

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

ESCOLA POLITECNICA SUPERIOR DE GANDIA

Master en Ingeniería Acústica

---



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCOLA POLITÈCNICA  
SUPERIOR DE GANDIA

# “Caracterización y modelado de Green-Composites en cámara de transmisión a escala con pequeñas muestras”

**TRABAJO FINAL DE MASTER**

Autor/a:

**Nicole Stefania Guzmán Quintero**

Tutor/a:

**Jesús Alba Fernández**

**Romina María Del Rey Tormos**

**GANDIA, 2018**

*Autor:* Nicole Stefania Guzmán Quintero

# **Caracterización y modelado de Green-Composites en cámara de transmisión a escala con pequeñas muestras**

*Director 1:* Jesús Alba Fernández

*Director 2:* Romina Del Rey Tormos

**RESUMEN** El presente trabajo final de master tiene un enfoque dirigido al campo del Aislamiento Acústico en la Edificación, en donde se busca conocer la viabilidad de aplicar metodologías acreditadas, para caracterizar en aislamiento pequeñas muestras de nuevos materiales. Estas nuevas composiciones de materiales (composite) se encuentran en fase de estudio y diseño, lo que genera una búsqueda del cumplimiento de diferentes características, para este caso acústicas, que les permita su validación a ser sustituyentes de materiales convencionales.

Gracias a trabajos anteriores desarrollados en la Escuela Politécnica Superior de Gandía, se cuenta con una cámara de transmisión a escala la cual permite realizar este tipo de caracterizaciones acústicas a escala, pero es en esta parte donde se genera la principal problemática, ya que estas pequeñas muestras no se fabrican con la proporción en área de evaluación de aislamiento acústico suficiente, que permita cubrir el espacio destinado como probeta en donde se ubican las muestras a evaluar. Es por tal razón que se desea implementar una metodología que permita visualizar y analizar el aporte de aislamiento acústico, relacionando proporción de encajamiento de nuevos composites en una placa de un material convencional como referencia.

**Palabras clave:** Aislamiento acústico, edificación, cámara de transmisión acústica, Índice de transmisión sonora, materiales eco innovadores.

**ABSTRACT** This final master's work has a focus on the field of Building Acoustics Isolation, where the main goal is to know the viability of applying accredited methodologies for the characterization of small samples of new materials in Acoustics terms. These new compositions of materials (composite) are in the design and study stage which generates a pursuit in a way to get the fulfillment of the different characteristics that for this specific work are focused on Acoustics field. All this with the purpose of being accredited and be presented as substituents of conventional materials.

**Key words:** Acoustics isolation, buildings, transmission sound chamber, sound reduction index, innovative Green materials.

Autor: Nicole Stefania Guzmán Quintero

email: niguzqui@epsg.upv.es

Fecha de entrega: 07/09/2018

## **Dedicatoria**

---

Quiero dedicarle mi Trabajo Final de Máster en Ingeniería Acústica a Dios, que me acompaña en cada paso que doy y permite que lleguen a mi vida este tipo de oportunidades y bendiciones como la que hoy estoy viviendo al presentar este documento, que me enriquecen tanto en lo personal como en lo profesional. A mi familia, mis padres Javier Guzmán Urueña, Omaira Quintero Ramírez y mi hermano Brian Guzmán Quintero, por su incondicional apoyo siempre en todos mis proyectos de vida, por el gran amor que recibo de ellos que me motiva a seguir luchando por mis sueños.

## **Agradecimientos**

---

En primera instancia quiero agradecerle, a la Universitat Politècnica de Valencia junto con la Escuela Politécnica de Gandía, que me acogió y me brindó todas las herramientas para llevar a cabo este gran proceso en la realización del Máster en Ingeniería Acústica, acompañada de un cuerpo docente altamente calificado y con tal grado de conocimientos para recibir aprendizaje de los mejores en este ámbito de la acústica.

A Jesús Alba Fernández, con quien siempre se recibe la mejor actitud para con nosotros los estudiantes y mucho más agradecida, por brindarme la oportunidad de llevar a cabo esta investigación, la cual no solo me permite progresar en el ámbito de la acústica en la edificación, sino que también despierta en mí gran variedad de ideas y nuevas expectativas de todo el campo de la acústica.

A Romina Del Rey Tormos, por su incondicional apoyo, conocimiento y soporte en todo el desarrollo de este trabajo final de máster. Agradezco a ella sus enseñanzas que reflejan la gran trayectoria que ha realizado y en lo que a mí respecta, ha hecho que se despierte una proyección profesional mayor, siendo ella un ejemplo a seguir.

Agradecer a todos mis compañeros del máster y en especial a Yolanda Pamies Rodríguez por ser mi mano derecha para culminar este proceso.

A Gema González Mazarías por tenderme siempre su mano de la manera más desinteresada brindándome su amistad y apoyo incondicional, haciéndome sentir en España como si estuviera en casa.

## ÍNDICE

---

1.	INTRODUCCIÓN.....	10
2.	OBJETIVOS .....	11
2.1.	Objetivo principal .....	11
2.2.	Objetivos secundarios .....	11
3.	MARCO LEGISLATIVO .....	12
	UNE-EN ISO 10140-2:2011.....	12
	UNE-EN ISO 10140-4:2011.....	12
	UNE-EN ISO 717-1:2013.....	12
	UNE-EN ISO 12999-1:2014.....	13
3.1.	Términos y definiciones según normativa .....	14
3.1.1.	Promedio Energético del Nivel de Presión Sonora .....	15
3.1.2.	Diferencia de Niveles de Presión sonora, D:.....	15
3.1.3.	Diferencia de Niveles de Presión sonora Normalizada, $D_n$ :.....	15
3.1.4.	Diferencia de Niveles de Presión sonora Estandarizada, $D_{nT}$ :.....	16
3.1.5.	Índice de Reducción acústica, R:.....	16
3.1.6.	Índice de Reducción acústica aparente, $R'$ : .....	16
4.	MARCO TEÓRICO .....	17
4.1.	Aislamiento Acústico .....	17
4.2.	Transmisión de Ruido Aéreo .....	18
4.3.	Transmisión de Ruido de Impactos .....	18
5.	CÁMARA DE TRANSMISIÓN.....	19
6.	COMPOSITES GREEN .....	22
6.1.	COMPOSITES BAJO ESTUDIO .....	23
7.	ENCAJAMIENTO.....	26
7.1.	Encajamiento del 5% de nuevo material en Placa de Referencia .....	26
7.2.	Encajamiento del 10% de nuevo material en Placa de Referencia .....	26
7.3.	Encajamiento del 15% de nuevo material en Placa de Referencia .....	27
8.	METODOLOGÍA.....	28
8.1.	Medición de Ruido de Fondo .....	28
8.2.	Medición de Tiempo de reverberación .....	28
8.3.	Medición Transmisión Sonora Emisor-Receptor .....	28
8.3.1.	Posicionamiento de Fuente .....	29
8.3.2.	Posicionamiento de Micrófonos .....	29
8.4.	Recolección de datos de las Mediciones .....	29
8.4.1.	Medidas de Nivel de Ruido de Fondo en Recinto Receptor .....	30
8.4.2.	Medidas de Tiempo de Reverberación en recinto Receptor.....	32

8.4.3.	Medidas de Niveles de Presión Sonora en Receptor .....	34
8.4.4.	Medidas de Niveles de Presión Sonora en Emisor .....	36
9.	CARACTERIZACIÓN.....	37
9.1.	Caso I: Encajamiento del 5% de Composites .....	38
9.2.	Caso II: Encajamiento del 10% de Composites .....	44
9.3.	Caso III: Encajamiento del 15% de Composites .....	46
9.4.	Caso IV: Relación entre aumento de porcentaje de encajamiento y perdida por transmisión.....	48
9.5.	Caso V: Caracterización de composites de producto comercializado. ....	49
10.	ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	51
10.1.	Índice de Reducción Sonora $R_w$ : Composite 40%PM.....	52
10.2.	Índice de Reducción Sonora $R_w$ : Composite 40%PM + Ag.Acop .....	53
10.3.	Índice de Reducción Sonora $R_w$ : Composite 50%PM.....	54
10.4.	Índice de Reducción Sonora $R_w$ : Composite 50%PM + Ag.Acop .....	55
10.5.	Índice de Reducción Sonora $R_w$ : Composite PLADUR.....	56
10.6.	Pérdidas por Transmisión Sonora: Efecto de Resonador de Helmholtz .	57
11.	INCERTIDUMBRE .....	59
11.1.	Escenario de medición - Apartado 5.2 (UNE-EN ISO 12999-1, 2014) ...	60
11.2.	Verificación de las desviaciones típicas de las mediciones .....	60
12.	CONCLUSIONES .....	63
13.	FUTURAS LÍNEAS DE TRABAJO .....	65
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	66

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Estructura y contenidos de la Norma ISO 10140 (Partes 2 y 4) .....	14
Tabla 2 Descripción geométrica de cámara a escala utilizada para realizar la evaluación. .....	21
Tabla 3 Tiempo de reverberación de cámara de transmisión a escala de la Escuela Politécnica Superior de Gandía (Torres, 2011) .....	22
Tabla 4 Características composite 1: 40%PM.....	24
Tabla 5 Características composite 2: 40%PM + Ag.Acop. ....	24
Tabla 6 Características composite 3: 50%PM.....	25
Tabla 7 Características composite 4: 50%PM + Ag.Acop. ....	25
Tabla 8 Proporción de encajamiento del 5% de Composites en Placa de Referencia.	26
Tabla 9 Proporción de encajamiento del 10% de Composites en Placa de Referencia. .....	27
Tabla 10 Proporción de encajamiento del 15% de Composites en Placa de Referencia. .....	27
Tabla 11 Recolección de medidas de tiempo de Ruido de Fondo para cada caso.....	30
Tabla 12 Recolección de medidas de tiempo de reverberación para cada caso. ....	33
Tabla 13 Recolección de medidas de Nivel de Presión Sonora en recinto Receptor...	35
Tabla 14 Recolección de medidas de Nivel de Presión Sonora en recinto Receptor...	36
Tabla 15 Niveles Emisor-Receptor y diferencias estandarizadas promedios para placa de referencia.....	40
Tabla 16 $DnT,w$ para encajamiento del 5% de composite en material de referencia...	42
Tabla 17 $DnT,w$ para encajamiento del 10% de composite en material de referencia.	44
Tabla 18 $DnT,w$ para encajamiento del 15% de composite en material de referencia.	46
Tabla 19 $DnT,w$ para relacionar las pérdidas por transmisión debidas al aumento de agujeros.....	48
Tabla 20 $DnT,w$ de caracterización de composites de producto comercializado. ....	50
Tabla 21 Resultados de Incertidumbres Típicas $u$ , asociadas a Desviaciones Típicas entre las medidas respectivas.....	60
Tabla 22 Resultados de incertidumbres Típicas $u_c$ y expandidas $U$ , en bandas de tercios de octava desde los 500Hz hasta los 5000Hz.....	61
Tabla 23 Resultados de incertidumbre para la superficie de ensayo con encajamiento del 5% de 40%PM de composite en Caso I. ....	62

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema representativo de la transmisión de energía sonora en el ámbito del aislamiento acústico. Realizado por: Nicole Guzmán Quintero. Referencia: (Inche Mitma, Chung Pinzás, & Vizarreta Chia, 2014).....	17
Figura 2. Definición de los caminos de transmisión acústica desde el exterior hacia el interior del recinto. Figura 3.6 del apartado 3.1.3.4. Referencia: (DB-HR / CTE , 2009) .....	18
Figura 3. Definición de los caminos de transmisión acústica entre dos recintos (Vista en sección vertical). Figura 3.7 del apartado 3.1.3.6. Referencia: (DB-HR / CTE , 2009).	18
Figura 4. Dimensiones reales de los recintos emisor-receptor de la cámara de transmisión. Dibujo en AutoCAD realizado por Nicole Guzmán Quintero. Referencia: Figura 3.2 (Bertó, 2015).....	19

Figura 5. Cámara de transmisión a escala de la Escuela Politécnica Superior de Gandía (UPV) sellada. Sistema de recinto receptor-probeta-recinto emisor cerrado. Fotografía por: Nicole Guzmán Quintero. (Julio, 2018) .....	20
Figura 6. Probeta: Área destinada para instalación de superficies a evaluar en transmisión sonora en la Cámara de transmisión de la EPSG. Fotografía por: Nicole Guzmán Quintero. (Julio, 2018).....	20
Figura 7. Identificación de espacios en Cámara de transmisión a escala de la EPSG. Fotografía por: Nicole Guzmán Quintero. (Julio, 2018) .....	21
Figura 8. Composite en matriz de polipropileno con fibras lignocelulosas de podadura de árbol de naranja, con respuesta de pasta mecánica al 40%: 40%PM. Fotografía por: Nicole Guzmán Quintero. (Julio, 2018) .....	24
Figura 9. Composite en matriz de polipropileno con fibras lignocelulosas de podadura de árbol de naranja, con respuesta de pasta mecánica al 40% con refuerzo por agente de acoplamiento: 40%PM+Ag.Acop. Fotografía por: Nicole Guzmán Quintero. (Julio, 2018) .....	24
Figura 10. Composite en matriz de polipropileno con fibras lignocelulosas de podadura de árbol de naranja, con respuesta de pasta mecánica al 50%: 50%PM. Fotografía por: Nicole Guzmán Quintero. (Julio, 2018) .....	25
Figura 11. Composite en matriz de polipropileno con fibras lignocelulosas de podadura de árbol de naranja, con respuesta de pasta mecánica al 40% con refuerzo por agente de acoplamiento: 40%PM+Ag.Acop. Fotografía por: Nicole Guzmán Quintero. (Julio, 2018) .....	25
Figura 12. Esquema proporción de encajamiento del 5% de composite en placa de referencia. Plano y fotografía por: Nicole Guzmán Quintero. (Julio, 2018).....	26
Figura 13. Esquema proporción de encajamiento del 10% de composites en placa de referencia. Plano y fotografía por: Nicole Guzmán Quintero. (Julio, 2018).....	27
Figura 14. Esquema proporción de encajamiento del 15% de composites en placa de referencia. Plano y fotografía por: Nicole Guzmán Quintero. (Julio, 2018).....	27
Figura 15. Esquemas de posicionamiento de fuentes y micrófonos al interior de los recintos emisor-receptor. Referencia: Figuras 3.7-3.8 (Bertó, 2015).....	30
Figura 16. Visualización interna del sistema de control remoto con cámara IP en el recinto receptor de la cámara de transmisión de la EPSG. Fotografía por: Nicole Guzmán Quintero. (Julio, 2018) .....	31
Figura 17. Cámara instalada internamente en la cámara de transmisión para control remoto del posicionamiento de puntos de medida. Fotografía por: Nicole Guzmán Quintero. (Septiembre, 2018).....	32
Figura 18. Operación remota del posicionamiento del micrófono y determinación de puntos de medida con cámara de transmisión sellada. Fotografía por: Nicole Guzmán Quintero. (Julio, 2018) .....	33
Figura 19. Láminas de referencia en MDF para cada uno de los casos planteados para caracterización de composites en cámara de transmisión. Fotografía por: Nicole Guzmán Quintero. (Septiembre, 2018) .....	38
Figura 20. Nivel de Ruido de Fondo del recinto receptor aislado con placa de referencia. ....	39
Figura 21. Tiempos de Reverberación del recinto receptor aislado con placa de referencia.....	40
Figura 22. Diferencia promedio general estandarizada y ponderada de aislamiento a ruido aéreo de placa de referencia.....	41
Figura 23. Encajamiento del 5% de composite en material de referencia para instalar en cámara de transmisión a escala. Fotografía por: Nicole Guzmán Quintero. (Septiembre, 2018) .....	42
Figura 24. $DnT,w$ para encajamiento del 5% de composite en material de referencia. ....	43
Figura 25. Encajamiento del 10% de composite en material de referencia para instalar en cámara de transmisión a escala. Fotografía por: Nicole Guzmán Quintero. (Septiembre, 2018).....	44

Figura 26. $D_nT,w$ para encajamiento del 10% de composite en material de referencia. ....	45
Figura 27. $D_nT,w$ para encajamiento del 15% de composite en material de referencia. ....	47
Figura 28. $D_nT,w$ comparativo de las pérdidas por transmisión debidas al aumento de agujeros.....	49
Figura 29. Caracterización placa de cartón yeso. Producto industrializado PLADUR@N13. Fotografía por: Nicole Guzmán Quintero. (Septiembre, 2018) .....	49
Figura 30. Caracterización de pequeñas muestras de producto yeso laminado PLADUR en metodología del Caso III. Fotografía por: Nicole Guzmán Quintero. (Septiembre, 2018) .....	50
Figura 31. $D_nT,w$ de caracterización de composites de producto comercializado.....	51
Figura 32. Índice de Reducción Sonora, $R$ para la composite 40%PM, en bandas de tercio de octava desde 500Hz hasta 5000Hz. ....	53
Figura 33. Índice de Reducción Sonora, $R$ para la composite 40%PM + Ag.Acop, en bandas de tercio de octava desde 500Hz hasta 5000Hz. ....	54
Figura 34. Índice de Reducción Sonora, $R$ para la composite 50%PM, en bandas de tercio de octava desde 500Hz hasta 5000Hz. ....	55
Figura 35. Índice de Reducción Sonora, $R$ para la composite 50%PM + Ag.Acop, en bandas de tercio de octava desde 500Hz hasta 5000Hz. ....	56
Figura 36. Índice de Reducción Sonora, $R$ para la composite de PLADUR en bandas de tercio de octava desde 500Hz hasta 5000Hz. ....	57
Figura 37. Frecuencia de Resonancia en agujero de encajamiento en Recinto Receptor a 35,3Hz. ....	58
Figura 38. Modos de frecuencias de resonancia presentes en volumen receptor semejante a Resonador de Helmholtz por agujero de encajamiento de composite.....	59

## **1. INTRODUCCIÓN**

Hablar hoy en día de todo lo que constituye el concepto de “edificación” es necesario analizarse de forma independiente, ya que cada rama conlleva a exigencias específicas las cuales garantizan que exista confort en todo el ámbito de estudio de la edificación. Existen entidades las cuales se encargan de evaluar el cumplimiento de las etapas o fases de un proyecto edificable de tipo habitable, con el fin de clasificar este mismo como espacio apto o no, respecto a condiciones básicas que este debe tener para tomarse como cualquier unidad de uso que las personas puedan ocupar (ISOVER, 2018). Uno de los temas más importantes hoy en el campo de la edificación es la acústica. Esto ha permitido que día a día se desarrollen metodologías las cuales permitan medir y caracterizar, con el fin de adquirir resultados (Barti, 2017) frente al comportamiento acústico de los elementos según sea la aplicación, haciendo uso de normativas vigentes las cuales determinan las bases para estos procesos.

Como ya se ha mencionado antes las nuevas edificaciones se construyen en una búsqueda constante del concepto de sostenibilidad (Reixach, y otros, 2014), para lo cual en relación con la acústica, los elementos convencionales utilizados que aportan aislamiento acústico y absorción acústica en el campo de la construcción (Iglesias, 2010), en muchas ocasiones son fabricados con composiciones de fibras de materiales los cuales químicamente no permiten realizar procesos de reciclado, actuando así como agentes altamente contaminantes para el medio ambiente. Es aquí donde laboratorios y fabricantes toman iniciativa a la creación y fabricación de nuevos materiales bajo el concepto de “Green” (Del Rey, Alba, Crespo, & Fontoba, 2017), realizando procesos de mezclado de materias primas renovables junto con otro tipo de elementos, obteniendo así nuevas composiciones de materiales. Uno de los beneficios que traen estos materiales Green, es el hecho de la disminución de residuos gracias a los ejercicios de reciclado que se utilizan, permitiendo contrarrestar el atento contra el medio ambiente. Acústicamente hablando, estos fabricantes buscan obtener características iguales e inclusive mejores a materiales comercializados.

La problemática que se genera respecto a estos procesos de optimización de recursos en pro de una sostenibilidad “verde” para el campo de la edificación, aparece a raíz de la metodología que los laboratorios implementan para el desarrollo de sus nuevas investigaciones, comúnmente utilizada y conocida bajo el nombre de prueba y error. El proceso de producción de nuevos composites se realiza de forma que no exista un desgaste (Del Rey, Alba, Crespo, & Fontoba, 2017), tanto de materias primas como recursos económicos, como en cualquier investigación en fase de diseño y estudio. Concretamente hablando, prevenir que las inversiones y subvenciones que se obtienen para estudiar estos nuevos materiales, sean para obtener resultados sin mostrar algún aporte diferente a lo convencional. Por tal razón en este trabajo se busca que a partir de un proceso de caracterización base, regido según la normativa aplicable para medir niveles de transmisión acústica en materiales (UNE-EN ISO 10140-2, 2011), se efectúe una modificación de la misma y que al mismo tiempo permita obtener valores referentes o aproximados en cuanto a niveles de aislamiento acústico relacionando índices de reducción sonora. Con esta metodología rescatar y visualizar, el aporte de estas pequeñas muestras de nuevos materiales (composites), estudiadas bajo un proceso de encajamiento con aumentos de proporción sobre un material de referencia.

A partir del planteamiento de la problemática anteriormente mencionada, este proyecto estará compuesto de diferentes fases (Casos), las cuales estarán relacionadas frente al aumento de encajamiento o proporción de las composites en el material base, en donde se analizará el punto en el cual se puedan identificar diferencias o aportes con el mínimo de encajamiento. Con todo lo anterior, describir la técnica implementada que permita caracterizar y modelar Green-composites (Del Rey, Alba, Crespo, & Fontoba, 2017) en cámara de transmisión a escala con pequeñas muestras de materiales eco innovadores.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo principal**

Con base en la metodología implantada a partir de normativa vigente de aplicación para la medición del aislamiento acústico de los elementos de construcción en cuanto a ruido aéreo, se busca implementar un procedimiento que permita caracterizar y evaluar el comportamiento frente a este mismo aspecto acústico de nuevos materiales, en cámara de transmisión a escala con pequeñas muestras y/o composites.

### **2.2. Objetivos secundarios**

- ✓ Medición y caracterización del aislamiento acústico presente en un elemento liviano definido como placa de referencia, en cámara de transmisión acústica a escala.
- ✓ Medición y caracterización del aislamiento acústico presente en un elemento liviano definido como placa de referencia con encajamiento del 5% de nuevo material o composite, en cámara de transmisión acústica a escala. (Caso I)
- ✓ Medición y caracterización del aislamiento acústico presente en un elemento liviano definido como placa de referencia con encajamiento del 10% de nuevo material o composite, en cámara de transmisión acústica a escala. (Caso II)
- ✓ Medición y caracterización del aislamiento acústico presente en un elemento liviano definido como placa de referencia con encajamiento del 15% de nuevo material o composite, en cámara de transmisión acústica a escala. (Caso III)
- ✓ Medición y caracterización de elemento liviano definido como placa de referencia con encajamiento del 15% de material industrial comercializado, comparado frente a los objetivos anteriormente mencionados. (Caso IV)
- ✓ Determinación de la pérdida por transmisión sonora dada por el aumento de proporción de nuevo material sobre el elemento liviano o placa de referencia.
- ✓ Determinación de la incertidumbre y estabilidad de los casos objeto establecidos, para la implementación y validación de la metodología de caracterización de composites en cámara de transmisión sonora.

