



## PROYECTO FIN DE CARRERA PLAN 2000

E.T.S.I.S. TELECOMUNICACIÓN

**TEMA:** Electroacústica. Estudio acústico de recintos

**TÍTULO:** Estudio acústico y electroacústico de la sala 5 de los cines Kinépolis de Madrid

**AUTOR:** Cristina Sánchez Peña

**TUTOR:** Juan José Gómez Alfageme

**Vº Bº.**

**DEPARTAMENTO:** DIAC

**Miembros del Tribunal Calificador:**

**PRESIDENTE:** Jose-Fernán Martínez Ortega

**VOCAL:** Juan José Gómez Alfageme

**VOCAL SECRETARIO:** Antonio Pedrero Gonzalez

**DIRECTOR:**

**Fecha de lectura:** Septiembre 2014

**Calificación:**

**El Secretario,**

### RESUMEN DEL PROYECTO:

El proyecto consiste en el estudio del comportamiento acústico y electroacústico de la sala 5 de los cines Kinépolis de Madrid.

Constará de la realización de las medidas acústicas y espaciales in-situ de la sala y del posterior diseño y estudio electroacústico mediante el software de simulación EASE 4.4.

A partir de las medidas y simulaciones acústicas obtenidas se realizará una valoración de la sala y se extraerán las conclusiones del estudio.

## Resumen

En el proyecto se realiza el estudio del comportamiento acústico y electroacústico de la sala 5 de los cines Kinépolis de Madrid.

El objetivo es determinar las características acústicas de la sala mediante la realización de las medidas in-situ para después analizar y simular la misma con EASE4.4, realizar una sonorización apropiada para reproducción de cine, valorar la sala actual y proponer algunas mejoras.

El desarrollo del proyecto se ha dividido en tres partes. En primer lugar, se realizan las medidas espaciales y acústicas in-situ con el programa de toma de medidas Dirac 5.5. En este paso, se obtienen las medidas reales (usadas en la simulación 3D posterior) y los dos parámetros acústicos importantes inherentes a la sala, el tiempo de reverberación y el ruido de fondo. Además, se estudia el conexionado de altavoces y de los equipos instalados en sala. En segundo lugar, se hace la simulación de la sala, para ello se realiza su diseño con el programa de simulación acústica EASE 4.4, con el que se ajustan las condiciones de campo a las existentes en Kinépolis, asegurando que el comportamiento acústico de la sala simulada sea similar al real. También se distribuirá el sistema electroacústico con la descripción del conexionado y la configuración de los altavoces.

En la simulación, durante el estudio acústico, además de desarrollar el dimensionado del recinto, se ajustan los materiales de tal manera que el tiempo de reverberación sea el de la sala de estudio considerando también el ruido de fondo. En cuanto al estudio electroacústico, se distribuyen los altavoces en las posiciones medidas in-situ de la instalación y se detalla su conexionado. De esta manera, se realizan los cálculos para ajustar sus respuestas para proporcionar un recubrimiento sonoro uniforme y el efecto precedencia desde la zona frontal al oyente deseado.

Finalmente, y a partir de los datos obtenidos en la simulación, se hace una valoración a través de diversos criterios de inteligibilidad, se extraen las conclusiones del estudio y se proponen una serie de mejoras en la sala real para obtener unas prestaciones sonoras óptimas.

Se consigue con el proyecto, tras el aprendizaje de las herramientas específicas utilizadas, la recopilación de documentación y el análisis de datos de la sala, aplicar los conceptos teóricos de manera práctica a un caso real.

## Abstract

During the project is carried out the acoustic and electroacoustic study of the room cinema 5 of the Kinépolis group in Madrid.

The objective is to determine the acoustic characteristics of the room by performing the in-situ measurements in order to analyze and simulate it with the software EASE 4.4 making an appropriate sound for movie playback, assess the current room, and propose some improvements.

Development of the project is composed of three parts. First, the performing of the spatial and acoustic in-situ measurements with the program Dirac 5.5. On this step, the real measures are obtained (that will be used on the next 3D simulation) and the two important parameters inherent to the room, the reverberation time and the noise level. In addition, the speaker connections and the installations of the cinema's equipment are studied. Secondly, the simulation of the room cinema is performed. This simulation is done with the acoustic simulation program EASE 4.4 in which its field conditions conform to the conditions of Kinépolis, ensuring that the acoustic behavior of the simulated room is similar to the real room. Also, the electroacoustic system is distributed with the wiring and the speaker setup.

During the acoustic study of the simulation, in addition to do the dimensions of the cinema room, the materials are adjusted in order to synchronize reverberation time to that of the real room. The noise level is taking in account too. For the electroacoustic studio, the speakers will be distributed in the positions measured in-situ to do the installation and its detailed connection. By this way, the calculations are done to adjust to the responses in a way to give a sound uniform coating with the precedence effect desired on the front area of the listeners.

Lastly, and from the data obtained in the simulation, an assessment is done through the various criteria of intelligibility, conclusions are drawn from the study and a number of improvements are proposed in the actual room for obtain optimal sound benefits.

With this project is achieved, after gain learning of the specific tolls used, the documentation collected and the data analysis of the room, to apply theoretical concepts in a practical way for a real case.

# ÍNDICE

<b>ÍNDICE</b> .....	<b>1</b>
<b>CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>5</b>
<b>1 Introducción</b> .....	<b>5</b>
<b>CAPÍTULO 2: ESTUDIO ACÚSTICO</b> .....	<b>7</b>
<b>2 Descripción de la sala de estudio</b> .....	<b>7</b>
2.1 Dimensiones.....	7
2.2 Pantalla.....	10
2.3 Audiencia.....	12
2.4 Butacas.....	13
2.5 Iluminación.....	15
<b>3 Proceso de medida in-situ</b> .....	<b>17</b>
<b>4 Simulación de la sala con EASE 4.4.</b> .....	<b>21</b>
4.1.1 Edición del proyecto .....	21
4.1.2 Asignación de materiales.....	25
4.1.3 Áreas de audiencia.....	27
4.1.4 Puntos de escucha .....	29
<b>5 Tiempo de reverberación</b> .....	<b>31</b>
5.1 Definición del TR .....	31
5.2 Tiempo de reverberación en salas de cine .....	33
5.3 Medida In Situ del tiempo de reverberación .....	35
5.3.1 Proceso de medida .....	35
5.3.2 TR obtenido in-situ .....	35
5.4 Obtención del tiempo de reverberación con EASE 4.3 .....	36
<b>6 Ruido de fondo</b> .....	<b>39</b>
6.1 Definición del ruido de fondo .....	39
6.2 Medida In Situ del ruido de fondo .....	40
6.2.1 Proceso de medida: Sonómetro .....	40
6.2.2 Ruido obtenido .....	41
6.2.3 Ruido de fondo en EASE 4.4.....	43
<b>CAPÍTULO 3: ESTUDIO ELECTROACÚSTICO</b> .....	<b>45</b>
<b>7 Sistemas de reproducción de sonido multicanal en cine</b> .....	<b>45</b>
7.1 Formato digital en la sala 5 .....	47
7.2 Situación y características de los altavoces .....	48
7.2.1 Canales de pantalla.....	50
7.2.2 Canales de surround .....	53
7.2.3 Canal de LFE o subwoofer.....	55

<b>8</b>	<b>Ecuación</b>	<b>59</b>
8.1	Ecuación de los canales de pantalla	61
8.1.1	Ecuación canal de pantalla central (C)	61
8.1.2	Ecuación canales de pantalla Derecho CR	64
8.1.3	Ecuación canales de pantalla Derecho Right (Pantalla R)	66
8.1.4	Ecuación canales de pantalla izquierdo central CL	69
8.1.5	Ecuación canales de pantalla izquierdo LEFT (Pantalla L)	71
8.2	Ecuación de los canales de surround	74
8.2.1	Ecuación del canal surround derecho (SR)	74
8.2.2	Ecuación de canal surround izquierdo (SL)	76
8.2.3	Ecuación del canal surround trasero (ST)	79
8.3	Resultado ecuación en campo total	81
<b>9</b>	<b>Ajuste de niveles</b>	<b>83</b>
9.1	Ajuste de niveles canal de pantalla central C	87
9.2	Ajuste de niveles canal de pantalla izquierdo LEFT	89
9.3	Ajuste de niveles canal de pantalla central izquierdo CL	91
9.4	Ajuste de niveles canal de pantalla derecho RIGHT	93
9.5	Ajuste de niveles canal CR	95
9.6	Ajuste de niveles canal surround izquierdo SL	97
9.7	Ajuste de niveles canal surround derecho SR	99
9.8	Ajuste de niveles canal ST	101
9.9	Ajuste de niveles canal LFE	103
<b>10</b>	<b>Retardos</b>	<b>105</b>
<b>11</b>	<b>Recubrimiento</b>	<b>113</b>
11.1	Campo sonoro directo (Direct SPL)	113
11.1.1	Canal de pantalla C	114
11.1.2	Resto de canales de pantalla	116
11.1.3	Canales Surround	117
11.1.4	Canal Subwoofer SB	119
11.1.5	Todos los canales de altavoces simultáneamente	119
11.2	Campo sonoro total (Total SPL)	121
11.2.1	Canal de pantalla C	121
11.2.2	Resto de canales de pantalla	123
11.2.3	Canales surround	126
11.2.4	Todos los canales de altavoces simultáneamente	131
<b>12</b>	<b>Inteligibilidad</b>	<b>133</b>
12.1	Índice de articulación (IA)	134
12.2	Alcons	136
12.3	STI	139
12.4	D/R Ratio	142
<b>13</b>	<b>Ecos</b>	<b>145</b>
13.1	Respuesta temporal. Ecogramas	145
<b>14</b>	<b>Equipamiento</b>	<b>153</b>
14.1	Procesador de audio	154
14.2	Amplificadores	155
14.3	Proyector	158

14.4	Procesador Dolby CP500.....	159
14.5	Switch.....	160
14.6	Servidor DSS200.....	161
14.7	Conexionado .....	163
<b>15</b>	<b>Presupuesto.....</b>	<b>165</b>
	<b>CAPÍTULO 4: CONCLUSIONES Y MEJORAS.....</b>	<b>167</b>
<b>16</b>	<b>Conclusiones.....</b>	<b>167</b>
	<b>CAPÍTULO 5: ANEXOS .....</b>	<b>169</b>
	<b>CAPÍTULO 6: BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>171</b>
<b>17</b>	<b>Bibliografía y referencias .....</b>	<b>171</b>



# CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

---

## 1 Introducción

En el presente proyecto se realiza el estudio del comportamiento acústico y electroacústico de la sala 5 de los cines Kinépolis de Madrid.

El objetivo del mismo es determinar las características acústicas de la sala mediante la realización de las medidas, acústicas y espaciales, in situ y su posterior diseño y estudio electroacústico con el software de simulación EASE 4.4.

Además, se realizará la sonorización apropiada para la función principal de la sala; la proyección de películas.

Para ello, en primer lugar, se realiza un estudio in-situ de la sala real: se miden las dimensiones reales de la sala y se obtienen los resultados de medidas de tiempo de reverberación y ruido de fondo.

En segundo lugar, a partir de las medidas obtenidas in situ, se simula la sala en el software EASE 4.4 insertando materiales, áreas de audiencia y equipo electroacústico. Las medidas serán ajustadas de forma que los resultados de la simulación coincidan con las condiciones acústicas de la sala.

Las medidas acústicas reales sobre la sala permiten dar un juicio sobre el grado de fiabilidad del programa de simulación y aproximan dicha simulación a las condiciones reales. Cuando el comportamiento acústico del modelado de la sala sea el mismo que el de la sala real, se obtienen los parámetros acústicos necesarios para realizar el estudio de la misma.

Durante el estudio acústico se ajustarán los materiales de tal forma que el tiempo de reverberación obtenido mediante la simulación con EASE se asemeje lo máximo posible al obtenido in situ. El ruido de fondo, también se tendrá en cuenta para la simulación y se comentarán las fuentes de ruido y las posibles formas de aislamiento.

En el estudio electroacústico, se distribuirán los diferentes altavoces intentando que la señal procedente de los mismos cubra la sala de manera uniforme, ajustando niveles e insertando retardos para evitar que se produzcan ecos molestos en los oyentes y conseguir el efecto precedencia deseado.

En conjunto, se procede al diseño electroacústico del equipo para implementar el sistema de sonido necesario y se detalla el conexionado de los equipos de audio en la sala para finalmente, obtenido un modelo acústico fiable, verificar el cumplimiento de los requisitos para una adecuada sonorización de este tipo de salas y se estudia la posibilidad de la mejora de sus condiciones.





# CAPÍTULO 2: ESTUDIO ACÚSTICO

## 2 Descripción de la sala de estudio

La sala que ocupa el actual estudio es la sala 5 de los cines Kinépolis de Madrid. Pertenece a la empresa multicines Kinépolis Group (empresa Belga) que abrió estos cines como sus primeros cines en España en el año 1998 en Pozuelo de Alarcón y que tiene 25 salas y más de 9200 butacas.

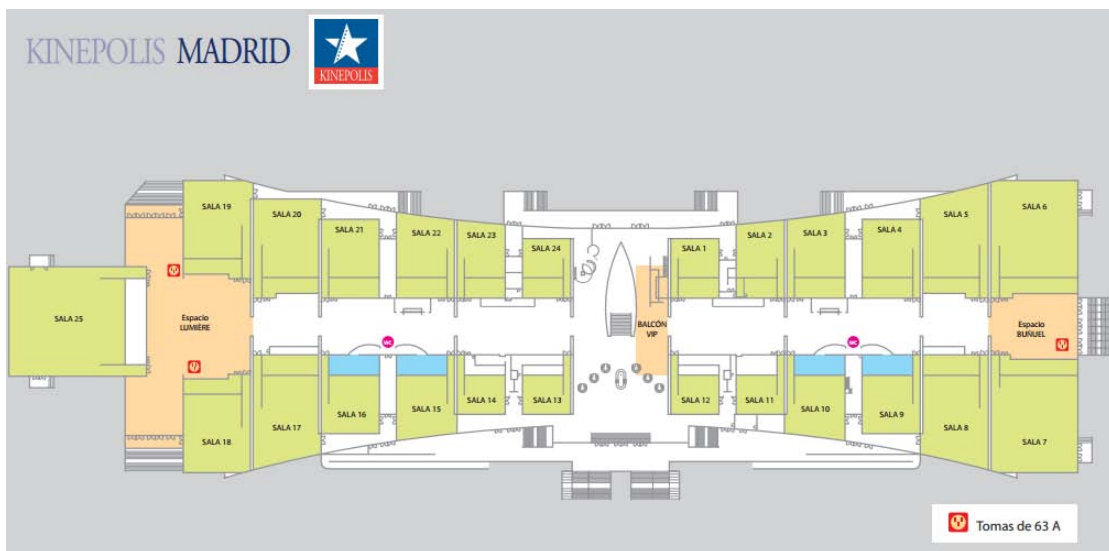


Imagen 1: Plano de las salas de cine en los cines Kinépolis de Madrid

A continuación se describen las características constructivas y geométricas del recinto, así como las especificaciones eléctricas y electroacústicas del equipamiento existente en la sala.

