



Facultad de Ingeniería

Escuela de Construcción Civil

“Estudio de Comportamiento Acústico en Panel Compuesto EPS.PUR.EPS”

(Poliestireno Expandido, Espuma Poliuretano, Poliestireno Expandido)

Por

Jorge Andrés Cataldo Espinoza

**Tesis para optar al Grado de Licenciado en Ciencias de la
Construcción y/o al Título de Ingeniero Constructor**

Prof. Guía: Claudio Carrasco Aldunate

Noviembre, 2014

Índice

Lista de Tablas.....	6
Lista de Figuras.....	7
Abstract.....	11
Resumen.....	12
1.- Antecedentes Generales	13
1.1.- Introducción.....	13
1.2.- Objetivos.....	14
1.2.1.- Objetivo General.....	14
1.2.2.- Objetivos Específicos.....	14
1.3.- Hipótesis	14
1.4.- Alcances	14
2.- Marco teórico de Sonido en Materiales y Confort Acústico.....	16
2.1.- Sonido.....	16
2.1.1.- Ondas de sonido.....	16
2.1.2.- Frecuencia Acústica.....	18
2.1.3.- Ruido.....	19
2.1.4.- Confort Acústico.....	20
2.1.5.- Fuentes de Ruidos Externos.....	21
2.1.6.- Penetración por propagación a través de cuerpos sólidos: Transmisión de impactos sonoros.	23
2.1.7.- Coeficientes de absorción del sonido.....	24
2.1.8.- Refracción del Sonido.....	25
2.1.8.1.- Ecos.....	26
2.1.9.- Absorción acústica en cámara de Aire.....	27
2.2.- Descripción Aislamiento Acústico	27
2.3.- Descripción de Materiales	28

2.3.1.- Espuma de poliuretano.....	30
2.3.1.1.- Comportamiento Acústico de la espuma de Poliuretano	31
2.3.1.2.- Estudios a espuma de Poliuretano	31
2.3.2.- Poliestireno Expandido	36
2.4.- Normativa vigente para ensayos acústicos.	38
2.5.- Metodología actual MINVU para análisis de aislación de edificaciones en terreno	39
2.6.- Palabras finales	41
3.- Desarrollo de la Investigación.....	42
3.1.- Estudio de probetas.....	42
3.2.- Metodología experimental.....	45
3.3.- Procedimiento.....	46
3.4.- Resultados.....	48
3.5.- Análisis a resultados esperados	49
3.6.- Conclusiones a variables a analizar	49
3.7.- Conclusiones del modelo experimental.....	50
4.- Elaboración y Ejecución de Experiencia.....	51
4.1.- Adquisición de materiales y construcción de cajón para análisis.....	51
4.2.- Ejecución de la experiencia	54
4.2.1.- Ejecución de las mediciones	55
4.2.2.- Resultados	56
4.2.3.- Primer análisis de resultados.....	61
4.2.4.- Análisis de Resultados por Espesor	61
4.2.5.- Análisis de Resultados por Volumen de Aire	62
4.2.6.- Análisis de resultados por Densidad	63
4.2.7.- Combinación de variables.....	64
4.2.8.- Contraste en entre lo planificado y lo logrado	65
4.3.- Experimentación con toma de absorción en fuente v/s traspaso por cajón acústico	65

4.3.1.- Ejecución de segundas mediciones	67
4.3.2.- Datos Obtenidos.....	67
4.3.3.- Análisis de resultados sin onda de Subwoofer.....	73
4.3.3.1.- Análisis onda de sonido	73
4.3.3.2.- Análisis de resultados por espesor	74
4.3.3.3.- Análisis de resultados por volumen de aire	75
4.3.3.4.- Análisis de resultados por densidad.....	76
4.3.3.5.- Contraste entre lo planificado y lo logrado.....	77
4.3.4.- Análisis de resultados con onda de Subwoofer.....	77
4.3.4.1.- Análisis onda de sonido más onda Subwoofer	77
4.3.4.2.- Contraste entre lo planificado y lo logrado.....	81
4.4.- Comparativo entre primeras y segundas mediciones	82
4.5.- Mediciones a materiales de construcción utilizados actualmente	84
4.5.1.- Conclusiones de Panel Compuesto versus materiales clásicos de relleno.....	87
5.- Conclusiones	89
5.1.- Introducción a conclusiones	89
5.2.- Conclusiones de objetivos	89
5.2.1.- Conclusiones resultados por espesor	90
5.2.2.- Conclusiones resultados por densidad	90
5.2.3.- Conclusiones resultados por volumen de aire.....	91
5.3.- Conclusiones con cuadro de frecuencias	92
5.4.- Conclusión hipótesis.....	93
5.5.- Utilizaciones según Mapa de Ruido Gran Santiago	93
5.6.- Conclusión Final.....	95
5.7.- Otras investigaciones propuestas.....	95
Bibliografía.....	97
Anexo	100

Anexo 1 Tablas de Primeras Mediciones.....	100
Anexo 2 Tablas de Segundas Mediciones	106
Anexo 3 Tablas de Mediciones Comparativas de Materiales Clásicos	114

Lista de Tablas

Tabla 2.1.- Velocidades de propagación del sonido.....	17
Tabla 2.2.- Clasificación de Curvas según Rango.....	18
Tabla 2.3.- Coeficientes de reflexión de materiales.....	25
Tabla 2.4.- Coeficientes de absorción a materiales.....	29
Tabla 2.5.- Descripción y características de materiales.....	30
Tabla 2.6.- Resultados de Mediciones Acústicas Estudio Instituto E. Toroje.....	32
Tabla 3.1.- Tabla de Probetas.....	44
Tabla 3.2.- Medición de Estudio de Sonido mediante sonómetro al ambiente.....	46
Tabla 4.1.- Costos y absorciones mínimas y máximas.....	88
Tabla 5.1.- Utilidad de Panel Compuesto en base a sonidos y frecuencias.....	92
Tabla 5.2.- Aplicaciones de Panel compuesto respecto de mapa de ruidos Gran Santiago.....	94

Lista de Figuras

Figura 2.1- Refracción y compresión sonora.....	16
Figura 2.2- Valores Confort Acústico.....	21
Figura 2.3.- Gráfico de percepciones de sonido.....	22
Figura 2.4.- Gráfico Tiempo y Volumen en Recintos.....	26
Figura 2.5.- Índice de Reducción Acústica.....	28
Figura 2.6.- Gráfico de Absorción Acústica en dBA.....	33
Figura 2.7- Fotografía microestructura de espuma de poliuretano.....	34
Figura 2.8.- Variación de B y K con respecto a diámetros de células.....	35
Figura 2.9.- Gráficos Espuma de Poliuretano en forma Piramidal y Aneconico.....	35
Figura 2.10.- Gráficos Espuma de Poliuretano en forma Cerros y Aneconico.....	36
Figura 2.11.- Espumas de Poliuretano.....	38
Figura 3.1 - Diseño de Panel Compuesto.....	42
Figura 3.2 - Espuma de Poliuretano y Poliestireno Expandido para diseño de probetas.....	43
Figura 3.3.- Diseño de cajón de pruebas.....	45
Figura 3.4.- Esquemas de toma de datos metodología modificada MINVU.....	47
Figura 3.5.- Esquemas de toma de datos metodología modificada MINVU.....	48
Figura 4.1.- Fotografías montaje de Cajón Acústico.....	51
Figura 4.2.- Fotografías montaje de Cajón Acústico.....	52
Figura 4.3.- Probeta tipo Class1 35mm con Poliestireno Expandido de 10mm.....	53
Figura 4.4.- Inserción de probeta en cajón de pruebas.....	53
Figura 4.5.- Cajón de prueba y Ordenador reproductor de ondas de sonido.....	55
Figura 4.6.- Sonómetro en registro de mediciones.....	56
Figura 4.7.- Gráfico Medición 1,2 y 3 Eco 20mm.....	57
Figura 4.8.- Gráfico Medición 1,2 y 3 Eco 35mm.....	57
Figura 4.9.- Gráfico Medición 1,2 y 3 Pro 20mm.....	58

Figura 4.10.- Gráfico Medición 1,2 y 3 Pro 35mm.....	58
Figura 4.11.- Gráfico Medición 1,2 y 3 Class1 35mm.....	59
Figura 4.12.- Gráfico Mezcla de Eco, Pro y Class1 de 35mm.....	59
Figura 4.13.- Gráfico Mezcla de Eco, Pro y Class1 de 35mm.....	60
Figura 4.14.- Gráfico Mezcla de Eco y Pro de 20mm.....	60
Figura 4.15.- Gráfico Mezcla de Eco y Pro de 20mm.....	61
Figura 4.16.- Gráfico de diferencias de absorción por espesor.....	62
Figura 4.17.- Gráfico de diferencias de absorción por volumen de aire.....	63
Figura 4.18.- Gráfico de diferencias de absorción por densidad de espuma de Poliuretano...	64
Figura 4.19.- Gráfico Segunda Medición Eco20-10, Eco20-20 y Eco20-30. Datos sin onda de Subwoofer.....	68
Figura 4.20.- Gráfico Segunda Medición Eco20-10, Eco20-20 y Eco20-30. Datos con onda de Subwoofer.....	68
Figura 4.21.- Gráfico Segunda Medición Eco35-10, Eco35-20 y Eco35-30. Datos sin onda de Subwoofer.....	69
Figura 4.22.- Gráfico Segunda Medición Eco35-10, Eco35-20 y Eco35-30. Datos con onda de Subwoofer.....	69
Figura 4.23.- Gráfico Segunda Medición Pro20-10, Pro20-20 y Pro20-30. Datos sin onda de Subwoofer.....	70
Figura 4.24.- Gráfico Segunda Medición Pro20-10, Pro20-20 y Pro20-30. Datos con onda de Subwoofer.....	70
Figura 4.25.- Gráfico Segunda Medición Pro35-10, Pro35-20 y Pro35-30. Datos sin onda de Subwoofer.....	71
Figura 4.26.- Gráfico Segunda Medición Pro35-10, Pro35-20 y Pro35-30. Datos con onda de Subwoofer.....	71
Figura 4.27.- Gráfico Segunda Medición Class35-10, Class35-20 y Class35-30. Datos sin onda de Subwoofer.....	72
Figura 4.28.- Gráfico Segunda Medición Class35-10, Class35-20 y Class35-30. Datos con onda de Subwoofer.....	72
Figura 4.29.- Gráfico de diferencias de absorción por espesor.....	74
Figura 4.30.- Gráfico de diferencias de absorción por volumen de aire.....	75

Figura 4.31.- Gráfico de diferencias de absorción por densidad de espuma de Poliuretano....	76
Figura 4.32.- Gráfico comparativo Eco20 con y sin onda de Subwoofer.....	78
Figura 4.33.- Gráfico comparativo Eco35 con y sin onda de Subwoofer.....	79
Figura 4.34.- Gráfico comparativo Pro20 con y sin onda de Subwoofer.....	79
Figura 4.35.- Gráfico comparativo Pro35 con y sin onda de Subwoofer.....	80
Figura 4.36.- Gráfico comparativo Eco20 con y sin onda de Subwoofer.....	80
Figura 4.37.- Gráfico comparativo entre 1ras y 2das mediciones a Eco20.....	82
Figura 4.38.- Gráfico comparativo entre 1ras y 2das mediciones a Eco35.....	82
Figura 4.39.- Gráfico comparativo entre 1ras y 2das mediciones a Pro20.....	83
Figura 4.40.- Gráfico comparativo entre 1ras y 2das mediciones a Pro35.....	83
Figura 4.41.- Gráfico comparativo entre 1ras y 2das mediciones a Class35.....	83
Figura 4.42.- Valores comparativos con Lana Mineral 80mm vs Eco20-10, Eco20-20 y Eco20-30.....	84
Figura 4.43.- Valores comparativos con Lana Mineral 80mm vs Eco35-10, Eco35-20 y Eco35-30.....	84
Figura 4.44.- Valores comparativos con Lana Mineral 80mm vs Pro20-10, Pro20-20 y Pro20-30.....	85
Figura 4.45.- Valores comparativos con Lana Mineral 80mm vs Pro35-10, Pro35-20 y Pro35-30.....	85
Figura 4.46.- Valores comparativos con Lana Mineral 80mm vs Class35-10, Class35-20 y Class35-30.....	85
Figura 4.47.- Valores comparativos con Poliestireno Expandido 60mm vs Eco20-10, Eco20-20 y Eco20-30.....	86
Figura 4.48.- Valores comparativos con Poliestireno Expandido 60mm vs Eco35-10, Eco35-20 y Eco35-30.....	86
Figura 4.49.- Valores comparativos con Poliestireno Expandido 60mm vs Pro20-10, Pro20-20 y Pro20-30.....	86
Figura 4.50.- Valores comparativos con Poliestireno Expandido 60mm vs Pro35-10, Pro35-20 y Pro35-30.....	87
Figura 4.51.- Valores comparativos con Poliestireno Expandido 60mm vs Class35-10, Class35-20 y Class35-30.....	87

Figura 5.1.- Mapa de ruido gran Santiago..... 94

Abstract

On the present days the search of acoustic comfort business has made choose to invest on development and production of new forms to make acoustic insulation. A new alternative to make this acoustic comfort is the Composite Panel EPS.PUR.EPS. Developed on this thesis, which aims made acoustic insulation for housings.

The evaluations of the Composite Panel has made an adapted methodology from MINVU to made his main feature as are density, thickness and air volume. To make this methodology were made test subjects and a type of test to make the reading with SLM.

The result made it are, the importance of the microestructure in their densities, the difference in absorption by thick and the wave debility to change the media by the air volume. The transfer decrease of the sound wave can be checked on the tendency of behavior from Composite Panel in function to the study variables.

The good relationship between cost and effectiveness of the Composite Panel against other materials with acoustic benefits, place it as a viable alternative between sound insulation materials.

The Composite Panel achieves high insulation sound waves thanks to their materials, characteristics and configuration make it an alternative for sound insulation in urban homes

Resumen

En la actualidad la búsqueda de confort acústico ha hecho que empresas decidan invertir en desarrollo y producción de nuevas formas de lograr aislación acústica. Una nueva alternativa para lograr este confort acústico es el Panel Compuesto EPS.PUR.EPS. desarrollado en esta tesis, que tiene como objetivo lograr aislación acústica para viviendas.

El Panel Compuesto es evaluado mediante una metodología adaptada de MINVU para analizar sus principales características como son la densidad, espesores y volumen de aire. Para realizar esta metodología se diseñaron probetas y un tipo de ensayo para realizar las mediciones mediante sonómetro.

Los resultados obtenidos son, la importancia de la microestructura en sus densidades, las diferencias de absorción por espesor y la debilitación de la onda de sonido al cambiar de medio dado el volumen de aire. La disminución de traspaso de la onda de sonido se ve reflejada en las tendencias de comportamiento del Panel Compuesto en función a las variables de estudio.

La buena relación entre costo y eficacia del Panel Compuesto frente a otros materiales con prestaciones acústicas, lo ubican como una alternativa viable entre los materiales aislantes de sonido.

El panel compuesto logra gran aislación de ondas de sonido gracias a sus materiales, características y configuración lo convierten en una alternativa para la aislación de sonido en viviendas urbanas.

1.- Antecedentes Generales

1.1.- Introducción

Actualmente la aislación del clima exterior en edificaciones se hace muy necesaria, y dentro de ésta una de las más importantes, de acuerdo a los estándares de una vivienda, es la aislación acústica. Muchos métodos son utilizados actualmente para la aislación acústica tanto de hormigón como de tabiquería siendo esta última la materia de la presente investigación.

Las normativas actuales, NCh 2785/2786.Of2003, logran colocar al confort acústico al interior de la vivienda como un punto muy trascendental en el buen vivir y para ello el desarrollo de nuevas tecnologías para lograr estos estándares se hace necesario cada día. La creación de nuevos materiales con propiedades acústicas debe ir a la par con el desarrollo de elementos que produzcan mayor contaminación acústica, es por esto que la necesidad de crear nuevas tecnologías se vuelve ineludible. El problema de la contaminación acústica sigue siendo tratado día tras día. Las comunidades sufren por excesos de ruido provocan un gran deterioro en el individuo el cual trae a largo plazo problemas físicos y psicológicos. Con las nuevas tecnologías en el uso de materiales el avance en los estudios del control del ruido avanza de la misma manera que la contaminación acústica aumenta.

El motivo de esta investigación es presentar a este problema una posible solución para combatir los ruidos excesivos que el ser humano enfrenta y con los cuales convive día a día.

El análisis de materiales de aislación acústica, de acuerdo a los últimos estudios que han llevado a cabo empresas especialistas en este tema las cuales buscan nuevas tecnologías en este ámbito, crea también un espacio de búsqueda constante de innovación con respecto al diseño y a la utilización de estos materiales.

Existen diversos materiales que cumplen con las normativas acústicas actuales, destacando en particular la espuma de Poliuretano. Este material absorbente acústico será analizado en una configuración especial combinado junto a Poliestireno expandido.

Es necesario que se realicen avances respecto a la situación actual de confort acústico en Chile, para esto se necesita mayor desarrollo tecnológico y mejorar los sistemas constructivos, de esta manera lograr dar soluciones acústicas y lograr introducir al mercado nuevas herramientas que sacarán, definitivamente, el tema acústico de lograr silencio. [Lopez2006]

1.2- Objetivos

1.2.1.- Objetivo General

- Evaluar el comportamiento acústico de un panel compuesto de Poliestireno expandido y espuma de Poliuretano, respecto de su capacidad de absorción, de refracción y disipación de la onda sonora, para su aplicación en tabiques interiores y exteriores de construcciones habitacionales.

1.2.2.- Objetivos Específicos

- Determinar la influencia de la densidad de la Espuma de Poliuretano utilizada en el Panel Compuesto para la absorción de sonidos
- Determinar la influencia del volumen de aire utilizado para generar la cámara interior entre planchas para la absorción y refracción de sonidos en el Panel Compuesto.
- Determinar la influencia de los espesores utilizados en el Poliestireno Expandido y Espuma de poliuretano en la aislación acústica del Panel Compuesto.

1.3.- Hipótesis

“El Panel Compuesto formado por Poliestireno Expandido y Espuma de Poliuretano presentará prestaciones de absorción, refracción y disipación de sonido para ser aplicado en tabiquerías en construcciones del tipo habitacional”.

1.4.- Alcances

Márgenes de alcances:

- Como márgenes de estudio se utilizará como referencia la aislación acústica para construcciones habitables, de esta forma se acota el margen de investigación para ser desarrollado dentro de estos parámetros (*NCH 352/1. Of 2000*) De esta manera se logra reducir el espectro de la investigación para centrarse en un tema en específico que será edificaciones con carácter de vivienda.

- El grosor de las tabiquerías como alcance inicial será para paneles de tabiquería de 4” de espesor, de esta manera los diseños del panel compuesto podrán ser aplicados. Para cielos se considera las mismas dimensiones considerando estos irán colocados entre el envidado, cadenas o tipo de cielo a utilizar dejando una de sus caras descubierta.
- El panel será puesto a prueba para ondas de sonido provenientes desde el exterior e interior de la vivienda, por ello está considerado para paneles exteriores, interiores y cielos.
- Los materiales utilizados son ya probados y normados en Chile y serán adquiridos directamente a empresas chilenas ya testeadas en calidad de sus productos, por lo no se utilizara materiales de procedencia internacional.
- El estudio es válido para estas condiciones de la metodología, instrumentos de medición y materiales utilizados. Esta valides está de acuerdo a las normativas actuales y estándares de calidad utilizados por desarrolladores de elementos con cualidades acústicas.

2.- Marco teórico de Sonido en Materiales y Confort Acústico

Desde hace muchos años el ser humano ha buscado constantemente como lograr el confort de la vida diaria. En esa búsqueda uno de los factores importantes a tratar es la contaminación acústica. Este tipo de contaminación afecta diariamente a cada individuo que se ve afectado. Para realizar un estudio como este es necesario comprender el comportamiento y características del sonido para lograr hacer un análisis de sus características.

2.1.- Sonido

“Dícese que hay sonido cuando un disturbio que se propaga por un material elástico causa una alteración de la presión o un desplazamiento de las partículas del material que puedan ser reconocidos por una persona o por un instrumento” [Beranek87].

2.1.1.- Ondas de sonido

El sonido es una señal producida por una fuente de vibración, la cual perturba las moléculas de aire cercanas a la vibración donde el aire es mayor o menor la presión atmosférica. En las zonas de presión mayor hay compresión y en las que es menor hay rarefacción. En la Figura 2.1 se puede ver la forma y los parámetros de la onda de sonido.

Estas zonas de rarefacción y compresión generan una onda de sonido la cual viaja a través del aire. Las onda poseen propiedades comunes transportan información y energía. Las ondas pueden describirse con pocos parámetros: amplitud, periodo, fase y forma. De estos parámetros antes señalados se derivan la frecuencia e intensidad [Cádiz2008].

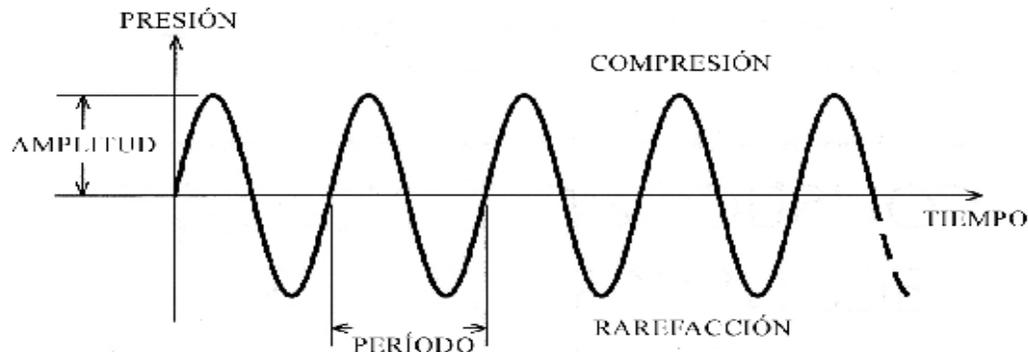


Figura 2.1.- Refracción y compresión sonora (Fuente: CIT. Cádiz2008).

El análisis físico del comportamiento de una onda de sonido da a entender y comprender como se manifiesta, transfiere y como se pierde en el medio. En este último punto es donde se pondrá mayor énfasis: el estudio de la disminución de las variables que logran la disminución o terminación de la onda.

El sonido tiene un mejor comportamiento de propagación en medios más densos. La velocidad de la onda depende del medio en que viaja. Este medio también depende de factores como la temperatura y densidad del medio, esto debido a que las partículas de un medio elástico estarán más juntas produciendo que la propagación de onda pierda menos energía.

El análisis de la propagación del sonido es muy importante a la hora de señalar el problema a resolver por medio de este estudio. La necesidad humana diaria de un buen descanso o de una convivencia tranquila es requerida para un buen vivir. La contaminación acústica es un problema diario que si no es tomado en cuenta con la seriedad que amerita puede afectar la salud de las personas.

La tabla 2.1 muestra las velocidades de propagación del sonido en distintos medios. Están han sido medidas en condiciones normales de presión 1 atmósfera con temperatura 20 y 25°C.

Tabla 2.1.- Velocidades de propagación del sonido.

Estado	Medio	Velocidad (m/s)
Gaseoso	Aire (a 20°C)	340
	Hidrógeno (a 0°C)	1286
	Oxígeno (a 0°C)	317
	Helio (a 0°C)	972
Líquido	Agua (a 25°C)	1493
	Agua de mar (a 25°C)	1533
Sólido	Aluminio	5100
	Cobre	3560
	Hierro	5130
	Plomo	1322
	Caucho	54

Fuente: Sonen Acústica 2013.

El estudio de sonido en recintos no solo involucra las reflexiones del sonido en el volumen en cuestión, sino también investigaciones de como medir el sonido en otras condiciones y el efecto que tendrán los materiales en cuanto a su absorción y control del sonido. Por otra parte es importante el comportamiento del sonido en espacios cerrados y la comprensión de los individuos para lograr tener buena apreciación de los sonidos de las fuentes emisoras que para ellos son relevantes. Los criterios psicológicos en el diseño acústico son siempre considerados por investigadores y han de tenerse siempre presentes.

Fuente Sonora:

Fuente sonora se le considera al elemento generador de sonido. La generación de sonido comienza cuando la fuente entra en vibración; esta vibración es transmitida a las moléculas de aire cercanas las cuales transmiten a las nuevas moléculas de aire cercanas a ellas. Las partículas no se desplazan con la oscilación sino que oscilan en su posición de equilibrio. La manera en que se traslada de un lugar a otro se llama propagación de la onda sonora en una zona de enrarecimiento o dilatación [Carrion98].

Dado la importancia del traspaso de sonido en materiales y el comportamiento de este en recintos arquitectónicos la necesidad de desarrollar nuevos materiales con prestaciones acústicas y logrando un espacio en que las vibraciones y las ondas de sonido son aminoradas. Esta disminución de ondas se logra con la ruptura de la onda, absorción, refracción y disipación de los sonidos, por ello la búsqueda de un material o un diseño que logre cumplir con todas estas variantes es inminente.

Mediciones:

El instrumento que se utiliza es el sonómetro, permitiendo conocer el nivel de presión acústica instantáneo (en dB) o durante un período. Debido a la sensibilidad del oído se utiliza un sistema de medición conveniente, las curvas de ponderación, llamada A,B,C. A los niveles de presión sonora por frecuencias mediante factores de compensación que se asimilan a los que hace el oído humano. En la tabla 2.2 se aprecia una clasificación de los rangos en dB de los sonidos para su ponderación de curva.

Las diferentes curvas se presentan en frecuencia (Hz) y su nivel de presión sonora (dB).

Tabla 2.2.- Clasificación de Curvas según Rango.

Curva de ponderación	Rango de Sonidos permitidos	Rango de (dB)
Curva A	Sonidos Débiles	< 55
Curva B	Sonidos Moderados	55 – 85
Curva C	Sonidos intensos	>85

Fuente: Elaboración propia datos NDA

2.1.2.- Frecuencia Acústica

La toma de valores en Chile por MINVU y empresas especializadas en desarrollo de materiales con prestaciones acústicas en base a las NCh 2785/2786.Of2003, realizan sus mediciones desde 20 Hz a 20.000 Hz (20 kHz), como los umbrales de frecuencia de la

audición. Con esto nos referimos que nuestro sistema auditivo no permite señales menores a los 20 Hz o mayores a los 20 kHz.

La banda de audición se divide en tres regiones:

- Frecuencia bajas o graves: 20 – 400 Hz
- Frecuencia medias: 400 – 1600 Hz
- Frecuencias altas o agudos: 1600 – 20000 Hz

El estudio del comportamiento de las frecuencias de sonido es de gran importancia, puesto que por medio de las frecuencias del sonido se pueden realizar mediciones de sus ondas y la intensidad en la que son emitidas desde un emisor en particular ubicado en diferentes lugares en un espacio determinado. Importante es lograr tener catalogadas estas frecuencias pues parte de la metodología de trabajo es realizada por un emisor de distintas frecuencias para poner a prueba las propiedades acústicas del panel compuesto.

2.1.3.- Ruido

Se considera ruido a aquellos sonidos que crean una sensación auditiva desagradable. En un medio ambiente se considera ruido como todo lo molesto para el oído. Ruido es en definición un sonido molesto.

Los ruidos en los edificios pueden ser una fuente de molestia, estrés y alteración del sueño entre otras. En países como Italia y España se está tomando conciencia de los efectos nocivos que el ruido produce en los seres humanos.[NDA2014]

En el contexto de la legislación y reglamentación técnica en Chile, se considera el aislamiento acústico para los elementos divisorios entre unidades independientes de viviendas orientado a minimizar los efectos de ruido aéreo y de impacto con el objetivo de crear condiciones de confort y bienestar. Estas condiciones de bienestar son legisladas y reglamentadas por las ordenanzas municipales. Las ordenanzas municipales determinan la cantidad de ruido máximo de una zona en cierto horario.

El sonido transmitido por el aire se denomina ruido aéreo. Las compresiones o depresiones del aire tienen incidencia en los elementos constructivos que limitan un local produciendo vibraciones, transmitiendo sus deformaciones al aire del espacio adyacente, convirtiéndose así en una fuente productora de sonido [Knauf2011].

La disminución del ruido es una de las necesidades que las empresas especialistas en aislaciones día tras día suman desarrollo, investigación y calidad en su afán de lograr satisfacer al mercado actual de la necesidad de aislación.

Las fuentes que producen ruido externo de las viviendas se clasifican en dos tipos: las fijas y móviles. Las primeras son emisoras de ruido y se ubican permanentemente en un lugar; las móviles son las que se desplazan.

2.1.4.- Confort Acústico

Uno de los puntos más relevantes en lo que se refiere a aislación acústica el confort acústico que necesitan lograr las personas para que de esta manera tengan un buen vivir.

Los efectos de la contaminación acústica afecta tanto al interior como al exterior de la vivienda. El volumen de los espacios de la vivienda determinara los espacios a proteger de contaminación acústica. La materialidad utilizada para la construcción de estas viviendas define la cantidad de aislamiento y su confort acústico.

El umbral del dolor es de 140 dB a partir de ahí se siente dolor y molestias, aun así si se tiene contacto desde los 90 dB por un tiempo prolongado lograra daños a largo plazo. En la figura 2.2 se aprecia los valores de confort acústico dependiendo de la intensidad de sonido y como afectan a los individuos en la vida diaria.

Actualmente se han introducido modificaciones a la ley general de urbanismo y construcción y por ende a la OGUC (NCh352/1 Of.2000 y D.S. 146, Artículo Primero) que nivela los niveles de ruido máximo permitidos entre viviendas. Para ruidos por impacto en caso de los departamentos se ha avanzado en la materialidad únicamente puesto no hay certificaciones nacionales. Actualmente se aplican criterios internacionales de confort acústico [Huaquin2008].

Para lograr esto son necesarias las siguientes características:

- Un espacio acústico agradable predispone a una persona confort en su estancia, este estimula la calma, concentración y mejora considerablemente la privacidad en las viviendas.
 - Importante es lograr soluciones para lugares nuevos en que la contaminación acústica es alta, como también lograr prestaciones acústicas en un futuro a viviendas que poco a poco van centralizándose más y logrando con el paso de los años mayor contaminación acústica.
 - Lograr avanzar en el sentido del confort acústico debe tenerse en cuenta las enfermedades a producirse en un futuro de contaminación acústica continua. Estos pueden ser a corto plazo como insomnio, inconformidad y malestares asociados, como también a largo plazo producir niveles altos de sordera o problemas psicológicos producto a un mal descanso y pocas horas de sueño.
- Recopilación de datos en tabla de valores para un buen confort acústico, valores aproximados y aconsejables.

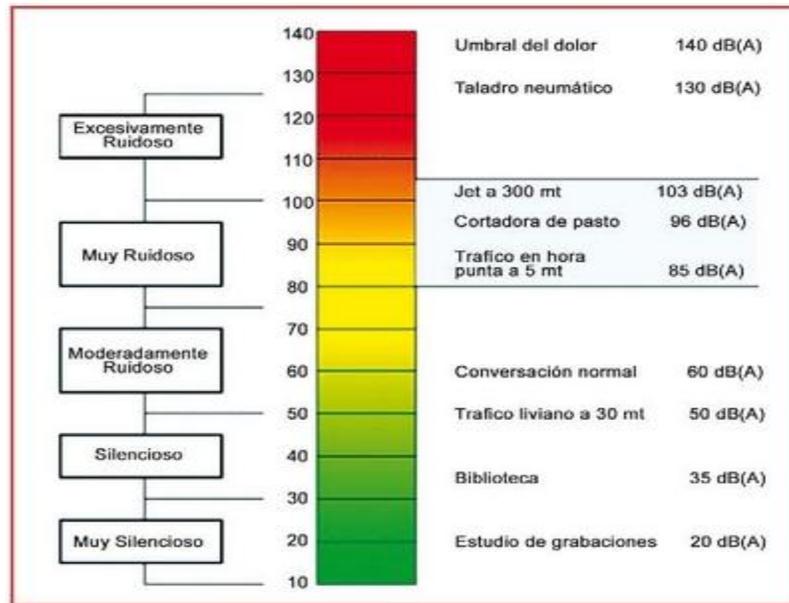


Figura 2.2.- Valores Confort Acústico (Fuente: Acustec.cl datos sobre confort acústico).

De acuerdo a lo anteriormente señalado los ruidos molestos que interfieren directamente con el confort acústico son todo aquellos que provocan un malestar claro en las personas. La legislación chilena D.S. 146 MISEGPRES considera que el ruido máximo para las zonas residenciales debe ser de 55 dB(A) en horario de 7 a 21 horas y de 45 dB(A) de 21 a 7 horas. Los niveles de ruido máximos permitidos para fuentes fijas, se especifican en el Decreto Supremo 146/97, los cuales dependerán del uso del lugar en el que se encuentre el receptor.

2.1.5.- Fuentes de Ruidos Externos

Según un estudio en España realizado por Centro de Investigaciones Superiores (CIS) el año 1999 sobre causas que originan ruido a una vivienda, este estudio dio a conocer una medición de un 100% de los ruidos producido y que llegan a una vivienda lleno desde el tráfico vehicular de entre 80 y 90 dB, Ruidos de comunidad entre los 50 dB, zonas industriales 100 dB, aeropuerto 120dB, centros urbanos 60 y 70 dB.

En la figura 2.3 se aprecia un gráfico que muestra las percepciones del sonido a ruidos habituales a los que se enfrenta el ser humano constantemente. De esta forma juntando todos esta contaminación acústica se puede ver en cual cantidad el ser humano absorbe estos sonidos y en qué nivel se ve perturbado por ellos.

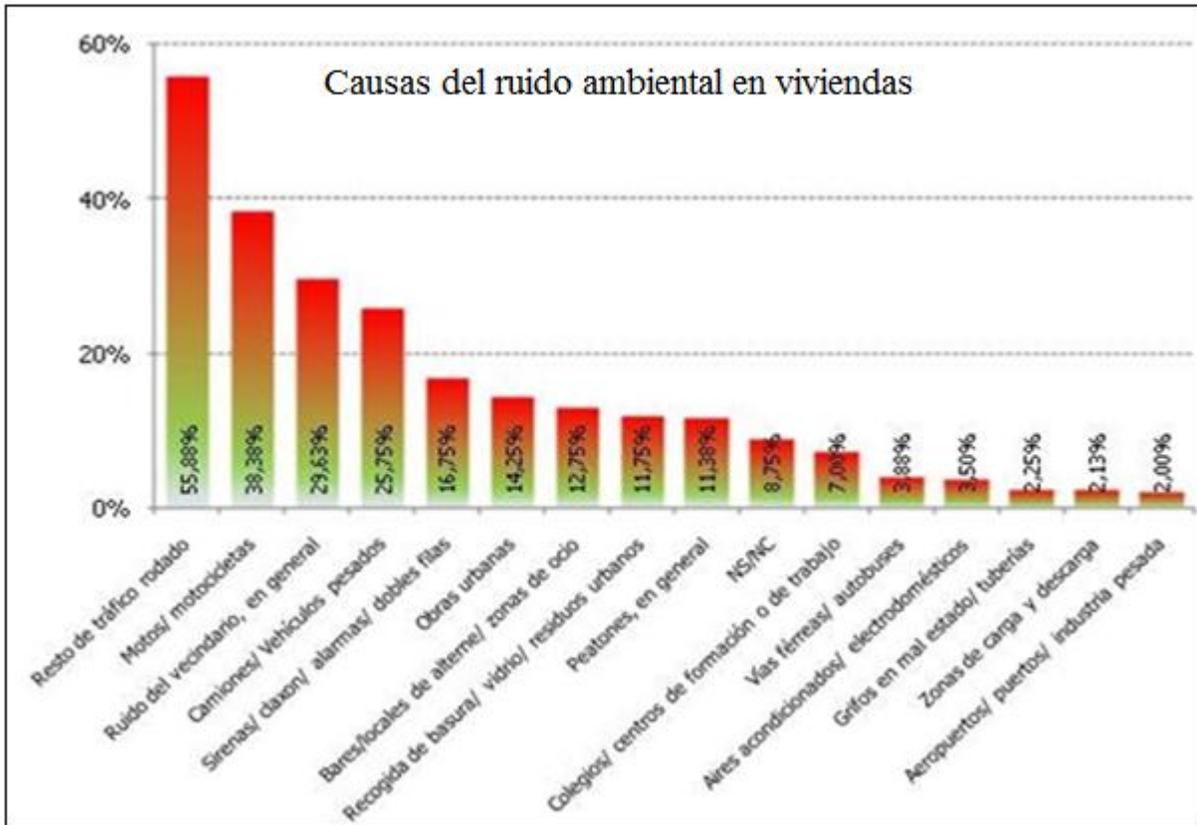


Figura 2.3.- Gráfico de percepciones de sonido (Fuente: LibroBlanco2008).

Las fuentes de ruido al interior de las viviendas provienen principalmente del uso que dan sus ocupantes productos de las pisadas, conversaciones y aparatos electrónicos; además ruidos producidos por los servicios e instalaciones como ascensores, vertido de basura, tuberías de artefactos sanitarios, aparatos empotrados y domésticos. [LibroBlanco2008].

También se debe considerar que afecta al ruido interior de la vivienda, el nivel de ruido exterior que es absorbido por la vivienda.

Los ruidos se propagan a través de múltiples caminos: paredes, puerta, ventanas, agravándose la situación cuando existe algún tipo de filtración o elementos constructivos y arquitectónicos que sirvan de ayuda para la amplificación de ruidos.

Dado esta necesidad de aislación sonora en viviendas se plantea el estudio de este panel compuesto, para lograr de esta manera un material con las prestaciones acústicas para la satisfacción de estas necesidades de aislación. El ruido producido por los diferentes emisores debe ser catalogado para las diferentes necesidades de aislación requerida, puesto que dependiendo del tipo de emisor será la intensidad de onda que necesita ser contenida.