### 3. MARCO LEGISLATIVO

Con base en lo descrito como parte introductoria al presente trabajo, se identifica la necesidad de establecer metodologías y desarrollo de herramientas, las cuales permitan adquirir propiedades acústicas de estos nuevos materiales renovables (Green). Estos, se presentan como alternativas u homologaciones a materiales convencionales utilizados en el ámbito de la edificación, pero se rigen bajo el cumplimiento de las exigencias establecidas tales como las que se presentan en el documento básico de protección frente al ruido desarrollado por el código técnico de la edificación (DB-HR / CTE , 2009) para España.

Este documento realiza un énfasis concreto respecto a la normativa que permite adquirir dichas características acústicas para tomarse como resultados válidos que, abran así las puertas a la fabricación, producción y comercialización de estas nuevas composiciones de materiales. Aquí el conjunto de normas que compone la UNE-EN ISO 10140, permite adquirir los parámetros necesarios para llevar a cabo la Medición en laboratorio del aislamiento acústico de los elementos de construcción, la cual expone que:

*“se creó para mejorar la disposición de las mediciones de laboratorio, para garantizar la consistencia y para simplificar los futuros cambios y añadidos con respecto a las condiciones de montaje de los elementos de ensayo en las mediciones de campo y de laboratorio.”<sup>1</sup>*

Para lo cual como fundamento legislativo se hace uso de los apartados 2 (UNE-EN ISO 10140-2, 2011) y 4 (UNE-EN ISO 10140-4, 2011) del conjunto que constituye la Norma UNE-EN ISO 10140.

#### **UNE-EN ISO 10140-2:2011.**

Acústica. Medición en laboratorio del aislamiento acústico de los elementos de construcción. Parte 2: Medición del aislamiento acústico a ruido aéreo. Esta normativa es una traducción al castellano de aplicación estandarizada internacional según la normativa ISO 10140-2:2010 Acoustics. Laboratory measurement of sound insulation of building elements. Part 2: Measurement of airborne sound insulation.

#### **UNE-EN ISO 10140-4:2011.**

Acústica. Medición en laboratorio del aislamiento acústico de los elementos de construcción. Parte 4: Procedimientos y requisitos de medición. Esta normativa es una traducción al castellano de aplicación estandarizada internacional según la normativa ISO 10140-4:2010 Acoustics. Laboratory measurement of sound insulation of building elements. Part 4: Measurement procedures and requirements.

Los resultados y procedimientos realizados según las normativas mencionadas anteriormente se evalúan y califican con base en las siguientes normativas:

#### **UNE-EN ISO 717-1:2013.**

Acústica. Evaluación del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción. Parte 1: Aislamiento a ruido aéreo. Con la cual se busca que a partir de los métodos de medición impartidos en la norma UNE-EN ISO 10140-2:2011, exista una normalización de los resultados para así conocer un valor global el cual represente las

---

<sup>1</sup> Texto tomado del documento oficial de la AENOR que presenta la Norma UNE-EN ISO 10140 (Todas las partes)

características acústicas de aislamiento del material sin tener dependencia del espectro frecuencial.

#### Objeto y campo de aplicación

- a. Define magnitudes globales para el aislamiento a ruido aéreo en edificios y de elementos de construcción tales como paredes, suelos, puertas y ventanas.
- b. Toma en consideración los diferentes espectros sonoros de la fuente de ruido tales como ruido interior en los edificios y ruido de tráfico exterior al edificio.
- c. Proporciona reglas para la determinación de estas magnitudes a partir de los resultados de medición realizados en bandas de tercio de octava o de octava de acuerdo en este caso a la Norma UNE-EN ISO 10140-2:2011.

#### **UNE-EN ISO 12999-1:2014.**

Acústica. Determinación y aplicación de las incertidumbres de medición en la acústica de edificios. Parte 1: Aislamiento acústico. Donde se especifican los procedimientos matemáticos y estadísticos para evaluar la incertidumbre de medición del aislamiento acústico en el campo de la construcción. Proporciona una evaluación detallada para evaluar incertidumbres en procesos de medición de laboratorio realizados y modelos de aplicación de los mismos.

#### Objeto y campo de aplicación

- a. Evaluación detallada de la incertidumbre.
- b. Determinación de las incertidumbres mediante los ensayos interlaboratorio.
- c. Aplicación de las incertidumbres.

Para este caso la normativa en descripción que permite conocer la incertidumbre de los procesos de medición realizados, se aplicará y evaluará los resultados de los procesos de caracterización desarrollados, siguiendo la legislación pertinente de acústica para medir aislamiento a ruido aéreo (UNE-EN ISO 10140-2, 2011).

En la siguiente tabla tomada directamente del documento oficial certificado por la AENOR donde se presentan las Normas UNE-EN ISO 10140-2,4 del año 2011, se muestra la estructura y conformación de la misma en los apartados de interés sobre los cuales se enfoca el presente proyecto.

Tabla 1 Estructura y contenidos de la Norma ISO 10140 (Partes 2 y 4)

Parte relevante de la Norma ISO 10140	Objetivo principal, contenido y uso	Contenido detallado
ISO 10140-2	<p><i>Indica un procedimiento completa para las mediciones del aislamiento acústico al ruido aéreo, de acuerdo con la Norma ISO 10140-4 y la norma ISO 10140-5. Para productos sin norma de aplicación específica, es suficientemente completo y general para la realización de las mediciones. Sin embargo, para productos con normas de aplicación específicas, las mediciones se realizan de acuerdo con la Norma ISO 10140-1, si está disponible.</i></p>	<p>Definiciones de las principales magnitudes medidas                      Montaje general y condiciones en los límites                      Procedimiento general de medición                      Procesamiento de datos                      Informe de ensayo (puntos generales)</p>
ISO 10140-4	<p><i>Indica todas las técnicas de medición básicas y los procesos para la medición, de acuerdo con la Norma ISO 10140-2 y la Norma ISO 10140-3 o cualificaciones de instalaciones de acuerdo con la Norma ISO 10140-5. La mayoría del contenido se complementa con un software.</i></p>	<p>Definiciones                      Rango de frecuencias                      Posiciones de micrófono                      Mediciones del nivel de presión sonora                      Promediado, espacial y temporal                      Corrección por ruido de fondo                      Mediciones del tiempo de reverberación                      Mediciones del factor de pérdida                      Mediciones de baja frecuencia                      Potencia acústica radiada mediante la medición de la velocidad</p>

### 3.1. Términos y definiciones según normativa

Los siguientes términos y definiciones de variables se encuentran definidas en los apartados mencionados anteriormente del conjunto de normas que conforman la UNE-EN ISO 10140 evaluados según la normativa relacionada (UNE-EN ISO 717-1, 2013), los cuales son primordiales para realizar los cálculos pertinentes que permitan obtener resultados válidos de aislamiento acústico de los elementos bajo estudio y que cumplan según lo establecido en la normativa.

### 3.1.1. Promedio Energético del Nivel de Presión Sonora

Para mediciones energéticas es importante conocer las ecuaciones que permiten realizar cálculos básicos matemáticos que, en este caso, permitirán conocer el nivel promedio tanto de emisión como recepción los cuales se requieren a la hora de realizar los cálculos establecidos, según la norma para evaluar el aislamiento acústico de los elementos bajo estudio.

$$L = 10 \log \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n 10^{\frac{L_j}{10}} \quad (1)$$

donde:

$L_1, L_2, \dots, L_n$  son los niveles de presión sonora medidos en la posición  $n$  dentro del recinto emisor o receptor.

### 3.1.2. Diferencia de Niveles de Presión sonora, $D$ :

Este concepto relaciona la diferencia en decibelios de los niveles de presión sonora promedios de un recinto definido como emisor o generador de campo sonoro respecto a otro definido como receptor. En las medidas de transmisión sonora estos espacios estarán separados por la superficie bajo evaluación, en donde este valor diferencial de energía lo determina las características en cuanto a aislamiento acústico propio del material.

$$D(\text{dB}) = L_1 - L_2 \quad (2)$$

donde:

$L_1$  = es el nivel de presión sonora promedio en recinto emisor expresado en decibelios. (dB)

$L_2$  = es el nivel de presión sonora promedio en recinto receptor expresado en decibelios. (dB)

### 3.1.3. Diferencia de Niveles de Presión sonora Normalizada, $D_n$ :

Corresponde a la diferencia en decibelios de los niveles de presión sonora promedios de un recinto definido como emisor o generador de campo sonoro respecto a otro definido como receptor. Se debe tener en cuenta la corrección por el área de absorción equivalente en el recinto receptor.

$$D_n(\text{dB}) = D - 10 \log \frac{A}{A_0} \quad (3)$$

donde:

$D$  = Diferencia de Niveles de Presión Emisor-Receptor expresado en decibelios. (dB)

$A$  = es el área de absorción acústica equivalente en el recinto receptor expresada en metros cuadrados. (m<sup>2</sup>)

$A_0$  = es el área de absorción acústica de referencia a 10m<sup>2</sup>.

#### 3.1.4. Diferencia de Niveles de Presión sonora Estandarizada, $D_{nT}$ :

Este concepto relaciona la diferencia en decibelios de los niveles de presión sonora promedios medidos de un recinto definido como emisor o generador de campo sonoro respecto a otro definido como receptor teniendo en cuenta la corrección por el tiempo de reverberación presente en el recinto receptor.

$$D_{nT}(dB) = D + 10 \log \frac{T}{T_0} \quad (4)$$

donde:

$D$  = Diferencia de Niveles de Presión Emisor-Receptor expresado en decibelios. (dB)

$T$  = corresponde al tiempo de reverberación en segundos en el recinto receptor.

$T_0$  = tiempo de reverberación de referencia equivalente a los 0,5 segundos.

#### 3.1.5. Índice de Reducción acústica, $R$ :

Equivalente a diez veces el logaritmo decimal del cociente entre la potencia acústica,  $W_1$ , que incide sobre el elemento de ensayo y la potencia acústica,  $W_2$ , radiada por el elemento de ensayo hacia el otro lado.

$$R(dB) = 10 \log \frac{W_1}{W_2} \quad (5)$$

Para mediciones en laboratorio la normativa expone que la ecuación que permite calcular el índice de reducción acústica viene dada por:

$$R(dB) = L_1 - L_2 + 10 \log \frac{S}{A} \quad (6)$$

donde:

$L_1$  = corresponde al nivel promedio de presión sonora en el recinto emisor, expresado en decibelios. (dB)

$L_2$  = corresponde al nivel promedio de presión sonora en el recinto receptor, expresado en decibelios. (dB)

$S$  = determina el área de evaluación o superficie del material bajo estudio expresada en metros cuadrados. (m<sup>2</sup>)

$A$  = es el área de absorción acústica equivalente en el recinto receptor expresada en metros cuadrados. (m<sup>2</sup>)

#### 3.1.6. Índice de Reducción acústica aparente, $R'$ :

En la normativa se describe esta variable con dependencia en cuanto a las potencias de radiación en los espacios. Para este caso en específico se toma como referencia lo descrito en la NOTA 2 del apartado 3.2 de la normativa (UNE-EN ISO 10140-2, 2011) donde se especifica que, en el supuesto de que existan campos sonoros difusos para ambos recintos emisor-receptor este índice de reducción aparente se evalúa a partir de la ecuación (5).

$$R'(dB) = D + 10 \log \frac{S}{A} \quad (7)$$

#### 4. MARCO TEÓRICO

Previamente a entrar en materia sobre el desarrollo de este trabajo es importante tener en claro conceptos acústicos y relacionados con el tema, que permitan hilar de alguna u otra forma cada proceso descrito en este documento. En este espacio las terminologías descritas estarán vinculadas al tema principal de este trabajo el cual está fundamentado en temas de aislamiento acústico y principalmente referido a lo que conlleva realizar estudios y ensayos de transmisión sonora.

##### 4.1. Aislamiento Acústico

Este término nace bajo el concepto de aislar, utilizado en este caso en el campo sonoro-acústico. Lo que define el término de aislamiento acústico prácticamente es la capacidad que tienen los materiales para actuar como repelentes o que generen el impedimento de que la energía sonora disipada sobre su propia superficie pueda transmitirse a través de ella. (J. LLinares, 1996)

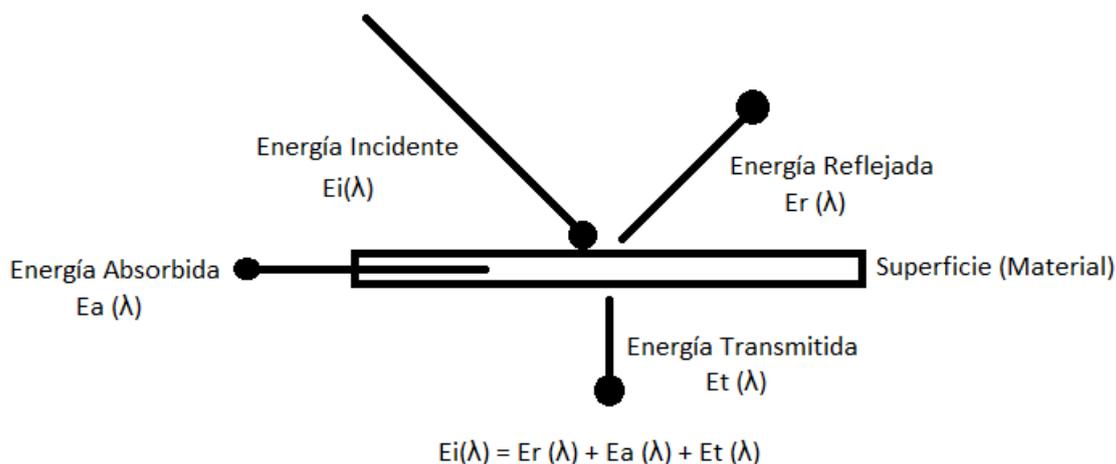


Figura 1. Esquema representativo de la transmisión de energía sonora en el ámbito del aislamiento acústico. Realizado por: Nicole Guzmán Quintero. Referencia: (Inche Mitma, Chung Pinzás, & Vizarreta Chia, 2014)

Todos los materiales presentan una composición química y en materia que les permite presentar ciertas características en cuanto a absorción acústica, la cual relaciona directamente el efecto de reflexión acústica. Esto es así ya que los materiales con mayores coeficientes de absorción por lo general presentan composiciones fibrosas y/o porosas donde se crean cavidades tomados como espacios de resonancia y de disipación de la energía. Generalmente estos materiales son pobres en cuanto a capacidad de aislar por estas mismas cavidades las cuales dejarán que los sonidos salgan del propio material permitiendo la transmisión sonora. Por otro lado, materiales con coeficientes de absorción muy bajos son considerados reflectantes, al presentar composiciones más rígidas y compactas impidiendo transmisión de un espacio a otro, de la energía sonora siendo ésta reflejada. Es aquí donde se deben crear sistemas en los cuales se aproveche este juego de absorción-reflexión para definir superficies que actúen como buenos aislantes acústicos, todo esto dependiendo de la aplicación a la que se quiera intervenir.

#### 4.2. Transmisión de Ruido Aéreo

Este concepto nace bajo fenómenos acústicos de la cotidianidad donde el ser humano se ve afectado por ruidos presentes en el medio ambiente. La transmisión de ruido se produce por ondas sonoras propagadas en el aire (J. LLinares, 1996). Esta propagación de energía sonora o en muchos textos definida como ruido, buscará espacios o cavidades presentes en las superficies para pasar a través de ellos para finalmente ser escuchadas.

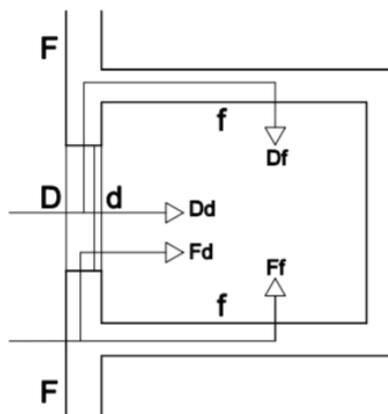


Figura 2. Definición de los caminos de transmisión acústica desde el exterior hacia el interior del recinto. Figura 3.6 del apartado 3.1.3.4. Referencia: (DB-HR / CTE , 2009)

Es uno de los temas con mayor influencia en lo que implica generar un espacio de confort acústico donde las superficies que constituyen dicho espacio juegan un rol importante y más en el campo de la edificación.

#### 4.3. Transmisión de Ruido de Impactos

Al igual que la transmisión de ruido aéreo, este concepto se concentra en las ondas sonoras propagadas a través de vibraciones producidas por el impacto entre dos elementos (DB-HR / CTE , 2009). Estas son definidas como vibraciones ya que por lo general son ondas las cuales viajan en rangos de frecuencia bajas imperceptibles para el oído humano pero que pueden presenciarse físicamente en un espacio.

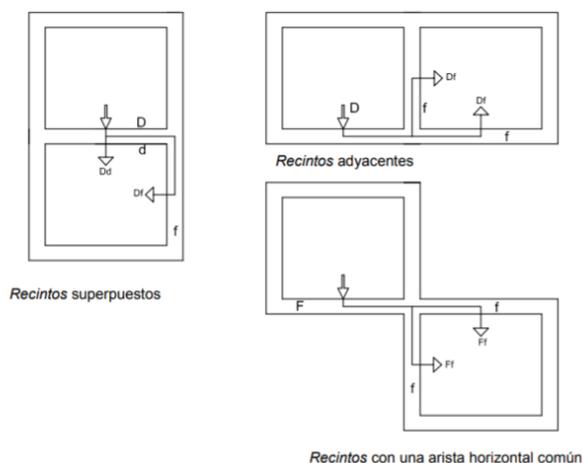


Figura 3. Definición de los caminos de transmisión acústica entre dos recintos (Vista en sección vertical). Figura 3.7 del apartado 3.1.3.6. Referencia: (DB-HR / CTE , 2009)

Esto es debido a que presentan longitudes de onda muy grandes las cuales impiden que estas ondas sonoras sean disipadas fácilmente por lo que buscarán diferentes caminos para seguir su fenómeno de propagación hasta llegar a la disipación o desaparición de la onda de ruido de impacto.

## 5. CÁMARA DE TRANSMISIÓN

Como bien se ha nombrado en el desarrollo de este documento, el proceso por el cual se busca realizar esta caracterización de composites es haciendo uso de la herramienta desarrollada en la Escuela Politécnica Superior de Gandía (Torres, 2011), la cual hace referencia a una cámara de transmisión a escala construida en el año 2011 recinto que permite realizar medidas en cuanto a características de aislamiento acústico en proporciones pequeñas de materiales. Como concepto acústico este espacio tiene un uso específico y es el de llevar a cabo ensayos de laboratorio caracterizándose por ser una cámara compuesta por dos recintos acoplados de tal forma que exista un elemento separador el cual será el objeto bajo estudio.

Las principales características de esta cámara utilizada, cumplen la existencia de un campo difuso en el interior de la misma gracias a que se presentan dos recintos los cuales son definidos como cámaras reverberantes adyacentes separadas por el elemento bajo estudio (Bertó, 2015). Se debe definir el espacio destinado como emisor y el espacio destinado como receptor gracias a la diferencia en volúmenes de aproximadamente un 10% con base en la normativa.

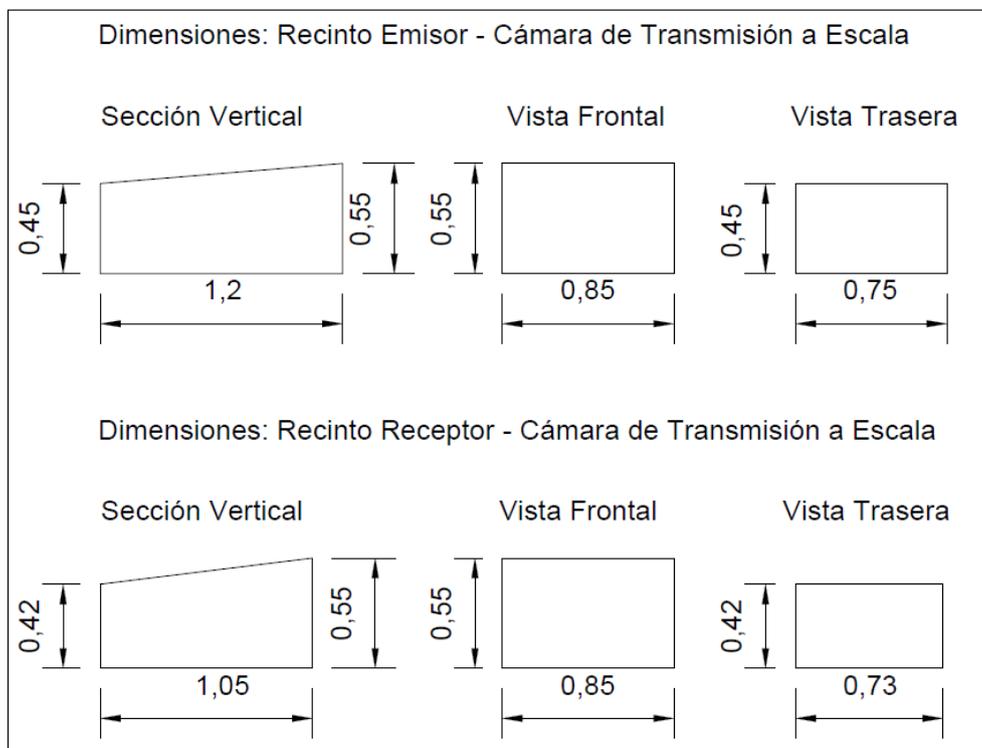


Figura 4. Dimensiones reales de los recintos emisor-receptor de la cámara de transmisión. Dibujo en AutoCAD realizado por Nicole Guzmán Quintero. Referencia: Figura 3.2 (Bertó, 2015)

Otro aspecto importante que debe cumplir estos espacios en donde se practican ensayos de laboratorio es el tiempo de reverberación el cual no debe superar un máximo de los 2 segundos pero que para este caso al tratarse de una cámara a escala este valor de tiempo de reverberación disminuye. (Véase tabla 3) (Bertó, 2015)

Respecto a el ruido de fondo de las cámaras para evaluar transmisión acústica, este debe ser lo suficientemente bajo para hacer efectiva las mediciones de los niveles de presión sonora en ambos recintos emisor-receptor lo cual se consigue con un aislamiento estructural de la cámara de transmisión haciendo que los ruidos provenientes indirectamente sean imperceptibles.