### 2.1 Dimensiones

Tabla 1: Datos técnicos de la sala 5

DATOS TÉCNICOS DE LA SALA	
<b>Aforo</b>	408
<b>Distancia cabina-pantalla</b>	35,3 m
<b>Distancia pantalla-primer fila</b>	13 m
<b>Ancho de sala</b>	20 m
<b>Altura sala en primera fila</b>	8,5 m
<b>Altura de la sala en última fila</b>	3,5 m
<b>Distancia pantalla-suelo</b>	30 cm
<b>Distancia proyección-suelo en última fila</b>	2 m

La sala 5 es de tamaño mediano, con un aforo de 408 personas y una pantalla de 8 x 20 metros.

Tiene un volumen de unos 5300 m<sup>3</sup> con una longitud de 33,5 metros, un ancho de 20 metros y una altura de 8,5 metros sumándole la sala de mantenimiento que hay detrás de la pantalla (por la que se accede a los altavoces de pantalla y a los altavoces de efectos de baja frecuencia).

La sala es un espacio diáfano de forma rectangular y con dos zonas diferenciadas, la zona de audiencia, de suelo inclinado, y la zona plana sin butacas más cercana a la pantalla.

Las paredes son de color azul oscuro, las butacas están forradas de tela de tonos grises y el suelo está cubierto por una moqueta también gris.



Imagen 2. Sala 5 fotografiada durante las mediciones in-situ del proyecto.

Mirando a la pantalla, la entrada a la sala lo constituye un pasillo lateral situado a la derecha y la salida, unas puertas laterales cercanas a la pantalla por sus lados derecho e izquierdo.

Además, la instalación esta acondicionada para el uso público y habilitada con accesos fáciles adaptados para minusválidos, tiene salidas de emergencia, sistema de megafonía, material contra incendios, sistema de climatización e iluminación, etc.

Según la norma SMPTE Engineering Guideline E 18-1994 la arquitectura de una sala de estas características debe buscar la correcta visualización de las proyecciones y debe facilitar la visualización de las mismas. No debe haber arquitecturas ostentosas, colores llamativos ni obstáculos que dificulten la visión. La norma también recomienda que las paredes sean de colores oscuros.

Para no sacrificar los asientos de mejores condiciones acústicas, debe evitarse la colocación de un pasillo en el centro de la audiencia perpendicularmente a la pantalla y se recomienda colocar pasillos a los extremos de la sala.

Es aconsejable que las paredes no sean paralelas para evitar ondas estacionarias y que no exista perforación alguna excepto detrás de la pantalla.

El plano de la sala facilitado por el personal de Kinépolis es el de la Imagen 3.

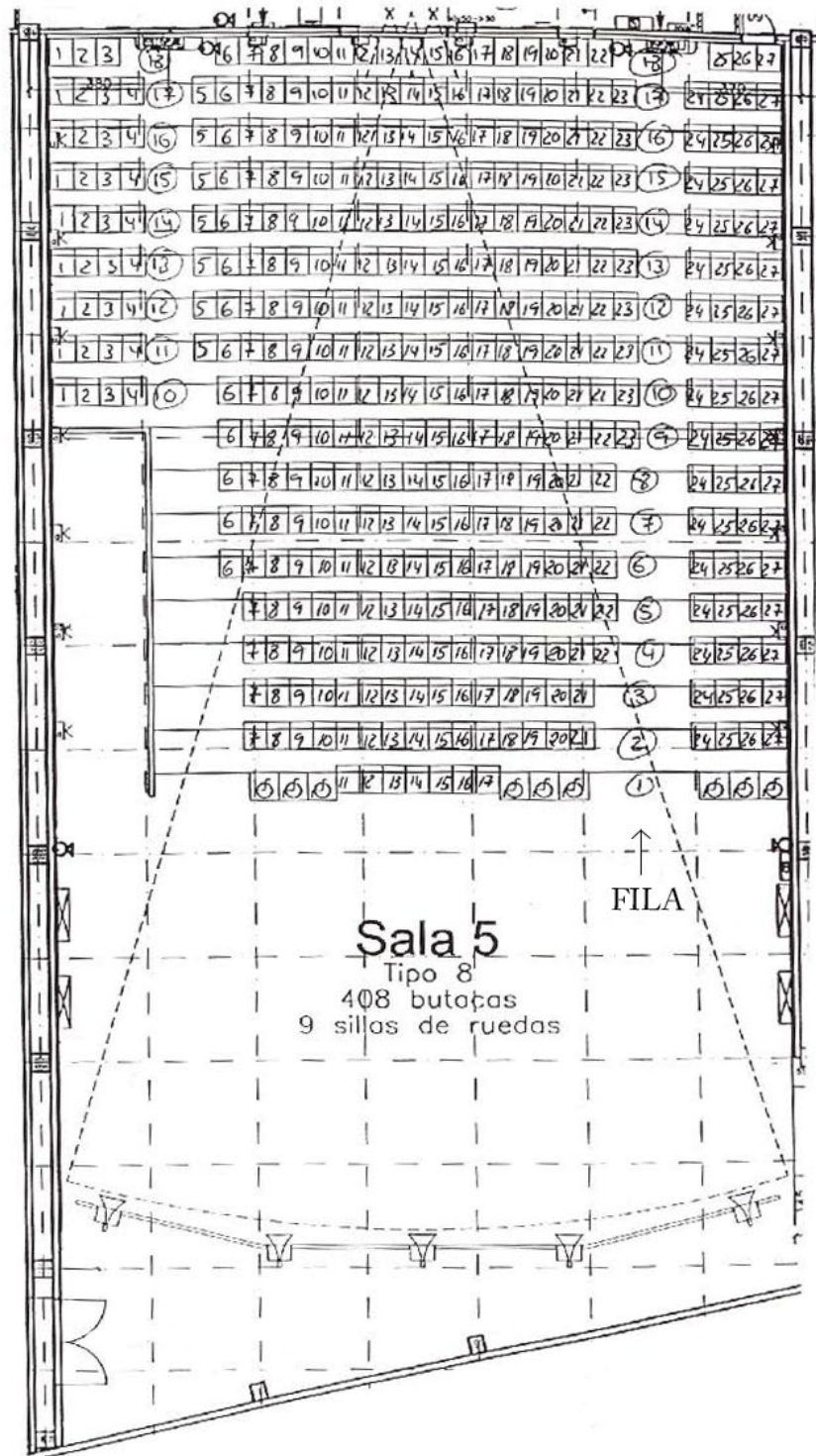


Imagen 3: Plano de la Sala 5

## 2.2 Pantalla

La pantalla debe cumplir las características acordes también a la norma SMPTE EG 18-1994, que establece los requisitos de color, curvatura, dimensiones, etc. de la misma.

Las dimensiones de la pantalla vienen parejas al diseño del dimensionado de la sala. La anchura de la pantalla se ajusta a la de la sala en la medida de lo posible teniendo en cuenta la norma referida y que se cumpla la relación 1,65:1 entre las anchuras de la sala y la pantalla.

La altura de la pantalla debe elegirse entre 3m, 4,5m, 6m, 7,5m, 9m, (10, 15, 20, 25 o 30 ft) teniendo como recomendación la relación 1,5:1 entre la altura de la sala y la de la pantalla.

La pantalla de la sala 5 tiene unas dimensiones de 20 x 8 m<sup>2</sup> y dista de la pantalla de proyección 35,3m. Es de color blanco y material vinilo microperforado.

La sala de estudio, tiene un ancho de 20m y una altura de 8,5m. La relación así en la sala 5 entre la altura de la sala y la pantalla es 8,5:8, por lo que dicha relación es la aceptada por la norma. Además la pantalla tiene 20m de ancho por lo que la relación de anchura sala-pantalla es de 1:1, aunque la anchura real es menor ya que en estas dimensiones no se considera la curvatura de la misma, y dado que la imagen no se proyecta en toda la pantalla, cabría decir lo mismo en cuanto a la altura de la imagen proyectada.

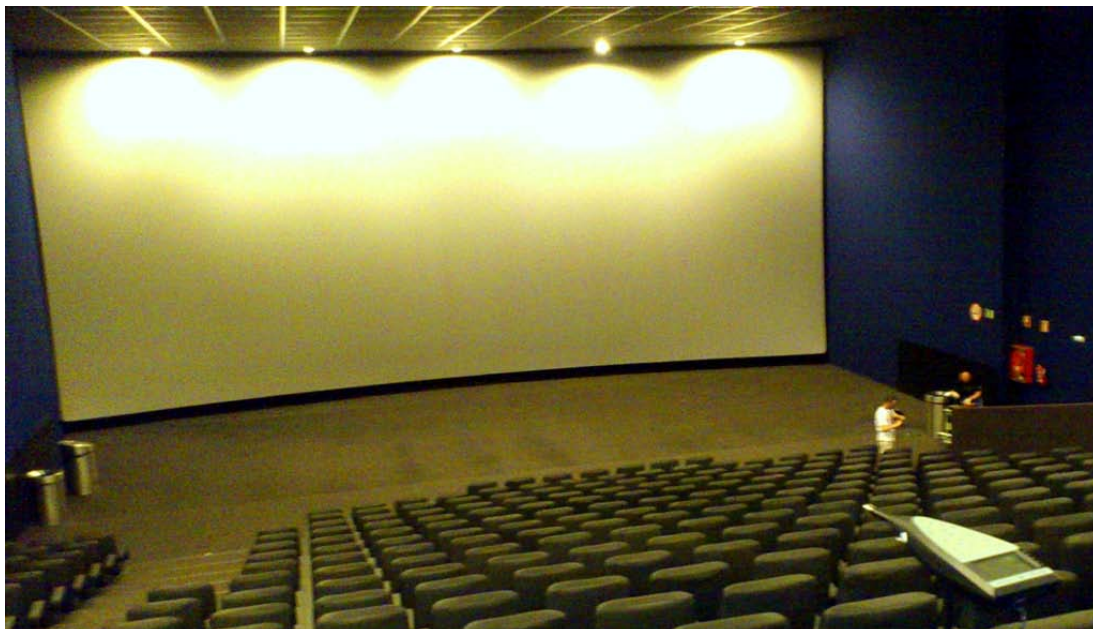


Imagen 4. Pantalla de la sala 5 durante la realización de medidas in-situ

La norma aconseja una altura de 1,22 a 1,83 m del borde inferior de la pantalla hasta el suelo, a fin de evitar que una persona levantada interfiera en la visión del resto de espectadores. La distancia entre la parte superior de la pantalla y el techo, ha de ser lo suficientemente grande para evitar que la imagen se refleje y

se proyecte sobre el techo. En este caso, la altura de la parte inferior de la pantalla al suelo es solamente de 30cm y el borde superior de la pantalla al techo es de 20cm, pero siempre hay que considerar que la proyección nunca ocupará la pantalla al completo, por lo que las distancias que aseguran el cumplimiento de esta norma difieren según la proyección y su configuración.

La forma de la pantalla en la sala 5 es del tipo curvada horizontal, se curva en los extremos laterales hacia la audiencia. Este tipo de pantalla mantiene la distancia desde el proyector constante con lo que evita la deformación y la distorsión de la imagen proyectada por variaciones de distancia entre el proyector y la pantalla ya que consigue que la luz recorra la misma distancia a cualquier punto de la pantalla en la dimensión horizontal.

Según la norma, la pantalla debe estar alineada con el proyector. Éste último deberá apuntar al centro de la pantalla con una precisión de al menos 5%.

El color de la pantalla debe ser blanco para no modificar los colores de la película. Además, deber ser lo más transparente posible al sonido para evitar modificaciones, ya que los altavoces frontales están situados detrás de la misma.

El modelo utilizado de pantalla y que cumple con todos los requisitos, es el Spectral™ 240, del fabricante Harkness Screen, esta está especialmente diseñada para 3D polarizado pero también soporta cine convencional en 2D y está construida de material de vinilo microperforado de color blanco. Gracias a estas pequeñas perforaciones las señales emitidas de los altavoces situados detrás de la misma no sufren modificaciones acústicas significativas.

Detrás de la pantalla, existe un espacio dedicado al mantenimiento de los altavoces de pantalla y los LFE. Este espacio no debe interrumpir o influir en el comportamiento acústico de la sala.



Imagen 5: Sala de mantenimiento detrás de la pantalla

## 2.3 Audiencia

La audiencia comprende todas las zonas en las que el público va a estar situado durante la proyección de la película. Estas zonas son diáfanos y sin elementos que dificultan la visión.

En la nombrada ya antes norma SMPTE EG 18-1994 también se establecen los aspectos generales que debe presentar una sala de cine: en el actual apartado nos centramos en los ángulos de visualización de la pantalla desde la audiencia.

Cuando hay espectadores en la sala, es necesario evitar que el ángulo de distorsión afecte a la visualización de la escena. Cuanto más distanciado está el espectador de la línea perpendicular al centro de la pantalla, la imagen se va deformando de modo que los puntos de imagen se visualizan como elipses y los cuadrados como rectángulos distorsionando la imagen.