2.1.6.- Penetración por propagación a través de cuerpos sólidos: Transmisión de impactos sonoros.

Corresponde a las vibraciones de materiales de la propia pared adyacente, con lo que se convierte en irradiadora de sonido ella misma. Estas vibraciones son producto de maquinarias en las edificaciones, del tránsito vehicular e incluso de los moradores de la vivienda.

El aislamiento del sonido consiste en impedir su propagación por medio de obstáculos reflectores. Se trata de interponer al sonido en su camino un medio cuya impedancia acústica sea lo más diferente posible de la del medio que lo conduce.

La transmisión de ondas sonoras a través de una partición de separación entre locales se produce diferencias de presión. Los elementos en estas condiciones de presión con aire infinitamente próximo producen su desplazamiento al llegar la onda sonora produciéndose de esta forma el choque de materiales y se causa de esta forma vibración. Así, parte de la energía sonora incidente es transmitida, y parte reflejada [Pérez2001].

Usualmente los estudios de transmisión de sonidos por impactos son considerados desde un ambiente a otro por medio de golpes, pero dado las investigaciones antes señaladas no solo este tipo de acción genera una transmisión de sonido mediante golpes, la capacidad que tienen algunos elementos para generar vibraciones en una edificación. Ejemplos de este tipo de vibración puede ser el tráfico vehicular en exterior de la vivienda o algo tan simple como una máquina de lavar (ropa o vajilla) generan grandes cantidades de vibración que necesitan ser disminuidas o en el mejor de los casos eliminadas.

Penetración por propagación a través de cuerpos sólidos: (Basado en Carrasco 2013)

- Vibraciones de paredes no adyacentes al recinto y que se propagan por el espesor de las paredes, radiándose al interior por las paredes laterales.
- Transmisión de impactos sonoros.
- Vibraciones de maquinaria que se propagan a través de la estructura del edificio.
- Vibraciones del material de la propia pared adyacente, con lo que se convierte en radiadora de sonido ella misma.

El aislamiento acústico depende de las características materiales de las superficies límites del recinto, las características del ruido y su distribución en frecuencia.

La transmisión de ondas sonoras a través de una partición de separación entre locales puede explicarse considerando que se propagan en forma de fluctuaciones de presión: un elemento de aire infinitamente próximo a la superficie se verá forzado a desplazarse al llegar hasta él la onda sonora, obligando a vibrar a la superficie sólida. Ésta actuará sobre el

elemento de aire próximo a ella en sentido opuesto a la onda sonora inicial. Así, parte de la energía sonora es transmitida, y parte reflejada.

El aislamiento de un elemento constructivo como una tabiquería se debe tener en cuenta las transmisiones de energía acústica propias del edificio y que transfieren ondas de vibratorias en su estructura que producen sonidos al golpear un elemento constructivo con otro. [Carrasco2013].

2.1.7.- Coeficientes de absorción del sonido

La densidad de energía sonora de una onda es la energía acumulada en un medio producida por un sonido que atraviesa una habitación en términos de la presión sonora. Después que esta onda ha sufrido una reflexión en una pared absorbente, la densidad de energía es disminuye en el próximo recorrido a través de la habitación. Definido como la relación de la energía absorbida a la energía incidente sobre la superficie.

A medida que la onda se propaga por la habitación encuentra las diversas superficies a diversos ángulos de incidencia. En una habitación grande e irregular, el numero de ondas que están propagándose simultáneamente es tan grande que todos los ángulos de incidencia son igualmente probables en cada una y todas las superficies. El coeficiente de absorción sonora debe tomarse entonces como promedio para todos los ángulos de incidencia. Los coeficientes de absorción sonora dados en las tablas publicadas se miden en lo posible en esta condición. Por lo tanto, puede tomarse directamente de las publicaciones oficiales.

$$\bar{\alpha} = \frac{S_1\alpha_1 + S_2\alpha_2 + S_3\alpha_3 + \dots + S_n\alpha_n}{S}$$

$$S = S_1 + S_2 + S_3 + \dots + S_n$$

(Ec . 2.1)

Fuente: Sound absorption Coefficient SAC 2005

Donde S_1, S_2, S_3, \dots son las áreas de las superficies absorbentes individuales, en m^2 ; $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \dots$ son los coeficientes de absorción asociados respectivamente con esas áreas; y $\bar{\alpha}$ es el coeficiente de absorción medio para la habitación en conjunto.

“Si las condiciones de este análisis, esto es, que hay ondas sonoras de aproximadamente igual densidad propagándose con igual probabilidad en todas direcciones, han de satisfacerse, es necesario "que ninguna parte de la habitación tenga preponderancia de material.) se ha escrito en la hipótesis de que $\bar{\alpha}$ es muy pequeño, o que las superficies tienen casi el mismo coeficiente de absorción. Es de práctica común en el diseño para condiciones acústicas satisfactorias que los materiales acústicos no se concentren sobre una parte de las superficies de la habitación. Por otra parte, es difícil que exista un campo sonoro difuso en

una habitación si a es mucho mayor que 0,3, porque las ondas se amortiguan rápidamente”. [SAC2005].

2.1.8.- Refracción del Sonido

El análisis de la evolución del sonido reflejado en un punto cualquiera de un recinto, se observan dos zonas de características diferentes: la primera es la zona que engloba todas las reflexiones tempranas y la segunda por reflexiones tardías o colas reverberantes. Se suele establecer un límite temporal para la zona de primeras reflexiones aproximada a 100ms desde la llegada directa del sonido. Ésta varía dependiendo de la forma y volumen del recinto.

Otra variable de gran importancia es la refracción de las ondas de sonido. Esta variable a analizar en el estudio necesita de investigación de su comportamiento y determinar las capacidades de refracción del panel compuesto frente a la metodología de ensayo diseñada para este [Beranek87].

Cuando el sonido choca con un objeto cuyo tamaño sea igual o mayor que su longitud de onda, se producirá una reflexión del mismo, dando origen al sonido indirecto.

Diversos factores influyen en la reflexión de sonidos. El más importante es el material con el que está constituido el objeto con el que choca, provocando refracción y absorción. La perjudicial es la que no logra ser absorbida y se refracta produciendo reverberación y eco. [Barrios,Perez2008].

En la tabla 2.3 se agrupan los coeficientes de reflexión de materiales de construcción y decoración.

Tabla 2.3.- Coeficientes de reflexión de materiales.

Material	Coefficiente de reflexión
Piedra lisa	95%
Madera	90%
Pared rugosa	80%
Pared de ladrillo	75%
Pared con relieves	64%
Bastidores de teatro	30%
Tapices de pared	25%
Cortinaje afelpado	20%

Fuente: Barrios,Pérez 2008

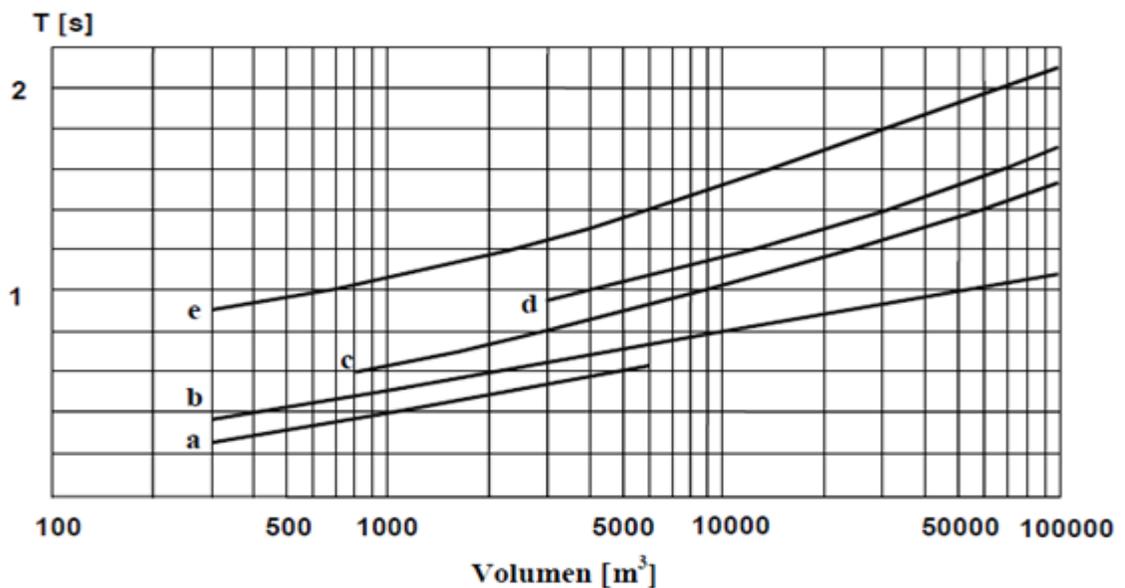
2.1.8.1.- Ecos

Todas aquellas reflexiones que llegan a un oyente dentro de los primeros 50 (milisegundos) desde la llegada del sonido directo son integradas por el oído humano y, en consecuencia, su percepción no es diferenciada respecto al sonido directo.

Por el contrario, la aparición en un punto de escuchar de una reflexión de nivel elevado con un retardo superior a los 50 ms es totalmente contraproducente para la obtención de un buen entendimiento de la palabra, ya que es percibida como una repetición del sonido directo. En tal caso, dicha reflexión se denomina eco. El retardo de 50 ms equivale a una diferencia de caminos entre el sonido directo y la reflexión de, aproximadamente, 17 ms. [Carrión98].

En base a lo anterior mencionado los ecos pueden ser de utilidad dependiendo del lugar en el que se apliquen, pero un exceso de estos genera que el oído no pueda tener una percepción clara de la emisión. Un eco con valores altos de retardo generan un ambiente molesto y de poca claridad, esto al producirse la mezcla de sonidos por la constante refracción.

Acá la figura 2.4 representa un gráfico presentado por el investigador L.L. Beranek en el tiempo y volumen de varios recintos.



Tiempo de reverberación óptimo en función del volumen de una sala (según L. L. Beranek). (a) Estudios de radiodifusión para voz. (b) Salas de conferencias. (c) Estudios de radiodifusión para música. (d) Salas de conciertos. (e) Iglesias.

Figura 2.4.- Gráfico Tiempo y Volumen en Recintos. Fuente: Laboratorio de acústica Instituto de Tecnología De Massachusetts 1987.

2.1.9.- Absorción acústica en cámara de Aire

Las cámaras de aire son utilizadas para generar otro medio por el cual una onda de sonido debe atravesar produciendo de esta manera mayor absorción. Las ondas de sonido en las cámaras de aire tienden a producir refracciones de onda las cuales son aminoradas en la cámara y al mismo tiempo absorbidas por los materiales que la conforman.

Las vibraciones de sonido producidas por impacto también logran ser atenuadas en el interior de las cámaras de aire, generando el mismo fenómeno anteriormente descrito, de esta manera la absorción y disipación de sonido es incrementada gracias a una cámara de aire al interior de elementos y materiales. Una cámara de aire puesta en el interior de esta pared aumenta la capacidad de absorción de sonido mediante el rebote y el deterioro de ondas sonoras al pasar de un estado a otro [Pérez2001].

2.2.- Descripción Aislamiento Acústico

Las pérdidas por transmisión indican la capacidad de una pared para no transmitir las ondas sonoras. Estas pérdidas dependen sobre todo de su masa por unidad de área, su rigidez y el amortiguamiento en el [Pérez,op.cit,2001].

El aislamiento acústico total de un recinto se determina mediante el aislamiento acústico de todos los límites y depende tanto del nivel de ruido existente en el exterior del recinto como del nivel de ruido máximo en el interior del recinto.

El traspaso de sonido a través de las estructuras, en especial las tabiquerías, es el punto principal a resolver, y para resolver este problema es de fundamental importancia cual será el método de aislación acústica, por ende los materiales para su aislamiento es el tema a investigación.

- Aislamiento acústico de cerramientos simples:

Se considera como cerramiento simple cualquiera que esté formado por una sola capa de material o por varias capas unidas rígidamente entre sí de forma que frente a la vibración acústica se comporte como un solo cuerpo vibratorio. El aislamiento acústico a ruido aéreo de este tipo de cerramientos depende principalmente de la masa por unidad de superficie (m) de los mismos. [MINVU2013].

Estas mediciones se realizan para todas las bandas de frecuencia, obteniéndose una tabla o gráfico de valores. Este gráfico se contrasta con una curva de referencia (ISO 717/1) y el valor de esta curva en 500 Hz corresponde al Índice de Reducción Acústica Aparente Ponderado

La Figura 2.5 representa los valores de aislamiento calculados para distintos valores de masa por unidad de superficie.

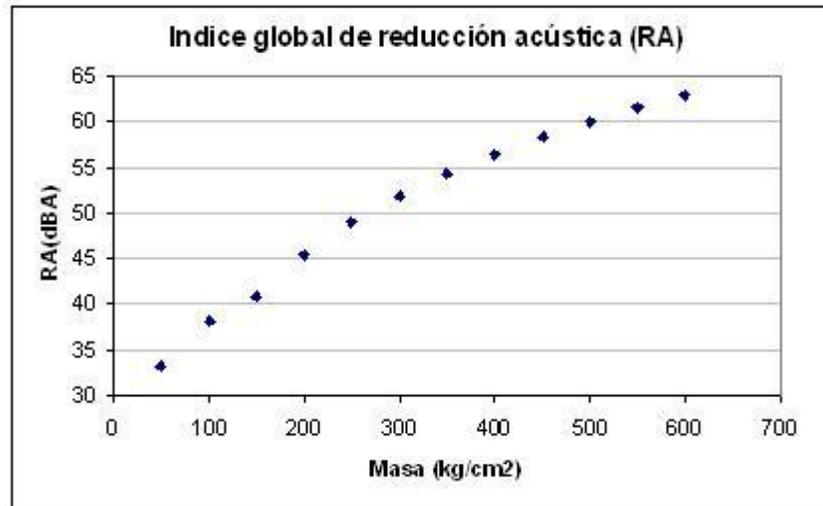


Figura 2.5.- Índice de Reducción Acústica (Fuente: MINVU2014)

2.3.- Descripción de Materiales

Se consideran absorbentes sonoros aquellos materiales o conjuntos que disponen de elevados coeficientes de absorción sonora en todo o parte del espectro de frecuencias audibles.

Los considerados aquí con características de material acústico, son los materiales porosos, el resto son dispositivos y estructuras absorbentes. Estos materiales porosos están constituidos por un medio sólido (esqueleto), recorrido por cavidades más o menos tortuosas (poros) comunicadas con el exterior.

Una onda acústica al llegar sobre la superficie del material, un importante porcentaje de la misma penetra por los poros, haciendo vibrar la fibra, con lo que parte de la energía acústica se transforma en energía cinética. Lógicamente, la absorción de energía acústica por estos materiales dependerá mucho de su porosidad, aunque también tiene mucho que ver el espesor de la capa de aislante, y la frecuencia de la onda. Los materiales porosos, para obtener un grado de absorción del 99%, necesitan un espesor determinado para cada frecuencia.[Tipler2002].

El comportamiento acústico conviene distinguir entre materiales de esqueleto rígido y flexible. En los primeros, el coeficiente de absorción acústica aumenta con la frecuencia, siendo absorbentes preferentes de frecuencias altas, mientras que los segundos presentan resonancias de absorción a frecuencias altas y medias.

“Una disminución en el espesor del material origina una disminución en el coeficiente de absorción” [Tipler,op.cit,2002].

En la Tabla 2.4 corresponde a una lista recopilada de materiales en función a su espesor y a su coeficiente de absorción, en el cual la tendencia es clara; a mayor espesor mayor es el coeficiente de absorción.

Tabla 2.4.- Coeficientes de absorción a materiales.

Material	Coeficiente de absorción α a la frecuencia					
	125	250	500	1.000	2.000	4.000
Espuma de poliuretano (Fonac) 35 mm	0,11	0,14	0,36	0,82	0,90	0,97
Espuma de poliuretano (Fonac) 50 mm	0,15	0,25	0,50	0,94	0,92	0,99
Espuma de poliuretano (Fonac) 75 mm	0,17	0,44	0,99	1,03	1,00	1,03
Espuma de poliuretano (Sonex) 35 mm	0,06	0,20	0,45	0,71	0,95	0,89
Espuma de poliuretano (Sonex) 50 mm	0,07	0,32	0,72	0,88	0,97	1,01
Espuma de poliuretano (Sonex) 75 mm	0,13	0,53	0,90	1,07	1,07	1,00
Lana de vidrio (fieltro 14 kg/m ³) 25 mm	0,15	0,25	0,40	0,50	0,65	0,70
Lana de vidrio (fieltro 14 kg/m ³) 50 mm	0,25	0,45	0,70	0,80	0,85	0,85
Lana de vidrio (panel 35 kg/m ³) 25 mm	0,20	0,40	0,80	0,90	1,00	1,00
Lana de vidrio (panel 35 kg/m ³) 50 mm	0,30	0,75	1,00	1,00	1,00	1,00
Parquet	0,04	0,04	0,07	0,06	0,06	0,07
Parquet sobre asfalto	0,05	0,03	0,06	0,09	0,10	0,22
Panel cielorraso Spanacoustic (Manville) 19 mm	–	0,80	0,71	0,86	0,68	–
Panel cielorraso Acustidom (Manville) 4 mm	–	0,72	0,61	0,68	0,79	–
Panel cielorraso Prismatic (Manville) 4 mm	–	0,70	0,61	0,70	0,78	–
Panel cielorraso Profil (Manville) 4 mm	–	0,72	0,62	0,69	0,78	–
Panel cielorraso fisurado Auratone (USG) 5/8"	0,34	0,36	0,71	0,85	0,68	0,64
Panel cielorraso fisurado Cortega (AWI) 5/8"	0,31	0,32	0,51	0,72	0,74	0,77

Fuente: Laboratorio de acústica Instituto de Tecnología De Massachusetts 1987

Un elemento que interviene en la absorción acústica, sobre todo a las bajas frecuencias, es el espesor del volumen de aire existente entre el material y la superficie rígida que lo soporta. Este volumen incluye el aire de los poros del material y cualquier espacio de aire entre el material y el soporte.

Dado esto se ha considerado una cámara de aire entre materiales, dado que la absorción acústica se producirá en este espacio entre materiales logrando mayor disipación de la onda sonora, por lo que el coeficiente de absorción incrementara al tener un volumen de aire. Este volumen de aire se vuelve otra variable a analizar considerando el hecho que a más volumen de aire mayor puede ser la absorción pero también incrementa en espesor el panel y disminuye el espesor de los materiales.

Un coeficiente de absorción a baja frecuencia de cualquier material decrece al disminuir la frecuencia, a partir de una frecuencia determinada por el espesor del volumen de aire, que puede determinarse aproximadamente por la relación $f = c/2d$, donde f es la frecuencia (Hz) y d es la anchura de la cámara de aire (m). [Tipler, op, cit, 2002].

Los materiales a utilizar en el diseño del Panel Compuesto corresponden al Poliéstireno expandido y la espuma de Poliuretano, ambos con diferentes características y prestaciones como materiales de construcción. En la tabla 2.5 se puede ver las condiciones y características de los materiales a utilizar, estas características corresponden a las entregadas por los desarrolladores de estos materiales.

Tabla 2.5.- Descripción y características de materiales.

Material	Densidades (kg/m ³)	Espesores	Normativas
Espuma de Poliuretano	Flexible débil: 12-15 kg/m ³ Flexible: 15-30 kg/m ³ Rígidos: 30-60 kg/m ³	Espesores considerado diseño anecoico: 20 mm. 35 mm. 50 mm. 75 mm.	NCh: 2785 of 2003 NCh: 2786 of 2003 ISO 717/1 Manual MINVU 2006
Poliéstireno expandido	10, 15, 20, 25 y 30 kg/m ³	Espesores varios desde 10mm a 160mm	NCh: 853 of 91 NCh: 1070 of 84

Fuente: Confección propia basado en datos BASF Poliéstireno Expandido y Sonoflex Espuma de Poliuretano.

2.3.1.- Espuma de poliuretano

Polímero que resulta de la polimerización de un polialcohol con un polisocianato; es un producto plástico muy utilizado en la industria.

La resiliencia es lo que se conoce como la “capacidad de memoria” que posee un poliuretano flexible, esto se refiere a la resistencia que posee a la deformación por compresión mecánica. Es muy útil para generar aislaciones acústicas y térmicas se puede encontrar en forma de rollos y de planchas de alta densidad.

2.3.1.1.- Comportamiento Acústico de la espuma de Poliuretano

La espuma de Poliuretano tiene una gran cantidad de los poros y burbujas en su interior, cuando las ondas de sonido ingresan en la espuma de Poliuretano pueden causar vibraciones en la brecha de aire, la condición de porosidad interior y densidad inferior al Poliuretano lo convierten en un material en que la onda de sonido puede ser absorbida. Esta absorción es por medio de la composición molecular que atrapa parte de la energía de la onda de sonido debilitando su intensidad.

Las características acústicas dadas por los fabricantes actuales da a entender que este material se comporta de buena manera en la aislación de sonido, pero el diseño que se propone en este estudio tiene como meta combinarlo con otro material y de esta manera lograr aun más prestaciones acústicas que su utilización por separado.

Condiciones actuales de ventas:

La densidad: 14~60kg/m³

L2000mm w1500mm x, según la medida

De espesor: 30mm, o 50mm según la medida

Tipo: huevo- cajón, pirámide, de onda

Color: Rojo, Verde, Plomos, Amarillos

Diseño: Anecoico

Estas condiciones de venta de los fabricantes actualmente a nivel nacional e internacional.

2.3.1.2.- Estudios a espuma de Poliuretano

El año 2002 B. Frutos y M. Olaya del Instituto de Ciencias de la Construcción de Madrid pusieron a prueba la espuma de poliuretano como aislamiento acústico de ruidos aéreos.

La metodología realizada para las pruebas fue con sonómetro y se realizaron mediciones en distintos sectores de una edificación del Instituto Eduardo Torroja y obtuvo los siguientes resultados expresados en la tabla 2.6 y figura 2.6 Este gráfico y tabla corresponde a las originales publicadas por el autor.

Tabla 2.6.- Resultados de Mediciones Acústicas Estudio Instituto E. Toroja.

Frecuencia (Hz)	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
100	26,9	32,1	33,5	38,1	30,6	37,3	39,4	40,2	34,0
125	32,3	33,5	34,3	37,4	34,9	34,3	39,2	38,8	34,4
160	28,5	31,5	32,3	31,8	34,7	40,5	41,8	37,0	31,5
200	30,7	35,2	34,7	37,4	35,8	38,5	43,1	38,3	32,4
250	31,6	33,5	34,8	36,8	35,3	40,1	43,1	41,2	30,7
315	27,6	33,9	34,6	38,0	36,6	42,9	42,9	41,6	32,6
400	32,4	39,5	39,4	40,8	40,7	46,6	47,1	42,8	29,6
500	36,7	43,7	43,0	45,8	44,7	49,5	51,1	43,0	27,6
630	38,4	46,5	47,0	49,5	47,7	53,0	53,2	43,8	25,8
800	39,2	48,5	48,7	52,0	49,6	53,8	54,5	44,4	25,9
1000	40,8	50,1	49,8	53,4	51,7	55,2	54,9	45,7	25,5
1250	42,5	51,3	51,3	54,1	51,8	55,1	55,6	46,1	27,3
1600	43,5	52,2	52,3	54,6	52,8	56,1	59,3	48,5	30,5
2000	44,6	54,3	54,1	55,9	52,0	58,0	58,9	51,4	33,6
2500	45,8	55,2	54,8	55,3	50,3	58,1	59,8	52,5	37,0
3150	45,9	56,4	55,1	53,9	48,8	59,5	61,9	54,7	39,2

Fuente: Estudio Instituto Ciencias de la Construcción

Descripción

- S1. Fábrica de ladrillo.
- S2. Fábrica de ladrillo más dos centímetros de espuma rígida de poliuretano proyectada de densidad 30 kg/m³.
- S3. Fábrica de ladrillo más tres centímetros de espuma rígida de poliuretano proyectada de la misma densidad.
- S4. Fábrica de ladrillo más cuatro centímetros de espuma rígida de poliuretano proyectada de la misma densidad.
- S5. Fábrica de ladrillo más cinco centímetros de espuma rígida de poliuretano proyectada de la misma densidad.
- S6. Fábrica de ladrillo más cinco centímetros de espuma rígida de poliuretano proyectada de la misma densidad, cámara de aire de quince centímetros, más otra hoja de cartón yeso de un centímetro y medio fijada a perfiles metálicos.
- S7. Fábrica de ladrillo más cinco centímetros de espuma rígida de poliuretano proyectada de la misma densidad, cámara de aire de quince centímetros con paneles de lana de roca incorporada de cuatro centímetros y densidad 100 kg/m³, más otra hoja de cartón yeso de un centímetro y medio soportada en perfiles metálicos.
- S8. Fábrica de ladrillo más cinco centímetros de espuma rígida de poliuretano proyectada de la misma densidad, cámara de aire de cinco centímetros más panderete de cuatro centímetros más un centímetro y medio de enlucido de yeso por la cara vista.
- S9. Panderete de cuatro centímetros más un centímetro y medio de enlucido de yeso por la cara vista.
-

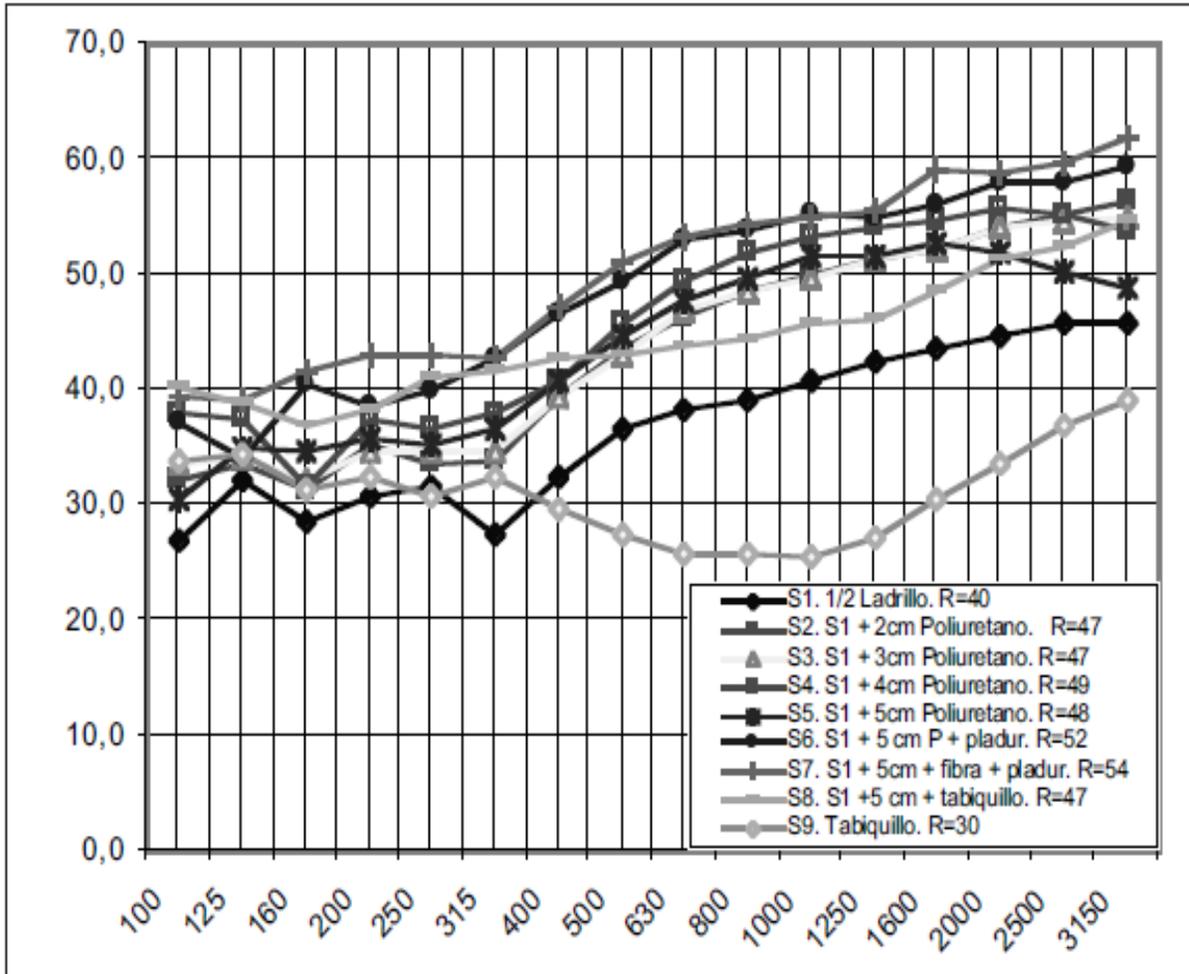


Figura 2.6.- Gráfico de Absorción Acústica en dBA (Fuente: Toroja2002).

La espuma de poliuretano es relevante en la aislación de sonidos, es por ello que será utilizada como aislante y absorbente acústico dado sus prestaciones. Este estudio logra buenos datos de comportamientos acústicos los cuales son tomados en cuenta para el diseño tanto de la metodología de investigación, ensayos e interpretación de datos.

Es por ello que por medio de esta experiencia la espuma de poliuretano al aumentar su espesor aumenta la capacidad de refracción y no tanta la de absorción por lo que el material si fuera utilizado en formas de alta densidad provocaría una refracción del sonido más que una absorción, por ello altas densidades evitan el traspaso de sonido pero con ello genera eco por lo que el sonido será refractado y no absorbido.

En el año de 1993 Cumming y Beadle sostuvieron una investigación a 12 muestras de Espuma de Poliuretano y lograron un modelo matemático a partir de las medidas realizadas.

En su trabajo se realizó una caracterización de las 12 Espumas de Poliuretano. El rango de variación en los materiales que estos autores investigaron es de 10 a 100 poros/pulgada y los valores de la resistividad al flujo oscilan entre 60 y 6230 Rayls/m. Ensayaron dos espumas de poliuretano con densidades de 31 y 23 kg/m³. Las porosidades de estos materiales son cercanas a la unidad 0'973 y 0'98.

Los resultados dieron a conocer que los parámetros acústicos de un medio poroso dependen de sus características geométricas de la microestructura del material y el gas al interior de los poros. En la figura 2.7 muestra una espuma de Poliuretano analizado por Cumming y Beadle (1993) para su análisis microscópico de las características geométricas.

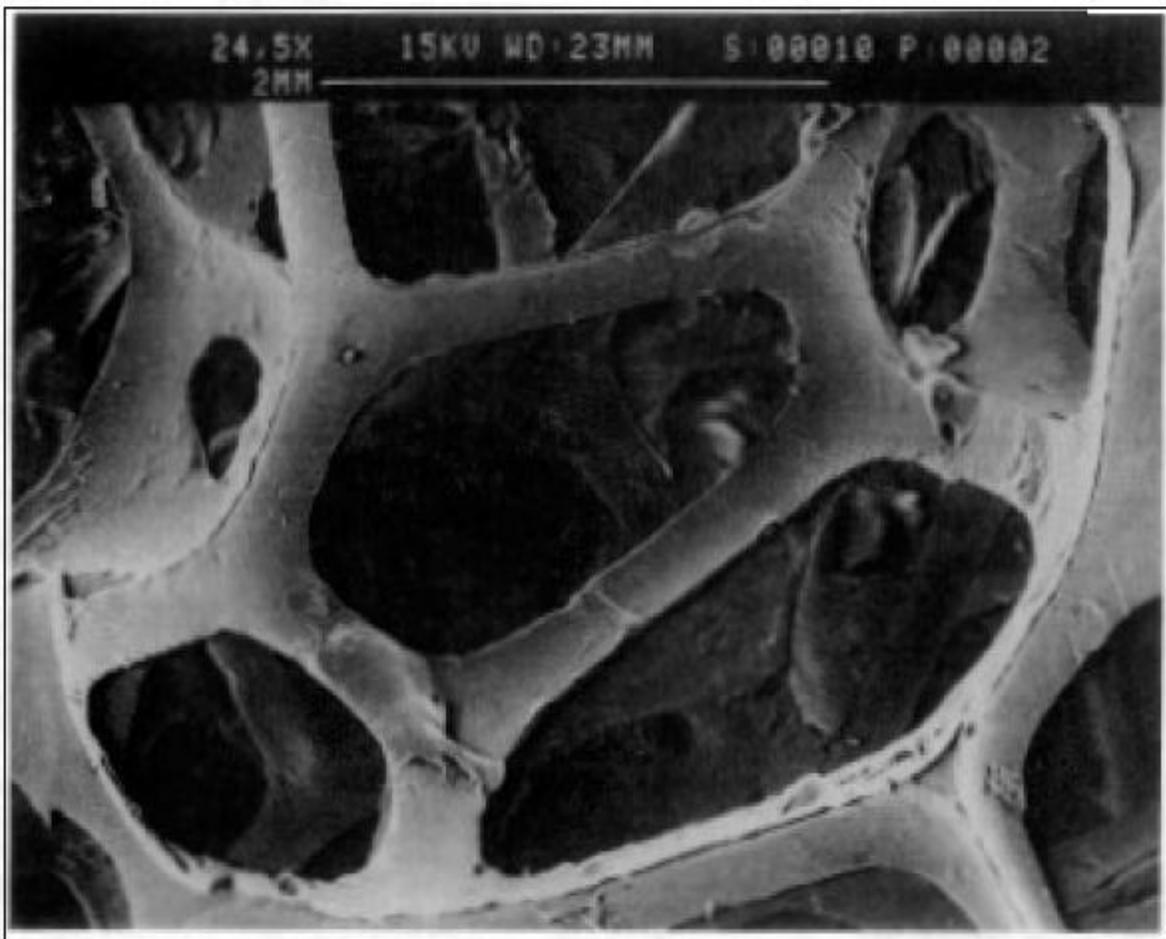


Figura 2.7.- Fotografía microestructura de espuma de poliuretano (Fuente Cumming y Beadle 1993).

En la figura 2.8 se muestra sus resultados en función de B y K se expone en escala de logaritmos versus diámetro de células D y D² respectivamente. Este grafico propuesto por Cummings y Beadle fueron valores recalculados para asociar los valores de los 12 tipos de Espumas de Poliuretano.

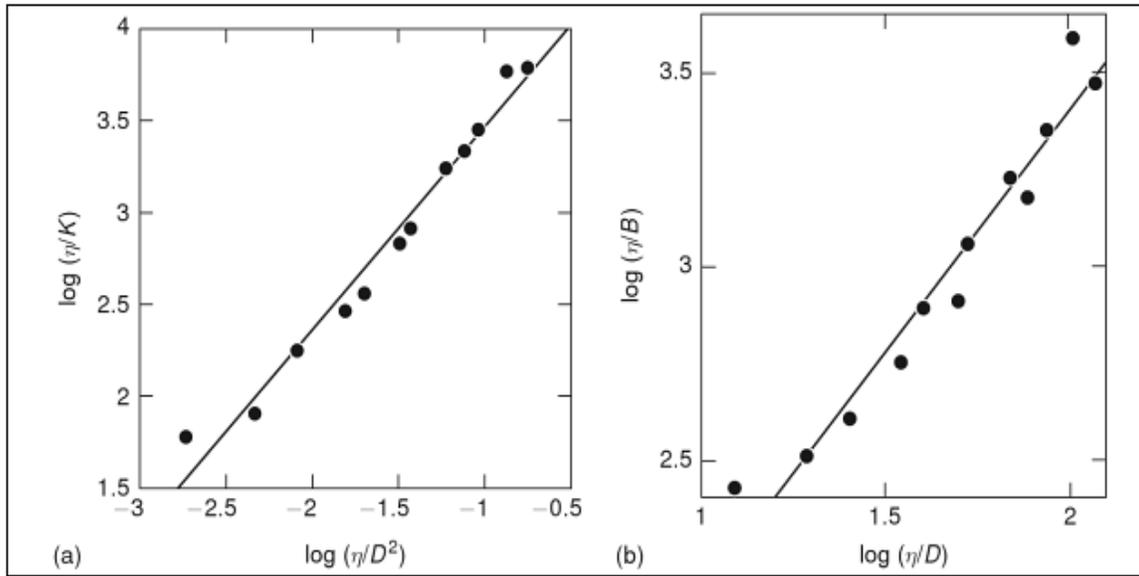


Figura 2.8.- Variación de B y K con respecto a diámetros de células (Fuente Cumming y Beadle 1993).

En Europa, específicamente en Italia una de las empresas de desarrollo de materiales con prestaciones acústicas es NDA, ellos han puesto a prueba a la espuma de Poliuretano en diferentes medio y han desarrollado varios diseños. Por medio de estos estudio se logran buenos resultados, como los mostrados en su catalogo calificado y acreditados por las normas italianas e internacionales. Acá el ejemplo gráficos en las figuras 2.9 y 2.10 de dos diseños y sus prestaciones acústicas de catalogo NDA Italia catalogo 2013.