Figura 5. Cámara de transmisión a escala de la Escuela Politécnica Superior de Gandía (UPV) sellada. Sistema de recinto receptor-probeta-recinto emisor cerrado. Fotografía por: Nicole Guzmán Quintero. (Julio, 2018)

En cuanto a la probeta o área en la cual se instalará el material a estudiar, la normativa lo especifica bajo el nombre de “apertura de ensayo” con valores en proporción de área entre  $10\text{m}^2$  y  $20\text{m}^2$  según la aplicación. La cámara donde se realizan las mediciones cumple el escalado de 1:5 por lo que esta apertura representa una reducción en la misma proporción.



Figura 6. Probeta: Área destinada para instalación de superficies a evaluar en transmisión sonora en la Cámara de transmisión de la EPSG. Fotografía por: Nicole Guzmán Quintero. (Julio, 2018)

Como ya se ha venido mencionado en el desarrollo del presente documento el diseño de la cámara fue de tal forma que se cumpliera lo establecido con base en la normativa relacionada (UNE-EN ISO 10140-5, 2011). Acústica. Medición en laboratorio del aislamiento acústico de los elementos de construcción. Parte 5: Requisitos para instalaciones y equipos de ensayos. Según lo mencionado anteriormente se presentan las características básicas respecto a la geometría del espacio conocido como cámara de transmisión a escala de la Escuela politécnica Superior de Gandía.

Tabla 2 Descripción geométrica de cámara a escala utilizada para realizar la evaluación.

Recinto	Volumen (m <sup>3</sup> )	Superficie total (m <sup>2</sup> )
Emisor	0,48	3,95
Receptor	0,39	3,32
Área evaluada	Según muestra	0,47



Figura 7. Identificación de espacios en Cámara de transmisión a escala de la EPSG. Fotografía por: Nicole Guzmán Quintero. (Julio, 2018)

Con base a estas características de dimensiones se ha realizado un análisis frente a las adaptaciones (Bertó, 2015) a tener en cuenta las cuales pueden generar limitaciones para la interpretación de los resultados de las mediciones realizadas en dicha cámara, ya que a la hora de realizar cualquier tipo de análisis deben relacionarse puesto que interfieren en los resultados variando aspectos acústicos importantes como lo es el espectro frecuencial.

Como objeto de estudio para este trabajo solo se nombrará la limitación en cuanto al rango frecuencial óptimo relacionado con las dimensiones de la cámara como referencia para análisis de los resultados en las mediciones de caracterización de transmisión de ruido aéreo de la metodología a implementar. Esta evaluación es realizada con base en la teoría implementada por Schroeder donde se describe la ecuación que permite conocer la frecuencia crítica de cualquier espacio según la siguiente ecuación:

$$f_c = 1849 \left( \sqrt{\frac{T60}{V}} \right) \quad (8)$$

donde:

T60: Es el tiempo de reverberación del recinto en segundos.

V: es el volumen del recinto en metros cúbicos.

Los valores de tiempo de reverberación medidos de ambos recintos emisor y receptor de la cámara de transmisión se muestran en la siguiente tabla (Bertó, 2015):

Tabla 3 Tiempo de reverberación de cámara de transmisión a escala de la Escuela Politécnica Superior de Gandía (Torres, 2011)

Frecuencia (Hz)	RT (s)	Frecuencia (Hz)	RT (s)
100	0,20	800	0,35
125	0,34	1000	0,34
160	0,33	1250	0,30
200	0,58	1600	0,30
250	0,50	2000	0,30
315	0,49	2500	0,30
400	0,53	3150	0,27
500	0,50	4000	0,25
630	0,39	5000	0,26

De acuerdo al análisis realizado en trabajos anteriores (Bertó, 2015) la teoría de Schroeder estuvo bajo estudio por parte de otro autor conocido como Skálevik. Esto, permitió definirse como referencia de frecuencia de corte aproximadamente a los 630Hz, como rango de operación para la cámara de transmisión a escala. Condición que se tendrá en cuenta a la hora de representar y evaluar los resultados obtenidos en todo el proceso de caracterización y medidas de transmisión de ruido en los elementos bajo estudio.

## 6. COMPOSITES GREEN

Ahora bien, ya se conoce la normativa establecida la cual permitirá establecer el procedimiento de medida de transmisión de ruido aéreo y las condiciones relacionadas en cuanto al espacio en el que se realizarán las mediciones de transmisión de ruido aéreo a escala. Por lo que se dará visibilidad frente a los composites o nuevos materiales utilizados como objetos de estudio de la implementación de la metodología descrita en este documento.

Como bien se ha mencionado este concepto de composite nace a partir de tener una nueva composición de material en proporciones pequeñas, el cual principalmente se

obtiene a partir del mezclado y combinado de fibras, de tal forma que se cree consistencia y homogeneidad. Para este caso en específico se hace referencia a composites Green fabricados a partir de materiales renovables que, permitan la mitigación de la huella ecológica para ser industrializados e implementados en nuevas edificaciones.

### 6.1. COMPOSITES BAJO ESTUDIO

Las nuevas composiciones de materiales o composites utilizadas como elemento de ensayo para este trabajo, están hechas a base de fibras obtenidas de la podadura de árbol de naranja (Reixach, y otros, 2014), las cuales en primera instancia disminuyen problemáticas ambientales, tales como: la quema de árboles, gracias al aprovechamiento de los recursos; aumentando los beneficios en el campo agrícola, ofreciendo nuevas alternativas mucho más económicas frente a otros productos utilizados en la industria.

Estos composites bajo ensayo, se caracterizan por la aglomeración de fibras lignocelulosas las cuales provienen de las paredes celulares de las plantas (Reixach, y otros, 2014), materia que se define como fuente de carbono con mayor influencia en el concepto de procesos renovales, ofreciendo soluciones tanto en la mitigación de huella ecológica, como en las problemáticas de energías que se presentan hoy en día. Esta búsqueda incansable del aprovechamiento de los recursos naturales como fuentes de energía y homologación para los materiales utilizados en el campo de la construcción, implica que estas nuevas composiciones de materiales sean caracterizados en cuanto a su comportamiento mecánico, termo mecánico y químico mecánico (Reixach, y otros, 2013) con el fin de obtener características fundamentales las cuales, permiten obtener valores de propiedades que se referencian usualmente en cualquier material. Estas características se describen como:

- Pasta mecánica (PM)
- Pasta Termo Mecánica (PTM)
- Pasta Químico Termo Mecánica (PCTM)

En cuanto a composición química en detalle de los composites bajo ensayo, son aglomeraciones de compuesto de polipropileno con diferentes porcentajes de refuerzos de fibras lignocelulosas, obtenidas por la podadura de árbol de naranja las cuales alteran las características mecánicas mencionadas anteriormente. Estos procesos implican una revisión temporal de la evolución de las propiedades reológicas de estas nuevas composiciones, donde se seleccionan las composites que muestren mejores resultados frente al proceso de reciclado. En muchas ocasiones la respuesta puede mejorar con la inyección de refuerzos de compactación entre la base y la fibra con agentes de acoplamiento (Ag.Acop). Esto quiere decir que, existen composites de composición pura reciclada y otras composites, de composición con reciclado mecánico por inyección (Ochoa Mendoza, 2005). Las cuatro referencias de composites utilizadas bajo ensayo para el proceso de caracterización y desarrollo de este trabajo son:

- Composite en matriz de polipropileno con fibras lignocelulosas de podadura de árbol de naranja, con respuesta de pasta mecánica al 40%: 40%PM



Figura 8. Composite en matriz de polipropileno con fibras lignocelulosas de podadura de árbol de naranja, con respuesta de pasta mecánica al 40%: 40%PM. Fotografía por: Nicole Guzmán Quintero. (Julio, 2018)

Tabla 4 Características composite 1: 40%PM.

CARACTERÍSTICAS MATERIAL: 40%PM						
	Diámetro (cm)	Espesor (cm)	Volumen (cm3)	Peso (g.cm/s <sup>2</sup> )	Masa(g)	Densidad (g/cm3)
Composite 1	7,9	0,4	9,93	0,681	0,069	0,690
Composite 2	7,9	0,4	9,93	0,689	0,070	0,698
Composite 3	7,9	0,4	9,93	0,686	0,070	0,695
<b>Promedio</b>	<b>7,9</b>	<b>0,4</b>	<b>9,93</b>	<b>0,69</b>	<b>0,07</b>	<b>0,69</b>

- Composite en matriz de polipropileno con fibras lignocelulosas de podadura de naranja con respuesta de pasta mecánica al 40% con refuerzo por agente de acoplamiento: 40%PM + Ag.Acop



Figura 9. Composite en matriz de polipropileno con fibras lignocelulosas de podadura de árbol de naranja, con respuesta de pasta mecánica al 40% con refuerzo por agente de acoplamiento: 40%PM+Ag.Acop. Fotografía por: Nicole Guzmán Quintero. (Julio, 2018)

Tabla 5 Características composite 2: 40%PM + Ag.Acop.

CARACTERÍSTICAS MATERIAL: 40%PM + Ag.Acop						
	Diámetro (cm)	Espesor (cm)	Volumen (cm3)	Peso (g.cm/s <sup>2</sup> )	Masa(g)	Densidad (g/cm3)
Composite 1	7,9	0,4	9,93	0,687	0,070	0,696
Composite 2	7,9	0,4	9,93	0,687	0,070	0,696
Composite 3	7,9	0,4	9,93	0,684	0,070	0,693
<b>Promedio</b>	<b>7,9</b>	<b>0,4</b>	<b>9,93</b>	<b>0,69</b>	<b>0,07</b>	<b>0,69</b>

- Composite en matriz de polipropileno con fibras lignocelulosas de podadura de naranja con respuesta de pasta mecánica al 50%: 50%PM



Figura 10. Composite en matriz de polipropileno con fibras lignocelulosas de podadura de árbol de naranja, con respuesta de pasta mecánica al 50%: 50%PM. Fotografía por: Nicole Guzmán Quintero. (Julio, 2018)

Tabla 6 Características composite 3: 50%PM.

CARACTERÍSTICAS MATERIAL: 50%PM						
	Diámetro (cm)	Espesor (cm)	Volumen (cm3)	Peso (g.cm/s <sup>2</sup> )	Masa(g)	Densidad (g/cm3)
Composite 1	8	0,4	10,05	0,716	0,073	0,734
Composite 2	8	0,4	10,05	0,714	0,073	0,732
Composite 3	8	0,4	10,05	0,714	0,073	0,732
<b>Promedio</b>	<b>8</b>	<b>0,4</b>	<b>10,05</b>	<b>0,71</b>	<b>0,07</b>	<b>0,73</b>

- Composite en matriz de polipropileno con fibras lignocelulosas de podadura de naranja con respuesta de pasta mecánica al 40% con refuerzo por agente de acoplamiento: 50%PM + Ag.Acop



Figura 11. Composite en matriz de polipropileno con fibras lignocelulosas de podadura de árbol de naranja, con respuesta de pasta mecánica al 40% con refuerzo por agente de acoplamiento: 40%PM+Ag.Acop. Fotografía por: Nicole Guzmán Quintero. (Julio, 2018)

Tabla 7 Características composite 4: 50%PM + Ag.Acop.

CARACTERÍSTICAS MATERIAL: 50%PM + Ag.Acop						
	Diámetro (cm)	Espesor (cm)	Volumen (cm3)	Peso (g.cm/s <sup>2</sup> )	Masa(g)	Densidad (g/cm3)
Composite 1	8	0,4	10,05	0,716	0,073	0,734
Composite 2	8	0,4	10,05	0,71	0,072	0,728
Composite 3	8	0,4	10,05	0,719	0,073	0,738
<b>Promedio</b>	<b>8</b>	<b>0,4</b>	<b>10,05</b>	<b>0,72</b>	<b>0,07</b>	<b>0,73</b>

## 7. ENCAJAMIENTO

En este apartado se pretende definir el concepto utilizado como encajamiento, en el que se proyecta tomar pequeñas muestras de nuevas composiciones de materiales, (composites) integrándolas sobre un material de referencia. Uno de los propósitos principales de este proyecto es aumentar esta integración al punto en que se puedan obtener resultados que, permitan conocer el aporte del nuevo material sobre el ya conocido. Para lo cual se emplea la siguiente dinámica:

### 7.1. Encajamiento del 5% de nuevo material en Placa de Referencia

Para llevar a cabo este ejercicio, se fabrican láminas en el material seleccionado como referencia de igual dimensiones que las descritas como área de evaluación de la cámara de transmisión utilizada, en donde se calcula el área total siendo esta equivalente a un 100%. La definición de integración de solo el 5% equivale al encajamiento de una sola composite, la cual frente a las dimensiones de fabricación respecto a la placa de referencia o área evaluada equivale a este porcentaje.

Tabla 8 Proporción de encajamiento del 5% de Composites en Placa de Referencia.

PROPORCIÓN MATERIAL CASO I		
Elemento	Área m2	Proporción %
Placa Referencia	0,448	95
Composite x1	0,025	5

En el siguiente esquema se muestra la integración del 5% de nuevo material sobre el material de referencia.

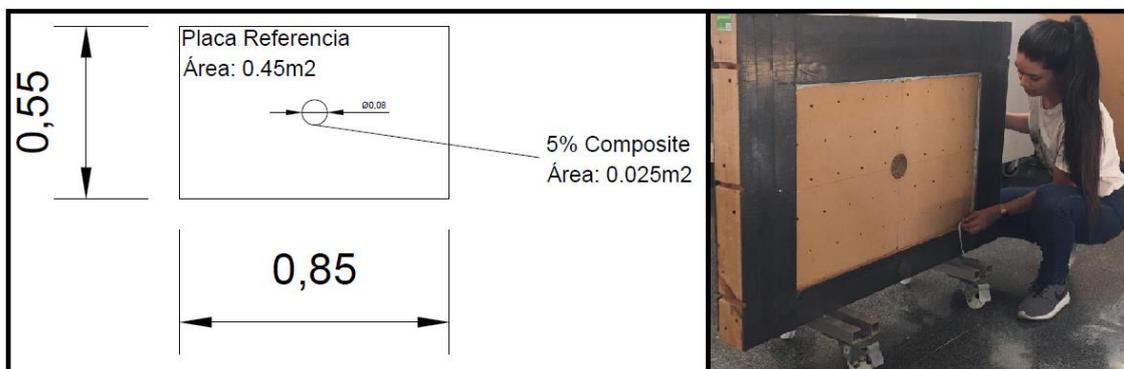


Figura 12. Esquema proporción de encajamiento del 5% de composite en placa de referencia. Plano y fotografía por: Nicole Guzmán Quintero. (Julio, 2018)

### 7.2. Encajamiento del 10% de nuevo material en Placa de Referencia

Con base lo descrito en el caso anterior nuevamente se fabrica una lámina con el material seleccionado como referencia de igual dimensiones que las descritas como área de evaluación, siendo esta área equivalente al 100% de proporción. El 10% de integración o encajamiento de nuevo material equivale a 2 composites integradas, las cuales frente a sus dimensiones representan dicho porcentaje.

Tabla 9 Proporción de encajamiento del 10% de Composites en Placa de Referencia.

PROPORCIÓN MATERIAL CASO I		
Elemento	Área m <sup>2</sup>	Proporción %
Placa Referencia	0,423	90
Composite x2	0,050	10

En el siguiente esquema se muestra la integración del 10% de nuevo material sobre el material de referencia.

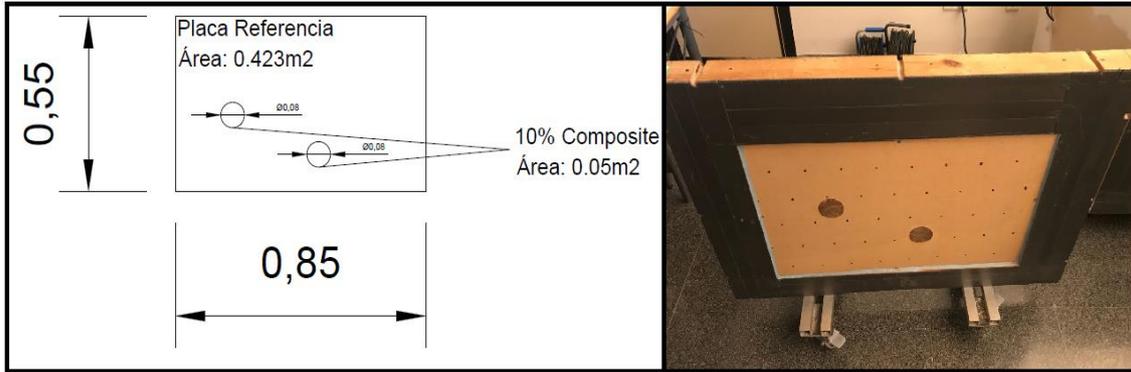


Figura 13. Esquema proporción de encajamiento del 10% de composites en placa de referencia. Plano y fotografía por: Nicole Guzmán Quintero. (Julio, 2018)

### 7.3. Encajamiento del 15% de nuevo material en Placa de Referencia

Nuevamente se utiliza la misma dinámica en cuanto a selección de placa de referencia equivalente al 100% de proporción. El 15% representa el encajamiento de 3 composites teniendo en cuenta las dimensiones definidas por el fabricante.

Tabla 10 Proporción de encajamiento del 15% de Composites en Placa de Referencia.

PROPORCIÓN MATERIAL CASO I		
Elemento	Área m <sup>2</sup>	Proporción %
Placa Referencia	0,398	85
Composite x3	0,075	15

En el siguiente esquema se muestra la integración del 10% de nuevo material sobre el material de referencia.

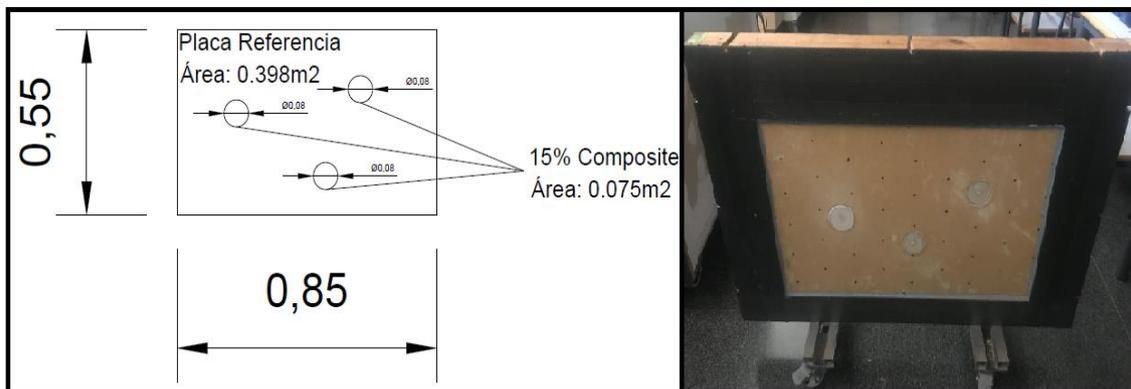


Figura 14. Esquema proporción de encajamiento del 15% de composites en placa de referencia. Plano y fotografía por: Nicole Guzmán Quintero. (Julio, 2018)

## 8. METODOLOGÍA

En este apartado se describe paso a paso la configuración utilizada para realizar el procedimiento de medida, que dará paso a la implementación de una nueva metodología que permita, caracterizar pequeñas muestras de nuevos materiales Green en la cámara de transmisión a escala. Este procedimiento afirma lo establecido en la norma de aplicación (UNE-EN ISO 10140-4, 2011), frente a los requisitos mínimos que se deben cumplir para la correcta aplicación de la misma y que admita, mediciones del aislamiento acústico de los elementos de construcción.

### 8.1. Medición de Ruido de Fondo

Esta medición corresponde al nivel de presión sonora sin presencia o exposición a ningún ruido presente generado a propósito, con el fin de conocer el nivel de referencia promediado ( $L_b$ ), al cual el nivel medido promediado en recinto receptor ( $L_2$ ) deberá presentar una diferencia superior a los 10dB. Todo lo anterior una vez se genere un campo sonoro en el recinto emisor, garantizando una diferencia que permita realizar los cálculos pertinentes. Si lo anterior establecido según la normativa no se cumple, se debe realizar las correcciones por ruido de fondo para el nivel en receptor ( $L_2'$ ) de tal forma que:

- Si,  $L_2 - L_b \geq 10dB$  entonces  $L_2' = L_2$
- Si,  $10dB \geq L_2 - L_b \geq 6dB$  entonces  $L_2' = 10 \log \left( 10^{\frac{L_2}{10}} - 10^{\frac{L_b}{10}} \right)$
- Si,  $L_2 - L_b \leq 6dB$  entonces  $L_2' = L_2 - 1,3dB$

### 8.2. Medición de Tiempo de reverberación

La medida del tiempo de reverberación está directamente relacionada al área de absorción sonora presente al interior, del recinto a caracterizar en este mismo aspecto. Las medidas de este parámetro se realizan de tal forma que se cumpla lo establecido en la normativa referenciada en el marco legislativo, sobre medición de absorción sonora en cámara reverberante. En este se destaca lo siguiente:

$$A = \left( \frac{0,161 \times V}{TR} \right) \quad (9)$$

donde:

A = Corresponde al área en metros cuadrados de absorción sonora equivalente

V = Corresponde al volumen en metros cúbicos del recinto

TR = Corresponde al tiempo de reverberación en segundos propio del recinto

### 8.3. Medición Transmisión Sonora Emisor-Receptor

En primera instancia para llevar a cabo esta medición se debe generar un campo sonoro en el recinto definido como emisor presente en la cámara de transmisión a escala. Para lo cual se instala una fuente al interior del mismo, de tal forma que se cree un campo sonoro difuso y que, al mismo tiempo, sea constante con igual intensidad de ruido blanco por un periodo de tiempo no inferior a los 6 segundos. La potencia debe ser alta y de tal forma que se garantice que existe una superioridad de al menos 15dB respecto al nivel percibido o medido en el recinto destinado como receptor, presente en la cámara de

transmisión a escala. Este parámetro se define bajo la variable de  $L_1$  y corresponde al promediado de niveles de emisión, medidos en el recinto emisor una vez esté operando la fuente. Para lo cual se debe cumplir que, en el mismo intervalo de tiempo; exista un punto de medición en el recinto receptor  $L_2$  que permita conocer las diferencias de niveles en el mismo intervalo de tiempo.

Para llevar a cabo esta medición y tal como se establece en la normativa (UNE-EN ISO 10140-4, 2011), se deben tener en cuenta los siguientes requisitos:

#### 8.3.1. Posicionamiento de Fuente

Las distancias entre las posiciones de altavoz no deberán ser inferiores a los 0,7m. (0,14m cámara de transmisión a escala)

Mínimo de posiciones de fuente equivalente a 2.

