprensión y análisis de fenómenos acústicos en oficinas. El propósito de la investigación es de carácter básico, orientado a generar conocimiento fundamental que contribuya al entendimiento de cómo ciertos materiales impactan en las propiedades acústicas. El alcance del estudio es descriptivo y comparativo, inicialmente se buscó describir las características acústicas actuales, identificando el efecto del volumen y los materiales en el RT, luego se establecieron relaciones entre variables acústicas y se compararon distintos materiales para evaluar sus efectividad sobre RT. Finalmente, con los resultados obtenidos, se realizaron recomendaciones de diseño acústico específicamente de materiales, con el fin de mejorar el ambiente laboral y garantizar el cumplimiento con la normativa. El método empleado es experimental comparativo, utilizando un enfoque cuantitativo. Para la evaluación de la efectividad de los materiales, se elaboró una simulación teórica empleando la fórmula de Sabine con la cual se realizaron mediciones precisas del RT antes y después de la propuesta de materiales absorbentes, asimismo, se recopilaron datos numéricos y se aplicó el análisis estadístico para validar los resultados obtenidos y ofrecer conclusiones fundamentadas en evidencia empírica.

#### ***Modelo de Análisis***

El modelo de análisis de esta investigación es la fórmula de Sabine, previamente mencionada, la cual permite calcular de manera cuantificable, la duración en la que el sonido permanece en una sala por medio de su volumen y la absorción de sus materiales. La fórmula es la siguiente:

$$T= 0,161 [V/A]$$

### ***Unidades de análisis***

La unidad de análisis de esta investigación son las oficinas administrativas, siendo definidas por la Rae (2024), como un espacio donde se realizan, organizan y desarrollan actividades.

### ***Variables y Dimensiones***

**Variables Independientes:** Materiales de las oficinas a estudio.

**Subvariables:** Coeficiente de absorción de los materiales.

**Variable Dependiente:** Tiempo de Reverberación.

### ***Fuentes de datos***

La toma de medidas se realizó *in situ* y se verificó con la documentación técnica facilitada por la universidad. Por otra parte, se llevó a cabo una revisión de normativas internacionales relacionadas con el RT, entre ellas la ISO 3382-2 o la ISO 22955. Finalmente, para determinar el coeficiente de absorción de los materiales se hizo una búsqueda de documentación técnica que contuvieran estos valores.

### **Diseño de los Procedimientos**

#### ***Campo de Análisis***

Las oficinas objeto de análisis se encuentran en la tercera planta del edificio administrativo de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Sede Manabí, Campus Portoviejo. Este edificio, ubicado en la ciudad de Portoviejo, cabecera cantonal y capital de la provincia de Manabí, forma parte de un conjunto de 8 bloques dentro de la universidad. La sede universitaria se localiza en la calle Eudoro Loor, en el sector 18 de octubre, caracterizado por una

combinación de usos residencial, comercial y educativo. El entorno circundante registra un gran flujo de personas en horas de la tarde, en particular debido a la presencia de dos unidades educativas ubicadas en la calle Atanacio Santos. Además de la activación de comercios, principalmente restaurantes, que comienzan sus operaciones en horas de la tarde y noche en la calle Atanacio Santos y la Avenida Reales Tamarindos. En sus inicios fue el primer edificio de la institución, por lo que su uso principal era educativo, con el pasar de los años y la construcción de los demás bloques, pasó a ser de uso administrativo y las aulas fueron adaptadas a oficinas. Actualmente en las oficinas trabajan un total de 24 docentes de medio tiempo y tiempo completo.

### **Figura 1**

*Ubicación de la PUCE, sede Manabí, campus Portoviejo.*



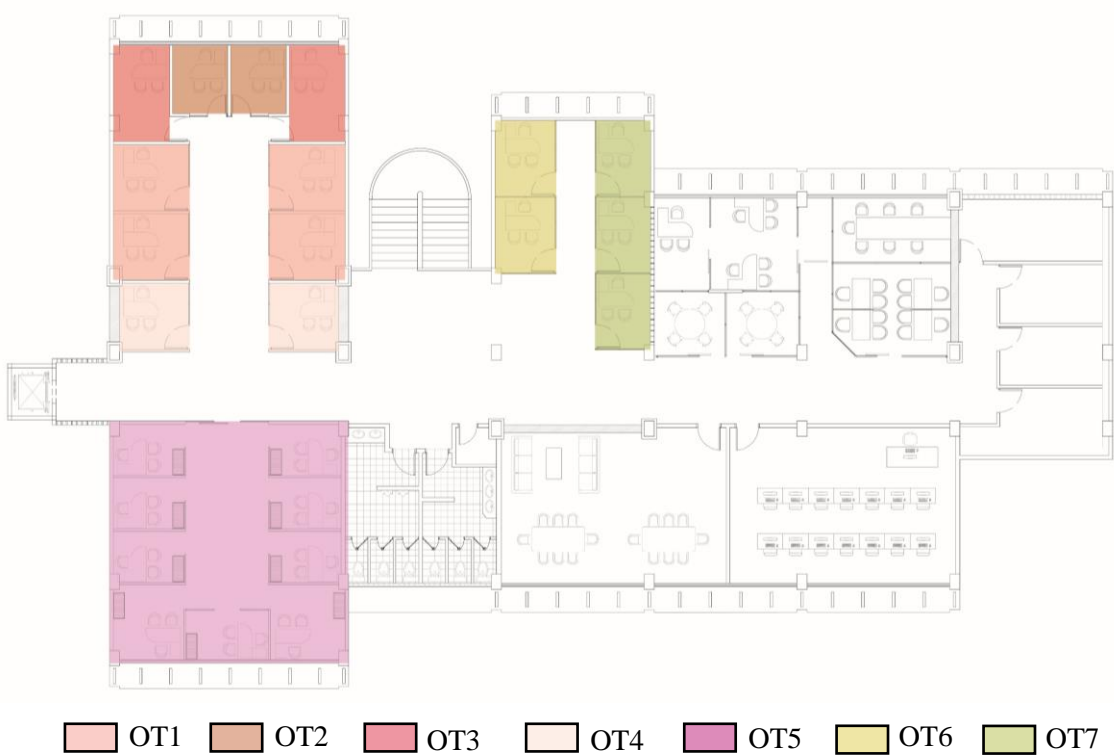
### ***Unidades de Observación***

La investigación se centra en las oficinas de la tercera planta del edificio administrativo de la PUCE, Sede Manabí, Campus Portoviejo, usadas por el personal docente. Marín (2016)

menciona que la fórmula pierde validez cuando los espacios presentan formas irregulares. Con base en este criterio se escogieron las oficinas de la tercera planta, por su superficie regular en el techo, a diferencia del resto que cuenta con una losa nervada, la cual presenta cavidades por donde las ondas sonoras pueden concentrarse. Inicialmente las oficinas se dividieron en dos configuraciones: 15 oficinas individuales y 1 oficina abierta. Luego mediante la observación directa, el análisis de planos arquitectónicos, y teniendo en consideración el primer objetivo específico, se dividieron las 16 oficinas en siete tipologías (OT) según sus dimensiones. En la figura 2 se detalla la ubicación y las características de cada tipología:

**Figura 2**

*Ubicación de las tipologías*



*Nota.* adaptado de “*admin planta 03*” (plano) Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Sede Manabí – Campus Portoviejo.