Gráficos de absorción de sonido dado el diseño NDA catálogo

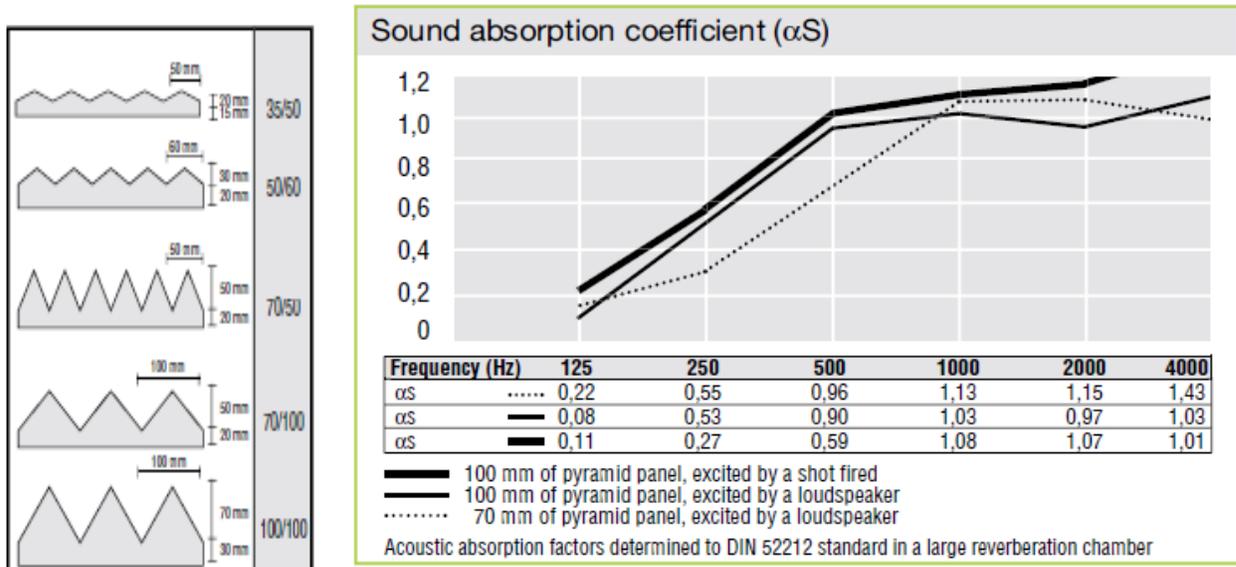


Figura 2.9.- Gráficos Espuma de Poliuretano en forma Piramidal y Aneconico. (Fuente: NDA2013).

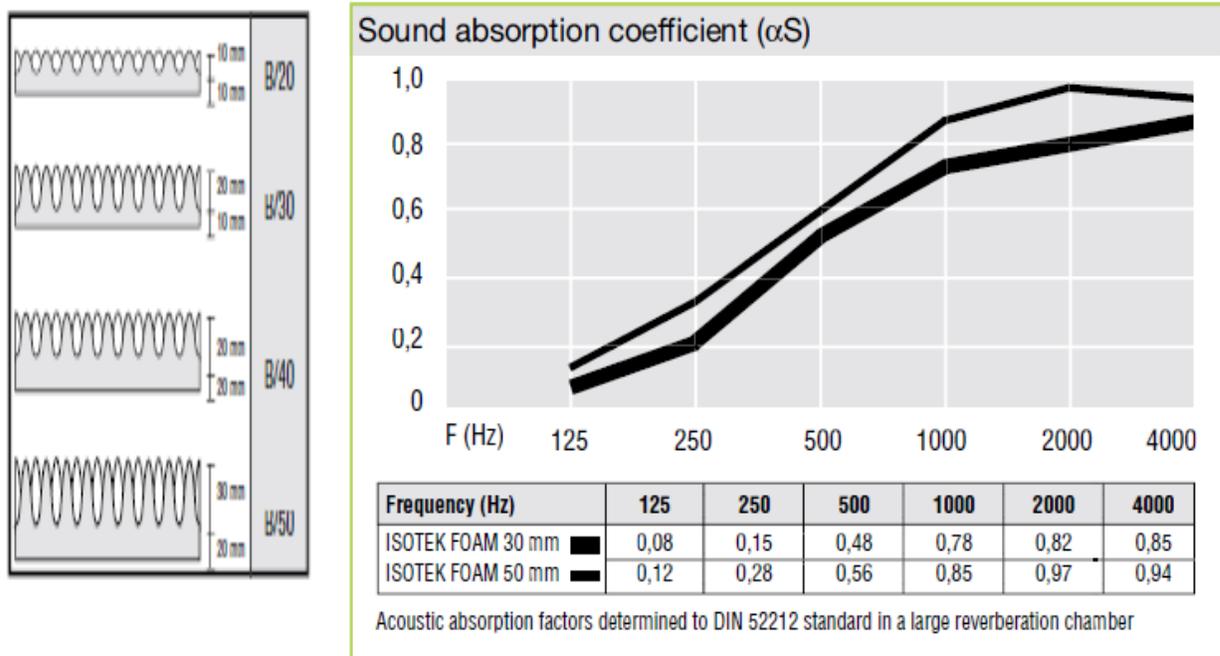


Figura 2.10.- Gráficos Espuma de Poliuretano en forma Cerros y Aneconico. (Fuente: NDA2013).

Los valores entregados por empresas que constantemente buscan nuevas aplicaciones para la espuma de Poliuretano nos dan a conocer que actualmente el material tiene buenas prestaciones acústicas en solitario y considerado siempre un material para ser utilizado en el exterior de la tabiquería y no en su interior afectando de esta forma la estética de la vivienda, y es de mas decir que la estética del lugar habitacional es de gran importancia para un desarrollo conforme a las necesidades de vida de cada individuo.

2.3.2.- Poliestireno Expandido

Materia plástica que se obtiene por polimerización de estirenos, muy utilizada industrialmente para fabricar lentes y aislantes térmicos.

Sus formas de presentación más usuales son la laminar que se usa para muchas aplicaciones y se denominan con la letra D y un número q explica u densidad aparente (Diccionario Real Academia de la Lengua).

Características:

En una estructura este material posee un sin número de esferas envoltentes con aire entre ellas y juntas con una soldadura para que logren estar lo más próximas posibles. Estas esferas soldadas forman una masa liviana por el aire encerrado dando esto capacidades de aislación térmica de un 98% y aislamiento acústico del tipo por impacto.

De lo anterior, aunque el Poliestireno Expandido no está diseñado primordialmente para una aislación acústica dado que sus prestaciones son más del campo de la aislación térmica. De igual manera el espacio de aire que queda entre las perlas juntas ayuda a la absorción de sonido.

A pesar del bajo peso del Poliestireno Expandido, destacan sus propiedades físico-mecánicas. Tiene una adecuada resistencia a la compresión, corte, flexión, tracción y también una buena elasticidad.

El Poliestireno Expandido usado en las construcciones en auto extinguido (no propagador de llama). Frente a un fuego expuesto, la carga combustible es despreciable en relación a la mayoría de los materiales componentes de una edificación.

Dentro de otras características se encuentra su estabilidad dimensional en el tiempo, su higiene, su resistencia al envejecimiento, su resistencia a hongos, parásitos y bacterias de putrefacción. No es alimento de roedores, ni de insectos. Posee un amplio espectro de aplicación térmica. Además, es flexible para trabajar, inodoro, de fácil manipulación, es reciclable, no tóxico y no contiene compuestos como clorofluoro- arbonados y no daña la capa de ozono. Al no ser un producto biodegradable, mantiene su inalterabilidad en el tiempo, lo que le permite una larga vida útil [ANPES2011].

El Poliestireno expandido resulta buen aislante acústico ante sonidos por impacto por lo que en tabiquerías que estén expuesta a alguna clase de vibración en que los materiales tienen contacto constantemente y sufran de golpes por vibración de ondas de sonido por ello y dadas sus otras propiedades tanto térmicas, ignífugas, imputrescible y de bajo costo, lo hacen el acompañamiento ideal en el diseño junto a la espuma de Poliuretano.

Función y utilización de Poliestireno Expandido:

La función será la de la absorción de sonido, por ello se pondrá a prueba las diferentes densidades de este para de esta forma lograr obtener una mejor absorción de sonido.

Para la experimentación con el Poliestireno expandido se usara planchas *Aislapol* de densidad normal de espesor 20, 30 y 40 mm. Referente a NCH 1070 Of 84 y otras de misma marca *Aislapol* de superiores densidades desde 20 hasta 30 kg/cm³, sin lograr la alta densidad puesto no es la finalidad la refracción sino la disipación final del sonido. Se analizara las de densidad tipo 30 y kg/cm³ y se utilizara la más adecuada para la confección y propiedades acústicas.

Función y utilización del Poliuretano:

La espuma de Poliuretano colocada en medio de las dos planchas de Poliestireno, la forma de sus dos caras será Anecoico (ver figura 2.11). Estos diseños serán especialmente hechos para la disipación y absorción de ondas de sonido, puesto que su forma lograra la

ruptura de estas ondas. Por lo tanto la función principal del Poliuretano será la refracción de sonido apoyado por el diseño mencionado.



Figura 2.11.- Espumas de Poliuretano (Fuente: NDA2013).

Como resultado final obtenemos un panel compuesto de Poliestireno expandido y espuma de Poliuretano adherida a esta con un cosido de hilo de algodón aplicado en las puntas de los diseños dejando de esta forma aire entre ambas planchas necesarios para que el diseño de la espuma de Poliuretano tenga efecto en la ruptura de la onda y evitar la reverberación; de igual manera el aire propio entre perlas del Poliestireno terminara con lo que queda de la onda acústica dando una pequeña absorción y disipando el sonido de una habitación a la otra. El cosido se realizara con hilo fino de algodón para evitar el zumbido de este y tenga alguna interferencia en las mediciones y las características acústicas del Panel Compuesto.

2.4.- Normativa vigente para ensayos acústicos.

Base inicial:

- Para índice de reducción acústica en elementos constructivos verticales y horizontales de acuerdo al método de ensayo especificado en NCh 2786, ponderado según ISO 717-1.
- El Informe de Ensayo deberá especificar en detalle los materiales y la solución constructiva que conforma el elemento sometido a ensayo.

Inspección:

- Para índice de reducción acústica aparente en elementos constructivos verticales y horizontales de acuerdo al método de ensayo especificado en NCh 2785, ponderado según ISO 717-1.
- El Informe de Inspección deberá especificar en detalle los materiales y la solución constructiva que conforma el elemento sometido a inspección.

Dichos informes deberán ser emitidos por un laboratorio con inscripción vigente en el Registro Oficial de Laboratorios de Control de Calidad del Ministerio de Vivienda y Urbanismo [Knauf2013].

Como base de ensayo tenemos la metodología utilizada por empresas nacionales para poner a prueba sus productos con prestaciones acústicas, para ello se basan en las NCH y en las ISO vigentes. Por ello por medio de estas restricciones utilizadas y aprobadas con sus respectivos márgenes de calidad. Estos parámetros son necesarios para cumplir con las normativas vigentes y utilizadas por las empresas que desarrollan materiales con prestaciones acústicas.

2.5.- Metodología actual MINVU para análisis de aislación de edificaciones en terreno

- El método está diseñado para medir el aislamiento al ruido aéreo de un elemento o configuración horizontal o vertical (según normas NCh 2785.Of2003 y NCh 2786.Of2003).
- Una fuente generadora de ruido se ubica en la sala emisora. Mientras se emite ruido rosa se registran, mediante un sonómetro, el nivel de presión sonora en la sala emisora y en la sala receptora.
- Se debe registrar también el Tiempo de Reverberación en la sala de recepción, para que mediante un cálculo simple, obtener la Absorción Acústica equivalente de la sala.
- Estas mediciones se realizan para todas las bandas de frecuencia, obteniéndose una tabla o gráfico de valores.
- Este gráfico se contrasta con una curva de referencia (ISO 717/1) y el valor de esta curva en 500 Hz corresponde al Índice de Reducción Acústica Aparente Ponderado [Minvu 2006].

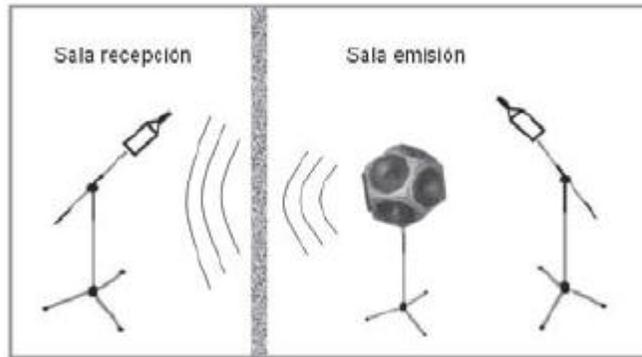


Figura 2.12.- Montaje para toma de traspaso de sonido. (Fuente: MINVU 2013)

La metodología a utilizar en este estudio de prestaciones acústicas es una modificación a la utilizada por MINVU (ver figura 2.12). Estas modificaciones que consisten en llevar las condiciones utilizadas por MINVU a una escala más pequeña usando el Panel Compuesto como elemento de separación de ambientes son pensados y adaptados en forma especial para este caso. Además de algunos cambios técnicos como el espacio y la forma de toma de muestras, puesto que esto tiene variaciones dado los objetivos propuestos y las variables a analizar acústicamente. El emisor de frecuencias será similar, pero se diseñara para lograr obtener mejores lecturas del traspaso de frecuencias por el panel compuesto y no algo tan estándar como solo probar la cantidad de sonido que traspasa de una habitación a otra.

Esta metodología modificada simplifica los puntos utilizados en la normas NCh 2785.Of2003 y NCh 2786.Of2003 en las cuales se utilizan las mediciones de absorción de sonido desde el punto de vista del volumen de la sala de emisión y el volumen de la cámara de recepción de sonido.

Los cálculos para medición de diferencias de nivel de sonido para presión acústica utiliza la siguiente expresión según la NCh 2785.Of2003 y NCh 2786.Of2003.

Diferencias de Nivel

$$D = L1 - L2 \quad (\text{Ec. 2.2})$$

L1 = Nivel de presión promedio en recinto de emisión en dB

L2 = Nivel de presión promedio de recinto de recepción en dB

Esta fórmula de cálculo será utilizada para la realización de la experiencia y determinar la capacidad de absorción del Panel Compuesto.

2.6.- Palabras finales

Dada la recopilación de información antes mencionada, realizar una mezcla de estos materiales de construcción para lograr un panel con prestaciones acústicas es viable. Las propiedades absorbentes de la espuma de Poliuretano, la absorción por impacto que proporciona el Poliestireno expandido y la cámara de aire que se forma al unirlos, genera un panel con características acústicas importantes.

La creación de un Panel Compuesto de estas características acústicas dará solución a los problemas de contaminación acústica actuales, por lo que ayudara a mejorar la calidad de vida de las personas.

3.- Desarrollo de la Investigación

El desarrollo de esta investigación se llevará a cabo mediante mediciones experimentales para obtener resultados del coeficiente de absorción del panel acústico. Ésta es la variable principal a estudiar, sumado al estudio de refracción y disipación de sonido. El coeficiente antes mencionado será estudiado en forma particular y para ello se utilizará una metodología de investigación y trabajo especialmente diseñada para este panel.

La metodología a desarrollar corresponde a una adaptación de la metodología actual utilizada por MINVU, en Chile, para la medición de traspaso de sonido, y metodologías a nivel internacional utilizadas por grandes empresas especializadas en la investigación y desarrollo de materiales con propiedades acústicas. La metodología MINVU corresponde a la medición de sonido desde su emisor para luego tomar una segunda medición en la otra habitación. El resultado de la resta de la medición Exterior y la medición Interior tendrá como resultado la cantidad de dB de absorción del lugar.[MINVU2013].

3.1.- Estudio de probetas

Para el diseño se utilizarán las 2 planchas de Poliestireno expandido: la plancha de espuma de Poliuretano con diseño Anecoico (Pirámides, cerros y triángulos) en ambas caras de la plancha para refracción, absorción y disipación de onda de sonido. En la figura 3.1 se aprecia el diseño que tendrán las probetas del Panel Compuesto.

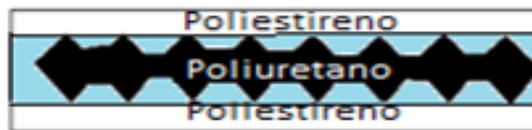


Figura 3.1.- Diseño de Panel Compuesto.

Los materiales a utilizar fueron adquiridos y previamente testeados para garantizar que sus propiedades cumplen con las normas chilenas NCh 2785/2786.Of2003, NCh 853 Of1991 y NCh Of1984.

Las dimensiones de las probetas serán de 100x 50 cm. Estas dimensiones son considerando los diseños actuales reglamentados por empresas de desarrollo de materiales para la construcción que están vigentes en el mercado, pese a que no existe una norma tal para la dimensión estándar de planchas son consideradas estas dimensiones dado los materiales actuales a utilizar y su presentación de venta en estos formatos.

La espuma de poliuretano con diseños y de diferentes densidades será obtenido de la empresa Sonoflex en su formato Anecoico (diseño con cerros, triángulos, formaciones) con espesores de 20 y 35mm. De densidad 11 kg/m^3 28 kg/m^3 y 32 kg/m^3 . Ver Figura 3.2

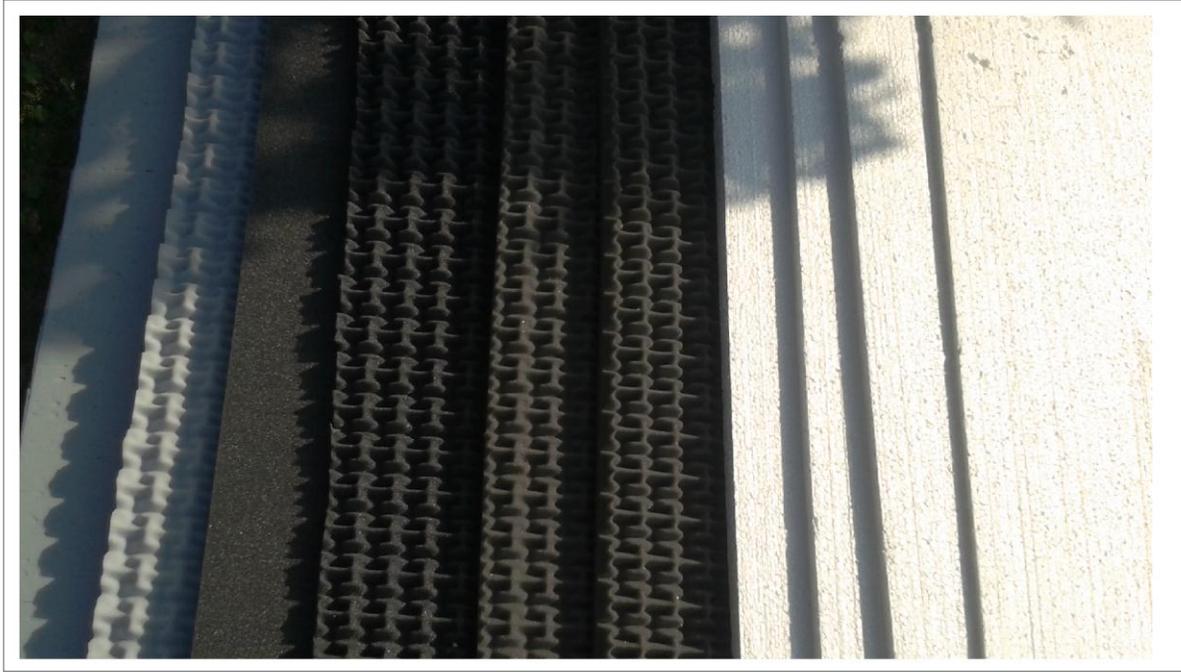


Figura 3.2.- Espuma de Poliuretano y Poliestireno Expandido para diseño de probetas.

El Poliestireno expandido se obtendrá a través de la empresa Aislapol de espesores 10, 20, 30 y 30 mm.

Probetas de análisis

Las configuraciones de las probetas serán realizados utilizando todas las combinaciones posibles de los materiales, combinando sus espesores y densidades en función del mercado actual. Las configuraciones quedaran de la siguiente forma:

Probetas Tipo 1: Espuma Poliuretano Anecoica Class 1 Densidad 11 kg/m^3 de 35 mm (variación de espesores de Poliestireno expandido 15, 20, 25 y 30 mm)

Probetas Tipo 2: Espuma Poliuretano Anecoica Eco Densidad 28 kg/m^3 (variación de espesores de 20 y 35 mm) (variación de espesores de Poliestireno expandido 15, 20, 25 y 30 mm)

Probetas Tipo 3: Espuma Poliuretano Anecoica Pro Densidad 32 kg/m^3 (variación de espesores de 20 y 35 mm) (variación de espesores de Poliestireno expandido 15, 20, 25 y 30 mm).

Tabla 3.1.- Tabla de Probetas.

Espuma de Poliuretano	Poliestireno Expandido	Nomenclatura
Class1 densidad 11 kg/m ³ con 35mm espesor	2 Plancha de 10 mm espesor	Class35-10
	2 Plancha de 20 mm espesor	Class35-20
	2 Plancha de 30 mm espesor	Class35-30
Eco densidad 28 kg/m ³ con 20mm espesor	2 Plancha de 10 mm espesor	Eco20-10
	2 Plancha de 20 mm espesor	Eco20-20
	2 Plancha de 30 mm espesor	Eco20-30
Eco densidad 28 kg/m ³ con 35mm espesor	2 Plancha de 10 mm espesor	Eco35-10
	2 Plancha de 20 mm espesor	Eco35-20
	2 Plancha de 30 mm espesor	Eco35-30
Pro densidad 32 kg/m ³ con 20mm espesor	2 Plancha de 10 mm espesor	Pro20-10
	2 Plancha de 20 mm espesor	Pro20-20
	2 Plancha de 30 mm espesor	Pro20-30
Pro densidad 32 kg/m ³ con 35mm espesor	2 Plancha de 10 mm espesor	Pro35-10
	2 Plancha de 20 mm espesor	Pro35-20
	2 Plancha de 30 mm espesor	Pro35-30

Fuente: Elaboración Propia

Las probetas de la tabla 3.1 se puede ver como quedaran el total de las probetas además estas serán sujetas con hilo de poliéster realizando un cocido en los cuatro extremos y en el centro para garantizar su firmeza, de esta forma lograr cortar los hilos y la probeta desarmarse sin problemas lo que ayudara a la realización de nuevas probetas con los materiales utilizados.

Cajón para pruebas

Se construirá un cajón de pruebas en donde se realizaran las mediciones en su interior. Este constará de 50 cm de ancho, 100 cm de alto y con un largo de 3 metros. Este será fabricado con madera de pino cepillado de 2"x 2" pulgadas para la construcción del esqueleto. Para su revestimiento se utilizarán planchas de Poliestireno expandido de 20 mm de espesor. Este constará con un compartimento en el cual serán colocadas las probetas a testear y forradas en Poliestireno expandido de 50mm de espesor para de esta manera lograr mediciones limpias de cualquier tipo de contaminación acústica. Diseño según Nch2865-2004 NCh2786-2002 medición de 1 material debe ser mínimo 1.2 metros de distancia. Este cajón está diseñado a escala para el uso particular de las probetas a diseñar, al no existir una norma específica para este se diseña para este caso particular. Ver figura 3.3 que muestra la forma que tendrá el cajón de pruebas.

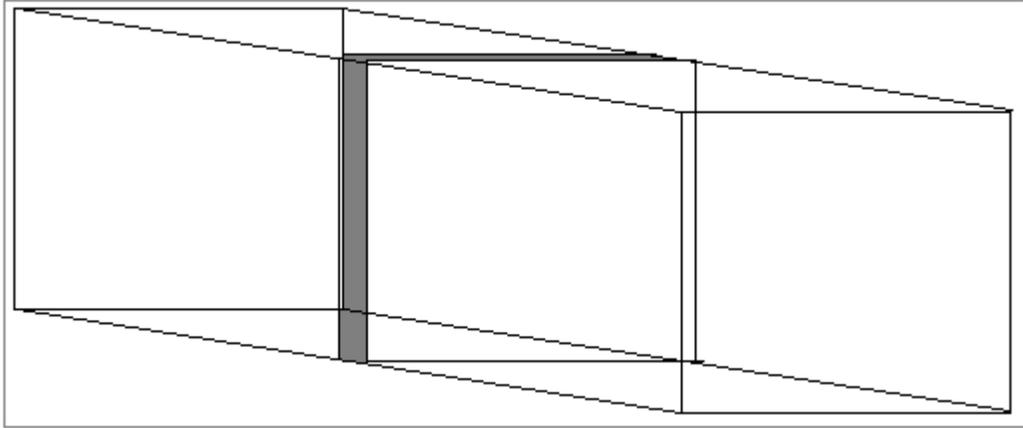


Figura 3.3.- Diseño de cajón de pruebas (Fuente: Elaboración propia en base a modificaciones a la NCh2786 2002).

3.2.- Metodología experimental

La Metodología Experimental será una adaptación de la metodología utilizada actualmente por el Ministerio de Vivienda y Urbanismo la cual consistirá en realizar la experimentación en un ambiente controlado.

Este ambiente controlado se regirá de acuerdo a la norma NCh2786.Of2002 ISO 140-3 Acústica - Medición de aislación acústica en construcciones y elementos de construcción - Mediciones en laboratorio de la aislación acústica aérea.

De acuerdo a esta norma se procede a diseñar una metodología experimental para realizar el experimento y llevar la investigación de prestaciones acústicas de las probetas a diseñar.

El lugar en el que se realizará la toma de datos de la experiencia será una sala de grabación musical. Esta sala está previamente acondicionada acústicamente para que no sean perturbadas las mediciones a realizarse en este ambiente controlado libre de ruido.

Este ambiente consta de un recubrimiento con propiedades acústicas. Estas propiedades son recubrimiento con espuma de Poliuretano para aislamiento y absorción de sonido de interior a exterior, además la sala está sellada en hormigón completamente y consta solo con una entrada y salida. El recinto con ambiente controlado además está ubicado en zona residencial de La Ligua donde la posible contaminación acústica se ve drásticamente disminuida en especial en horas de poco desarrollo de actividades. Estas horas corresponden a las superiores a las 22:00 horas hasta las 6:00 de la mañana donde el tráfico vehicular es casi nulo y el desarrollo de actividades en las zonas cercanas es prácticamente cero. De esta manera es posible lograr mediciones de sonido inferiores a los 25 dB.

Antecedentes del estudio de grabación:

El día 23 de diciembre de 2013 se realizó la medición de sonido del lugar siendo de 40 dB a las 19:00 horas de 30 dB a las 22:00 Horas y de 23 a 25 a las 23:00 manteniéndose de forma constante hasta las siguientes y últimas mediciones a las 00:00 Horas y a las 1:00 Horas.(ver tabla 3.2)

Tabla 3.2.- Medición de Estudio de Sonido mediante sonómetro al ambiente.

Hora	dB
19:00	40
22:00	30
23:00	23-25
00:00	24
1:00	23-24

Fuente: Elaboración propia

Dado estas mediciones se toma como hora de ensayo las 22:00 horas, puesto que es el horario de menor contaminación acústica ya que a esa hora el inmueble no cuenta con moradores.

3.3.- Procedimiento

Análisis de datos mediante Sonómetro en estudio (grabación musical y aislamiento) y prueba de ruidos logrando un ambiente controlado. Además de diferentes tipos de frecuencias desde los 200 Hz a 2000 Hz de sonidos ante una fuente emisora, con distintos tipos de frecuencia y producción de distintas intensidades de onda dado el tipo de emisor a utilizar, siguiendo de esta forma la metodología adaptada de la utilizada por MINVU en la actualidad.

Lo que se quiere lograr es un panel de espesores similar a los que en estos momentos este a la venta en el país y por ende dentro de las normas chilenas de la construcción.

Las dimensiones serán 100 x 50cm de la misma manera el panel que ya fue tratado con el diseño Anecoico (piramidal, cerros y triangulas) en sus ambas caras. Estas dimensiones están consideradas dado a la normalización que ya tienen los paneles actuales a la venta de la espuma de Poliuretano y las planchas de Poliestireno expandido. Las dimensiones están siendo consideradas dadas las dimensiones entregadas actualmente para el Poliestireno expandido y de esta manera es más adaptable para el análisis experimental.

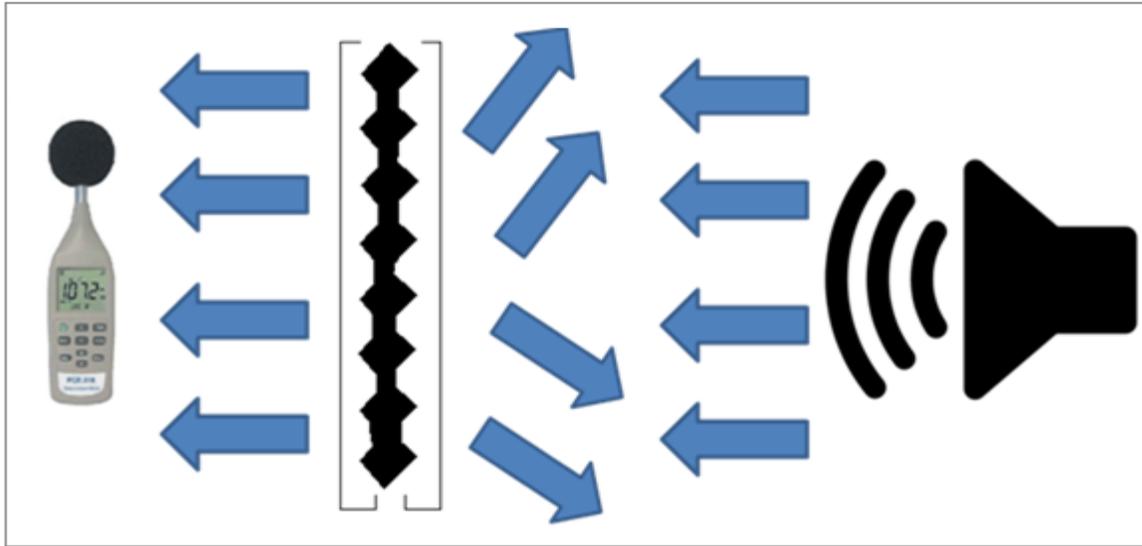


Figura 3.4.- Esquemas de toma de datos metodológica modificada MINVU. (Fuente: Elaboración propia en base a metodológica modificada MINVU).

El sonómetro será colocado a 120 centímetros de distancia del panel compuesto al interior del cajón de pruebas. De la misma manera se cambiará la ubicación de la fuente sonora y se cambiarán las intensidades desde 200 Hz hasta los 2000 Hz. La producción de estas intensidades de sonido se realizará mediante el software computacional Audacity 2.0.5 capaz de generar diversas intensidades y monitoreadas desde la computadora en tiempo y frecuencia. Para la salida de la emisión sonora se utilizará un parlante de la marca Fender conectado a un amplificador compatible con la computadora a utilizar. Esta metodología está adaptada de la utilizada por MINVU para hacer análisis de sonido en edificaciones.

Los datos de absorción, refracción y disipación de sonido se obtendrán con la resta de los decibeles emitidos y medidos en el emisor y los decibeles medidos en la parte de la recepción de sonido del cajón acústico, por lo que la simple resta de los valores de emisión y recepción tendrá como resultado la absorción del sonido emitido. Con esto se obtendrán las capacidades acústicas del Panel Compuesto.

Con la toma de datos se realizará el análisis matemático mediante gráfico de dispersión para lograr un modelo sinusoidal de onda. De esta manera lograr un análisis matemático en función del coeficiente de absorción de sonido del panel.

La absorción de las probetas será calculada con la siguiente fórmula:

$$EL - EP = \text{Absorción [dB]} \text{ (Ec. 3.1)}$$

Nomenclatura: EL= Espacio libre sin panel, EP=Espacio con panel.

Fuente: Nivel de Presión de sonido (Nch 2785/2786 of 2003)

Luego de realizada la toma de datos de una probeta determinada se realizara el cambio de probeta y se repetirá el mismo procedimiento descrito anteriormente. En la figura 3.4 y 3.5 muestran el procedimiento de la toma de datos de la metodología MINVU modificada.

La factibilidad técnica y presupuestaria para realizar este experimento está de acuerdo a los alcances económicos propios y entregados por la escuela además del apoyo actual de los docentes.

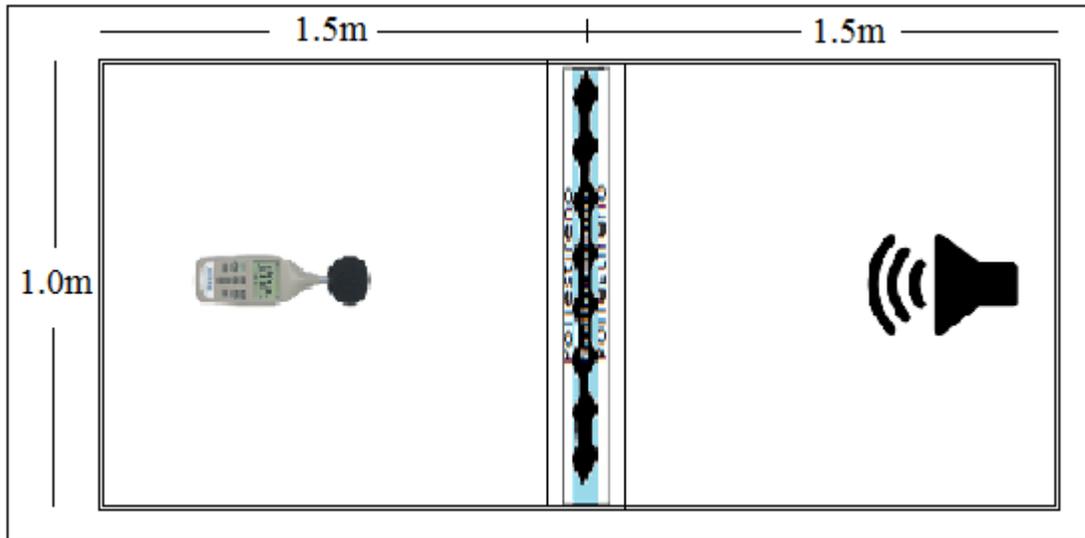


Figura 3.5.- Esquemas de toma de datos metodología modificada MINVU (Fuente: Elaboración propia en base a metodología modificada MINVU).

3.4.- Resultados

Mediciones de pérdidas de sonido a través del Panel Compuesto de Poliestireno expandido y la espuma de Poliuretano. Ya sea por absorción, refracción y disipación de ondas sonoras. Logrando de esta forma un modelo de curva dado las frecuencias de sonido aplicadas al panel.

Los datos a analizar matemáticamente darán a conocer el comportamiento del panel frente a las frecuencias de sonidos.

Las mediciones darán como resultado el coeficiente de absorción que tendrá el panel compuesto y se reflejarán matemáticamente en gráficos de dispersión de curvas generando un modelo exponencial. Dada las variables de los objetivos específicos antes expuestos se obtendrán gráficos de comportamiento del panel compuesto; estos gráficos darán los datos de análisis para ver como estas variables influyen acústicamente al panel compuesto.

Los datos y gráficos serán agrupados en función a la variable a estudiar que son espesor, volumen de aire y densidad.

Este sistema de medida por medio de esta metodología es utilizada por laboratorios de materiales con propiedades acústicas para avalar el rendimiento y factibilidad de estos ante diferentes intensidades de sonido.

3.5.- Análisis a resultados esperados

Los resultados serán llevados a discusión y a comparación con otros estudios que tengan alguna similitud. Esta discusión también constará con un análisis de estos resultados, de esta manera poder obtener conclusiones del modelo experimental. El análisis de los resultados obtenidos nos dará a conocer las prestaciones acústicas obtenidas con el diseño y de esta manera lograr conclusiones de las variables planteadas anteriormente en los objetivos de este estudio.

La evaluación de los resultados obtenidos será buscar una versión óptima final del panel compuesto dado las conclusiones antes recabadas en cada variable de investigación.

Como resultado final se analizara la eficiencia acústica del panel compuesto con los paneles actuales de absorción acústica. Esta comparación dará a conocer si el panel compuesto cumple con los estándares actuales de absorción, refracción y disipación de sonido, de esta forma convertirlo en una alternativa de aislación acústica para una posible inserción en el mercado de materiales de construcción.

La realización de un cuadro comparativo para el análisis de estas diferencias y en otras similitudes se obtendrá una alternativa desde el punto de vista técnico y estético de lo que actualmente es utilizado en el mercado y las nuevas prestaciones que este panel compuesto intenta agregar a los sistemas de aislación acústica actuales.

3.6.- Conclusiones a variables a analizar

- Conclusiones de la variable densidad de acuerdo a sus prestaciones acústicas obtenidas en el modelo experimental.
- Conclusiones de la variable volumen de aire de acuerdo a sus prestaciones acústicas obtenidas en el modelo experimental.
- Conclusiones de la variable espesor de panel de acuerdo a sus prestaciones acústicas obtenidas en el modelo experimental.

Las conclusiones acá señaladas corresponden al análisis anteriormente realizado a los gráficos de dispersión desde el punto de vista de las variables dadas en los objetivos. Las conclusiones darán como resultado para cada variable la cantidad de absorción determinada por el aumento o disminución de estas variables, como será la densidad, volumen de aire y espesor del panel compuesto, además como una extra conclusión a estos puntos antes señalados se podrá analizar que diseño a la plancha de espuma de Poliuretano tiene mayor influencia en el panel compuesto.

3.7.- Conclusiones del modelo experimental

Los datos esperables en este estudio son la disminución del ruido externo a la vivienda como el interno entre tabiquerías. Destacar de igual manera que todo trabajo y estadística realizada estará de acuerdo a las normas actuales chilenas de la construcción. De esta manera tener un estudio de análisis técnico del comportamiento de este panel de propiedades acústicas y por medio de un análisis de precios unitarios y dada sus prestaciones acústicas ver la posible inserción de este en el mercado actual de planchas que ofrecen prestaciones similares.

4.- Elaboración y Ejecución de Experiencia

4.1.- Adquisición de materiales y construcción de cajón para análisis

La adquisición de materiales para la construcción de cajón de análisis fue cubicado y realizado en la ciudad de La Ligua y consta con 8 maderas de 2x2" y 3.2 mt de largo y 18 planchas de Poliestireno expandido de la marca Aislapol para su recubrimiento.