#### 8.3.2. Posicionamiento de Micrófonos

- ✓ Las distancias entre posiciones de micrófonos no deberán ser inferiores a 0,7m. (0,14m cámara de transmisión a escala)
- ✓ Las distancias entre posiciones de micrófonos y superficies no deberán ser inferiores a 0,7m. (0,14m cámara de transmisión a escala)
- ✓ Las distancias entre posiciones de micrófonos y fuente sonora no deberán ser inferiores a 1m. (0,2m cámara de transmisión a escala)
- ✓ Las distancias entre posiciones de micrófonos y superficie bajo estudio no deberán ser inferiores a 1m. (0,2m cámara de transmisión a escala)

Como ya se ha mencionado la cámara de transmisión utilizada para el desarrollo de la presente investigación, está construida de tal forma que cumple un factor de escalamiento de 1:5. Es por tal razón que se indican las distancias reales utilizadas aplicando el escalamiento teniendo como referencia las ya establecidas, frente al posicionamiento de fuentes y puntos de medida anteriormente mencionadas.

### 8.4. **Recolección de datos de las Mediciones**

Una vez se tenga el elemento instalado en la probeta de la cámara de transmisión el cual es el elemento deseado a caracterizar, se identifica el recinto Emisor y Receptor. Esto, en relación en cuanto al volumen de espacio ocupado para el cual debe ser predominante en el destinado como espacio de emisión. Dentro de este espacio se deben realizar tal como se especifica en la normativa aplicable (UNE-EN ISO 10140-2, 2011) (UNE-EN ISO 10140-4, 2011), las mediciones de los siguientes parámetros:

- ✓ Nivel de Ruido de Fondo recinto Receptor
- ✓ Tiempo de Reverberación
- ✓ Nivel de Presión Sonora recinto Receptor (Recepción)
- ✓ Nivel de Presión Sonora recinto Emisor (Emisión)

### 8.4.1. Medidas de Nivel de Ruido de Fondo en Recinto Receptor

Para obtener los valores de niveles de ruido de fondo de la sala receptora, se deben realizar 5 medidas teniendo en cuenta el posicionamiento de cada punto, en donde no exista yuxtaposición entre los mismos para que los resultados muestren una distribución homogénea de energía al interior del recinto en estudio, todo esto para cada caso de manera independiente. Cada medida se debe realizar en un intervalo de tiempo de 6 segundos, configurado de tal forma que permita conocer el espectro frecuencial en ese mismo periodo de tiempo de medida.

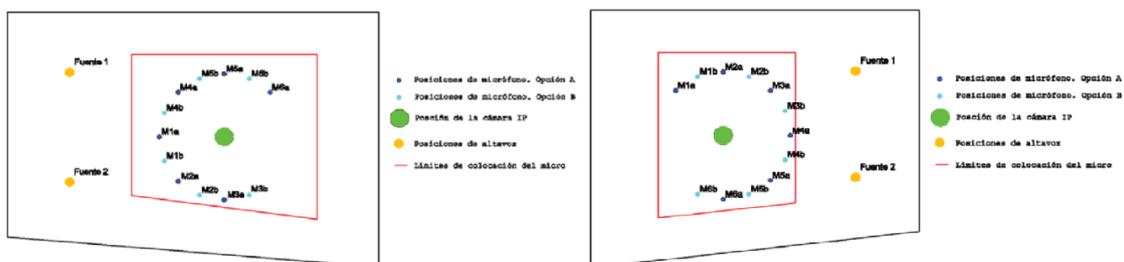


Figura 15. Esquemas de posicionamiento de fuentes y micrófonos al interior de los recintos emisor-receptor. Referencia: Figuras 3.7-3.8 (Bertó, 2015)

Se busca que el desarrollo de todo el proyecto se describa como “casos” tal como se ha especificado en los objetivos, esto obliga a que existan suficientes medidas que permitan tener recolección de datos suficientes para ser analizados y evaluados, para lo cual la obtención de datos, de niveles de ruido de fondo se trabaja con la siguiente dinámica estadística:

Tabla 11 Recolección de medidas de tiempo de Ruido de Fondo para cada caso.

ELEMENTO A CARACTERIZAR (Medida Ruido de Fondo)	Nº de Medidas de Ruido de Fondo	Intervalos de tiempo en segundos	Nº de Repeticiones de Medidas de transmisión Acústica	Total Medidas Realizadas	Total Tiempo en segundos de medida
MDF (Placa que se toma como Referencia o base para encajamiento de composites)	5	6	3	15	90
MDF (Placa Referencia con Agujero del 5%)	5	6	3	15	90
MDF (Placa Referencia con Agujero del 10%)	5	6	3	15	90
MDF (Placa Referencia con Agujero del 15%)	5	6	3	15	90
MDF ( Placa Referencia con Encajamiento del 5% de la composite 40%PastaMecánica)	5	6	3	15	90
MDF (Placa Referencia con Encajamiento del 10% de la composite 40%PastaMecánica)	5	6	3	15	90
MDF (Placa Referencia con Encajamiento del 15% de la composite 40%PastaMecánica)	5	6	3	15	90
MDF ( Placa Referencia con Encajamiento del 5% de la composite 40% PastaMecánica+Agente de Acoplamiento)	5	6	3	15	90
MDF (Placa Referencia con Encajamiento del 10% de la composite 40% PastaMecánica+Agente de Acoplamiento)	5	6	3	15	90

MDF (Placa Referencia con Encajamiento del 15% de la composite 40% PastaMecánica+Agente de Acoplamiento)	5	6	3	15	90
MDF (Placa Referencia con Encajamiento del 5% de la composite 50%PastaMecánica)	5	6	3	15	90
MDF (Placa Referencia con Encajamiento del 10% de la composite 50%PastaMecánica)	5	6	3	15	90
MDF (Placa Referencia con Encajamiento del 15% de la composite 50%PastaMecánica)	5	6	3	15	90
MDF (Placa Referencia con Encajamiento del 5% de la composite 50% PastaMecánica+Agente de Acoplamiento)	5	6	3	15	90
MDF (Placa Referencia con Encajamiento del 10% de la composite 50% PastaMecánica+Agente de Acoplamiento)	5	6	3	15	90
MDF (Placa Referencia con Encajamiento del 15% de la composite 50% PastaMecánica+Agente de Acoplamiento)	5	6	3	15	90
PLADUR@N13 (Placa Referencia de yeso laminado)	5	6	3	15	90
MDF (Placa Referencia con Encajamiento del 15% de yeso laminado PLADUR@N13)	5	6	3	15	90
<b>TOTAL</b>	90	108	54	270	1620

Al tratarse de una cámara para medidas de transmisión acústica a escala, existen eventualidades las cuales pueden afectar las medidas. El hecho de que exista un ejercicio intermedio de apertura y cierre de la cámara para el cambio de posición de medida, obliga a una automatización del sistema. Para lo cual se ha desarrollado un sistema en donde a través de una cámara controlada remotamente con dirección IP y con ayuda del WebControl del dispositivo, se puede visualizar y marcar previamente los puntos de interés (Bertó, 2015). Accediendo remotamente a la ubicación deseada y puntos de medida de los niveles de presión sonora con el sonómetro, una vez la cámara de transmisión se haya sellado para evitar interferencias de ruido exteriores.



Figura 16. Visualización interna del sistema de control remoto con cámara IP en el recinto receptor de la cámara de transmisión de la EPSG. Fotografía por: Nicole Guzmán Quintero. (Julio, 2018)

Tal como se describe en la tabla 3 existe una recolección de 270 datos correspondientes a niveles de presión sonora relacionados al ruido de fondo en cámara receptora para cada caso. Este representa un valor significativo de procesos de medida, en donde debe existir configuración acorde y manipulación remota del posicionamiento de las medidas, donde gracias a la implementación tecnológica operando remotamente, existe una optimización de los procesos de medida evitando desgaste físico en los ejercicios de apertura y cierre del laboratorio de tamaño reducido.



*Figura 17. Cámara instalada internamente en la cámara de transmisión para control remoto del posicionamiento de puntos de medida. Fotografía por: Nicole Guzmán Quintero. (Septiembre, 2018)*

Es preciso mencionar que, en los datos representados no se presentan los tiempos frente a los cambios de posición de medida, ni tampoco el tiempo de retardo en operar el dispositivo de medición.

#### 8.4.2. Medidas de Tiempo de Reverberación en recinto Receptor

Al igual como se describe en el apartado de medidas de nivel de ruido de fondo, la normativa aplicable descrita en el marco legislativo de este documento para medidas de transmisión acústica, exige que se realicen mediciones del tiempo de reverberación en el recinto destinado como receptor, presente para este caso en específico de la cámara de transmisión a escala utilizada. Para el correcto cumplimiento de lo descrito en la normativa, se configura de tal forma que el sonómetro de medida realice 3 medidas relacionadas a cada posición de fuente. En este caso se requieren de al menos 2 posiciones de fuentes para un total de 6 medidas de tiempo de reverberación, igualmente de forma independiente, configuradas de tal forma que se realicen 3 caídas de promedio de tiempo de reverberación de 5 segundos para cada medición.

El intervalo de tiempo se toma como suficiente para obtener valores de tiempo de reverberación, en consideración a las medidas realizadas previamente en la cámara (Bertó, 2015) que se describen en el marco teórico del presente documento.

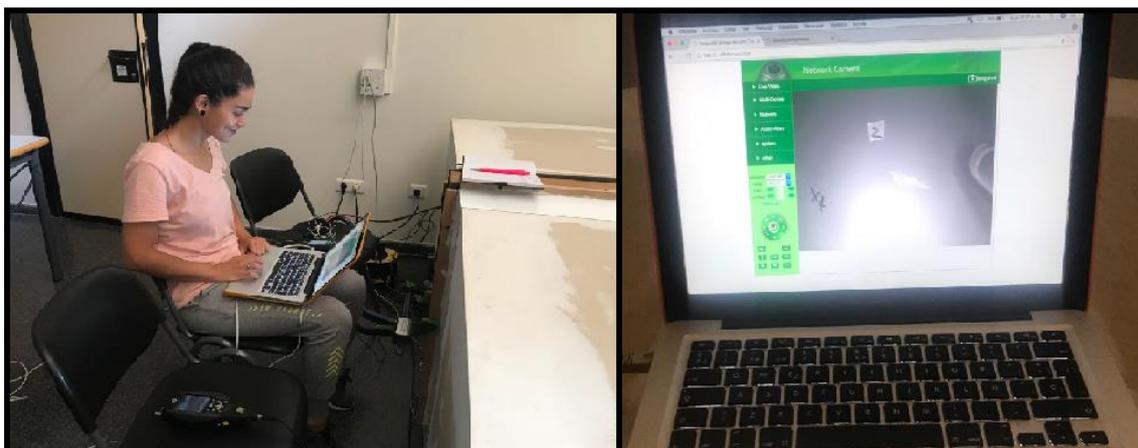


Figura 18. Operación remota del posicionamiento del micrófono y determinación de puntos de medida con cámara de transmisión sellada. Fotografía por: Nicole Guzmán Quintero. (Julio, 2018)

Como bien se menciona en todo el desarrollo del proyecto, se busca que exista una recolección de datos suficiente para realizar análisis con justificación suficiente sobre la metodología que se busca implementar. Los datos recolectados de tiempos de reverberación se muestran a continuación:

Tabla 12 Recolección de medidas de tiempo de reverberación para cada caso.

ELEMENTO A CARACTERIZAR (Medida Tiempo de Reverberación)	Nº de Medidas de Tiempo de Reverberación	Intervalos de tiempo en segundos	Nº de Repeticiones de Medidas de transmisión Acústica	Total Medidas Realizadas	Tiempo Cambio de Posición de fuente en segundos	Total Tiempo en segundos de medida
MDF (Placa que se toma como Referencia o base para encajamiento de composites)	6	5	3	18	40	130
MDF (Placa Referencia con Agujero del 5%)	6	5	3	18	40	130
MDF (Placa Referencia con Agujero del 10%)	6	5	3	18	40	130
MDF (Placa Referencia con Agujero del 15%)	6	5	3	18	40	130
MDF ( Placa Referencia con Encajamiento del 5% de la composite 40%PastaMecánica)	6	5	3	18	40	130
MDF ( Placa Referencia con Encajamiento del 10% de la composite 40%PastaMecánica )	6	5	3	18	40	130
MDF ( Placa Referencia con Encajamiento del 15% de la composite 40%PastaMecánica )	6	5	3	18	40	130
MDF ( Placa Referencia con Encajamiento del 5% de la composite 40% PastaMecánica+Agente de Acoplamiento)	6	5	3	18	40	130
MDF ( Placa Referencia con Encajamiento del 10% de la composite 40% PastaMecánica+Agente de Acoplamiento)	6	5	3	18	40	130
MDF ( Placa Referencia con Encajamiento del 15% de la composite 40% PastaMecánica+Agente de Acoplamiento)	6	5	3	18	40	130
MDF ( Placa Referencia con Encajamiento del 5% de la composite 50%PastaMecánica)	6	5	3	18	40	130

MDF ( Placa Referencia con Encajamiento del 10% de la composite 50%PastaMecánica)	6	5	3	18	40	130
MDF ( Placa Referencia con Encajamiento del 15% de la composite 50%PastaMecánica)	6	5	3	18	40	130
MDF ( Placa Referencia con Encajamiento del 5% de la composite 50% PastaMecánica+Agente de Acoplamiento)	6	5	3	18	40	130
MDF ( Placa Referencia con Encajamiento del 10% de la composite 50% PastaMecánica+Agente de Acoplamiento)	6	5	3	18	40	130
MDF ( Placa Referencia con Encajamiento del 15% de la composite 50% PastaMecánica+Agente de Acoplamiento)	6	5	3	18	40	130
PLADUR@N13 (Placa Referencia de yeso laminado)	6	5	3	18	40	130
MDF ( Placa Referencia con Encajamiento del 15% de yeso laminado PLADUR@N13)	6	5	3	18	40	130
<b>TOTAL</b>	108	90	54	324	720	2340

Respecto a las medidas de tiempo de reverberación, la metodología implementada permitió obtener una recolección de 324 datos de medidas de tiempos. Resultado que se toma como válido para realizar un análisis frente al comportamiento de la metodología que permita caracterizar transmisión acústica bajo estudio.

Cabe resaltar que en la tabla 4 la cual muestra dicha recolección, no se muestran los tiempos que implica el cambio de la posición de medida operada remotamente ni los retardos presentados en los instrumentos de medición.

#### 8.4.3. Medidas de Niveles de Presión Sonora en Receptor

Estas medidas corresponden, como bien lo describe la normativa (UNE-EN ISO 10140-2, 2011) (UNE-EN ISO 10140-4, 2011), a los niveles de presión sonora percibidos o transmitidos en el recinto receptor en el momento en que se esté operando la fuente en el recinto emisor. El criterio de medida debe ser de tal forma que, se realicen 5 medidas por cada posición de fuente, para lo cual se plantean mediciones en 2 posiciones de fuente, debido a las limitaciones en cuanto sistema constructivo de la cámara de transmisión a escala, para un total de 10 mediciones de nivel de ruido transmitido hacia el recinto receptor para cada caso.

En cuanto a la configuración de los equipos se debe excitar con una fuente el recinto emisor de tal forma que el intervalo de tiempo sea superior garantizando que en el recinto receptor sean capturados de manera óptima los niveles sin presentarse ningún tipo de interrupción en la medida. La recolección de medidas en recinto receptor se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 13 Recolección de medidas de Nivel de Presión Sonora en recinto Receptor.

ELEMENTO A CARACTERIZAR (Medida de Nivel de Presión Sonora en Receptor)	Nº de Medidas de Nivel de Ruido Transmitido	Intervalos de tiempo en segundos	Nº de Repeticiones de Medidas de transmisión Acústica	Total Medidas Realizadas	Tiempo Cambio de Posición de fuente en segundos	Total Tiempo en segundos de medida
MDF (Placa que se toma como Referencia o base para encajamiento de composites)	10	6	3	30	40	220
MDF (Placa Referencia con Agujero del 5%)	10	6	3	30	40	220
MDF (Placa Referencia con Agujero del 10%)	10	6	3	30	40	220
MDF (Placa Referencia con Agujero del 15%)	10	6	3	30	40	220
MDF ( Placa Referencia con Encajamiento del 5% de la composite 40%PastaMecánica)	10	6	3	30	40	220
MDF ( Placa Referencia con Encajamiento del 10% de la composite 40%PastaMecánica )	10	6	3	30	40	220
MDF ( Placa Referencia con Encajamiento del 15% de la composite 40%PastaMecánica )	10	6	3	30	40	220
MDF ( Placa Referencia con Encajamiento del 5% de la composite 40% PastaMecánica+Agente de Acoplamiento)	10	6	3	30	40	220
MDF ( Placa Referencia con Encajamiento del 10% de la composite 40% PastaMecánica+Agente de Acoplamiento)	10	6	3	30	40	220
MDF ( Placa Referencia con Encajamiento del 15% de la composite 40% PastaMecánica+Agente de Acoplamiento)	10	6	3	30	40	220
MDF ( Placa Referencia con Encajamiento del 5% de la composite 50%PastaMecánica)	10	6	3	30	40	220
MDF ( Placa Referencia con Encajamiento del 10% de la composite 50%PastaMecánica)	10	6	3	30	40	220
MDF ( Placa Referencia con Encajamiento del 15% de la composite 50%PastaMecánica)	10	6	3	30	40	220
MDF ( Placa Referencia con Encajamiento del 5% de la composite 50% PastaMecánica+Agente de Acoplamiento)	10	6	3	30	40	220
MDF ( Placa Referencia con Encajamiento del 10% de la composite 50% PastaMecánica+Agente de Acoplamiento)	10	6	3	30	40	220
MDF ( Placa Referencia con Encajamiento del 15% de la composite 50% PastaMecánica+Agente de Acoplamiento)	10	6	3	30	40	220
PLADUR@N13 (Placa Referencia de yeso laminado)	10	6	3	30	40	220
MDF ( Placa Referencia con Encajamiento del 15% de yeso laminado PLADUR@N13)	10	6	3	30	40	220
<b>TOTAL</b>	180	108	54	540	720	3960

Respecto a la metodología implementada, esta permitió obtener 540 datos de niveles de transmisión de ruido en el recinto receptor, lo cual es un número significativo que

permite realizar un análisis con mayor profundidad en cuanto al objetivo principal del proyecto.

En la tabla 5 donde se muestra en concreto la recolección de estos datos de niveles de recepción, cabe resaltar que no se han tenido en cuenta los tiempos transcurridos en el cambio de cada posición de fuente los cuales se determinan dependiendo del estado de la conexión remota y operación de la cámara IP, ni tampoco se han tenido en cuenta los tiempos de retardo que se presentan en los instrumentos de medición antes de operar o empezar a realizar la medida.

#### 8.4.4. Medidas de Niveles de Presión Sonora en Emisor

Estas medidas corresponden a los niveles medidos en el recinto destinado como Emisor presente en la cámara de transmisión utilizada, en el momento en que se genere el campo sonoro con la fuente emitiendo un ruido blanco. Los datos recolectados corresponden a 5 medidas de nivel de emisión para cada posición de fuente y como bien se ha mencionado anteriormente el número de posiciones de fuente para este caso es de 2.

Es importante que las mediciones de niveles de recepción y emisión estén coordinadas en cuanto a los intervalos de tiempo que garanticen el hecho de que no exista interrupción, lo que podría afectar los resultados. A continuación, se muestra el total de datos recolectados.

Tabla 14 Recolección de medidas de Nivel de Presión Sonora en recinto Receptor.

ELEMENTO A CARACTERIZAR (Medida de Nivel de Presión Sonora en Emisor)	Nº de Medidas de Nivel de Ruido Transmitido	Intervalos de tiempo en segundos	Nº de Repeticiones de Medidas de transmisión Acústica	Total Medidas Realizadas	Tiempo Cambio de Posición de fuente en segundos	Total Tiempo en segundos de medida
MDF (Placa que se toma como Referencia o base para encajamiento de composites)	10	6	3	30	40	220
MDF (Placa Referencia con Agujero del 5%)	10	6	3	30	40	220
MDF (Placa Referencia con Agujero del 10%)	10	6	3	30	40	220
MDF (Placa Referencia con Agujero del 15%)	10	6	3	30	40	220
MDF (Placa Referencia con Encajamiento del 5% de la composite 40%PastaMecánica)	10	6	3	30	40	220
MDF (Placa Referencia con Encajamiento del 10% de la composite 40%PastaMecánica)	10	6	3	30	40	220
MDF (Placa Referencia con Encajamiento del 15% de la composite 40%PastaMecánica)	10	6	3	30	40	220
MDF (Placa Referencia con Encajamiento del 5% de la composite 40% PastaMecánica+Agente de Acoplamiento)	10	6	3	30	40	220
MDF (Placa Referencia con Encajamiento del 10% de la composite 40% PastaMecánica+Agente de Acoplamiento)	10	6	3	30	40	220
MDF (Placa Referencia con Encajamiento del 15% de la composite 40% PastaMecánica+Agente de Acoplamiento)	10	6	3	30	40	220

MDF ( Placa Referencia con Encajamiento del 5% de la composite 50%PastaMecánica)	10	6	3	30	40	220
MDF ( Placa Referencia con Encajamiento del 10% de la composite 50%PastaMecánica)	10	6	3	30	40	220
MDF ( Placa Referencia con Encajamiento del 15% de la composite 50%PastaMecánica)	10	6	3	30	40	220
MDF ( Placa Referencia con Encajamiento del 5% de la composite 50% PastaMecánica+Agente de Acoplamiento)	10	6	3	30	40	220
MDF ( Placa Referencia con Encajamiento del 10% de la composite 50% PastaMecánica+Agente de Acoplamiento)	10	6	3	30	40	220
MDF ( Placa Referencia con Encajamiento del 15% de la composite 50% PastaMecánica+Agente de Acoplamiento)	10	6	3	30	40	220
PLADUR@N13 (Placa Referencia de yeso laminado)	10	6	3	30	40	220
MDF ( Placa Referencia con Encajamiento del 15% de yeso laminado PLADUR@N13)	10	6	3	30	40	220
<b>TOTAL</b>	180	108	54	540	720	3960

Nuevamente se resalta el hecho de que no se ha tenido en cuenta, los tiempos en que se tarda el control remoto en operar el cambio de posición de medida, ni tampoco el retardo en tiempo de operación del instrumento de medición.

## 9. CARACTERIZACIÓN

El proceso de caracterización al cual se rige este trabajo, implica la selección de diferentes superficies las cuales serán tomadas como áreas de evaluación para diferentes casos, permitiendo una recolección estadística de datos lo suficientemente válida como para realizar un análisis adecuado respecto al comportamiento acústico que estos elementos ofrecen.