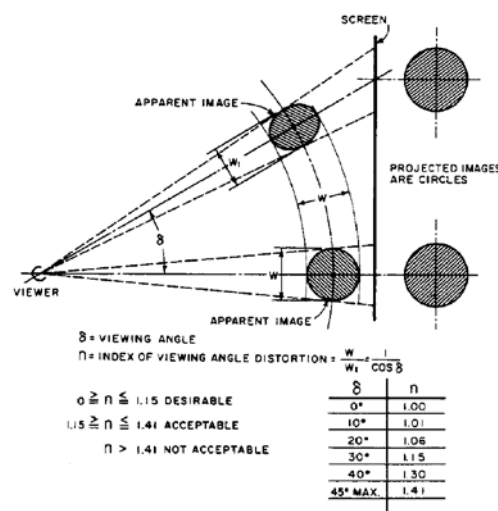


Imagen 6. Ángulo de distorsión de la imagen

Reubens Meister concluyó en sus estudios que 45° era el límite del ángulo de visión para que las figuras no se perciban deformadas. Por ello, todas las butacas deben estar dentro de la isolínea de 45° que marca la zona en la que debe estar comprendida la audiencia. Esta consideración se tendrá especialmente presente en el caso de los extremos laterales de la audiencia que en ningún caso deberán superar los 45° del ángulo horizontal de visión (o ángulo de distorsión).

Para evitar esta distorsión, las filas de audiencia estarán dispuestas de manera que la visión de la pantalla sea óptima por lo que no pueden estar situadas en lugares en los que el ángulo de visión horizontal o campo de visión sea menor de 26°, siendo 36° los establecidos como recomendados. Se puede asegurar que este dato se cumple si las butacas de la última fila lo cumplen. En las primeras no debe ser mayor de 80°. En cuanto al ángulo vertical no debería ser superior a 35°, asegurando que la primera fila cumple este requisito se puede asegurar que el resto también.

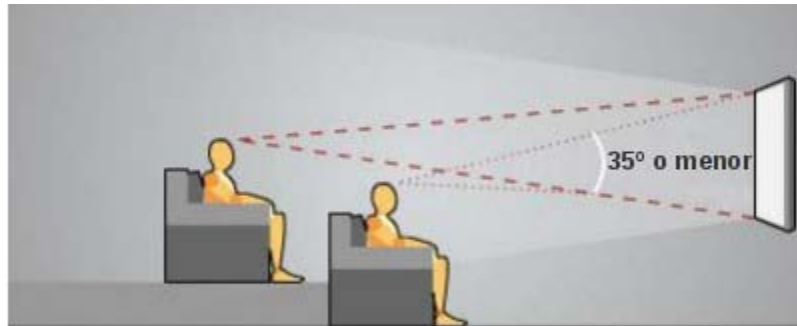


Imagen 7. Ángulo vertical necesario en la audiencia

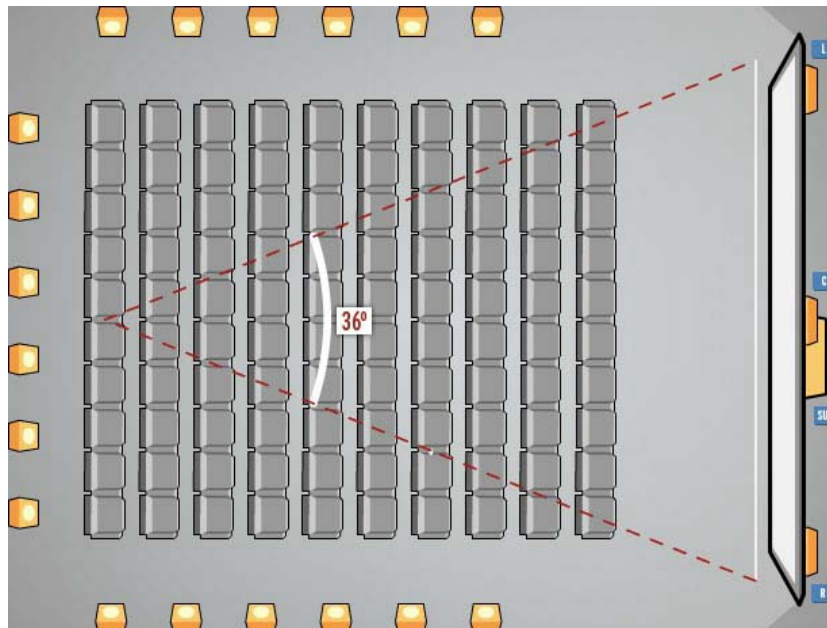


Imagen 8. Ángulo horizontal necesario en la audiencia

Todos los asientos deben cumplir estos patrones para conseguir un campo de visión óptimo y de visibilidad cómoda.

La primera fila de audiencia dista 13 m y la cabina de reproducción 35,3m de la pantalla.

Existen dos pasillos laterales para acceder a los asientos, evitando tener un pasillo central (como desaconseja la norma). Del mismo modo no existe un pasillo de salida detrás de la pantalla y existen dos vías de salida, la puerta de uso normal, en el lateral derecho al final de un pasillo debajo de la audiencia, y la de emergencia en el lateral izquierdo antes de llegar a la pantalla.

## 2.4 Butacas

En la sala 5 hay 408 butacas más el espacio para 9 sillas de ruedas.

Siguiendo las características especificadas en la Norma SMPTE EG 18-1994, una sala de cine debe tener butacas espaciosas de anchura mínima 20 pulgadas (es decir 50,8 cm), con reposabrazos, situadas en filas paralelas (en líneas curvas en los casos que sea posible) y orientadas hacia la pantalla. La



separación entre filas será la máxima posible con un mínimo de 36 pulgadas (91,44 cm) para las filas de asientos fijos y de 38 pulgadas (96,52 cm) para las filas de asientos reclinables. Las butacas estarán forradas de materiales absorbentes de manera que, en caso de estar vacías, la absorción que presenten sea similar a cuando lo ocupe una persona, haciendo la sala independiente acústicamente del número de espectadores.

Los asientos cumplen la normativa con respecto al dimensionado y orientación.

Las butacas tienen las siguientes dimensiones:

- Ancho de asiento: 53cm (mínimo norma: 50,8cm).
- Ancho del reposabrazos: 11,5cm.
- Ancho total de asiento (anchura del asiento con sus reposabrazos): 66cm.
- Ancho del respaldo en la parte superior, donde se estrecha: 47cm.
- Distancia entre butacas de diferentes filas: 42,8cm.
- Altura de la butaca con respecto al suelo de la siguiente fila: 70cm (suelo en pendiente).
- Altura total butaca: 106cm.
- Profundidad del asiento: 60 cm.
- Ancho de respaldo: 10cm.
- Orientación de las butacas, hacia la pantalla con separación entre filas: 92,8cm (de respaldo a respaldo) (en norma 91,44cm mínimos).

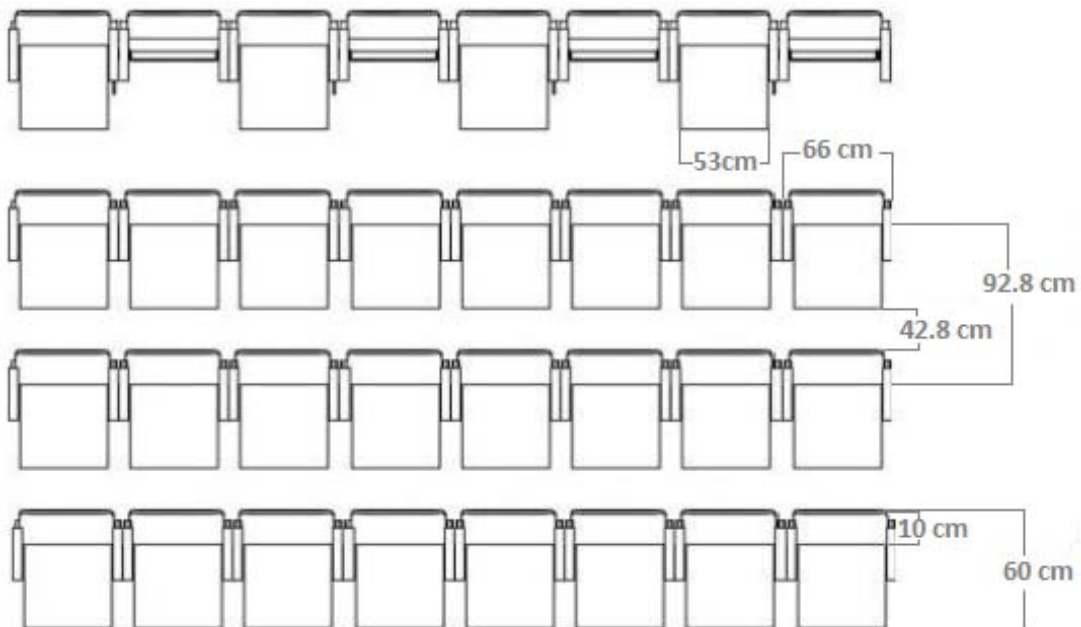


Imagen 9. Medidas de las butacas

## 2.5 Iluminación

La iluminación en una sala de cine sigue la norma American National Standard ANSI/SMPTE 196M-1SMPTE RP 98-1995.

Esta norma establece que la luminancia de pantalla en su centro debe ser de

$$16 fL \pm 2fL \quad (1)$$

La luminancia de pantalla en las esquinas de la pantalla (5% desde cada esquina) no debería ser menor al 75% ni mayor del 90% del centro de la pantalla. La distribución de la iluminación de pantalla debe ser simétrica con respecto al centro y en ningún punto del área iluminada se debe tener menos de 10fL.

El punto blanco de la imagen en la pantalla debe ser de 5400°Kelvin +600° -200°

En cuanto al foco de proyección de la sala de proyecciones sigue las características de la Normas SMPTE Engineering Guideline EG 5-1995 y RP 40-1995 / 35-PA & 35-IQ Test Film.



Imagen 10: Lámpara de proyección del proyector de la sala



### 3 Proceso de medida in-situ

En primer lugar, mediante el software Dirac 5.5 se realizan las medidas de los parámetros acústicos principales de la sala.

Dirac es una herramienta que permite medir una amplia gama de parámetros acústicos de las salas mediante la medida y análisis de la respuesta impulsiva.

A partir de la respuesta al impulso, el software calcula el espectro en frecuencia de la señal en la sala y, a partir de ella, diversos parámetros acústicos como por ejemplo la medida de la inteligibilidad, reverberación, etc. y cálculos estadísticos (media, desviación estándar, mínimos-máximos...)

El software funciona en un ordenador y es necesario disponer de un micrófono con salida AC y un altavoz de potencia o fuente de sonido impulsiva. Se dispusieron los elementos de la Imagen 11 para realizar las medidas in-situ de la sala

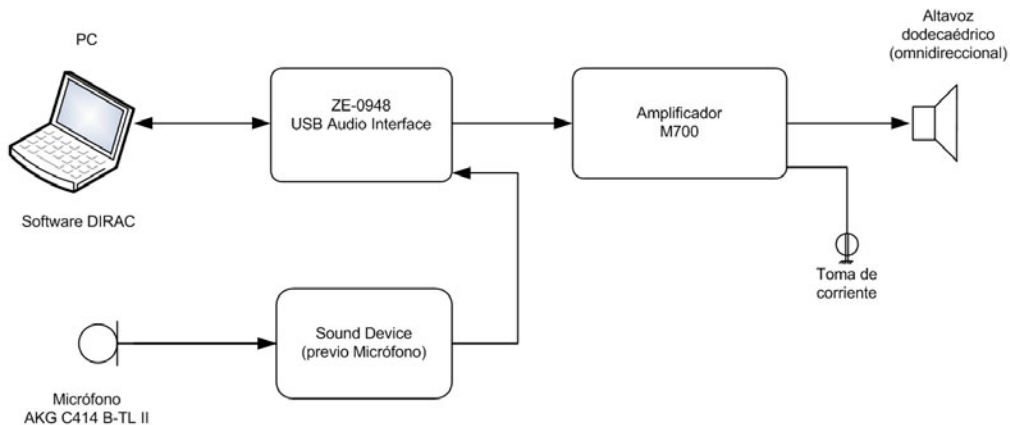


Imagen 11: Conexión de los equipos para la toma de medidas in-situ

- Un portátil con el software Dirac 5.5 instalado (con llave de software)
- El sistema de medida software Dirac Room Acoustics Software — Type 7841 de Brüel &Kjaer

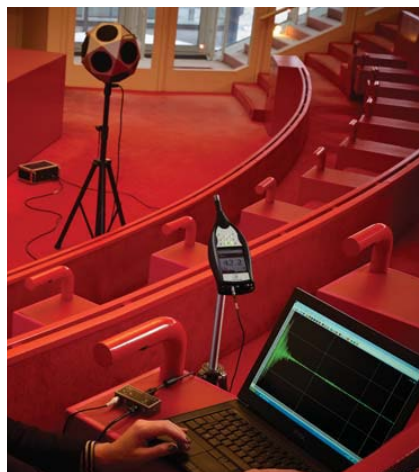


Imagen 12: toma de medidas con el software Dirac 5.5

- La tarjeta de sonido, USB Audio Interface ZE 0948



Imagen 13: Tarjeta de sonido ZE 0948

- Una fuente omnidireccional, se utiliza un clúster de altavoces dodecaédrico modelo D012 de Álava Ingenieros



Imagen 14: Altavoz dodecaédrico D012, Álava Ingenieros

- Un calibrador



Imagen 15: calibrador de micrófono

- Un micrófono de presión modelo AKG C414B-TLII con posibilidad de cambio entre omnidireccional y bidireccional



Imagen 16. Micrófono AKG C414B-TLii

- El previo de micrófono (Sound devices)



Imagen 17: Sound device

- Un amplificador de potencia (modelo Luther M700 de Álava ingenieros)

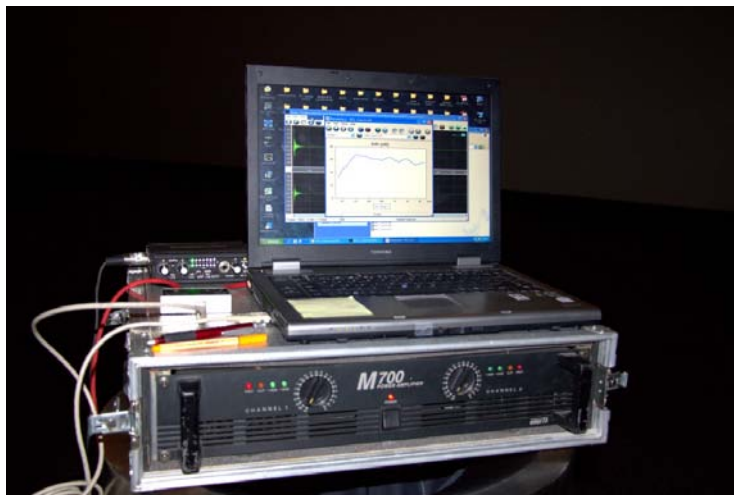


Imagen 18: Amplificador de potencia M700 durante la toma de medidas in-situ

- Como equipo auxiliar: medidor láser, pie de micro, base con ruedas, cables y conectores de conexión y alargaderas.
- Además, para la medida del ruido de fondo, se utiliza un sonómetro Type 4189 de B & K.