Después de cortar las maderas en las medidas requeridas para lograr las distancias de 3 mt de largo, 1 metro de alto y 0,5 mt de ancho, las maderas son fijadas por 2 clavos de 4 pulgadas en todas sus uniones, además fue encolado para lograr una mayor fijación. Las planchas de Aislapol fueron fijadas a la estructura con silicona líquida de rápida fijación. Cuando el cajón de pruebas estuvo armado completamente se dejó secar por aproximadamente 4 días para lograr la unión de los materiales y la resistencia necesaria para soportar los días de investigación y ensayo. En las figuras 4.1 y 4.2 se muestra el proceso de montaje del Cajón de Pruebas desde el armado de su esqueleto hasta su revestimiento

Las medidas y forma del cajón de pruebas fueron realizadas para lograr la adaptación de la metodología MINVU. El cajón de pruebas simula dos ambientes separados por el Panel Compuesto, estos ambientes, uno con fuente emisora y el otro que recibirá la onda de sonido ya traspasada por el panel compuesto creará una semejanza de una onda de sonido pasando de una habitación a otra. Sus medidas y composición están realizadas para conducir la onda de sonido por el aire del cajón y lograr mediciones de traspaso de sonido. Su materialidad y diseño logran el objetivo de simular las condiciones de una prueba real de traspaso de sonido de un ambiente a otro.



Figura 4.1.- Fotografías montaje de Cajón Acústico.



Figura 4.2.- Fotografías montaje de Cajón Acústico.

La adquisición de los materiales de las probetas se obtuvieron por medio de la empresa Sonoflex en dos etapas de compra: la primera de ellas fue la adquisición de los modelos Eco y después en una segunda etapa los modelos Pro y Class1.

Para el montaje de las probetas fue necesario ajustar los materiales para obtener las medidas de probetas deseadas. Para ello se recortaron las planchas de espuma de Poliuretano por su borde delgado y las planchas de Poliestireno no fueron alteradas ya que tenían las medidas requeridas para el diseño de las probetas.

En el proceso de montaje de las probetas se considero la compra de 6 planchas de Poliestireno expandido por cada probeta, para ello se adquirieron 6 planchas de 10mm, 6 planchas de 20mm y 6 planchas de 30mm. En la figura 4.3 se puede ver una de estas probetas previo si montaje y en la figura 4.4 se puede ver esta ya montada en el cajón de pruebas lista para ser analizada.

La unión del Poliestireno expandido y la espuma de poliuretano se llevo a cabo por medio de un cosido con aguja e hilo de algodón para facilitar el desmontaje y la reutilización de los materiales. Se realizaron las fijaciones en los bordes inferiores y superiores de la probeta y dos puntos de unos centímetros de largo en sus bordes laterales

Ya montado el cajón y las probetas se realizaron ensayos al azar simulando experiencias verdaderas, de esta manera anteponer cualquier imprevisto.

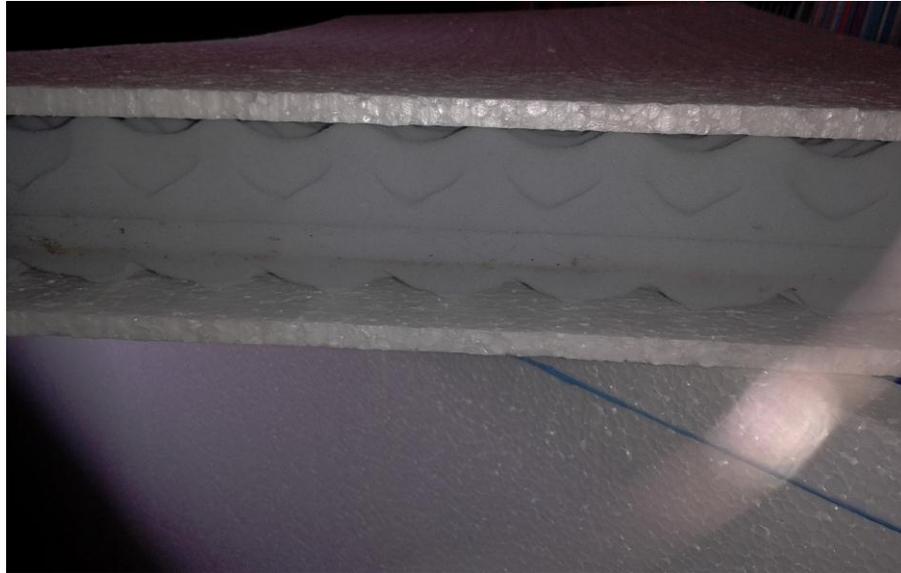


Figura 4.3.- Probeta tipo Class1 35mm con Poliestireno Expandido de 10mm.



Figura 4.4.- Inserción de probeta en cajón de pruebas.

4.2.- Ejecución de la experiencia

Para la realización de los experimentos se planeó con anterioridad las fechas y horas de mejor calidad acústica para realizar las experiencias, en base a ello se fijó como fechas los días domingos del mes de Marzo para realizar la experimentación pasadas las 22:00 horas en las que la contaminación acústica es prácticamente nula.

Para la realización de la experiencia se utilizó un ordenador que consta con el software de generación de tonos. El software elegido fue Audacity en su versión 2.0.5 dado que este software consta de licencia gratuita y logra generar tonos de diferentes frecuencias, tipos de onda y amplitudes.

En lo que respecta al hardware de computador se utilizó una placa Soundblaster de equipo de grabación, además de un parlante de la marca Fender de alta calidad para lograr sonidos sin ruidos.

La configuración de Audacity 2.0.5 es la siguiente:

Frecuencia principal de volumen y frecuencia: 384000

Forma de onda: Sinusoide

Frecuencias: desde 200 hasta 2000 Hz

Amplitud: 0.8

Duración: 1.5 minuto

Calidad de sonido: sonido en 320Kbps de vibración

Sonido: 32 bits, flotantes tipo Mono

En lo que respecta a la medición de los sonidos, se utilizó un sonómetro aportado por la Universidad de Valparaíso que cuenta con su calibración al día y buen estado.

La Configuración del sonómetro es la siguiente:

- Configurado para que tome las mediciones desde el punto de vista del oído humano
- Tipo Low un promedio de mediciones en 1 segundo
- Calibración del tipo High para una mayor calidad en la medición

4.2.1.- Ejecución de las mediciones

- Se marcaron los lugares de posición de parlante y colocación de sonómetro en el otro extremo. Estas distancias fueron a 20 cm de los bordes laterales del cajón de pruebas. Estas marcas no fueron alteradas ni los instrumentos fueron reubicados durante la experimentación.
- Carga de la probeta en el centro del cajón de pruebas con sumo cuidado para no dañar tanto el cajón como la probeta.
- Montada la probeta se ajusta el ordenador con Audacity 2.0.5 para que comience a reproducir un tono con una frecuencia particular. La figura 4.5 que muestra el computador y al parlante introducido en el Cajón de Pruebas
- Con el tono sonando se toma el sonómetro y se ubica en la zona anteriormente marcada para la toma de la medición y se registra (ver figura 4.6)

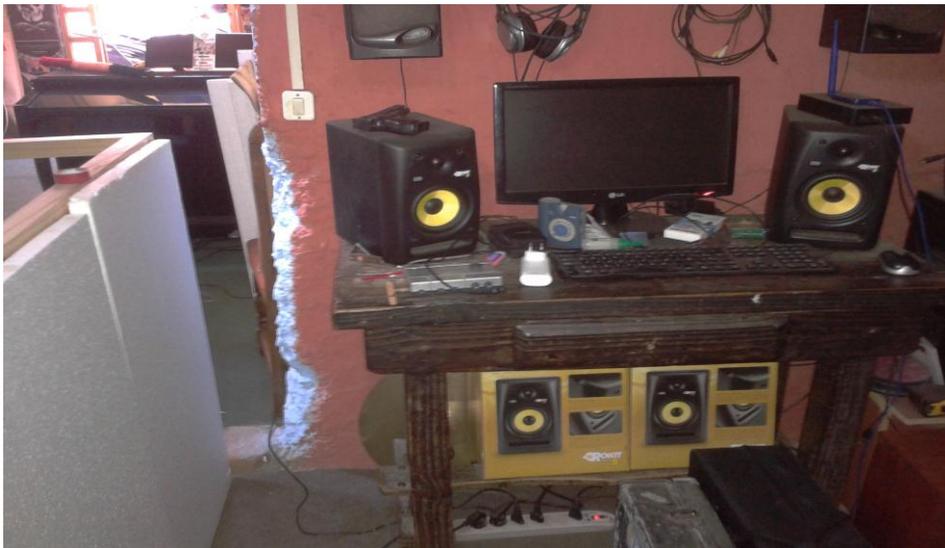


Figura 4.5.- Cajón de prueba y Ordenador reproductor de ondas de sonido.

- El registro se realizó inicialmente con una medición en la que no constaba de probeta en el centro del cajón de pruebas, para ver el comportamiento del sonido sin materiales aislantes y lograr realizar los cálculos para evaluar la absorción del panel compuesto.
- El registro es realizado en tablas de tomas de dato inicial, con probeta, absorción y frecuencia.
- Realización de gráficos dando a conocer la sinusoide en base a la absorción de los paneles y dando a conocer los valores para las variables de estudio indicadas en los objetivos específicos.



Figura 4.6.- Sonómetro en registro de mediciones.

4.2.2.- Resultados

Los valores registrados en estas tablas corresponden a aquellos tomados por aproximadamente 1 minuto de reproducción de tono con diferente frecuencia. Todos los valores de las tablas son en dB en las probetas y en Hz para las frecuencias.

Estos datos informan a una serie de gráficos en que las mediciones fueron realizadas a una toma inicial de la onda a través del Cajón de Pruebas, espacio libre, y una toma de datos con probeta al interior del Cajón de Pruebas al que se llamo espacio con probeta. Los datos tabulados detalladamente se encuentran en el Anexo.

El gráfico 1 de la figura 4.7 representa las 3 Probetas Eco20-10, Eco20-20 y Eco20-30 con 28 Kg/m^3 de densidad y 20 mm de espesor con cambios de Poliéstireno. Este gráfico demuestra la absorción de las probetas en sinusoidal en el paso de diferentes frecuencias de sonido

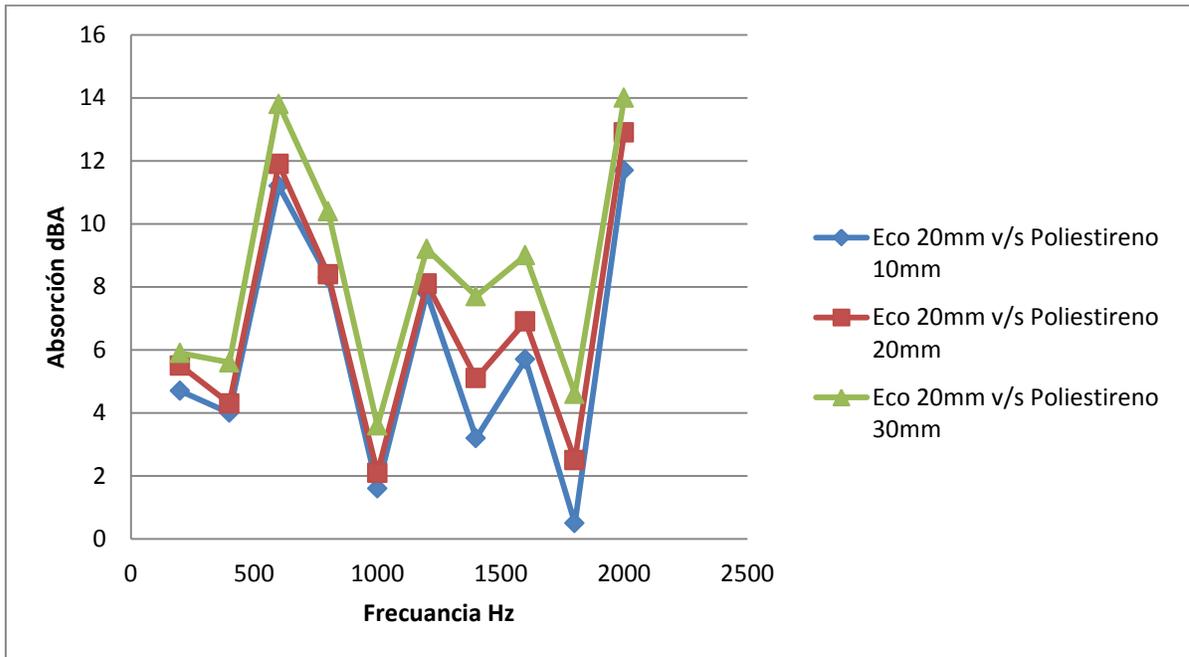


Figura 4.7.- Gráfico Medición 1,2 y 3 Eco 20mm.

El gráfico de la figura 4.8 representa las 3 Probetas Eco35-10, Eco35-20 y Eco35-30 con 28 Kg/m^3 de densidad y 35 mm de espesor con cambios de Poliestireno. Este gráfico demuestra la absorción de las probetas en sinusoidal en el paso de diferentes frecuencias de sonido.

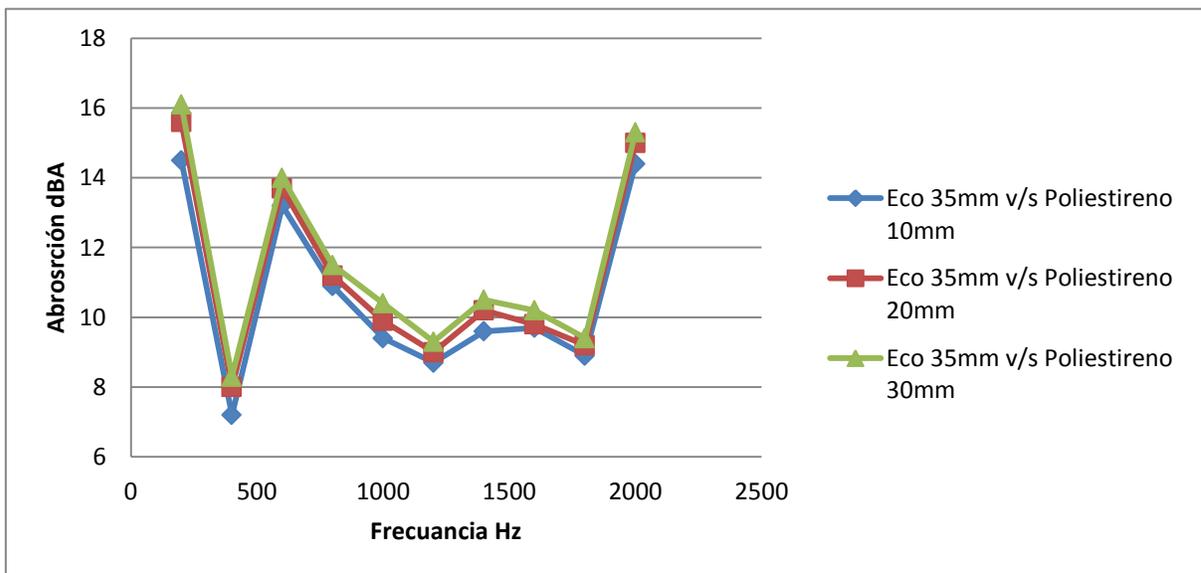


Figura 4.8.- Gráfico Medición 1,2 y 3 Eco 35mm.

El gráfico de la figura 4.9 representa las 3 Probetas Pro20-10, Pro20-20 y Pro20-30 con Pro 32 Kg/m³ de densidad y 20 mm de espesor con cambios de Poliéstireno. Este gráfico demuestra la absorción de las probetas en sinusoidal en el paso de diferentes frecuencias de sonido.

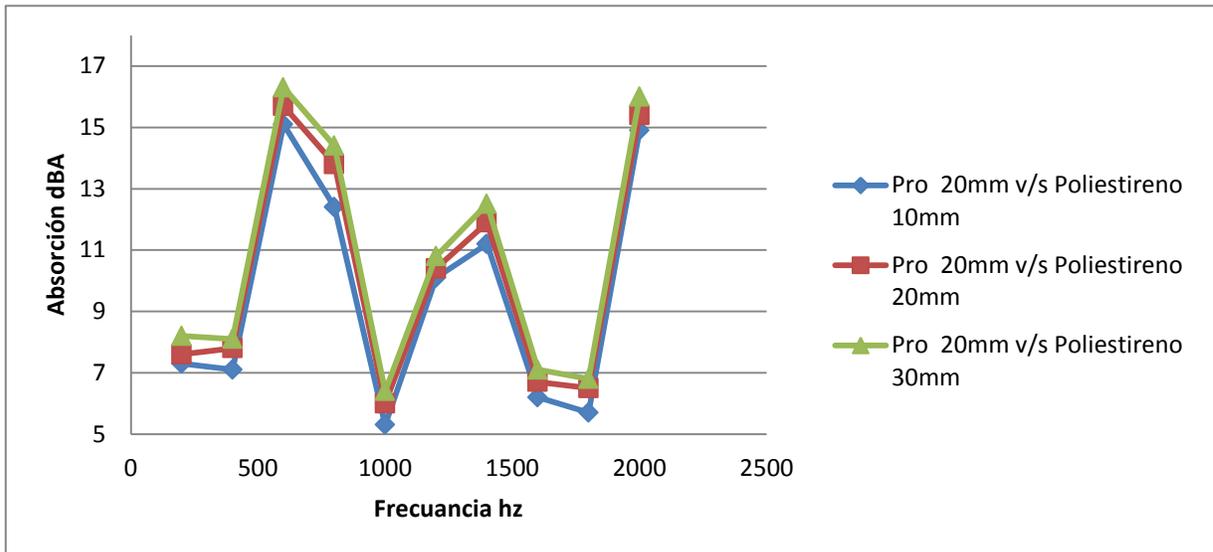


Figura 4.9.- Gráfico Medición 1,2 y 3 Pro 20mm.

El gráfico de la figura 4.10 representa las 3 Probetas Pro35-10, Pro35-20 y Pro35-30 con Pro 32 Kg/m³ de densidad y 35 mm de espesor con cambios de Poliéstireno. Este gráfico demuestra la absorción de las probetas en sinusoidal en el paso de diferentes frecuencias de sonido.

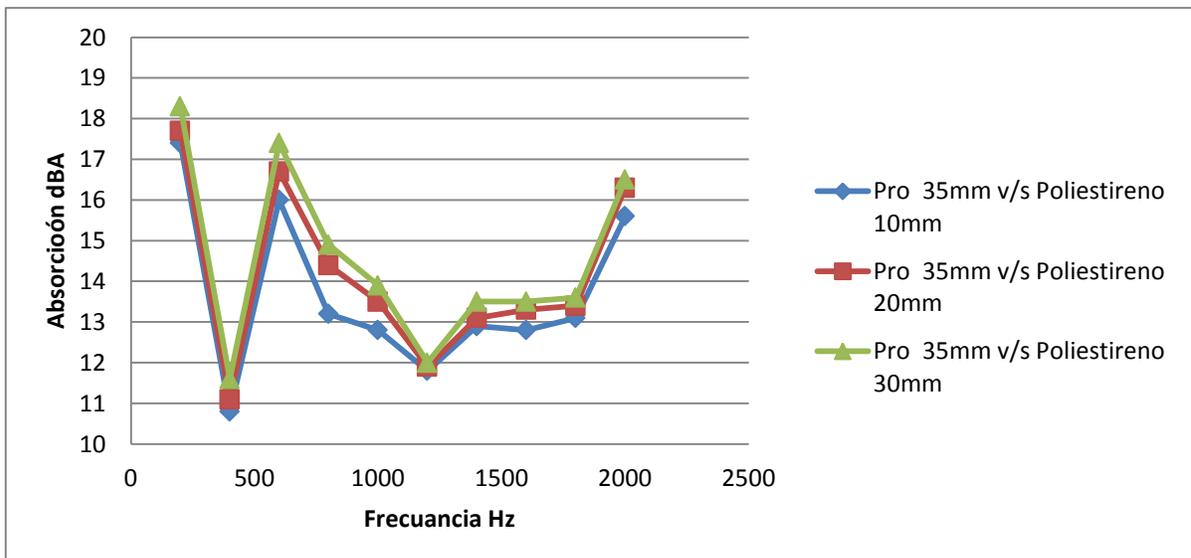


Figura 4.10.- Gráfico Medición 1,2 y 3 Pro 35mm.

El gráfico de la figura 4.11 representa las 3 Probetas Class35-10, Class35-20 y Class35-30 con Class1 11 Kg/m^3 de densidad y 35 mm de espesor con cambios de Poliéstireno. Este gráfico demuestra la absorción de las probetas en sinusoidal en el paso de diferentes frecuencias de sonido.

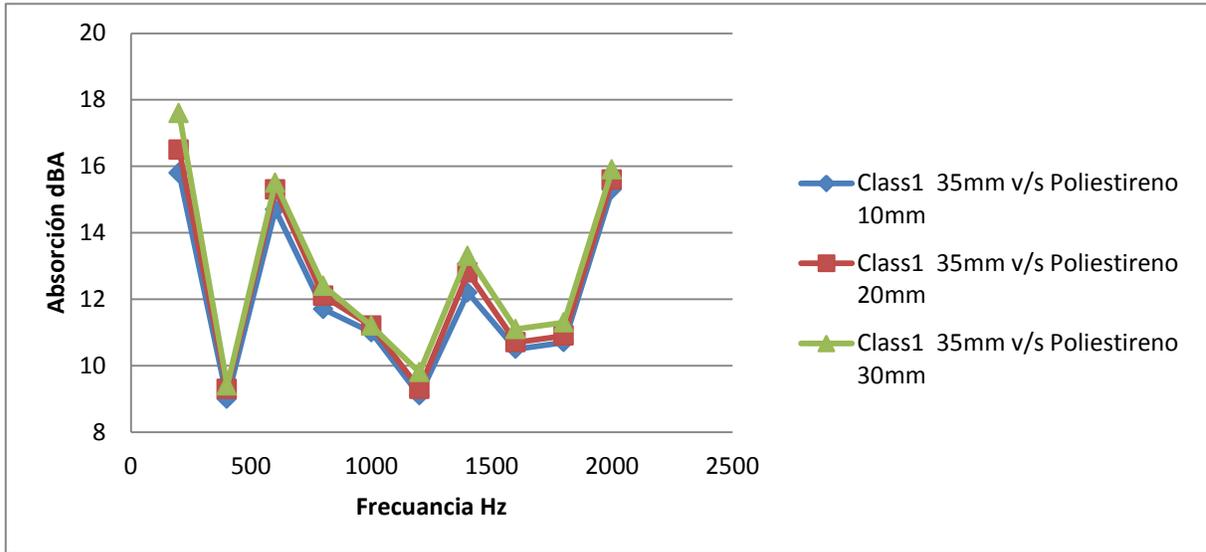


Figura 4.11.- Gráfico Medición 1,2 y 3 Class1 35mm.

El gráfico de la figura 4.12 muestra las mezclas de Espumas de Poliuretano 35mm para diferentes densidades Class1 de 11 Kg/m^3 Eco de 28 Kg/m^3 y Pro de 32 Kg/m^3 todos con planchas Poliéstireno de espesor de 30mm. Esta configuración es la que alcanza mayor aislación de sonido.

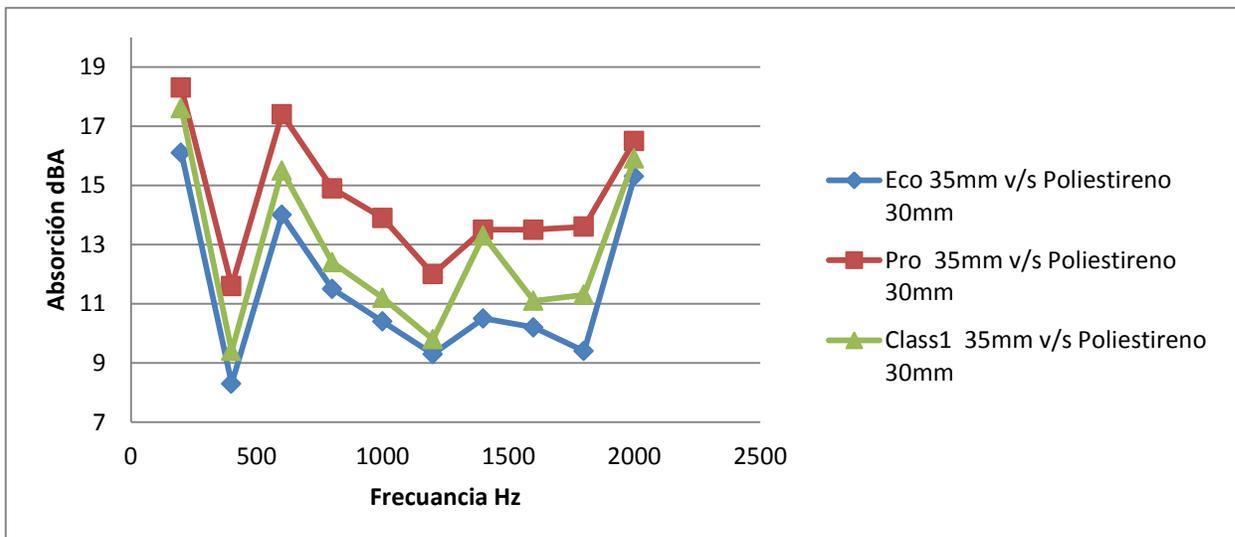


Figura 4.12.- Gráfico Mezcla de Eco, Pro y Class1 de 35mm.

El gráfico de la figura 4.13 muestra las mezclas de Espumas de Poliuretano 35mm para diferentes densidades Class1 de 11 Kg/m³ Eco de 28 Kg/m³ y Pro de 32 Kg/m³ todos con planchas Poliéstireno de espesor de 10mm. Esta configuración muestra la influencia del Poliéstireno con respecto al gráfico figura 4.12 anterior.

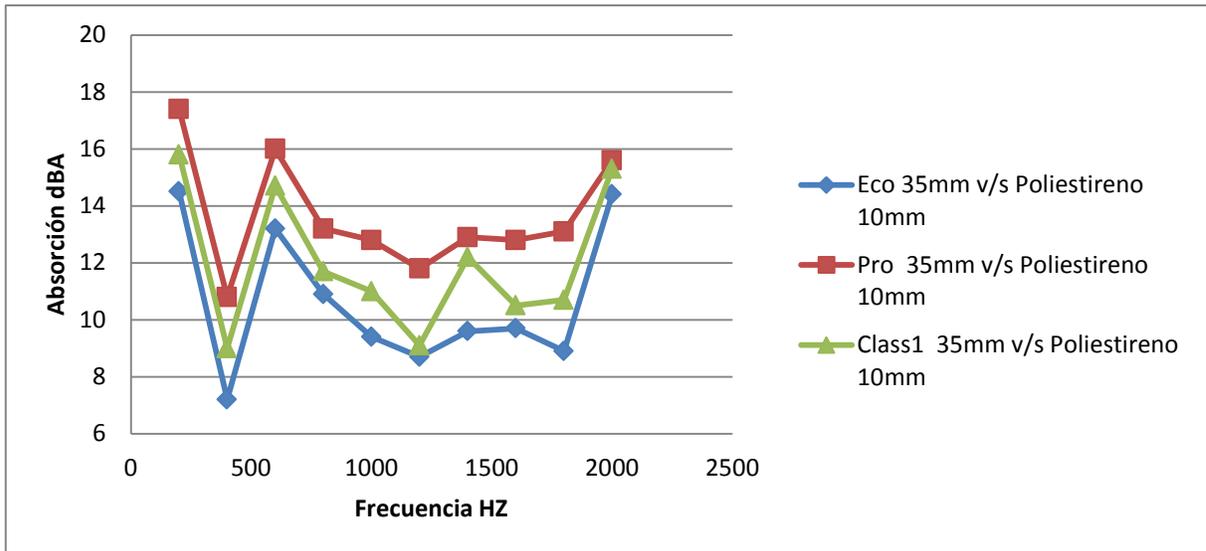


Figura 4.13.- Gráfico Mezcla de Eco, Pro y Class1 de 35mm.

El de la figura 4.14 gráfico muestra la mezclas Espumas de Poliuretano de 20mm para diferentes densidades Eco de 28 Kg/m³ y Pro de 32 Kg/m³ todos con planchas Poliéstireno de espesor de 30mm esta configuración muestra la influencia la densidad de la Espuma de Poliuretano.

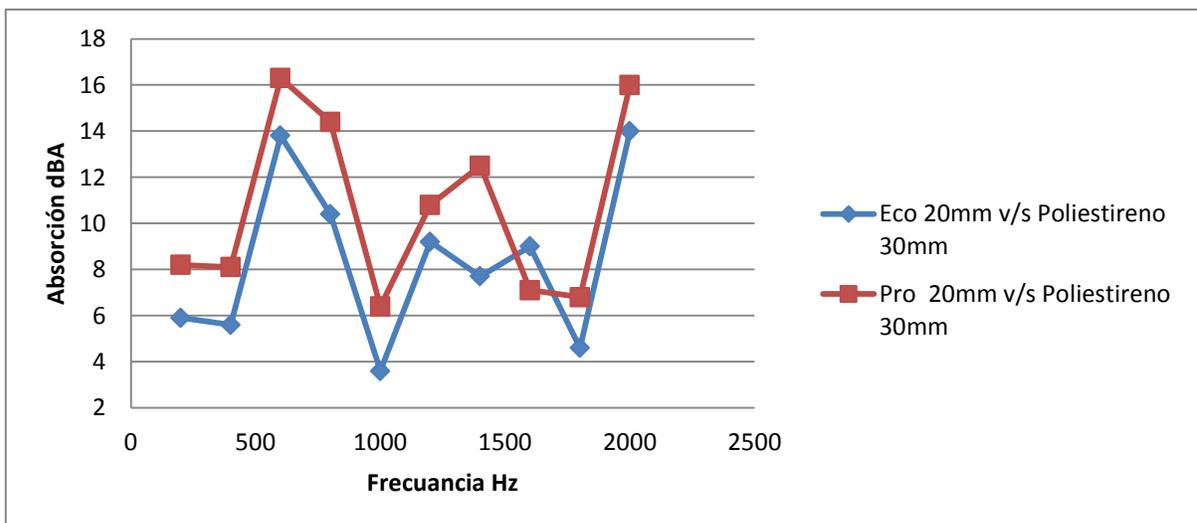


Figura 4.14.- Gráfico Mezcla de Eco y Pro de 20mm.

El gráfico de la figura 4.15 muestra las mezclas Espumas de Poliuretano de 20mm para diferentes densidades Eco de 28 Kg/m^3 y Pro de 32 Kg/m^3 todos con planchas Poliéstireno de espesor de 10mm. Esta configuración muestra la influencia la densidad de la Espuma de Poliuretano.

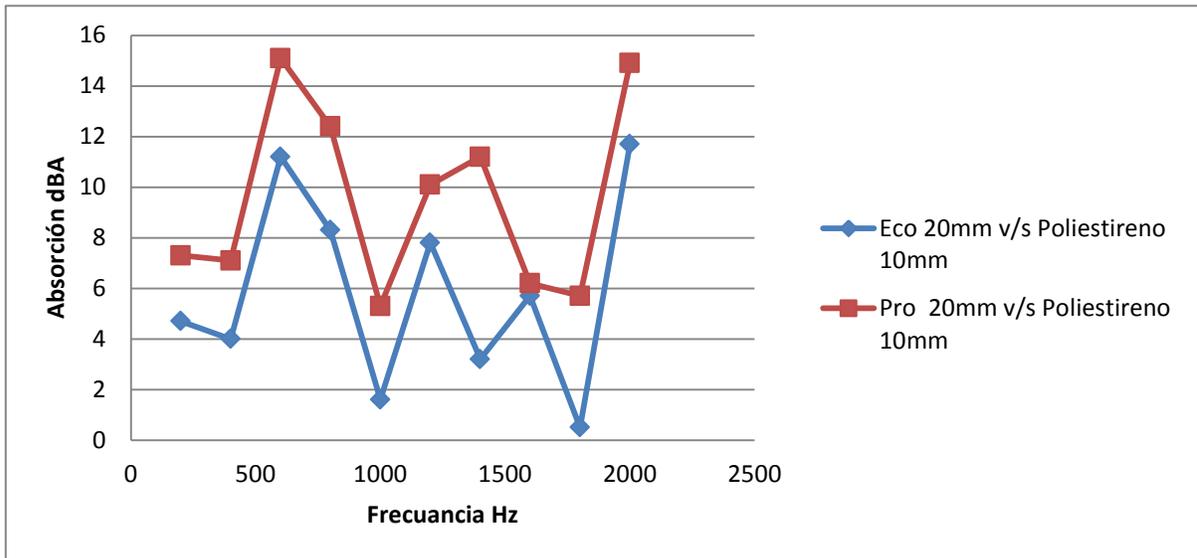


Figura 4.15.- Gráfico Mezcla de Eco y Pro de 20mm.

4.2.3.- Primer análisis de resultados

El primer análisis de los resultados es realizado en función de los objetivos propuestos en especial los objetivos específicos.

Pese a que en algunas frecuencias la absorción es más baja esto se debe a la capacidad de los materiales de absorber y refractar sonido, se puede apreciar en los gráficos que en frecuencias entre los 400 y 600hz se produce un pico de baja de absorción en cambio entre los 800 y 1000hz se aprecian picos altos de absorción. Después de los 1800hz los valores siguen aumentando esto debido a que la Espuma de Poliuretano logra mejor absorción en altas frecuencias, esto puede apreciarse en todos los gráficos.

El primer análisis a realizar va desde el punto de vista del montaje de las probetas, el cual fue bastante sencillo puesto el comportamiento de los materiales es de fácil manejo y al realizar la fusión de ellos mediante cosido con hilo de algodón los materiales no se vieron afectados. Además el desensamble de las probetas es bastante rápido y limpio.

4.2.4.- Análisis de Resultados por Espesor

El análisis de resultados concentrado en el estudio del espesor aplicado a las probetas, dio como resultado que el aumento del espesor es directamente proporcional a la cantidad de absorción de sonido, aunque directamente el Poliéstireno expandido solo tiene influencia en

algunos dBS. En cambio, la Espuma de Poliuretano si alcanzaba grandes absorciones de sonido.

El aumento de espesores tanto de Poliéstireno Expandido y Espuma de Poliuretano da mayor cantidad de absorción de sonido. Esto es mostrado en el gráfico de la figura 4.11 que fue la probeta de mayor espesor puesta a prueba, llegando a un espesor total de 130cm. Y la baja cantidad de absorción en los casos de espesores más pequeños como se ve en el gráfico de la figura 4.15. la diferencia de absorción cada 1cm del Poliéstireno expandida es entre los 0.5 a 3 dB de absorción, por lo que no tiene gran influencia en la aislación acústica.

En la figura 4.16 se muestra las diferencias de absorción por espesor de las probetas de menor espesor (Eco20-10 y Pro20-10) de 60mm y las de mayor espesor (Eco35-30 y Pro35-30) de 130mm.

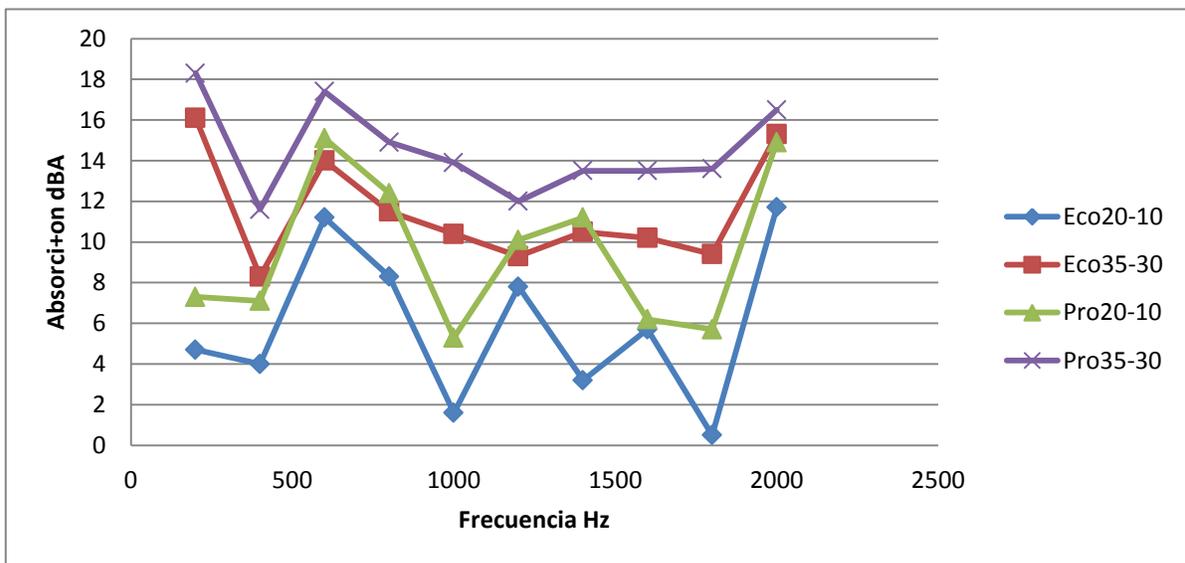


Figura 4.16.- Gráfico de diferencias de absorción por espesor.

La tendencia de aislación de sonido es que a mayor espesor habrá menor traspaso de la onda sonora. Por lo tanto, el espesor es de gran influencia en las capacidades acústicas del Panel Compuesto.

4.2.5.- Análisis de Resultados por Volumen de Aire

El volumen de aire es determinado por el diseño anecoico y el espesor de las planchas de la Espuma de Poliuretano, de esta forma el volumen de aire va cambiando de cantidad dependiendo del diseño y el espesor de las planchas.

Este volumen de aire también es preponderante en la aislación de sonido, ya que, en los gráficos antes mencionados el diseño Class1 tiene mayor volumen de aire que la versión Eco y

esto demuestra que aunque Class1 tiene menor densidad logra una mejor aislación acústica que la versión Eco que tiene una densidad mayor.

La tendencia del volumen de aire indica que a mayor aire en el interior aumenta la debilitación de la onda sonora, esto es apreciable en las diferencias de absorción entre las probetas con Espuma de Poliuretano de 20mm y 35mm.