Principalmente esta caracterización se basa en metodologías ya conocidas, implementadas y validadas en el campo acústico, utilizadas para llevar a cabo mediciones de transmisión de ruido aéreo y aislamiento en los elementos de construcción. Todo lo anterior, integrando los requerimientos de la normativa de aplicación (UNE-EN ISO 10140-2, 2011) (UNE-EN ISO 10140-4, 2011). El propósito de este trabajo de investigación es alterar las superficies a estudiar, ya que como bien se ha mencionado a lo largo del desarrollo de este documento, no se cuenta con la proporción de material, es decir, área suficiente de evaluación que permita implantar en la probeta estos nuevos materiales o composites a caracterizar, y que de igual forma separe completamente los recintos emisor-receptor definidos en la cámara de transmisión a escala utilizada.

Para todo lo anterior se definen las situaciones de ensayos como casos, los cuales relacionan la proporción de encajamiento de nuevo material, en uno convencional ya comercializado el cual actuará como superficie de referencia.

### 9.1. Caso I: Encajamiento del 5% de Composites

Ya se ha mencionado lo que significa el encajamiento del 5% de nuevo material, correspondiente a la incorporación de un composite según las proporciones de área descritas en el apartado metodológico de este documento. Pero para llevar a cabo este primer paso, se debe determinar el material de referencia. Para la preparación del elemento liviano tomado como placa de referencia, se selecciona el material de madera de fibra de densidad media o más comúnmente conocido como MDF el cual, es un material de muy fácil alcance en el mercado y lo suficientemente económico como para llevar a cabo este tipo de ensayos. La presentación inicial de fábrica de este tipo de madera, permite trabajar proporciones desde los 1m<sup>2</sup> hasta incluso 4m<sup>2</sup> en una sola lámina con espesores que van desde los 0,003m hasta 0,05m. En este material se ofrecen gran variedad de productos y opciones para seleccionar el más acertado que se ajuste a lo requerido. Para este caso la especificación seleccionada solo se limita en cuanto al espesor, eligiéndose el producto de 0,05m, en donde se deben realizar cortes según las dimensiones de la probeta de acuerdo al área determinada para ser evaluada, correspondiente a láminas de 0,55mx0,86m. Dado que se determina como material de referencia, se preparan 4 láminas las cuales serán utilizadas en los próximos casos planteados.

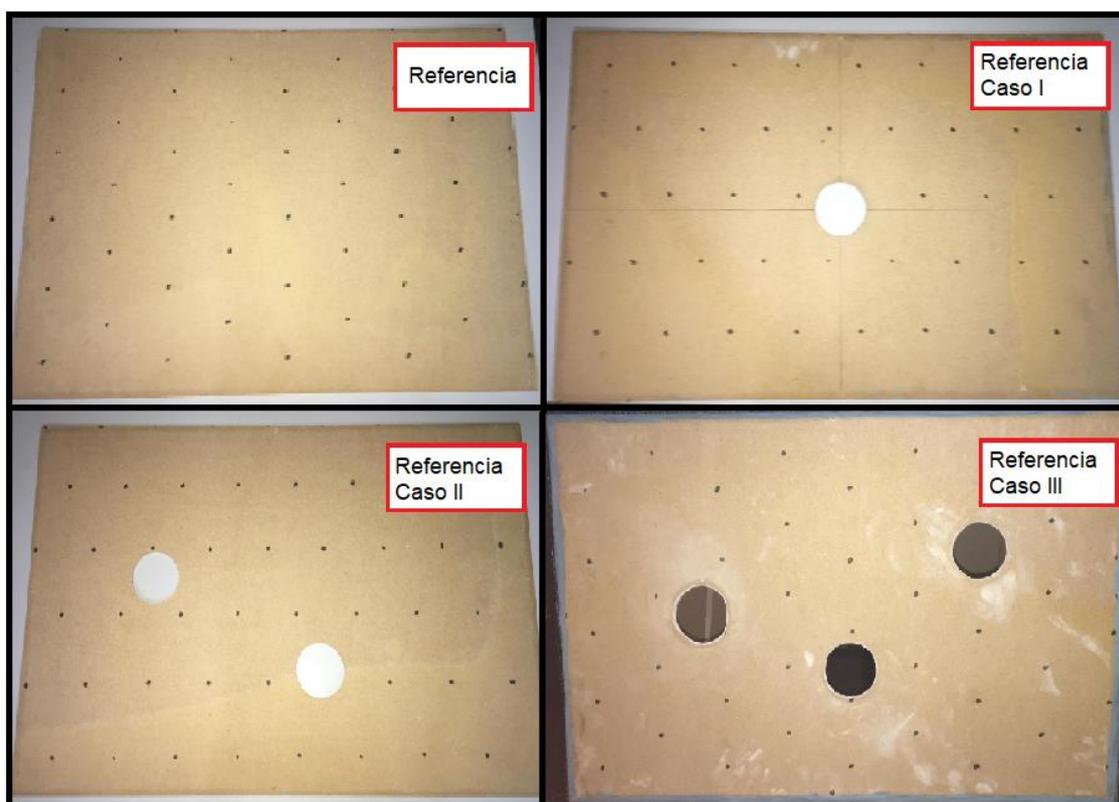


Figura 19. Láminas de referencia en MDF para cada uno de los casos planteados para caracterización de composites en cámara de transmisión. Fotografía por: Nicole Guzmán Quintero. (Septiembre, 2018)

En el primer caso la placa de referencia de este material no presenta ninguna modificación respecto a su composición original salvo que, las modificaciones respecto a las dimensiones adecuadas que se ajusten a las mencionadas anteriormente. Una vez este elemento sea instalado en el espacio separador entre los recintos emisor y receptor de la cámara de transmisión a escala diseñada en la Escuela Politécnica Superior de

Gandía, se llevarán a cabo los procesos establecidos según las normas descritas en el marco legislativo presentado, que permita desarrollar el procedimiento adecuado para la evaluación de aislamiento acústico de esta placa de referencia.

El primer paso a seguir es conocer el ruido de fondo presente en el recinto receptor dentro de la cámara de transmisión, lo que permitirá conocer los niveles mínimos a los que en preferencia se deberán superar, en cuanto a los niveles de emisión en el momento de realizar mediciones de transmisión de tal modo que se garantice practicidad en cuanto a los cálculos, sin necesidad de realizar correcciones por ruido de fondo. Con lo anterior, se disminuyen valores de incertidumbre superiores en las medidas, que finalmente resultará afectando el análisis y planteamiento de la metodología. Este nivel de ruido de fondo se presenta en la siguiente gráfica la cual integra las 15 medidas representadas en 3 promedios independientes que indican que, el proceso de medición de aislamiento a ruido aéreo se ha realizado según lo propuesto estadísticamente.

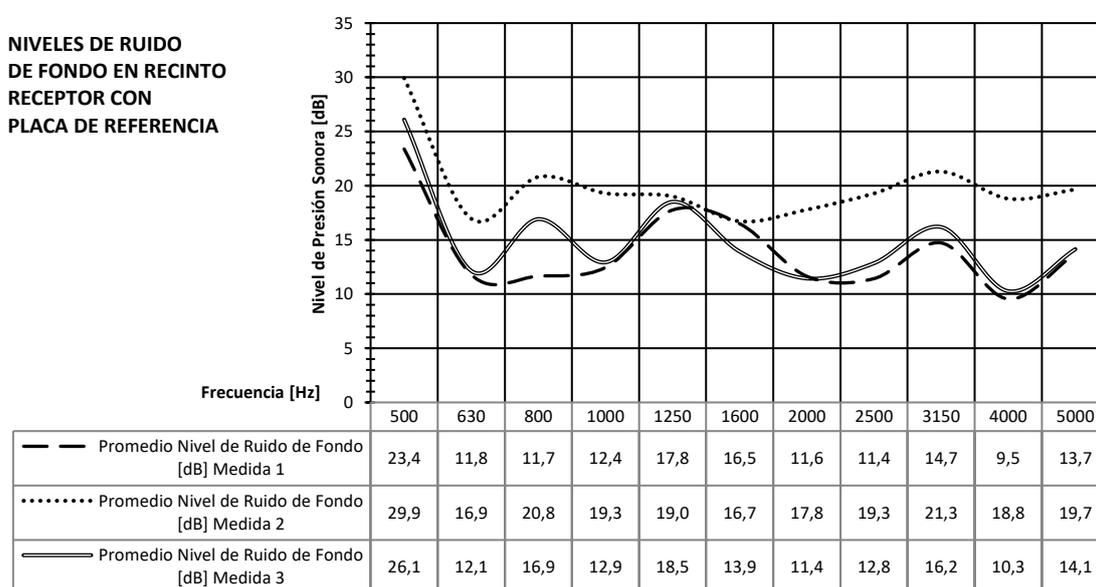


Figura 20. Nivel de Ruido de Fondo del recinto receptor aislado con placa de referencia.

Las limitaciones de representación de datos en cuanto al espectro frecuencial relaciona las limitaciones de operación, de la cámara de transmisión debido a su factor de escalamiento. (Véase apartado 4.4)

En segunda instancia y siguiendo con el reglamento legislativo, se evalúa el tiempo de reverberación según lo descrito en la metodología de este documento. Los resultados se muestran a través de una gráfica la cual representa 18 mediciones promediadas en 3 mediciones independientes que corresponde a la segunda característica del recinto receptor a tener en cuenta para evaluar la transmisión por ruido aéreo, dato que se tomará en cuenta para realizar las correcciones correspondientes establecidas en la norma para conocer la diferencia estandarizada de niveles de presión sonora entre el recinto emisor y el receptor.

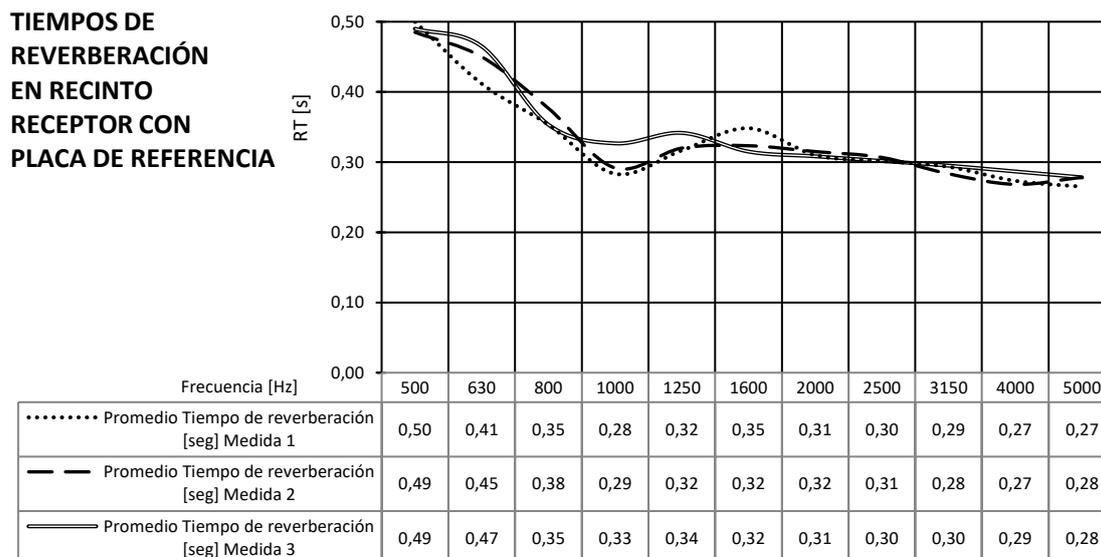


Figura 21. Tiempos de Reverberación del recinto receptor aislado con placa de referencia.

Ahora bien, ya se conocen los dos parámetros iniciales que permitirán realizar correcciones de las medidas de aislamiento a ruido aéreo para esta superficie la cual será la base comparativa a otros materiales respecto a los objetivos planteados. Se ha visto en la ilustración 1 que los niveles de ruido de fondo son bastante bajos por lo que se previene de realizar correcciones (Véase apartado 5.1) y esto se puede comprobar representando las diferencias y niveles  $L_1$  correspondientes al nivel medido en el recinto emisor y  $L_2'$  nivel medido en receptor corregido por ruido de fondo teniendo en cuenta la diferencia estandarizada con base en los tiempos de reverberación. (Véase apartado 3.1.4)

Tabla 15 Niveles Emisor-Receptor y diferencias estandarizadas promedios para placa de referencia.

<b>Resultados de promediados de niveles en la medida 1 - Aislamiento a Ruido Aéreo (Placa Referencia)</b>											
Frecuencia [Hz]	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000
$L_2'$ [dB]	72,4	72,8	70,3	71,3	67,1	67,2	64,1	61,0	56,7	57,0	59,0
$L_1$ [dB]	94,0	90,3	90,3	90,7	90,4	90,9	91,1	88,9	86,2	87,6	88,7
$DnT$ [dB]	21,7	16,7	18,5	17,0	21,3	22,2	24,9	25,7	27,1	27,9	26,9
<b>Resultados de promediados de niveles en la medida 2 - Aislamiento a Ruido Aéreo (Placa Referencia)</b>											
Frecuencia [Hz]	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000
$L_2'$ [dB]	75,0	73,6	71,7	70,1	67,4	66,1	64,2	61,1	56,4	56,5	58,9
$L_1$ [dB]	93,0	92,0	91,2	89,6	89,1	89,4	90,5	88,3	86,0	86,8	88,6
$DnT$ [dB]	17,9	17,9	18,2	17,2	19,7	21,4	24,3	25,1	27,1	27,6	27,1
<b>Resultados de promediados de niveles en la medida 3 - Aislamiento a Ruido Aéreo (Placa Referencia)</b>											
Frecuencia [Hz]	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000
$L_2'$ [dB]	74,4	72,3	70,6	69,3	67,5	66,4	64,0	60,9	56,1	56,7	58,6
$L_1$ [dB]	95,5	94,0	93,5	90,9	89,8	90,2	91,2	88,9	87,4	88,0	89,9
$DnT$ [dB]	21,0	21,3	21,3	19,8	20,7	21,8	25,1	25,8	29,0	28,9	28,7

Para representar el aislamiento promedio de la placa de referencia, se hace uso de la normativa de evaluación del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción (UNE-EN ISO 717-1, 2013) para el apartado de aislamiento a ruido aéreo (Véase apartado 3).

Este proceso se ha llevado a cabo de manera independiente para cada medición, donde finalmente a partir de los 3 resultados de promedio de Aislamiento a ruido aéreo, se conoce un promedio total el cual describe el comportamiento acústico de la placa de referencia.

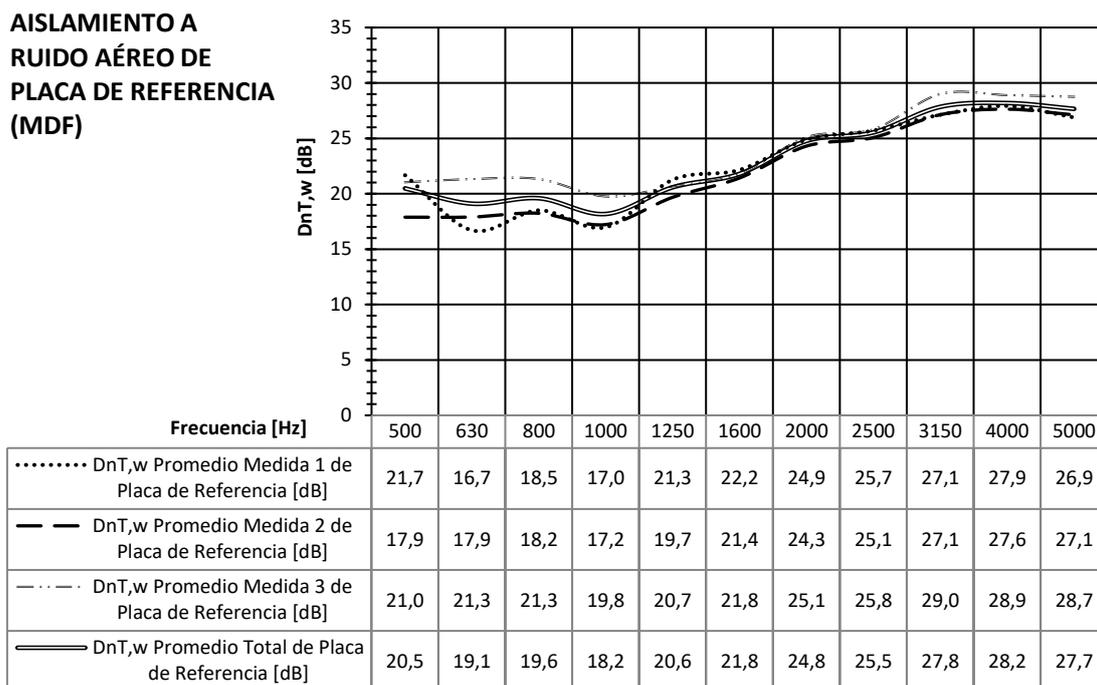


Figura 22. Diferencia promedio general estandarizada y ponderada de aislamiento a ruido aéreo de placa de referencia.

Con base en los resultados, la diferencia de nivel estandarizado y ponderado  $D_{nT,w}$  para la placa de referencia de fibra de madera de densidad media con espesor de 0,005m es equivalente a 20dB.

Este paso inicial daría iniciativa al proceso de encajamiento de nuevo material en el de referencia ya caracterizado, para conocer las variaciones en cuanto a los comportamientos de transmisión y aislamiento. Tal como se describe en el apartado metodológico, para cada modificación de material o proporción implica que se realice el mismo ejercicio descrito en este apartado. Este paso estadístico requiere de manipulación de una cantidad elevada de datos por tal razón lo realizado, descrito y representado con la placa de referencia, se tomará como ejemplo suficiente y se dará por entendido los cálculos y pasos que se han llevado a cabo para conocer, promediados de diferencias de niveles estandarizados ponderados de aislamiento a ruido aéreo, de los elementos de ensayo (Véase Anexos) para todas y cada una de las situaciones que se mostrarán a continuación.

El primer ejercicio de encajamiento del 5% se realiza para los cuatro nuevos materiales o composites descritos en el marco teórico y apartado metodológico, los cuales se referencian como:

- 40%PM
- 40%PM + Ag.Acop
- 50%PM
- 50%PM + Ag.Acop

Para realizar esto se toma una sola composite de cada material incorporándola sobre la placa de referencia.



Figura 23. Encajamiento del 5% de composite en material de referencia para instalar en cámara de transmisión a escala. Fotografía por: Nicole Guzmán Quintero. (Septiembre, 2018)

Como se ha mostrado el proceso de caracterización trabaja bajo cálculos de promediados lo que implica que se tomen 3 composites de cada material y se caractericen de manera independiente hasta obtener el valor de diferencia de niveles estandarizado ponderado de aislamiento a ruido aéreo promediado general como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 16  $DnT,w$  para encajamiento del 5% de composite en material de referencia.

Frecuencia[Hz]	$DnT,w$ Referencia (MDF) Promedio [dB]	$DnT,w$ 40%PM Promedio [dB]	$DnT,w$ 40%PM + Ag.Acop Promedio [dB]	$DnT,w$ 50%PM Promedio [dB]	$DnT,w$ 50%PM + Ag.Acop Promedio [dB]
100	16,4	15,4	17,2	16,1	7,9
125	19,2	19,8	21,9	18,9	8,5
160	13,7	14,2	14,1	11,3	14,3
200	4,0	3,8	3,9	4,0	6,0
250	10,7	12,1	11,0	12,1	13,7
315	15,2	13,2	18,2	6,4	23,1
400	14,7	12,4	19,2	10,2	9,8



## 9.2. Caso II: Encajamiento del 10% de Composites

En este segundo caso, el material de referencia será el mismo descrito en el primer caso. Para lo cual nuevamente se debe realizar el encajamiento de los 4 composites o nuevos materiales ya identificados pero en un aumento del 5% respecto al caso anterior dando así el total del 10%. Para llevar a cabo esto se prepara la placa de referencia como área de evaluación con 2 agujeros en donde se incrustarán las dos composites de cada referencia.

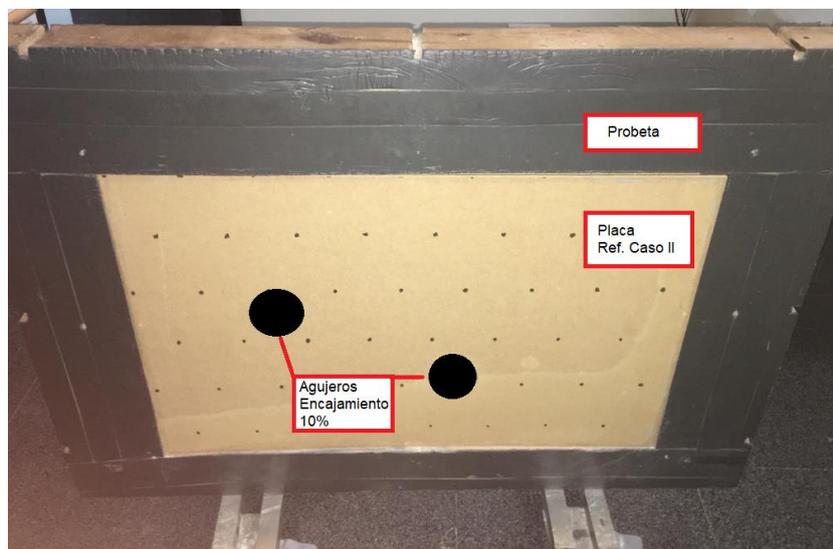


Figura 25. Encajamiento del 10% de composite en material de referencia para instalar en cámara de transmisión a escala. Fotografía por: Nicole Guzmán Quintero. (Septiembre, 2018)

Tal como se ha venido mostrando, se presentan los resultados de los promedios generales de las diferencias de niveles estandarizados ponderados de aislamiento a ruido aéreo, en cada situación siendo estos comparados con la placa de referencia.

Tabla 17 DnT,w para encajamiento del 10% de composite en material de referencia.