Imagen 19: Sonómetro Type 4189 de B&K

Los pasos para la utilización del software Dirac 5.5, después de realizar pruebas de medida en el laboratorio de acústica de la universidad politécnica de Madrid para manejar el programa y sus resultados con precisión, la toma de medidas in situ fueron:

1. Realizar el conexionado físico de dispositivos (adaptadores, amplificadores, micrófonos, fuentes de sonido y cables),
2. Realizar el calibrado correspondiente,
3. Realizar la medida correspondiente según se necesite; para salas de cine, la norma SMPTE establece realizar las medidas con un ruido rosa en la banda de audio,
4. Se realizan la medida de valores en 9 puntos de escucha de la sala para tres posiciones de fuente,
5. Registrar parámetros y valores de la sala.

Así, se realizan predicciones de comportamiento acústico de recintos con el que se puede hacer un exhaustivo estudio del comportamiento acústico de la sala.

Los puntos de medida donde estuvieron las posiciones de receptor (micrófono, en rojo) y de emisor (altavoz dodecaédrico, en naranja) en el momento de las medidas in-situ se detallan en la Imagen 20.

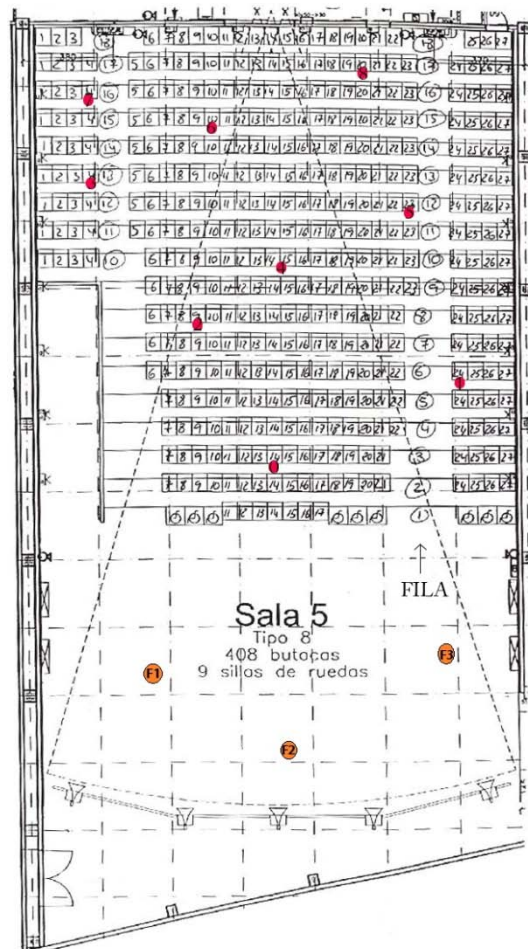


Imagen 20: Posiciones de medida (micrófono) in-situ

## 4 Simulación de la sala con EASE 4.4.

El programa de simulación acústica EASE (Enhanced Acoustic Simulator for Engineers) es un software de simulación acústica desarrollado por el instituto ADA (Acoustical Design Ahnert) en Berlín.

Con este programa de simulación acústica, una vez obtenidos los parámetros in-situ, se simula la sala acorde a la realidad, se obtienen los parámetros medidos in-situ y a partir de entonces, se trabaja con la simulación para determinar otros parámetros y establecer conclusiones de las calidades acústicas de la sala.

Se parametriza la sala incluyendo sus dimensiones, materiales, ruido de fondo, equipamiento acústico, etc. Para después poder observar su respuesta.

Además, EASE permite el cálculo de diferentes parámetros acústicos y de recubrimiento sonoro: permite calcular sobre las áreas de audiencia mapas de nivel (SPL directo y total) y otros parámetros acústicos y electroacústicos, como la inteligibilidad, la relación señal a ruido o el tiempo de llegada del primer frente de onda

Para su simulación, es muy importante que las medidas reales realizadas in-situ de la sala, correspondan fielmente a la realidad, ya que el recinto es simulado en base a las mismas.

### 4.1.1 Edición del proyecto

Para realizar el estudio y hacer posible la comparación de los resultados reales a los ideales, se ha simulado en el software EASE 4.4 la sala a partir de los datos obtenidos en las medidas in-situ.

Se trabaja en un espacio de trabajo de tres dimensiones y el primer paso para simular la sala es introducir las dimensiones incluyendo las coordenadas (x (ancho), y (largo), z (alto)) de todos los vértices que posteriormente se unen por aristas para representar las superficies que componen la sala.

Seguidamente, se especifican los materiales de cada superficie y se ajustan de modo que la sala sea fiel a la realidad

En segundo lugar, se introduce el ruido de fondo para cada banda de frecuencia y se obtiene en la simulación el mismo tiempo de reverberación que el medido in-situ.

Una vez que el TR simulado, el ruido de fondo introducido y las dimensiones de la sala sean lo más parecidas a las reales, se puede asegurar que el comportamiento de la sala simulada cuando se le añadan nuevos elementos acústicos será el mismo que sufrirá la sala real si se le introducen los mismos elementos que en la simulada.



Aunque posteriormente se comentará el diseño electroacústico, cabe destacar en este punto que para simular y valorar el comportamiento de la sala hay que incluir el resto de elementos de un cine como altavoces con sus localizaciones, directividad, retardos, zonas de audiencia y oyentes...etc.

En las Imagen 21, Imagen 22, Imagen 23, Imagen 24 e Imagen 25 se muestra la sala 5 en la simulación con el software EASE.

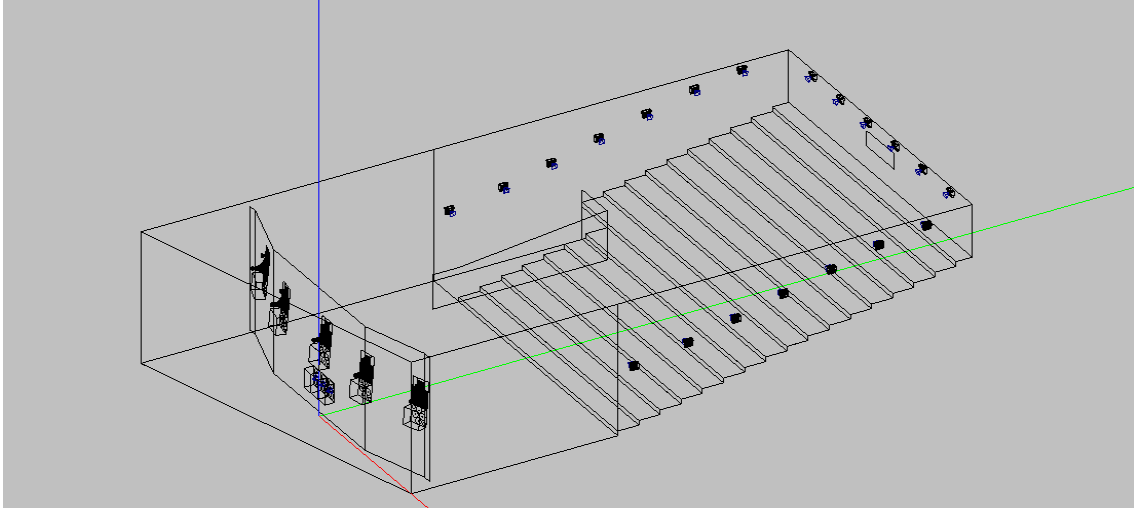


Imagen 21: Imagen de la simulación de la sala 5 en EASE I

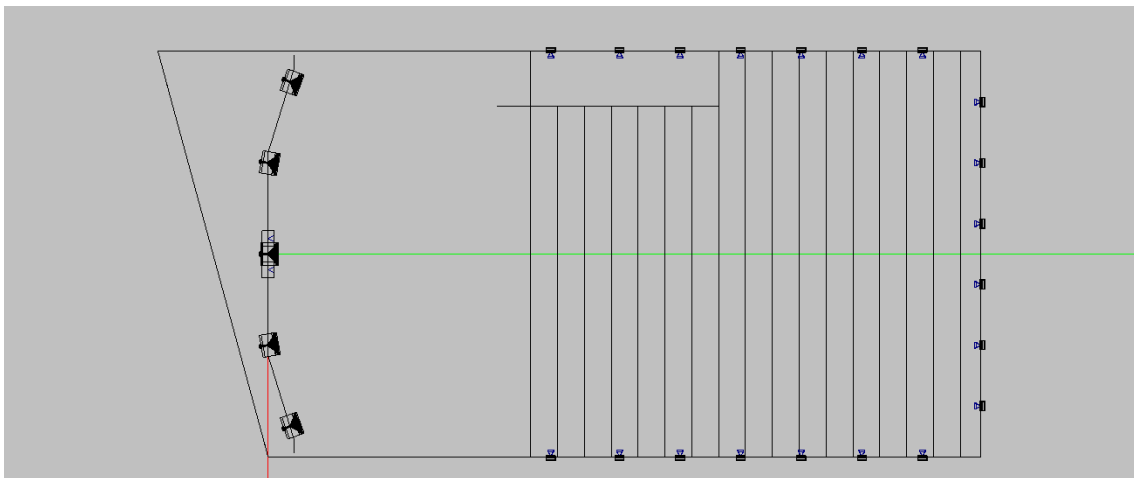


Imagen 22: Imagen de la simulación de la sala 5 en EASE II

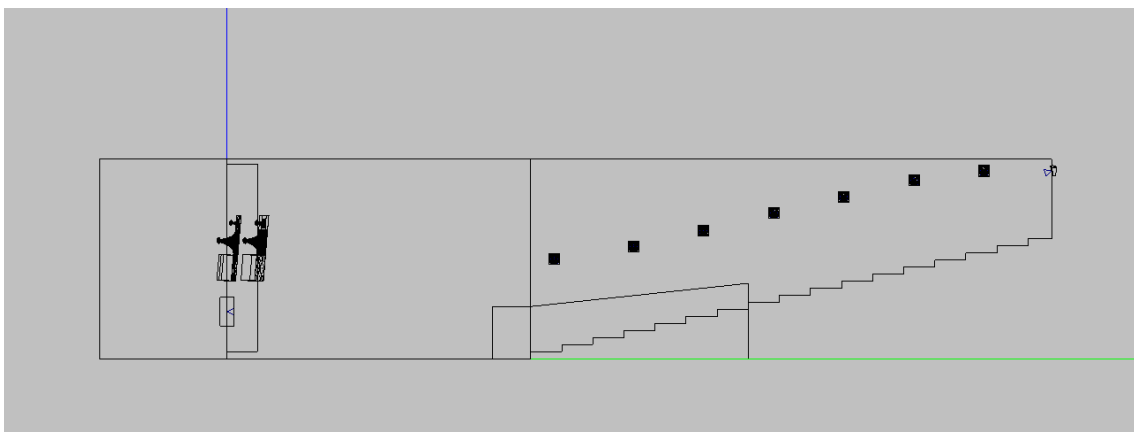


Imagen 23. Imagen de la simulación de la sala 5 en EASE III

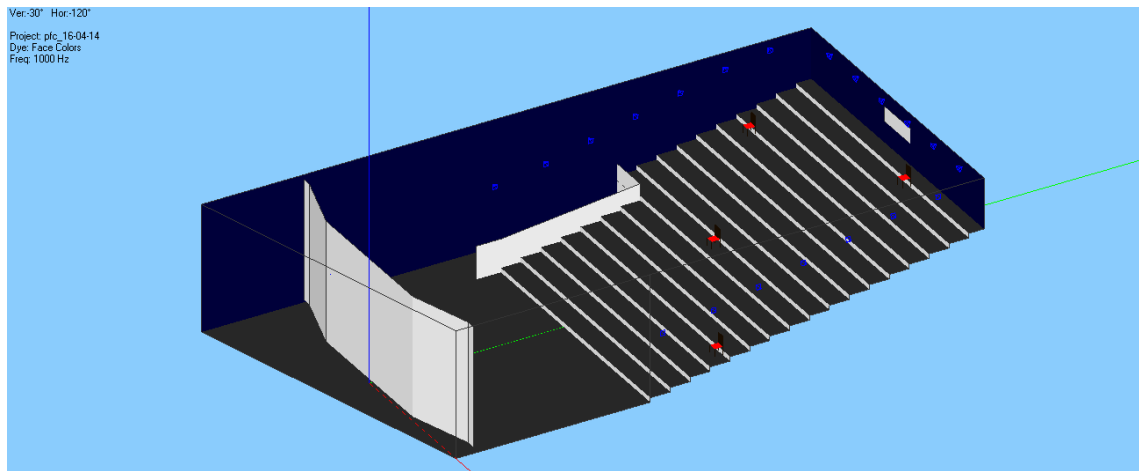


Imagen 24. Visualización I de la simulación de la sala 5

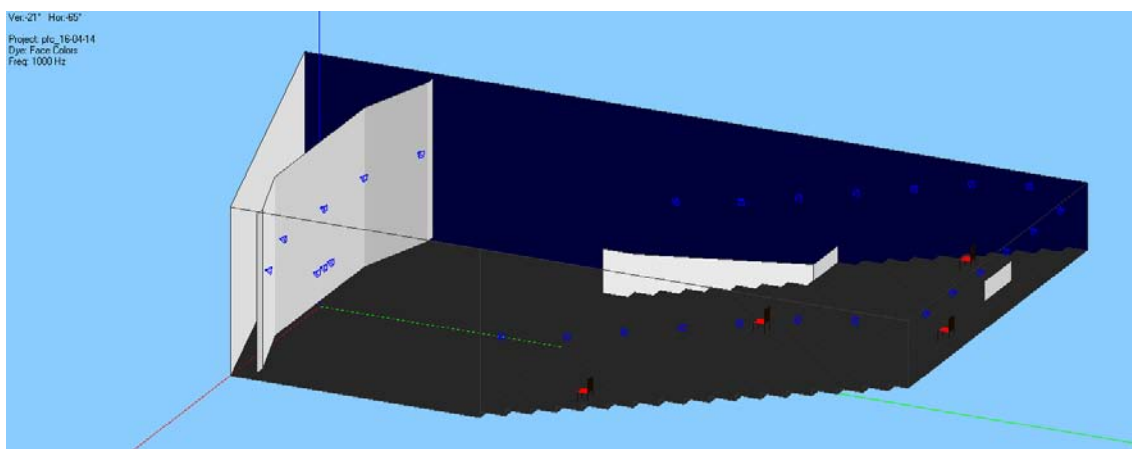


Imagen 25. Visualización II de la simulación de la sala 5

La audiencia queda repartida en un área de unos 460m<sup>2</sup> con una inclinación de 12.88°, valor dentro de los valores comunes (de 12° a 15°)