En la figura 4.17 se muestran las diferencias de absorción de sonido en función del volumen de aire proporcionado por el diseño anecoico, siendo menor el de Eco20-10 con Pro20-10 y mayor Eco35-10 con Pro35-10, esta diferencia es producto del porte de las figuras anecoicas.

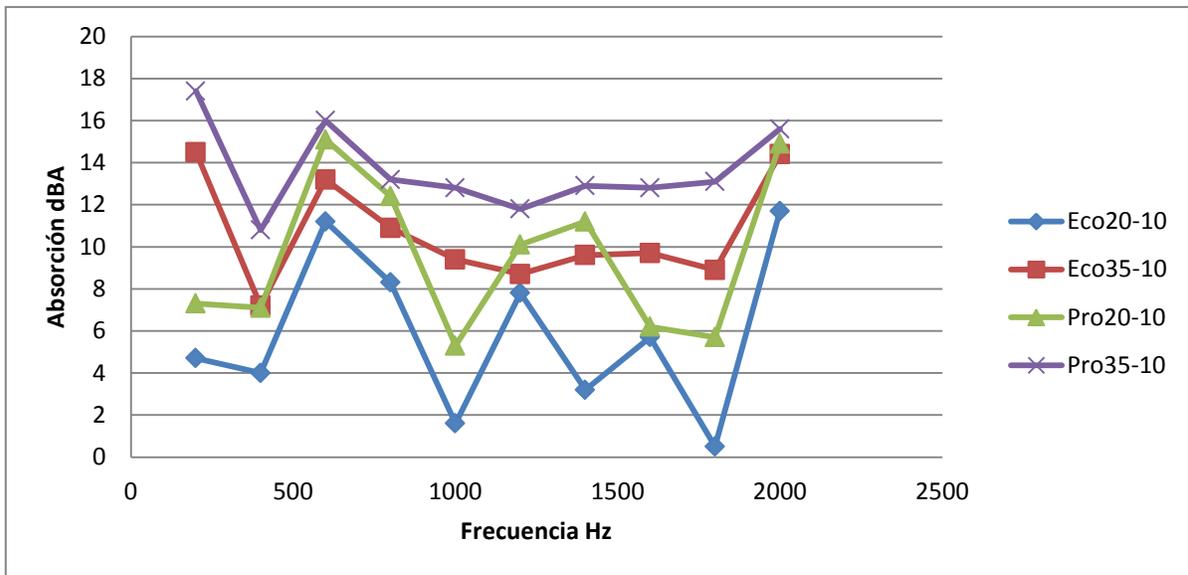


Figura 4.17.- Gráfico de diferencias de absorción por volumen de aire.

Como resultado inicial es que el volumen de aire es relevante al lograr un panel compuesto con características acústicas, por lo que generar una cámara de aire en su interior hace que el diseño aumente las cualidades acústicas ya aportadas por los materiales.

4.2.6.- Análisis de resultados por Densidad

Los resultados obtenidos respecto a la densidad de los materiales demostraron que no es necesario una gran densidad para lograr mejor aislación, Class1 teniendo un buen diseño y baja densidad pudo lograr mejor absorción en comparación con otro material de mayor densidad como el caso de ECO.

Los resultados obtenidos respecto al material Class1, Eco y Pro en espesores de 35mm coloca al tipo Class1 en medio de los dos, pese a tener menor densidad. Esto se justifica ya que al tener tan baja densidad también logra realizar una mayor cantidad de absorción y menor

refracción por el alto índice de porosidad de Class1, aunque a frecuencias mayores tiende a comportarse de forma inferior a las otras dos.

La densidad de los materiales es relevante dependiendo del tipo de frecuencia y del ambiente por el que viaja el sonido. De esta manera generar un rango de densidades en el cual la absorción y la refracción logren ser mayor.

En la figura 4.18 se puede ver las diferencias de absorción en función a la densidad de la espuma de Poliuretano, con Eco de 28 Kg/cm² Pro de 32 Kg/cm² y Class1 de 11 Kg/cm².

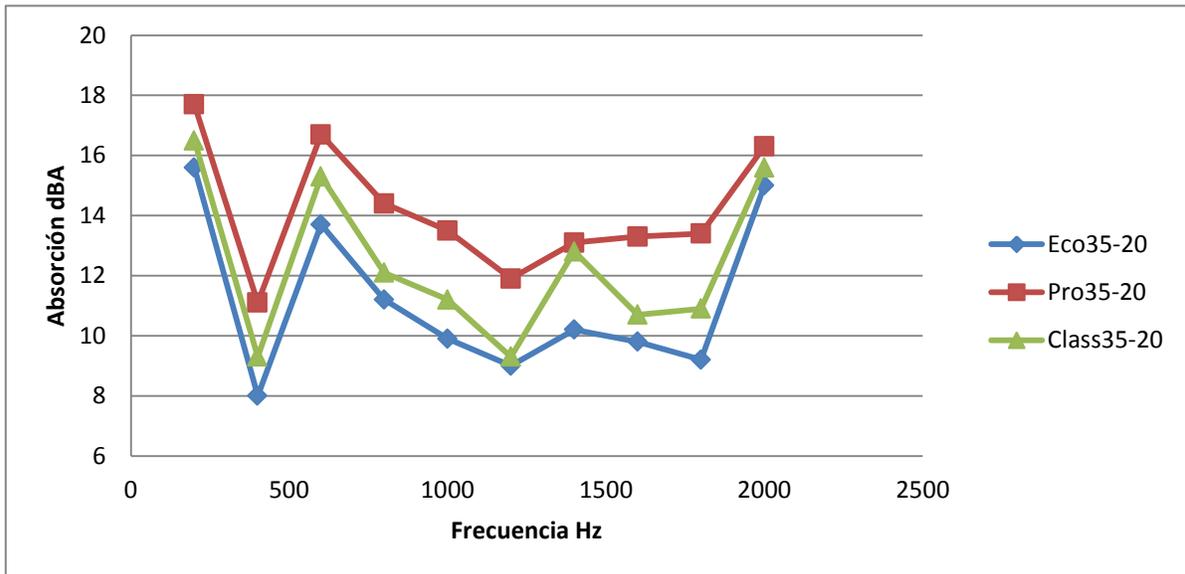


Figura 4.18.- Gráfico de diferencias de absorción por densidad de espuma de Poliuretano.

Es importante destacar que los materiales bajos en densidad tienen mayor tendencia a romperse a bajas tensiones, por lo que su manipulación es difícil. En este caso el tipo Class1 es de baja densidad y eso la convierte en un material muy delicado. Tan delicado que la producción de Class1 de 20mm fue cancelada al ser muy frágil y su venta se veía comprometida al no poder asegurar su calidad en la colocación y transporte.

4.2.7.- Combinación de variables

Si se combinan las variables de espesor y la de densidad se logra la mejor configuración para absorción del Panel Compuesto para frecuencias por sobre los 1500 Hz. La configuración Pro35-30 compuesta por Pro de 32Kg/cm³ de densidad, un espesor de 130mm y una cámara de aire superior a las planchas de 20mm dado el tamaño del diseño anecoico, logra el mejor rendimiento de absorción de onda acústica de todos los casos de estudio.

Las probetas compuestas por Class1 lograron buen comportamiento acústico para frecuencias entre los 600 y 1200 Hz, al combinar a Class1 con 11 Kg/cm^3 , de baja densidad, con espesor de 130mm y cámara de aire superior a planchas de 20mm dado el tamaño del diseño anecico.

4.2.8.- Contraste en entre lo planificado y lo logrado

Lo planificado inicialmente mostraba un procedimiento rápido y preciso, lo que en su ejecución tuvo varios imprevistos lo cual hizo de este procedimiento algo más lento de lo planificado. Otro punto que hizo más lento el proceso de experimentación fue el cuidado en la colocación de las probetas en el cajón de pruebas, por la delicadeza de la espuma de Poliuretano es necesario tener un asistente para la colocar la probeta al interior del Cajón.

Otro imprevisto corregido fue el día inicial de realización de experimentación de día Miércoles a las 22:00 a Domingo a las 22:00, puesto que los días miércoles el estudio realiza clases de instrumentos de viento, por lo que realizar una medición se hacía imposible.

Por último el hecho de realizar mediciones de 30 segundos inicialmente se subieron a 1 minuto para así lograr que las fluctuaciones de medición del sonómetro no fueran tan altas y lograr un valor promedio de máximo 0,1 dB de diferencia.

4.3.- Experimentación con toma de absorción en fuente v/s traspaso por cajón acústico

Para continuar con el análisis acústico del panel compuesto, se realizó un análisis de toma de datos desde la fuente y otra en el traspaso de la onda sonora por el cajón, ahora realizando la metodología modificada utilizada por MINVU. La experimentación anterior en que la absorción fue calculada con espacio del cajón acústico libre de probeta y espacio del cajón con la probeta incluida, esta vez la experimentación fue realizada con la medición inicial en la fuente de emisión, es decir a 50 centímetros del parlante emisor de ondas y comparada con la medición al otro lado del cajón con la probeta colocada en medio.

En esta toma de datos se considero bajar el volumen de emisión de sonido para lograr reproducir las condiciones de traspaso de sonido de un ambiente a otro. El volumen fue reducido en un 36% en comparación con las mediciones anteriormente realizadas de esta manera se pudo realizar una simulación de la metodología MINVU de traspaso de sonido de un ambiente a otro. De esta forma se pudo recrear el traspaso de sonido de un ambiente con una fuente sonora alta y como esta fuente afecta a otro ambiente separados por el Panel Compuesto

Se mantienen las configuraciones del software generador de tonos Audacity 2.0.5 para la emisión de ondas de sonido controladas.

Un punto importante en este análisis acústico es que se agregó una tercera toma de mediciones. Esta nueva medición se realizó incorporando un Subwoofer de sonido, el que aportaba con una onda baja la que produce una pequeña onda de choque, esta onda produce una pequeña vibración del cajón y del panel compuesto.

Estas nuevas mediciones no alteran las variables de los objetivos particulares, esto debido que las condiciones del panel compuesto son las mismas que anteriormente. La adición de esta onda de Subwoofer actúa solo como un complemento de una onda de sonido normal, este complemento es para simular ondas de sonido con posibles vibraciones producidas principalmente por el tránsito vehicular. La adición de esta onda de Subwoofer solo hace un pequeño cambio en el ambiente de pruebas, no aumenta el volumen de onda, ni la intensidad, solo es una onda silenciosa de vibración, por lo que estas mediciones no agregan nuevas variables. Se mantienen las mismas variables solo cambian las condiciones de la toma de datos al agregar esta onda de choque del Subwoofer.

Por ello mediante la onda vibratoria del Subwoofer se puso a prueba las probetas, para de esta manera lograr ver el comportamiento acústico del panel ante una pequeña onda vibratoria.

El sonómetro fue configurado de la misma manera anterior para no tener valores diferentes y así realizar nuevas conclusiones a la experimentación comparando estos valores con los obtenidos anteriormente.

La configuración Audacity 2.0.5 es la siguiente:

Frecuencia principal de volumen y frecuencia: 384000

Forma de onda: Cuadrada

Frecuencias: desde 200 hasta 2000 Hz

Amplitud: 0.8

Duración: 1.0 minuto

Calidad de sonido: sonido en 320Kbps de vibración

Sonido: 32 bits, flotantes tipo Mono

La configuración del sonómetro es la siguiente:

- Configurado para que tome las mediciones desde el punto de vista del oído humano
- Tipo Low un promedio de mediciones en 1 segundo
- Calibración del tipo High para una mayor calidad en la medición

4.3.1.- Ejecución de segundas mediciones

- Se marcaron los lugares de posición de parlante y colocación de sonómetro en el otro extremo. Estas distancias fueron a 20 cm de los bordes del cajón de pruebas. Estas marcas no fueron alteradas ni los instrumentos fueron reubicados durante la experimentación.
- Estando todo listo, se procede a la carga de la probeta en el centro mismo del cajón de pruebas con sumo cuidado para no dañar tanto el cajón como la probeta.
- Montada la probeta se ajusta el ordenador con Audacity 2.0.5 para que comience a reproducir un tono con una frecuencia particular.
- Con el tono sonando se toma el sonómetro y se ubica en la zona anteriormente marcada para la toma de la medición y se registra.
- El registro se realizó en dos puntos: el primero con una medición a 50cm de distancia del parlante emisor para de esta manera ajustar y simular la experimentación a la metodología MINVU. El segundo punto de registro se realizó a 20 cm. del borde de la cámara de recepción, ver figura 2.5 Metodología MINVU
- Como diferencia se agregó una medición extra a cada frecuencia que fue integrar la onda de sonido producida por un Subwoofer, para aumentar la onda de choque del sonido y producir una pequeña vibración
- El registro es realizado en tablas de tomas de dato inicial, con probeta, absorción y frecuencia.
- Realización de gráficos dando a conocer la absorción de los paneles y los valores para las variables de estudio indicadas en los objetivos específicos.

4.3.2.- Datos Obtenidos

Los valores obtenidos están tabulados en comparación con emisiones del mismo tipo, agregando un Subwoofer de onda acústica. Los valores de absorción son en dB y las frecuencias en Hz, la onda de medición duró aproximadamente 1 min, tiempo suficiente para hacer varias medidas y lograr un promedio estable de la onda al tomar la lectura y registro de la medición.

Considerando que inicialmente se calculo la intensidad de volumen de emisión de ondas para que estas viajen a través del Cajón de Pruebas, los datos expuestos a continuación se pueden asumir como datos de mejor calidad con respecto a los anteriormente presentados, ya que se logra mediante esta disminución, la emulación de mediciones de traspaso de sonido de un ambiente a otro en forma controlada, logrando la adaptación de la metodología MINVU.

En la figura 4.19 y 4.20 muestran al Panel Compuesto de Poliuretano con planchas tipo Eco 20mm de espesor con 28 kg/cm^2 de densidad, con diferentes espesores de Poliestireno expandido de espesores 10, 20 y 30mm. Se realizaron por separado los gráfico para toma de datos sin Subwoofer y gráfico de datos tomados con onda de Subwoofer, ambos muestran sus diferencias.

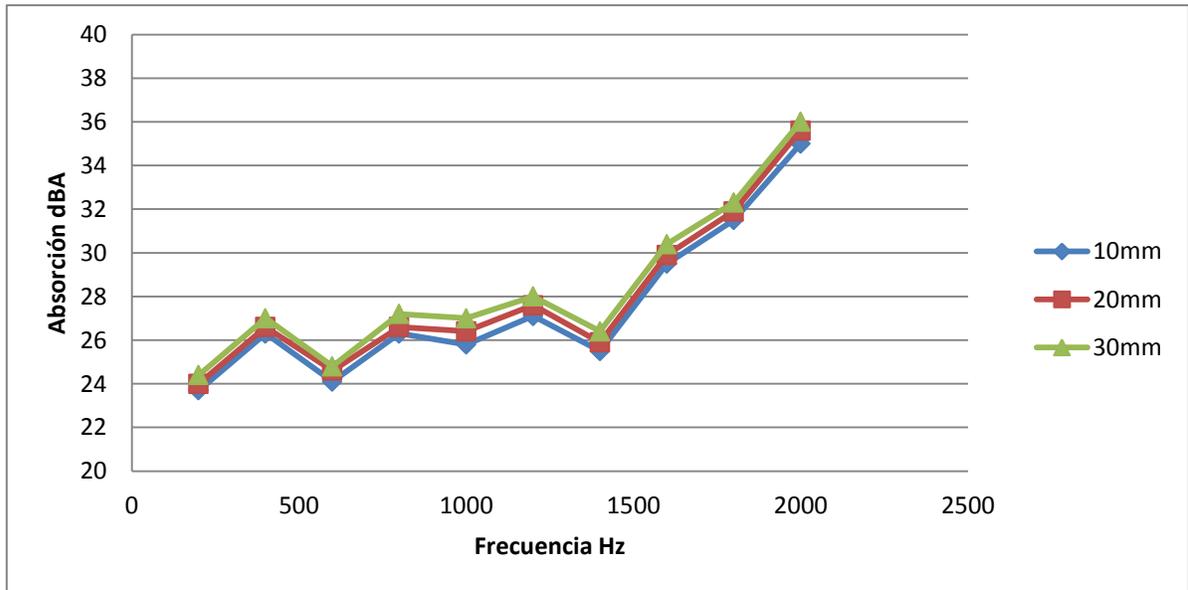


Figura 4.19.- Gráfico Segunda Medición Eco20-10, Eco20-20 y Eco20-30. Datos sin onda de Subwoofer.

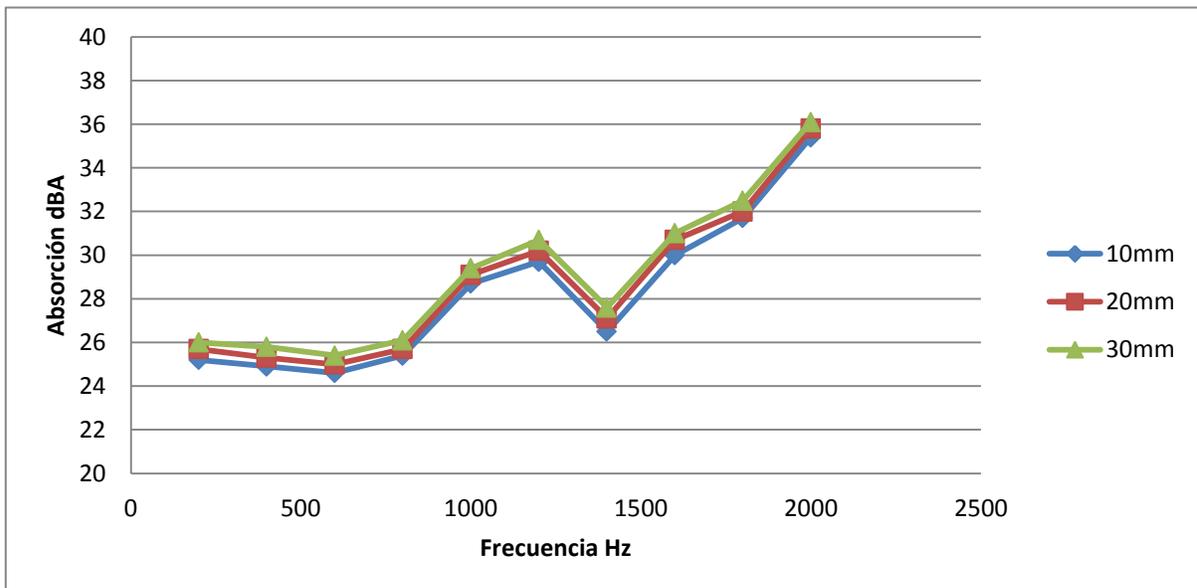


Figura 4.20.- Gráfico Segunda Medición Eco20-10, Eco20-20 y Eco20-30. Datos con onda de Subwoofer.

En la figura 4.21 y 4.22 muestran al Panel Compuesto de espuma de Poliuretano con planchas tipo Eco 35mm de espesor con 28 kg/cm^2 de densidad, con diferentes espesores de Poliestireno expandido de espesores 10, 20 y 30mm. Se realizaron por separado los gráfico para toma de datos sin Subwoofer y gráfico de datos tomados con onda de Subwoofer, ambos muestran sus diferencias.

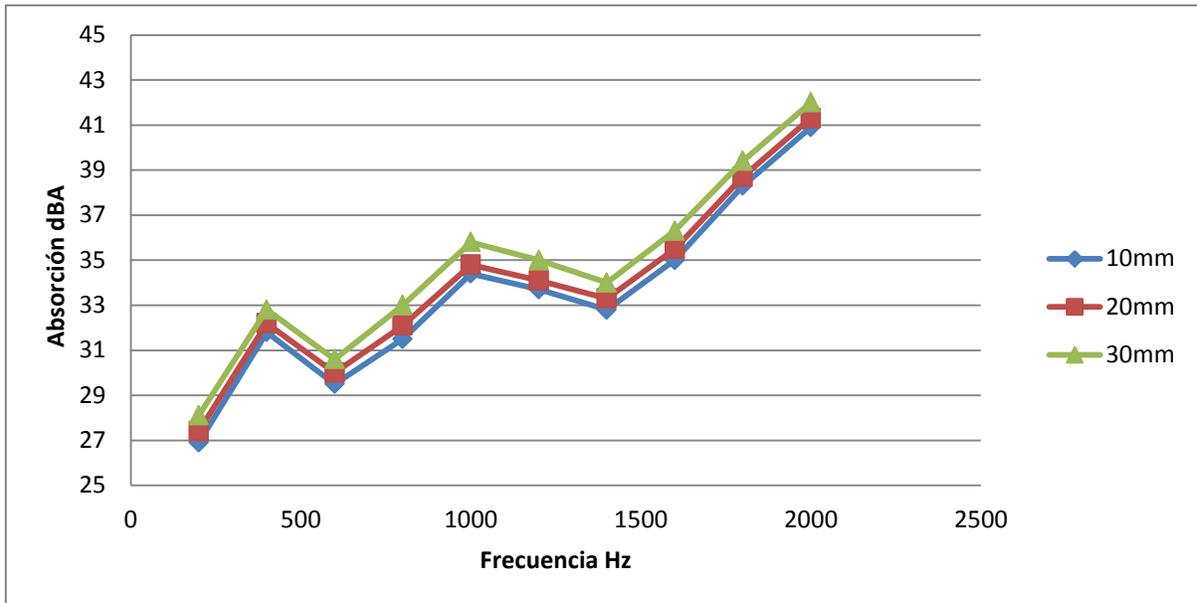


Figura 4.21.- Gráfico Segunda Medición Eco35-10, Eco35-20 y Eco35-30. Datos sin onda de Subwoofer.

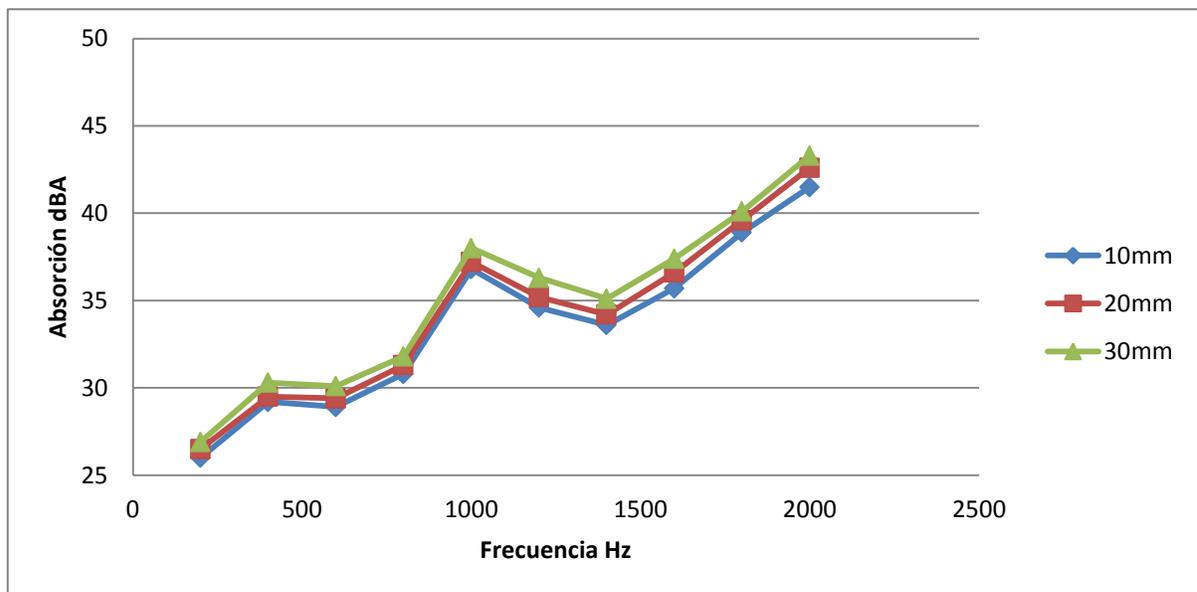


Figura 4.22.- Gráfico Segunda Medición Eco35-10, Eco35-20 y Eco35-30. Datos con onda de Subwoofer.

En la figura 4.23 y 4.24 muestran al Panel Compuesto de espuma de Poliuretano con planchas tipo Pro 20mm de espesor con 32 kg/cm^2 de densidad, con diferentes espesores de Poliestireno expandido de espesores 10, 20 y 30mm. Se realizaron por separado los gráfico para toma de datos sin Subwoofer y gráfico de datos tomados con onda de Subwoofer, ambos muestran sus diferencias.

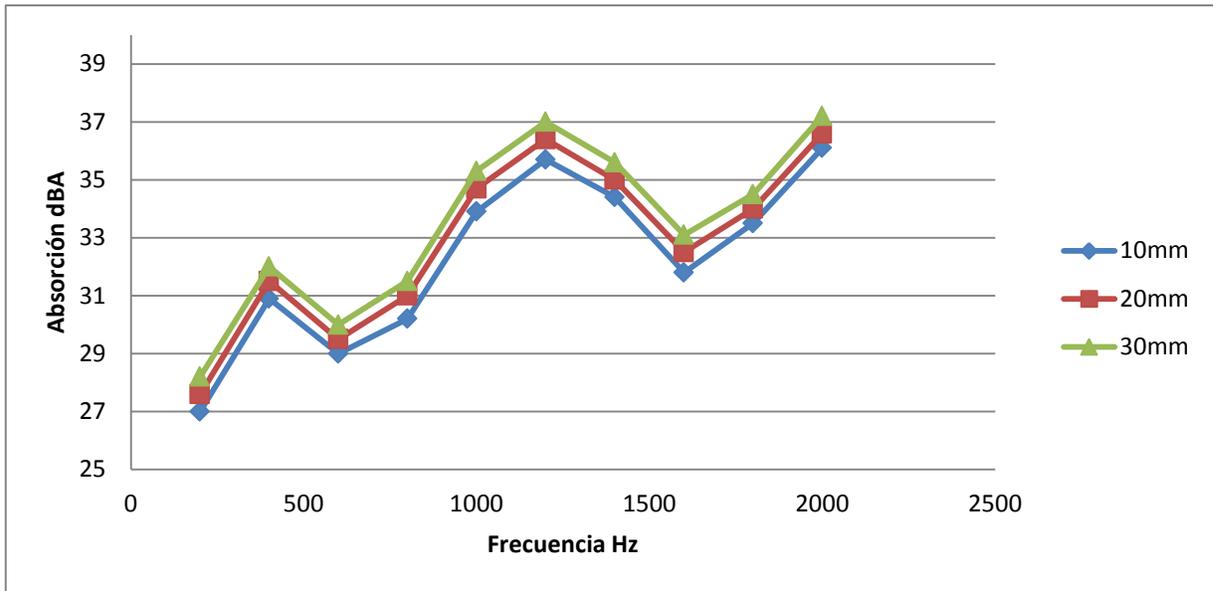


Figura 4.23.- Gráfico Segunda Medición Pro20-10, Pro20-20 y Pro20-30. Datos sin onda de Subwoofer.

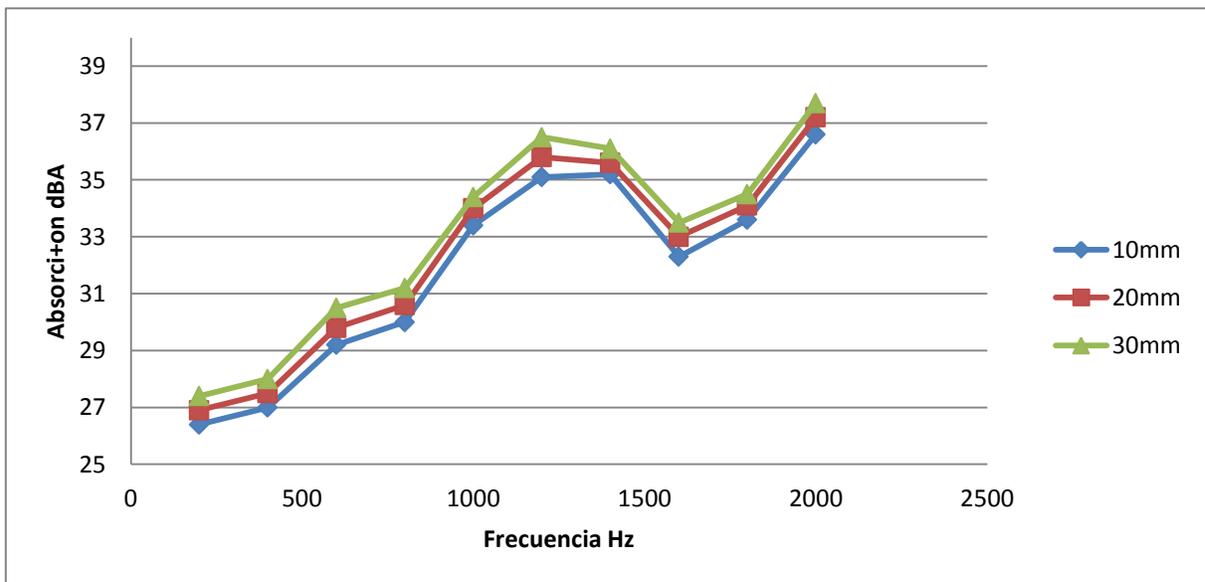


Figura 4.24.- Gráfico Segunda Medición Pro20-10, Pro20-20 y Pro20-30. Datos con onda de Subwoofer.

En la figura 4.25 y 4.26 muestran al Panel Compuesto de espuma de Poliuretano con planchas tipo Pro 35mm de espesor con 32 kg/cm^2 de densidad, con diferentes espesores de Poliestireno expandido de espesores 10, 20 y 30mm. Se realizaron por separado los gráfico para toma de datos sin Subwoofer y gráfico de datos tomados con onda de Subwoofer, ambos muestran sus diferencias.

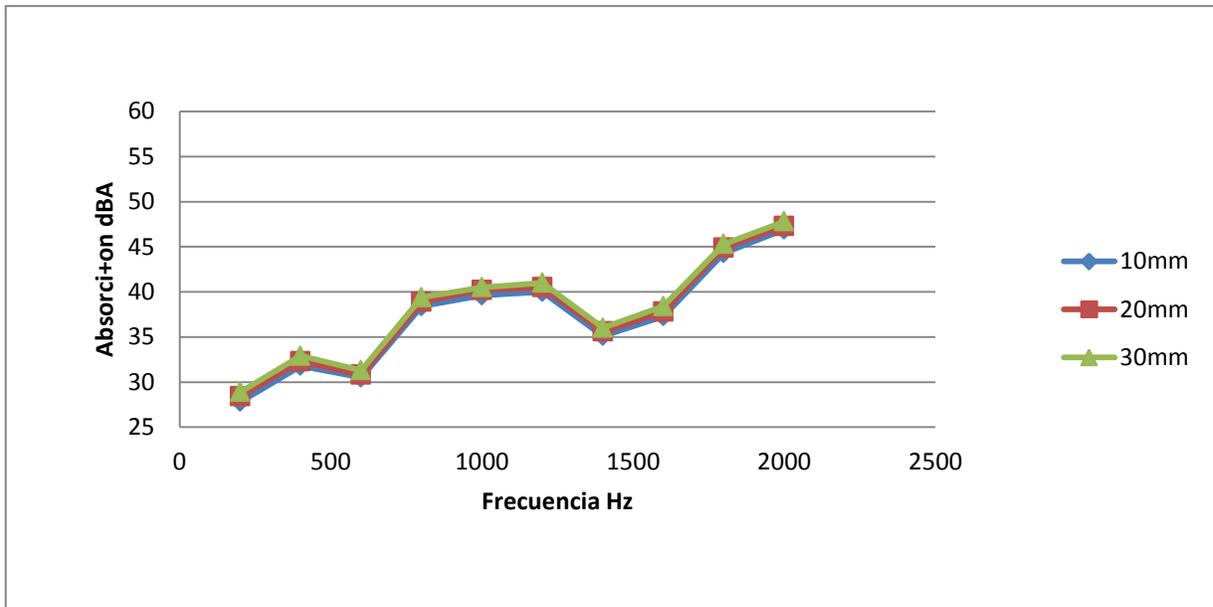


Figura 4.25.- Gráfico Segunda Medición Pro35-10, Pro35-20 y Pro35-30. Datos sin onda de Subwoofer.

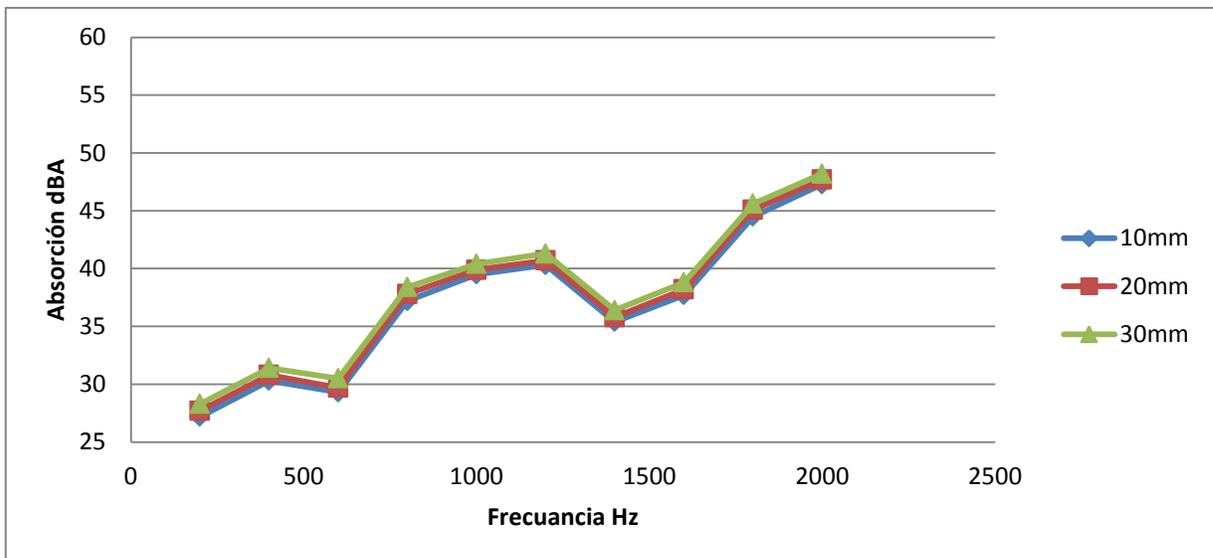


Figura 4.26.- Gráfico Segunda Medición Pro35-10, Pro35-20 y Pro35-30. Datos con onda de Subwoofer.

En la figura 4.27 y 4.28 muestran al Panel Compuesto de espuma de Poliuretano con planchas tipo Class1 35mm de espesor con 11 kg/cm^2 de densidad, con diferentes espesores de Poliestireno expandido de espesores 10, 20 y 30mm. Se realizaron por separado los gráfico para toma de datos sin Subwoofer y gráfico de datos tomados con onda de Subwoofer, ambos muestran sus diferencias.

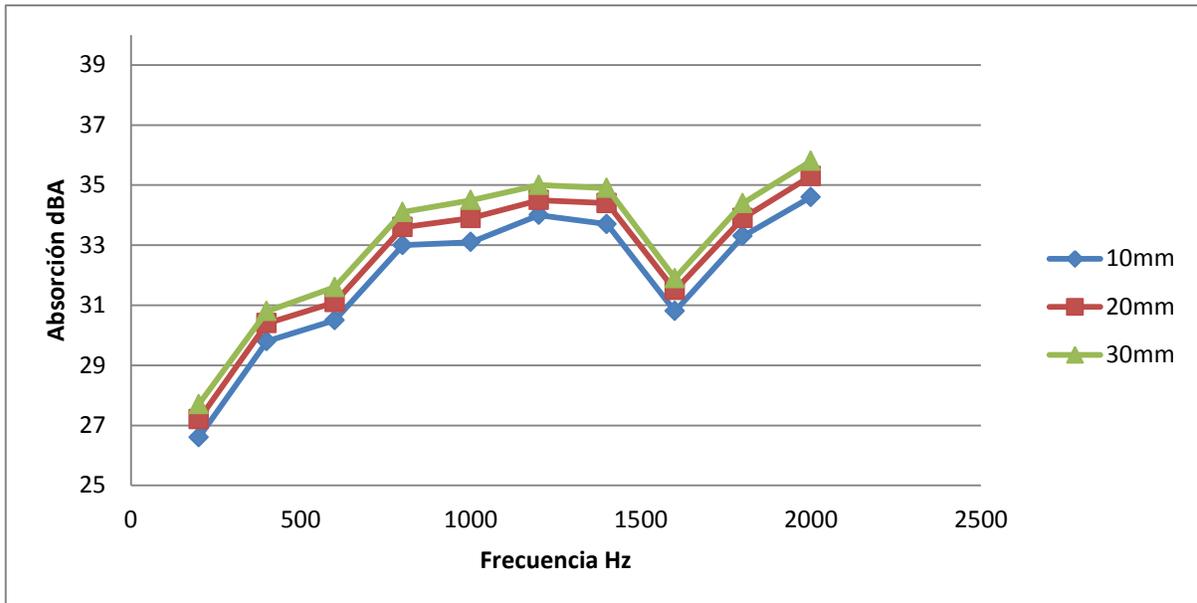


Figura 4.27.- Gráfico Segunda Medición Class35-10, Class35-20 y Class35-30. Datos sin onda de Subwoofer.