Frecuencia[Hz]	DnT,w Referencia (MDF) Promedio [dB]	DnT,w 40%PM Promedio [dB]	DnT,w 40%PM + Ag.Acop Promedio [dB]	DnT,w 50%PM Promedio [dB]	DnT,w 50%PM + Ag.Acop Promedio [dB]
100	16,4	14,4	14,5	15,6	14,7
125	19,2	18,7	21,5	20,0	20,7
160	13,7	14,5	14,2	13,8	16,5
200	4,0	5,4	3,3	2,7	3,3
250	10,7	10,7	11,3	10,5	9,0
315	15,2	17,3	18,5	15,9	17,0
400	14,7	16,6	18,6	14,5	17,1
500	20,5	18,7	20,0	19,0	20,3
630	19,1	18,2	18,9	18,8	19,1
800	19,6	18,9	20,0	19,3	20,1
1000	18,2	19,1	18,9	17,7	19,2
1250	20,6	20,2	21,3	20,2	20,7
1600	21,8	21,4	23,1	22,4	22,8
2000	24,8	24,6	25,8	24,1	25,5
2500	25,5	25,6	26,8	25,6	26,4
3150	27,8	27,0	29,1	27,2	27,4

<b>4000</b>	28,2	27,6	28,7	27,6	28,3
<b>5000</b>	27,7	28,1	28,6	27,5	28,3
<b>DnT,w</b>	<b>20</b>	<b>20</b>	<b>21</b>	<b>20</b>	<b>20</b>

Como se puede ver en los resultados tabulados, para el segundo caso el encajamiento del 10% de composites en el material de referencia, no muestra valores de diferencias de niveles que puedan aportar datos relevantes. Estos, tiene un comportamiento variable que no permite evaluar a gran escala algún aporte, ya que son resultados bastante aproximados a los de la referencia. Por lo tanto, este nuevo caso de aumento de encajamiento de nuevo material II, obliga a que se presente un tercer caso.

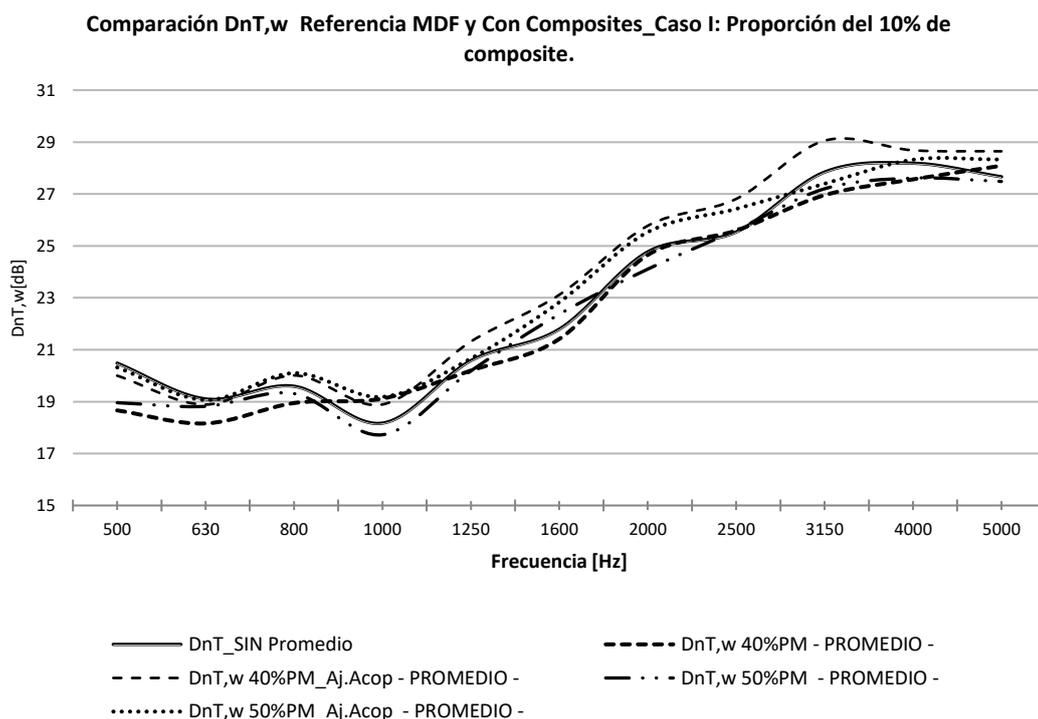


Figura 26. DnT,w para encajamiento del 10% de composite en material de referencia.

El hecho de que se aumente esta proporción de nuevo material, exige mayor producción de los nuevos materiales de ensayo que se buscan caracterizar. Para para esta metodología bajo ensayo, la recolección de datos obliga a que se preparen parejas de composites, permitiendo caracterizar independientemente 3 mediciones del mismo material.

### 9.3. Caso III: Encajamiento del 15% de Composites

Se plantea como último caso de encajamiento, el aumento adicional en un 5% respecto al caso anterior, esto indica la incorporación de 3 composites de cada nuevo material ya mencionado sobre la placa de referencia. Una vez más, se enseñan los valores promedios generales de las diferencias de niveles estandarizados ponderados de aislamiento a ruido aéreo calculados para cada placa de manera independiente.

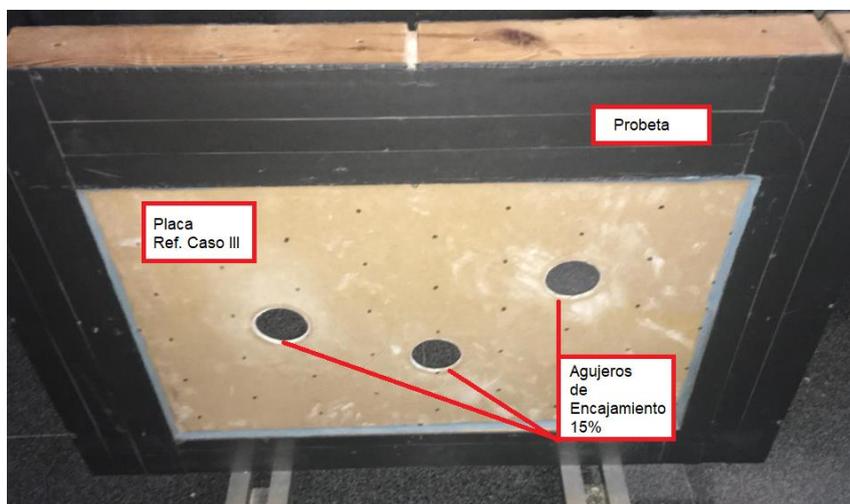


Tabla 18  $D_{nT,w}$  para encajamiento del 15% de composite en material de referencia.

Frecuencia[Hz]	$D_{nT,w}$ Referencia (MDF) Promedio [dB]	$D_{nT,w}$ 40%PM Promedio [dB]	$D_{nT,w}$ 40%PM + Ag.Acop Promedio [dB]	$D_{nT,w}$ 50%PM Promedio [dB]	$D_{nT,w}$ 50%PM + Ag.Acop Promedio [dB]
100	16,4	16,4	17,3	20,2	18,3
125	19,2	20,1	22,5	21,1	21,8
160	13,7	16,0	15,7	15,2	16,6
200	4,0	6,3	3,8	3,5	4,9
250	10,7	15,2	11,3	10,7	11,9
315	15,2	20,1	14,5	14,9	13,9
400	14,7	18,9	16,0	16,0	17,8
500	20,5	21,8	21,3	21,5	19,9
630	19,1	20,1	19,7	20,7	19,1
800	19,6	21,0	21,0	21,1	19,5
1000	18,2	19,8	18,3	19,4	19,2
1250	20,6	21,1	21,3	22,2	21,4
1600	21,8	22,8	22,9	23,8	23,0
2000	24,8	25,8	25,6	26,6	25,4
2500	25,5	26,4	26,9	27,4	26,4
3150	27,8	28,7	28,2	29,3	28,0
4000	28,2	29,0	28,6	29,5	28,6
5000	27,7	28,3	28,2	29,7	28,1
$D_{nT,w}$	20	22	20	21	21

En la siguiente ilustración se muestran los resultados obtenidos, los cuales corresponden a los valores de diferencias de niveles contenidos en la tabla 13. Para este caso el aumento en un 5% para un total del 15% de proporción de nuevo material, permite adquirir una mayor estabilidad ya que tres de los cuatro materiales

caracterizados, presentan niveles de aislamiento superiores a los de la placa de referencia sin presencia de encajamiento de material.

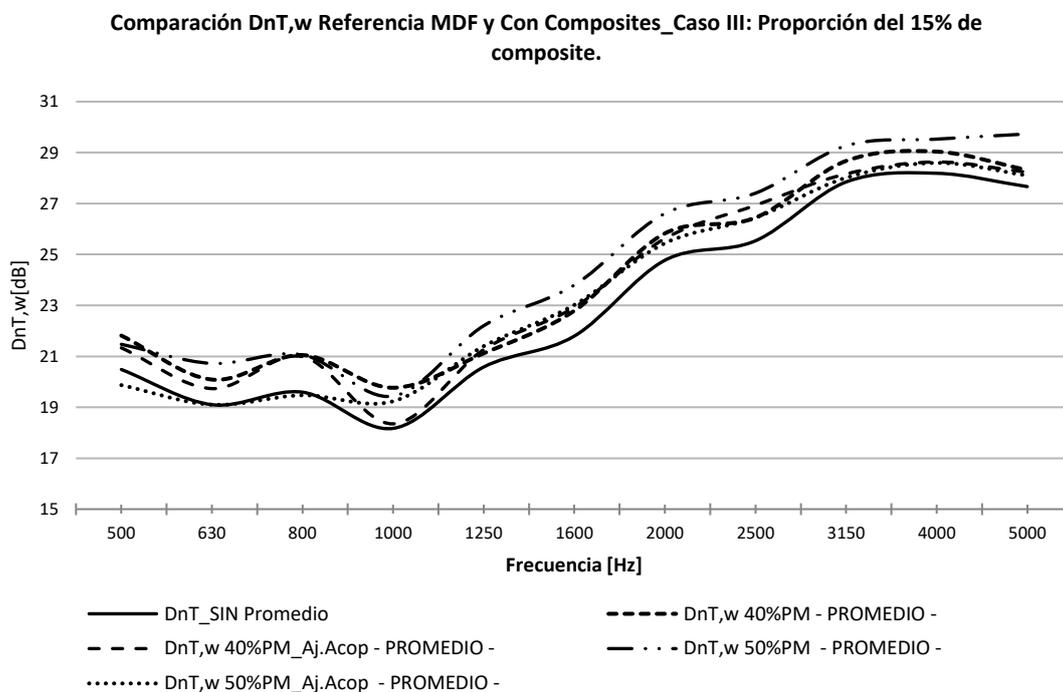


Figura 27. DnT,w para encajamiento del 15% de composite en material de referencia.

La estabilidad de este caso se comprobará en los análisis de resultados, en donde se encontrará el aporte de encajamiento de dicha proporción de composites sobre un material de referencia, cabe resaltar que este aumento implica el hecho de que se cuente con el material suficiente para suplir esta proporción. Lo anterior, obliga a que exista un aumento en producción y fabricación de estas composiciones de nuevos materiales de ensayo, sin conocer de manera exacta su eficacia en cuanto a comportamiento acústico.

Ahora bien, ya se han conocido los 3 casos principales en donde se involucran los procesos de encajamiento que permiten medir aislamiento de pequeñas muestras, sobre una placa de referencia sin conocer aún la estabilidad o validación de la metodología. Conocer la influencia de los resultados de aislamiento acústico, en relación con el aumento de apertura o espacio de encajado, es primordial en esta investigación. Con todo esto se llama al siguiente caso, en donde se evalúan las pérdidas por transmisión debidas a los orificios implementados sobre las áreas de evaluación para soportar los casos I, II y III.

#### 9.4. Caso IV: Relación entre aumento de porcentaje de encajamiento y pérdida por transmisión

A lo que se refiere este caso especial, es la idea de conocer de diferencia de niveles en el momento en que se incorpora, un agujero o apertura en la placa de referencia de igual proporción en área a la descrita por la composite de cada nuevo material a caracterizar. Para desarrollar este caso, los espacios de encajamiento quedan completamente abiertos, para implementar la misma dinámica desarrollada en los otros casos, en donde se debe realizar mediciones para cada caso. Este caso dará resultado a los promedios generales independientes, del aumento de la proporción de apertura.

Tabla 19  $DnT,w$  para relacionar las pérdidas por transmisión debidas al aumento de agujeros.

Frecuencia[Hz]	$DnT,w$ Referencia (MDF) Promedio [dB]	$DnT,w$ Agujeros: 1 Promedio [dB]	$DnT,w$ Agujeros: 2 Promedio [dB]	$DnT,w$ Agujeros: 3 Promedio [dB]
100	16,4	13,7	12,3	11,9
125	19,2	15,4	14,1	10,7
160	13,7	10,2	7,2	4,7
200	4,0	3,4	0,8	0,0
250	10,7	10,5	6,1	6,6
315	15,2	11,7	10,1	8,2
400	14,7	12,4	11,2	9,7
500	20,5	18,3	13,5	17,2
630	19,1	17,5	10,1	12,6
800	19,6	14,8	11,3	10,7
1000	18,2	13,9	8,5	8,7
1250	20,6	15,4	10,6	8,4
1600	21,8	15,1	10,5	8,9
2000	24,8	15,4	11,6	9,3
2500	25,5	15,5	11,4	10,8
3150	27,8	15,9	12,8	10,9
4000	28,2	15,4	11,6	9,6
5000	27,7	13,7	12,1	10,6

$DnT,w$	20	15	11	10
---------	----	----	----	----

Los resultados obtenidos se representan en la siguiente ilustración, en donde de igual forma se busca la comparación frente a la diferencia de nivel estandarizado ponderado de aislamiento a ruido aéreo propio de la placa de referencia completa sin presencia de aperturas.

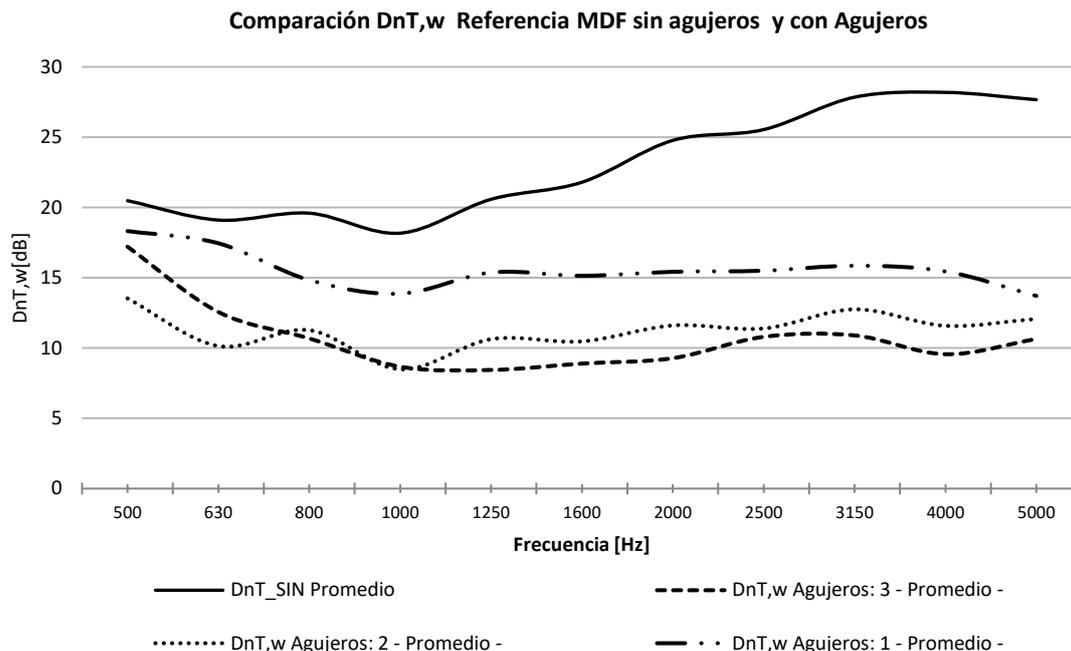


Figura 28. DnT,w comparativo de las pérdidas por transmisión debidas al aumento de agujeros.

Como bien se puede ver en la ilustración existe una diferencia notoria en cuanto a la perdida por transmisión debido al aumento de la proporción de las aperturas o espacios de encajamiento. Estos resultados se tomarán como referencia para realizar los análisis, en donde se involucren las relaciones entre área evaluada con referencia, área evaluada con encajamiento y área evaluada con apertura, permitiendo conocer el aporte real en lo que respecta, implantar un nuevo material sobre otro existente.

### 9.5. Caso V: Caracterización de composites de producto comercializado.

Este caso, trata de un ensayo especial en donde se busca realizar la caracterización en cuanto a aislamiento a ruido aéreo en cámara de transmisión, para un producto el cual es conocido en la industria bajo el nombre de placa de yeso laminado. En este caso en específico se ha tomado el producto de PLADUR-N13, usualmente el más utilizado en el campo de la construcción para la edificación, como elemento auto portante para crear superficies de división vertical entre espacios, gracias a su aporte en cuanto a características acústicas y economía.



Figura 29. Caracterización placa de cartón yeso. Producto industrializado PLADUR@N13. Fotografía por: Nicole Guzmán Quintero. (Septiembre, 2018)

Para llevar a cabo este caso se debe realizar el corte de la placa de lámina de yeso según el área de evaluación definida por la probeta de la cámara de transmisión a escala utilizada, para luego extraer composites con iguales dimensiones que las composites de nuevos materiales evaluadas en los casos 1,2 y 3.

Tabla 20 DnT,w de caracterización de composites de producto comercializado.

Frecuencia[Hz]	DnT,w Referencia (MDF) Promedio [dB]	DnT,w Lámina de Yeso Promedio [dB]	DnT,w Composites de Lámina de yeso en Caso III Promedio [dB]
100	16,4	26,7	18,7
125	19,2	28,6	24,0
160	13,7	19,1	17,3
200	4,0	10,8	4,0
250	10,7	17,6	10,8
315	15,2	15,1	19,7
400	14,7	19,8	18,4
500	20,5	24,4	21,8
630	19,1	20,9	19,1
800	19,6	24,2	20,6
1000	18,2	23,6	20,2
1250	20,6	25,5	21,6
1600	21,8	25,7	23,6
2000	24,8	26,7	26,7
2500	25,5	22,8	27,5
3150	27,8	23,2	29,3
4000	28,2	25,6	29,3
5000	27,7	27,7	29,0
<b>DnT,w</b>	<b>20</b>	<b>23</b>	<b>21</b>

En donde se realiza la comparación de la placa de referencia inicial frente a la placa de lámina de yeso vs el hecho de incrustar este material sobre la placa de referencia para el caso III.



Figura 30. Caracterización de pequeñas muestras de producto yeso laminado PLADUR en metodología del Caso III. Fotografía por: Nicole Guzmán Quintero. (Septiembre, 2018)

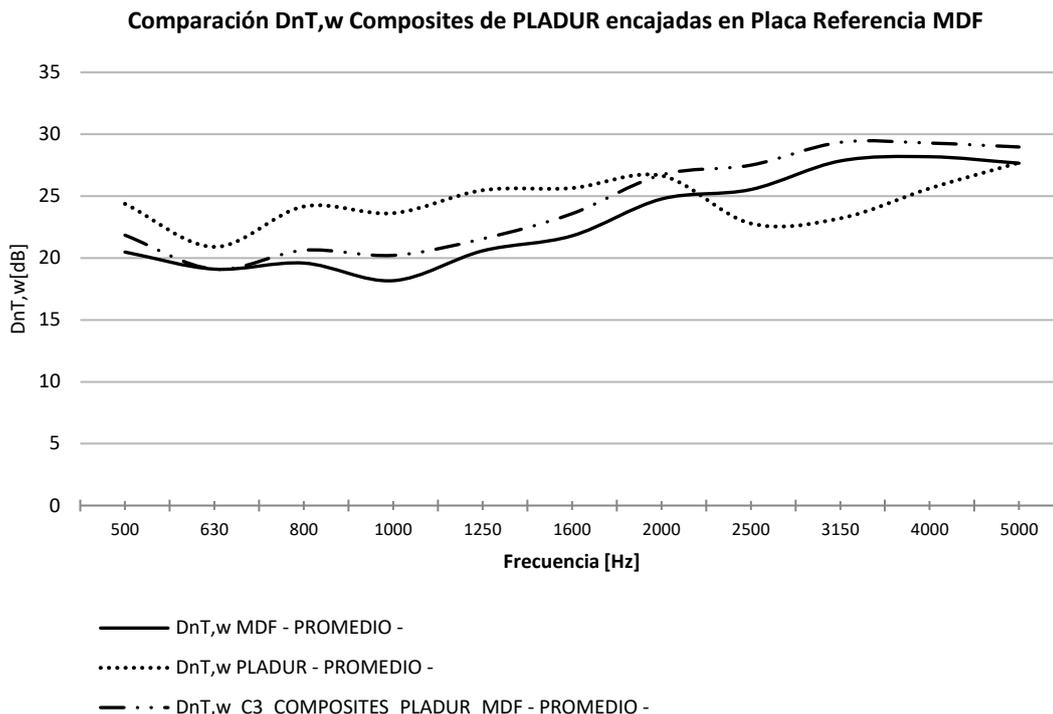


Figura 31. DnT,w de caracterización de composites de producto comercializado.

Los valores obtenidos se presentan en la tabla 15 y graficados en la figura 8 donde se representa el aislamiento en frecuencia debido a la placa de referencia con MDF frente al caso especial de comparación con producto industrializado.

## 10. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Para estudiar el comportamiento de aislamiento acústico de los materiales, es importante trabajar con los índices de reducción asociados a cada uno. Estos índices permiten conocer el aporte en cuanto a pérdidas de transmisión, los cuales se calculan con base en lo descrito en el marco legislativo, tomando como referencia la normativa aplicable para este caso (UNE-EN ISO 10140-2, 2011). En donde se relacionan las proporciones de superficies bajo evaluación y las áreas de absorción debida a los cambios en los resultados de tiempos de reverberación con diferentes superficies.

Ahora bien, el objetivo de analizar los resultados obtenidos en los procesos de medida llevados a cabo, es conocer el comportamiento en cuanto a aislamiento acústico de la composite la cual ha sido encajada en un material de referencia. Esto permitirá tener valores de aislamiento relacionados a la pequeña proporción de material que se requieren para clasificar el nuevo material. A todo lo anterior se propone la siguiente relación:

$$R'_T = R'_1 + R'_2 \quad (10)$$

donde:

- $R'_T$  = corresponde al índice de reducción total de la placa base en conjunto con el encajamiento de composites, expresado en decibelios.
- $R'_1$  = corresponde al índice de reducción de la placa base, expresado en decibelios.
- $R'_2$  = corresponde al índice de reducción de debido a la composite, expresado en decibelios.

Teniendo en cuenta esta relación se calcula la diferencia respecto al índice de reducción total, correspondiente a la placa en conjunto (base + composite) y el índice de reducción debido a la placa base, con lo que se dará el aislamiento aporte debido a la composite encajada. Como bien se ha mencionado anteriormente, los indicadores de reducción acústica relacionan las superficies y áreas de absorción. Para obtener estas variables se integran los resultados obtenidos de tiempos de reverberación en el recinto receptor, presente en la cámara de transmisión a escala utilizada (Torres, 2011). Con lo anterior se dice que:

$$R'_T = -10 \log \frac{S_1 10^{\frac{-R'_1}{10}} + S_2 10^{\frac{-R'_2}{10}}}{S_T} \quad (11)$$

donde:

- $S'_T$  = corresponde a la superficie total en conjunto evaluada debida al conjunto de base y la composite encajada, expresada en  $m^2$ .
- $S'_1$  = corresponde solo a la proporción de superficie de material base, expresada en  $m^2$ .
- $S'_2$  = corresponde solo a la proporción de superficie de composite encajada, expresada en  $m^2$ .