**OT1:** Estas oficinas son de tipo individual, con muros longitudinales de 3.38 metros, muros transversales de 2.72 metros y una altura total de 3.15 metros. La pared externa es de ladrillo visto, mientras que las paredes internas son ventanales conformados de un marco de aluminio y paneles de vidrio. La puerta de acceso es de vidrio y corresponde al tipo corredizo. La cubierta es una losa maciza, mientras que el piso está revestido con baldosas de cerámica blanca.

**OT2:** Estas oficinas son de tipo individual, con muros longitudinales de 2.83 metros, muros transversales de 2.21 metros y una altura total de 3.15 metros. La pared externa está compuesta por un antepecho de ladrillo visto de 0.60 metros y un ventanal conformado de un marco de aluminio y paneles de vidrio, asimismo las paredes internas son ventanales de aluminio con paneles de vidrio. La puerta de acceso es de vidrio y corresponde al tipo corredizo. La cubierta es una losa maciza, mientras que el piso está revestido con baldosas de cerámica blanca.

**OT3:** Estas oficinas son de tipo individual, con muros longitudinales de 3.87 metros, muros transversales de 2.28 metros y una altura total de 3.15 metros. Una pared externa está compuesta por un antepecho de ladrillo visto de 0.60 metros y ventanales conformados por un marco de aluminio con paneles de vidrio, mientras que la otra pared externa es de ladrillo de visto, las paredes internas son ventanales de aluminio con paneles de vidrio. La puerta de acceso es de vidrio y corresponde al tipo corredizo. La cubierta es una losa maciza, mientras que el piso está revestido con baldosas de cerámica blanca.

**OT4:** Estas oficinas son de tipo individual, con muros longitudinales de 3.00 metros, muros transversales de 2.8 metros y una altura total de 3.15 metros. Tres paredes internas son ventanales conformados por marcos de aluminio con paneles de vidrio y una pared es de ladrillo terminada con pintura blanca. La puerta de acceso es de vidrio y corresponde al tipo corredizo.

La cubierta es una losa maciza, mientras que el piso está revestido con baldosas de cerámica blanca.

**OT5:** Está oficina es de tipo de abierta, con muros longitudinales de 9.23 metros, muros transversales de 8.95 metros y una altura total de 3.15 metros. Dispone de tres paredes externas que están compuesta de ladrillo visto, una de estas con un antepecho de 0.60 metros y ventanales de aluminio con paneles de vidrio, mientras que otra pared tiene una ventana de 1.20m x 2.5m. La pared interior está compuesta por ladrillo terminado en pintura blanca. La puerta de acceso es de vidrio y corresponde al tipo corredizo. La cubierta es una losa maciza, mientras que el piso está revestido con baldosas de cerámica blanca.

**OT6:** Estas oficinas son de tipo individual, con muros longitudinales de 3.00 metros, muros transversales de 2.18 metros y una altura total de 3.40 metros. Las paredes internas son ventanales conformados por marcos de aluminio con paneles de vidrio, mientras que una pared es de ladrillo de vidrio. Además, una de las oficinas de esta tipología posee dos paredes externas compuestas por un antepecho de ladrillo visto 1.10 metros y ventanales de aluminio con paneles de vidrio. La puerta de acceso es de vidrio y corresponde al tipo corredizo. La cubierta es una losa maciza, mientras que el piso está revestido con baldosas de cerámica blanca.

**OT7:** Estas oficinas son de tipo individual, con muros longitudinales de 3.00 metros, muros transversales de 2.38 metros y una altura total de 3.40 metros. Las paredes externas están compuestas por un antepecho de ladrillo visto 1.10 metros y ventanales de aluminio con paneles de vidrio, asimismo las paredes internas son ventanales de aluminio con paneles de vidrio. La puerta de acceso es de vidrio y corresponde al tipo corredizo. La cubierta es una losa maciza, mientras que el piso está revestido con baldosas de cerámica blanca.

### *Técnica de Análisis*

Análisis físico - matemático del RT con base en la fórmula de Sabine, la cual se expresa de la siguiente manera:

$$T= 0,161 [V/A]$$

Esta fórmula requiere los siguientes datos:

V= Volumen de la sala (m<sup>3</sup>)

A= Absorción total (m<sup>2</sup>)

Para el volumen, se multiplicó alto, ancho y largo de cada oficina, y para la absorción total, se utilizó a una tabla de coeficientes de absorción de materiales elaborada por la Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo (FADU, 2010). Se optó por esta tabla en lugar de otras debido a que presenta una gran variedad de materiales clasificados según su uso en diferentes superficies como paredes, piso y techo. Además, incluye sus respectivos coeficientes de reducción de ruido, por sus siglas en inglés (NRC). Una vez realizado el despeje de estos datos, se colocaron en la fórmula para obtener el RT de las oficinas. Después, se realizó una comparación de resultados para verificar si las oficinas cumplían o no con la normativa ISO 22955. Para las oficinas que no cumplían con la normativa, se procedió a revisar qué materiales tenían un bajo coeficiente de absorción, para después proponer materiales porosos que disminuyan el RT. La selección de este tipo de material se fundamenta en lo expuesto por Tapia (2019) quien menciona que los materiales porosos tienen la capacidad de absorber un amplio rango de frecuencias. Una vez seleccionado los materiales se realizó nuevamente el cálculo con la fórmula de Sabine para comprobar si cumplían con la normativa.

