

UNIVERSIDAD POLITECNICA DE VALENCIA

ESCUELA POLITECNICA SUPERIOR DE GANDIA

Grado en Ing. Sist. de Telecom., Sonido e Imagen



**UNIVERSIDAD
POLITECNICA
DE VALENCIA**



**ESCUELA POLITECNICA
SUPERIOR DE GANDIA**

“Estudio de la coloración de cajas para altavoces con nuevos materiales absorbentes acústicos”

TRABAJO FINAL DE GRADO

Autor/a:

Rubén Julian Nieto Peñuela

Tutor/a:

Jesús Alba Fernández

Romina del Rey Tormos

GANDIA, 2017

RESUMEN

Este TFG se basa en la construcción de diferentes cajas de altavoces con volúmenes similares. Es sabido que la forma de la caja colorea la respuesta del sistema e incluso puede producir efectos en la directividad de las cajas. En el TFG, en base a 4-5 modelos de cajas, se analizará este efecto y se intentará corregir con diferentes absorbentes ecológicos. Se pretende en este TFG reajustar cajas de altavoces de diferentes formas hasta conseguir que las cajas finales mejoren su respuesta en frecuencia con los absorbentes adecuados, lo que es de interés para las empresas fabricantes de cajas.

PALABRAS CLAVE: Electroacústica, reciclado, bafle, caja acústica, coloración, mejora de diseños

ABSTRACT

This TFG is based on the construction of different speaker boxes with similar volumes. It is known that the shape of the box colors the response of the system and can even produce effects on the directivity of the boxes. In the TFG, based on 4-5 models of boxes, this effect will be analyzed and we will try to correct with different ecological absorbers. It is intended in this TFG to readjust boxes of speakers of different forms until getting the final boxes improve their frequency response with the suitable absorbers, which is of interest for the company's manufacturers of boxes.

KEYWORDS: Electroacoustic, recycled, baffle, loudspeaker, coloring, design improvement

INDICE

1. Introducción.

1.1. Presentación.

1.2. Objetivos Principales y secundarios.

1.3. Metodología.

1.4. Etapas: Fases del TFG.

2. Cuerpo del trabajo.

2.1. Recopilación de información.

2.1.1. Cámara anecoica.

2.1.1.1. Funcionamiento de la cámara anecoica

2.1.1.2. Normas y recomendaciones de ensayos.

2.1.1.3. Posibles problemas.

2.1.2. Ensayos a realizar.

2.1.2.1. Ensayos sin material absorbente.

2.1.2.2. Ensayos con material absorbente.

2.1.3. Dispositivos y material.

2.1.3.1. Sonómetro.

2.1.3.2. Software Clio.

2.1.3.3. Outline: Plataforma giratoria.

2.1.3.4. Materiales absorbentes

2.1.3.4.1. Sonopiel

2.1.3.4.2. Impatec

2.1.4. Medidas.

2.1.4.1. Resistencia eléctrica.

2.1.4.1.1. Ley de ohm

2.1.4.1.2. Analogía entre sistemas acústicos y eléctricos.

2.1.4.1.3. Analogía entre sistemas mecánicos y eléctricos.

2.1.4.1.4. Relación con la ley de Ohm

2.1.4.2. Impedancia.

2.1.4.3. Respuesta en frecuencia.

2.1.4.4. Directividad.

2.2. Procedimientos de medición.

2.2.1. La impedancia del altavoz.

- 2.2.1.1. Medida de la impedancia.**
- 2.2.1.2. Impedancia nominal.**
- 2.2.1.3. Parámetros que se extraen de las curvas de impedancia.**
- 2.2.1.4. La impedancia varía con la temperatura.**
- 2.2.1.5. Obtención de la impedancia.**
- 2.2.1.6. Medición del inductor.**
- 2.2.1.7. Medición de la impedancia con CLIO.**

2.2.2. La directividad de un altavoz.

- 2.2.2.1. Medida de la presión**
- 2.2.2.2. Curvas Polares.**
- 2.2.2.3. El Ángulo de Cobertura.**
- 2.2.2.4. Montaje para la medición de la directividad.**

2.3. Ensayos acústicos sin material absorbente.

2.3.1. Cajas acústicas en abierto.

2.3.1.1. Caja 1:LARGA

- 2.3.1.1.1. Ensayo de impedancia.**
- 2.3.1.1.2. Ensayo de respuesta en frecuencia.**
- 2.3.1.1.3. Ensayo de directividad.**

2.3.1.2. Caja 2:RECTANGULAR

- 2.3.1.2.1. Ensayo de impedancia.**
- 2.3.1.2.2. Ensayo de respuesta en frecuencia.**
- 2.3.1.2.3. Ensayo de directividad.**

2.3.1.3. Caja 3:PENTAGONAL

- 2.3.1.3.1. Ensayo de impedancia.**
- 2.3.1.3.2. Ensayo de respuesta en frecuencia.**
- 2.3.1.3.3. Ensayo de directividad.**

2.3.1.4. Caja 4:CUADRADA

- 2.3.1.4.1. Ensayo de impedancia.**
- 2.3.1.4.2. Ensayo de respuesta en frecuencia.**
- 2.3.1.4.3. Ensayo de directividad.**

2.3.2. Conclusiones de los ensayos.

2.4. Ensayos acústicos con material reciclado.

2.4.1. Caja 1:LARGA

2.4.1.1. Ensayo con material 1: IMPATEC

- 2.4.1.1.1. Ensayo de impedancia.**
- 2.4.1.1.2. Ensayo de respuesta en frecuencia.**
- 2.4.1.1.3. Ensayo de directividad.**

2.4.1.2. Ensayo con material 2: SONOPIEL

2.4.1.2.1. Ensayo de impedancia.

2.4.1.2.2. Ensayo de respuesta en frecuencia.

2.4.1.2.3. Ensayo de directividad.

2.4.2. Comparación de resultados.

2.4.3. Caja 2: RECTANGULAR

2.4.3.1. Ensayo con material 1: IMPATEC

2.4.3.1.1. Ensayo de impedancia.

2.4.3.1.2. Ensayo de respuesta en frecuencia.

2.4.3.1.3. Ensayo de directividad.

2.4.3.2. Ensayo con material 2: SONOPIEL

2.4.3.2.1. Ensayo de impedancia.

2.4.3.2.2. Ensayo de respuesta en frecuencia.

2.4.3.2.3. Ensayo de directividad.

2.4.4. Comparación de resultados.

2.4.5. Caja 3: PENTAGONAL

2.4.5.1. Ensayo con material 1: IMPATEC

2.4.5.1.1. Ensayo de impedancia.

2.4.5.1.2. Ensayo de respuesta en frecuencia.

2.4.5.1.3. Ensayo de directividad.

2.4.5.2. Comparación de resultados

2.4.6. Caja 4: CUADRADA

2.4.7. Conclusiones de los ensayos

2.5. Comparativas gráficas

3. Conclusiones finales

4. Anexos

4.1. Anexo 1: El sonómetro.

4.2. Anexo 2: Funciones principales del software y hardware CLIO.

4.3. Anexo 3: El Outline.

4.4. Anexo 4: Materiales acústicos.

4.5. Anexo 5: Diagramas directividad y gráficas de respuesta en frecuencia.

4.6. Anexo 6: Parámetros teóricos.

4.7. Anexo 7: Catalogo Altavoz Beyma.

5. Glosario

6. Bibliografía

1. Introducción

1.1. Presentación

La directividad es la base en este TFG en el cuál voy a estudiar, más a fondo, diferentes conceptos obtenidos en la titulación, tales como coloración, electroacústica, respuesta en frecuencia entre otros. La propuesta y el objetivo final es intentar obtener muchos de los parámetros de una caja acústica con diferentes construcciones, mediante ensayos en una cámara anecoica y así ver las variaciones sufridas en directividad, resistencia eléctrica, espectro de frecuencias y materiales acústicos.

Los diferentes ensayos realizados dentro de la cámara anecoica tienen como objetivos principal obtener el árbol de directividad de cada caja acústica, para más tarde proceder a realizar el mismo proceso con materiales acústicos absorbentes y ver las diferencias entre un ensayo y otro.

Uno de los principales problemas para la realización de este proyecto ha sido la realización de medidas, sobre todo para la directividad, ya que los errores de medición deben ser mínimos, por lo que el ensayo debe montarse, realizarse y finalizar sin intercambiar la posición de los instrumentos de medición. Además la metodología de trabajo era muy tardía puesto que las mediciones eran lentas y en gran cantidad, todo esto referido a la directividad, principal concepto del proyecto.

1.2. Objetivos Principales y secundarios.

1.2.1. Objetivos principales

- ❖ Determinar la sensibilidad y la respuesta en frecuencia del sistema formado por un altavoz en una caja acústica.
- ❖ Obtener el diagrama polar de radiación y del índice de directividad en la dirección de máxima radiación.
- ❖ Asimilar el procedimiento para caracterizar altavoces dinámicos.
- ❖ Analizar la impedancia eléctrica de un altavoz dinámico
- ❖ Determinar los diferentes parámetros acústicos en directividad y electroacústica de las diferentes cajas a estudiar.
- ❖ Obtener la curva de impedancia de un altavoz
- ❖ Determinar las características mecánicas de un altavoz de tipo dinámico

1.2.2. Objetivos secundarios

- ✚ Elegir materiales ecológicos de bajo espesor para los ensayos
- ✚ Ver su efecto en la respuesta en frecuencia y el diagrama de polaridad, para poder corregir los defectos de coloración de cajas de diferentes formatos y que sean realmente absorbentes acústicos en el rango de frecuencias de interés del sistema.
- ✚ Compararlos con algún absorbente de alta frecuencia para absorber bajas frecuencias y comprobar el error del fabricante.
- ✚ Mejorar la respuesta en graves de las cajas diseñadas.

1.3. Metodología

Para poder empezar a trabajar en el proyecto, previamente realice lecturas de diferente material proporcionado por los tutores, además de varios documentos informativos y documentación sobre los diferentes dispositivos de medición que se van a utilizar para realizar todos los ensayos correspondientes.

Seguidamente planteamos el proyecto, y propusimos los objetivos a lograr junto con las diferentes medidas a realizar. Para ello realizamos los primeros ensayos en la cámara anecoica y obtuvimos los primeros resultados.

Después comprobamos las medidas, las comparamos con todas las cajas puestas a ensayo y dibujamos su diagrama de polaridad y directividad.

En la segunda parte del proyecto introducimos el material absorbente en una de las cajas, y realizamos de nuevo el ensayo en la cámara anecoica para finalmente comparar el resultado con el ensayo sin el material absorbente, ver sus consecuencias, sus parámetros, y llegar a la conclusión de ese material.

1.4. Etapas: Fases del TFG

A continuación se detallan las horas empleadas en las diferentes etapas del proyecto, así como las seis fases en las cuales se dividirá el trabajo:

1. Recopilación de información, documentación, normas y recomendaciones de ensayos, etc. (20 horas)
2. Construcción inicial de cajas de referencia de 30 litros. Medidas electroacústicas de altavoces de referencia. Medidas de control de las cajas sin absorbente, detallando impedancia, respuesta en frecuencia y directividad. (100 horas)
3. Búsqueda y elección de materiales absorbentes reciclados y/o naturales. Selección del absorbente en base a medidas del coeficiente de absorción. Selección de muestras posibles. (50 horas)
4. Estimación en base a herramienta software del comportamiento previo de las cajas sin y con absorbente (50 horas).
5. Medidas electroacústicas de las cajas con los diferentes absorbentes. Comparativas con los datos sin absorbentes y con las simulaciones. Propuesta de mejores materiales (100 horas).
6. Redacción de la memoria del TFG (30 horas).

2. Cuerpo del trabajo

2.1. Recopilación de información

La primera fase del proyecto fue buscar y recopilar información sobre los ensayos a realizar. Los diferentes métodos para obtener las medidas, las normas acústicas dentro de la cámara anecoica y sobre todo los manuales de los softwares fueron los principales focos de información. Además los dispositivos de medida son los más importantes a entender ya que nos ayudaran a obtener los datos que nos permitirán comparar los materiales absorbentes en las diferentes cajas acústicas sometidas a ensayo.

2.1.1. Cámara anecoica

La cámara anecoica es el lugar donde se van a realizar todas las medidas y ensayos de este proyecto. Una cámara anecoica es una habitación diseñada para absorber por completo los reflejos de cualquiera de las ondas sonoras o electromagnéticas. Además debe estar aislada de las fuentes externas de ruido. Básicamente en este tipo de recintos se caracteriza por dos parámetros fundamentales: el aislamiento y la absorción de la energía irradiada por una fuente ubicada en su interior.

Las cámaras anecoicas constan de revestimientos, con cuñas en forma de pirámides, en los cerramientos existentes. Las cuñas están construidas con materiales que absorben el sonido, como pueden ser espumas, lanas de roca o fibra de vidrio.

Las cámaras anecoicas son utilizadas por un gran número de fabricantes para probar la emisión sonora de sus productos. También son utilizadas para probar los micrófonos y otros equipos de audio. Pueden ser de tamaños reducidos, como un horno microondas, o de grandes volúmenes. El tamaño de la cámara depende del tamaño de los objetos que deben ser probados y el rango de frecuencia de las señales, aunque pueden utilizarse modelos de escala para longitudes de onda más cortas.



Figura 1: Cámara anecoica

2.1.1.1. Funcionamiento de una cámara anecoica

El funcionamiento o el objetivo principal de una cámara anecoica es absorber las ondas de sonido, al propagarse por el aire e incidir sobre una superficie. Estas se modifican según las características del material mediante su ángulo de incidencia y su potencia acústica. La onda, al encontrarse con superficies duras es reflejada casi con la misma intensidad. Cuando la onda incide sobre materiales como el corcho, la espuma de poliuretano, fibra de poliéster, fibra de vidrio, entre otros, la mayor cantidad de su potencia es absorbida por el material, dependiendo de su coeficiente de absorción, su densidad y de la frecuencia de sonido. Con otros materiales como cortinas, alfombras, paneles acústicos o cuadros acústicos, la onda sonora sufre una difusión de baja intensidad en todas direcciones.

El propósito de una cámara anecoica acústica es la de absorber el 99.9% de las ondas sonoras en cualquier dirección, potencia y frecuencia a la que se trabaje. La ley del inverso al cuadrado señala que la onda sonora se disipa a medida que se dobla su distancia de propagación.

2.1.1.2. Normas y recomendaciones de ensayos.

La mayoría de las cámaras anecoicas estudiadas, se construyen en forma de rectángulo ya que de esta forma se maximiza la absorción de las ondas reflejadas en las paredes. Además la energía sonora se disipa en el aire por medio de la ley del inverso del cuadrado de la distancia.

Por tal motivo la norma **UNE-EN ISO 3745** establece que las mediciones de campo cercano sean a partir de un metro respecto al objeto de prueba, y a partir de una distancia de un cuarto de la longitud de onda respecto a la pared absorbente. La fórmula a seguir dentro de esta norma sería la siguiente:

$$H = h + \frac{\lambda}{4}$$

λ : longitud de onda de corte [m].
 H : altura útil de la cámara [m].
 h : altura máxima de la fuente [m].

Además hay que tener en cuenta una serie de parámetros para la realización de los ensayos de forma correcta y sin errores. Entre ellos se encuentran los siguientes: Tamaño de la sala 200 veces mayor al volumen de la fuente a medir, tener una humedad relativa superior al 40% y una temperatura entre los 15° y 30° Celsius, tener un tiempo de reverberación cercano, tener un ruido de fondo menor a 10 dB, además de obtener un coeficiente de absorción cercano a 1 donde se evite ruidos de vibraciones externas y por tanto el ruido externo.

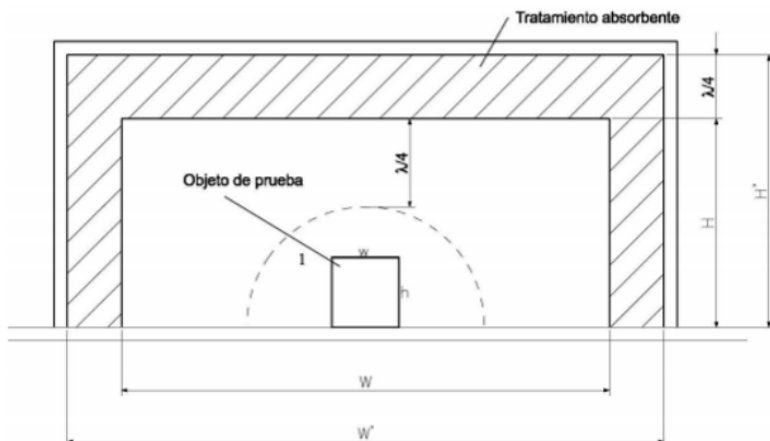
Por ultimo las dos normas principales a seguir para realizar los ensayos acústicos son:

- ✓ **ISO 3744:1994. Acústica** - Determinación de los niveles de potencia sonora de fuentes de ruido utilizando presión sonora. Método de ingeniería para condiciones de campo libre sobre un plano reflectante.
- ✓ **ISO 7779:2010. Acústica** - Medición del ruido aéreo emitido por la tecnología de la información y equipos de telecomunicaciones.

2.1.1.3. Posibles problemas.

Uno de los principales problemas al realizar estos tipos de ensayo son las distancias distancia entre la fuente emisora, la fuente receptora y las posiciones de la fuente al realizar la medición de la polaridad. Esto viene provocado por las dimensiones de la cámara, además en nuestros ensayos vamos a utilizar cajas acústicas con un volumen no muy grande por lo que tendremos que usar la norma anterior mente explicada.

Dentro de una cámara anecoica se diferencian dos tipos de dimensiones, las útiles que son entre las puntas de cuña, y las dimensiones mínimas que incluyen el tratamiento absorbente sobre las paredes.



L : largo útil de la cámara [m].
 W : ancho útil de la cámara [m].
 l : largo máximo de la fuente [m].
 w : ancho máximo de la fuente [m].
 λ : longitud de onda de corte [m].
 H : altura útil de la cámara [m].
 h : altura máxima de la fuente [m].

Figura 2: Esquema de dimensiones útiles y mínimas de la cámara.

2.1.2. Ensayos

Los ensayos a realizar se van a basar en dos tipos, en primer lugar realizaremos el estudio acústico de las cuatro cajas a exponer, sin ningún material absorbente en ellas. Después realizaremos el estudio acústico completo de un par de ellas con diferentes materiales absorbentes. Finalmente se hará una comparación con el primer ensayo para obtener una conclusión y ver si se cumplen los objetivos marcados.

2.1.2.1. Ensayos sin material absorbente

En este primer ensayo, obtendremos la impedancia de cada caja acústica y mediremos mediante variaciones de cinco grados, el diagrama de polaridad que dibujaremos de forma gráfica para cada una de las cajas.

Una vez realizado cada uno de los estudios acústicos se obtendrán las diferentes conclusiones y parámetros acústicos para su posterior comparación con material absorbente.

2.1.2.2. Ensayos con material absorbente

Repetiremos el proceso del estudio acústico pero esta vez introduciremos diferentes materiales acústicos que absorban las reflexiones del sonido que nos permitan obtener un resultado mucho más variado a la respuesta en frecuencia del altavoz sobre la caja Acústica.

Para ello serán recubiertas la base, una pared lateral y la parte superior con tres materiales diferentes que nos permitirán la comparación de resultados con los ensayos anteriores. En total se realizaran seis ensayos sobre dos de las cuatro cajas acústicas.