#### 10.1. Índice de Reducción Sonora $R_w$ : Composite 40%PM

Con base en el planteamiento anterior se procede a mostrar los cálculos obtenidos, representantes de índices de reducción para cada situación de estudio determinada, según el aumento de proporción de encajamiento de nuevo material sobre el de referencia.

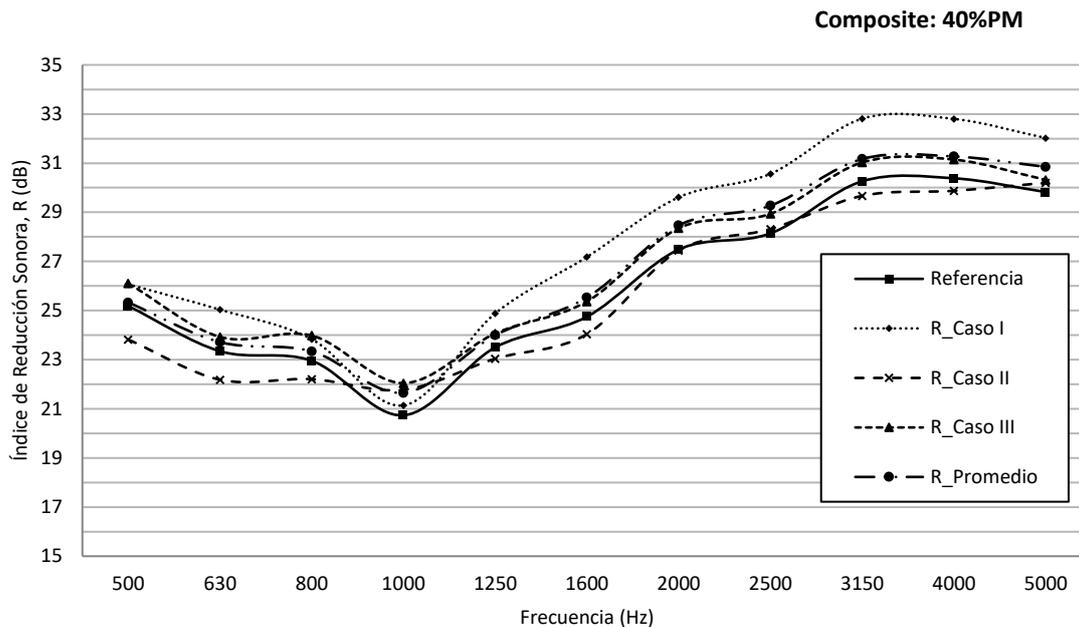


Figura 32. Índice de Reducción Sonora, R para la composite 40%PM, en bandas de tercio de octava desde 500Hz hasta 5000Hz.

La figura anterior contiene los resultados obtenidos de los índices de reducción que presenta el primer material caracterizado, el cual corresponde a composites de podadura de árbol de naranja en base de polipropileno con 40% de Pasta mecánica sin refuerzo de compactación del reciclado. El primer resultado que se muestra describe el aislamiento para la placa de referencia sin el encajado de composite, donde el aislamiento equivalente solo a la proporción de nuevo material supera en aproximadamente 4 dB por encima de la referencia de MDF. Los índices obtenidos para los próximos casos presentan valores inferiores, que pueden verse así por pérdidas de transmisión a medida que se aumentan los agujeros de encajamiento, pero que a pesar de este efecto los valores de aislamiento continúan superando la placa de referencia con un promedio de aproximadamente 2 dB.

#### 10.2. Índice de Reducción Sonora $R_w$ : Composite 40%PM + Aq.Acop

La misma metodología es utilizada para analizar el segundo material, el cual es fabricado con iguales características que el anterior, pero con la diferencia de presentar inyección de compactación del reciclado.

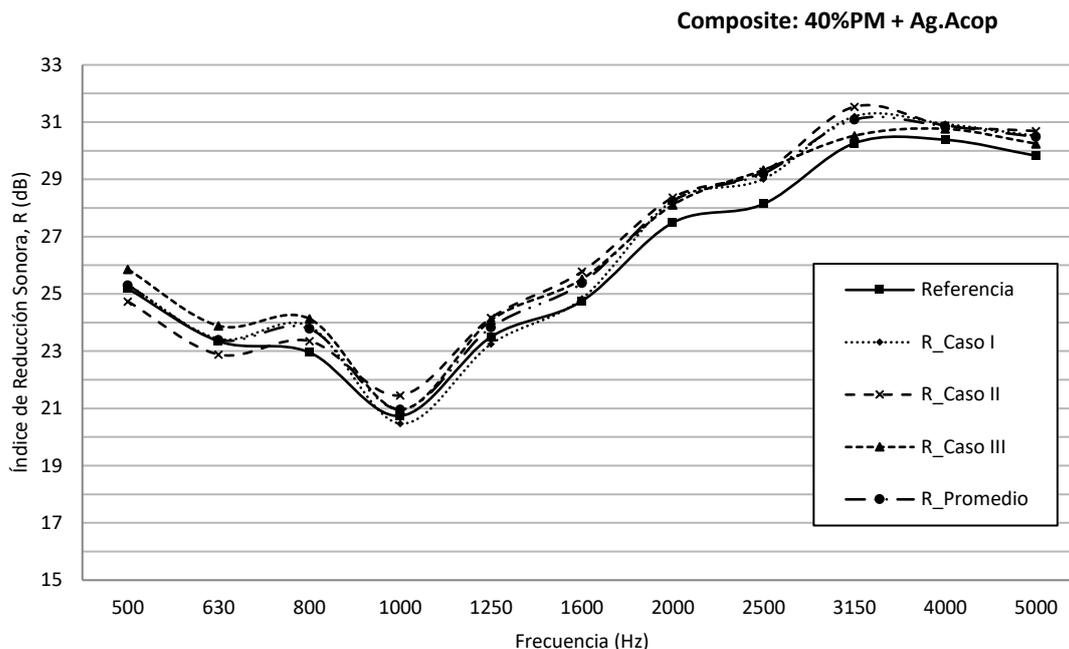


Figura 33. Índice de Reducción Sonora, R para la composite 40%PM + Ag.Acop, en bandas de tercio de octava desde 500Hz hasta 5000Hz.

Para el segundo material, los resultados presentan un comportamiento más estable ya que los índices de reducción para los 3 casos son prácticamente iguales, permitiendo concluir que el Índice de reducción para este composite es equivalente a aproximadamente 27dB y en comparación a la placa de referencia se obtiene un comportamiento de aislamiento mayor. Se debe tener en cuenta que las variaciones de los resultados, pueden deberse a muchos factores a la hora de la manipulación de equipos y todo lo que conlleva el proceso de caracterización. En primera instancia el hecho de presentarse modos de frecuencias en rangos inferiores a los 630Hz, límite inferior de operación de la cámara de transmisión.

### 10.3. Índice de Reducción Sonora $R_w$ : Composite 50%PM

El tercer material bajo estudio corresponde a composites de podadura de árbol de naranja sobre base de polipropileno con 50% de Pasta mecánica sin inyección de compactación del reciclado. A continuación, se muestran los resultados obtenidos del comportamiento en aislamiento acústico:

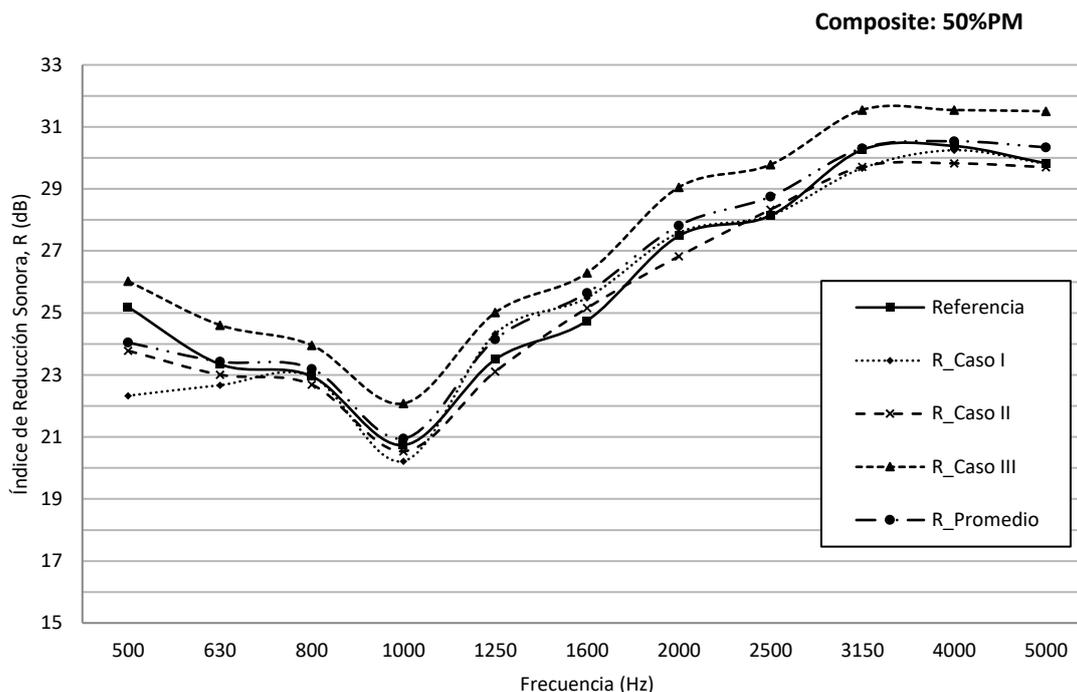


Figura 34. Índice de Reducción Sonora,  $R$  para la composite 50%PM, en bandas de tercio de octava desde 500Hz hasta 5000Hz.

Los resultados de la figura 11, representan los índices de reducción calculados, para este tercer material bajo estudio. En donde para el tercer caso, el cual enseña la mayor proporción de encajamiento de material en el de referencia, supera en aislamiento a los índices de los casos anteriores con 2dB en todas las bandas de frecuencia de la figura, teniendo este un comportamiento en promedio de aproximadamente 28dB de reducción sonora. Ya se ha mencionado que, en casos anteriores, los índices presentan mayores aislamientos para el primer caso debido a que solo existe una apertura sobre el área de evaluación, pero esto depende directamente del estado de las superficies fabricadas.

#### 10.4. Índice de Reducción Sonora $R_w$ : Composite 50%PM + Ag.Acop

De forma similar se implementa el ejercicio descrito anteriormente para el cuarto material, fabricado de tal forma que coincida con las características de la composite 50%PM con la diferencia de la inyección de refuerzo de compactación por un agente de acoplamiento. Los resultados obtenidos se muestran en la figura 12.

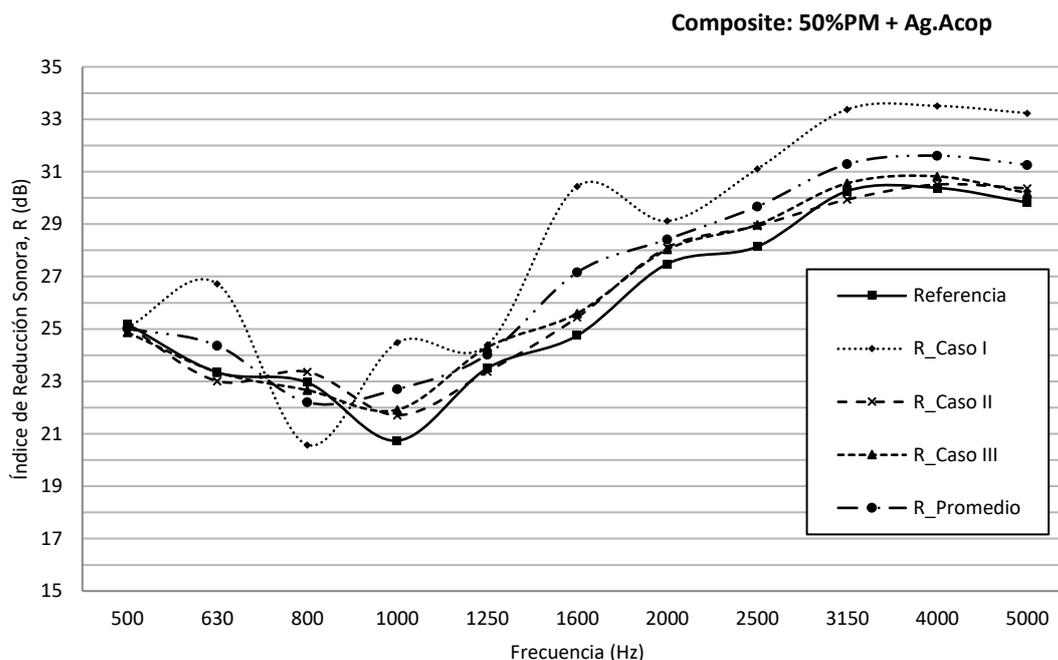


Figura 35. Índice de Reducción Sonora,  $R$  para la composite 50%PM + Ag.Acop, en bandas de tercio de octava desde 500Hz hasta 5000Hz.

En este último material, los índices de reducción representados en tercios de octava de frecuencia desde los 500Hz hasta los 5000Hz, muestran otro tipo de comportamiento al compararse con el material anterior. Ya que, para este caso los valores de aislamiento son superiores para el primero caso, definido con solo un 5% de encajamiento en relación a una sola composite caracterizada. Este concuerda con lo citado, respecto a pérdidas por transmisión debidas al aumento de aperturas sobre el área de evaluación, pero al analizar el comportamiento de la curva respecto al espectro frecuencial, se pueden evidenciar bastantes fluctuaciones y variaciones entre los valores, debido a fenómenos de resonancia creados por la única apertura sobre la superficie que cierra la cavidad del volumen del recinto receptor que en conjunto tiene un comportamiento similar al de un resonador de Helmholtz (Rossell Turrull, 2000). En promedio general de reducción sonora para el primer caso es de aproximadamente 30dB superando en 3dB los índices de casos superiores.

#### 10.5. Índice de Reducción Sonora $R_w$ : Composite PLADUR

Bajo otra forma y caso especial, se aplican las mismas técnicas impartidas para caracterizar composites de nuevos materiales, sobre uno ya comúnmente encontrado en la industria para la construcción en edificaciones. Este es el caso de láminas de cartón yeso, en donde se han extraídos pequeñas muestras de material para ser este encajado sobre la misma placa de referencia utilizada.

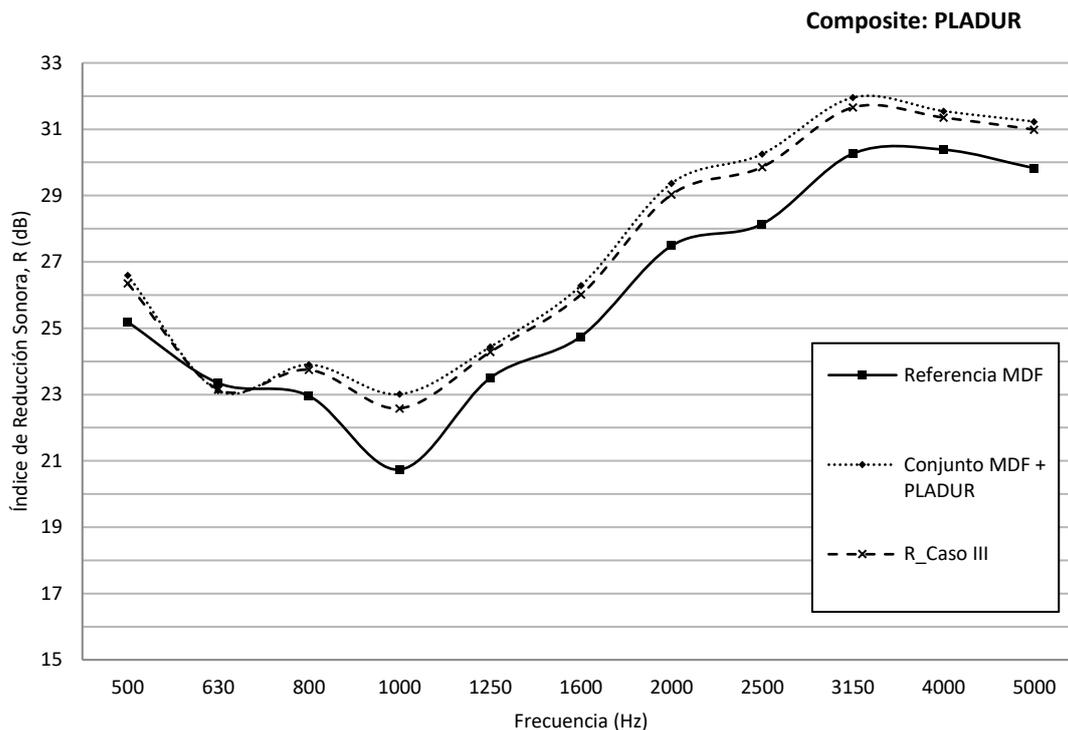


Figura 36. Índice de Reducción Sonora, R para la composite de PLADUR en bandas de tercio de octava desde 500Hz hasta 5000Hz.

Como se puede apreciar, se representan 3 curvas que permiten analizar este caso especial. En donde, existe una comparación frente a 3 tipos de superficies las cuales indican: Elemento de Referencia (MDF), Elemento en conjunto de referencia y composite (MDF + PLADUR) y composite en caso III con 15% de proporción de material (Composite PLADUR). En donde el comportamiento de reducción sonora en el espectro frecuencial, importa que exista una similitud frente a la referencia de pladur y la curva que representa la diferencia entre la superficie en conjunto sin la base, indicando el aislamiento debido solo a la composite. En caso ideal, no deberían existir diferencias frente al comportamiento de las dos reducciones. Continúan actuando las pérdidas por transmisión debidas a las resonancias causadas por la similitud geométrica de un resonador de Helmholtz. Respecto a valores globales encontrados sobre la industria para este material, el índice de Reducción del producto utilizado presenta valores aproximados a los 26dB.

#### 10.6. Pérdidas por Transmisión Sonora: Efecto de Resonador de Helmholtz

La existencia de una diferencia entre la Placa en conjunto y la composite, se debe a fenómenos acústicos que no se pueden descartar en este tipo de investigaciones. El fenómeno presente que afecta los resultados obtenidos, es la existencia de resonancias debidas a las aperturas sobre la placa de referencia, para el encajamiento del nuevo material. Todo esto en conjunto con una cavidad resonante que se relaciona al volumen del recinto receptor, tiene un comportamiento similar al de un resonador de Helmholtz (J. LLinares, 1996).

Para conocer una aproximación de la frecuencia de resonancia (Rossell Turrull, 2000) presente en el recinto receptor de la cámara de transmisión a escala, donde se realizan las mediciones de caracterización de aislamiento para composites, se hace uso de la ecuación:

$$f_o = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{S}{L'V}} \quad (12)$$

donde:

- fo = corresponde a la frecuencia de resonancia del resonador, expresada en hertzios.
- c = equivale a la velocidad de propagación del sonido en el medio presente dentro del recinto evaluado. (343,2 m/s @ 20°C)
- S = corresponde a la superficie de la boca del resonador, para este caso descrita por el agujero de encajamiento de composites, expresado en m<sup>2</sup>
- L' = determina la longitud efectiva del cuello del resonador, expresado en m. (L' = L + 1.4r; L = longitud cuello y r= radio del cuello)
- V = volumen que encierran las paredes de la cavidad, en este caso del recinto receptor de la cámara de transmisión. Expresado en m<sup>3</sup>.

Con ayuda de plataformas desarrolladas para analizar este tipo de comportamientos, se integra a este trabajo el software de modelamiento multi físico COMSOL. Esta herramienta, permite visualizar y analizar el comportamiento en resoluciones de elementos finitos en cuanto a comportamientos físicos. Para este caso en específico se trabaja sobre el módulo frecuencial integrado dentro de la plataforma, en el cual se busca conocer las resonancias debidas a las formas geométricas del encajamiento de nuevo material sobre la superficie de evaluación que separa el volumen del recinto receptor.

El modelado implementado permite conocer gran variedad de modos de resonancia, pero para este caso en específico se busca conocer el modo relacionado a la frecuencia fundamental de resonancia en el espacio de encajamiento construido para integración del nuevo material, la cual corresponde a 35.3Hz aproximadamente.

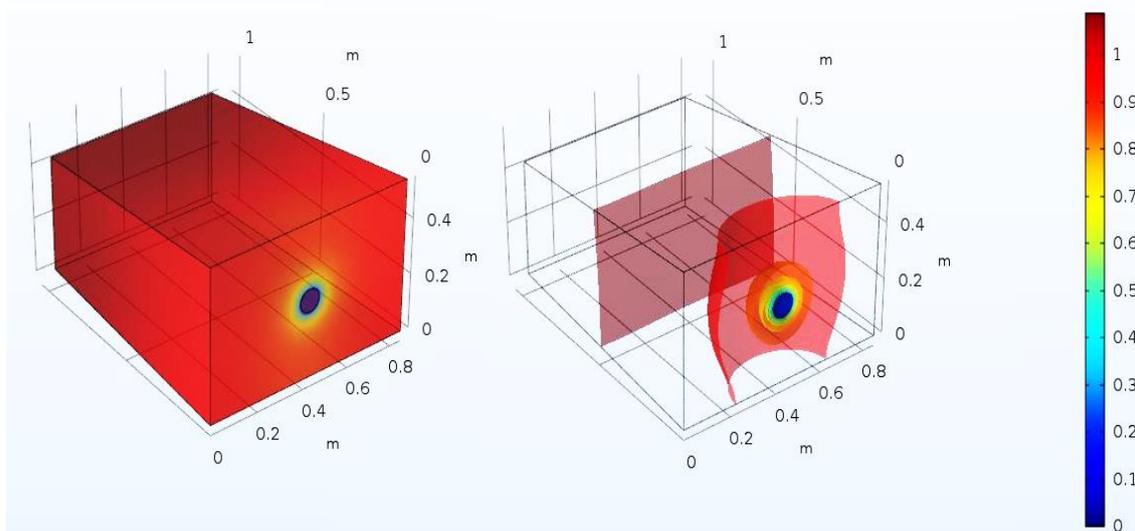


Figura 37. Frecuencia de Resonancia en agujero de encajamiento en Recinto Receptor a 35,3Hz.