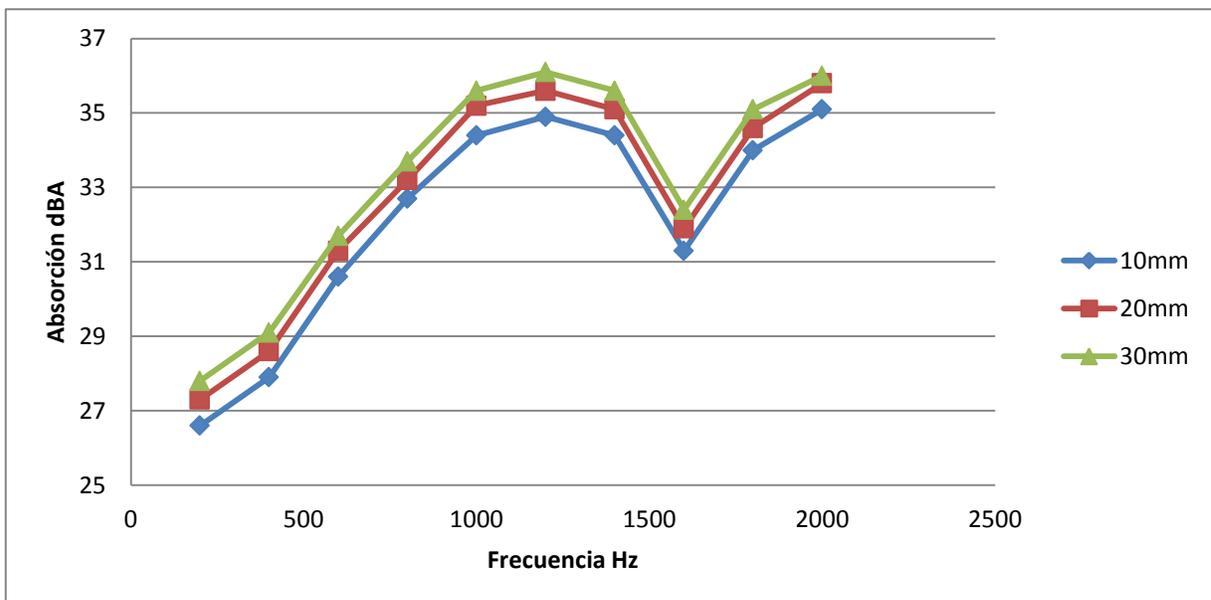


Figura 4.28.- Gráfico Segunda Medición Class35-10, Class35-20 y Class35-30. Datos con onda de Subwoofer.

4.3.3.- Análisis de resultados sin onda de Subwoofer

Con el cambio realizado entre las primeras y estas mediciones para la toma de datos, los resultados obtenidos tienen cambios favorables a la investigación del Panel Compuesto, ya que, los resultados de estas mediciones dan a conocer de mejor manera el comportamiento acústico del Panel Compuesto frente a una situación de traspaso de sonido de un ambiente a otro.

Al realizar inicialmente una medición directamente del parlante que emitía las frecuencias sonoras y luego obtener la absorción mediante el cálculo de Diferencia de Nivel se obtiene un registro de datos y análisis similar al utilizado por MINVU para obtener absorción de sonido en viviendas.

4.3.3.1.- Análisis onda de sonido

Las ondas de sonido utilizadas en esta toma de mediciones se realizaron con los mismos estándares de calidad anteriores, es decir, sonido de máxima calidad digital 320kbps y volumen de frecuencia de 384000 configurados previamente en el software Audacity.

Al realizar el cambio de medición para la aislación de sonido entre dos ambiente (adaptada al ensayo MINVU), los resultados de absorción de sonido se ajustan más a una del tipo desviación estándar. Al obtener este tipo de medición los análisis resultan comparables entre sí de mejor manera.

Al realizar la disminución de volumen de emisión, los valores fueron más exactos en relación a las mediciones realizadas anteriormente ya que la onda de sonido se comportó de manera uniforme a medida que atravesaba el Cajón de Pruebas es por ello que los resultados de esta segunda toma de datos es más precisa, además de simular perfectamente una medición en terreno de dos ambientes.

Los datos entregados por las nuevas mediciones dieron como resultado algo esperable inicialmente dado los valores de fabricantes de los materiales similares a la venta actualmente.

Los valores obtenidos fueron inicio de mediciones con bajas frecuencias en la cual la absorción fue menor a mediciones de alta frecuencia, esto se ajusta a mediciones de absorción de sonido de otros tipos de panel de Espuma de Poliuretano. Los cambios de absorción presentados por el panel a frecuencias superiores a los 2000 Hz no realizaban mayor cambio en su absorción por lo que pese a aumentarla en pocos decibeles, no presenta mayores cambios a los antes ya expuestos en mediciones anteriores.

Las frecuencias de 600 y 1400 Hz dan pick de baja absorción importante en las mediciones y esto se debe al comportamiento acústico del Panel Compuesto, frente a este tipo de frecuencia para subir drásticamente en los 800 y 1600 Hz en algunos casos de las configuraciones del panel compuesto. Se puede ver en los gráficos 4.16, 4.18, 4.20, 4.22 y 4.24 que corresponden a los resultados sin onda Subwoofer.

Aun así obteniendo estos resultados de mediciones, se puede inferir que la absorción en 400 y 1000 y 1200 da valores de absorción altos en comparación a los que siguen produciéndose esta baja de absorción.

El aumento de la absorción de las ondas de sonido se vio directamente proporcional a el aumento de las frecuencias, nunca dando valores inferiores a los iniciales. Por esto se puede inferir en este punto de la investigación que la absorción aumenta a mayor frecuencia de onda. Esto debido a la agudeza de las altas frecuencias y la densidad de la espuma de Poliuretano.

4.3.3.2.- Análisis de resultados por espesor

La tendencia en relación al espesor fueron similares a las mediciones anteriormente realizadas, estas corresponden a que; a mayor espesor del panel compuesto mayor es la absorción del sonido de este.

Los valores mínimos de espesor utilizado es de 20mm para la Espuma de Poliuretano y de 10mm para las planchas de Poliestireno Expandido y los valores máximos de espesor es de 35mm para la Espuma de Poliuretano y de 30mm para el Poliestireno Expandido.

Dado el espesor la diferencia de absorción entre las probetas de Espuma de Poliuretano de 20mm y 35mm llegó a ser de entre 5 a 15 dB de diferencia dependiendo de la frecuencia y dado el espesor del Poliestireno Expandido que va de 10 a 30mm, la absorción aumento de 0,2 a 3 dB de diferencia dependiendo de la frecuencia utilizada.

En la figura 4.29 se muestra las diferencias de absorción por espesor de las probetas de menor espesor (Eco20-10 y Pro20-10) de 60mm y las de mayor espesor (Eco35-30 y Pro35-30) de 130mm.

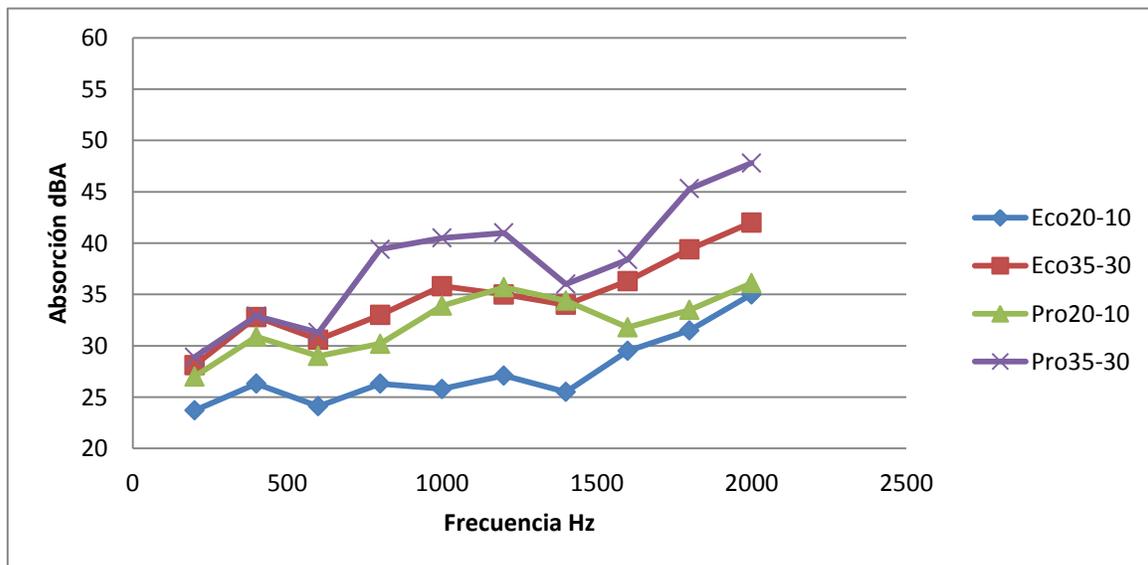


Figura 4.29.- Gráfico de diferencias de absorción por espesor.

4.3.3.3.- Análisis de resultados por volumen de aire

El volumen de aire utilizado es similar a las tendencias anteriores dado que las probetas utilizadas en estas son las mismas que antes fueron analizadas.

El volumen de aire se pudo apreciar en dos formas, dado al volumen de aire propio de las probetas en su confección y el aire interior de los materiales que se están utilizando. Este aire se ve reflejado en las mediciones de las probetas con espuma de Poliuretano de los tipos Class1 y Eco.

La forma en que estos dos tipos de espuma de Poliuretano ordenan sus moléculas interiores de aire para la absorción del sonido, dio como resultado de las mediciones que su comportamiento acústico era mejor para la absorción y refracción de la onda sonora dependiendo del tipo de frecuencia. La dispersión de aire interior se produce al proyectar el poliuretano y convertido en espuma dejando en su interior burbujas de aire en forma uniforme.

El aire interior propio del ordenamiento de los materiales se comporta de mejor manera ante bajas frecuencias y ante altas frecuencias la densidad se vuelve preponderante.

En la figura 4.30 se muestran las diferencias de absorción de sonido en función del volumen de aire proporcionado por el diseño anecoico, siendo menor el de Eco20-10 con Pro20-10 y mayor Eco35-10 con Pro35-10, esta diferencia es producto del porte de las figuras anecoicas.

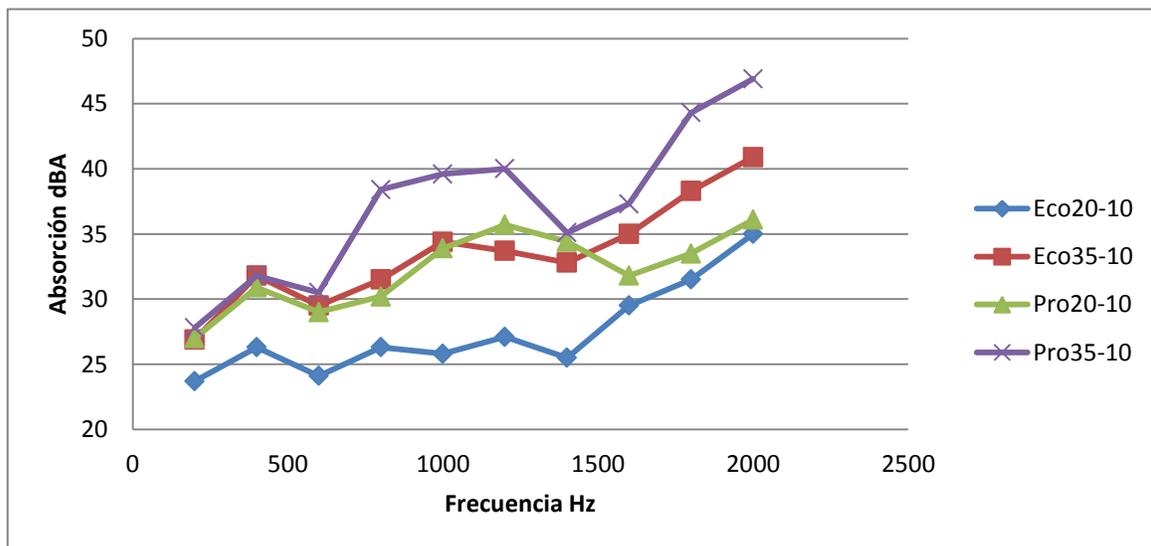


Figura 4.30.- Gráfico de diferencias de absorción por volumen de aire.

La cámara de aire interior formada por las figuras anecoicas de la Espuma de Poliuretano ayudan en la absorción, dado la presión del aire que se encuentra en su interior, produciendo otro medio ya que la onda sonora se debilita, además de la acción del diseño

anechoico de la Espuma de Poliuretano. Esta cámara se comporta de mejor manera ante sonidos graves.

4.3.3.4.- Análisis de resultados por densidad

Los resultados son similares a los obtenidos anteriormente, esta se comporta de manera importante dado que a mayor densidad aumenta la aislación de ondas de sonido, combinando porosidad y densidad se logra un material con altos índices de absorción sonora, en este caso la Espuma de Poliuretano es amplificada con la cámara de aire y el diseño anecoico del panel aumenta considerablemente la absorción de ondas sonoras.

La densidad es importante en la absorción de ondas sonoras a altas frecuencias. Como muestran la tendencia expuesta en los resultados anteriores a mayor frecuencia hay mayor absorción y esto también se debe a su densidad que produce mayor absorción. Esto aplicado a todo tipo de materiales, pero en el caso de los porosos y de mayor densidad como es en este caso, logra gran absorción de sonido.

En el caso de las comparativas a bajas frecuencias entre los tipos Class1 y Eco pese a que Class1 tiene menor densidad, esta tiene mejor absorción pero solo a bajas frecuencias; debido a la distribución de sus partículas interiores generando un material con gran cantidad de aire y muy poroso. Siendo este el motivo de un mejor comportamiento a bajas frecuencias.

Las Probetas con la versión Pro de Espuma de Poliuretano mostraron al igual que la vez anterior los mejores resultados de absorción de sonido, siendo su versión de 35mm las que lograron mejores valores de absorción en las mediciones realizadas.

En la figura 4.31 se puede ver las diferencias de absorción en función a la densidad de la espuma de Poliuretano, con Eco de 28 Kg/cm² Pro de 32 Kg/cm² y Class1 de 11 Kg/cm².

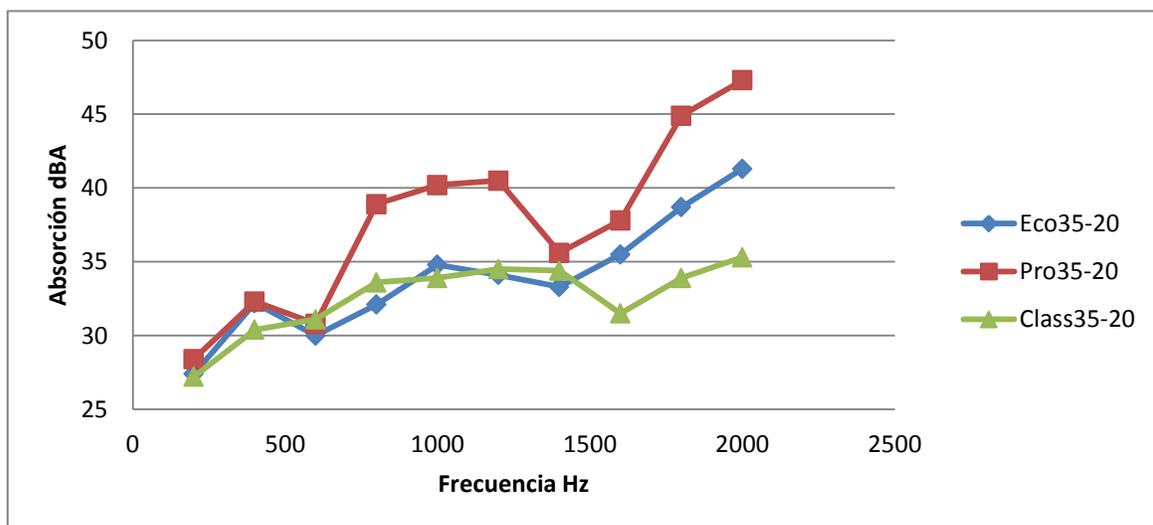


Figura 4.31.- Gráfico de diferencias de absorción por densidad de espuma de Poliuretano.

La densidad es importante a la hora de la absorción y refracción acústica de mediana y alta frecuencia aumentando la absorción de los materiales a medida que aumenta la frecuencia a la que son expuestos.

4.3.3.5.- Contraste entre lo planificado y lo logrado

La segunda toma de datos siguió las mismas condiciones que las primeras y se logro aumentar el cuidado tanto en la realización de las mediciones como en la toma de datos.

No hubo cambios de ningún tipo en las mediciones ni alguna alteración en los materiales. El ambiente de medición fue propicio y no presento mayores alteraciones en las mediciones.

4.3.4.- Análisis de resultados con onda de Subwoofer

Para agregar de vibración en el panel y ver su comportamiento ante esta circunstancia, se decide implementar una onda Subwoofer agregada a las ondas de tonos antes utilizadas. Esta onda Subwoofer se colocó en dirección del Panel Compuesto produciendo una pequeña vibración perceptible por el oído y también al tener contacto con el cajón de pruebas.

Considerar que la onda de Subwoofer es una onda adherida al tono normal de sonido que no altera las variables a considerar en los objetivos específicos. La adhesión de esta onda es para simular una onda de sonido similar a una producida con vibraciones y ver cómo se comporta el Panel Compuesto frente a esta condición. La onda de sonido no fue alterada en ningún sentido, es por esto que su intensidad de volumen, amplitud no se vieron afectadas.

4.3.4.1.- Análisis onda de sonido más onda Subwoofer

La onda Subwoofer emitida produce una onda de choque que circula por el ambiente desde su punto de emisión. Esta onda de choque de bajos, viaja y produce vibraciones en los elementos que están en su camino hasta que esta se disipa. En la implementación de esta onda de choque se produjo vibración tanto en el cajón de pruebas como en las probetas, logrando emular una situación real de una ambiente afectado por ondas de sonido con vibración.

Las probetas de Panel Compuesto fueron expuestas a estas vibraciones y dado que la onda de sonido era mezclada con la de vibración por lo que era mejor absorbida por el Panel Compuesto. Esto se debe a que el Panel Compuesto tiene capacidad de absorción por impacto dado que parte de su composición es Poliuretano Expandido y logra absorber ondas de choque producidas por diferentes fuentes de emisión.

Otro punto importante en esta absorción, es la cámara de aire que hay en el Panel Compuesto capaz de disipar y también de devolver las ondas de choque a su fuente inicial dado que interiormente estas rebotan en la cámara de aire. Estos rebotes se producen, ya que, la onda tiene que cambiar de un medio a otro en dos ocasiones dentro de la probeta y el resto de las ondas que no se reflejan son absorbidas por la espuma de Poliuretano en su interior.

Como se pudo ver en las graficas de ondas con Subwoofer el comportamiento del Panel Compuesto en sus configuraciones, presentó mayor absorción de sonido. Como es visto anteriormente las ondas de sonido fueron aumentando el nivel de la onda a medida que se incrementaban las frecuencias. De esta misma manera la absorción de onda de sonido más onda de choque producida por el Subwoofer se presenta con mayor absorción a mayores frecuencias. Donde no se presentan cambios significativos es en las probetas Pro35-10, Pro35-20 y Pro35-30 donde la absorción es similar tanto en onda como sin onda de Subwoofer.

En las figuras 4.32, 4.33, 4.34, 4.35 y 4.36 muestran las diferencias a las mediciones de absorción entre las probetas sin y con onda de choque proporcionada por el Subwoofer. Los gráficos corresponden a las probetas con espuma de Poliuretano Eco de 20mm, Eco de 35mm, Pro de 20, Pro de 35mm y Class1 de 35mm de espesor, esto junto a sus combinaciones de Poliestireno expandido de 10, 20 y 30mm de espesor.

Las diferencias entre las mediciones con y sin onda Subwoofer muestran que en frecuencias entre los 200Hz y 1400Hz hay cambios de comportamiento y la tendencia se mantiene a frecuencias superiores a los 1500Hz.

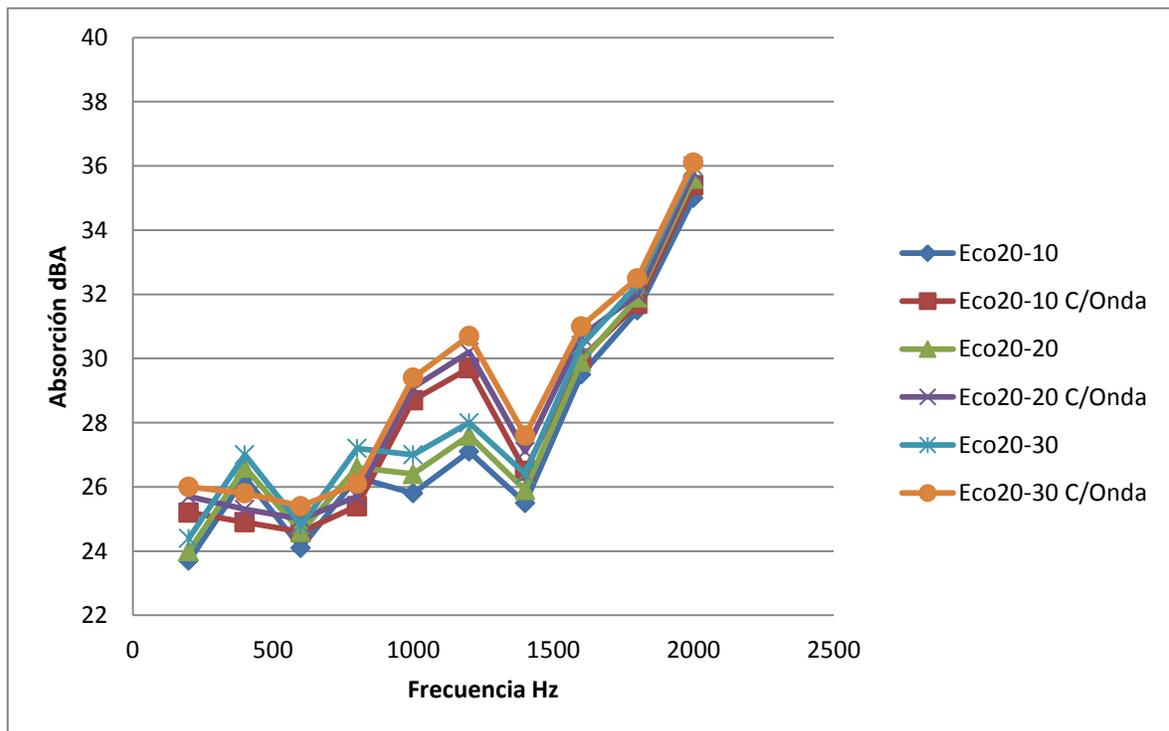


Figura 4.32.- Gráfico comparativo Eco20 con y sin onda de Subwoofer.

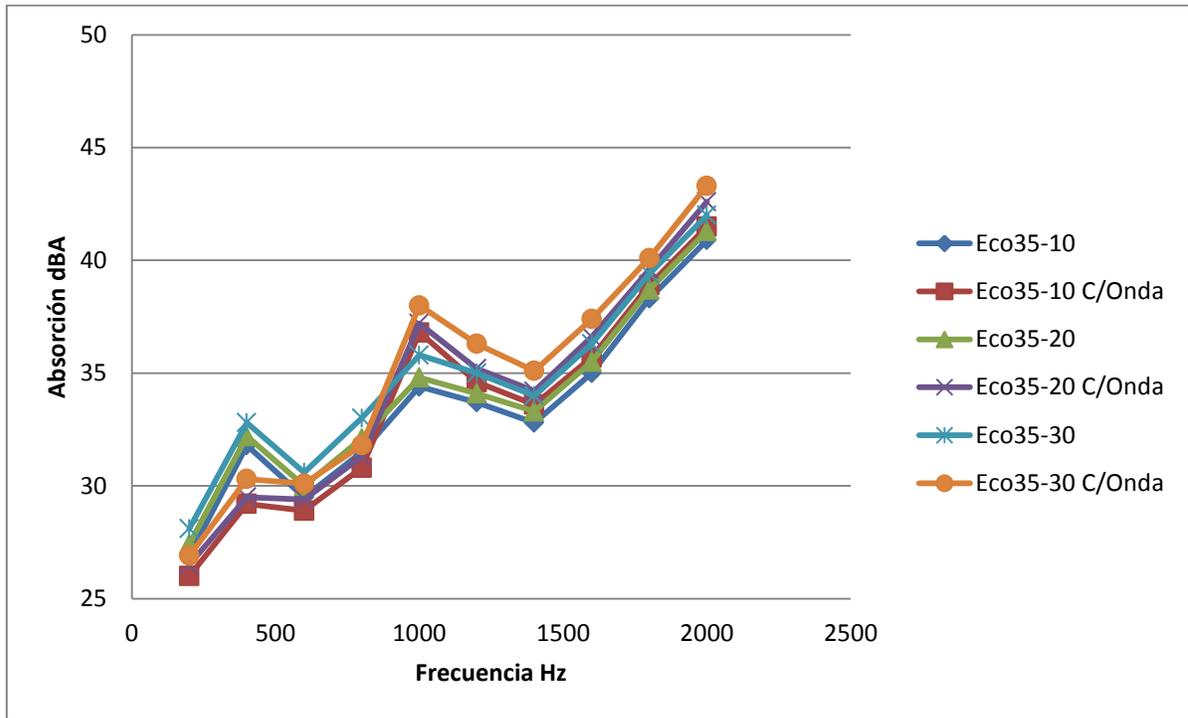


Figura 4.33.- Gráfico comparativo Eco35 con y sin onda de Subwoofer.

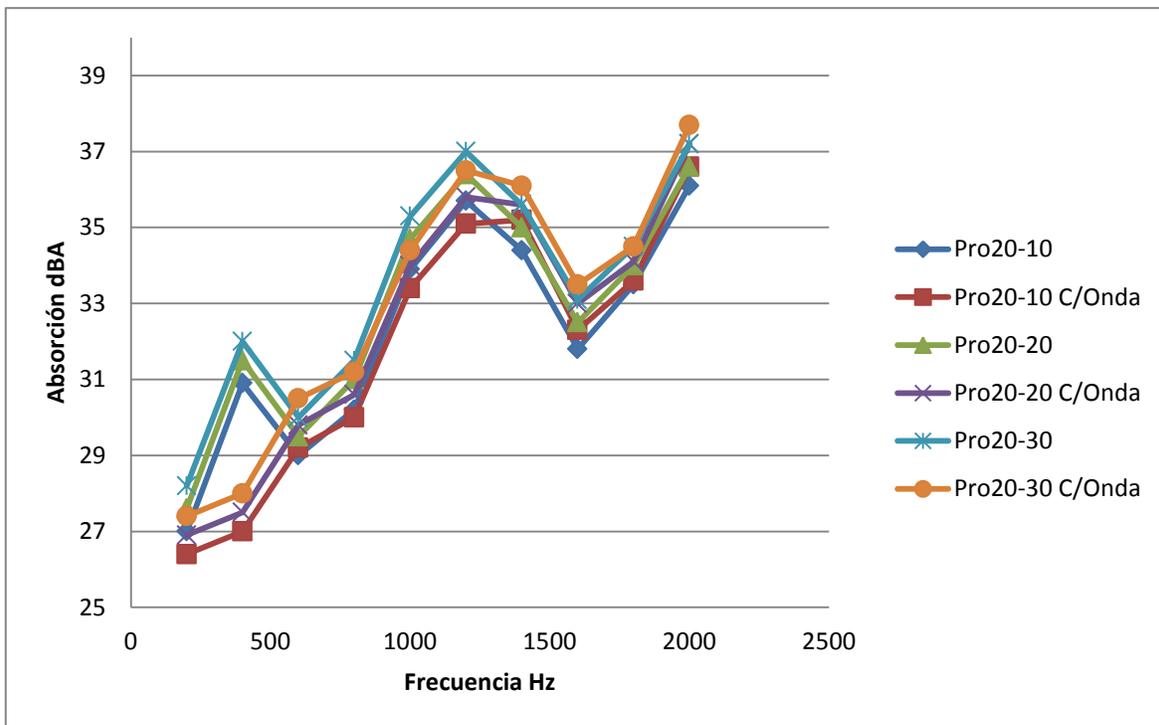


Figura 4.34.- Gráfico comparativo Pro20 con y sin onda de Subwoofer.

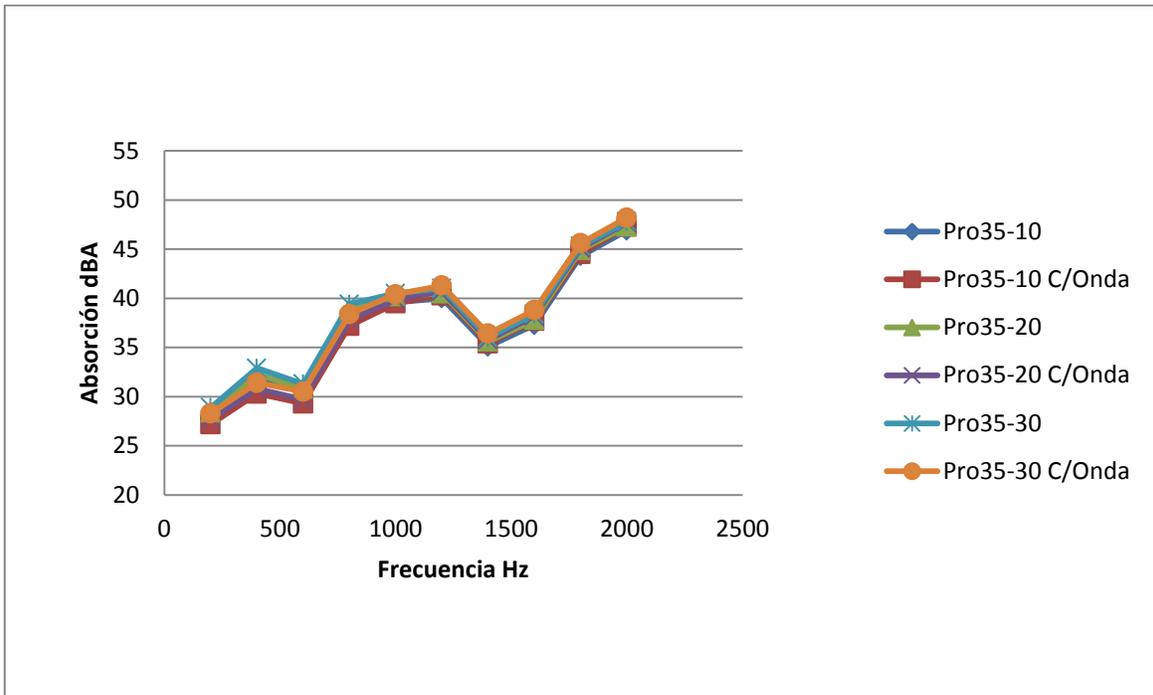


Figura 4.35.- Gráfico comparativo Pro35 con y sin onda de Subwoofer.

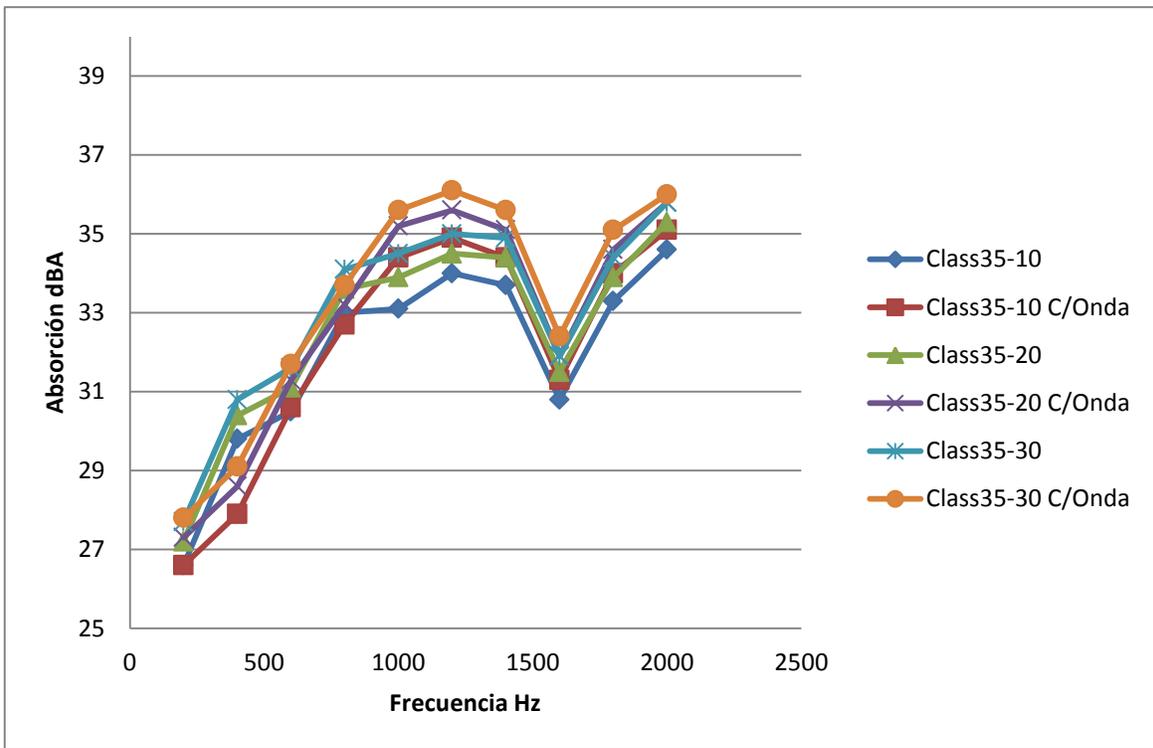


Figura 4.36.- Gráfico comparativo Eco20 con y sin onda de Subwoofer.

En comparación con valores sin Subwoofer, el Panel Compuesto tuvo la misma tendencia de aislación acústica, teniendo picos de baja absorción entre los 400 y 600hz y picos de alta absorción en 1000 y 1200hz. La tendencia de las mediciones indica que el aumento de absorción acústica aumenta a medida que se incrementan las frecuencias.

La diferencia de absorción en comparación con mediciones sin Subwoofer es de entre 3 a 5 dB en las frecuencias críticas, menor absorción en 400 hz y mayor absorción para 1000 y 1200hz.

El resultado de este análisis coloca al Panel Compuesto como absorbente de ondas de choque y posibles vibraciones por impacto. La absorción entregada aumenta al mezclar la onda sonora más la onda de choque vibratorio.

4.3.4.2.- Contraste entre lo planificado y lo logrado

La idea principal de este ensayo corresponde a poner a prueba el Panel Compuesto a vibraciones producidos, ya sea por algún tipo de impacto u onda de choque y ver su comportamiento ante estos acontecimientos. Según la materialidad del Panel Compuesto su comportamiento frente las condiciones de ondas de choque fueron efectivas.

El Subwoofer utilizado para estas pruebas demostró tener gran desempeño en la producción de ondas de choque, las cuales eran perceptibles con facilidad, lo que también produjo la incógnita de si esta onda de choque debilita la onda de sonido y por ello la onda de sonido es más absorbida. Aun así el desempeño fue mejor y el Panel Compuesto agrega otra característica acústica importante.

Las vibraciones de Subwoofer eran transmitidas al 45% del poder máximo del Subwoofer, para lograr una onda vibratoria leve pero perceptible, ya que al 100% de vibración produce altas vibraciones. El Subwoofer se ubico en la parte media del cajón de pruebas, por lo que la onda era direccional, es decir se emitía del Subwoofer y viajaba directamente hacia el Panel Compuesto donde era absorbida.

Destacar de igual manera que las vibraciones propias de la estructura no sufrían mayor alteración con esta onda Subwoofer, ya que el estudio de grabación es de hormigón armado y no cuenta con ventanas ni vidrio que pudieran alterar de alguna forma las mediciones.

Como último punto importante es la capacidad de tener mayor aislación de onda a mayor frecuencia, pese a que la onda de choque se producía a mayor volumen en sonidos más graves presentaba mayor vibración que a frecuencias altas, aun así en frecuencias incluso de 2000 Hz la onda vibratoria cambiaba de una vibración del tipo temblor a una vibración más rápida similar a la de un insecto. Por estas condiciones se infiere que la onda de choque a mayor frecuencia es más corta y rápida que a bajas frecuencias que son más largas y lentas.

4.4.- Comparativo entre primeras y segundas mediciones

En las figuras 4.37, 4.38, 4.39, 4.40 y 4.41 se puede apreciar la comparativa entre las dos mediciones. Las primeras mediciones tienen menor nivel de absorción que las segundas mediciones, esto debido al cambio de metodología. Las primeras mediciones fueron realizadas con el traspaso del sonido con y sin probeta de análisis. Las segundas mediciones se disminuyó el volumen y se tomaron mediciones en la fuente del sonido y posterior en el traspaso de sonido por la probeta de análisis.

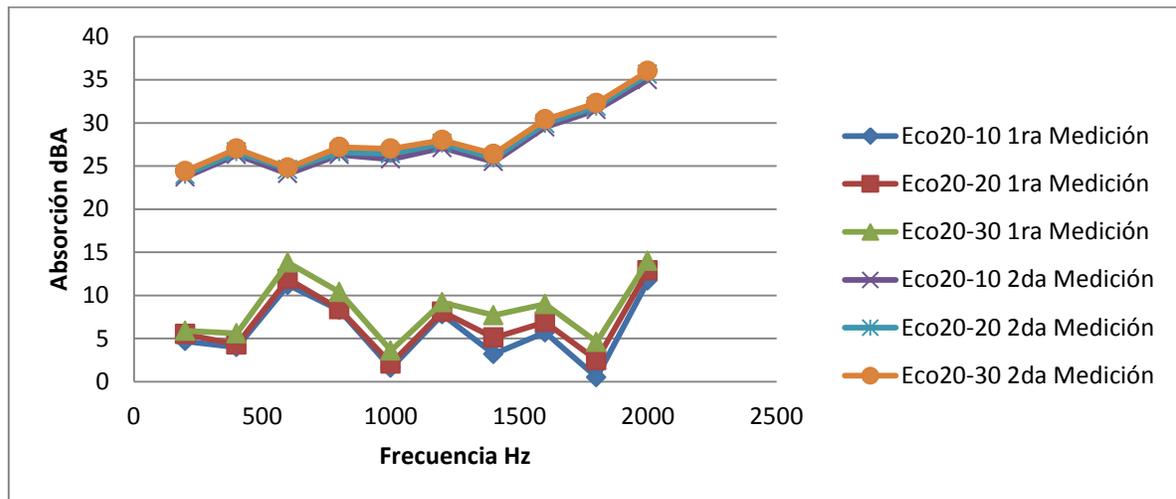


Figura 4.37.- Gráfico comparativo entre 1ras y 2das mediciones a Eco20.