2.1.3. Dispositivos y material

Para poder realizar los diferentes ensayos dentro de la cámara anecoica debemos comprender y saber utilizar los diferentes instrumentos de medición a utilizar. Durante la carrera, ha habido varias asignaturas de acústica, entre ellas acústica para la edificación e ingeniería acústica ambiental en donde se ha utilizado el sonómetro, es el cual nos va permitir realizar la mayoría de las medidas.

2.1.3.1. Sonómetro

El sonómetro es un instrumento para la medida objetiva de la presión sonora que hace una valoración logarítmica de la presión, por lo que diremos que es un medidor de nivel de presión sonora de ahí su acrónimo SPL que significa Sound Pressure Level, que tanto utilizamos. El sonómetro que se va a utilizar para la realización de la actividad es el Brüel-Kjaer modelo 2250. Este sonómetro utiliza varios módulos para adaptarse a las medidas que se quieren realizar.

Se podrá ver de forma más detallada en el Anexo 1.

2.1.3.2. Software CLIO

El software a utilizar es el de la empresa AUDIOMATICA y es denominado como CLIO, este es un complejo sistema basado en propios dispositivos de Hardware y software.

Los productos de esta empresa han demostrado tener una ventaja para la medición para la comprobación electrónica de consumo en las líneas de producción, así como en los laboratorios de pruebas de medios de comunicación, respecto a otros productos similares.

CLIO es un sistema basado en PC para medidas eléctricas y acústicas. El sistema CLIO ofrece varios software de medición, equipos de medición relacionados y accesorios. Un sistema CLIO está compuesto por, al menos, un software de medición y una medición de hardware. En definitiva un sistema CLIO es un instrumento de prueba completo para la medición, ajuste y comprobación de diferentes parámetros acústicos.

Se podrá ver de forma más detallada en el Anexo 2.

2.1.3.3. Outline: plataforma giratoria

Este sistema de medición es el más técnico de todos. Es una plataforma de forma circular en la que se dispone de los 360 grados angulares. Con ella nos permite depositar cualquier dispositivo acústico para situarlo encima de ella y medir con exactitud la directividad de este mediante diferentes ensayos usando o bien software o en este caso el sonómetro. En este caso, todos los ensayos se realizaran con variaciones de movimiento de cinco grados.

Se podrá ver de forma más detallada en el Anexo 3.

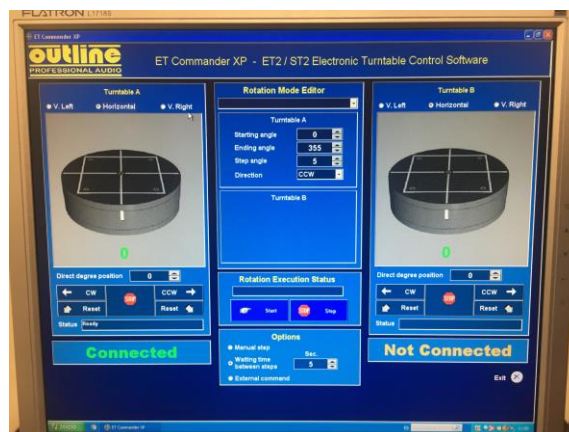


Figura 3: Software del Outline

2.1.3.4. Altavoz Beyma

La fuente sonora que vamos a utilizar para realizar los ensayos acústicos va a ser un altavoz de la marca Beyma, concretamente el modelo 8BR40/N un transductor de baja frecuencia. Este altavoz incorpora un cono curvilíneo unido a un envoltorio de caucho, con el fin de proporcionar estabilidad de suspensión y permitir una linealidad de excursión máxima con alta sensibilidad y distorsión extremadamente baja. Se ha diseñado específicamente para ofrecer una excepcional reproducción de frecuencias bajas y medias.

La descripción técnica que nos proporciona el fabricante se podrá ver más detalladamente en el Anexo 3, sin embargo a continuación se va a mostrar la curva de impedancia al aire libre, para posteriormente compararla con las de nuestros ensayos.

Se podrá ver de forma más detallada en el Anexo 4.

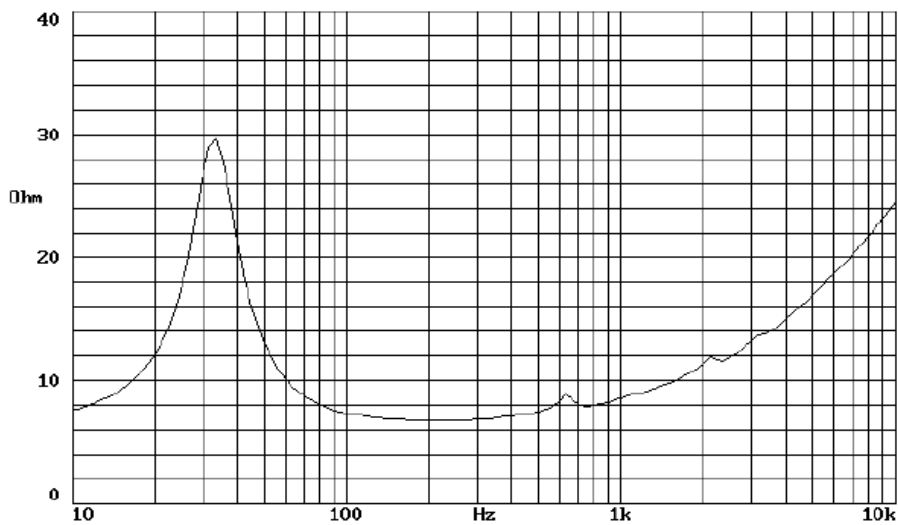


Figura 4: Grafica de impedancia del altavoz beyma 8BR40/N

2.1.3.5. Cajas acústicas a utilizar

En la siguiente imagen se pueden observar las cajas acústicas que se van a utilizar.



Figura 5: Cajas acústicas utilizadas en el TFG

2.1.3.6. Materiales acústicos

Para la realización de los ensayos con el material acústico, vamos a utilizar dos tipos de material, el primero es un poliéster reciclado y el segundo es una tela de diferentes densidades y grosores fabricados con telas y tejidos reciclados.

Se podrá ver de forma más detallada en el Anexo 5.

2.1.3.6.1. Sonopiel – Poliéster reciclado

El primer material recibe el nombre comercial de Sonopiel. Este material está fabricado con diferentes lanas de poliéster. Es un producto de fibras textiles de poliéster que provienen de reutilización del PET de las botellas de bebidas destinadas al consumo humano.

Este tipo de material es un producto que se utiliza para el acondicionamiento acústico y aislamiento acústico y térmico. Es un producto revolucionario para sustituir las lanas tradicionales. Está indicado para el tratamiento de ambientes ruidosos, ya que atenúa el nivel sonoro general e impide la transmisión. Las características acústicas de este tipo de fibras textiles, son su naturaleza blanda, porosa y fibrosa que absorbe parte de estos ruidos provocando su disipación. Por otro lado, este producto de naturaleza textil, genera una cámara de aire que impide la transmisión de la temperatura entre los diferentes espacios, permitiendo así su aislamiento.


Aislante ignifugo	gramaje gr/m ²	Densidad Kg/m ³	Espesores mm €/m ²			
			40 mm	30 mm	20 mm	10 mm
 SONOPIEL CALIDAD I (EUROCLASES - B s1 d0) Rollos ancho 600/400	400	10	4,12	3,09	2,58	1,55
	600	15	5,84	4,38	3,65	2,19
	800	20	7,58	5,69	4,74	2,84
	1000	25	9,32	6,99	5,83	3,50
	1200	30	11,06	8,30	6,91	4,15

Tabla 1: Densidad y espesores del material

2.1.3.6.2. Impatec

El segundo material que se va utilizar en los ensayos de material es el conocido comercialmente como Impatec. IMPACTEC es un no tejido para el aislamiento acústico de ruidos producidos movimiento. Este aislamiento posee unas excelentes prestaciones de reducción del nivel de presión sonora por impactos.

Es un producto desarrollado por la empresa Tex Delta, es un no tejido con varias mezclas de diferentes fibras textiles, con muchísimas ventajas acústicas y ecológicas como por ejemplo, es un material transpirable y permeable con un agarre total, además seca rápidamente evitando humedades y fluorescencias, no contamina, y tiene una elevada resistencia a la degradación, ofreciendo una larga durabilidad.



Figura 6: Material tras el proceso de fabricación

2.1.4. Medidas

Todo estudio acústico tiene una serie de parámetros con los cuales podemos obtener unos resultados que nos dictaran si los objetivos que nos marcamos al principio han sido logrados. Para ello primero que todo debemos conocer dichos parámetros definiéndolos teóricamente y viendo sus entresijos técnicos y normas básicas de medición así como su proceso de obtención. **Se podrá ver de forma más detallada en el Anexo 6.**

2.1.4.1. Resistencia eléctrica

Cualquier material natural ofrece oposición al paso de la corriente eléctrica a través de ella. Este efecto se llama resistividad. Los materiales conductores presentan una resistividad casi nula, por lo que los aislantes no permiten el flujo de corriente y los resistivos presentan cierta resistencia. Las resistencias son componentes eléctricos pasivos, por eso la tensión que se les aplica es proporcional a la intensidad que circula por ellos. Generalmente la resistencia de un material aumenta cuando crece la temperatura. Además la resistencia de un conductor es proporcional a la longitud de ésta e inversamente proporcional a su sección. La medición en resistencias se hace en ohmios, su símbolo que es este (Ω)

2.1.4.1.1. Ley de ohm

Para poder entender el concepto de resistencia eléctrica debemos conocer la ley por la cual se rige. La ley de Ohm dice que: "la intensidad de la corriente eléctrica que circula por un conductor eléctrico es directamente proporcional a la diferencia de potencial aplicada e inversamente proporcional a la resistencia del mismo".

En el Sistema internacional de unidades:

I = Intensidad en amperios (A)

V = Diferencia de potencial en voltios (V)

R = Resistencia en ohmios (Ω)

$$I = \frac{V}{R}$$



2.1.4.1.2. Analogía entre sistemas acústicos y eléctricos.

Analizaremos los distintos elementos que aparecen en un sistema acústico y sus analogías con elementos presentes en circuitos eléctricos, pues en este proyecto lo que se propone es la traslación de los parámetros de todos los elementos que componen un sistema de altavoz, a sus respectivas equivalencias en elementos pasivos de circuitos eléctricos. El estudio que rige el funcionamiento de estos elementos hará sencillo su transformación a un equivalente eléctrico, pero antes interpretamos las transformaciones de los significados que tienen las señales en cada uno de los sistemas.

Tipo de Analogía	Sistema eléctrico	Sistema acústico
Impedancia	Caída de tensión $e(t)$	Presión sonora $p(t)$
	Flujo de corriente $i(t)$	Velocidad volumétrica $u(t)$
Movilidad	Caída de tensión $e(t)$	Velocidad volumétrica $u(t)$
	Flujo de corriente $i(t)$	Presión sonora $p(t)$

Tabla 2. Analogías entre sistemas acústicos y eléctricos

2.1.4.1.3. Analogía entre sistemas mecánicos y eléctricos.

De la misma forma que con los elementos acústicos, existen analogías entre las variables de estado presentes en los sistemas mecánicos, y los sistemas eléctricos, consiguiendo a su vez equivalencia entre elementos mecánicos y elementos eléctricos. En la Tabla 2 vemos las dos mismas analogías estudiadas para sistemas acústicos y eléctricos, pero en este caso interpretadas en señales para sistemas mecánicos y eléctricos.

Tipo de Analogía	Sistema eléctrico	Sistema mecánico
Impedancia	Caída de tensión $e(t)$	Fuerza $f(t)$
	Flujo de corriente $i(t)$	Velocidad $u(t)$
Movilidad	Caída de tensión $e(t)$	Velocidad $u(t)$
	Flujo de corriente $i(t)$	Fuerza $f(t)$

Tabla 3. Analogías entre sistemas mecánicos y eléctricos

2.1.4.1.4. Relación con la ley de Ohm

Después de analizar ambas analogías lo que buscamos es encontrar un equivalente eléctrico al sistema de altavoz. Hay que tener en cuenta que nuestro sistema cuenta con una primera parte eléctrica. A esta parte le aplicamos una onda de tensión que será la referencia que queremos que el diafragma del altavoz siga. A esta tensión se le relaciona una corriente como señal.

La relación existente entre estas dos señales está definida por la ley de "Ohm" que hemos hablado antes. De esta forma podemos observar que si medimos la velocidad del diafragma del altavoz, es lo mismo que medir la velocidad volumétrica del medio, justo en el momento de emisión de la señal, es decir, para $r=0$. Empleando la analogía de impedancia planteada anteriormente tendríamos una medida de la corriente en la carga.

Si el modelo que planteemos al final es de un circuito de elementos colocados en serie, la corriente en la carga, será la misma que a la entrada del sistema. Con esta señal y la tensión de entrada, podríamos averiguar la función de transferencia $Z(s)$, la cual por una parte es la impedancia equivalente del circuito equivalente, y por otra, la relación entrada salida, siendo la entrada la tensión aplicada, y la salida, la corriente que pide el circuito, y por analógica también, la velocidad del diafragma.

Pongamos un ejemplo para entender cómo funciona la impedancia y el movimiento de frecuencias en relación a todas las analogías entre sistemas comentadas en las tablas. Para ello lo podemos ver de una forma más gráfica en la Figura 7

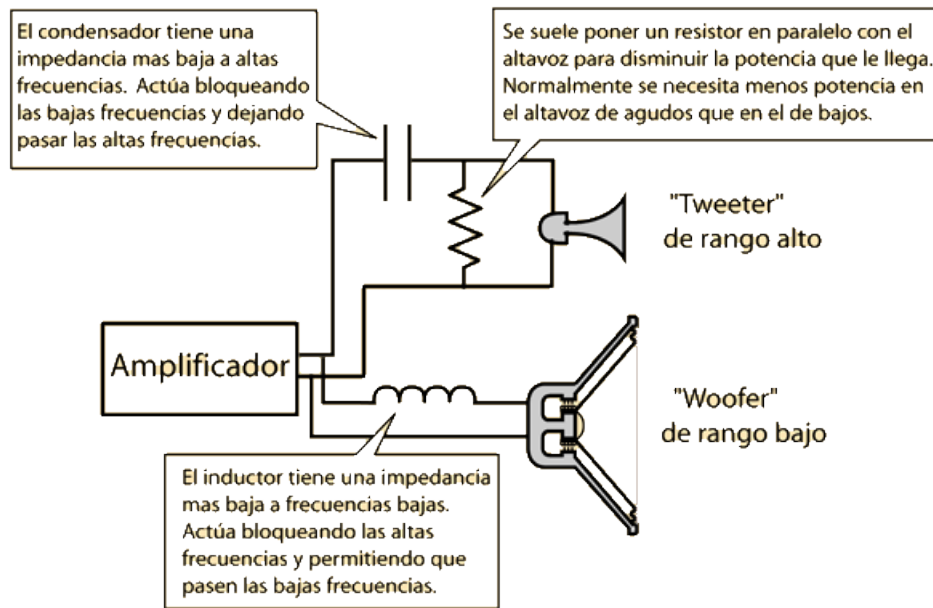


Figura 7: Funcionamiento de las diferentes piezas de un altavoz

2.1.4.2. Impedancia

Los "Ohmios" indican la impedancia o resistencia a la corriente eléctrica alterna de nuestro altavoz. Por tanto la impedancia nos indica cómo se comportan, o qué oposición presentan, ante el paso de la corriente eléctrica. Este parámetro varía con la frecuencia, lo que significa que la impedancia de una caja acústica no permanece constante todo el tiempo, sino que varía durante el funcionamiento de la fuente sonora a medida que evoluciona la frecuencia de la misma. El valor nominal de la impedancia que nos dan los fabricantes de altavoces suele estar medido a una frecuencia de 1 kHz, y suele ser de 4, 6 u 8 ohmios.

2.1.4.3. Respuesta en frecuencia

Cuando hablamos de la respuesta en frecuencia de un altavoz, este siempre nos indica el rango de frecuencias con los que un determinado componente de audio es capaz de trabajar. De forma rigurosa, cuando se aplica a una caja acústica expresa la relación que existe entre la frecuencia de un altavoz y la presión sonora. Este parámetro varía en función del diámetro del diafragma del altavoz, de su suspensión y también del material utilizado en la construcción del cono.

El sonido es una onda, y la frecuencia es la cantidad de veces que se repite esa onda en un segundo. ¿Cómo afecta esto al sonido? Un sonido más grave tendrá menos frecuencia, y un sonido más agudo menos. El intervalo de frecuencias audibles está entre 16 Hz y 20000 Hz aproximadamente.

2.1.4.4. Directividad

La directividad de un altavoz indica cómo ese altavoz distribuye su radiación en el espacio. La forma más gráfica de dar la directividad es mediante un diagrama polar, en el que se representa, en dB, y para todas las posiciones angulares en el plano del eje del altavoz la función: $\text{Directividad (dB)} = 20 \log$. Los diagramas polares se trazan a diferentes frecuencias, observándose que un altavoz radia en un haz más estrecho es más directivo cuanto mayor sea el producto (Frecuencia x radio del diafragma).

En la práctica un woofer es aproximadamente omnidireccional por debajo de 500 Hz, comenzando a estrechar su haz por encima de 500 Hz, y se hace cada vez más directivo cuando crece la frecuencia. En cajas de varias vías es el tweeter quien radia en un haz más estrecho, por lo que se deben orientar hacia la posición de escucha, con el fin de que el oyente no pierda parte de la respuesta en agudos del sistema.

Con esta idea práctica, se deduce que será deseable un altavoz con una directividad uniforme en frecuencia, radiando hacia el semiespacio frontal para cubrir un amplio frente de audiencia y que, al mismo tiempo, radie poco posterior y lateralmente con el fin de no suministrar excesiva energía acústica al campo reverberante.

2.2. Procedimientos de medición

Para obtener todos los parámetros explicados previamente debemos seguir unos procedimientos de medición en los cuales respetemos siempre las normas acústicas, para no cometer errores en las medidas y obtener buenos resultados.

2.2.1. La impedancia del altavoz

2.2.1.1. Medida de la impedancia

Para medir la curva de impedancia necesitamos un analizador en el laboratorio que nos lo permita. Éstos pueden ser de sinusoidal barrida (van midiendo la impedancia en todas las frecuencias a medida que van barriendo) o bien utilizar señal de ruido (en cuyo caso miden toda la curva de una sola vez).

Existen también medidores portátiles de impedancia. Estos incorporan un generador de frecuencias, normalmente a 1 KHz, a veces a más frecuencias también, que permite una lectura de la impedancia a esas frecuencias concretas. Si el fabricante nos proporciona el valor de impedancia a esa frecuencia, o bien lo miramos en la curva de impedancia, podremos comprobar si hay irregularidades en la línea de altavoces, comparando el valor que deberíamos obtener con el que nos proporciona el medidor.

2.2.1.2. Impedancia nominal

Puesto que una curva de impedancia no es un dato práctico para trabajar y realizar cálculos, los altavoces especifican una impedancia nominal. Ésta suele venir dada como potencias de dos, siendo 2, 4, 8 y 16 ohmios los valores más comunes en refuerzo sonoro.