### ***Instrumentos y recursos***

La toma de medidas *in situ* por medio de un medidor láser “Bosch GLM 40” y un flexómetro de 3 m “ACE”. Además, se registró el estado actual en que se encuentran las oficinas, especialmente sus los materiales. El levantamiento planimétrico se realizó con el software AutoCAD, las perspectivas virtuales con el software Sketch Up, el proceso de dato, elaboración de tablas y cálculo de la fórmula se realizaron con el software Excel y la obtención del NRC de lo materiales con la tabla de coeficientes de absorción de la FADU (2010).

### ***Indicadores***

La Normativa ISO 22955, la cual clasifica las oficinas abiertas en 6 categorías, cada una con sus respectivos datos de; atenuación de habla, tiempo de reverberación y decaimiento espacial. Para el análisis se ha seleccionado la categoría 4, tal como se muestra en la Tabla 2.

**Tabla 2**

*Valores para oficinas de Trabajo colaborativo esporádico.*

Tipología ISO 22955	Atenuación del habla entre puestos de trabajo	Tiempo de reverberación		Decaimiento espacial del habla
		T	T125	
Trabajo colaborativo esporádico	$D^A, s \geq 6$ dB	$T \leq 05$ s	$T_{125\text{Hz}} \leq 08$ s	$D_{2,s} \geq 8$ dB

*Nota.* adaptado de ISO 22599 Calidad Acústica de Oficinas Abiertas (Berg & Green, 2021).

## **Resultados**

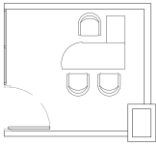
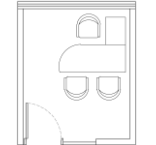
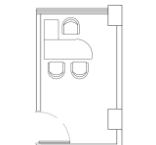
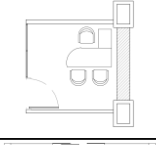
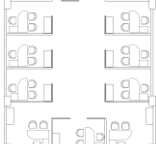
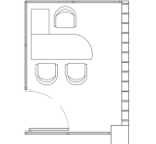
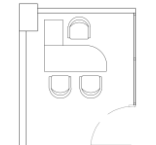
### **Recolección y procesamiento**

#### ***Presentación de resultados***

una vez identificadas las tipologías, se realizó el cálculo para encontrar el volumen e identificación de materiales con sus respectivos NRC de la tabla de coeficientes de absorción de la FADU (2010). Los datos de cada tipología se presentan en la Tabla 3.

**Tabla 3**

*Dimensiones y materialidad de las tipologías*

Tipologías	Esquema	largo (m)	ancho (m)	alto (m)	volumen (m3)	material	superficie (m2)	NRC	absorción total
OT1		3.38	2.72	3.15	28.96	ladrillo revocado y hendido	4.86	0.03	0.15
						ladrillo visto	5.46	0.04	0.22
						vidrio 6mm	25.24	0.04	1.01
						hormigón	9.19	0.02	0.18
OT2		2.21	2.83	3.15	19.70	ladrillo revocado y hendido	4.04	0.03	0.12
						ladrillo visto	1.33	0.04	0.05
						vidrio 6mm	18.58	0.04	0.74
						hormigón	6.22	0.02	0.12
OT3		3.87	2.28	3.15	27.79	ladrillo revocado y hendido	4.92	0.03	0.15
						ladrillo visto	10.27	0.04	0.41
						vidrio 6mm	23.63	0.04	0.95
						hormigón	8.89	0.02	0.18
OT4		3	2.8	3.15	26.46	ladrillo revocado y hendido	12.89	0.03	0.39
						vidrio 6mm	23.65	0.04	0.95
						hormigón	8.4	0.02	0.17
						cerámica	8.64	0.02	0.17
OT5		9.23	8.95	3.15	260.22	ladrillo revocado y hendido	42	0.03	1.26
						ladrillo visto	25.68	0.04	1.03
						vidrio 6mm	18.49	0.04	0.74
						hormigón	82.6	0.02	1.65
OT6		3	2.18	3.4	22.24	ladrillo revocado y hendido	6.74	0.03	0.20
						ladrillo de vidrio	8.25	0.04	0.33
						vidrio 6mm	28.5	0.04	1.14
						hormigón	6.54	0.02	0.13
OT7		3	2.38	3.4	24.28	ladrillo revocado y hendido	7	0.03	0.21
						ladrillo visto	5.11	0.04	0.20
						vidrio 6mm	24.22	0.04	0.97
						hormigón	7.14	0.02	0.14
						cerámica	7.14	0.02	0.14

*Nota.* Absorción total = superficie (m2) \* NRC

Posterior a la identificación de volumen y materialidad, se realizó el cálculo del RT utilizando la fórmula de Sabine. Los resultados obtenidos se presentan de manera detallada en la Tabla 4, donde se observan los valores correspondientes al RT para cada tipología analizada.

**Tabla 4***Resultados del RT por tipología*

<b>Tipologías</b>	<b>Volumen (m3)</b>	<b>Absorción total</b>	<b>RT actual (s)</b>
OT1	28.96	1.74	2.68
OT2	19.70	1.17	2.72
OT3	27.79	1.86	2.41
OT4	26.46	1.67	2.55
OT5	260.22	6.33	6.62
OT6	22.24	1.93	1.85
OT7	24.28	1.67	2.34