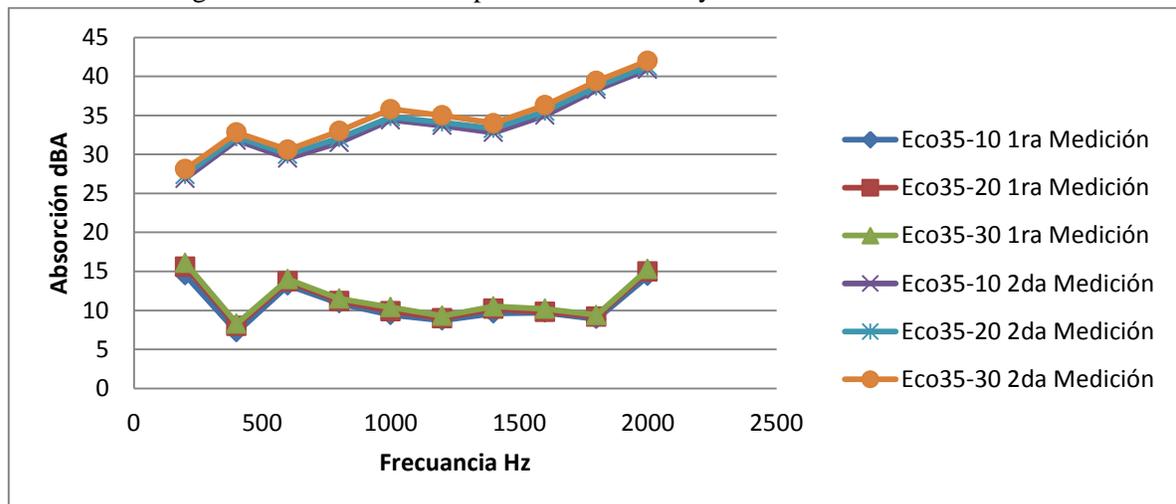


Figura 4.38.- Gráfico comparativo entre 1ras y 2das mediciones a Eco35.

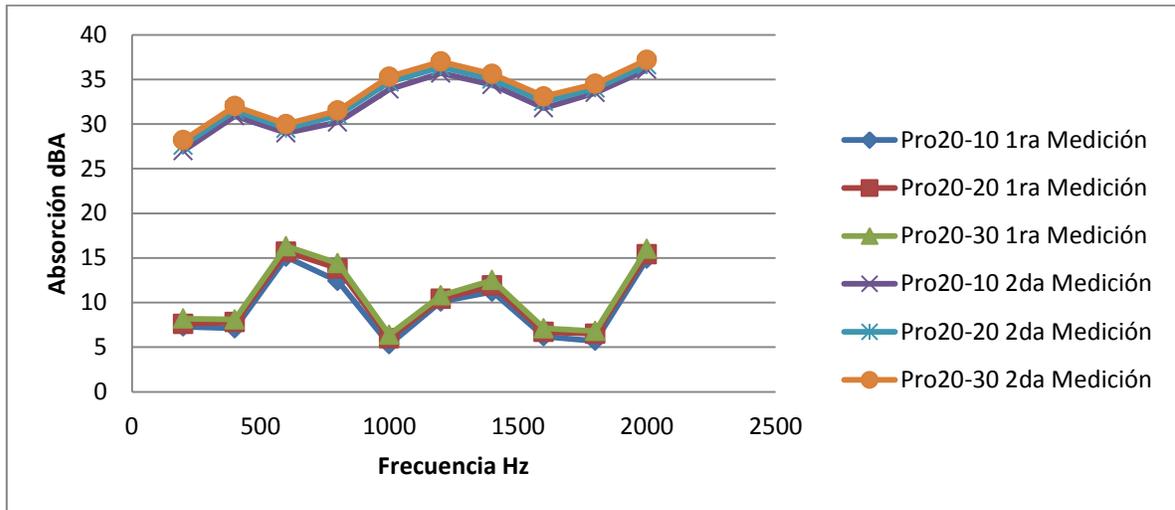


Figura 4.39.- Gráfico comparativo entre 1ras y 2das mediciones a Pro20.

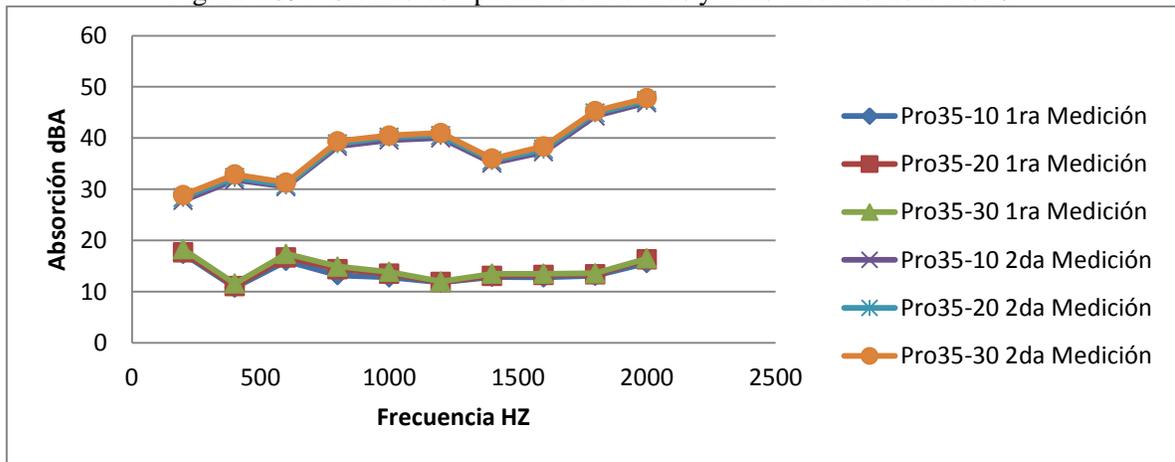


Figura 4.40.- Gráfico comparativo entre 1ras y 2das mediciones a Pro35.

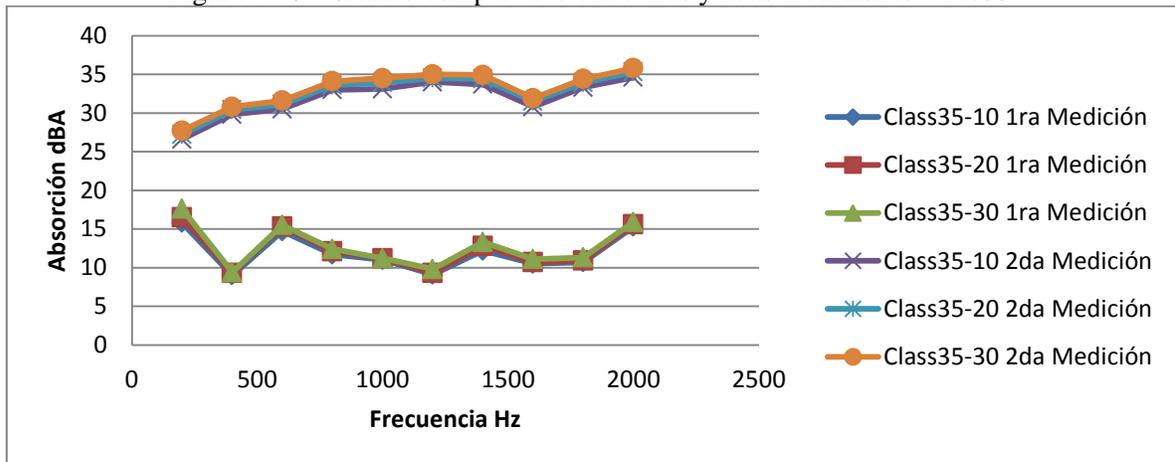


Figura 4.41.- Gráfico comparativo entre 1ras y 2das mediciones a Class35.

4.5.- Mediciones a materiales de construcción utilizados actualmente

Con la misma metodología anterior se realizaron mediciones a dos tipos de materiales que actualmente se utilizan en el relleno de tabiquerías, que son el Poliestireno Expandido de 60mm y la Lana Mineral 80mm de espesor.

Ambos materiales se ajustaron de la misma manera que las probetas trabajadas y sus mediciones fueron realizadas utilizando la misma metodología que se uso en la segunda etapa de mediciones, pero sin considerar una onda de choque de Subwoofer.

Los datos obtenidos también serán expuestos en gráficos comparativos a los resultados anteriores para las probetas antes diseñadas y de esta manera ver las ventajas acústicas del Panel Compuesto frente a los métodos clásicos de aislamiento acústico térmico de los rellenos de tabiquería.

En las figuras 4.42, 4.43, 4.44, 4.45 y 4.46 se muestran variaciones entre tipos de Panel Compuesto enfrentado a un método clásico como la Lana Mineral de espesor 80mm.

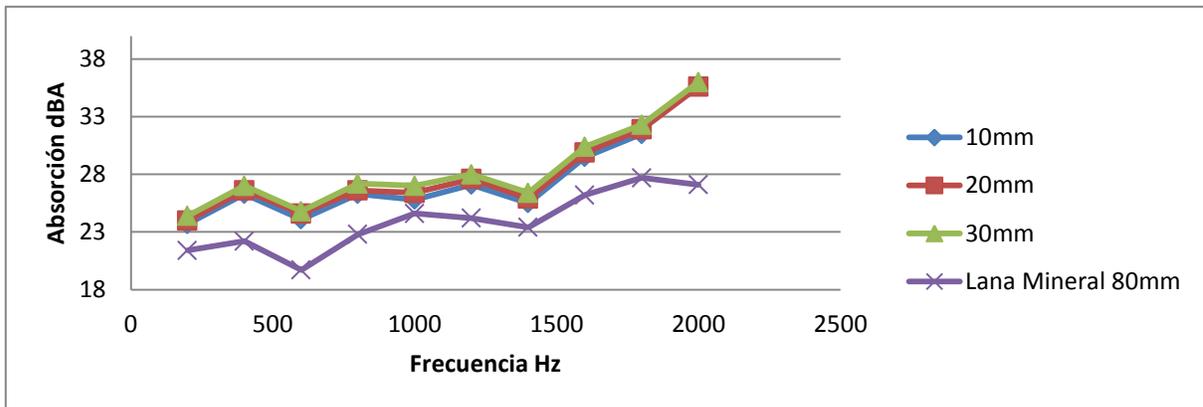


Figura 4.42.- Valores comparativos con Lana Mineral 80mm vs Eco20-10, Eco20-20 y Eco20-30.

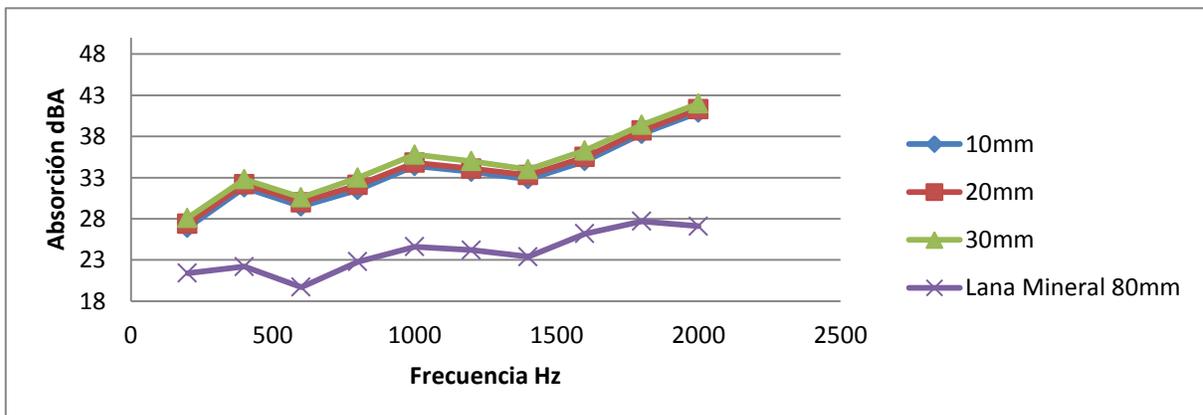


Figura 4.43.- Valores comparativos con Lana Mineral 80mm vs Eco35-10, Eco35-20 y Eco35-30.

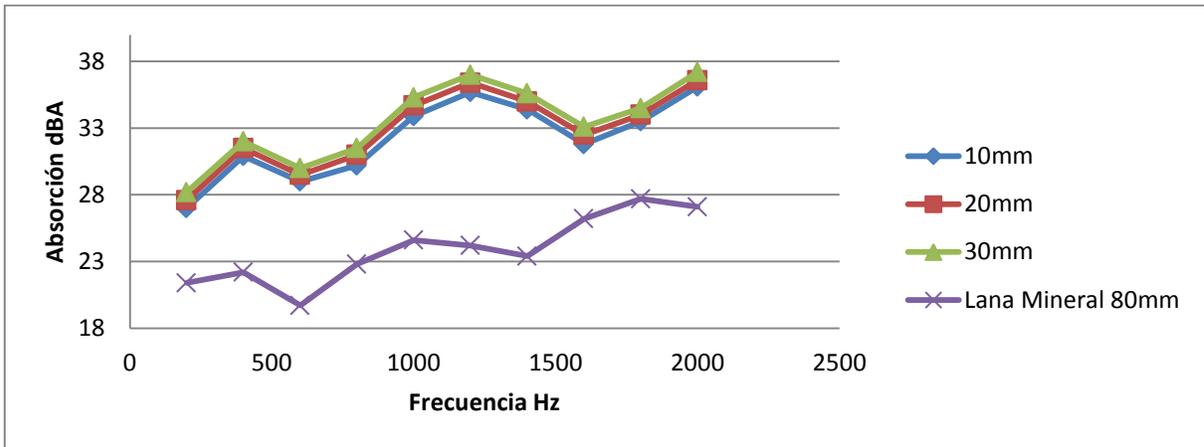


Figura 4.44.- Valores comparativos con Lana Mineral 80mm vs Pro20-10, Pro20-20 y Pro20-30.

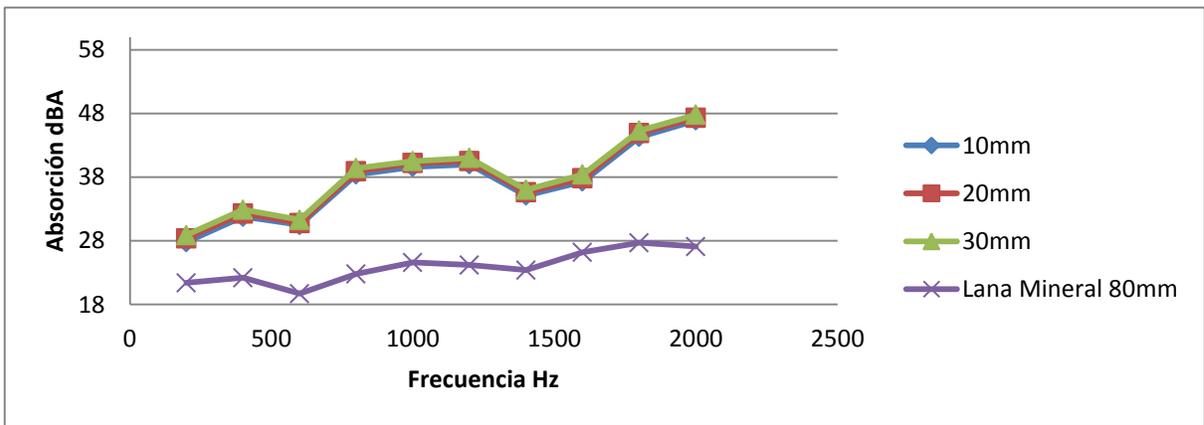


Figura 4.45.- Valores comparativos con Lana Mineral 80mm vs Pro35-10, Pro35-20 y Pro35-30.

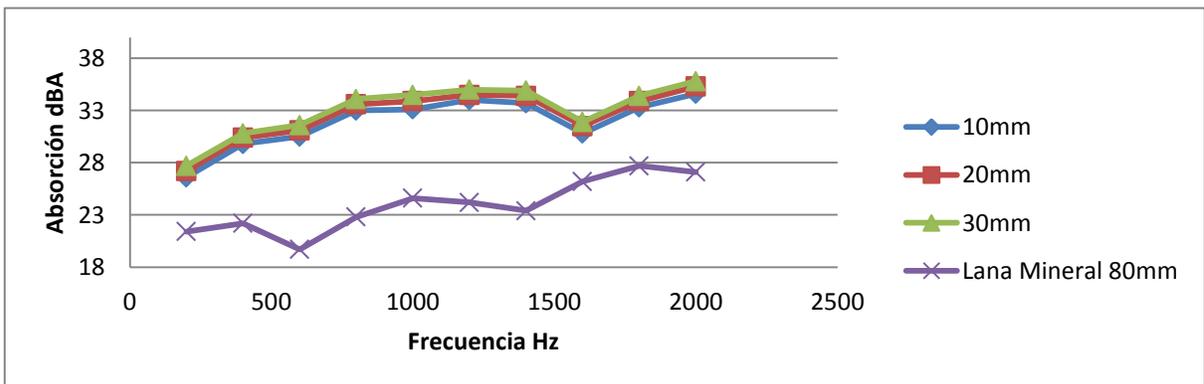


Figura 4.46.- Valores comparativos con Lana Mineral 80mm vs Class35-10, Class35-20 y Class35-30.

En las figuras 4.47, 4.48, 4.49, 4.50 y 4.51 se muestran variaciones entre tipos de panel compuesto enfrentado a un método clásico como la Poliestireno expandido de espesor 60mm.

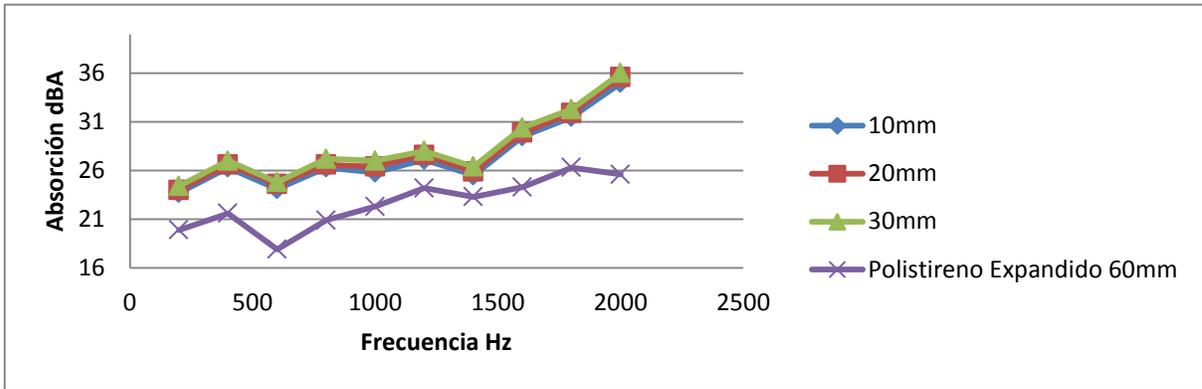


Figura 4.47.- Valores comparativos con Poliestireno Expandido 60mm vs Eco20-10, Eco20-20 y Eco20-30.

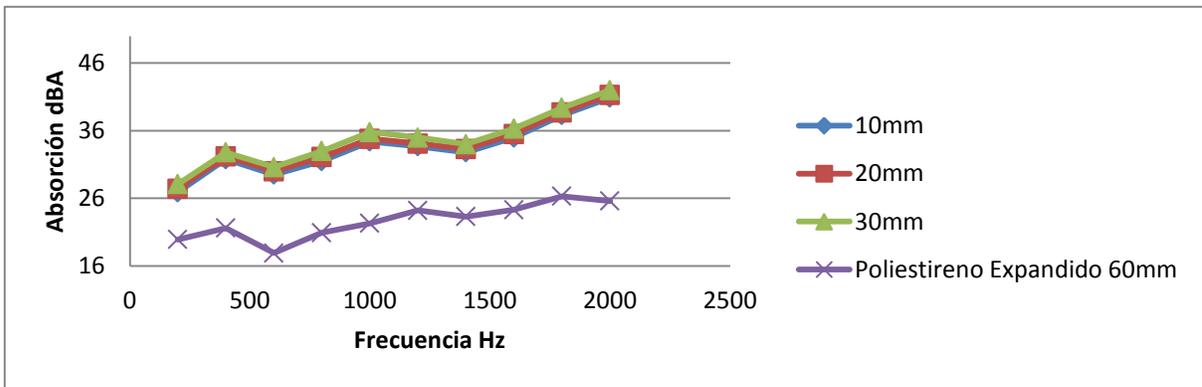


Figura 4.48.- Valores comparativos con Poliestireno Expandido 60mm vs Eco35-10, Eco35-20 y Eco35-30.

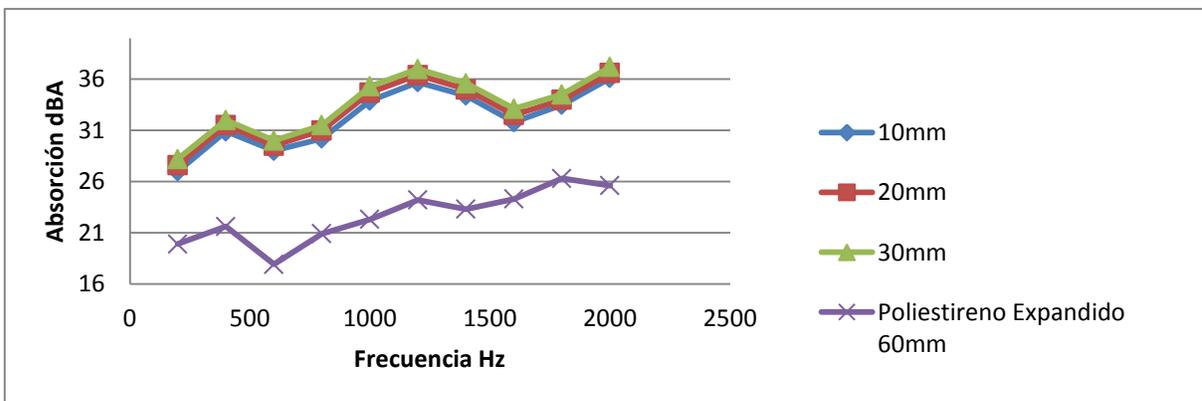


Figura 4.49.- Valores comparativos con Poliestireno Expandido 60mm vs Pro20-10, Pro20-20 y Pro20-30.

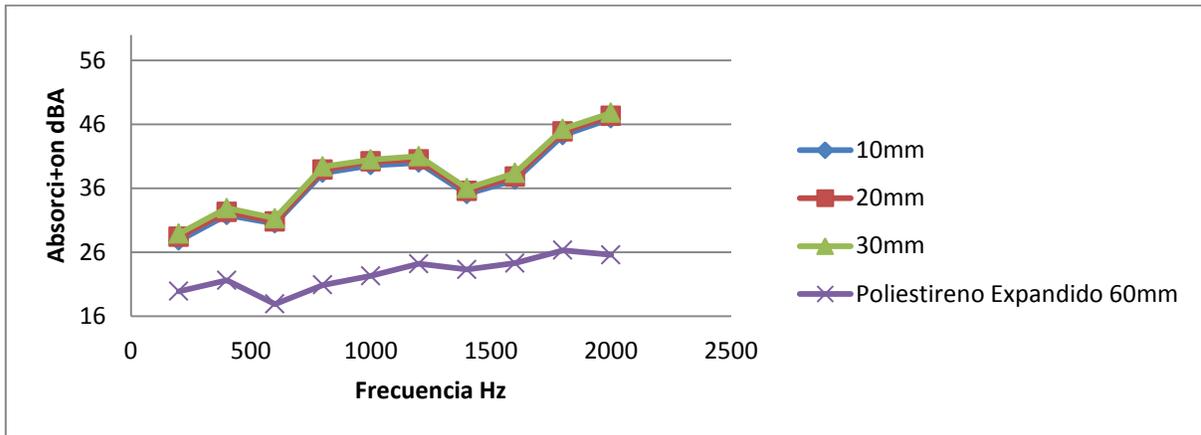


Figura 4.50.- Valores comparativos con Poliestireno Expandido 60mm vs Pro35-10, Pro35-20 y Pro35-30.

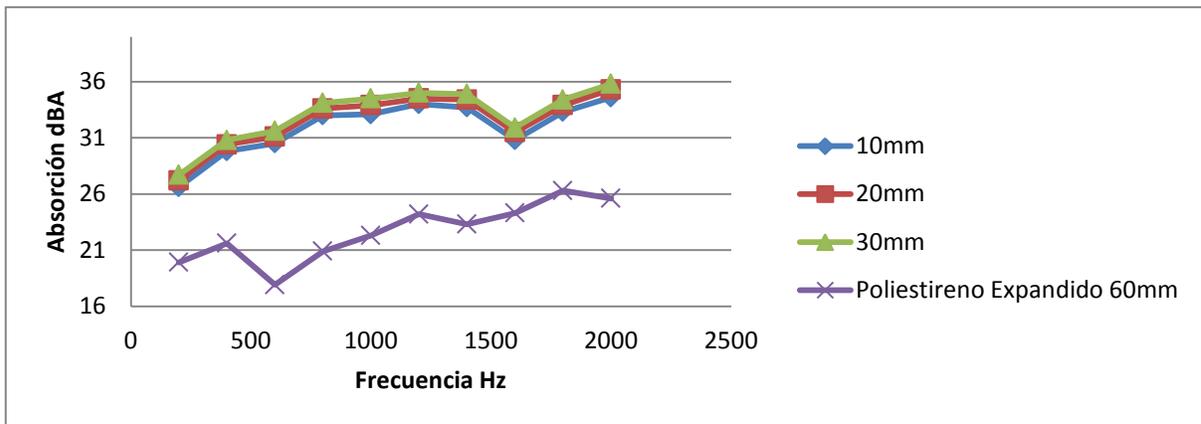


Figura 4.51.- Valores comparativos con Poliestireno Expandido 60mm vs Class35-10, Class35-20 y Class35-30.

4.5.1.- Conclusiones de Panel Compuesto versus materiales clásicos de relleno

Como presentan los gráficos el Panel Compuesto mostró tener mejores propiedades acústicas que materiales que actualmente son considerados para el relleno de tabiquería, pese a que el panel compuesto parte teniendo pocas diferencias a bajas frecuencias pero logrando un gran margen en las altas frecuencias. La diferencia para baja frecuencia es del rango de los 4 a 7dB y en altas frecuencias de 5 a 11db.

Pese a que los paneles clásicos de espesor 60 y 80mm tuvieron menor absorción acústica frente el Panel Compuesto el cual, en el menor de sus espesores (60mm mínimo, 130 máximo) tuvo mejor rendimiento acústico que los materiales tradicionales.

El hecho de utilizar la espuma de Poliuretano con formas anecoicas diseñadas especialmente para la ruptura de las ondas de sonido hacen del Panel Compuesto la opción a utilizar para tener un relleno con cualidades acústicas importantes.

La cámara de aire utilizada en sus dos configuraciones en el panel, hacen que genere un cambio de medio en el traspaso de la onda. Este volumen de aire no existe en los rellenos clásicos de aislación, lo que agrega una característica al Panel Compuesto con el que los rellenos tradicionales no cuentan.

Es sabido que los rellenos clásicos de tabiquerías no están diseñados en una primera instancia para tener cualidades acústicas, su desempeño se dedica a la aislación térmica de una vivienda.

En la tabla 4.1 se puede ver el análisis realizado respecto al costo de las configuraciones del Panel Compuesto y su absorción de sonido. Los valores a los materiales utilizados son proporcionados por las empresas Sonoflex y Aislapol en el mes de Febrero de 2014.

Tabla 4.1.- Costos y absorciones mínimas y máximas.

Panel Compuesto	Costo Min/Max	Absorción Min/Max (dBA)	Costo por dBA	Costo dBA/m ²
Eco20	\$ 12.600 -> \$ 13.700	23,7 -> 36,1	\$532 -> \$380	\$266 -> \$190
Eco35	\$17.200 -> \$ 18.300	26,9 -> 42,0	\$640 -> \$436	\$320 -> \$218
Pro20	\$22.600 -> \$23.700	27,0 -> 37,2	\$837 -> \$637	\$419 -> \$319
Pro35	\$27.200 -> \$28.300	27,8 -> 47,8	\$980 -> \$590	\$490 -> \$295
Class35	\$16.400 -> \$17.500	26,6 -> 35,8	\$617 -> \$490	\$309 -> \$245

(Fuente: Elaboración Propia)

En tabla 4.1 se realiza una comparación del costo mínimo y máximo a aislar, dependiendo de la absorción mínima y máxima que las probetas presentaron anteriormente, por último se agrego el costo unitario por dBA y costo dBA/m².

5.- Conclusiones

5.1.- Introducción a conclusiones

El Panel Compuesto ha demostrado a través de este estudio tener buenas cualidades acústicas ante diferentes frecuencias e intensidades de sonido, lo cual lo convierten en una alternativa para la aislación acústica de viviendas sin forrar las paredes, produciendo de esta forma la reducción del espacio de las habitaciones. Al ser una aplicación de relleno y no de forrado logra conservar el diseño personalizado de las habitaciones.

El diseño utilizado en la confección de Panel Compuesto lo vuelve un material de gran desempeño acústico frente a las necesidades actuales de confort. El diseño provee de barreras acústicas importantes en el traspaso de sonido como son la Espuma de Poliuretano, el diseño anecoico, las cámaras de aire y la incorporación de Poliestireno Expandido para evitar el traspaso de sonido por impacto y vibración.

En la segunda toma de datos realizada se observa que los datos de absorción se ven incrementados considerablemente en comparación con las primeras mediciones, lo cual hace que de las segundas mediciones se obtuvieran datos desde otra perspectiva para el análisis de la absorción de sonido del Panel Compuesto. Aun así los resultados de las primeras mediciones no se consideran errados, ya que siguen demostrando la capacidad acústica del Panel Compuesto. Además dado esta intensidad de volumen de emisión de las primeras mediciones se pudo apreciar el comportamiento acústico del Panel Compuesto frente a sonidos de alto volumen, en el cual el Panel Compuesto logró resultados de absorción eficaces demostrando sus buenas características acústicas.

La toma de mediciones realizadas con una metodología modificada de los ensayos aplicados por MINVU dio a conocer las cualidades acústicas del Panel Compuesto. Las mediciones iniciales en las que se probó el Panel Compuesto fue midiendo el paso de la onda sonora sin panel, es decir el traspaso del sonido libre por el Cajón de Pruebas, versus la misma onda con probeta de panel en su interior. Esto mostró inicialmente los primeros resultados de absorción del panel y las primeras conclusiones en lo que respecta a los objetivos específicos de la investigación. En la segunda medición la cual era la adaptación de metodología de MINVU en la cual la toma de datos se hizo en la fuente del sonido y posteriormente en el otro extremo del cajón de pruebas donde la onda atravesaba el Panel Compuesto. Mediante este ensayo se identificó la intensidad del sonido desde su fuente y como llega a destino pasando a través del Panel Compuesto, los resultados obtenidos fueron valores más estandarizados y dio afirmación a las conclusiones iniciales en lo que respecta a su variación de espesor, densidad y volumen de aire.

5.2.- Conclusiones de objetivos

El estudio del Panel Compuesto dio a conocer que cuenta con buenas cualidades y rendimiento acústico, debido a su configuración y los materiales utilizados en su diseño. Su

aplicación como relleno de tabiquerías logra una aplicación no utilizada actualmente en materias de aislación acústica, pudiendo lograr estándares de confort necesarios para un buen vivir.

5.2.1.- Conclusiones resultados por espesor

Los primeros resultados obtenidos de la experimentación realizada al Panel Compuesto arrojaron como dato que análisis es directamente proporcional a la absorción del sonido, como lo muestran los gráficos en que las probetas de mayor espesor dan mayor absorción de la onda sonora. El aumento del espesor por parte del Poliestireno Expandido da también como resultado una pequeña disminución de traspaso de ondas de sonido. La configuración mínima de espesor es de 60mm y la máxima es de 130mm del tipo de probetas, importante mencionar que es reducible o aumentable combinando espesores de Poliestireno Expandido.

Como resultado final a este objetivo específico, la relación con el espesor es que dicho espesor es determinante en la absorción acústica del Panel Compuesto. Destacar también que a su menor espesor de 60mm también tiene una cantidad de absorción importante y no solo los mejores resultados de absorción se dan por mayor espesor del Panel Compuesto. Las características de los 3 diferentes componentes del Panel Compuesto dan mayor absorción de sonido al combinarlos, es decir, a mayor espesor de estos 3 cambios de ambiente (Poliestireno expandido, espuma de Poliuretano y aire) mayor se vuelve la absorción. La máxima absorción entregada por el Panel Compuesto fue con la probeta Pro35-30 con un espesor de 130mm.

Destacar igualmente que el incremento de espesor solo puede ser llevado a un máximo determinado por el espacio a rellenar por el panel, por lo que el incremento del espesor está determinado por el grosor de la tabiquería. Aunque se sabe que a mayor espesor hay más absorción es necesario considerar los valores de espesores más bajos, ya que, estos pueden ser utilizados en paneles de tabiquería previamente construidos.

En la actualidad los paneles de tabiquería están diseñados dependiendo de la estructura en la cual serán colocados, por lo que el Panel Compuesto puede ser adaptado en sus espesores para su fácil ubicación en su interior.

5.2.2.- Conclusiones resultados por densidad

La densidad también es importante en el diseño del Panel Compuesto la que es aportada por la Espuma de Poliuretano variando de entre 11kg/m^3 para el tipo Class1, 28kg/m^3 para el tipo Eco y 32kg/m^3 para el tipo Pro.

La baja densidad de la espuma de Poliuretano en el caso de Class1 dio a conocer que pese a ser menor tiene un mejor comportamiento acústico en frecuencias entre los 800 y los 1500 Hz, que la versión Eco de mayor densidad, debido a la configuración de moléculas del material cuenta con un mayor nivel de aire en el interior de la espuma, haciendo que por su baja densidad Class1 tenga mejor absorción en este rango de frecuencias en comparación con la versión Eco. Class1 consta de una baja densidad lo que lo convierte en un material muy

liviano pero al mismo tiempo un material muy frágil, es por esto que la empresa Sonoflex deja de realizar el tipo Class1 de 20mm por su gran debilidad y difícil manipulación.

En lo que respecta a altas frecuencias las superiores a los 1500 Hz, la densidad se vuelve un factor determinante en la absorción de sonido, es por ello, que las probetas realizadas con Espuma de Poliuretano del tipo Eco y Pro se vuelven mejores aislantes acústicos a altas frecuencias, por esto el aumento de densidad es lo que determina su capacidad de absorción del sonido.

Las mediciones fueron realizadas hasta los 2000 Hz de frecuencia y los mejores resultados en absorción de sonido fueron entregados por las probetas confeccionadas con Pro de 32kg/cm². Esto da como conclusión que la densidad es totalmente relevante en el diseño del Panel Compuesto a la hora de lograr una máxima absorción de sonido.

Si comparamos los estándares obtenidos por Class1 de menor densidad y Pro de mayor densidad este último no se comportó de manera inferior en ninguna medición en todos los ensayo. Class1 superó a eco tan solo en el rango antes mencionado.

La versión Eco tuvo un menor desempeño en comparación con las otras configuraciones del Panel Compuesto pero al superar los 1800 Hz logra superar a la versión Class1 y ante mayores frecuencias la versión Class1 es superada por Eco y Pro constantemente, haciendo que su baja densidad no sea útil en altas frecuencias.

Se puede concluir que la dispersión de las moléculas y la cantidad de aire en la Espuma de Poliuretano es relevante en ciertos rangos de frecuencia pero pierde su efecto ante altas frecuencias de sonido en donde densidades mayores a 25 Kg/cm³ obtienen una mejor absorción. La densidad de la espuma de Poliuretano es directamente proporcional a la cantidad de absorción de sonido en frecuencias superiores a los 1600Hz.

5.2.3.- Conclusiones resultados por volumen de aire

El volumen de aire es muy importante en la absorción del sonido, ya que este al interior de las probetas provoca que la onda de sonido tenga que cambiar de medio constantemente produciendo un deterioro de la onda de sonido. Inicialmente se enfrenta al Poliestireno Expandido para luego enfrentarse al volumen de aire propuesto por el diseño anecoico de la Espuma de Poliuretano.

La onda de sonido debe pasar por cambios de medio dos veces, esto debido a la omnidireccionalidad del Panel Compuesto, por lo que su traspaso por la cámara de aire se vuelve doble y esto produce una gran disminución de la intensidad sonora.

El volumen de aire también funcionó para reducir la refracción de la onda de sonido y aumentar la rotura de ondas en el interior del Panel Compuesto y por ello un aumento en la absorción acústica.

El volumen de aire tuvo cambios debido al espesor de las planchas de Espuma de Poliuretano, esto a que el poliuretano tenga cambios de porte al pasar de un espesor a otro. El Tamaño del diseño anecoico es mayor a en espuma de 35mm que el de 20mm y por ello el aumento del volumen de aire al interior de las probetas de Panel Compuesto. Lo antes mencionado se reflejó también en el aumento de absorción acústica para los diseños de probeta con mayor espesor.

5.3.- Conclusiones con cuadro de frecuencias

Uno de los objetivos iniciales de este estudio es encontrar la utilidad del Panel Compuesto frente a los diferentes tipos de ruidos a los que podría estar sometido, es por ello que en base al estudio anterior se puede conocer sus cualidades acústicas para distintos ruidos.