Algunas normas especifican unos porcentajes que se permite caer a la impedancia mínima el relación a la impedancia nominal, lo que quiere decir que, incluso si el fabricante especifica correctamente un altavoz, diferentes altavoces con la misma impedancia nominal podrán suponer cargas sustancialmente diferentes para un amplificador.

2.2.1.3. Parámetros que se extraen de las curvas de impedancia

Existen multitud de parámetros que se calculan utilizando curvas de impedancia. Por ejemplo, los parámetros Thiele–Small o parámetros de baja señal, que se utilizan para el diseño de cajas y que se extraen habitualmente de curvas de impedancia.

El parámetro más básico que podemos extraer de una curva de un altavoz de cono al aire es la frecuencia de resonancia (F_s), es decir, la frecuencia donde se produce el pico de impedancia.

2.2.1.4. La impedancia varía con la temperatura

Un aspecto que no debe olvidarse con respecto a la impedancia es que ésta varía con la temperatura. Ello quiere decir que cuando el amplificador entrega potencia a un altavoz y su bobina se calienta, la impedancia aumenta considerablemente, tanto más cuanto mayor sea la potencia entregada por el amplificador. Esto tiene como consecuencia que el amplificador entregará menos potencia, un fenómeno denominado "compresión de potencia" que tiene como consecuencia la reducción de presión sonora, que será tanto mayor cuanto mayor sea el recalentamiento de las bobinas. En la figura 8, se puede observar como varía la capacidad de un transductor con la temperatura dependiendo de este parámetro y de su variación, dependiendo del tipo de transductor que se utilice.

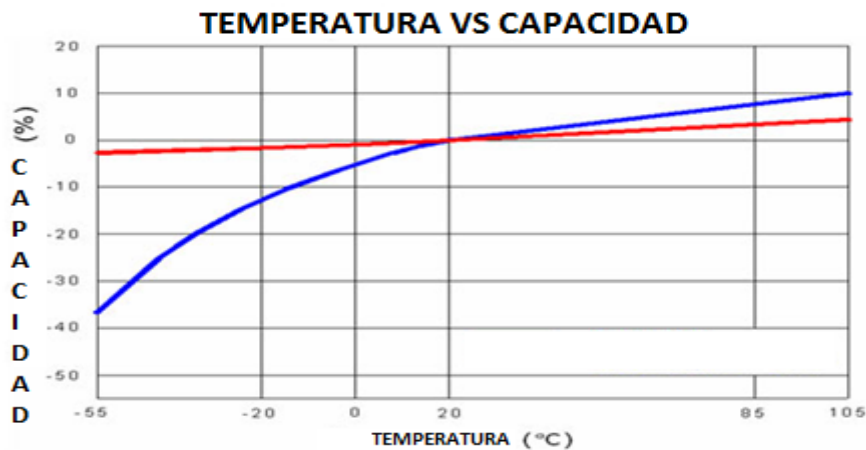
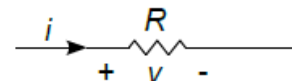


Figura 8: Porcentaje de variación la temperatura en la medición de impedancia

2.2.1.5. Obtención de la impedancia

La impedancia eléctrica es una extensión del concepto de resistencia eléctrica a los circuitos de CA. Es bien sabido que la corriente i que fluye a través de una resistencia R es directamente proporcional al potencial de tensión v a través de los terminales de resistencia, tal como se representa por la Ley de Ohm:

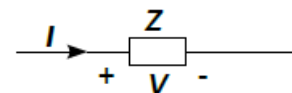
$V = R \cdot i$ (Donde R , v e i son cantidades escalares.)



De manera similar, la impedancia eléctrica Z es una cantidad compleja que describe no sólo las amplitudes relativas de la tensión y la corriente, sino también las fases relativas.

La Ley del Ohm se convierte en:

$V = Z \cdot I$ (Donde los Z , V e I son ahora cantidades complejas.)



El número complejo Z se puede escribir en cartesiano:

$$Z = R + jX$$

O forma polar:

$$Z = |Z| e^{j \arg(Z)}$$

Siguiendo las definiciones anteriores, la dependencia de frecuencia de la impedancia $Z(\omega)$ obviamente se obtiene como una relación entre dos respuestas de frecuencia. La medida de impedancia es por sí misma indirecta, El valor de impedancia se deriva de mediciones de voltaje y corriente. De acuerdo con la Ley de Ohm:

$$Z(\omega) = \frac{V(\omega)}{I(\omega)}$$

Para poder obtener la medida dentro de nuestro software CLIO tenemos diferentes métodos de medición de impedancia y modos de análisis. Hay tres métodos para medir la impedancia eléctrica:

1. Modo Interno
2. Modo de dos canales (V, I)
3. QCBox Isense

Y hay dos modos de análisis para medir voltaje y / o corriente y para obtener la $Z(\omega)$ en función de la frecuencia:

1. MLS o LogChirp
2. Análisis sinusoidal

En nuestros ensayos siempre utilizaremos el modo interno y el modo MLS para la respuesta en frecuencia. Son dos de los modos más completos y con los que obtendremos todos los factores necesarios para realizar las comparaciones finales.

2.2.1.6. Medición del inductor

En primer lugar vamos a realizar la medición de un inductor, el inductor es el cable que vamos a utilizar para realizar la medida.

La forma de conectarlo y comprobar su valor para después proceder a realizar la medida de impedancia correcta es tan fácil como conectar las pinzas de cocodrilo a los cables de la caja acústica y seleccionar el bucle In-Out Loop y pulse Go en el software CLIO.

El factor que más puede influir en esta prueba son las conexiones, como en todas las mediciones de impedancia, si se trata de un cable con pinzas de cocodrilo, hay que tener mucha atención para evitar falsos contactos que puedan surgir en el caso que los terminales estén oxidados o las pinzas no presionen con suficiente fuerza.

El montaje y el material a utilizar es el siguiente:



Figura 9: Montaje de la CLIO FW para la medición del inductor

2.2.1.7. Medición de la impedancia con CLIO

Para realizar la medida de impedancia tenemos que tener en cuenta los modos a utilizar. Para ello se establece cómo la impedancia es calculada y mostrada mediante el modo INTERNAL en la clío FW.

Ahora fijamos nuestra atención a la respuesta de impedancia del altavoz. Elegimos con el selector del canal de entrada CHB y unidad de Ohm en la Escala Y, dentro de sinusoidal settings, sin cambiar los ajustes anteriores puesto que nos acompañarán hasta la medida final de referencia.

Puesto que el nivel de salida ya se ha establecido en la prueba acústica, únicamente tenemos que ajustar la sensibilidad de entrada en el canal B, una configuración de -30dBV o -40dBV suele ser correcta para la medida de impedancia.

Hasta ahora solo se ha utilizado CLIO para realizar medidas con simples cables. Ahora vamos a tratar con las mediciones acústicas. El dominio del tiempo será una parte esencial de nuestro interés.



Figura 10: Montaje de la CLIO FW para la medición de impedancia

En la imagen podemos ver el montaje para la medición de la impedancia de las cajas acústicas a ensayo en las cuales se van a someter a las medidas de impedancia y respuesta en frecuencia.

2.2.2. Medición de la directividad

El análisis de Directividad caracteriza la radiación de un altavoz en función del ángulo, sea vertical u horizontal. El análisis de directividad es un post proceso aplicado a un grupo de respuestas en frecuencia medidas a través de un ensayo en una cámara anecoica.

Para medir la respuesta polar utilizaremos una base giratoria conectada al PC bajo el control de CLIO. Es necesario medir la respuesta en frecuencia anecoica en diferentes ángulos y guardar posteriormente los archivos creados siguiendo unas normas de tiempo de emisión y barrido de frecuencias variadas entre 20hz y 22khz.

2.2.2.1. Medida de la presión

Para realizar medidas completas de directividad, hemos de medir el nivel de presión sonora (SPL) alrededor de una esfera en cuyo centro está el altavoz. El diámetro de esta esfera deberá ser grande comparado con la dimensión del altavoz.

Las medidas se realizan en todas las frecuencias, ya que así podremos saber el nivel de presión sonora para cualquier frecuencia y a cualquier ángulo. En la práctica estas medidas se realizan colocando un micrófono a una distancia práctica de la fuente (normalmente alrededor de 1 metro), y girando el altavoz para conseguir los diferentes ángulos.

Idealmente se debería medir en todas las posiciones de la esfera, aunque en la práctica la mayor parte de los fabricantes mide solamente el plano horizontal y el vertical, ya que la medida de la esfera completa es compleja y requiere de giro en dos ejes.

El resultado final es una respuesta en frecuencia para cada punto de la esfera de medida, con resolución que puede variar de 1/24 de octava a 1/3 de octava, con una resolución angular que está entre 1 y 10 grados. La figura 11 contiene un conjunto de estas respuestas en frecuencia para el corte horizontal, que se representa como un gráfico de cascada.

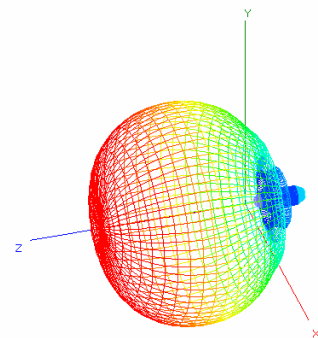


Figura 11: Grafico en cascada

2.2.2.2. Curvas Polares

Si dividimos la esfera de medidas, conseguimos las curvas polares, que son el resultado de girar el altavoz 360 grados alrededor de un eje. Para dar un ejemplo más cercano a la realidad, la medición de las polares horizontales sería algo parecido a caminar con un micrófono de medida alrededor de una caja que está en el suelo. Normalmente, solamente se publican curvas polares horizontales y verticales en las hojas de especificaciones.

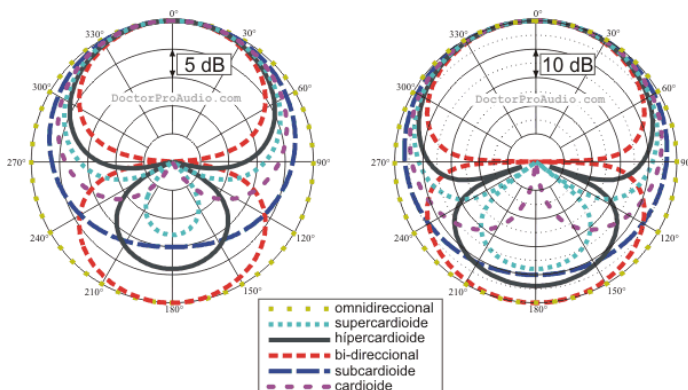


Figura 12: Graficas de polaridad

Por ejemplo las curvas polares más conocidas en lo que acústica se refiere son las de los micrófonos (figura 9). Estas nos representan el tipo de micrófono que estamos utilizando y en que ángulo capta la radiación de la fuente sonora. En nuestro sonómetro el micrófono en cuestión, es un micrófono de campo libre pre polarizado, bidireccional.

2.2.2.3. El Ángulo de Cobertura

La definición más común del ángulo de cobertura es el ángulo determinado por los puntos de -6 dB en la curva polar de un altavoz. Se elige el punto de -6 dB porque si montáramos una formación, tipo array, de altavoces separados por su ángulo de cobertura tendríamos una cobertura perfectamente continua de energía acústica. (Figura 13)

Hay cierto desacuerdo en cuanto a cual debiera ser la referencia de 0 dB en el cálculo del ángulo de cobertura. Unos fabricantes usan el nivel en el eje, mientras que otros se decantan por el nivel máximo de la curva polar. Cuando ésta es suave y regular, ambas referencias son iguales, pero cuando la respuesta es irregular, como sucede a ciertas frecuencias en las trompetas y en las regiones de cruce de cajas de varias vías, puede haber diferencias significativas.

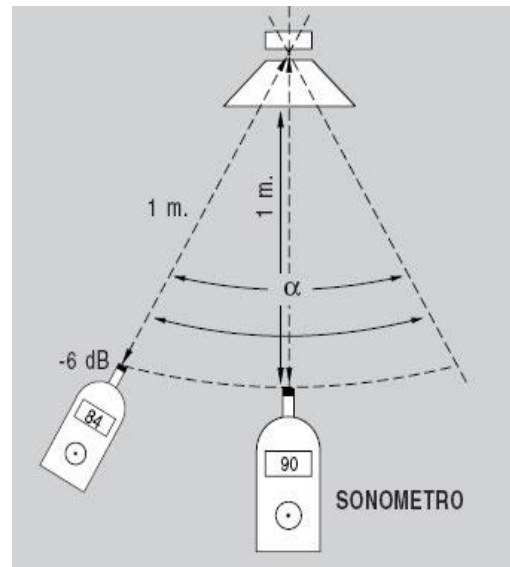


Figura 13: Ejemplo de angulación

2.2.2.4. Montaje para la medición de la directividad

La medición de directividad de una caja acústica es tedioso y requiere tiempo. En nuestro estudio acústico vamos a utilizar el siguiente esquema de montaje:

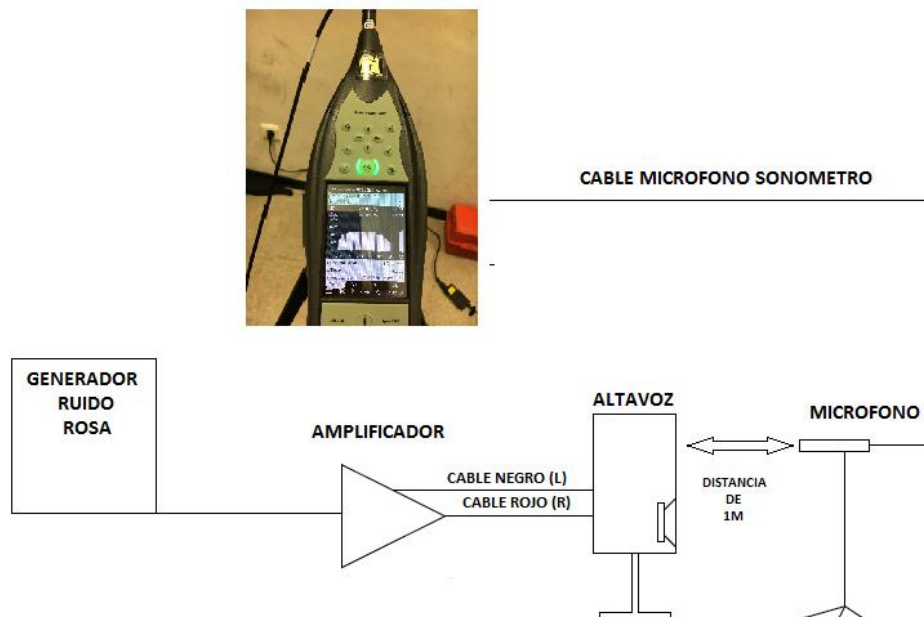


Figura 14: Esquema de distribución para la medición de directividad

Para la medición de directividad vamos a usar el sonómetro. Este estará situado fuera de la cámara anecoica. Para ello el micrófono conectado al sonómetro estará dentro de la cámara mediante cable. El sonómetro estará en el módulo de respuesta en frecuencia y realizaremos medidas de veinte segundos, y variaremos el ángulo del Outline en cinco grados y volveremos a realizar la medida. Con esto obtendremos setenta y dos medidas que posteriormente dibujaremos en un diagrama polar para obtener las frecuencias más relevantes el diagrama de polaridad.

El altavoz o fuente sonora estará emitiendo un ruido rosa generado por un generador de ruido que a través de un amplificador, emitirá el ruido que nos permitirá obtener la medida a través del sonómetro. El altavoz y el amplificador estarán conectados mediante un cable de speakon. El montaje se puede ver en la figura 15:

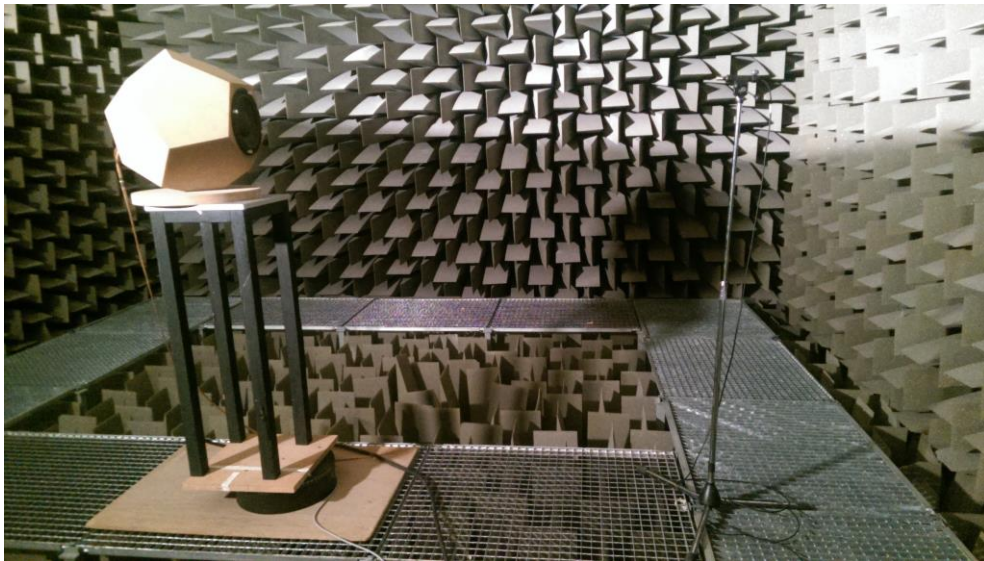


Figura 15: Montaje en la cámara anecoica para la medición de directividad

2.3. Ensayos acústicos sin material absorbente

Tras describir todas las partes teóricas, los montajes previos a los ensayos, por fin, vamos a analizar los primeros resultados. Para ello vamos a realizar dos tipos de ensayos como anteriormente describimos. ***Se podrá ver de forma más detallada en el Anexo 6.***

2.3.1. Cajas acústicas en abierto.

En primer lugar vamos a medir en abierto la impedancia del altavoz. Como se ha visto en los diferentes apartados de montaje, se va utilizar la CLIOFW y se va proceder a medir la impedancia, en primer lugar utilizaremos el modulo sinusoidal y después el modulo MLS con respuesta en frecuencia. Cabe destacar que todas tienen el mismo volumen (30 litros) aunque no la misma forma y es ahí donde vamos a indagar para comprobar cómo afecta esto a la impedancia y a la respuesta en frecuencia.

En el modo sinusoidal podemos comprobar la impedancia con pico en 1K, además de ver los diferentes picos de frecuencia. También podemos comprobar que la frecuencia de resonancia (F_s) que se sitúa en torno a los 38Hz, sin embargo en el modo de MLS podemos obtener una frecuencia de resonancia (F_s) entorno a los 34Hz.

Además la curva se visualiza más determinada, y podemos comprobar por primera vez que la medida de impedancia es correcta. Cabe destacar que estamos trabajando con un altavoz que varía su rango de impedancia entre 6.5 y 8 ohms dependiendo de los diferentes parámetros de temperatura, ruido, y volumen.

Por eso podemos comparar la curva de impedancia obtenida con CLIOFW con la del fabricante y la variación es de 10hz. A continuación se muestran las curvas de impedancia en ambos modos.