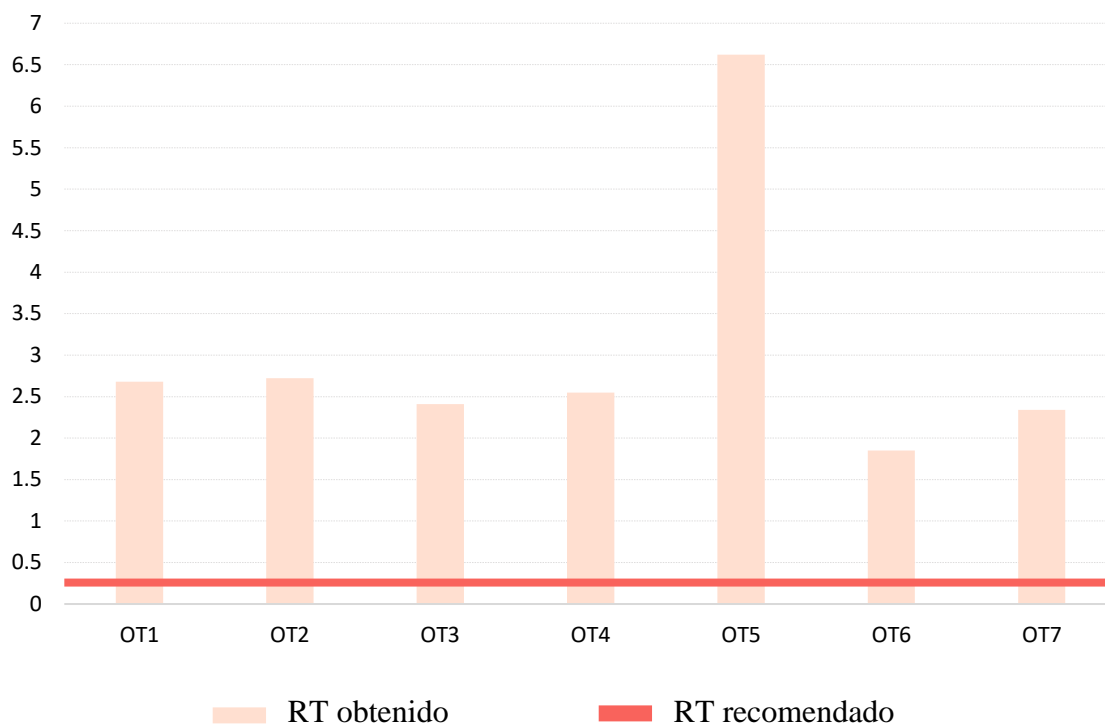
Es importante destacar que la tipología, OT5, presenta un RT superior a los 6.5 segundos, lo cual se atribuyó a sus materiales con baja absorción acústica y en gran medida a su configuración de oficina abierta, por lo que tiene dimensiones considerablemente mayores en comparación con las oficinas individuales, este resultado coincide con los expuesto por Sánchez (2019), quien asegura que el RT es directamente proporcional al volumen. Con el objetivo de evidenciar el contraste entre los resultados del cálculo del RT de las tipologías analizadas y los requerimientos establecidos por las normativas, se realizó una comparación detallada. Este análisis se presenta en la Tabla 5 y Figura 3, donde se verifica el cumplimiento de los resultados obtenidos y los estándares recomendados por la ISO 22955.

**Tabla 5***Comparativa entre resultados obtenidos y RT recomendado.*

<b>Tipologías</b>	<b>RT actual (s)</b>	<b>RT Normativo ISO 22955(s)</b>	<b>Cumple Si o No</b>
OT1	2.68	0.5	No
OT2	2.72	0.5	No
OT3	2.41	0.5	No
OT4	2.55	0.5	No
OT5	6.62	0.5	No
OT6	1.85	0.5	No
OT7	2.34	0.5	No

**Figura 3**

*Comparativa entre resultados obtenidos y RT recomendado.*



Se puede observar que los resultados del cálculo del tiempo de reverberación en las tipologías superan de manera considerable el estándar recomendado de 0.5 segundos. En consecuencia, ninguna de las oficinas analizadas cumple con los estándares normativos establecidos.

## **Tratamiento y Análisis**

### *Análisis de resultados*

Posterior al análisis del estado actual de las tipologías se realizó la recomendación de materiales, para lo cual se tuvo como prioridad el techo debido a lo expuesto en el estudio de Keränen et al. (2020) quienes aseguran que el techo es la superficie más eficiente para aumentar la atenuación espacial. Asimismo, se tuvo en consideración la selección de material porosos a

partir de lo expuesto por Tapia (2019), quien menciona que los materiales porosos pueden absorber una mayor de gama de frecuencias. Este tipo de material es más versátil en comparación con los tipos de materiales absorbentes mencionados por European acústica (2018), como los resonantes, de membrana o forma de papel y los helmholtz, los cuales están diseñados para absorber una determinada frecuencia. Teniendo en cuenta estos criterios, se usó nuevamente la tabla de la FADU (2010) y se seleccionaron cuatro materiales comunes para el tratamiento acústico de techos con sus respectivos NRC los cuales se detallan en la Tabla 6.

**Tabla 6**

*Opciones de materiales absorbentes para techo*

<b>Material</b>	<b>Descripción</b>	<b>NRC</b>
cielorraso de fibra mineral	Placa de fibra 19mm	0.54
Lana de vidrio	manto de 100mm con cubierta perf. 23%, film polietileno	1.03
Poliuretano	Placa 30 de poliuretano, espuma flexible	0.59
Bafle	Bafle suspendido de espuma de poliuretano	0.9
Yeso	Placa de yeso 25mm con espacio de aire	0.06

*Nota.* Adaptado de *Coefficientes de absorción* (FADU, 2010).

Una vez analizadas las opciones, se escogieron dos tipos de material de techo, teniendo en consideración sus altos coeficientes de absorción y su estética: lana de vidrio, la cual se utilizó en las tipologías OT1, OT2, OT3, OT4, OT6 y OT7, de configuración individual y los bafles que se utilizaron en la oficina OT5 de configuración abierta. Además, para esta última oficina se escogió un material complementario de piso para poder cumplir con la normativa. Los materiales para el tratamiento acústico de pisos con sus respectivos NRC se detallan en la Tabla 7.

**Tabla 7***Opciones de materiales absorbentes para piso*

<b>Material</b>	<b>Descripción</b>	<b>NRC</b>
Tablas	plataforma de madera sobre gran espacio de aire	0.26
Parquet	Parquet de madera sobre contrapiso	0.06
Tarima	entarimado de madera	0.08
Moqueta	alfombra delgada pegada al contrapiso	0.17

*Nota.* Adaptado de *Coefficientes de absorción* (FADU, 2010).

Para el piso se optó por una moqueta, ya que el techo de baffles reduce significativamente el RT, por lo que no es necesario escoger otro material con un alto nivel de absorción. Después de seleccionar los materiales se realizó una comparativa para observar las diferencias entre el material actual y los materiales propuestos, estos se detallan en la tabla 8.

**Tabla 8***Diferencias de NRC entre materiales actuales y propuestos*

<b>MATERIAL ACTUAL</b>			<b>MATERIAL PROPUESTO</b>	
Superficie	Material	NRC	Material	NRC
Techo	Hormigón	0.02	manto lana de vidrio 100mm con cubierta perf. 23%, film polietileno	1.03
Piso	Cerámica	0.02	alfombra delgada pegada a contrapiso	0.17

*Nota.* Adaptado de *Coefficientes de absorción* (FADU, 2010).

Una vez hecha la selección de materiales propuestos y sus diferencias con los actuales, se realizó nuevamente el cálculo del tiempo de reverberación. Los resultados obtenidos se detallan en la Tabla 9.