Por medio de la tabla 5.1 es posible catalogar el tipo de ruido de acuerdo a una frecuencia en específico y asignarlo a una configuración del Panel Compuesto óptimo para cada frecuencia dado sus cualidades acústicas. Ya que el espesor del Panel Compuesto es directamente proporcional a la cantidad de aislación acústica obtenida es decir a mayor espesor del panel compuesto mayor será la absorción de sonido. La tabla es considerada aun más óptima con los espesores máximos de las probetas analizadas.

Tabla 5.1.- Utilidad de Panel Compuesto en base a sonidos y frecuencias.

Frecuencia (Hz)	Tipo de Sonido	Panel Compuesto Recomendado
125	Refrigerador, Microondas, Bajos de instrumento	Todos
250	Llave de agua, Perro ladrando, Cortadora de pasto, Moto sierra, Refrigerador congelando, Motocicleta, Cango.	Todos
500	Librería, Conversación Masculina, Enceradora, Banda musical, Niño llorando, Piano o teclado, Disparo Escopeta	Class1 35mm
1000	Conversación Femenina, Reproductor de música portátil, Disparo de Pistola	Eco 35mm y Pro 20mm
1500	Reloj despertador, Pulidora, Teléfono Sonando, Avión en espacio aéreo,	Eco 35mm y Pro 35mm
2000	Pájaros Cantando, Niños jugando, Ruido de viento	Eco 35mm y Pro 35mm
2500	Helicóptero en espacio aéreo, Grillos, Motocicleta tipo alta velocidad	Pro 35mm

Fuente: Basada en Tabla Sara Neuman Education Service Center

La tabla 5.1 muestra que a bajas frecuencias y tener baja intensidad de volumen de sonido, la absorción como tal es similar en todas las probetas en un rango de 24 a 28 dbA, por lo que su desempeño es útil en todas sus configuraciones. Para sonidos de mayor frecuencia la

densidad del material se hace preponderante y las probetas con material Pro se convierten en la mejor opción para evitar el traspaso de sonido.

Destacar que la clase Class1 pese a su baja densidad da una mejor absorción de sonido con respecto a las otras versiones más densas, esto debido al ordenamiento molecular del material y a su espesor, lo que hace óptima esta configuración para frecuencias de entre los 500 y 700 Hz.

5.4.- Conclusión hipótesis

La hipótesis plantea que el Panel Compuesto tendrá condiciones acústicas para la absorción, disipación y refracción del sonido y mediante la experimentación se dio a conocer como un hecho real.

Los resultados y análisis realizados validan la hipótesis planteada, puesto que el Panel Compuesto logro tener buenas prestaciones acústicas, debido a sus características de diseño, materialidad y aplicación.

El Panel Compuesto presentó buenas cualidades de absorción de sonido y da como resultado una alternativa para el relleno de tabiquerías con prestaciones acústicas. Estas prestaciones dan respuesta al problema de la contaminación acústica al cual estamos sometidos diariamente y lograr entregar el confort necesario para una mejor calidad de vida.

La configuración del Panel Compuesto es una de sus mejores características, dando buenos resultados en lo acústico y en lo estético. Estas dos razones lo convierten en un panel con buenas prestaciones estéticas, ya que al ser colocado al interior de la tabiquería, elimina la necesidad de reducir el espacio en una habitación.

5.5.- Utilizaciones según Mapa de Ruido Gran Santiago

La figura 5.1- muestra el mapa de ruidos de la ciudad de Santiago en las que se analizó mediante mediciones en terreno de los niveles de contaminación acústica que tiene la ciudad, De esta manera por medio del mapa de ruido se puede clasificar el uso del Panel Compuesto y destinarlo a las zonas que marca el mapa para una optima utilización y desempeño acústico.

La tabla 5.2 muestra las posibles aplicaciones de las diferentes configuraciones del Panel Compuesto ante fuentes de ruido del Gran Santiago. Las clasificaciones del panel compuesto están distribuidas según mínimos y máximos de absorciones obtenidas en las segundas mediciones.

La comparativa entre la figura 5.1 y la tabla 5.2 se logra catalogar las aplicaciones del Panel Compuesto dependiendo de sus características y prestaciones acústicas mínimas y máximas. Estas prestaciones lo hacen un panel versátil para ser utilizado según el tipo de demanda acústica necesaria.

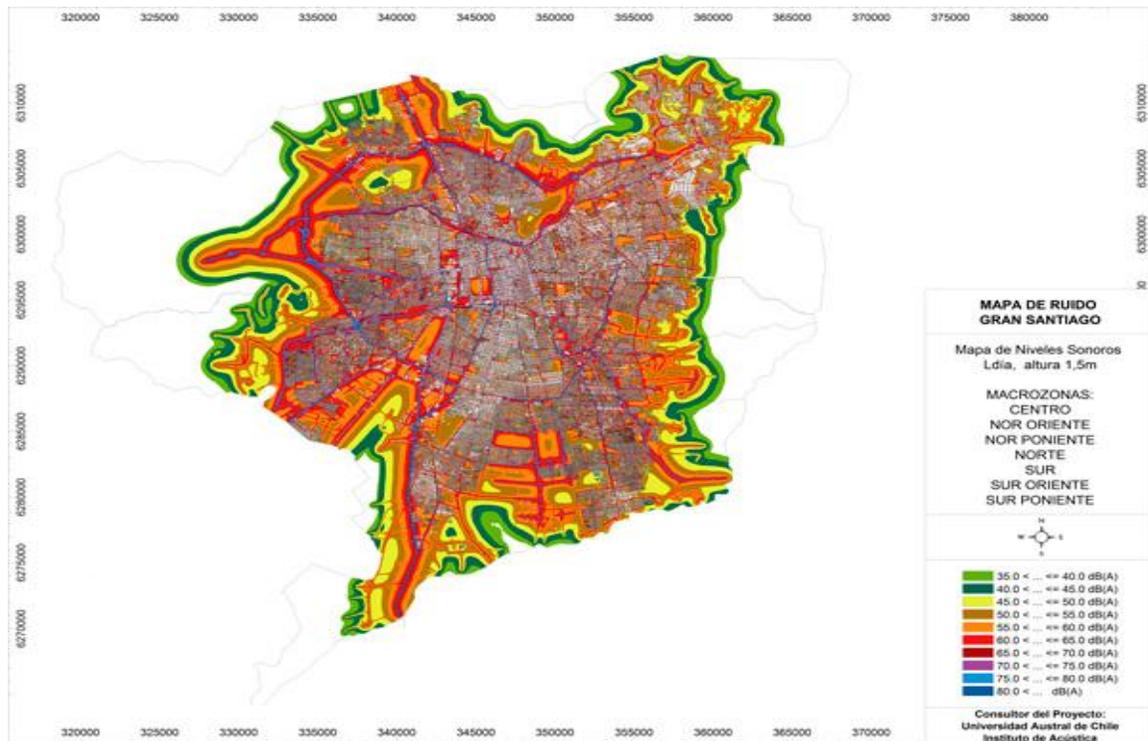


Figura 5.1.- Mapa de ruido gran Santiago (Fuente: Enrique Suárez2012).

Tabla 5.2.- Aplicaciones de Panel compuesto respecto de mapa de ruidos Gran Santiago.

Cantidad de Ruido (dBA)	Panel Compuesto Recomendado	
	Aislación Mínima (dBA)	Aislación Máxima (dBA)
30 <...<= 40	Eco20-10 -> 23,7	Eco20-30 -> 36,1
45 <...<= 45	Eco20-10 -> 23,7	Eco20-30 -> 36,1
45 <...<= 50	Class35-10 -> 26,6	Class35-30 -> 35,8
50 <...<= 55	Class35-10 -> 26,6	Class35-30 -> 35,8
55 <...<= 60	Pro20-10 -> 27,0	Pro20-30 -> 37,2
60 <...<= 65	Pro20-10 -> 27,0	Pro20-30 -> 37,2
65 <...<= 70	Eco35-10 -> 26,9	Eco35-30 -> 42,0
70 <...<= 75	Pro35-10 -> 27,8	Pro35-30 -> 47,8
75 <...<= 80	Pro35-10 -> 27,8	Pro35-30 -> 47,8
80 <	Pro35-10 -> 27,8	Pro35-30 -> 47,8

Fuente: Elaboración propia

5.6.- Conclusión Final

La búsqueda continua de lograr los mayores estándares de confort acústico ha hecho que las empresas y desarrolladores de materiales acústicos realicen constantes investigaciones para lograr un material de bajo costo, de fácil colocación y buen rendimiento. Pensando en estas condiciones se realizó el diseño del Panel Compuesto, el que fue sometido a pruebas acústicas para evaluar su eficiencia y eficacia.

Las pruebas realizadas fueron hechas con el mayor cuidado posible, preocupándose incluso de los mínimos detalles, esto por motivo de obtener valores aceptables desde el punto de vista de la calidad del ensayo y la posibilidad de realizar estas mediciones en un estudio musical ayudó bastante para tener valores claros y de baja fluctuación de medición.

Este estudio de las cualidades acústicas del Panel Compuesto logra demostrar sus buenas prestaciones acústicas en base a su diseño y materialidad. Este diseño logra mezclar varios puntos claves en la aislación acústica. Estos puntos son el Poliestireno Expandido que evita el traspaso del sonido por impacto y vibración, la Espuma de Poliuretano para la absorción de sonido, el diseño anecoico de la Espuma de Poliuretano que realiza la ruptura de ondas de sonido y por último la cámara de aire que deteriora la onda sonora dado que el sonido se debilita al traspasar de un estado a otro refractando el sonido.

En definitiva los resultados obtenidos por el Panel Compuesto dan a conocer un material con buenas prestaciones acústicas, es de simple instalación y además, logra entregar una perspectiva estética al diseño de las paredes de una habitación. El Panel Compuesto logra superar de gran manera a los materiales clásicos de relleno como fue demostrado con el Poliestireno Expandido de 60mm y la Lana Mineral 80mm. Las hipótesis y a los objetivos de este estudio se dan por satisfechos con el análisis de los de los resultados comparativos, lo cual valida la hipótesis planteada en el inicio de esta investigación.

5.7.- Otras investigaciones propuestas

Una de las alternativas recomendables de investigar es cambiar las empresas proveedoras de los materiales que se va a utilizar en el diseño de las probetas, puesto que si este diseño es de procedencia no testeada producirá errores en la toma de dato y además que generará problemas de ensamble a la hora de construir las probetas. Otra alternativa es el cambio de diseño en la espuma de poliuretano, puesto que su forma puede tener muchos diseños de características acústicas. Otra alternativa es cambiar la configuración del panel compuesto, la que puede hacerse dejando una de las planchas de Poliestireno expandido más delgado que la otra ubicada en el otro costado del panel o variar las densidades dependiendo de su futura colocación en un panel definitivo.

Los cambios que se deben realizar en esta investigación son principalmente aquellos que favorezcan la ejecución de la toma de datos o que simplifiquen algunos puntos investigados, tanto en el diseño de las probetas y en la obtención de resultados, y así lograr un desarrollo exitoso de dicha tarea.

Otra propuesta es analizar una posible aplicación del Panel Compuesto en diferentes estructuras de uso público y privado. Estas estructuras pueden ser hospitales, oficinas de trabajo, salas de clases y cualquier recinto que requiera de las prestaciones acústicas del Panel Compuesto. Los estudios serán realizados en una edificación determinada para analizar sus prestaciones acústicas ante los ruidos del lugar. La toma de datos se realiza en las horas de mayor intensidad de ruido y se probarían todas las configuraciones del Panel Compuesto estudiadas.

Bibliografía

Libros:

Barron Randall F. - book 1 edition “Industrial Noise Control and Acoustics” Louisiana Tech University – Louisiana USA 2001 (ingles).

Beranek Leo L. Laboratorio de Acústica Instituto de Tecnología De Massachusetts (Cambridge) Edición traducida Buenos Aires - Argentina 1987.

Bruneau Michael Series Editor Société Française d’Acoustique English Translator Thomas Scelo Fundamental Of Acoustics - France 1998 translate USA 2006 1 edition.

Carrion Antoni Isbert 1998, Diseño Acústico de Espacios Arquitectónicos 1ra Edicion julio 1998

Davis A. Bies and Colin H. Hansen - Engineering Noise Control (Theory and Practice) 4 edition 2009 – (ingles).

Articulos:

Arroyo Sara. Ordehi Alejandra, 2008. Confort Acústico., Publicacion Clima-Acustica, Escuela de Arquitectura UNIBE, Prof Magaly Caba.

Beranek LL, paper Proaudio Acústica Capitulo 4 y 5, aportes de Sr. LL Beranek.

Barrio Eduardo y Pérez Mario – Aplicación de la reflexión de sonido - Ingeniería de Telecomunicación - Universidad de Valladolid. España 2008.

Cádiz Rodrigo F. - Centro de Investigación en Tecnologías de Audio, Instituto de Música, Pontificia Universidad Católica de Chile 2008-06-05

Carrasco Marco Abarca – Comportamiento Acústico y Soluciones Constructivas – PUCV Wiki.EAD 2013

Concurso Naciona-l Física Matemática en Acción del 26 al 28 de septiembre de 2003 en el Museo de la Ciencia y la Técnica de Cataluña de Terrassa, Physics on Stage 3.

Congreso ESTEC de la Agencia Espacial Europea en Noordwijk (Holanda) del 8 al 15 de noviembre de 2003 con motivo de la Semana Europea de la Ciencia y la Tecnología.

Cummings A, Beadle S. P.. “Acoustic Properties of Reticulated Plastic Foams”. Journal of Sound and Vibration 175 (1), 115-133, 1993

Estudio fuentes de ruidos extremos. Informes de tablas “recuero” tablas de sonido. Datos publicados año 2012.

Huaquin Mario, Ing Acustico Revista DA N° 29, Publicacion Online 2013.

Kurtze, G. Física y técnica de lucha contra el ruido. Traducido por: Lacorte Martínez, L. Thewall.cl bajo normas actuales de sonido.

Libro blanco sobre el ruido ambiental y su percepción por la ciudadanía. Abril de 2008.

Manual De Aplicación Reglamentación Acústica Ordenanza General de urbanismo y Contracciones De Chile, Publicación N° 325, Serie II Tecnologías de la Construcción, Edición 2006

Perez de Siles Antonio Marin Aislacion acústico de Paredes dobles Universidad de Cordoba, Septiembre de 2001.

Pérez Siles Antonio Marín. Septiembre de 2001.Escuela Politécnica Superior. Auditoría del R.D. 1316 / 89

Sound Absorption Coefficients of Architectural Acoustical Materials",Acoust.. Materials ÁS80C•.Bull. 14, 1953, Nueva York, N.Y.8 "Sound Absorption Coefficients of the More Common Acoustic Materials.

Suárez Enrique, Proyecto “Elaboracion de Mapa de Ruido del Gran Santiago mediante software de Modelación (N° 608897-12-LE11)”. Ingeniería Civil Acústica de la Universidad Austral de Chile 2012.

Torroja Eduardo C/ Serrano Galvache Revista de Acústica Vol XXXIII n| 1 y 2, B. Frutos, M. Olaya Instituto de Ciencias de la Construcción s/n. 28033 Madrid. Tel. 91 3020440. Fax. 91 3020700 e-mail: borja@ietcc.csic.es; olaya@ietcc.csic.es 2002

Páginas Web:

ANPE, Asociación Nacional Poliestireno Expandido (España), Publicaciones Prensa Año 2011, www.anpe.es. [Ultima visita Marzo 2014]

AAPP, Asociación Argentina Poliestireno Expandido, Publicaciones de laboratorio. Página web www.aape.com.ar. [Ultima visita Marzo 2014]

Echeverria Francisco E. Gerente de Proyectos de Acústica, Control de Ruido. ACUSTEC. www.acustec.cl [Ultima visita Enero 2014]

Estudio y simulación de acústicas de edificios, exposición de resultados. www.sonen.es [Ultima visita Diciembre 2013]

Knauf Chile bajo la norma DIN N°11.181 y NCH 146 www.knauf.cl [Ultima visita octubre 2013]

NDA Nuovi Dimensioni Ambientali catalogo 2013 www.ndasrl.it/ [Ultima visita octubre 2013]

Anexo

Anexo 1 Tablas de Primeras Mediciones

EL = Espacio Libre de Probeta

EP = Espacio Con Probeta

ABS = Absorción

HZ = Frecuencia

Tabla A1.1 - Medición 1 Eco20-10.

Eco 20mm v/s Poliestireno 10mm			
EL	EP	ABS	HZ
87,6	82,9	4,7	200
82,1	78,1	4	400
88,5	77,3	11,2	600
84,2	75,9	8,3	800
85	83,4	1,6	1000
74,9	67,1	7,8	1200
92,7	89,5	3,2	1400
88,8	83,1	5,7	1600
90,4	89,9	0,5	1800
87,5	75,8	11,7	2000

Tabla A1.2 - Medición 2 Eco 20-20.

Eco 20mm v/s Poliestireno 20mm			
EL	EP	ABS	HZ
87,6	82,1	5,5	200
82,1	77,8	4,3	400
88,5	76,6	11,9	600
84,2	75,8	8,4	800
85	82,9	2,1	1000
74,9	66,8	8,1	1200
92,7	87,6	5,1	1400
88,8	81,9	6,9	1600
90,4	87,9	2,5	1800
87,5	74,6	12,9	2000

Tabla A1.3 - Medición 3 Eco 20-30.

Eco 20mm v/s Poliestireno 30mm			
EL	EP	ABS	HZ
87,6	81,7	5,9	200
82,1	76,5	5,6	400
88,5	74,7	13,8	600
84,2	73,8	10,4	800
85	81,4	3,6	1000
74,9	65,7	9,2	1200
92,7	85	7,7	1400
88,8	79,8	9	1600
90,4	85,8	4,6	1800
87,5	73,5	14	2000

Tabla A1.4 - Medición 1 Eco 35-10.

Eco 35mm v/s Poliestireno 10mm			
EL	EP	ABS	HZ
87,6	73,1	14,5	200
82,1	74,9	7,2	400
88,5	75,3	13,2	600
84,2	73,3	10,9	800
85	75,6	9,4	1000
74,9	66,2	8,7	1200
92,7	83,1	9,6	1400
88,8	79,1	9,7	1600
90,4	81,5	8,9	1800
87,5	73,1	14,4	2000

Tabla A1.5 - Medición 2 Eco 35-20.

Eco 35mm v/s Poliestireno 20mm			
EL	EP	ABS	HZ
87,6	72	15,6	200
82,1	74,1	8	400
88,5	74,8	13,7	600
84,2	73	11,2	800
85	75,1	9,9	1000
74,9	65,9	9	1200
92,7	82,5	10,2	1400
88,8	79	9,8	1600
90,4	81,2	9,2	1800
87,5	72,5	15	2000

Tabla A1.6 - Medición 3 Eco 35-30.

Eco 35mm v/s Poliestireno 30mm			
EL	EP	ABS	HZ
87,6	71,5	16,1	200
82,1	73,8	8,3	400
88,5	74,5	14	600
84,2	72,7	11,5	800
85	74,6	10,4	1000
74,9	65,6	9,3	1200
92,7	82,2	10,5	1400
88,8	78,6	10,2	1600
90,4	81	9,4	1800
87,5	72,2	15,3	2000

Tabla A1.7 - Medición 1 Pro 20-10.

Pro 20mm v/s Poliestireno 10mm			
EL	EP	ABS	HZ
87,6	80,3	7,3	200
82,1	75	7,1	400
88,5	73,4	15,1	600
84,2	71,8	12,4	800
85	79,7	5,3	1000
74,9	64,8	10,1	1200
92,7	81,5	11,2	1400
88,8	82,6	6,2	1600
90,4	84,7	5,7	1800
87,5	72,6	14,9	2000

Tabla A1.8 - Medición 2 Pro 20-20.

Pro 20mm v/s Poliestireno 20mm			
EL	EP	ABS	HZ
87,6	80	7,6	200
82,1	74,3	7,8	400
88,5	72,8	15,7	600
84,2	70,4	13,8	800
85	79	6	1000
74,9	64,5	10,4	1200
92,7	80,8	11,9	1400
88,8	82,1	6,7	1600
90,4	83,9	6,5	1800
87,5	72,1	15,4	2000

Tabla A1.9 - Medición 3 Pro 20-30.

Pro 20mm v/s Poliestireno 30mm			
EL	EP	ABS	HZ
87,6	79,4	8,2	200
82,1	74	8,1	400
88,5	72,2	16,3	600
84,2	69,8	14,4	800
85	78,6	6,4	1000
74,9	64,1	10,8	1200
92,7	80,2	12,5	1400
88,8	81,7	7,1	1600
90,4	83,6	6,8	1800
87,5	71,5	16	2000

Tabla A1.10 - Medición 1 Pro 35-10.

Pro 35mm v/s Poliestireno 10mm			
EL	EP	ABS	HZ
87,6	70,2	17,4	200
82,1	71,3	10,8	400
88,5	72,5	16	600
84,2	71	13,2	800
85	72,2	12,8	1000
74,9	63,1	11,8	1200
92,7	79,8	12,9	1400
88,8	76	12,8	1600
90,4	77,3	13,1	1800
87,5	71,9	15,6	2000

Tabla A1.11 - Medición 2 Pro 35-20.

Pro 35mm v/s Poliestireno 20mm			
EL	EP	ABS	HZ
87,6	69,9	17,7	200
82,1	71	11,1	400
88,5	71,8	16,7	600
84,2	69,8	14,4	800
85	71,5	13,5	1000
74,9	63	11,9	1200
92,7	79,6	13,1	1400
88,8	75,5	13,3	1600
90,4	77	13,4	1800
87,5	71,2	16,3	2000

Tabla A1.12 - Medición 3 Pro 35-30.

Pro 35mm v/s Poliestireno 30mm			
EL	EP	ABS	HZ
87,6	69,3	18,3	200
82,1	70,5	11,6	400
88,5	71,1	17,4	600
84,2	69,3	14,9	800
85	71,1	13,9	1000
74,9	62,9	12	1200
92,7	79,2	13,5	1400
88,8	75,3	13,5	1600
90,4	76,8	13,6	1800
87,5	71	16,5	2000

Tabla A1.13 - Medición 1 Class1 35-10.

Class1 35mm v/s Poliestireno 10mm			
EL	EP	ABS	HZ
87,6	71,8	15,8	200
82,1	73,1	9	400
88,5	73,8	14,7	600
84,2	72,5	11,7	800
85	74	11	1000
74,9	65,8	9,1	1200
92,7	80,5	12,2	1400
88,8	78,3	10,5	1600
90,4	79,7	10,7	1800
87,5	72,2	15,3	2000

Tabla A1.14 - Medición 2 Class1 35-20.

Class1 35mm v/s Poliestireno 20mm			
EL	EP	ABS	HZ
87,6	71,1	16,5	200
82,1	72,8	9,3	400
88,5	73,2	15,3	600
84,2	72,1	12,1	800
85	73,8	11,2	1000
74,9	65,6	9,3	1200
92,7	79,9	12,8	1400
88,8	78,1	10,7	1600
90,4	79,5	10,9	1800
87,5	71,9	15,6	2000

Tabla A1.15 - Medición 3 Class1 35-30.

Class1 35mm v/s Poliestireno 30mm			
EL	EP	ABS	HZ
87,6	70	17,6	200
82,1	72,7	9,4	400
88,5	73	15,5	600
84,2	71,8	12,4	800
85	73,8	11,2	1000
74,9	65,1	9,8	1200
92,7	79,4	13,3	1400
88,8	77,7	11,1	1600
90,4	79,1	11,3	1800
87,5	71,6	15,9	2000

Anexo 2 Tablas de Segundas Mediciones

Tabla A2.1- Segunda Medición 1 Eco 20-10.

Eco 20mm v/s Poliestireno 10mm						
Emisión		Con Panel		Absorción		Frecuencia
S/Subs	C/Subs	S/Subs	C/Subs	S/Subs	C/Subs	Hz
65,7	67,8	42	42,6	23,7	25,2	200
69,9	70,5	43,6	45,6	26,3	24,9	400
75,8	76,5	51,7	51,9	24,1	24,6	600
76,1	76,8	49,8	51,4	26,3	25,4	800
78,4	79,4	52,6	50,7	25,8	28,7	1000
79,1	79,6	52	49,9	27,1	29,7	1200
83	83,4	57,5	56,9	25,5	26,5	1400
83,6	83,9	54,1	53,9	29,5	30	1600
83,9	84,1	52,4	52,4	31,5	31,7	1800
84,1	84,4	49,1	49	35	35,4	2000

Tabla A2.2- Segunda Medición 2 Eco 20-20.

Eco 20mm v/s Poliestireno 20mm						
Emisión		Con Panel		Absorción		Frecuencia
S/Subs	C/Subs	S/Subs	C/Subs	S/Subs	C/Subs	Hz
65,7	67,8	41,7	42,1	24	25,7	200
69,9	70,5	43,3	45,2	26,6	25,3	400
75,8	76,5	51,2	51,5	24,6	25	600
76,1	76,8	49,5	51,1	26,6	25,7	800
78,4	79,4	52	50,3	26,4	29,1	1000
79,1	79,6	51,5	49,4	27,6	30,2	1200
83	83,4	57,1	56,3	25,9	27,1	1400
83,6	83,9	53,7	53,2	29,9	30,7	1600
83,9	84,1	52	52,1	31,9	32	1800
84,1	84,4	48,5	48,6	35,6	35,8	2000

Tabla A2.3- Segunda Medición 3 Eco 20-30.

Eco 20mm v/s Poliestireno 30mm						
Emisión		Con Panel		Absorción		Frecuencia
S/Subs	C/Subs	S/Subs	C/Subs	S/Subs	C/Subs	Hz
65,7	67,8	41,3	41,8	24,4	26	200
69,9	70,5	42,9	44,7	27	25,8	400
75,8	76,5	51	51,1	24,8	25,4	600
76,1	76,8	48,9	50,7	27,2	26,1	800
78,4	79,4	51,4	50	27	29,4	1000
79,1	79,6	51,1	48,9	28	30,7	1200
83	83,4	56,6	55,8	26,4	27,6	1400
83,6	83,9	53,2	52,9	30,4	31	1600
83,9	84,1	51,6	51,6	32,3	32,5	1800
84,1	84,4	48,1	48,3	36	36,1	2000

Tabla A2.4 - Segunda Medición 1 Eco 35-10.

Eco 35mm v/s Poliestireno 10mm						
Emisión		Con Panel		Absorción		Frecuencia
S/Subs	C/Subs	S/Subs	C/Subs	S/Subs	C/Subs	Hz
65,7	67,8	38,8	41,8	26,9	26	200
69,9	70,5	38,1	41,3	31,8	29,2	400
75,8	76,5	46,3	47,6	29,5	28,9	600
76,1	76,8	44,6	46	31,5	30,8	800
78,4	79,4	44	42,6	34,4	36,8	1000
79,1	79,6	45,4	45	33,7	34,6	1200
83	83,4	50,2	49,8	32,8	33,6	1400
83,6	83,9	48,6	48,2	35	35,7	1600
83,9	84,1	45,6	45,2	38,3	38,9	1800
84,1	84,4	43,2	42,9	40,9	41,5	2000

Tabla A2.5 - Segunda Medición 2 Eco 35-20.

Eco 35mm v/s Poliestireno 20mm						
Emisión		Con Panel		Absorción		Frecuencia
S/Subs	C/Subs	S/Subs	C/Subs	S/Subs	C/Subs	Hz
65,7	67,8	38,3	41,3	27,4	26,5	200
69,9	70,5	37,7	41	32,2	29,5	400
75,8	76,5	45,8	47,1	30	29,4	600
76,1	76,8	44	45,5	32,1	31,3	800
78,4	79,4	43,6	42,2	34,8	37,2	1000
79,1	79,6	45	44,4	34,1	35,2	1200
83	83,4	49,7	49,2	33,3	34,2	1400
83,6	83,9	48,1	47,3	35,5	36,6	1600
83,9	84,1	45,2	44,5	38,7	39,6	1800
84,1	84,4	42,8	41,8	41,3	42,6	2000

Tabla A2.6 - Segunda Medición 3 Eco 35-30.

Eco 35mm v/s Poliestireno 30mm						
Emisión		Con Panel		Absorción		Frecuencia
S/Subs	C/Subs	S/Subs	C/Subs	S/Subs	C/Subs	Hz
65,7	67,8	37,6	40,9	28,1	26,9	200
69,9	70,5	37,1	40,2	32,8	30,3	400
75,8	76,5	45,2	46,4	30,6	30,1	600
76,1	76,8	43,1	45	33	31,8	800
78,4	79,4	42,6	41,4	35,8	38	1000
79,1	79,6	44,1	43,3	35	36,3	1200
83	83,4	49	48,3	34	35,1	1400
83,6	83,9	47,3	46,5	36,3	37,4	1600
83,9	84,1	44,5	44	39,4	40,1	1800
84,1	84,4	42,1	41,1	42	43,3	2000

Tabla A2.7 - Segunda Medición 1 Pro 20-10.

Pro 20mm v/s Poliestireno 10mm						
Emisión		Con Panel		Absorción		Frecuencia
S/Subs	C/Subs	S/Subs	C/Subs	S/Subs	C/Subs	Hz
65,7	67,8	38,7	41,4	27	26,4	200
69,9	70,5	39	43,5	30,9	27	400
75,8	76,5	46,8	47,3	29	29,2	600
76,1	76,8	45,9	46,8	30,2	30	800
78,4	79,4	44,5	46	33,9	33,4	1000
79,1	79,6	43,4	44,5	35,7	35,1	1200
83	83,4	48,6	48,2	34,4	35,2	1400
83,6	83,9	51,8	51,6	31,8	32,3	1600
83,9	84,1	50,4	50,5	33,5	33,6	1800
84,1	84,4	48	47,8	36,1	36,6	2000

Tabla A2.8 - Segunda Medición 2 Pro 20-20.

Pro 20mm v/s Poliestireno 20mm						
Emisión		Con Panel		Absorción		Frecuencia
S/Subs	C/Subs	S/Subs	C/Subs	S/Subs	C/Subs	Hz
65,7	67,8	38,1	40,9	27,6	26,9	200
69,9	70,5	38,4	43	31,5	27,5	400
75,8	76,5	46,3	46,7	29,5	29,8	600
76,1	76,8	45,1	46,2	31	30,6	800
78,4	79,4	43,7	45,4	34,7	34	1000
79,1	79,6	42,7	43,8	36,4	35,8	1200
83	83,4	48	47,8	35	35,6	1400
83,6	83,9	51,1	50,9	32,5	33	1600
83,9	84,1	49,9	50	34	34,1	1800
84,1	84,4	47,5	47,2	36,6	37,2	2000

Tabla A2.9 - Segunda Medición 3 Pro 20-30.

Pro 20mm v/s Poliestireno 30mm						
Emisión		Con Panel		Absorción		Frecuencia
S/Subs	C/Subs	S/Subs	C/Subs	S/Subs	C/Subs	Hz
65,7	67,8	37,5	40,4	28,2	27,4	200
69,9	70,5	37,9	42,5	32	28	400
75,8	76,5	45,8	46	30	30,5	600
76,1	76,8	44,6	45,6	31,5	31,2	800
78,4	79,4	43,1	45	35,3	34,4	1000
79,1	79,6	42,1	43,1	37	36,5	1200
83	83,4	47,4	47,3	35,6	36,1	1400
83,6	83,9	50,5	50,4	33,1	33,5	1600
83,9	84,1	49,4	49,6	34,5	34,5	1800
84,1	84,4	46,9	46,7	37,2	37,7	2000

Tabla A2.10 - Segunda Medición 1 Pro 35-10.

Pro 35mm v/s Poliestireno 10mm						
Emisión		Con Panel		Absorción		Frecuencia
S/Subs	C/Subs	S/Subs	C/Subs	S/Subs	C/Subs	Hz
65,7	67,8	37,9	40,6	27,8	27,2	200
69,9	70,5	38,1	40,2	31,8	30,3	400
75,8	76,5	45,3	47,2	30,5	29,3	600
76,1	76,8	37,7	39,6	38,4	37,2	800
78,4	79,4	38,8	39,9	39,6	39,5	1000
79,1	79,6	39,1	39,3	40	40,3	1200
83	83,4	47,9	48	35,1	35,4	1400
83,6	83,9	46,3	46,2	37,3	37,7	1600
83,9	84,1	39,6	39,6	44,3	44,5	1800
84,1	84,4	37,2	37,1	46,9	47,3	2000

Tabla A2.11 - Segunda Medición 2 Pro 35-20.

Pro 35mm v/s Poliestireno 20mm						
Emisión		Con Panel		Absorción		Frecuencia
S/Subs	C/Subs	S/Subs	C/Subs	S/Subs	C/Subs	Hz
65,7	67,8	37,3	40,1	28,4	27,7	200
69,9	70,5	37,6	39,7	32,3	30,8	400
75,8	76,5	45	46,8	30,8	29,7	600
76,1	76,8	37,2	39	38,9	37,8	800
78,4	79,4	38,2	39,5	40,2	39,9	1000
79,1	79,6	38,6	38,9	40,5	40,7	1200
83	83,4	47,4	47,6	35,6	35,8	1400
83,6	83,9	45,8	45,7	37,8	38,2	1600
83,9	84,1	39	39	44,9	45,1	1800
84,1	84,4	36,8	36,7	47,3	47,7	2000

Tabla A2.12 - Segunda Medición 3 Pro 35-30.

Pro 35mm v/s Poliestireno 30mm						
Emisión		Con Panel		Absorción		Frecuencia
S/Subs	C/Subs	S/Subs	C/Subs	S/Subs	C/Subs	Hz
65,7	67,8	36,8	39,5	28,9	28,3	200
69,9	70,5	37	39,1	32,9	31,4	400
75,8	76,5	44,5	46	31,3	30,5	600
76,1	76,8	36,7	38,4	39,4	38,4	800
78,4	79,4	37,9	39	40,5	40,4	1000
79,1	79,6	38,1	38,3	41	41,3	1200
83	83,4	47	47	36	36,4	1400
83,6	83,9	45,2	45,1	38,4	38,8	1600
83,9	84,1	38,6	38,5	45,3	45,6	1800
84,1	84,4	36,3	36,2	47,8	48,2	2000

Tabla A2.13 - Segunda Medición 1 Class1 35-10.

Class1 35mm v/s Poliestireno 10mm						
Emisión		Con Panel		Absorción		Frecuencia
S/Subs	C/Subs	S/Subs	C/Subs	S/Subs	C/Subs	Hz
65,7	67,8	39,1	41,2	26,6	26,6	200
69,9	70,5	40,1	42,6	29,8	27,9	400
75,8	76,5	45,3	45,9	30,5	30,6	600
76,1	76,8	43,1	44,1	33	32,7	800
78,4	79,4	45,3	45	33,1	34,4	1000
79,1	79,6	45,1	44,7	34	34,9	1200
83	83,4	49,3	49	33,7	34,4	1400
83,6	83,9	52,8	52,6	30,8	31,3	1600
83,9	84,1	50,6	50,1	33,3	34	1800
84,1	84,4	49,5	49,3	34,6	35,1	2000

Tabla A2.14 - Segunda Medición 2 Class1 35-20.

Class1 35mm v/s Poliestireno 20mm						
Emisión		Con Panel		Absorción		Frecuencia
S/Subs	C/Subs	S/Subs	C/Subs	S/Subs	C/Subs	Hz
65,7	67,8	38,5	40,5	27,2	27,3	200
69,9	70,5	39,5	41,9	30,4	28,6	400
75,8	76,5	44,7	45,2	31,1	31,3	600
76,1	76,8	42,5	43,6	33,6	33,2	800
78,4	79,4	44,5	44,2	33,9	35,2	1000
79,1	79,6	44,6	44	34,5	35,6	1200
83	83,4	48,6	48,3	34,4	35,1	1400
83,6	83,9	52,1	52	31,5	31,9	1600
83,9	84,1	50	49,5	33,9	34,6	1800
84,1	84,4	48,8	48,6	35,3	35,8	2000

Tabla A2.15 - Segunda Medición 3 Class1 35-30.

Class1 35mm v/s Poliestireno 30mm						
Emisión		Con Panel		Absorción		Frecuencia
S/Subs	C/Subs	S/Subs	C/Subs	S/Subs	C/Subs	Hz
65,7	67,8	38	40	27,7	27,8	200
69,9	70,5	39,1	41,4	30,8	29,1	400
75,8	76,5	44,2	44,8	31,6	31,7	600
76,1	76,8	42	43,1	34,1	33,7	800
78,4	79,4	43,9	43,8	34,5	35,6	1000
79,1	79,6	44,1	43,5	35	36,1	1200
83	83,4	48,1	47,8	34,9	35,6	1400
83,6	83,9	51,7	51,5	31,9	32,4	1600
83,9	84,1	49,5	49	34,4	35,1	1800
84,1	84,4	48,3	48,4	35,8	36	2000

Anexo 3 Tablas de Mediciones Comparativas de Materiales Clásicos

Tabla A3.1- Medición del Tipo Segunda medición a Lana Mineral 80mm

Lana Mineral 80mm			
Emisión	Lectura	Absorción	Frecuencia
65,7	44,3	21,4	200
69,9	47,7	22,2	400
75,8	56,1	19,7	600
76,1	53,3	22,8	800
78,4	53,8	24,6	1000
79,1	54,9	24,2	1200
83	59,6	23,4	1400
83,6	57,4	26,2	1600
83,9	56,2	27,7	1800
84,1	57	27,1	2000

Tabla A3.2- Medición del Tipo Segunda medición a Poliestireno Expandido de 60mm

Poliestireno Expandido 60mm			
Emisión	Lectura	Absorción	Frecuencia
65,7	45,8	19,9	200
69,9	48,3	21,6	400
75,8	57,9	17,9	600
76,1	55,2	20,9	800
78,4	56,1	22,3	1000
79,1	54,9	24,2	1200
83	59,7	23,3	1400
83,6	59,3	24,3	1600
83,9	57,6	26,3	1800
84,1	58,5	25,6	2000