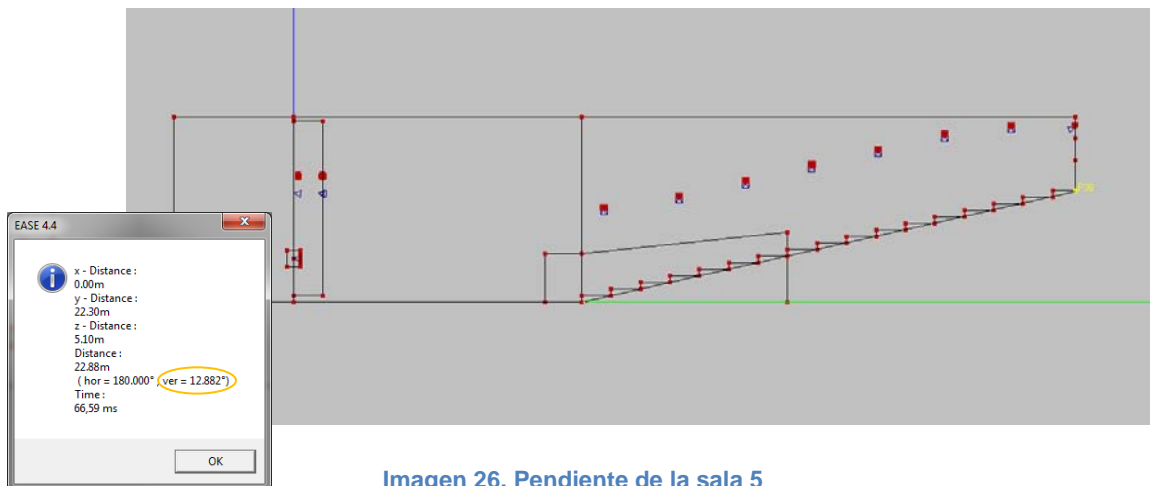


Imagen 26. Pendiente de la sala 5

El ángulo de visión es de 32,16° en la última fila (16,08° de la parte izquierda como se ve en la imagen de la parte izquierda de la Imagen 27: ángulo de visualización horizontal desde la última y la primera fila en la sala, el doble para el total de la pantalla) por lo que se asegura que la sala cumple la norma (norma que indica que no sea menor de 26°).

El ángulo horizontal de visualización desde la primera fila es de  $79,9^\circ$  ( $39,95^\circ$  de la parte izquierda como se ve en la misma Imagen 27: ángulo de visualización horizontal desde la última y la primera fila en la sala el doble para el total de la pantalla) (la recomendación es que el ángulo no sea superior a  $80^\circ$ ).

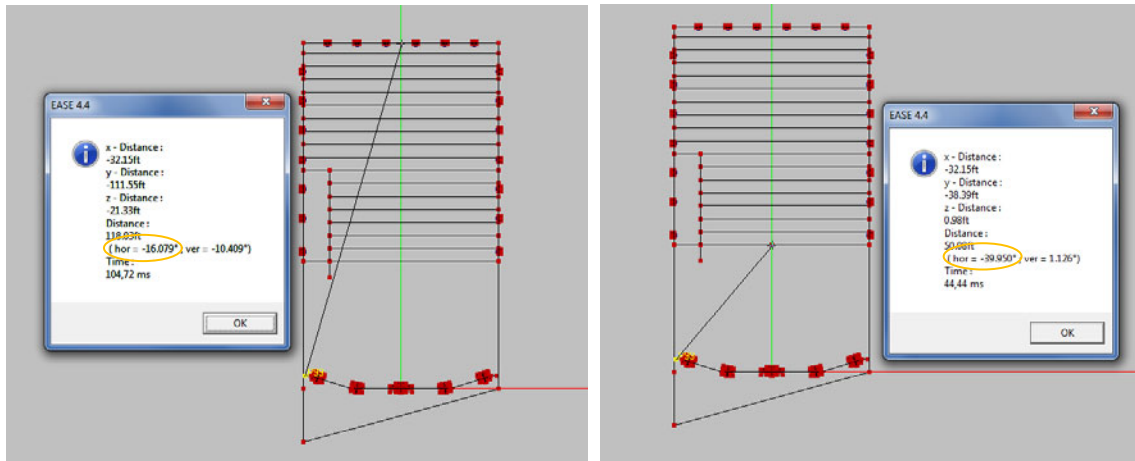


Imagen 27: ángulo de visualización horizontal desde la última y la primera fila en la sala 5

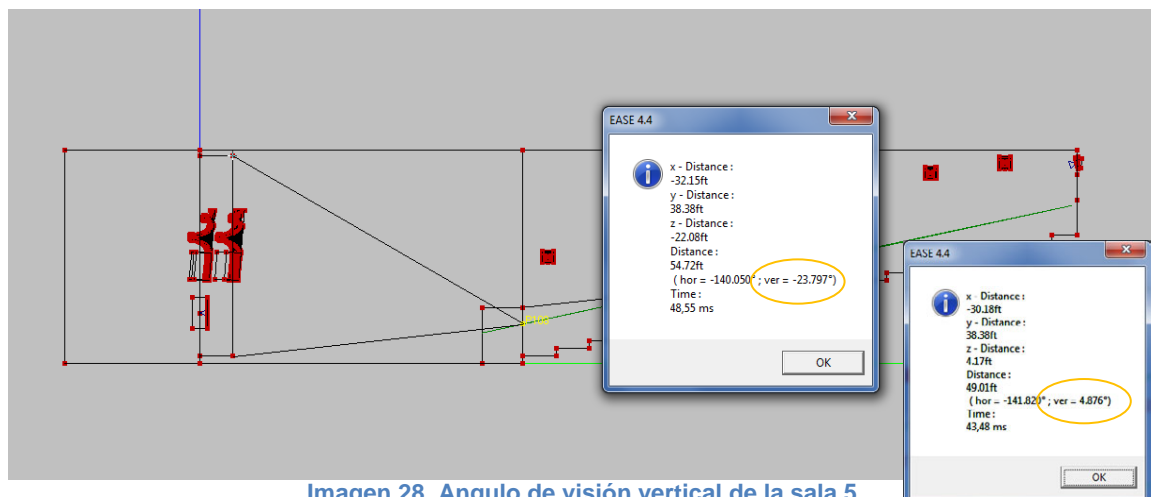


Imagen 28. Angulo de visión vertical de la sala 5

El ángulo vertical en la primera fila es de  $28,67^\circ$  ( $23,797$  más  $4,876$ ), por lo que cumple la norma ya que esta recomienda como máximo un ángulo de visualización vertical en la primera fila de audiencia de  $35^\circ$ .

Otro ángulo a tener en cuenta es el ángulo de distorsión lateral que no debe superar los  $45^\circ$  en ningún punto de escucha, si en los laterales de la sala de la primera fila se cumple esta premisa, lo cumplirá toda la sala, por lo que se mide ambos extremos de la audiencia y tanto el lateral derecho (de  $29,316^\circ$ ) como el lateral izquierdo ( $37,57^\circ$ ) de la primera fila cumplen este requisito.

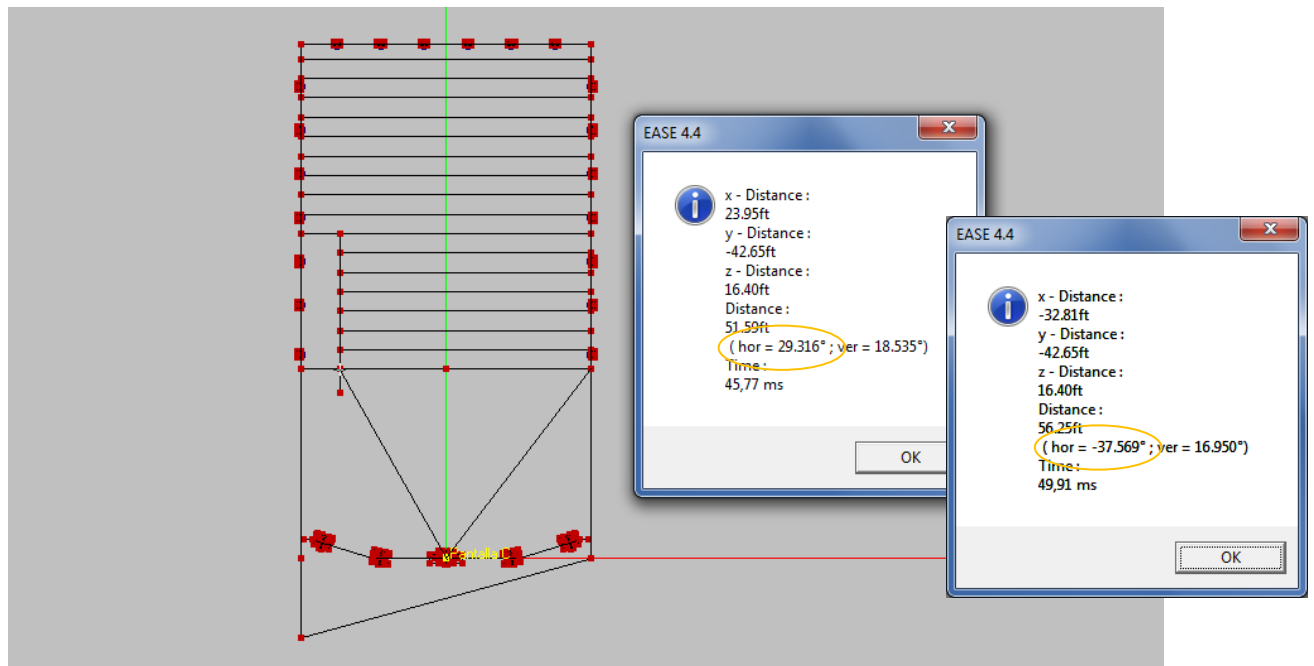


Imagen 29. Ángulo de distorsión del lateral derecho de la primera fila

Para esta simulación, además de las medidas propias de las características físicas de la sala, se necesitan los parámetros reales que describen acústicamente la sala. Dichos parámetros son el tiempo de reverberación y el ruido de fondo y se habla de ellos en los siguientes apartados 5 y 6.

La sala simulada deberá responder con el mismo tiempo de reverberación y tener el mismo ruido de fondo intrínseco que en la real. De este modo, las simulaciones que se hagan se ajustarán a la realidad y se podrán asegurar que todos los comportamientos que se verifiquen en las simulaciones, tales como incluir altavoces y sus ajustes, nuevos materiales, etc, serán los que ocurran si se introdujese en la sala dichos elementos.

#### 4.1.2 Asignación de materiales

En la simulación se asocian a las superficies los siguientes materiales de la base de datos de EASE, su uso busca que la sala simulada tenga la misma respuesta de la sala real:

- Panel DIN
- Lana mineral 15
- Manta 322-G
- Moqueta + fieltro
- Absorber
- Cristal ventana
- Techo FM-66/Mp
- Butaca tapizada + persona

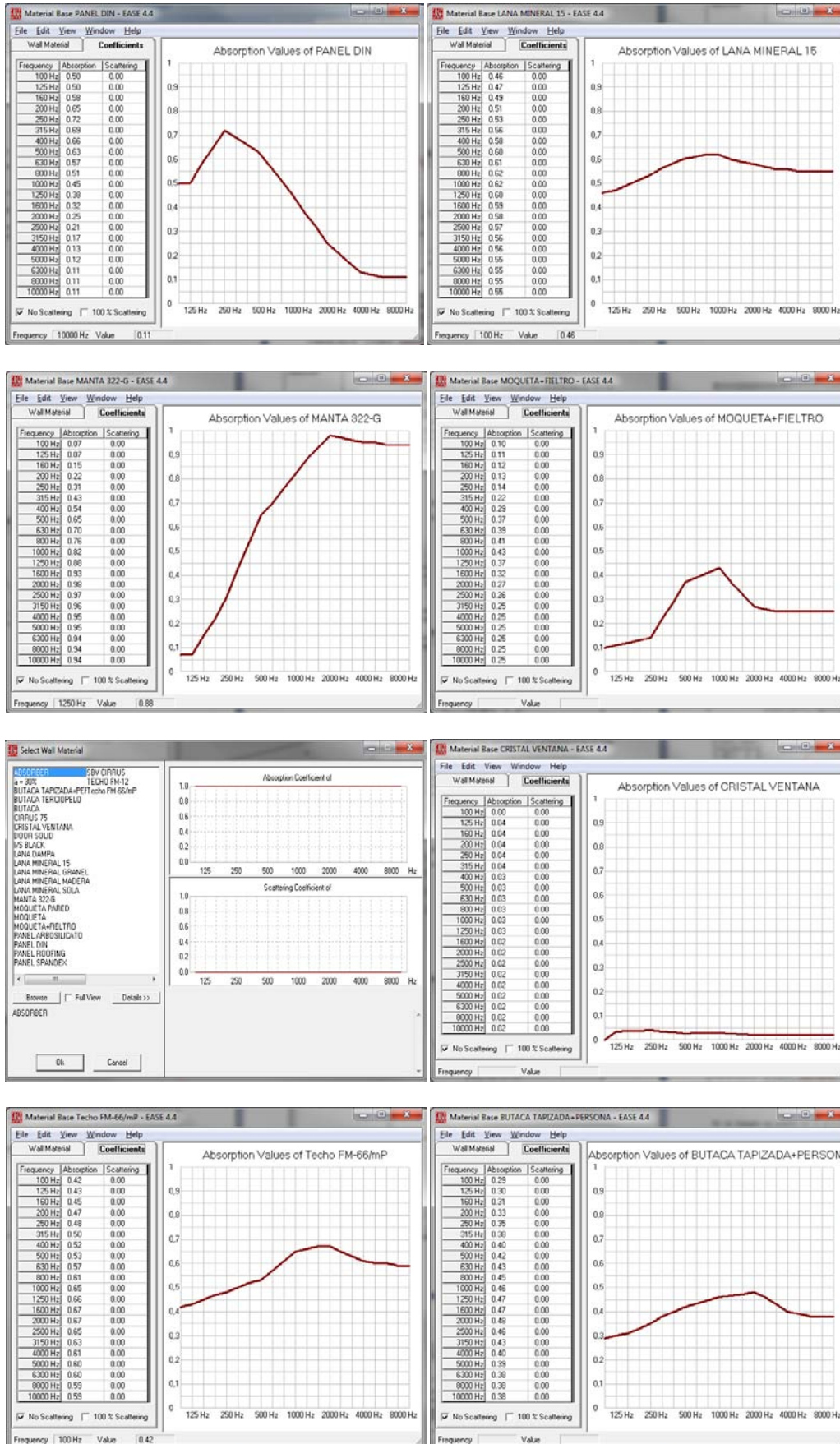


Imagen 30: Tablas de características de los materiales usados en EASE para la representación de la sala 5

Estos materiales se asocian a las superficies de la simulación.