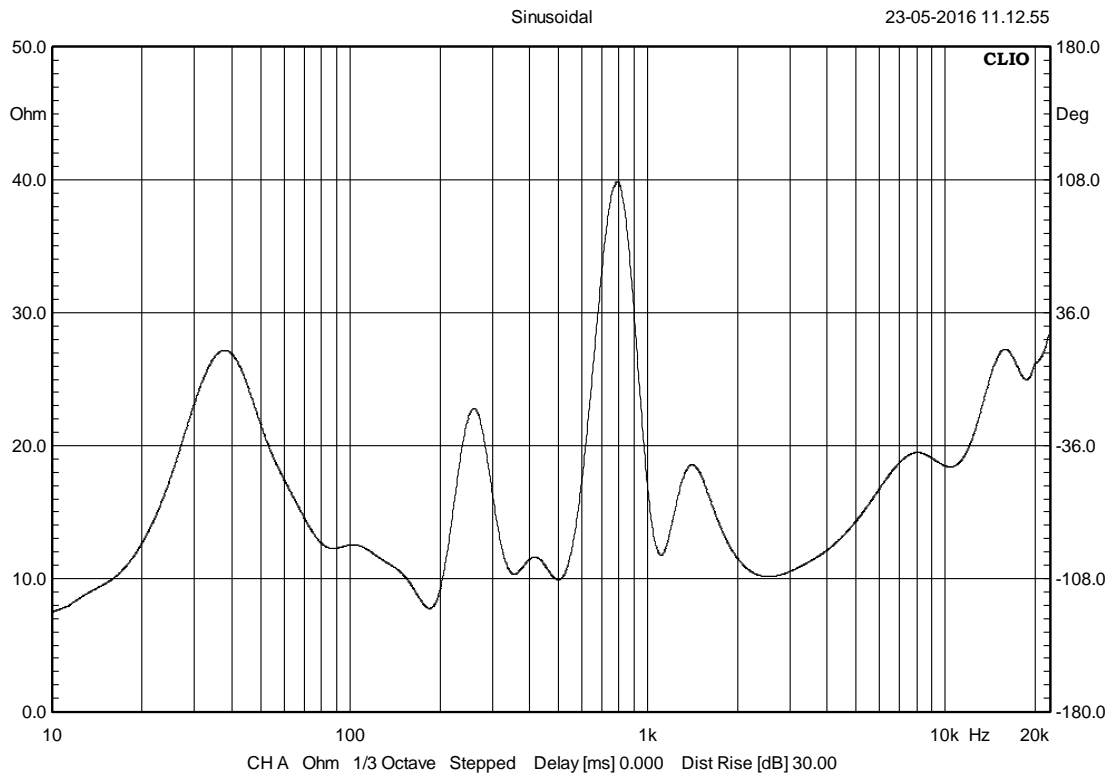


Figura 16: Impedancia al aire libre con CLIOFW en modo sinusoidal con pico en 1K

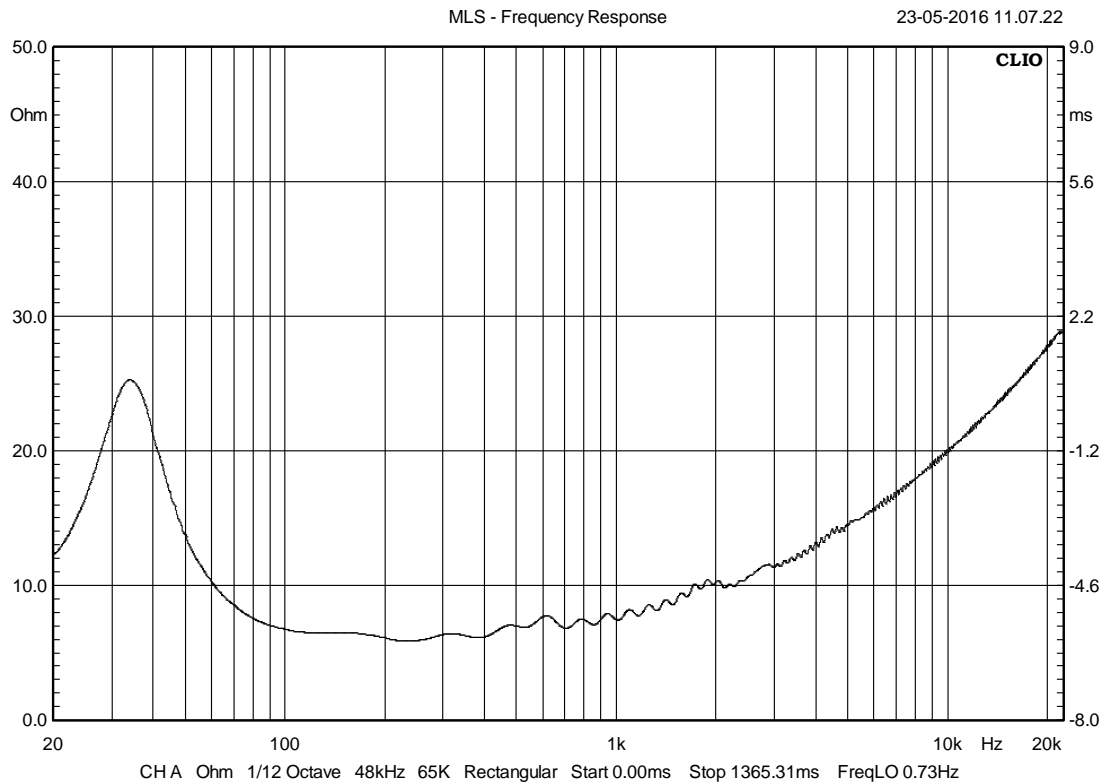


Figura 17: Impedancia al aire libre con CLIOFW en modo MLS (Rf)

2.3.1.1. Caja 1: LARGA

2.3.1.1.1. Ensayo de impedancia

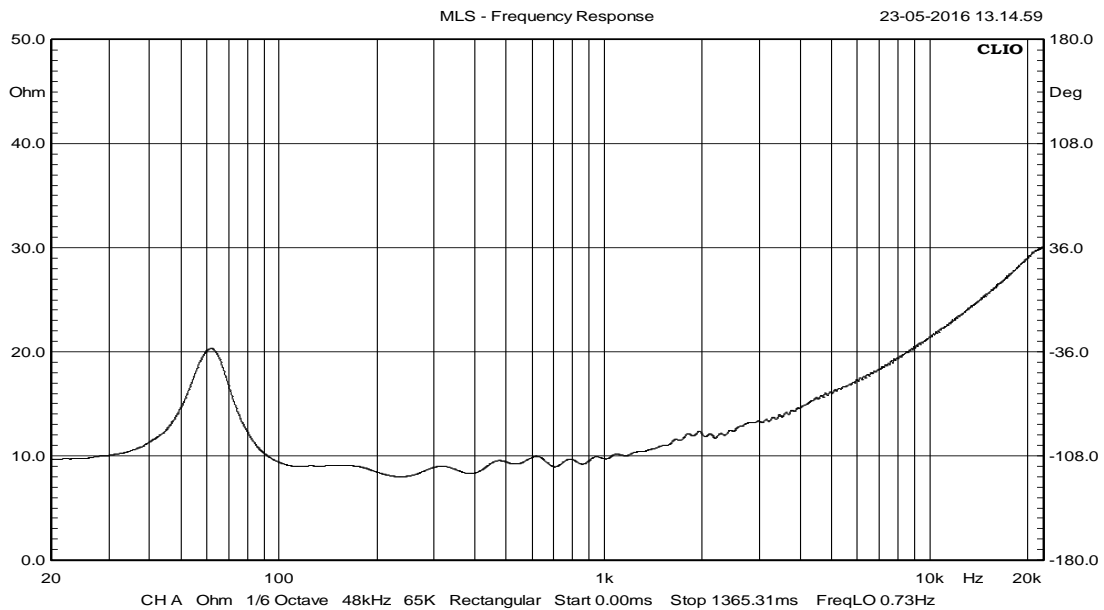


Figura 18: Impedancia de la caja 1 con el transductor montado

La frecuencia de resonancia se encuentra sobre los 62Hz sobre 20 ohms

2.3.1.1.2. Ensayo de respuesta en frecuencia

En esta gráfica podemos destacar que sobre los 400hz comienza una dispersión ocurrente, en la cual la respuesta en frecuencia varía y donde en la mayoría de grados la curva tiene una tendencia a la baja conforme aumenta la frecuencia.

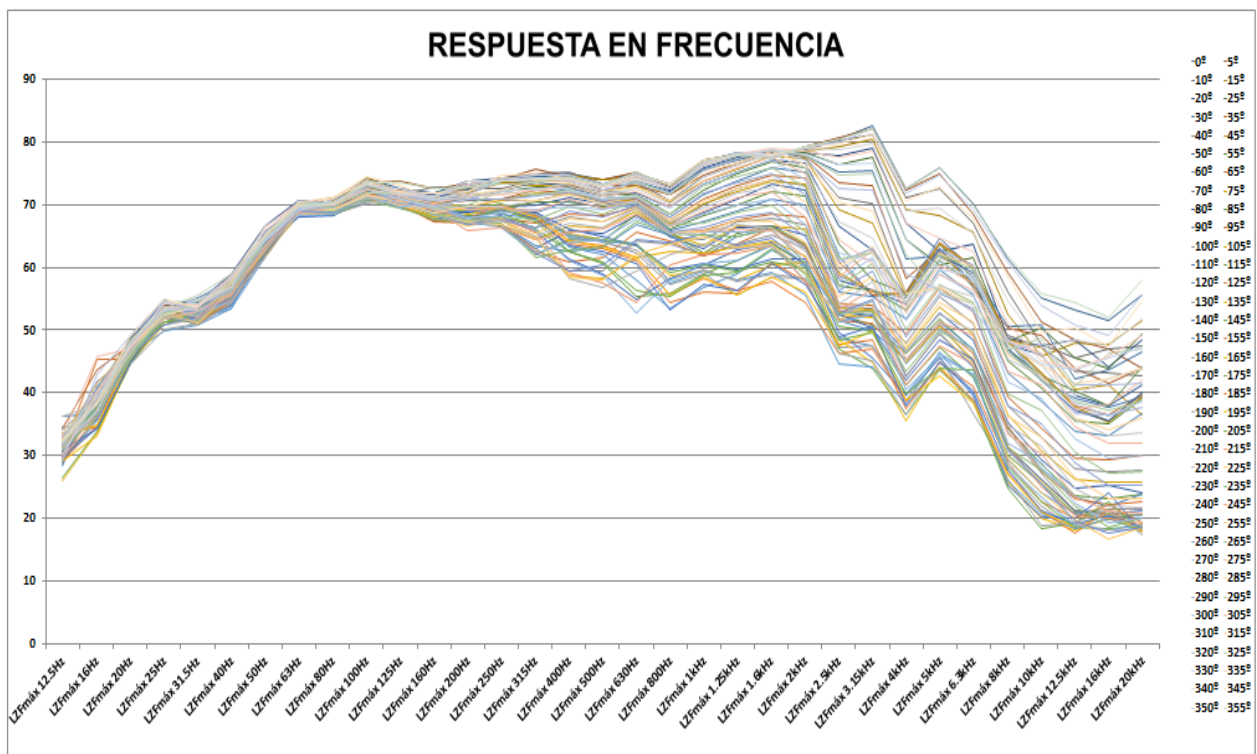


Figura 19: Respuesta en frecuencia de la caja 1 con el transductor montado

2.3.1.1.3. Ensayo de directividad

Como hemos podido comprobar en la curva de respuesta en frecuencia, tenemos una tendencia a frecuencias bajas en esta caja. Para ello vamos a analizar los diagramas polares de las frecuencias que más picos contienen en la curva de RF.

Estas frecuencias son 800hz, 2,5khz, 4khz, 5khz, 6.3khz, 8khz, en todas ellas podemos ver como se produce unos cambios muy bruscos afectaran al diagrama de polaridad puesto que aumentan o disminuyen su valor drásticamente.

Gráfico de directividad 1: caja 1 SIN MATERIAL



2.3.1.2. Caja 2: RECTANGULAR

2.3.1.2.1. Ensayo de impedancia

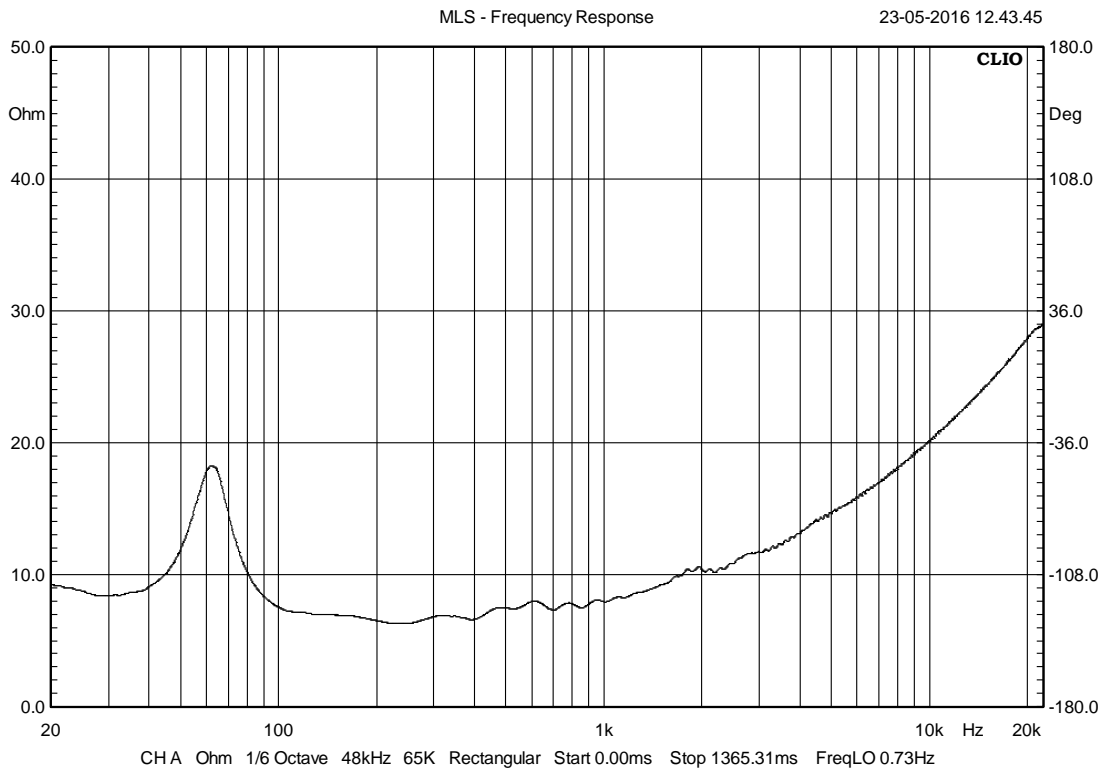


Figura 20: Impedancia de la caja 2 con el transductor montado

La frecuencia de resonancia se encuentra sobre los 65Hz sobre 18 ohms

2.3.1.2.2. Ensayo de respuesta en frecuencia

En esta gráfica podemos destacar que sobre los 2Khz comienza una dispersión ocurrenciente, en la cual la respuesta en frecuencia varía y donde en la mayoría de grados la curva tiene una tendencia a la baja conforme aumenta la frecuencia.

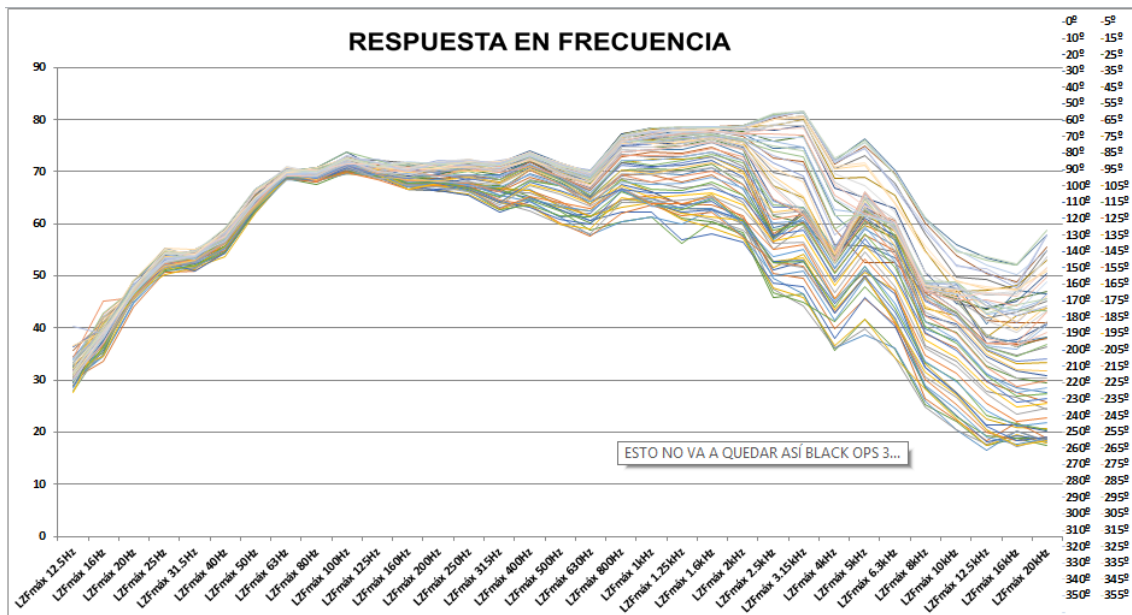


Figura 21: Respuesta en frecuencia de la caja 2 con el transductor montado

2.3.1.2.3. Ensayo de directividad

Como hemos podido comprobar en la curva de respuesta en frecuencia, tenemos una tendencia a frecuencias altas en esta caja. Para ello vamos a analizar los diagramas polares de las frecuencias que más picos contienen en la curva de RF.

Estas frecuencias son 630hz, 2khz, 3,15khz, 5khz, 6.3kz, 8khz, en todas ellas podemos ver como se produce unos cambios muy bruscos afectaran al diagrama de polaridad puesto que aumentan o disminuyen su valor drásticamente.



Gráfico de directividad 2: caja 2 SIN MATERIAL

2.3.1.3. Caja 3: PENTAGONAL

2.3.1.3.1. Ensayo de impedancia

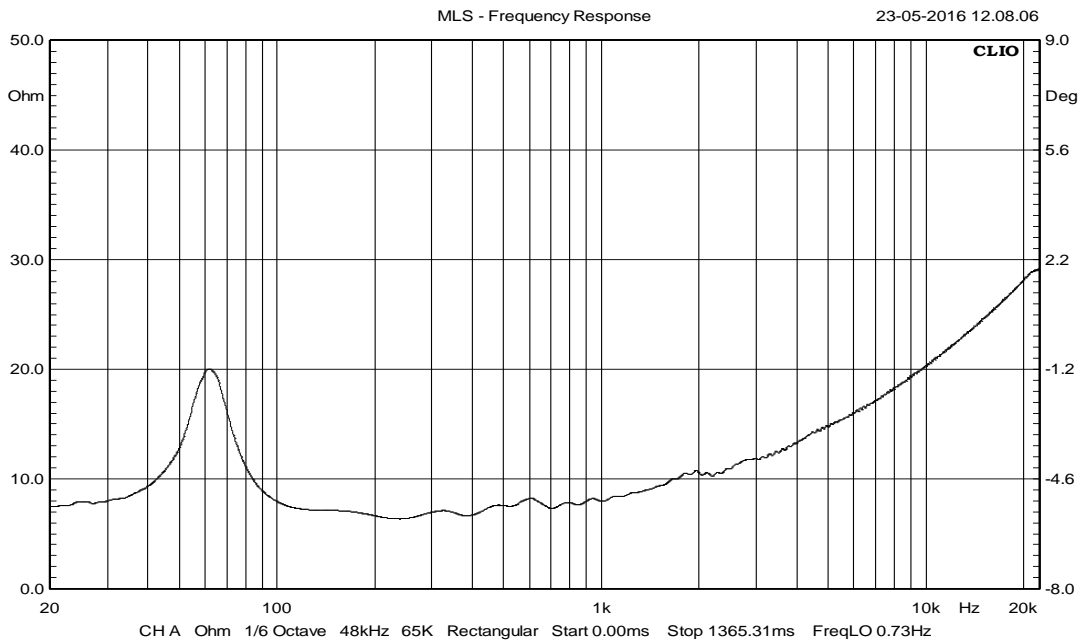


Figura 22: Impedancia de la caja 2 con el transductor montado

La frecuencia de resonancia se encuentra sobre los 60Hz sobre 20 ohms

2.3.1.3.2. Ensayo de respuesta en frecuencia

En esta gráfica podemos destacar que sobre los 1.6Khz comienza una dispersión ocurrente, en la cual la respuesta en frecuencia varía y donde en la mayoría de grados la curva tiene una tendencia a la baja conforme aumenta la frecuencia, sin embargo podemos comprobar como en algunos puntos la curva de frecuencia sigue muy alta.