**Tabla 9***Resultados del RT con la implementación de materiales*

<b>Tipologías</b>	<b>Volumen (m3)</b>	<b>Absorción total</b>	<b>RT modificado (s)</b>
OT1	28.96	11.21	0.42
OT2	19.70	7.45	0.43
OT3	27.79	10.84	0.41
OT4	26.46	10.16	0.42
OT5	260.22	93.06	0.45
OT6	22.24	8.54	0.42
OT7	24.28	8.88	0.44

Los resultados demuestran una disminución drástica en comparación con los anteriores, que se logró con la implementación del techo compuesto de lana de vidrio con cubierta perforada metálica (23%) y film de polietileno; para las tipologías OT1, OT2, OT3, OT4, OT6, OT7, mientras que, en la tipología OT5, con la configuración de oficina abierta, se puede observar que la combinación de baffles y alfombra delgada cumple con la normativa. Los resultados encontrados demuestran que aplicación de materiales absorbentes en el techo es la manera más eficiente de reducir el tiempo de reverberación en las oficinas, tal como lo afirmaron los estudios de Keränen et al. (2020) y Arvidsson, et al. (2020). En consecuencia, se puede afirmar que los materiales porosos son los más eficientes para reducir el RT, debido a su estructura conformada por una gran cantidad de grietas que atrapan el sonido, esto coincide con lo expuesto por Tapia (2019), de manera similar Campo y Sánchez (2023) y knaufinsulation (2023).

Para dejar en evidencia el cumplimiento de la normativa ISO 22955 se realizó la Tabla 10 y Figura 4, en las cuales se puede observar que, ninguna tipología sobrepasa los 0,5 segundos que establece la norma.

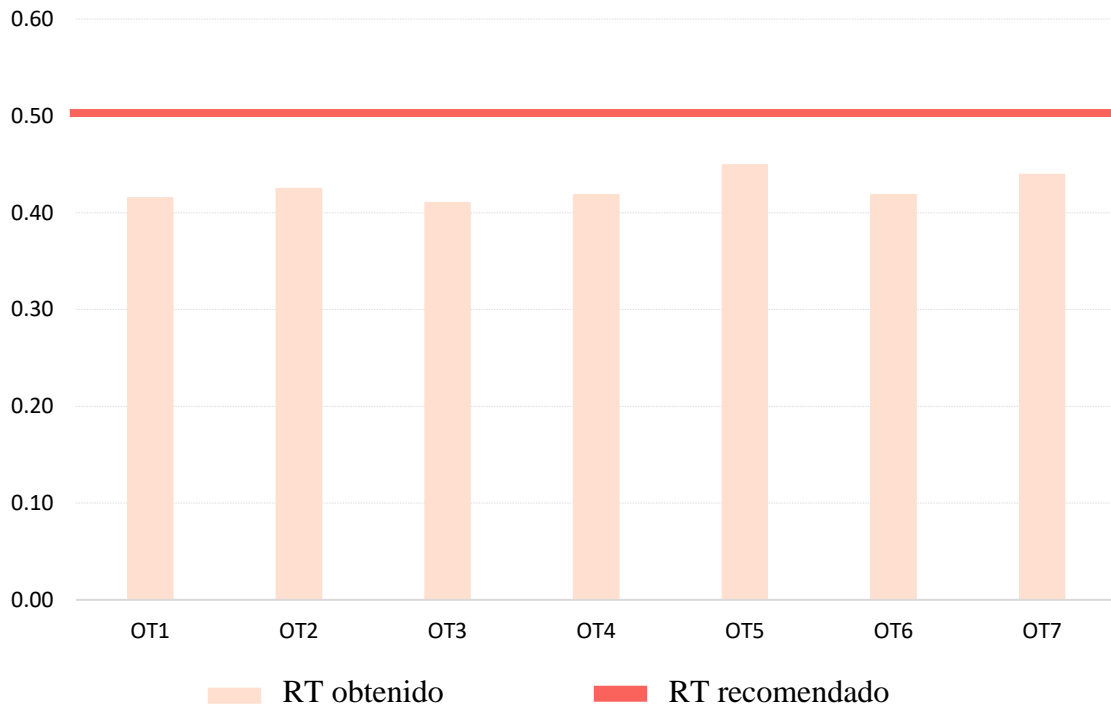
**Tabla 10**

*Comparativa entre resultados con recomendación de materiales y RT recomendado*

Tipologías	RT modificado (s)	RT Normativo ISO 22955(s)	Cumple Si o No
OT1	0.42	$\leq 0.5$	Si
OT2	0.43	$\leq 0.5$	Si
OT3	0.41	$\leq 0.5$	Si
OT4	0.42	$\leq 0.5$	Si
OT5	0.45	$\leq 0.5$	Si
OT6	0.42	$\leq 0.5$	Si
OT7	0.44	$\leq 0.5$	Si

**Figura 4**

*Comparativa entre resultados con recomendación de materiales y RT recomendado*



Finalmente, se elaboraron dos perspectivas virtuales para compararlas con el estado actual y mostrar la aplicación de los materiales propuestos en los dos tipos de configuración de oficina, individual y abierta.

**Figura 5**

*Estado actual de tipologías OT1, OT2, OT3, OT4, OT6 y OT7, configuración individual.*



**Figura 6**

*Estado actual de tipologías OT5, configuración abierta.*



**Figura 7**

*Resultado final de tipologías OT1, OT2, OT3, OT4, OT6 y OT7, configuración individual.*



**Figura 8**

*Resultado final de tipología OT5, configuración abierta.*



## Discusión

El objetivo principal de esta investigación fue proponer materiales de alta absorción que optimizaran el RT de las oficinas objeto de estudio, para esto primero fue necesario comprobar el RT de las oficinas en su estado actual y se observó que ninguna de las tipologías cumplía con los estándares internacionales una vez comprobado esto se realizó la propuesta de materiales dónde se pudo verificar que si se cumplía con la hipótesis, la cual suponía que la aplicación de materiales acústicos podría reducir el RT alcanzando los estándares de la normativa ISO 22955.