La frecuencia obtenida con el software de estimación, se encuentra muy por debajo del rango de operación del espacio destinado como recinto receptor. En comparación con los cálculos teóricos la frecuencia de resonancia a la que actúa el conjunto de la cavidad del recinto receptor y el agujero de encajamiento se encuentra sobre los 23Hz, lo que indica un rango de operación en frecuencia aún menor frente a lo simulado. Por lo tanto, no existe una influencia directa sobre las medidas debido al límite inferior frecuencial de la cámara a escala, pero no se deben descartar las presencias de comportamientos modales en rangos de frecuencias superiores.

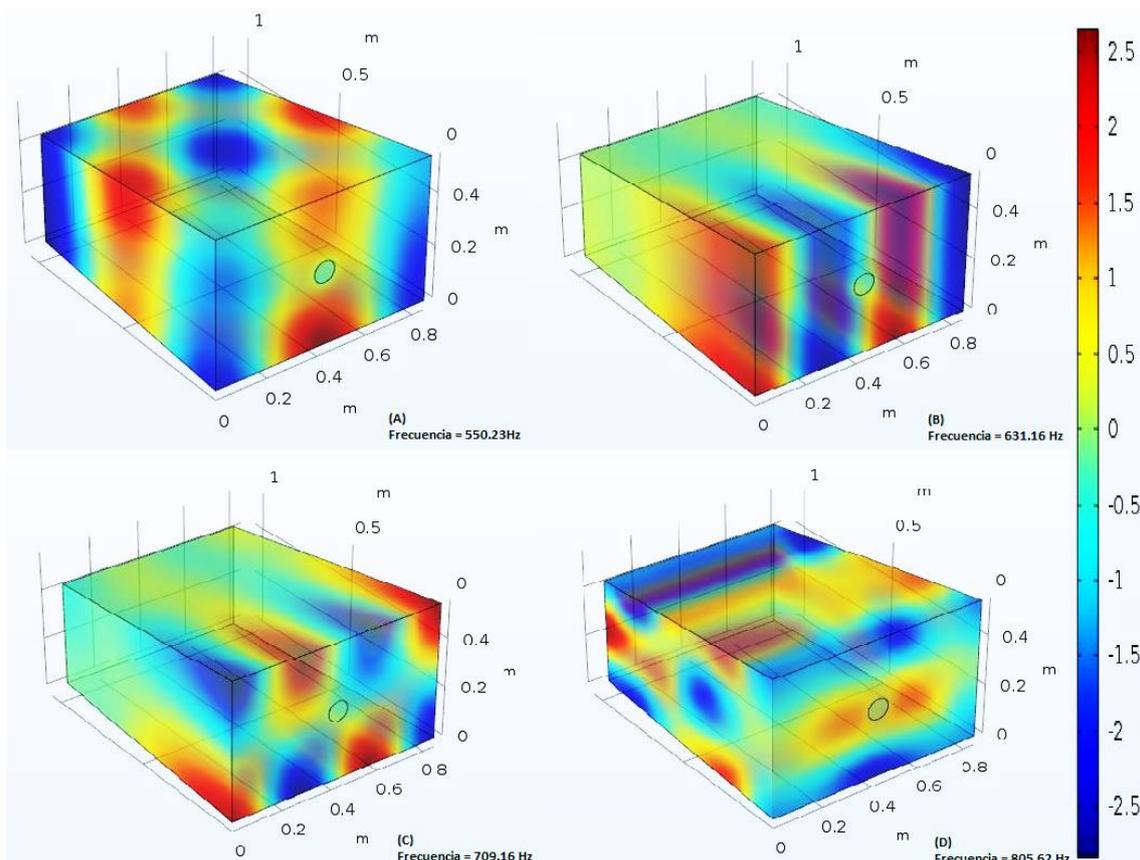


Figura 38. Modos de frecuencias de resonancia presentes en volumen receptor semejante a Resonador de Helmholtz por agujero de encajamiento de composite.

Estas variaciones de presiones internas afectan directamente los resultados de los índices de reducción calculados, ya que se vinculan a las posiciones internas de medidas que puedan coincidir en intersecciones modales presentes.

## 11. INCERTIDUMBRE

Finalmente y siguiendo con el protocolo establecido en las normativas (UNE-EN ISO 10140-2, 2011) (UNE-EN ISO 10140-4, 2011) que rigen el desarrollo de este trabajo. Se deben conocer los valores de incertidumbre (UNE-EN ISO 12999-1, 2014) de las medidas realizadas para obtener el aislamiento a ruido aéreo de las superficies de evaluación. Esto permite identificar las medidas que pueden afectar las mediciones, respecto a desviaciones de los datos estadísticos.

A continuación, se toma como ejemplar los cálculos de incertidumbre, realizados en las medidas del primer material 40PM para el Caso I solo para la primera medición. Este

mostrará en detalle el proceso que permite identificar datos, que representan variaciones desfavorables para determinar el aislamiento promedio representativo de cada superficie bajo estudio.

### 11.1. Escenario de medición - Apartado 5.2 (UNE-EN ISO 12999-1, 2014)

El escenario en el cual se rige el desarrollo de este trabajo es el descrito como de tipo A, en donde “un elemento de construcción se caracteriza por las mediciones en laboratorio. En este caso, el mensurado viene definido por la parte pertinente de la Norma ISO 10140 (UNE-EN ISO 10140-2, 2011) (UNE-EN ISO 10140-4, 2011), que contiene todos los requisitos adicionales, por ejemplo, los relativos al equipo de medición y especialmente los relativos a la instalaciones del ensayo (UNE-EN ISO 10140-5, 2011). Por consiguiente, todos los resultados de medición que se obtienen en otra instalación de ensayo o edificio cumplen también con esta definición. De esta forma, la incertidumbre típica es la desviación típica de reproducibilidad, tal y como se define por las mediciones interlaboratorio.”

### 11.2. Verificación de las desviaciones típicas de las mediciones

La normativa determina los valores de desviaciones máximos por efecto de repetitividad. A continuación, se representan los resultados obtenidos de desviaciones típicas calculados para Niveles de Ruido de Fondo medidos, Niveles en Recepción y Emisión y Tempos de reverberación, todo esto para realizar la caracterización del material 40%PM. En donde se comparan frente a los establecidos como máximos permisibles de desviaciones por efecto de repetitividad que contribuyan a valores de incertidumbre mínimos.

Tabla 21 Resultados de Incertidumbres Típicas  $u$ , asociadas a Desviaciones Típicas entre las medidas respectivas.

Frecuencia[Hz]	Incertidumbre Típica, $u_{R_f}$ Ruido de Fondo: 5 Medidas (dB)	Incertidumbre Típica, $u_{L_2}$ Nivel en Receptor: 10 Medidas (dB)	Incertidumbre Típica, $u_{L_1}$ Nivel en Emisor: 10 Medidas (dB)	Desviación Típica máxima de Repetitividad (dB)
500	4,1*	1,2	0,2	1,3
630	2,1*	1,7*	1,3	1,3
800	2,0*	1,4*	1,2	1,3
1000	0,5	1,4*	0,8	1,3
1250	1,3	1,6*	0,2	1,3
1600	0,8	1,1	0,3	1,3
2000	0,5	0,6	0,2	1,3
2500	0,5	0,4	0,2	1,3
3150	0,5	0,5	0,3	1,3
4000	0,9	0,5	0,2	1,3
5000	1,0	0,7	0,3	1,3

Nota: \* Valores que superan las desviaciones típicas máximas establecidas en la norma. (UNE-EN ISO 12999-1, 2014)

Los resultados se representan a partir de la frecuencia de limitación inferior de operación para la cámara de transmisión a escala, en donde se han llevado a cabo las mediciones.

En el mismo contexto, se debe establecer el factor de cobertura  $k$ , que permita conocer la incertidumbre típica combinada para obtener una incertidumbre expandida general (Garai, Scrosati, & Pievatolo, 2018). Valor que depende de la distribución de los datos medidos en el ensayo bajo estudio de medición de aislamiento a ruido aéreo en el Caso I, para la placa con encajamiento de la composite 40%PM. Este factor de cobertura se declara de 1.96 el cual indica un nivel de confianza asociado a un 95% para un ensayo bilateral, ya que se desconoce qué tipo de comportamiento se debería obtener en los resultados. Con base en esto se representa las incertidumbres expandidas asociadas a cada banda de frecuencia, delimitados respecto al rango frecuencial de operación del laboratorio a escala. De igual forma se deben asociar los factores de corrección (Comité Conjunto de Guías en Metrología (JCGM /WG), 2008) a cada medida de interés, para este caso:

$$C_1 = \frac{\partial D_{nT}}{\partial L_1} = 1; \text{Corrector para Nivel en Emisión}$$

$$C_2 = \frac{\partial D_{nT}}{\partial L_2} = 1; \text{Corrector para Nivel en Recepción}$$

$$C_3 = \frac{\partial D_{nT}}{\partial T_R} = \frac{10}{T_R} \frac{1}{\ln 10} = \frac{10}{T_R} \log e; \text{Corrector para Tiempo de Reverberación}$$

Antes de un cálculo final, debe calcularse la incertidumbre típica combinada correspondiente a la raíz cuadrada de la suma de las desviaciones típicas anteriores modificadas, respecto a los correctores anteriormente mencionados. Esto permitirá dar resultado de incertidumbre expandida para un único valor con un factor de cobertura del 95% de confianza.

Tabla 22 Resultados de incertidumbres Típicas  $u_c$  y expandidas  $U$ , en bandas de tercios de octava desde los 500Hz hasta los 5000Hz.

Frecuencia[Hz]	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000
Incertidumbre Típica Combinada, $u_c$ para DnT (dB)	1,2	2,1	1,9	1,6	1,6	1,1	0,6	0,5	0,6	0,5	0,8
Incertidumbre Expandida, $U$ para DnT (dB)	2,4	4,1	3,7	3,2	3,2	2,2	1,3	0,9	1,3	1,0	1,6

Para conocer el valor de incertidumbre de la suma del índice de reducción acústica asociados a un espectro, con base en el aislamiento DnT obteniendo para la primera medida de la superficie con el 5% de encajamiento de composite 40%PM, se aplica el mismo ejercicio matemático para evaluación establecido en la norma (UNE-EN ISO 717-1, 2013).

Todo el proceso anterior se aplica para las dos mediciones restantes realizadas, con lo cual se da como resultado de aislamiento de la siguiente forma:

Tabla 23 Resultados de incertidumbre para la superficie de ensayo con encajamiento del 5% de 40%PM de composite en Caso I.

Medida	$D_{nT,A}$ (dBA)	$U$ (dB)	$D_{nT,w}$ (dB)	$C$ (dB)	$C_{tr}$ (dB)	$D_{nT,A}$ (717-1) (dB)	$D_{nT,w}$ (-) (dB)	$D_{nT,w}$ (+) (dB)	$\Delta$ (dB)	$U$ $D_{nT,w}$ (dB)
1	20,3	1,9	20	-1	-3	19	15	24	9	4,5
2	19,6	2,3	20	-1	-4	19	15	25	10	5,0
3*	19,9	3,7	20	-1	-4	19	13	26	13	6,5

Los resultados de incertidumbre para el ensayo 3, superan a los restantes causando que el promedio general que representa el aislamiento a ruido aéreo de la superficie bajo estudio, muestre valores de incertidumbre mayores. Según lo identificado, se determina que el ensayo número tres, debe descartarse al presentar valores que pueden afectar los resultados. Para lo cual como resultado final, el aislamiento a ruido aéreo en este ejemplo es equivalente a  $D_{nT,A} \approx 20$  dBA con una incertidumbre de  $U \approx 2$  dB.

Con lo anterior se da por entendido este proceso de identificación de incertidumbres, el cual es se muestra como modelo, para conocer estos parámetros de evaluación en las 5 superficies de encajamiento evaluadas: Referencia, 40PM, 40PM + Ag.Acop, 50PM, 50PM + Ag.Acop, Agujeros y Pladur. Todo esto de manera independiente para cada caso establecido. (Ver anexo IV)

## 12. CONCLUSIONES

- En primera instancia con base en el objetivo principal, se rescata del trabajo desarrollado la viabilidad de la implementación de una metodología, que permite caracterizar pequeñas proporciones de nuevos materiales en fase de diseño y fabricación, en cuanto a parámetros de aislamiento para ser implementados en el campo de la edificación. Esto bajo un proceso evaluativo, calculador y analítico, en donde se relacionan las proporciones de superficies que permiten conocer las diferencias de aporte sobre los indicadores de reducción sonora.
  - Los procesos de caracterización son iguales los parametrizados en la normativa relacionada, la única modificación se realiza frente a las proporciones de área de evaluación y dimensiones a tener en cuenta sobre el factor de escalamiento de 1:5.
  - El comportamiento en aislamiento acústico o aporte en reducción sonora, relaciona la proporción de superficie evaluada independientemente de si existe o no un escalamiento de los recintos interlaboratorio.
- Respecto a los materiales bajo estudio, se presentan aportes significativos en valores de aislamiento a ruido aéreo, con características dimensionales pequeñas similares a un elemento liviano. Adicionalmente, aportes en cuanto a mitigación de la huella ecológica, disminución de residuos y beneficios económicos para su fabricación. Cabe decir que, no se debe descartar el hecho de que los valores obtenidos se encuentran limitados, por lo tanto este trabajo desarrollado se toma como iniciativa para la fabricación en proporciones superiores de los nuevos materiales bajo estudio y que finalmente se ratifique lo anteriormente expuesto.
  - Obtención de índices de reducción sonora aproximados a los 27dB, en las cuatro especificaciones de composites ensayadas de materiales eco innovadores, fabricados bajo un proceso de reciclado e integración de materias primas, como lo es la podadura de árbol de naranja, superando aporte de aislamiento frente a placas de fibra de madera de densidad media.
  - Es importante tener en cuenta las especificaciones del tipo de composite. Los materiales caracterizados con la adición de inyección de agente de acoplamiento, de cierta forma alteran este concepto de "Green", perdiendo el propósito inicial de sustitución a materiales altamente contaminantes para el medio ambiente.
- Se comprueba que las superficies bajo estudio, son elementos los cuales ofrecen beneficios en cuanto a aislamiento acústico para rangos de frecuencia superiores, al compararse con elementos livianos comúnmente utilizados en el campo de la construcción, teniendo en cuenta que existe la limitación en la evaluación de datos, respecto al límite inferior determinado por la cámara de transmisión de tamaño reducido. Esto implica que los valores globales de aislamiento acústico sobre las composites y elementos presentados en el desarrollo de esta investigación, presenten errores de promediados.
  - La representación de los resultados, frente al espectro frecuencial solo presenta estabilidad en frecuencias superiores a los 800Hz. Los valores de promedios y aislamiento global para superficie, integran frecuencias inferiores al límite en frecuencia de operación de la cámara de transmisión sonora de tamaño reducido, como por ejemplo desde los 50Hz hasta los 5kHz según la normativa de evaluación.

- Lo anterior refleja, valores de incertidumbre mayores ya que se desconocen los aportes en frecuencias inferiores y es por tal razón que los resultados en aislamiento acústico no son definitivos para las superficies bajo estudio.
- Se resalta el uso de herramientas ya desarrolladas e implementadas, para llevar a cabo medidas de transmisión sonora en áreas de evaluación a escala. Haciendo uso de una cámara de transmisión donde sus características y funcionalidad principal es validada, independientemente de ser este un espacio de laboratorio de tamaño reducido.
  - Optimización de los recursos, gracias a la poca integración de superficies bajo estudio.
  - Practicidad en los procesos de medición con la automatización del espacio y control remoto con cámara IP.
- Sobre la representación de los datos medidos, se evalúan teniendo en cuenta las limitaciones del rango frecuencial de operación de la cámara de transmisión sonora de tamaño reducido. En donde se toma como rango inferior la banda de frecuencia de 500Hz con un rango o región crítica de modos propios que alcanza los 800Hz, debido a la variabilidad e inestabilidad de los resultados obtenidos.
  - Se realiza la evaluación de modos propios de la cámara de transmisión sonora con ayuda de software de estimación, en donde la frecuencia fundamental se encuentra en rangos inferiores a la frecuencia límite de operación propia del espacio. Pero, modos de resonancia superiores presentan un comportamiento modal crítico, con bastantes variaciones de presión al interior del recinto receptor.

### **13. FUTURAS LÍNEAS DE TRABAJO**

Para culminar este Trabajo de Fin de Máster en Ingeniería Acústica, se propone como futuras líneas de investigación y desarrollo:

- Caracterización en aislamiento acústico de composites de otra composición de materias primas, con características que difieran completamente de las que se han integrado para el desarrollo de este trabajo, como por ejemplo: otro tipo de fibras lignocelulosas con una matriz de acoplamiento diferente al polipropileno y en preferencia, sin presencia de inyección de agente de acoplamiento, protegiendo el concepto ecológico como sustitución a materiales industrializados para el campo de la edificación.
- Selección de placas de referencia diferentes a las de fibra de madera de densidad media (MDF). Esto permitirá identificar el elemento liviano que mejor se acople como portamuestra, permitiendo resaltar los aportes debido a la proporción de nuevo material de composites encajados. Con esta propuesta, los resultados en aislamiento acústico tendrán mayor relevancia solo basándose en la metodología propuesta en el caso I de encajamiento del 5% de nuevo material. Ofreciendo una mejor dinámica de caracterización y optimización de los procesos, que permitan disminuir la manipulación estadística de más de 2000 datos que se han realizado en esta investigación.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

---

- 1) Barti, D. R. (2017). *Calidad Acústica en la Construcción*. Barcelona: Área de Acústica del LEM.
- 2) Bertó, L. (2015). *Nuevos materiales. Modelos y técnicas de caracterización en acústica de la edificación y acústica medioambiental*. València. Gandía: Universitat Politècnica València.
- 3) Comité Conjunto de Guías en Metrología (JCGM /WG), J. (2008). Guía para la Expresión de la Incertidumbre de Medida. *Evaluación de datos de medición*, 142.
- 4) DB-HR / CTE . (Septiembre de 2009). Documento Básico de Protección contra el Ruido. *Código Técnico de la Edificación*. España.
- 5) Del Rey, R., Alba, J., Crespo, J. E., & Fontoba, J. (2017). *Estudio de la influencia del tipo de Fibra y Resina en composites como soluciones ligeras para Aislamiento Acústico*. Coruña: TecniAcústica.
- 6) Del Rey, R., Alba, J., Crespo, J. E., & Fontoba, J. (2017). *Propuesta de Soluciones ligeras para aislameinto acústico a Ruido Aéreo basadas en Lana de Oveja y GREEN composites*. Coruña: TecniAcustica.
- 7) Garai, M., Scrosati, C., & Pievatolo, A. (2018). On the Uncertainty of Sound Reduction index measurements from inter-laboratory tests. *ICSV25*, 9.
- 8) Iglesias, M. (2010). *Composites con Reciclados para la mejora del Aislamiento Acústico*. Gandía: Universitat Politècnica de València.
- 9) Inche Mitma, J. L., Chung Pinzás, A. R., & Vizarreta Chia, R. (01 de Marzo de 2014). *Artículo: Diseño y desarrollo de nuevos materiales textiles para el aislamiento y acondicionamiento acústico*. Obtenido de ResearchGate: [https://www.researchgate.net/figure/Figura-1-Transmision-de-la-energia-sonora-a-traves-de-un-material\\_fig1\\_307180584](https://www.researchgate.net/figure/Figura-1-Transmision-de-la-energia-sonora-a-traves-de-un-material_fig1_307180584)
- 10) ISOVER. (22 de 08 de 2018). *Certificaciones LEED, BREEAM y VERDE*. Recuperado el 08 de 2018, de ISOVER: [www.isover.es](http://www.isover.es)
- 11) J. LLinares, A. L. (1996). *Acústica - Arquitectura y Urbanística*. Universitat Politècnica de València. València: Universitat Politècnica de València.
- 12) Ochoa Mendoza, A. (2005). *Reciclado mecánico de materiales compuestos con fibras de celulosa*. UPM. E.T.S.I Industriales .
- 13) Reixach, R., Del Rey, R., Alba, J., Arbat, G., Espinach, F., & Mutjé, P. (2014). Acoustic properties of Agroforestry waste orange pruning fibers reinforced polypropylene composites as an alternative to laminated gypsum boards. *Construction and Building Materials*, 20.

- 14) Reixach, R., Franco-MARquès, E., El Mansouri, N.-E., Ramirez de Cartagena, F., Arbat, G., Espinach, F. X., & Mutjé, P. (2013). Micromechanics of Mechanical, Thermomechanical, and Chemi-Thermomechanical Pulp from Orange Tree Pruning as Polypropylene Reinforcement: A Comparative Study. *BIORESOURCES*, 16.
- 15) Rossell Turrull, I. (2000). Caracterización Acústica de Resonadores de Helmholtz. *TECNIACÚSTICA*, 6.
- 16) Torres, J. (2011). *Diseño y Construcción de una Cámara de Transmisión Acústica a escala*. Gandía: Universitat Politècnica de València.
- 17) UNE-EN ISO 10140-1. (28 de Diciembre de 2016). Acústica. Medición en laboratorio del aislamiento acústico de los elementos de construcción. *Parte 1: Reglas de aplicación para productos específicos*. España.
- 18) UNE-EN ISO 10140-2. (30 de Marzo de 2011). Acústica. Medición en laboratorio del aislamiento acústico de los elementos de construcción. *Parte 2: Medición del aislamiento acústico al ruido aéreo*. España.
- 19) UNE-EN ISO 10140-3. (30 de Marzo de 2011). Acústica. Medición en laboratorio del aislamiento acústico de los elementos de construcción. *Parte 3: Medición del aislamiento acústico al ruido de impactos*. España.
- 20) UNE-EN ISO 10140-4. (30 de Marzo de 2011). Acústica. Medición en laboratorio del aislamiento acústico de los elementos de construcción. *Parte 4: Procedimientos y requisitos de medición*. España.
- 21) UNE-EN ISO 10140-5. (30 de Marzo de 2011). Acústica. Medición en laboratorio del aislamiento acústico de los elementos de construcción. *Parte 5: Requisitos para instalaciones y equipos de ensayo*. España.
- 22) UNE-EN ISO 12999-1. (10 de Diciembre de 2014). Acústica. Determinación y aplicación de las incertidumbres de medición en la acústica de edificios. *Parte 1: Aislamiento acústico*. España.
- 23) UNE-EN ISO 354. (06 de Febrero de 2004). Acústica. . *Medición de la absorción acústica en una cámara reverberante*. España.
- 24) UNE-EN ISO 717-1. (17 de Julio de 2013). Acústica. Evaluación del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción. *Parte 1: Aislamiento a ruido aéreo*. España.
- 25) UNE-EN ISO 717-2. (17 de Julio de 2013). Acústica. Evaluación del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción. *Aislamiento a ruido de impactos*. España.