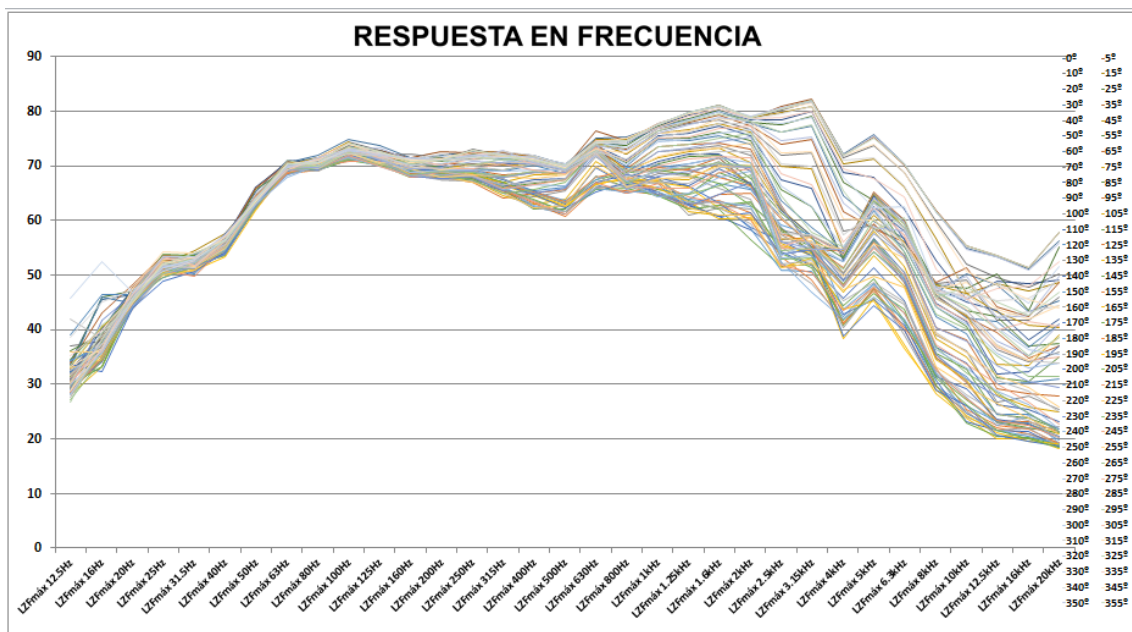


Figura 23: Respuesta en frecuencia de la caja 3 con el transductor montado

2.3.1.3.3. Ensayo de directividad

Como hemos podido comprobar en la curva de respuesta en frecuencia, tenemos una tendencia a frecuencias bajas en esta caja. Para ello vamos a analizar los diagramas polares de las frecuencias que más picos contienen en la curva de RF.

Estas frecuencias son 2khz, 2.5khz, 3,15khz, 4khz, 6.3khz, 8khz, en todas ellas podemos ver como se produce unos cambios muy bruscos al diagrama de polaridad puesto que aumentan o disminuyen su valor drásticamente.

Gráfico de directividad 3: caja 3 SIN MATERIAL



2.3.1.4. Caja 4: CUADRADA
2.3.1.4.1. Ensayo de impedancia

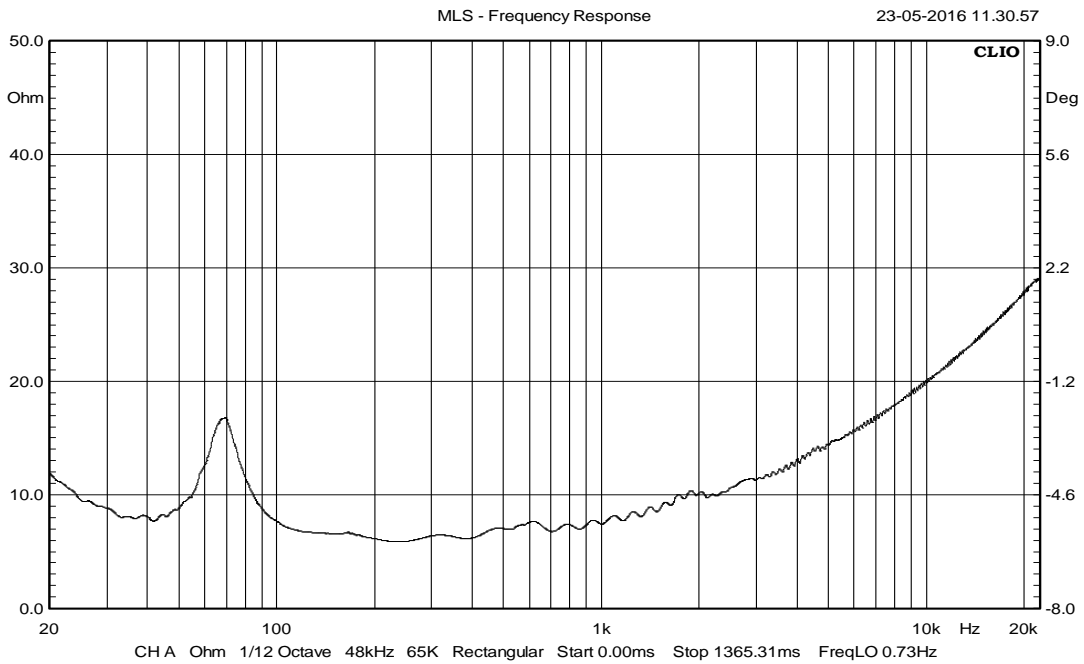


Figura 24: Impedancia de la caja 4 con el transductor montado
 La frecuencia de resonancia se encuentra sobre los 70Hz sobre 15 ohms

2.3.1.4.2. Ensayo de respuesta en frecuencia

En esta gráfica podemos destacar que sobre los 2Khz comienza una dispersión ocurrencente, en la cual la respuesta en frecuencia varía y donde en la mayoría de grados la curva tiene una tendencia a la baja conforme aumenta la frecuencia, sin embargo podemos comprobar como en algunos puntos la curva de frecuencia sigue muy alta.

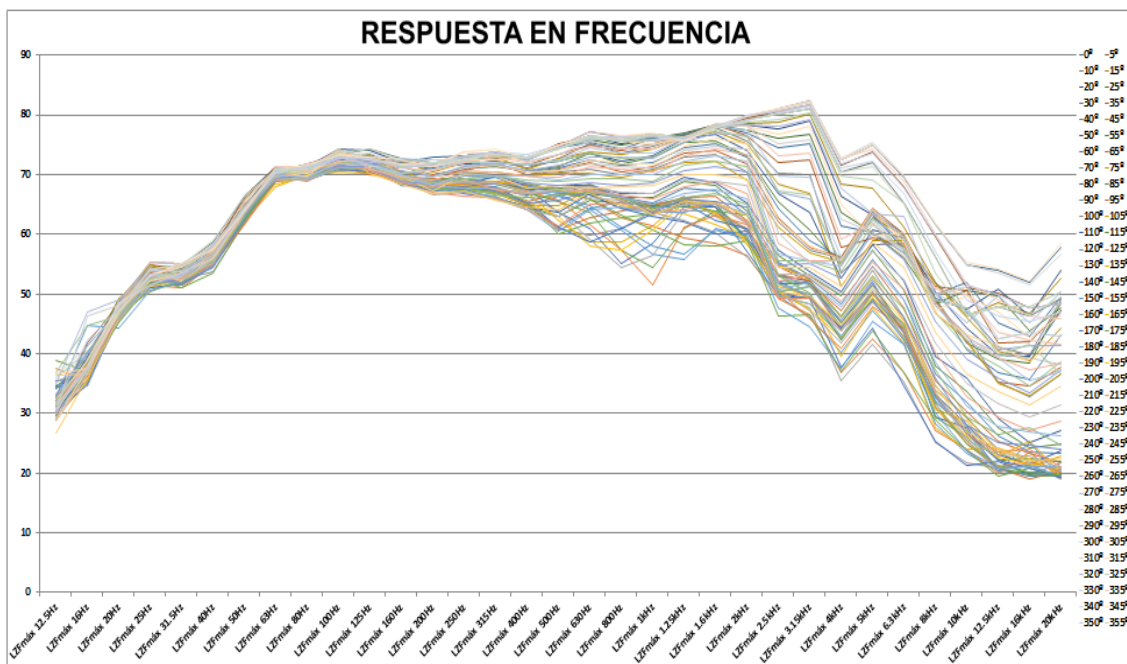


Figura 25: Respuesta en frecuencia de la caja 4 con el transductor montado

2.3.1.4.3. Ensayo de directividad

Como hemos podido comprobar en la curva de respuesta en frecuencia, tenemos una tendencia a frecuencias bajas en esta caja. Para ello vamos a analizar los diagramas polares de las frecuencias que más picos contienen en la curva de RF.

Estas frecuencias son 1khz, 2khz, 2.5khz, 4khz, 6.3khz, 8khz, en todas ellas podemos ver como se produce unos cambios muy bruscos afectaran al diagrama de polaridad puesto que aumentan o disminuyen su valor drásticamente.

Gráfico de directividad 4: caja 4 SIN MATERIAL



2.3.2. Conclusiones de los ensayos

Tras realizar los ensayos podemos observar que la calidad del sellado influye en la calidad final del sonido. Al ser de un volumen de aire cerrado, la F_b (frecuencia de sintonía, frecuencia de resonancia del altavoz dentro de la caja) será siempre mayor que F_s (frecuencia de resonancia de un altavoz sin caja), por ello conviene utilizar altavoces con F_s baja.

Al aumentar el volumen la respuesta decae muy suavemente, y hace que se pierda la respuesta plana. Con el mismo volumen o ganancia óptima se produce un pico en la respuesta, y haciendo que el punto de -3 dB se encuentre en una frecuencia más alta.

Esto viene provocado por el diseño de la caja, la forma, el transductor, y por trabajar con un altavoz de frecuencias bajas. Podemos observar que la coloración de las cajas sin material absorbente es mucho menos variable, ya que las características del sonido en aire son más estables.

Esto es completamente visible en el ensayo de directividad y en las gráficas obtenidas en las cuatro cajas, todas forman diagramas similares con formas distintas y diseños distintos pero con una variación muy similar.

2.4. Ensayos acústicos con material reciclado

Tras la primera parte de los ensayos, vamos a repetir el proceso pero esta vez vamos a introducir dentro de las cajas materiales reciclados que provoquen cambios en los parámetros de coloración del altavoz. Para ello como se describió en los apartados teóricos se va a proceder a realizar los ensayos con los materiales reciclados IMPATEC Y SONOPIEL.

Los ensayos que se van a realizar van a dividirse en dos tipos. En primer lugar vamos a introducir ambos materiales en una misma caja acústica y veremos las diferentes variaciones provocadas por ambos materiales.

Estos ensayos van a ser sometidos en las cajas número 1 y número 2. En la caja número 3 se va a proceder a utilizar el material absorbente IMPATEC y se va a comparar con las otras dos cajas acústicas sometidas a ese mismo material.

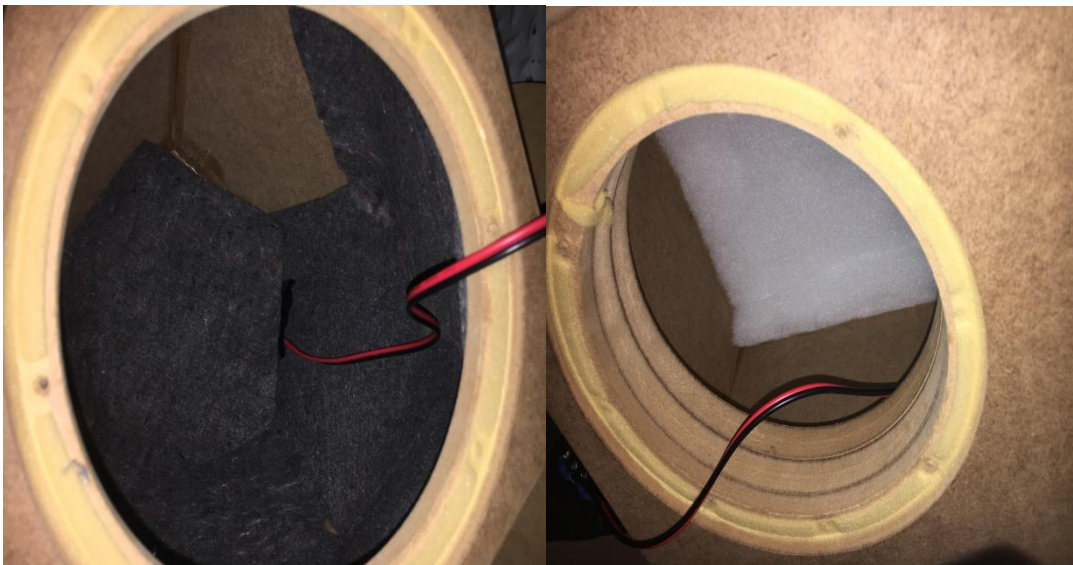


Figura 26: Materiales absorbentes montados en el interior de las cajas acústicas

Como se puede ver en la imagen anterior, las cajas han sido rellenas con el material absorbente. El criterio para la instalación del material absorbente es rellenar el 60% de las paredes interiores de la caja y dejar sin relleno de material el 40% de las paredes de las cajas.

Por tanto en las cajas con forma rectangular o cuadrada se instalara el material acustico absorbente en 3 de las 5 paredes interiores, y en la caja con forma pentagonal se instalaran en 4 de las 5 paredes interiores dejando parte de la base libre. Se puede ver el procedimiento del mismo en la figura 27.



Figura 27: Método de instalación del material acústico absorbente

2.4.1. Conceptos teóricos

Generalmente se busca que los materiales sean densos, no obstante algunos materiales de baja masa y densidad resultan adecuados para la construcción de este tipo de cajas. Al depender de la frecuencia, la absorción a bajas frecuencias que permiten los materiales absorbentes sonoros tipo porosos es prácticamente nula.

Para la aplicación en cajas acústicas el material absorbente no cumplirá la función de absorber energía acústica, sino, la de evitar que las paredes de la caja acústica comiencen a vibrar modificando su frecuencia de resonancia, aumentando su masa y haciendo que sea imposible aumentar considerablemente la energía para que comiencen a vibrar las paredes.

El material absorbente se coloca dentro de la caja acústica para poder amortiguar los máximos y mínimos de presión e impedancia. La densidad del material puede variar, pero en su totalidad se puede considerar una densidad promedio, por tanto, habrá una resistencia acústica promedio.

El aire fluirá por las zonas menos densas dentro de la caja acústica. Las variaciones de densidad no van a afectar a la resistencia acústica del material si la longitud de la onda es considerable con respecto con la distancia media entre las variaciones locales en la densidad del material.

2.4.2. Caja 1:LARGA

2.4.2.1. Ensayo con material 1: IMPACTEC

2.4.2.1.1. Ensayo de impedancia

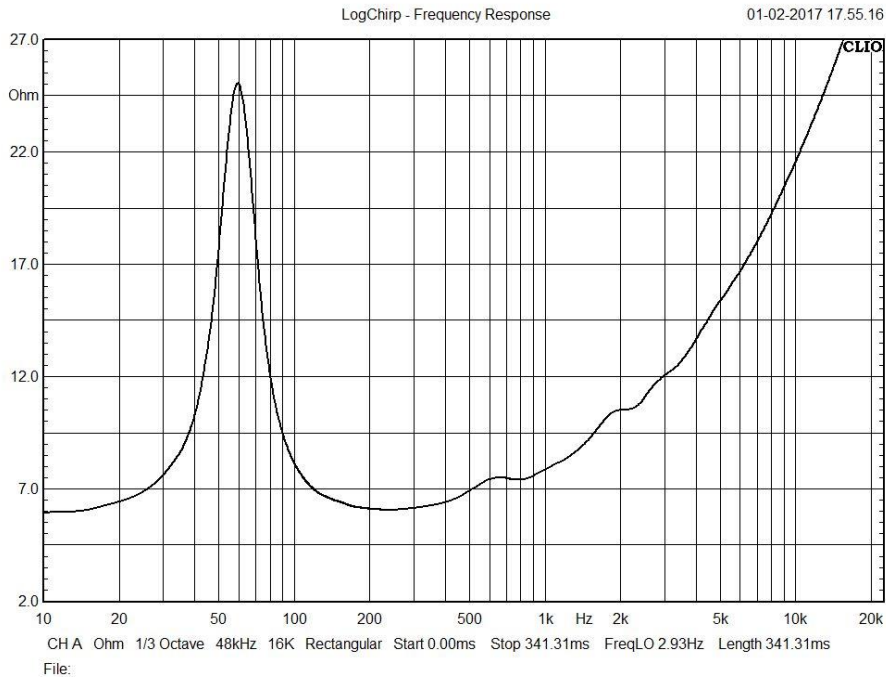


Figura 28: Impedancia de la caja 1 con IMPACTEC

La frecuencia de resonancia se encuentra sobre los 59Hz sobre 24 ohms

2.4.2.1.2. Ensayo de respuesta en frecuencia

En esta gráfica podemos destacar que sobre los 2Khz comienza una dispersión ocurrente, en la cual la respuesta en frecuencia varía y donde en la mayoría de grados la curva tiene una tendencia a la baja conforme aumenta la frecuencia.