**Tabla 2: Asociación de materiales con las superficies de la sala en la simulación**

<b>MATERIAL</b>	<b>DESCRIPCIÓN del material en EASE</b>	<b>SUPERFICIE</b>
<b>Panel DIN</b>	Panel rígido de lana de vidrio aglomerada con resinas termiendurecibles. *NRC 0.51	Paredes de la sala
<b>Lana mineral 15</b>	Lana mineral, grosor 15 mm	Pantalla
<b>Manta 322-G</b>	Fieltro semirígido de lana de roca aglomerada con ligante industrial	Pared fondo de la sala
<b>Moqueta+fieltro</b>	Moqueta sobre 3mm de fieltro. *NRC=0.3	Suelo: zona plana de la sala, escaleras zona audiencia y suelo del pasillo de entrada.
<b>Absorber</b>	Absorción total, simulando que no hay superficie.	Acceso pasillo lateral al cine
<b>Cristal ventana</b>	Vidrio de ventana normal	Ventana de proyecciones, techo y paredes del pasillo de entrada
<b>Techo FM-66/Mp</b>	Techo de lana mineral comprimida, con superficie ligeramente perforada y microperforaciones	Techo
<b>Butaca tapizada+persona</b>	Espectador en asiento tapizado	Asientos

Con estos materiales, asociados a las superficies de simulación, se calculará posteriormente el tiempo de reverberación de la sala simulada, buscando que tenga un comportamiento similar al de la sala real.

#### 4.1.3 Áreas de audiencia

Las áreas de audiencia son zonas de la sala en donde los oyentes estarán situados durante la proyección de películas.

El área de audiencia se distribuye en la simulación en 4 zonas diferenciadas (A1, A2, A3 y A4). Las zonas A1 y A3 son las butacas de la izquierda y la derecha de la sala, respectivamente y las zonas A2 y A4 son las áreas de audiencia correspondientes al centro de la sala.

Las áreas de audiencia se simulan a una altura de 1,2 metros, altura que corresponde a la de una persona de estatura media sentada en una butaca.

---

\*El NRC (Coeficiente de reducción de ruido), es uno de los primeros valores unitarios con los que se intenta agrupar la información concentrada de la curva de absorción acústica en un valor unitario. Se calcula según la norma Standard ASTM C 423 como media de los valores de absorción entre 250Hz y 2000Hz.

El software EASE representa las áreas de audiencia como las zonas limitadas en color verde.

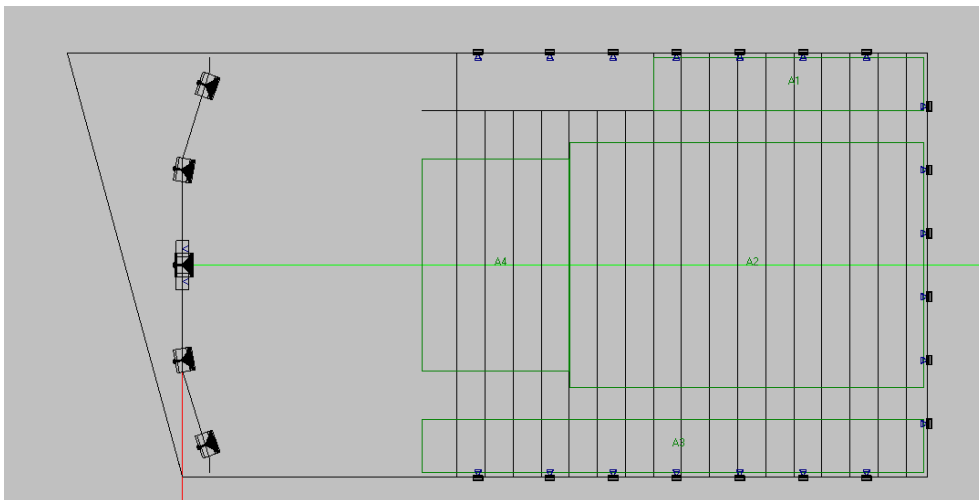
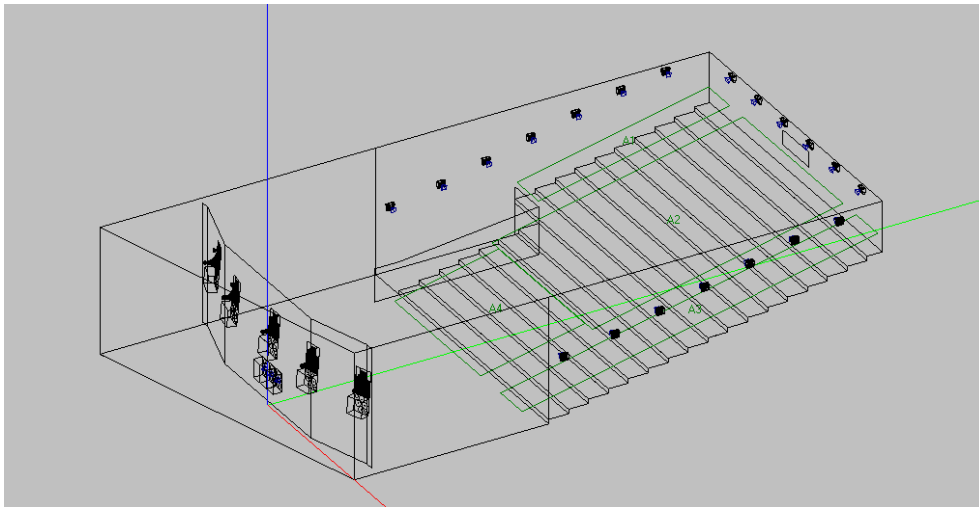


Imagen 31: En verde, límites de las áreas de audiencia definidas en la simulación

#### 4.1.4 Puntos de escucha

Se han configurado en la sala la posición exacta de cuatro oyentes, EASE los representa como una silla de color rojo.

Cabe decir que se ha configurado un oyente en el punto central (silla 1), en el punto denominado “punto dulce” de la sala, y que corresponde de la anchura de la sala distando  $2/3$  de la longitud de la sala a partir de la pantalla. Además, hay tres oyentes más (sillas 2, 3 y 4) localizados en zonas con comportamientos acústicos críticos (como esquinas, cerca de paredes...etc.) donde la respuesta acústica no suele ser uniforme y por tanto merece un estudio de mayor profundidad.

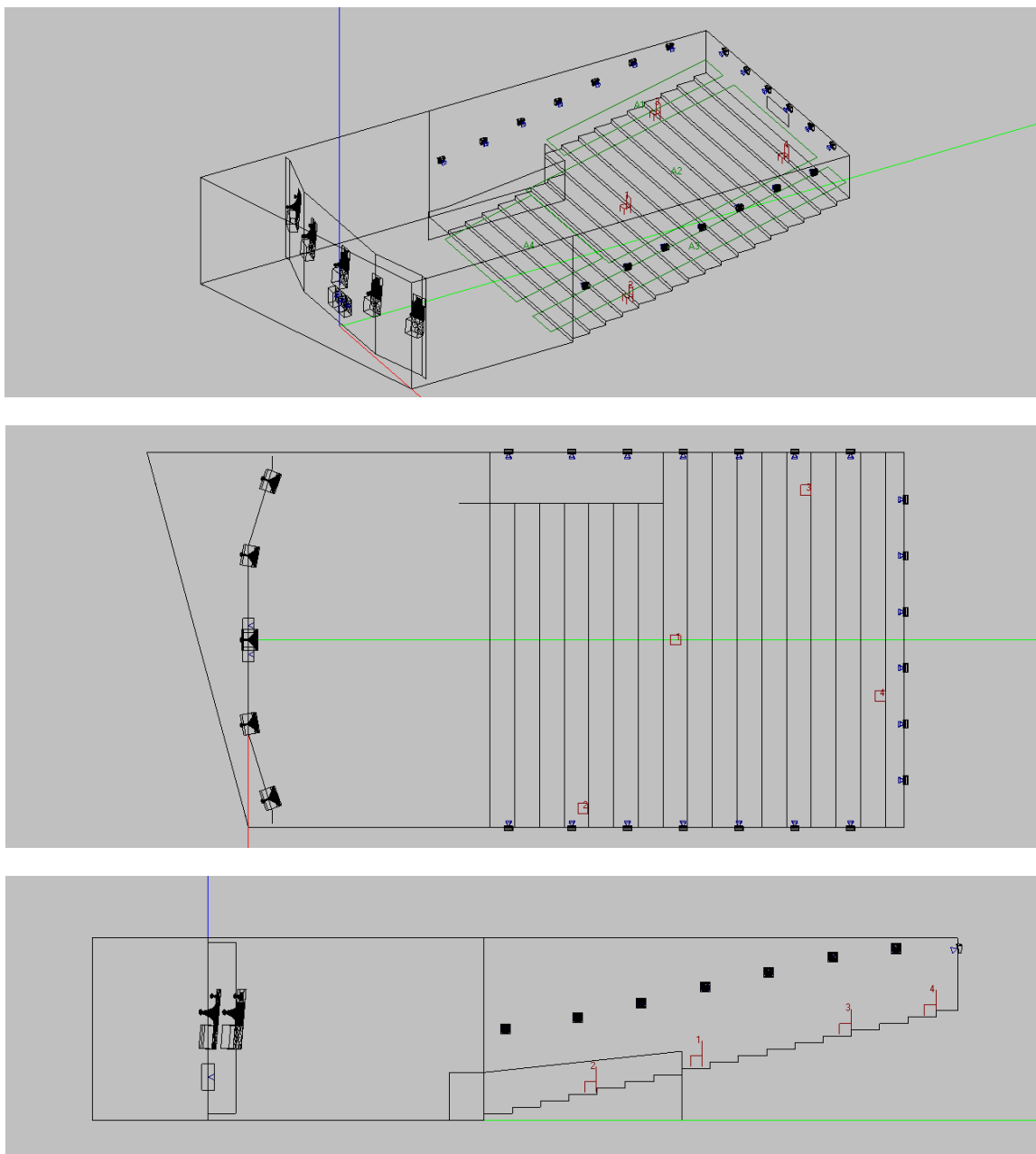


Imagen 32: Puntos de oyentes configurados en la simulación





## 5 Tiempo de reverberación

### 5.1 Definición del TR

El tiempo de reverberación es uno de los principales criterios que definen y evalúan el comportamiento acústico de una sala. Se trata de un valor físico utilizado para describir el comportamiento acústico de locales de toda clase.

El tiempo de reverberación (TR o TR60) según la norma UNE-EN ISO 3382 e IEC 60268-16 es el tiempo en segundos que tarda el nivel de presión sonora (SPL) en disminuir 60dB su nivel inicial cuando la fuente sonora interrumpe su emisión una vez alcanzado el nivel constante del nivel sonoro reverberante (punto definido como distancia crítica DC).

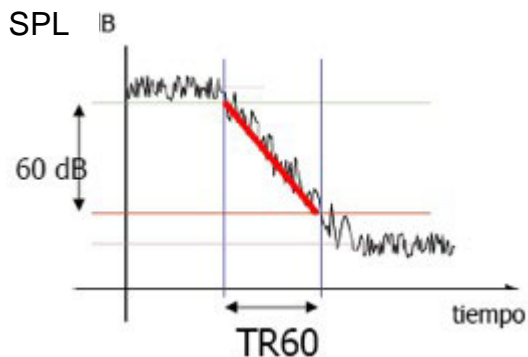


Imagen 33. Tiempo de reverberación. Caída de nivel.

Cada recinto juega un papel importante en el campo sonoro que una fuente crea en su interior, ya que dependiendo del recinto, la señal varía propagándose a través de él. Así, una fuente sonora no crea la misma respuesta acústica en todos los recintos ya que estos modifican la señal sonora que se propaga en su interior.

Los límites del recinto pueden producir reflexiones a partir de las incidencias de la onda que proviene de la fuente. En estas reflexiones, parte de la energía incidente es absorbida y parte, reflejada hacia el interior del recinto, alterando las características del sonido inicial y modificando el comportamiento sonoro inicial de la sala.