Con respecto a los resultados en primera instancia se identificaron las dimensiones y materiales de las 6 tipologías (Tabla 1), aquí se pudo observar que los materiales con las que fueron construidas las oficinas; ladrillos, hormigón y vidrio poseen bajos niveles de absorción según la tabla materiales de la FADU (2010). Una vez hecha la identificación se realizaron los resultados del RT (Tabla 2), se observó que todas las tipologías estaban en un rango de 1,85 a 2,72 segundos aunque la tipología OT5 5 tuvo 6,62 segundos esto debido principalmente a su volumen ya que al tratarse de una oficina de configuración abierta sus dimensiones eran considerablemente mayores en comparación con las otras, por lo que se pudo verificar que el volumen también influye significativamente, tal como lo dice Sánchez (2021), que asegura que el RT es directamente proporcional al volumen, mientras más grande sea la sala mayor será el RT. Una vez obtenido RT de cada tipología se los comparó con la normativa, Berg & Green (2021) menciona que la normativa ISO 22955 para las oficinas de trabajo colaborativo esporádico recomienda un tiempo de reverberación menor o igual a 0,5 segundos, por lo que se constató que ninguna de las tipologías en su estado actual cumplió con esta normativa.

Para los resultados de la recomendación de materiales se tuvo como prioridad el techo debido a lo expuesto por Keränen et al. (2020), donde hallaron que la superficie más eficiente

para reducir la atenuación espacial es el techo, de igual manera Arvidsson, et al. (2020) llegaron a la conclusión de que el techo es una buena base para reducir el RT y por último Berg & Green (2021) señala que la normativa ISO 22955 destaca al techo como el parámetro más importante a tratar en las oficinas abiertas y deberá ser lo más absorbente posible, lo antes mencionada tiene relación con el techo de las tipologías ya que es de hormigón, según la tabla de la FADU (2010) este material presenta un NRC muy bajo de 0,02, teniendo en cuenta este aspecto se hizo un comparativa de los materiales de techo (Tabla 4) expuestos en la tabla de coeficientes de absorción y se seleccionó el material con mayor NRC: lana de vidrio de 100mm con cubierta de metal perforada 23% y film de polietileno la cual tiene de un NRC de 1,03, este alto nivel de absorción se lo atribuye a la estructura interna de la lana, como asegura knaufinsulation, (2023) quien menciona que debido a la estructura porosa estos materiales cumplen la función de amortiguador ya que atrapan la energía sonora y la disipa entre sus poros. De manera similar Tapia (2019) menciona que los materiales porosos debido a su estructura interna cuentan con la característica de poder absorber un mayor rango de frecuencias. Adicionalmente, para tener más diversidad de techos y estética se eligió un segundo material de techo para la tipología OT5: Bafle suspendidos de espuma de poliuretano que presenta un NRC de 0,9 (FADU, 2010), así como la lana de vidrio, este valor se le atribuye por su estructura porosa la cual permite que las ondas sonoras penetren a través de los poros, (Campo y Sánchez, 2023). Para esta tipología, además de los bafles se agregó una moqueta (Tabla 5), si bien en la normativa ISO 22955 se menciona que el tratamiento del suelo en oficinas es poco significativo (Berg & Green, 2021), se optó su uso por razones estética. La moqueta escogida fue una alfombra delgada pegada al contrapiso, con un NRC de 0,17. (FADU,2010).

Una vez elegidos los materiales para la propuesta se realizó una comparativa (Tabla 6); el hormigón con un NRC de 0,02 pasó a un NRC de 1,03 con la lana de vidrio y a 0,9 con los baffles de poliuretano, mientras que el piso cerámico con un NRC de 0,02 pasó a un 0,17. Una vez seleccionados los materiales y comparados con los existentes se realizó el nuevamente el cálculo con los materiales propuestos (Tabla 7), se pudo constatar que el RT de todas tipologías se redujo drásticamente alcanzando un rango de 0,4 a 0,5 segundos. Finalmente se realizó la comparativa con la normativa, donde quedó en evidencia que la propuesta de materiales pudo reducir el RT.

Los resultados de esta investigación confirman que la implementación de materiales con altos niveles de absorción permite optimizar el RT en las oficinas de la tercera planta del edificio administrativo de la PUCE, sede Manabí, Campus Portoviejo con los estándares internacionales establecidos por la normativa ISO 22955. En primera instancia se verificó que todas las tipologías en su estado actual no cumplían con la normativa, presentando un RT demasiado elevado esto debido principalmente a sus materiales con baja absorción.

El análisis comparativo de los materiales permitió determinar que el techo es la superficie más relevante al momento de optimizar el RT, coincidiendo con diversos estudios que destacan el impacto de este mismo en la atenuación del sonido, teniendo esto en cuenta se seleccionó la lana de vidrio y los baffles suspendidos de espuma de poliuretano como soluciones efectivas para disminuir RT y además, aunque la normativa considera el tratamiento del suelo como un factor de menor incidencia, se incorporó por razones estética, sin embargo contribuyó de una manera complementaria a la reducción del RT.

Finalmente, con esta implementación se logró reducir significativamente el RT y alcanzar los valores recomendados por la normativa de esta manera se pudo comprobar la hipótesis que

planteaba la importancia de seleccionar estratégicamente los materiales absorbentes en el diseño de las oficinas asegurando que los espacios cuenten con mejores condiciones de confort acústico y una buena inteligibilidad del habla.

### **Conclusión**

En conclusión, los resultados con los materiales actuales demostraron que había un RT elevado ya que estaban en un rango de 2 a 6 segundos por lo que ninguno de estos cumplió con la normativa, a partir de ese análisis inicial se recomendó una propuesta con materiales que tuvieran un índice alto de absorción acústica, con estos nuevos resultados se pudo constatar que la implementación de estos materiales influyeron en el RT disminuyéndolos y así alcanzando los estándares de la normativa ISO 22955.

Siguiendo los objetivos específicos, se logró clasificar las diferentes tipologías en base a sus dimensiones y materialidad (tabla 1), aquí se pudo comprobar por medio de la fórmula de Sabine que el RT era influenciado en gran medida por los materiales y en segunda instancia por el volumen específicamente en una de las tipologías que era de configuración abierta.

Con este primer resultado del tiempo de reverberación se logró poder comparar el estado actual con la normativa (Tabla 3), aquí se pudo evidenciar en base a estudios previos que el techo es la manera más eficiente de reducir el RT. Además, se pudo comprobar que ninguna de las tipologías cumplía con los 0,5 segundos que se establece en la norma, lo que confirmó que era necesario una propuesta de materiales absorbentes que logran disminuir el RT.

Por último, se logró generar una propuesta con unos nuevos materiales absorbentes en el techo y en menor medida en el piso, se cambió el hormigón del techo por: lana de vidrio y bafles de poliuretano, y asimismo se implementó una moqueta que ayudaría en menor medida a reducir

el RT, estos cambios permitirían mejorar la estética de las oficinas, el confort acústico, la inteligibilidad del habla y eventualmente la productividad.