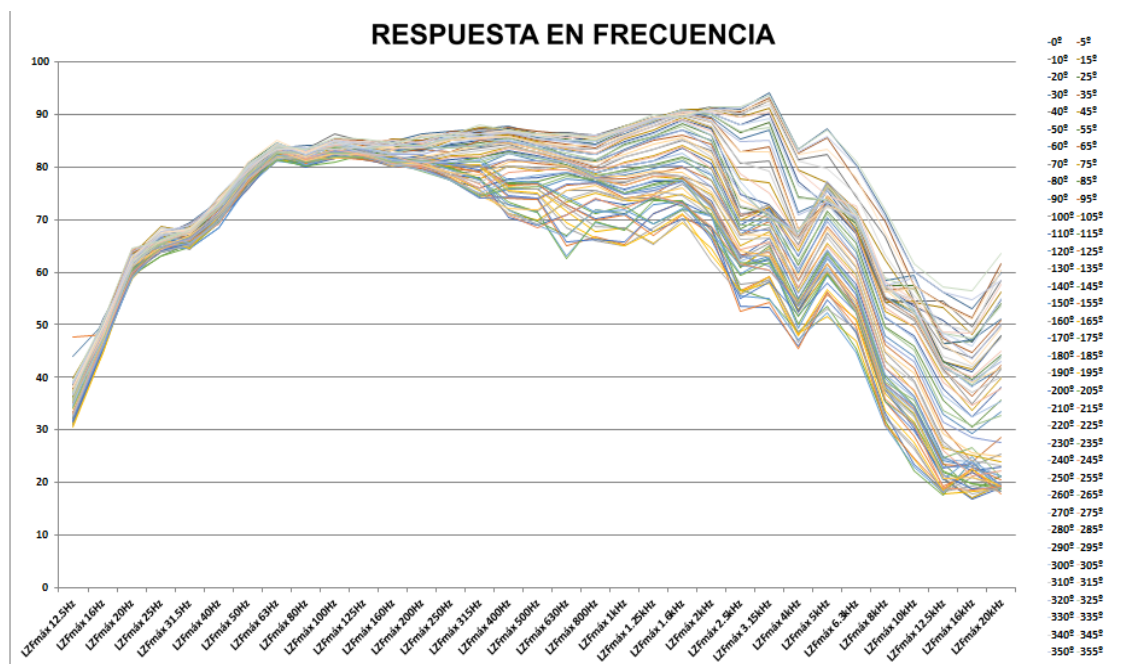


Figura 29: Respuesta en frecuencia de la caja 1 con IMPACTEC

2.4.2.1.3. Ensayo de directividad

Como hemos podido comprobar en la curva de respuesta en frecuencia, tenemos una tendencia a frecuencias bajas en esta caja. Para ello vamos a analizar los diagramas polares de las frecuencias que más picos contienen en la curva de RF.

Estas frecuencias son 1khz, 2khz, 3.15khz, 4khz, 6.3khz, 8khz, en todas ellas podemos ver como se produce unos cambios muy bruscos afectaran al diagrama de polaridad puesto que aumentan o disminuyen su valor drásticamente.

Gráfico de directividad 5: caja 1 con IMPACTEC



2.4.2.2. Ensayo con material 2: SONOPIEL

2.4.2.2.1. Ensayo de impedancia

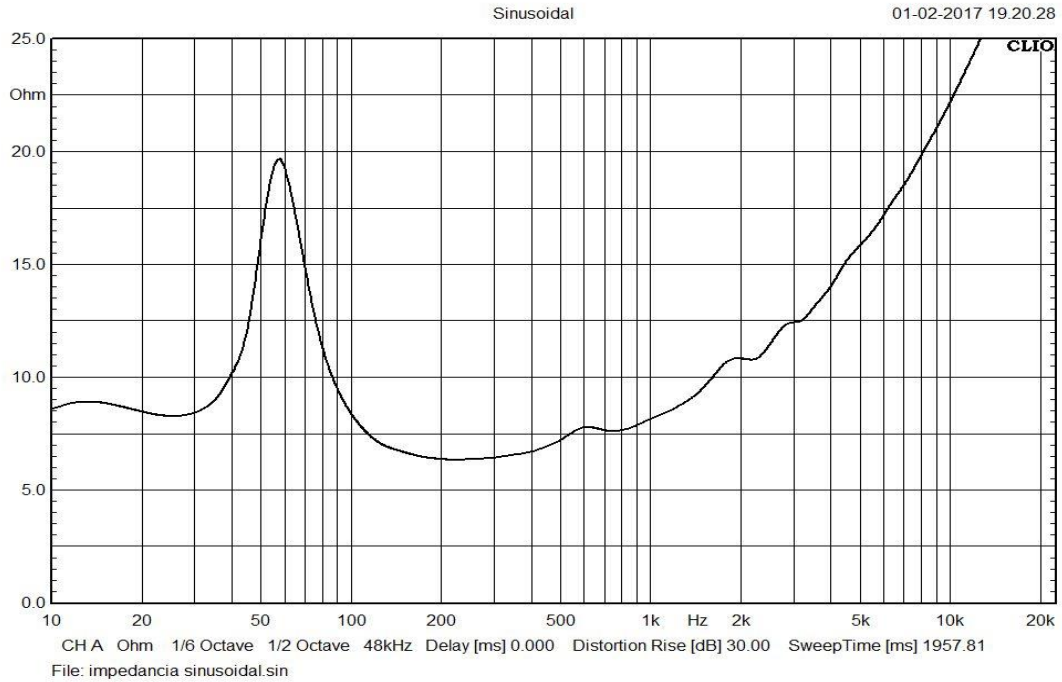


Figura 30: Impedancia de la caja 1 con SONOPIEL

La frecuencia de resonancia se encuentra sobre los 55Hz sobre 19ohms

2.4.2.2.2. Ensayo de respuesta en frecuencia

En esta gráfica podemos destacar que sobre los 4Khz comienza una dispersión ocurrente, en la cual la respuesta en frecuencia varía y donde en la mayoría de grados la curva tiene una tendencia a la baja conforme aumenta la frecuencia.

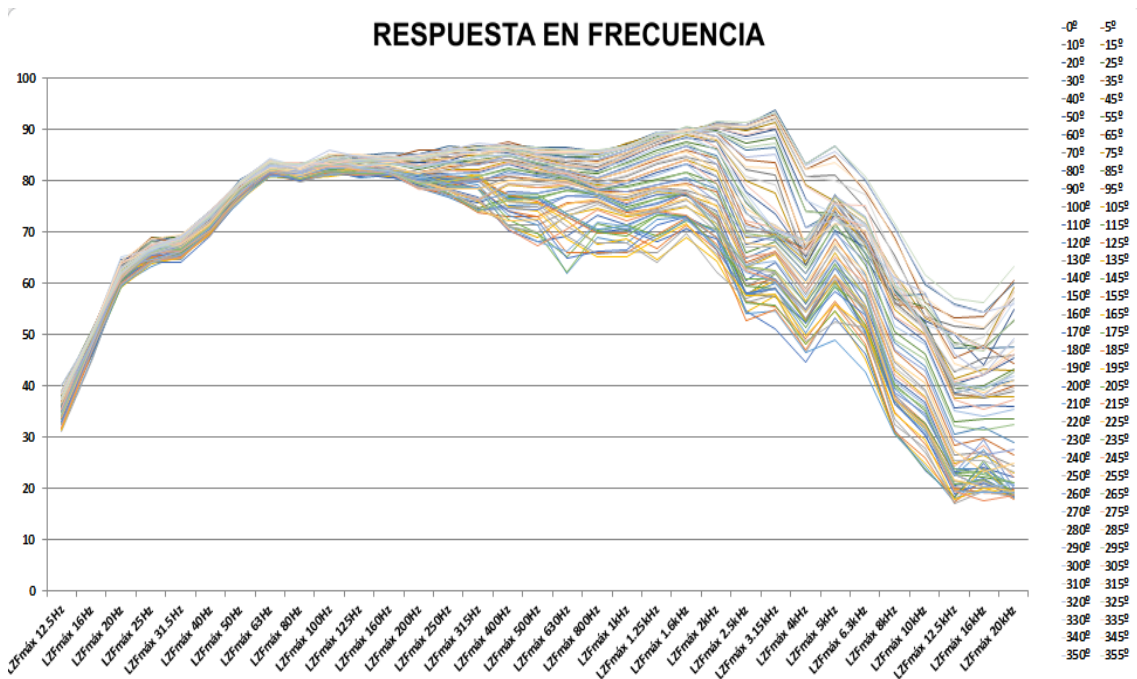


Figura 31: Respuesta en frecuencia de la caja 1 con SONOPIEL

2.4.2.2.3. Ensayo de directividad

Como hemos podido comprobar en la curva de respuesta en frecuencia, tenemos una tendencia a frecuencias bajas en esta caja. Para ello vamos a analizar los diagramas polares de las frecuencias que más picos contienen en la curva de RF.

Estas frecuencias son 1khz, 2khz, 3.15khz, 4khz, 6.3khz, 8khz, en todas ellas podemos ver como se produce unos cambios muy bruscos afectaran al diagrama de polaridad puesto que aumentan o disminuyen su valor drásticamente.

Gráfico de directividad 6: caja 1 con SONOPIEL



2.4.3. Comparación de resultados

Vamos a analizar en primer lugar que ha ocurrido con la impedancia de nuestra caja acústica, para ello vamos a observar la gráfica de ambos materiales absorbentes en conjunto:

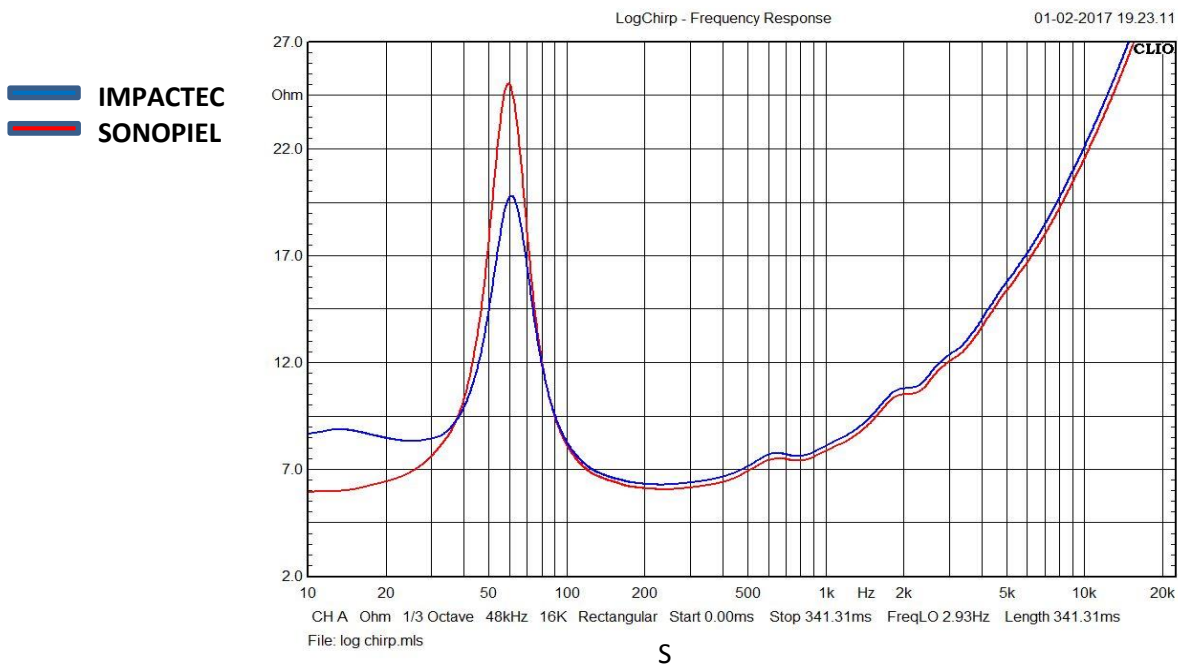


Figura 32: Gráfica de impedancia: Curva Roja IMPACTEC/curva azul SONOPIEL

Lo más llamativo del gráfico es que la frecuencia de resonancia ha variado muy poco uno del otro y se mantiene sobre 60Hz, sin embargo como podemos ver la impedancia es mucho más alta para IMPACTEC, por lo que podemos intuir que en este diseño de caja, funcionaría con mucha mayor eficacia al cambio de impedancias bruscas el material SONOPIEL.

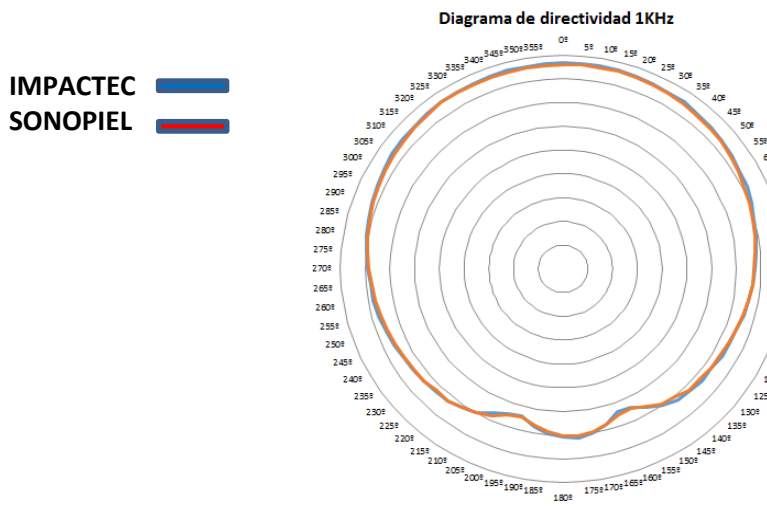


Gráfico de directividad 7: IMPACTEC VS SONOPIEL

En cuanto a los ensayos de directividad podemos observar que los cambios en respuesta en frecuencia no han sido tan bruscos y no han favorecido grandes cambios en los diagramas de directividad. Lo más destacable son las grandes cambios en los grados opuestos, que nos permiten ver que en este caso afecta muy brevemente de forma más efectiva IMPACTEC, sin embargo a grandes rasgos la impedancia sumada a la RF, hace que sea mejor SONOPIEL.

2.4.4. Caja 2: RECTANGULAR

2.4.4.1. Ensayo con material 1: IMPATEC

2.4.4.1.1. Ensayo de impedancia

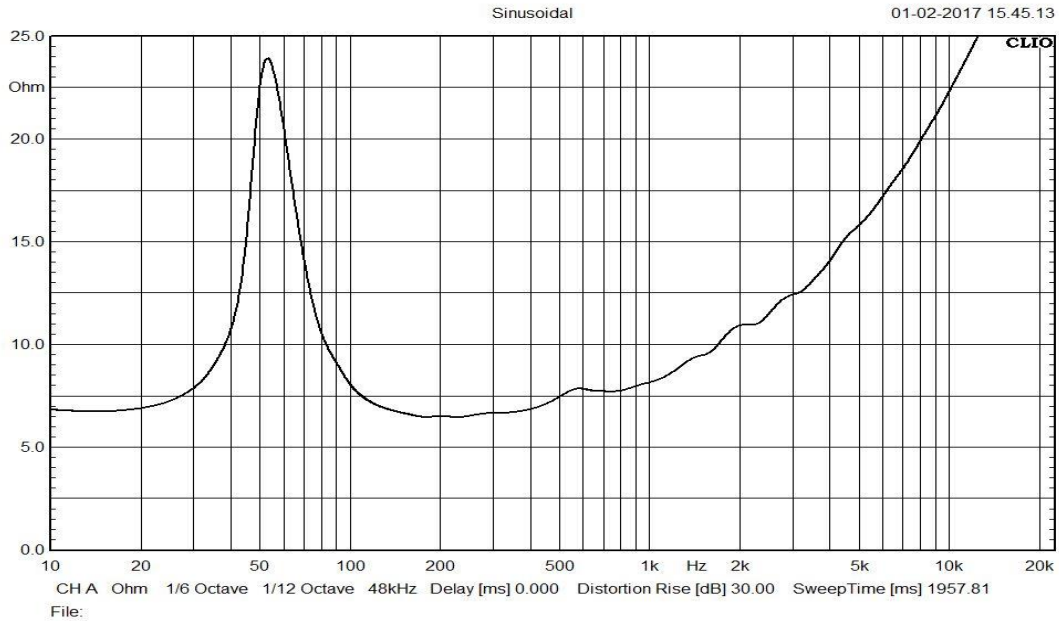


Figura 33: Impedancia de la caja 2 con IMPATEC

La frecuencia de resonancia se encuentra sobre los 53Hz sobre 23ohms

2.4.4.1.2. Ensayo de respuesta en frecuencia

En esta gráfica podemos destacar que sobre los 630hz comienza una dispersión ocurrente, en la cual la respuesta en frecuencia varía y donde en la mayoría de grados la curva tiene una tendencia a la baja conforme aumenta la frecuencia.

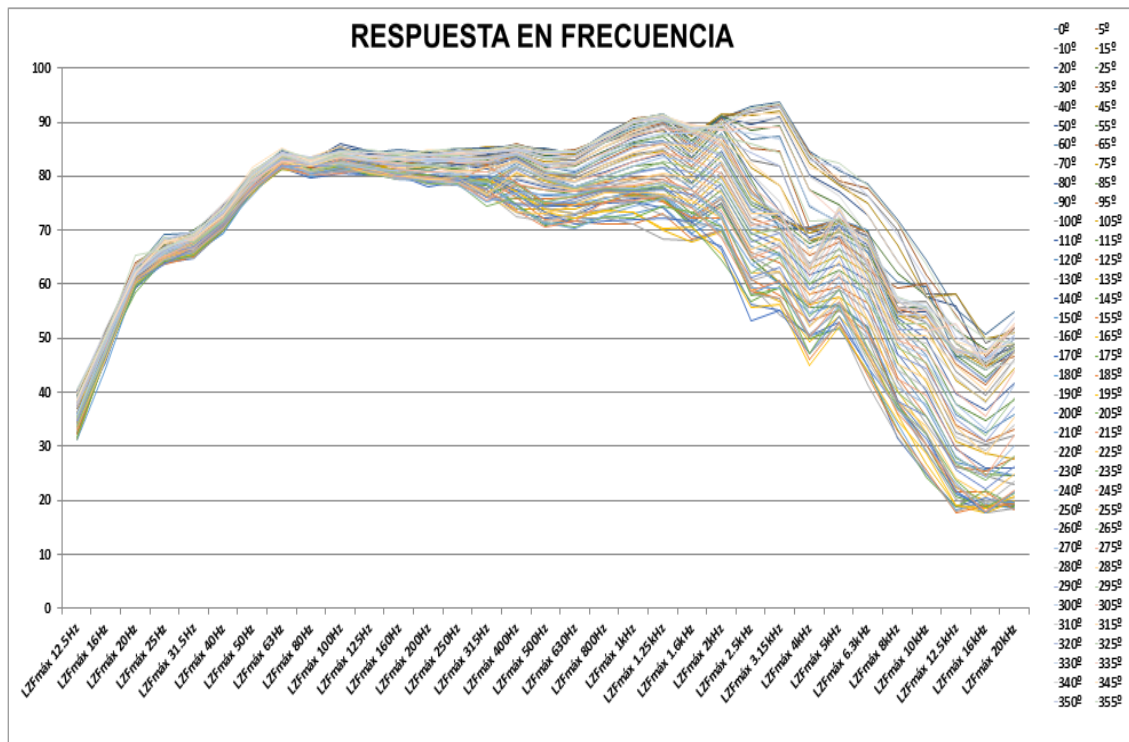


Figura 34: Respuesta en frecuencia de la caja 2 con IMPACTEC

2.4.4.1.3. Ensayo de directividad

Como hemos podido comprobar en la curva de respuesta en frecuencia, tenemos una tendencia a frecuencias bajas en esta caja. Para ello vamos a analizar los diagramas polares de las frecuencias que más picos contienen en la curva de RF.

Estas frecuencias son 1khz, 2khz, 3.15khz, 4khz, 6.3khz, 8khz, en todas ellas podemos ver como se produce unos cambios muy bruscos afectaran al diagrama de polaridad puesto que aumentan o disminuyen su valor drásticamente.