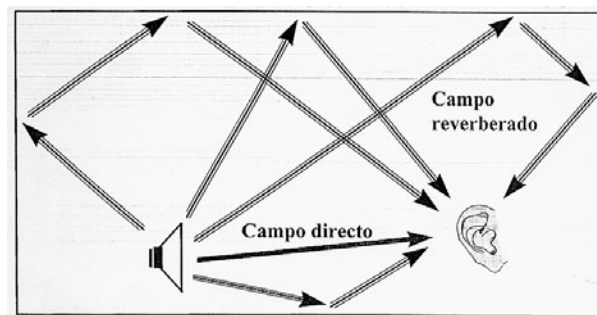


Imagen 34: Onda directa y ondas reflejadas

Esta respuesta desigual dependiendo del recinto en donde se sitúa la fuente, es debida a que cuando una fuente sonora emite ondas además de la onda directa, se producen las ondas indirectas. Así, las ondas emitidas por una fuente, llegan al oyente de dos maneras:

- De forma directa: sin obstáculo en la trayectoria fuente-oyente y donde la señal no sufre modificación salvo pérdidas producidas por la propagación de la onda en el aire proporcionales a la distancia.
- De forma indirecta: la onda sonora incide en algún obstáculo (como paredes, asientos, etc.) en el que se refleja, es esta reflexión la onda sonora la que llega al oyente (onda reflejada). En esta reflexión, parte de la energía total incidente se pierde debido a la absorción del obstáculo y otra parte de la energía se refleja hacia el interior de la sala, por tanto, la sala en sí modifica la onda que incide en sus paredes.

Como resultado, la presión sonora total que percibe un oyente es la suma de las presiones sonoras de las ondas directas e indirectas.

Cuando una fuente sonora emite un sonido continuo, la densidad de energía en la sala se incrementa hasta llegar a un estado de equilibrio donde la energía absorbida por el recinto es igual a la energía radiada por la fuente. Ese nivel de energía es denominado "estado estacionario".

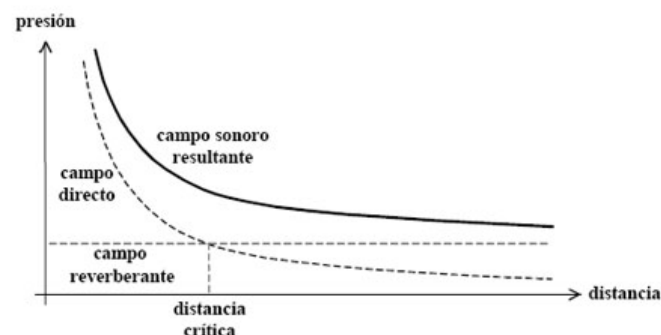


Imagen 35. Tiempo de reverberación, Definición gráfica.

En este estado de equilibrio, la energía radiada por la fuente es la misma que la absorbida por la sala. En este estado si la fuente cesa su emisión, el sonido que recibe un oyente no desaparece inmediatamente, sino que se mantienen las reflexiones y el oyente percibirá el sonido debido a las reflexiones aun existentes, disminuyendo paulatinamente la intensidad de las mismas, hasta llegar a desaparecer.

Es este fenómeno el que es conocido como reverberación y el tiempo de reverberación es el tiempo que tarda la señal, una vez que la fuente ha dejado de emitir, en disminuir hasta ser menor que el umbral de audición.

Hay dos fórmulas para calcular el tiempo de reverberación: la fórmula de Sabine (2), usada cuando los materiales tienen un coeficiente de absorción por debajo de 0,2, y la fórmula de Eyring (3), cuando los coeficientes de absorción de todas las superficies límite son parecidos.

$$TR = \frac{0.161V}{\alpha S} \quad (2)$$

$$TR = \frac{0.161V}{-S \ln(1-\alpha)} \quad (3)$$

V ≡ Volumen de la sala,  
S ≡ Superficie total sala,  
α ≡ coeficiente de absorción medio

De las fórmulas se pueden sacar dos conclusiones:

- Si el coeficiente de absorción aumenta, la sala se hace menos reverberante y disminuye su TR. Esto, traduciéndolo, quiere decir que la sala tendrá una respuesta temporal más corta y mejorará la inteligibilidad.
- Si el volumen del recinto aumenta, el tiempo de reverberación también.

Por otra parte, es recomendable que la variación de este tiempo con el grado de ocupación de la sala sea pequeña, para que las condiciones acústicas sean aceptables en cualquier circunstancia. Este hecho se hace especialmente importante para una sala de cine, ya que, esté la sala vacía o llena de público, se deberá percibir la misma calidad acústica.

## 5.2 Tiempo de reverberación en salas de cine

La medida del tiempo de reverberación se rige de acuerdo con los requisitos exigidos en la Norma UNE-EN ISO 3382, "*Medida del tiempo de reverberación de auditorios*". También se tiene en cuenta la norma SMPTE-EBU EG 18-1994 para reverberaciones y ecos.

Para el caso que nos ocupa, una sala destinada a proyección de cine, y debido a que se tendrán diálogos y palabra, es necesario una alta inteligibilidad y, por tanto, un bajo TR60 y que no existan ecos audibles.

El valor del tiempo de reverberación será el TR medio medido, resultará entonces necesario conocer y valorar el tiempo de reverberación para cada frecuencia (como lo exige la Norma UNE-EN ISO 3382) en intervalos de 1/3 de octava.

En general, el valor más adecuado de TR dependerá tanto del volumen del recinto como de su utilización prevista. La norma especifica valores de TR, dependiendo del volumen de la sala, comprendidos entre 0,5 y 2 segundos.

En la gráfica de la Imagen 376 se muestra el tiempo de reverberación recomendado por la norma para la banda de octava de 500Hz. Teniendo en cuenta que el volumen de la sala a tratar es de unos 5300 m<sup>3</sup> (unos 187 miles de pies cúbicos) el valor del TR60 apropiado para esa banda deberá ser un valor entre unos 0,52 a 0,8 segundos.

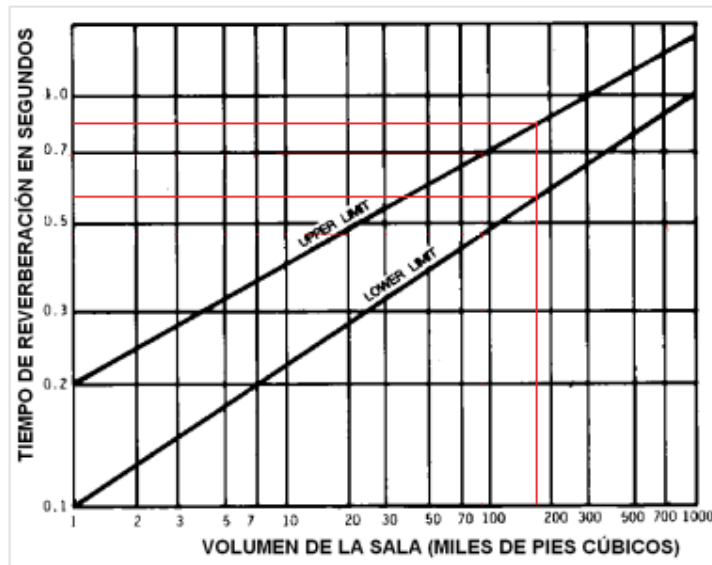


Imagen 36: Tiempo de reverberación. Gálbico de la norma SMPTE-EBUEG18-1994.

Existen valores predefinidos dependiendo del uso particular de la sala a sonorizar. Hay que tener en cuenta que cuanto mayor exigencia de inteligibilidad de la palabra requiera una sala, menor tendrá que ser el tiempo de reverberación óptimo, y será necesario que sea lo más constante posible con la frecuencia.

El TR60 deseado, según la norma, para un sala dedicada a la música es mayor que el deseado para una dedicada a la palabra (conferencias, aulas,...etc.). En el caso de salas dedicadas a la palabra lo que interesa es el campo directo así que cuanto menor sea el campo reverberante mejor. Como contrapunto en salas dedicadas a música se evita sonoridad “seca” y se opta por un TR mayor mejorando la sonoridad y el tono. En caso de la sala de estudio se debe llegar a un tiempo de reverberación bueno para ambos usos, ya que el arte visual conjuga tanto el lenguaje musical como la palabra, es decir, es necesaria una alta inteligibilidad sin llegar a tener una sonoridad seca.

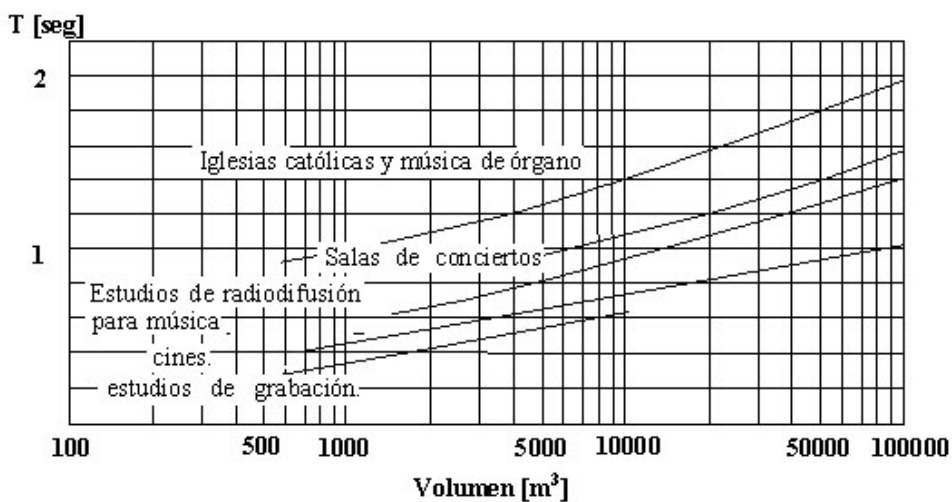


Imagen 37. Márgenes de valores recomendados de  $RT_{mid}$  en función del tipo de sala (recintos ocupados)

## 5.3 Medida In Situ del tiempo de reverberación

### 5.3.1 Proceso de medida

Para la medida del tiempo de reverberación, se realizan las medidas de los parámetros acústicos de la sala mediante el software Dirac 5.5 con el conexionado adecuado para realizar las medidas de acuerdo a la Norma UNE EN ISO 3382 y el proceso de medida explicado en el apartado 3.

- En primer lugar, se utilizó una fuente ininterrumpida de ruido de ruido de 1/3 de octava,
- se colocaron y se hicieron medidas para:  
Tres posiciones de fuente, las tres en la parte de la sala plana.  
Nueve posiciones de receptor u oyente (es decir, 9 posiciones de micrófono), repitiendo la medida dos veces, una para la posición de micro omnidireccional y otra para bidireccional en cada punto, en un total de 27 medidas.
- Para la elección de las posiciones de medida, se tiene en cuenta que cada posición este mínimo a dos metros de distancia con la pared más cercana y como distancia mínima entre fuente-micrófono

$$d_{\min} = 2 \sqrt{\frac{V}{cT}} \quad (4)$$

Con  $c \equiv$  velocidad del sonido ( $3 \cdot 10^8 \frac{m}{s}$ )

$V \equiv$  volumen de la sala ( $m^3$ )

$T \equiv$  estimación del tiempo de reverberación (s)

### 5.3.2 TR obtenido in-situ

El resultado de las medidas in-situ es la media del Tiempo de Reverberación obtenido en los nueve puntos de medida (cada medida repetida dos veces por punto, y en cada posición de medida, tres medidas correspondientes a las tres posiciones de fuente) es el de la Tabla 3. Tiempo de reverberación en sala 5.

Tabla 3. Tiempo de reverberación en sala 5

Frecuencia (Hz)	50	63	80	100	125	160	200	250
Tiempo de reverberación (s)	1,515	1,290	0,976	0,734	0,571	0,640	0,565	0,473
Frecuencia (Hz)	315	400	500	630	800	1000	1250	1600
Tiempo de reverberación (s)	0,451	0,451	0,426	0,353	0,423	0,413	0,509	0,577
Frecuencia (Hz)	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
Tiempo de reverberación (s)	0,538	0,508	0,535	0,506	0,498	0,504	0,437	0,352

La norma aconseja, para salas de cine, que el tiempo de reverberación para el volumen de una sala de nuestras características en la banda de 500 Hz debe estar entre 0,52 y 0,8 segundos, en nuestro caso tenemos que para esa frecuencia el tiempo de reverberación es de 0,426 segundos, por lo que la sala tendrá una respuesta algo “seca”.

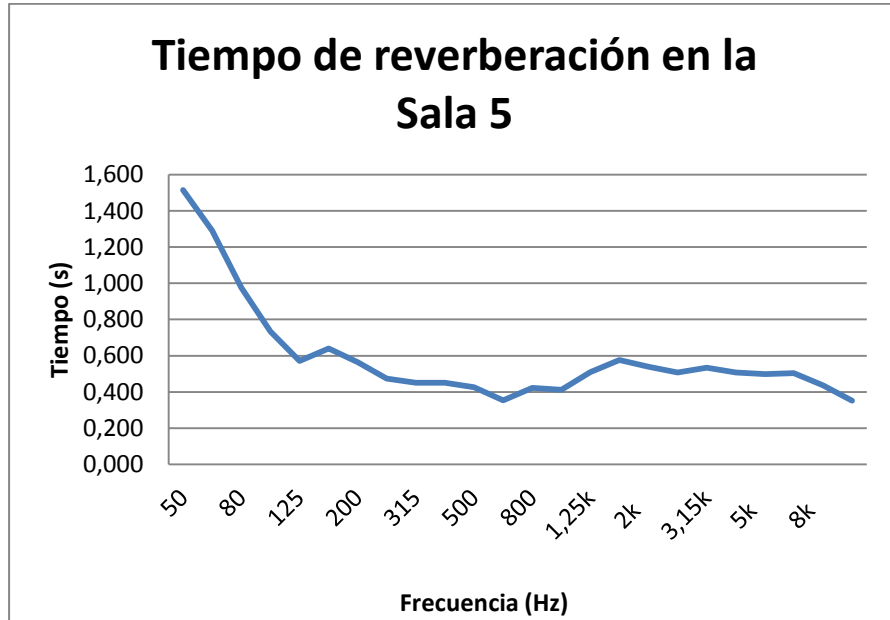


Imagen 38. Gráfica de relación entre el tiempo de reverberación en la sala y la frecuencia

#### 5.4 Obtención del tiempo de reverberación con EASE 4.3

El programa de simulación EASE nos da las dos opciones para el cálculo del tiempo de reverberación; calcularlo mediante la fórmula de Sabine o por la de Eyring. Para ajustar más los cálculos a las características de la sala, se elige en el cálculo la utilización de la fórmula de Eyring.