Finalmente, esta investigación tiene implicaciones para el diseño de oficinas, sirviendo de guía para los profesionales del campo de la acústica en construcciones, sugiriendo pautas para el diseño arquitectónico en oficinas a nivel local.

### **Recomendaciones**

Se recomienda la implementación de materiales absorbentes ya que su aplicación no solo optimiza el tiempo de reverberación en las oficinas, sino que también mejora la inteligibilidad del habla, confort acústico y la productividad de sus usuarios ya que reduce las interferencias sonoras

No obstante, una de las principales limitaciones que presenta este estudio es la fórmula de Sabine, ya que el resultado es una aproximación del RT de un espacio, sin considerar factores como el mobiliario o la forma del espacio. Teniendo esto en cuenta se sugiere complementar futuros estudios con metodologías más precisas, como la medición *in situ* mediante instrumentos especializados como altavoces dodecaedros y sonómetros que cumplan con las normativas actuales, o bien con programas de simulación acústica como ODEON, EASE o Room EQ Wizard, que permiten obtener datos más precisos y representativos de la realidad.

Se recomienda la exploración con materiales ecológicos o reciclados para futuros estudios, donde se pueda evaluar tanto su eficiencia acústica y su impacto ambiental. De igual manera se sugiere analizar como la configuración del mobiliario y el tratamiento de otras superficies, como muros o piso puede contribuir a una mejor distribución del sonido en las oficinas.

Finalmente se destaca la necesidad de una normativa a nivel nacional que estandarice los parámetros acústicos en estos espacios de trabajo, Estableciendo lineamientos que permitan controlar el tiempo de reverberación con el fin de garantizar unas buenas condiciones acústicas en el diseño de oficinas y otros entornos laborales. Además, se recomienda que las entidades reguladoras como el Servicio Ecuatoriano de Normalización (INEN) o el Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MAATE) no solo se enfoquen en la acústica de nuevos proyectos, sino que también participen en los procesos de remodelación de espacios interiores, asegurando que las modificaciones consideren las necesidades acústicas específicas, garantizando el desempeño del 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. (2008). Método para medir el tiempo de reverberación en recintos. *Proyecto Leonardo*, 4(3).

[http://www1.frm.utn.edu.ar/laboratoriodeacustica/Metodo\\_experimental\\_para\\_medir\\_el\\_TR60.pdf](http://www1.frm.utn.edu.ar/laboratoriodeacustica/Metodo_experimental_para_medir_el_TR60.pdf)

Caballol, D., & Raposo, A. P. (2016). Acoustic absorption increase prediction by placing absorbent material in pieces. *Applied acoustics*, 113, 185–192.

<https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2016.06.023>

Carrión Isbert, A. (1998). *Diseño acústico de espacios arquitectónicos* (1ª ed.). Universitat Politècnica de Catalunya. <https://doi.org/10.5821/ebook-9788498800739>

Contreras Lojano, C. E., Campo Ramírez, G. A., & Orbe Sánchez, A. F. (2023). *Propuesta de diseño interior para Music Home Studio con materiales de bajo costo* [Trabajo de titulación, Universidad del Azuay]. Universidad del Azuay Repositorio Institucional.

<http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/13262>

Darwish, E. A., & Midani, M. (2023). The potential of date palm midribs-based fabric acoustic panels for sustainable interior design. *Ain Shams Engineering Journal*, 14(6), 102100.

<https://doi.org/10.1016/j.asej.2022.102100>

Facundo, R. (2015). *Ecuación de Sabine*. Equaphon.net. <https://academy.equaphon.net/ecuacion-de-sabine/>

American Physical Society. (2011, January 10). *January 10, 1919: Death of Wallace Sabine, pioneer of architectural acoustics*.

<https://www.aps.org/archives/publications/apsnews/201101/physicshistory.cfm>

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. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2020.107340>

Knauf Insulation. (2023). Soluciones acústicas con lana mineral [PDF]. [https://pim.knaufinsulation.com/files/download/catalogo\\_acustica\\_21sept2023.pdf](https://pim.knaufinsulation.com/files/download/catalogo_acustica_21sept2023.pdf)

Berg, M. R., & Green, T. (2021). ISO 22955: Calidad acústica de oficinas abiertas [PDF]. [https://www.ecophon.com/globalassets/media/pdf-and-documents/latam/exp\\_latam\\_iso22955\\_oficinas-abiertas\\_lr.pdf](https://www.ecophon.com/globalassets/media/pdf-and-documents/latam/exp_latam_iso22955_oficinas-abiertas_lr.pdf)

Morales-Segura, M., Caballol, D., Raposo, Á. P., & Gil-Carrillo, F. (2022). Acoustic absorption prediction by placing absorbent material in separate pieces with or without back air layer. *Revista de la construcción*, *21*(1), 156–166. <https://doi.org/10.7764/rdlc.21.1.156>

Marín, D. (2016). *Estudio comparativo de cálculos de Tiempo de Reverberación de salas mediante simulación basada en trazado de rayos*. [Proyecto final de carrera, Universitat Politècnica de Catalunya]. <http://hdl.handle.net/2117/96669>

Miyara, F. (2006). *Acústica y sistemas de sonido*. UNR Editora. <https://unreditora.unr.edu.ar/producto/acustica-y-sistemas-de-sonido/>

European Acústica. (2018, abril 21). *Materiales Aislantes Acústicos y Absorbentes. Diferéncialos*. <https://www.europeanacustica.com/materiales-aislantes-acusticos-y-absorbentes/>

Rodero, C., y Peinado, F. (2007) *Absorción Acústica En Las Lanas Minerales (Sin Plenum)* [PDF]. <https://aislo.com/wp-content/uploads/2008/05/absorcionacusticalanamineral.pdf>

Rawlings, C. (2015). Noise and its impact on productivity, importance of variety in open plan spaces and Plantronics' "Soundscape" building, Issue 17, 2-. *Leesman Review*.  
<https://www.ecophon.com/globalassets/media/pdf-and-documents/uk/leesman-review-issue-leesman-review-issue-17.pdf/>

Ružickij, R.; Kizinievič, O.; Grubliauskas, R.; Astrauskas, T. Development of Composite Acoustic Panels of Waste Tyre Textile Fibres and Paper Sludge. *Sustainability* 15(3), 2799. <https://doi.org/10.3390/su15032799>