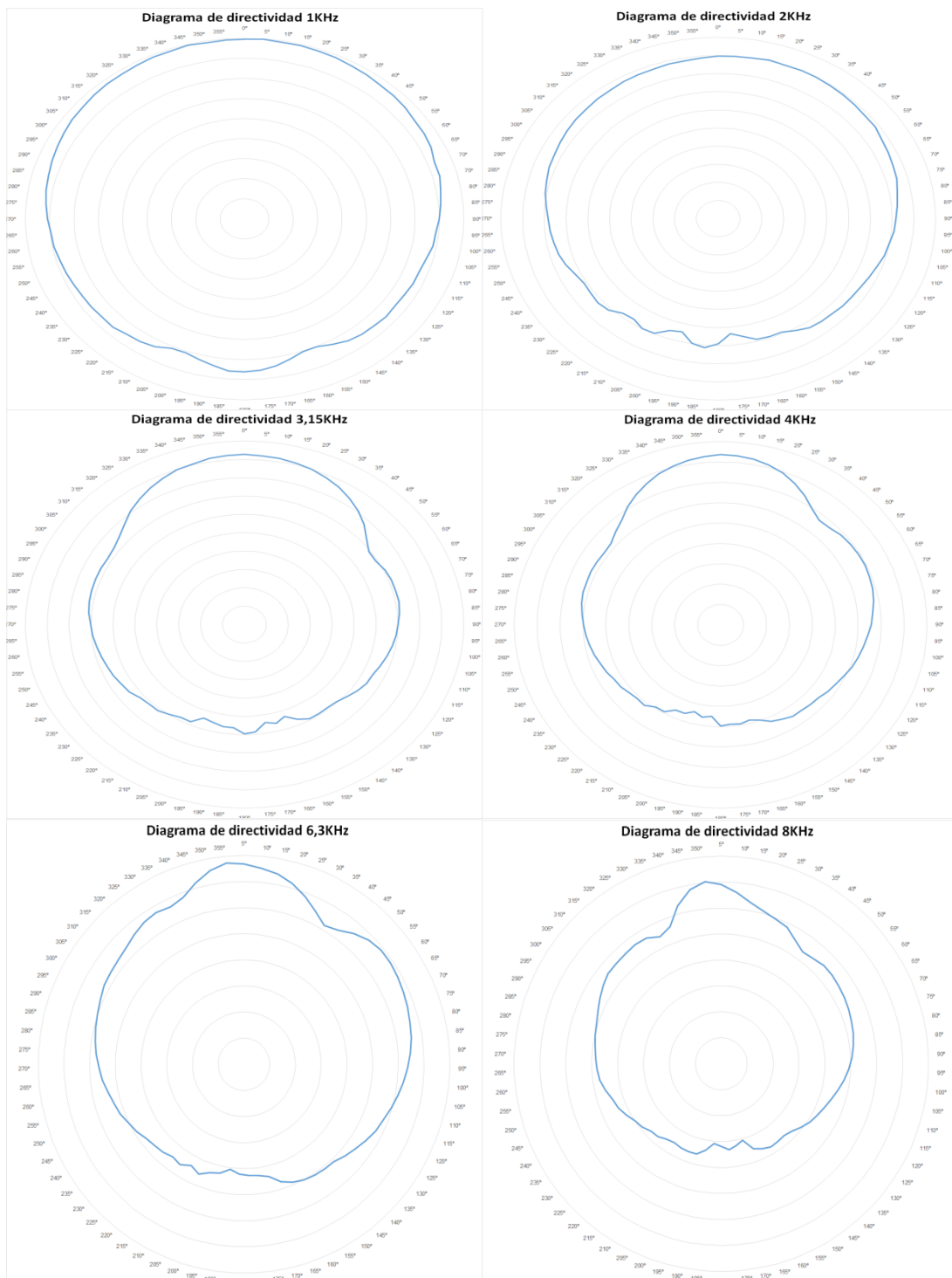


Gráfico de directividad 8: caja 2 con IMPACTEC

2.4.4.2. Ensayo con material 2: SONOPIEL

2.4.4.2.1. Ensayo de impedancia

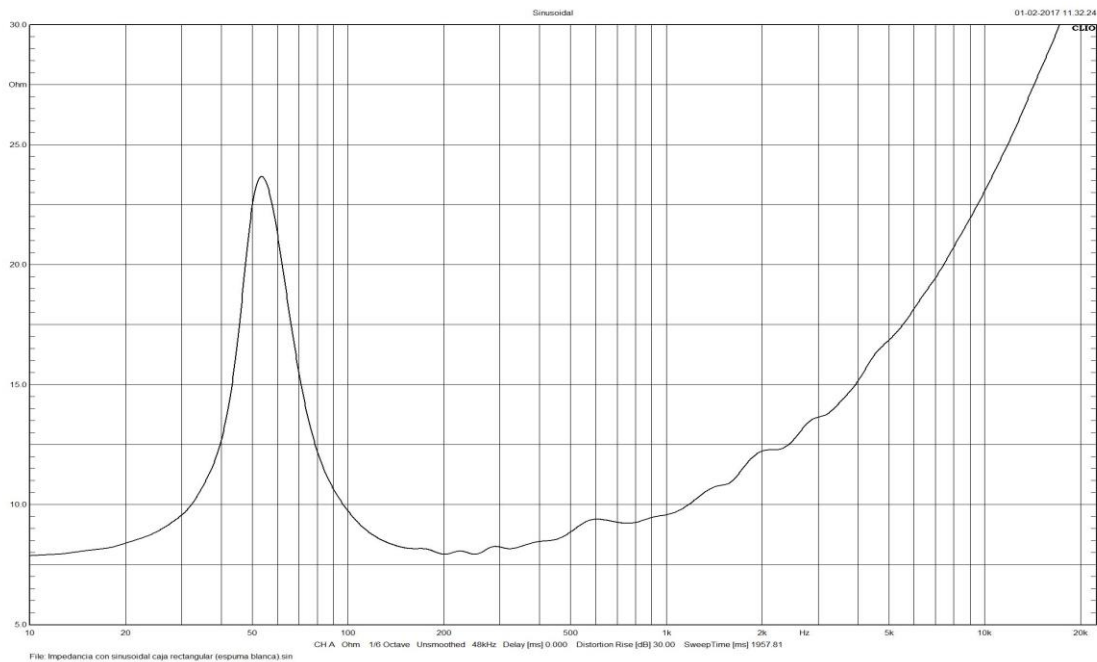


Figura 35: Impedancia de la caja 2 con SONOPIEL

La frecuencia de resonancia se encuentra sobre los 55Hz sobre 23ohms

2.4.4.2.2. Ensayo de respuesta en frecuencia

En esta gráfica podemos destacar que sobre los 1,6Khz comienza una dispersión ocurrente, en la cual la respuesta en frecuencia varía y donde en la mayoría de grados la curva tiene una tendencia a la baja conforme aumenta la frecuencia.

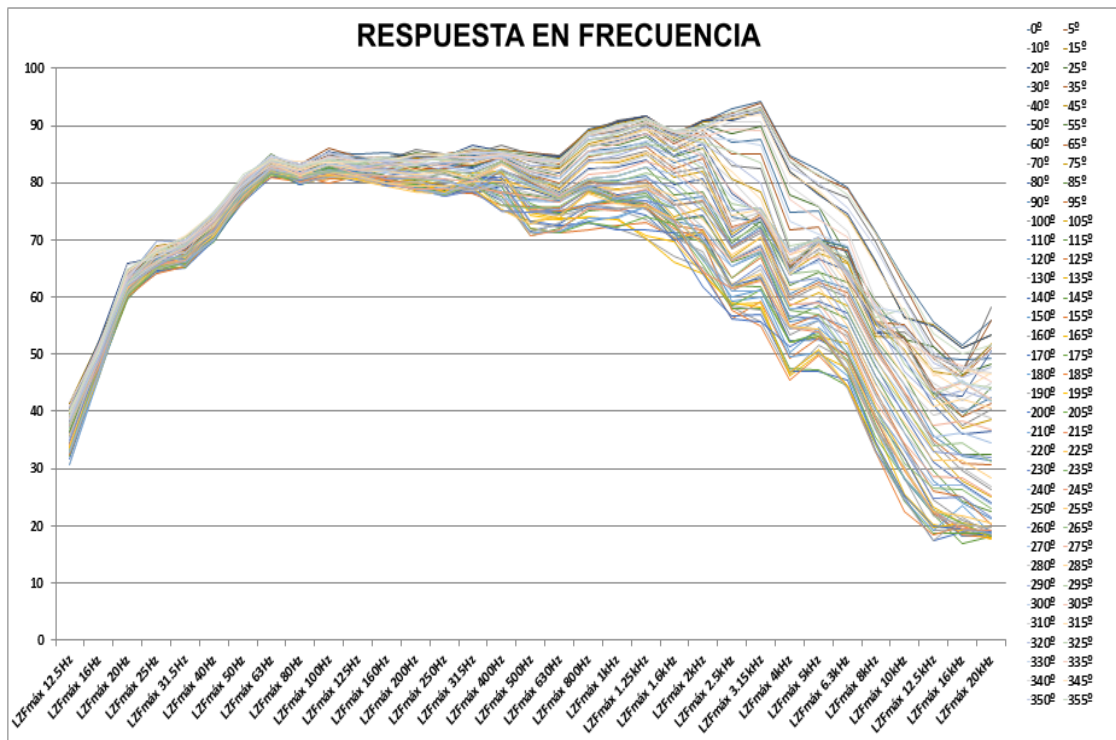


Figura 36: Respuesta en frecuencia de la caja 2 con SONOPIEL

2.4.4.2.3. Ensayo de directividad

Como hemos podido comprobar en la curva de respuesta en frecuencia, tenemos una tendencia a frecuencias bajas en esta caja. Para ello vamos a analizar los diagramas polares de las frecuencias que más picos contienen en la curva de RF.

Estas frecuencias son 1khz, 2khz, 3.15khz, 4khz, 6.3khz, 8khz, en todas ellas podemos ver como se produce unos cambios muy bruscos afectaran al diagrama de polaridad puesto que aumentan o disminuyen su valor drásticamente.

Gráfico de directividad 9: caja 2 con SONOPIEL



2.4.5. Comparación de resultados

Vamos a analizar en primer lugar que ha ocurrido con la impedancia de nuestra caja acústica, para ello vamos a observar la gráfica de ambos materiales absorbentes en conjunto:

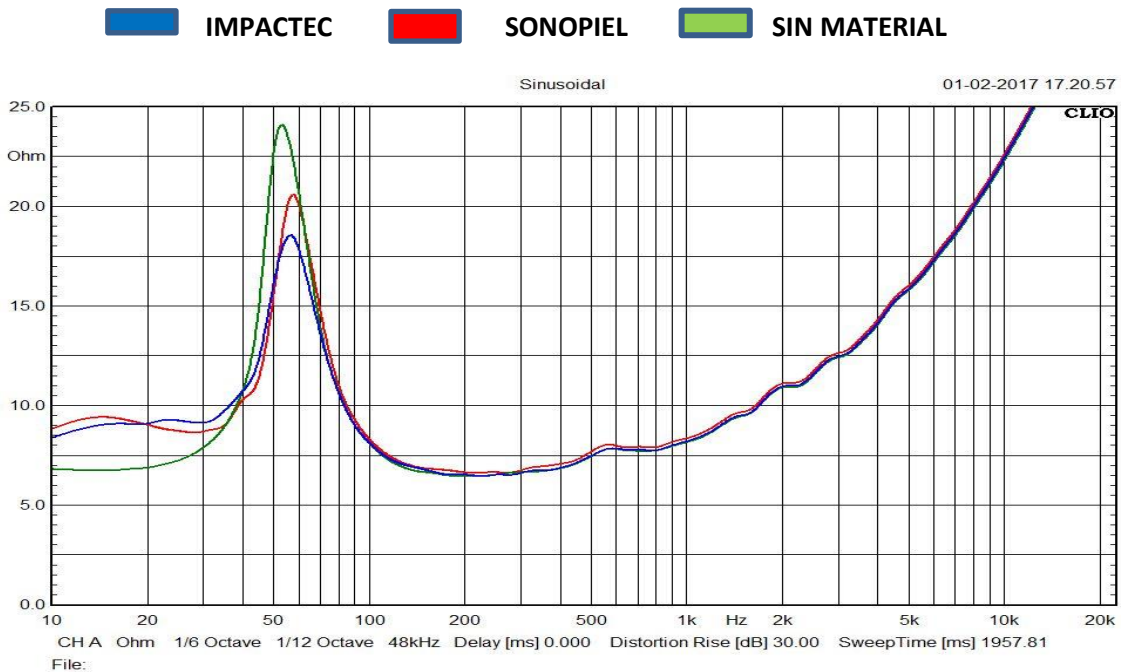
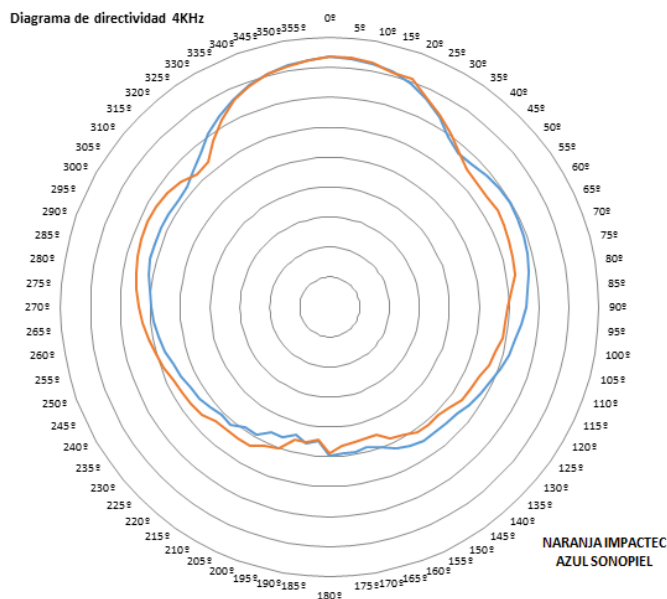


Figura 37: Gráfica de impedancia: Curva Roja IMPACTEC/ curva azul SONOPIEL/curva verde SIN MATERIAL

Lo más llamativo del gráfico es que la frecuencia de resonancia ha variado bastante respecto a la caja anterior la F_s se encuentra entorno lo 50 y 60Hz, sin embargo como podemos ver la impedancia es mucho más alta para IMPACTEC, por lo que podemos intuir que en este diseño de caja, funcionaria con mucha mayor eficacia al cambio de impedancias bruscas el material SONOPIEL, sin embargo hemos mejorado la impedancia de la caja con ambos materiales absorbente de una forma exitosa.



En este ensayo hemos decidido comparar las frecuencias más altas. En este caso afecta muy brevemente de forma más efectiva IMPACTEC, sin embargo a grandes rasgos la impedancia sumada a la RF, hace que sea mejor SONOPIEL. Como se puede observar el grafico es el mismo pero por la diferencia de densidades es desplazado hacia la izquierda con SONOPIEL y más abrupto hacia la derecha con IMPACTEC.

IMPACTEC (NARANJA) / SONOPIEL (AZUL)

Gráfico de directividad 10: IMPACTEC VS SONOPIEL

2.4.6. Caja 3: PENTAGONAL

2.4.6.1. Ensayo con material 1: IMPATEC

2.4.6.1.1. Ensayo de impedancia

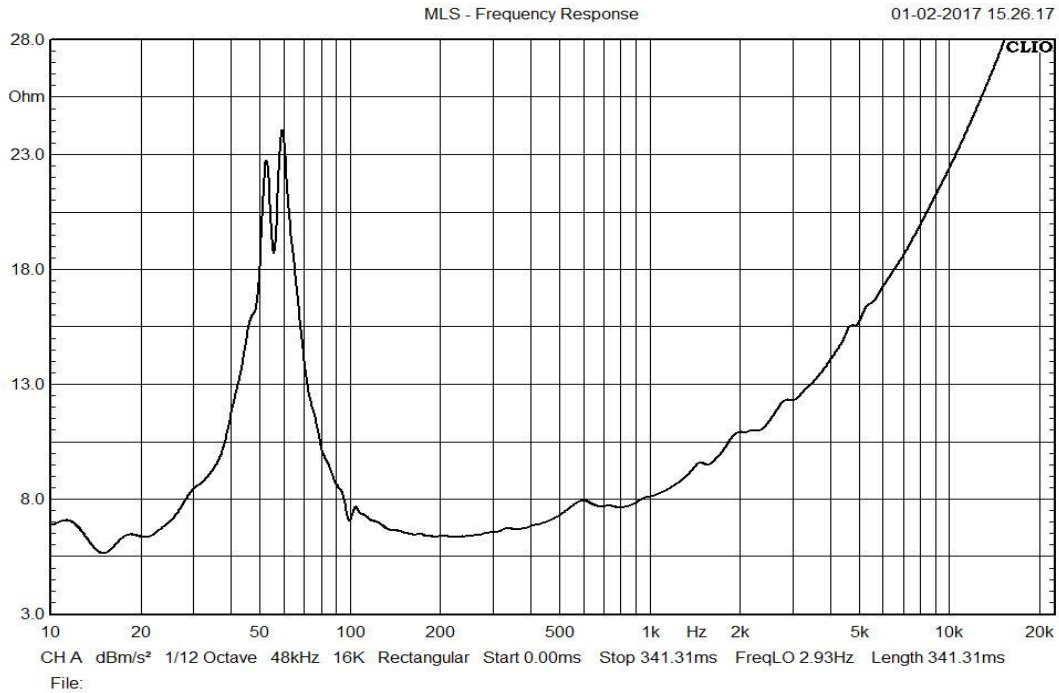


Figura 38: Impedancia de la caja 3 con IMPATEC

La frecuencia de resonancia se encuentra sobre los 58Hz sobre 24ohms

2.4.6.1.2. Ensayo de respuesta en frecuencia

En esta gráfica podemos destacar que sobre los 1,6Khz comienza una dispersión ocurrente, en la cual la respuesta en frecuencia varía y donde en la mayoría de grados la curva tiene una tendencia a la baja conforme aumenta la frecuencia.

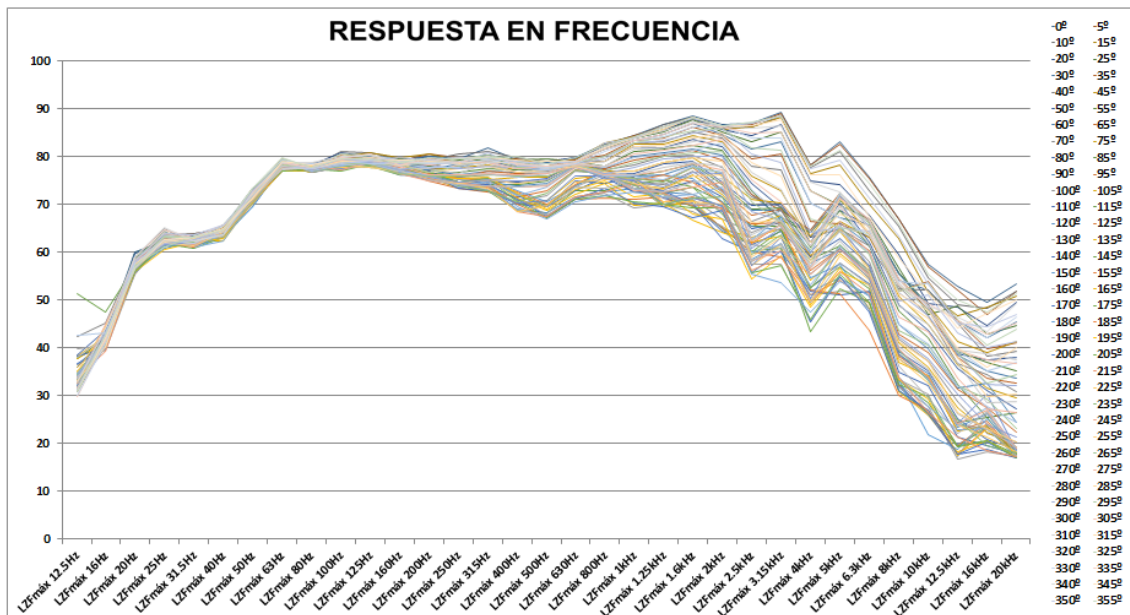


Figura 39: Respuesta en frecuencia de la caja 3 con IMPACTEC

2.4.6.1.3. Ensayo de directividad

Como hemos podido comprobar en la curva de respuesta en frecuencia, tenemos una tendencia a frecuencias bajas en esta caja. Para ello vamos a analizar los diagramas polares de las frecuencias que más picos contienen en la curva de RF.

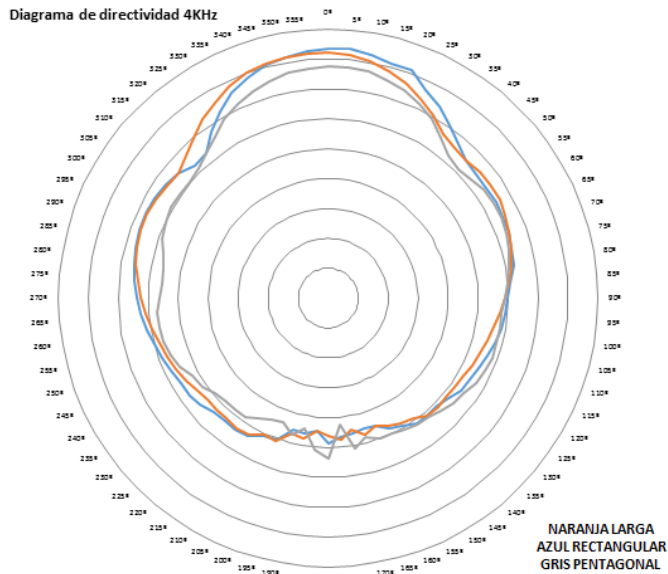
Estas frecuencias son 1khz, 2khz, 3.15khz, 4khz, 6.3khz, 8khz, en todas ellas podemos ver como se produce unos cambios muy bruscos afectaran al diagrama de polaridad puesto que aumentan o disminuyen su valor drásticamente.

Gráfico de directividad 11: caja pentagonal con IMPACTEC



2.4.6.2. Comparación de resultados

En este caso vamos a comparar el material en cajas distintas, para ello vamos a servirnos de los diagramas de directividad. Para ello vamos a comparar frecuencias bajas y altas.



En esta comparativa podemos observar como el diseño de la caja afecta a la respuesta en frecuencia en unión a los parámetros del material absorbente

Podemos concluir que este material textil reciclado actúa mejor con cajas acústicas con formas no paralelepipedas como las estudiadas, como nuestra caja pentagonal, aunque sin embargo en las otras cajas es más estable en grados opuestos.

Gráfico de directividad 11:
IMPACTEC en varios modelos de
cajas

2.4.7. Caja 4: CUADRADA

En cuanto al último modelo de caja acústica no se pudieron realizar ensayos puesto que estaba siendo utilizada en otro experimento en la segunda parte del proyecto.

A continuación se presta una imagen en la cual fue sometida a ensayo sin ningún material reciclado y en la cual se realizó su estudio acústico. Este tipo de caja a ser completamente igual en forma, el diagrama de directividad, la respuesta en frecuencia y el estudio acústico habría sido muy similar a las dos cajas rectangulares con forma paralelepipedas.



Figura 40: Montaje en la cámara anecoica para la medición de directividad

2.4.8. Conclusiones de los ensayos

La cantidad de absorción producida por la disipación de energía que provocan los diferentes elementos absorbentes, colocados en el interior de las cajas dependerá de diferentes factores, como la frecuencia y las características o diseño del material absorbente. Cada material tiene su grado de absorción en función de la frecuencia, que variará en gran medida entre unos y otros.

Los procesos de diseño y construcción de una caja acústica capaz de ofrecernos un sonido de la máxima calidad son complejos. En pocas palabras el recinto debe ser lo más rígido e inmune posible a cualquier vibración, que introduciría coloración y distorsión en el sonido.

A continuación se muestra una gráfica de la impedancia de las tres cajas sometidas posteriormente a ensayo con materiales absorbentes, en ella se puede observar como la frecuencia de resonancia (F_s) no varía mucho de posición sin embargo las curvas obtenidas en cuanto a el valor de la impedancia son variables y diferentes.

CAJA LARGA (ROJO) / CAJA RECTANGULAR (VERDE) / CAJA PENTAGONAL (AZUL)

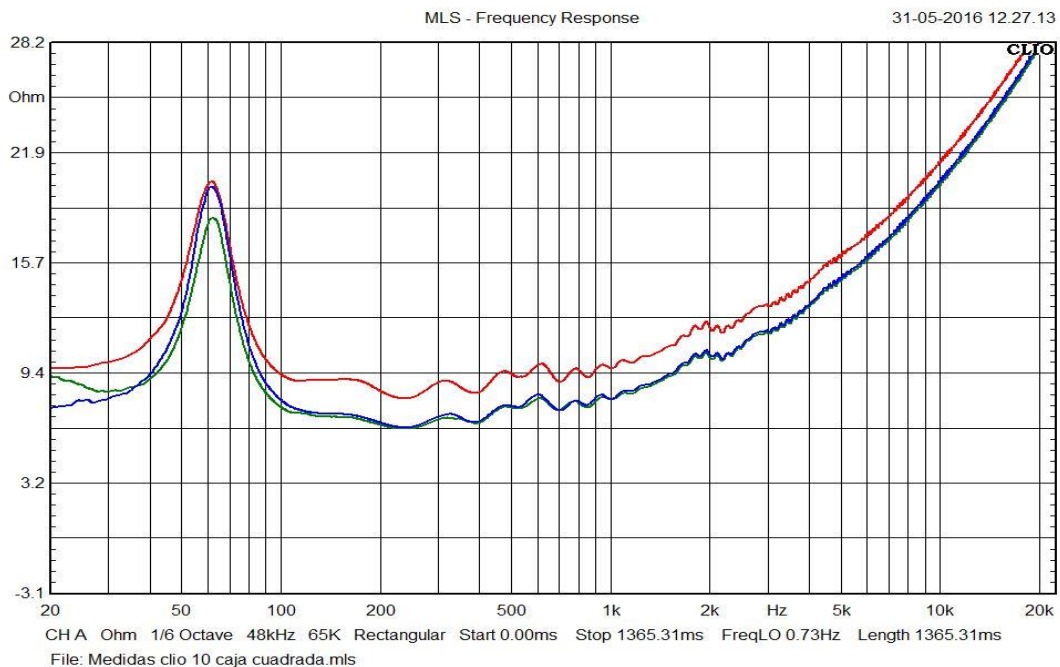


Figura 41: Comparativa impedancia sin material absorbente

En cuanto a los ensayos con material absorbente con las gráficas y comparativas en cada apartado hemos podido afirmar que una capa de material con buenas propiedades absorbentes puede absorber, acústicamente sería convertir en calor, el 99 % de la energía acústica que incide sobre él, dejando pasar a su través solo el 1 %. Podríamos pensar que este 1 % es muy poca energía y por lo tanto que aísla mucho, pero ya sabemos que la acústica funciona logarítmicamente, por lo que este porcentaje solo supone un aislamiento de 20 dB, es decir muy poco.

En resumen, todos los aislamientos acústicos basados en fibras multicapa, incorporan entre las capas aislantes pesadas, materiales ligeros porosos absorbentes. Estos materiales se incluyen para eliminar las resonancias vibratorias y acústicas entre fibras, mejorando así el comportamiento aislante del conjunto.

3. Conclusiones finales

El principal objetivo de este trabajo era optimizar los parámetros de un altavoz para conseguir absorción total en un rango específico de bajas frecuencias. En este caso, el altavoz más útil es un altavoz pasivo, con un material absorbente en su interior que mejore el rendimiento inicial del fabricante, en este caso se ha utilizado SONOPIEL Y IMPACTEC, dos de los materiales más usados en la actualidad en cualquier sector de aislamiento y absorción acústica.

La impedancia es, probablemente, uno de los términos que describen el comportamiento de nuestras cajas acústicas. Lo que realmente debemos tener en cuenta es que nuestro amplificador debe ser capaz de trabajar con las variaciones de impedancia presentadas por las cajas acústicas. Cuando la impedancia cae, el amplificador debe ser capaz de entregar más corriente y suministrar a los altavoces más potencia. De lo contrario el nivel de presión sonora fluctuará y el sonido se deteriorará. En el peor de los casos, si el amplificador no es capaz de lidiar con las variaciones de impedancia, podría trabajar en régimen de sobrecarga, lo que acortaría su vida útil, y, además, podría dañar alguno de los altavoces de las cajas (el más sensible es el tweeter).

Los altavoces tienen que ser capaces de restituir el espectro de frecuencias que les ha sido encomendado con la máxima precisión posible, y, a la par, introduciendo la mínima distorsión. Y el filtro divisor de frecuencias debe responsabilizarse de la coherencia acústica de la caja, consiguiendo que cada altavoz trabaje en el dominio de frecuencias en el que «se siente cómodo», ya que en la práctica ha demostrado que altavoces de inferior sensibilidad producen mejor “coloración sonora”.

Si por el contrario los altavoces empleados para monitorizar “colorean el sonido”, reforzando o atenuando determinadas frecuencias, esto podría influirnos a la hora de tomar decisiones por ejemplo durante los procesos de edición del sonido en un estudio. Y, lógicamente, cuando los sonidos editados en esas condiciones se reproduzcan en equipos, que no aporten esa misma “coloración” al sonido, pueden evidenciar carencias que nos habrían pasado desapercibidas.

Por todo esto creo que se han conseguido los objetivos planteados inicialmente y con todos los estudios acústicos realizados en la cámara anecoica, tanto con material absorbente, como sin él, se ha conseguido comparar la eficacia de los materiales absorbentes frente a los parámetros ideales del altavoz inicial.

Existe una frecuencia a la cual el altavoz se mueve el altavoz en aire libre ante cualquier perturbación. Se denomina frecuencia de resonancia, de la cual no hemos parado de comentar en este documento y sin entrar en más detalles y casos especiales, es la frecuencia desde la cual el altavoz empieza a reproducir el sonido correctamente, es por esto que este parámetro es la limitación más importante puesto que si se encuentra el altavoz trabajando por debajo de esa frecuencia, la bobina de voz no es capaz de producir fuerza suficiente para mover el cono, y cuanto menor sea la frecuencia, mayor será esa imposibilidad.

Por tanto hemos podido demostrar que con los materiales acústicos absorbentes introducidos en el interior de las cajas acústicas se ha conseguido obtener curvas de impedancia distintas manteniendo la frecuencia de resonancia del altavoz de forma estable, por lo que podemos afirmar que los Ohmios es una medida de la resistencia eléctrica y nada tiene que ver con la calidad del sonido que salga por ellos. A grandes rasgos: un altavoz con menos Ohmios ofrecerá menos resistencia al amplificador, por lo que este podrá rendir más potencia y un altavoz con más ohmios ofrece más resistencia, por tanto la potencia del amplificador disminuye respecto a resistencias menores

4. Glosario

A continuación se ofrece un listado de los acrónimos, abreviaturas o conceptos informáticos que aparecen en este documento:

1. **Directividad:** La directividad es un fenómeno característico de las ondas sonoras que expresa el nivel de presión sonora en función del ángulo de radiación. Es un parámetro que se usa en el diseño de antenas como en el de los transductores electroacústico.
2. **Cámara anecoica:** Una cámara anecoica es una sala diseñada para absorber en su totalidad las reflexiones producidas por ondas acústicas o electromagnéticas en cualquiera de las superficies que la conforman (suelo, techo y paredes laterales). A su vez, la cámara se encuentra aislada del exterior de cualquier fuente de ruido o influencia sonora externa. La combinación de estos dos factores implica que la sala emule las condiciones acústicas que se darían en un campo libre, ajeno a cualquier tipo de efecto o influencia de la habitación fruto de dichas reflexiones.
3. **Coloración:** Es el nombre que recibe las diferentes frecuencias dentro del espectro de frecuencias, cada una de ellas se analiza y se denomina por la respuesta del sistema o los efectos en la directividad.
4. **Electroacústica:** La electroacústica es la parte de la acústica que se ocupa del estudio, análisis, diseño de dispositivos que convierten energía eléctrica en acústica y viceversa.
5. **El espectro de frecuencia:** Se caracteriza por la distribución de amplitudes para cada frecuencia de un fenómeno ondulatorio (sonoro, luminoso o electromagnético) que sea superposición de ondas de varias frecuencias.
6. **Respuesta en frecuencia:** La respuesta en frecuencia es un parámetro que describe las frecuencias que puede grabar o reproducir un dispositivo.
7. **Resistencia eléctrica:** Se le denomina resistencia eléctrica a la reducción que tienen los electrones al moverse a través de un conductor. La unidad de resistencia en el Sistema Internacional es el ohmio
8. **Impedancia:** oposición eléctrica al paso de la corriente alterna. La señal correspondiente al sonido se considera corriente alterna. Se mide en ohmios
9. **Resistencia:** oposición eléctrica al paso de la corriente continua. Su valor en los altavoces es menor que la impedancia y esta diferencia aumenta para los altavoces de medios y agudos. Se mide en ohmios
10. **Frecuencia de resonancia de un altavoz:** frecuencia a la que cuando eliminamos la señal del altavoz tiende a seguir vibrando
11. **Frecuencia de resonancia de la caja acústica:** frecuencia a la que cuando eliminamos la señal del altavoz la caja acústica tiende a seguir vibrando
12. **Material absorbente acústico:** La misión de los materiales absorbentes acústicos es evitar la reflexión del sonido que incide sobre ellos.
13. **Diafragma del altavoz:** En el campo de acústica, un diafragma es un transductor destinado a convertir, con calidad y fidelidad, el movimiento mecánico en sonido y viceversa. Usualmente se construye como una membrana o lámina delgada y puede ser de diferentes materiales
14. **Diagrama polar:** Un diagrama polar es un dibujo técnico que refleja la radiación en que un determinado sistema capta o emite (radia) energía al espacio
15. **Dispersión acústica:** En acústica, se conoce como difracción a la dispersión que se produce cuando una onda sonora encuentra un obstáculo y para seguir transmitiéndose: o bien, lo rodea, o bien, se propaga por una abertura si la hay.
16. **Poroso:** significa que el material contiene poros (pequeños o diminutos orificios), mientras que no poroso, significa que el material no contiene poros.
17. **Fibras:** En el ámbito de la industria textil, se denomina fibra o fibra textil al conjunto de filamentos o hebras susceptibles de ser usados para formar hilos.

5. BIBLIOGRAFIA

- Acoustics. A.S.A. (1993) Beranek L.L.
Fundamentals of Acoustics. John Wiley & Sons, Inc. New York (1982)
El transductor dinámico. SPUPV (2002) Ramis J., Alba J., Martínez J., y Espinosa V.
UNE-EN 60268-5:2004. Equipos para sistemas electroacústicos. Parte 5: Altavoces
UNE-EN 60268-5:2004/A1:2011. Equipos para sistemas electroacústicos. Parte 5: Altavoces
Olson H. *Acoustical engineering*, D. Van Nostrand Co., New York 1967
Davis D. Y C. *Sound System Engineering*, Howard W. Sams and Con, Seg. Edición.
Eargle J., *Handbook of sound Design*, Elar Publishing Co., New York 1989.
Martin Colloms, *High Performance Loudspeakers*. Ed. Pentech Press 1982.
Leo Beranek, *Acoustics*. Ed. Mc Graw Hill . New York 1954.
M. Recuero, *Ingeniería Acústica*.
Thiele, A.N., *Loudspeakers in vented boxes*.
Small, R.H., *Simplified loudspeakers measurements at low frecuencies*
Small, R.H., *Direct radiator loudspeaker system analysis*.
Small, R.H., *Closed-Box loudspeaker system*.
Small, R.H., *Vented-Box loudspeaker systems*.
Small, R.H., *Passive radiator Loudspeaker systems*.

BIBLIOGRAFIA WEB

- <http://aislacustic.com/que-es-una-camara-anechoica/>
<http://www.profesores.frc.utn.edu.ar/electronica/fundamentosdeacusticayelectroacustica/pu>
<b/file/FAyE0512E1-Barrionuevo-Gonzalez.pdf>
<http://www.audiomatica.com/wp/wp-content/uploads/clioman10es.pdf>
<http://www.monografias.com/trabajos4/salasanecoicas/salasanecoicas.shtml>
<http://hometech.com.mx/camaras-anechoicas-la-acustica-del-silencio/>
http://www.acusticaintegral.com/cabina_acustica_ensayos.html
<http://www.ibelio.com/normativa-ruído/>
http://html.rincondelvago.com/resistencia-electrica_1.html
<https://www.iit.comillas.edu/pfc/resumenes/46790e9d21bab.pdf>
<http://elcajondeelectronico.com/impedancia-de-un-altavoz/>
<https://www.cenam.mx/memsimp06/Trabajos%20Aceptados%20para%20CD/Posters/P-04.pdf>
<https://odsonidopro.files.wordpress.com/2011/06/mediciones-de-un-altavoz-en-campo-libre-y-camara-anechoica-para-su-comprension-desarrollo-y-analisis-en-gpa.pdf>
<https://www.xatahome.com/altavoces/descubre-que-es-la-impedancia-y-por-que-debes-tenerla-en-cuenta-para-sacar-todo-el-partido-a-tus-altavoces>
<https://www.xatahome.com/altavoces/nueve-conceptos-que-te-ayudaran-a-entender-mejor-las-especificaciones-y-las-prestaciones-sonoras-de-tus-dispositivos>
http://www.doctorproaudio.com/doctor/cajondesastre/pdfs/Directividad_DoctorProAudio.pdf
<http://www.faxter.es/Biblioteca/L007/tabid/114/Default.aspx>
http://www.artalabs.hr/AppNotes/AP4_Campo%20Libre-Rev02Spanish.pdf
<http://www.equaphon-university.net/angulo-de-cobertura-q-e-i-d/>
http://www.sea-acustica.es/fileadmin/Cadiz09/Cadiz09_AED_003.pdf
<http://hometextilesfromspain.com/portfolio-items/piel-s-a/>
<http://ainjornadas.es/archius/V%20AIN%20PielSA.pdf>
<http://decoplack.com/cmsupload/widgets/6%20AISLANTES%20PARA%20LA%20CONSTRUCCION.pdf>
<http://texdelta.com/geotextil-para-aislamiento-de-golpes-y-pisadas/>