Sánchez, I. (2021). *Diseño y validación de un modelo geométrico para el estudio acústico del Teatro Real Carlos III (Aranjuez)* [Trabajo de fin de grado, Universidad Politécnica de Madrid]. <https://oa.upm.es/cgi/export/70372/>

Tapia, D. (2019). *Caracterización de materiales absorbentes y modelos matemáticos*. [Tesis de maestría, Universidad Politécnica de Madrid] Archivo Digital UPM  
<https://oa.upm.es/55263/>

## Anexos

### Cálculo del tiempo de reverberación (RT) del estado actual

Tipología		OT1		
volumen	material	superficie (m2)	NRC	absorción
28.96	ladrillo revocado y hendido	4.86	0.03	0.15
	ladrillo visto	5.46	0.04	0.22
	vidrio 6mm	25.24	0.04	1.01
	hormigón	9.19	0.02	0.18
	cerámica	9.19	0.02	0.18
absorción total				1.74
RT	2.68			

Tipología		OT2		
volumen	material	superficie (m2)	NRC	absorción
19.70	ladrillo revocado y hendido	4.04	0.03	0.12
	ladrillo visto	1.33	0.04	0.05
	vidrio 6mm	18.58	0.04	0.74
	hormigón	6.22	0.02	0.12
	cerámica	6.22	0.02	0.12
absorción total				1.17
RT	2.72			

Tipología		OT3		
volumen	material	superficie (m2)	NRC	absorción
27.79	ladrillo revocado y hendido	4.92	0.03	0.15
	ladrillo visto	10.27	0.04	0.41
	vidrio 6mm	23.63	0.04	0.95
	hormigón	8.89	0.02	0.18
	cerámica	8.89	0.02	0.18
absorción total				1.86
RT	2.41			

Tipología		OT4		
volumen	material	superficie (m2)	NRC	absorción
26.46	ladrillo revocado y hendido	12.89	0.03	0.39
	vidrio 6mm	23.65	0.04	0.95
	hormigón	8.4	0.02	0.17
	cerámica	8.64	0.02	0.17
absorción total				1.67
RT	2.55			

Tipología		OT5		
volumen	material	superficie (m2)	NRC	absorción
260.22	ladrillo revocado y hendido	42	0.03	1.26
	ladrillo visto	25.68	0.04	1.03
	vidrio 6mm	18.49	0.04	0.74
	hormigón	82.6	0.02	1.65
	cerámica	82.6	0.02	1.65
absorción total				6.33
RT	6.62			

Tipología		OT6		
volumen	material	superficie (m2)	NRC	absorción
22.24	ladrillo revocado y hendido	6.74	0.03	0.20
	ladrillo de vidrio	8.25	0.04	0.33
	vidrio 6mm	28.5	0.04	1.14
	hormigón	6.54	0.02	0.13
	cerámica	6.54	0.02	0.13
absorción total				1.93
RT	1.85			

Tipología		OT7		
volumen	material	superficie (m2)	NRC	absorción
24.28	ladrillo revocado y hendido	7	0.03	0.21
	ladrillo visto	5.11	0.04	0.20
	vidrio 6mm	24.22	0.04	0.97
	hormigón	7.14	0.02	0.14
	cerámica	7.14	0.02	0.14
absorción total				1.67
RT	2.34			

## Cálculo del tiempo de reverberación (RT) con propuesta de materiales

Tipología		OT1		
volumen	material	superficie (m2)	NRC	absorción
28.96	manto 100mm con cubierta perf 23%, film polietileno	9.19	1.03	9.47
	ladrillo revocado y hendido	4.86	0.03	0.15
	ladrillo visto	5.46	0.04	0.22
	vidrio 6mm	25.24	0.04	1.01
	hormigón	9.19	0.02	0.18
	cerámica	9.19	0.02	0.18
absorción total				11.21
RT	0.42			

Tipología		OT2		
volumen	material	superficie (m2)	NRC	absorción
19.70	manto 100mm con cubierta perf 23%, film polietileno	6.22	1.03	6.41
	ladrillo revocado y hendido	4.04	0.03	0.12
	ladrillo visto	1.33	0.04	0.05
	vidrio 6mm	18.58	0.04	0.74
	cerámica	6.22	0.02	0.12
absorción total				7.45
RT	0.43			

Tipología		OT3		
volumen	material	superficie (m2)	NRC	absorción
27.79	manto 100mm con cubierta perf 23%, film polietileno	8.89	1.03	9.16
	ladrillo revocado y hendido	4.92	0.03	0.15
	ladrillo visto	10.27	0.04	0.41
	vidrio 6mm	23.63	0.04	0.95
	cerámica	8.89	0.02	0.18
absorción total				10.84
RT	0.41			

Tipología		OT4		
volumen	material	superficie (m2)	NRC	absorción
26.46	manto 100mm con cubierta perf 23%, film polietileno	8.4	1.03	8.65
	ladrillo revocado y hendido	12.89	0.03	0.39
	vidrio 6mm	23.65	0.04	0.95
	cerámica	8.64	0.02	0.17
absorción total				10.16
RT	0.42			

Tipología		OT5		
volumen	material	superficie (m2)	NRC	absorción
260.22	baffle suspendido de espuma de poliuretano	82.6	0.9	74.34
	ladrillo revocado y hendido	42	0.03	1.26
	alfombra delgada pegada a contrapiso	82.6	0.17	14.04
	ladrillo visto	25.68	0.04	1.03
	vidrio 6mm	18.49	0.04	0.74
	hormigón	82.6	0.02	1.65
	absorción total			
RT	0.45			

Tipología		OT6		
volumen	material	superficie (m2)	NRC	absorción
22.24	manto 100mm con cubierta perf 23%, film polietileno	6.54	1.03	6.74
	ladrillo revocado y hendido	6.74	0.03	0.20
	ladrillo de vidrio	8.25	0.04	0.33
	vidrio 6mm	28.5	0.04	1.14
	cerámica	6.54	0.02	0.13
absorción total				8.54
RT	0.42			

Tipología		OT7		
volumen	material	superficie (m2)	NRC	absorción
24.28	manto 100mm con cubierta perf 23%, film polietileno	7.14	1.03	7.35
	ladrillo revocado y hendido	7	0.03	0.21
	ladrillo visto	5.11	0.04	0.20
	vidrio 6mm	24.22	0.04	0.97
	cerámica	7.14	0.02	0.14
absorción total				8.88
RT	0.44			