En primer lugar, se calcula el tiempo de reverberación de acuerdo a las propuestas estudiadas en teoría, comenzando por ajustar el  $TR_{500Hz}$  en función del volumen de la sala y ajustándolo para las demás bandas de tercios de octava.

El tiempo de reverberación que obtiene inicialmente la simulación de la sala según las medidas tomadas “in-situ” son las dadas en la columna señalada en la Imagen 39.

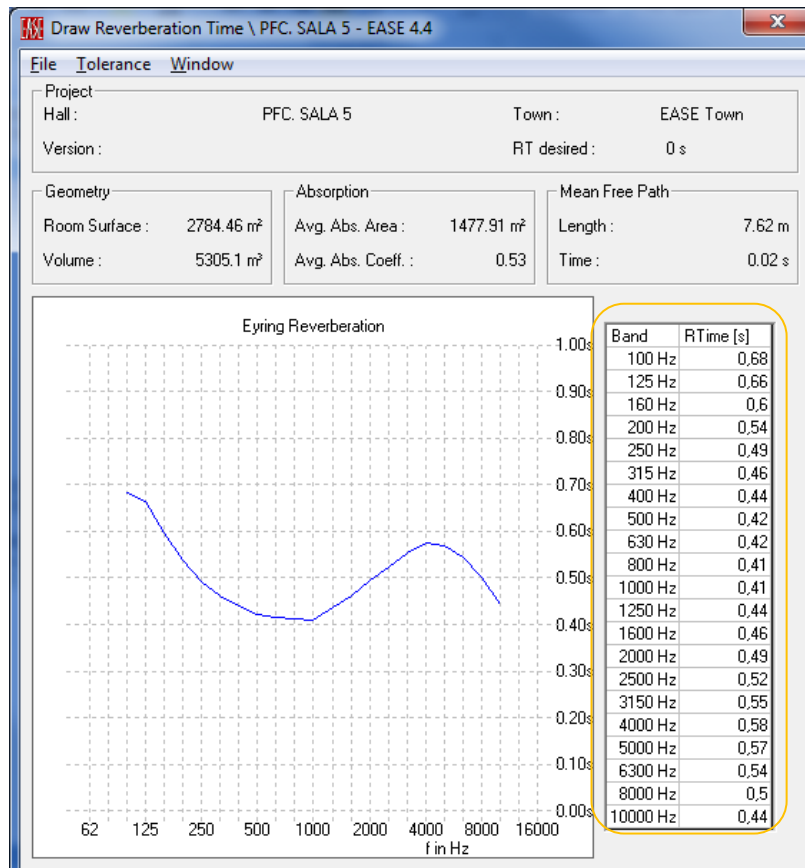


Imagen 39: Valores del tiempo de reverberación de la sala 5 en EASE.

Se comprueba que los valores de tiempo de reverberación obtenidos en la simulación son mejores que los recomendados, comprendidos entre 0.5 y 2 segundos entre 100 y 10kHz. Por lo que se puede asegurar que la sala será una sala óptima para realizar la instalación del equipo de sonido de cine.

En la Imagen 40, se comparan los valores de la sala real y la simulada del tiempo de reverberación para las frecuencias definidas en la simulación, de 100 a 10kHz.

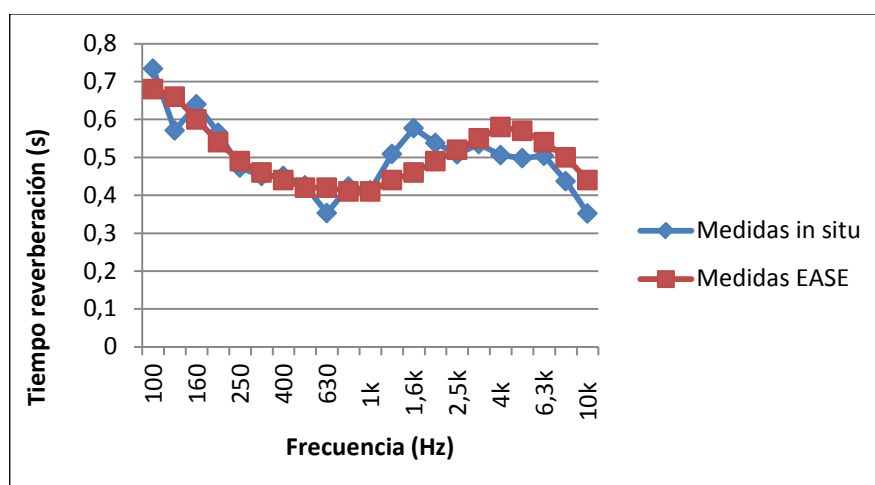


Imagen 40. Comparación entre las medidas de tiempo de reverberación in situ y en la simulación.





## 6 Ruido de fondo

### 6.1 Definición del ruido de fondo

El ruido de fondo es el nivel de presión sonora existente en la sala sin ninguna fuente sonora funcionando.

Puede ser de dos tipos:

- Ruido generado en interior: por el sistema de climatización, iluminación, megafonía, audiencia...
- Ruido procedente del exterior: tráfico, salas adyacentes...

Para poder comprender de manera correcta un mensaje, es necesario que la señal útil supere el nivel de ruido de fondo.

Es considerado un efecto no deseado y, para minimizar su efecto, existen varios métodos de insonorización y aislamiento. Muchos de estos aislamientos se realizan en la construcción del edificio, antes de la sonorización específica de la sala.

Una de las formas de valorar la aceptabilidad de un ruido en un entorno, es utilizar las curvas de ponderación de ruido (curvas NC, "Noise Criteria").

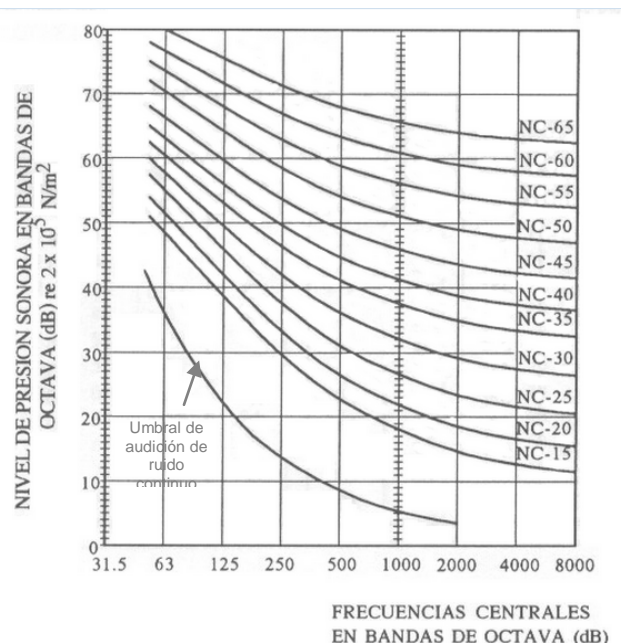


Imagen 41. Curvas de valoración de ruido de fondo NC

Además, las salas de cine se clasifican según una serie de curvas de la ASHARAE (American Society of Heating, Refrigerating, and Air-conditioning) como salas de varios tipos:

- Tipo A: Salas revisadas y de categoría premier, cuyo ruido está comprendido entre las curvas NC20 y/o NC25

- Tipo B: Salas nuevas y que cumplen la norma (first-run), primera calidad, cuyo ruido está comprendido en la curva NC30
- Tipo C: Salas de segunda calidad y por tanto con más ruido (Sub-run), cuyo ruido está comprendido en la curva NC35
- Tipo D: Salas poco aceptables que pueden conllevar problemas en la inteligibilidad: NC45

En la norma SMPTE RP 141-1995 (Background Acoustic Noise Levels and Review Rooms, revisión del año 1990) se define la calidad aceptable exigida para un cine con respecto al ruido de la sala: Según esta normal, el ruido de fondo ha de ser igual o menor a la curva NC30 de la ASHARAE: la curva de tipo B (curva NC30).

En la Tabla 4 aparecen valores recomendables para algunos recintos y su nivel sonoro equivalente:

**Tabla 4: Valores de ruido de fondo recomendables en diferentes recintos**

TIPOS DE RECINTOS	CURVA NC RECOMENDADA	EQUIVALENCIA EN dBA
Estudios de grabación	15	28
Salas de conciertos y teatros	15-25	28-38
Hoteles (habitaciones individuales)	20-30	33-42
Salas de conferencias / Aulas	20-30	33-42
Despachos de oficinas / Bibliotecas	30-35	42-46
Hoteles (vestibulos y pasillos)	35-40	46-50
Restaurantes	35-40	46-50
Salas de ordenadores	35-45	46-55
Cafeterías	40-45	50-55
Polideportivos	40-50	50-60
Talleres (maquinaria ligera)	45-55	55-65
Talleres (maquinaria pesada)	50-65	60-75

## 6.2 Medida In Situ del ruido de fondo

### 6.2.1 Proceso de medida: Sonómetro

El proceso de medida del ruido de fondo y su nivel máximo se detalla en la norma SMPTE RP 141-1995

En el caso de estudio, las principales fuentes de ruido son los sistemas de ventilación y aire acondicionado, los sistemas eléctricos y/o mecánicos de la sala, los ruidos externos de salas anexas y el ruido generado por el público. Para el estudio no se consideran ruidos del exterior procedentes de tráfico, aviones o similares y también se ignoran los ruidos de frecuencias inferiores a los 20 Hz (provocados por vibraciones)

Para su medida, en primer lugar, el sistema de medida (micrófono del sonómetro y software Dirac) fue calibrado y en segundo lugar, ya en campo, se realizan medidas en las mismas 9 posiciones de micrófono definidas para el tiempo de reverberación de la sala, asegurando que las distancias entre los puntos de medida distan al menos 1,2 metros de la pared más cercana del área de audiencia (la altura de medida de micrófono será de 1,2 metros, igual a la altura

a la que estará el oído de una persona de estatura media sentada en un asiento). Además, para las medidas del ruido de fondo, se midió con el sonómetro los niveles de ruido en cada uno de estos puntos para obtener los resultados mediante los dos métodos de medida.

Dichas medidas se realizan de acuerdo a la normas ANSI S1.13 y ANSI S1.11, medidas realizadas en octavas o tercios de octavas.

El contenido en frecuencias de un sonido se agrupa en bandas de frecuencia. Cada banda está compuesta por un número determinado de frecuencias: los extremos y la frecuencia central, mediante la cual se designa cada banda. Las bandas pueden poseer un mayor o menor contenido de frecuencias dependiendo de su anchura de banda. Las bandas de octava (1/1 octava) se definen como un intervalo de frecuencias entre dos sonidos cuyas frecuencias centrales son dobles una de la otra. Cuando se requiere mayor resolución, las banda de tercio de octava (1/3 octava) se obtienen al dividir cada banda de octava en tres intervalos, logarítmicamente iguales.

Es preferible hacer las medidas en tercios de octava, a partir de estas medidas, también se puede obtener el valor en octavas mediante la relación:

$$\text{Banda de octava SPL} = 10 \log_{10} \left( 10^{\frac{L_1}{10}} + 10^{\frac{L_2}{10}} + 10^{\frac{L_3}{10}} \right) \quad (5)$$

Con  $L_1$ ,  $L_2$ ,  $L_3$ = Valor de presión sonora del primer tercio de octava, del segundo tercio de octava y del tercer tercio de octava respectivamente.

## 6.2.2 Ruido obtenido

Con los datos obtenidos in situ en los 9 puntos de medida, se realiza la media de los valores entre las repeticiones, se halla la media de todos los valores y se obtiene una distribución de ruido como la de la Imagen 42.

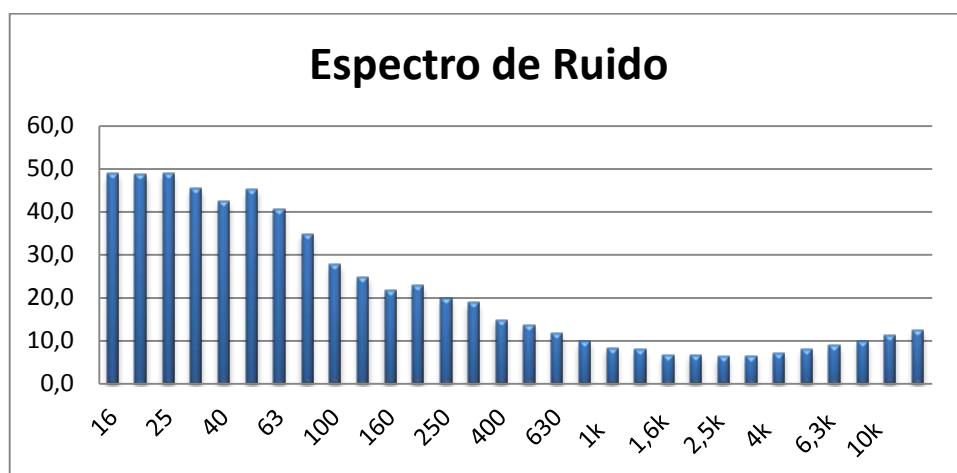


Imagen 42. Ruido de fondo. Niveles sonoros en tercios de bandas de octava de frecuencia

**Tabla 5: Ruido obtenido en las medidas in-situ**

Frecuencias (Hz)	Ruido Medio en la sala (dB)
16	48,8
20	48,7
25	48,8
31,5	45,4
40	42,5
50	45,2
63	40,7
80	34,9
100	27,6
125	24,7
160	21,7
200	22,9
250	19,9
27315	18,9
400	14,8
500	13,6
630	11,8
800	9,9
1k	8,3
1,25k	8,0
1,6k	6,7
2k	6,7
2,5k	6,3
3,15k	6,5
4k	7,1
5k	8,0
6,3k	8,9
8k	10,0
10k	11,2
12,5k	12,6

Si la comparamos con las curvas NC30, NC35 y NC40 definidas en bandas de octava se puede comprobar en la Imagen 43 que el ruido de fondo permanece por debajo de las curvas y que por lo tanto, cumple la norma.

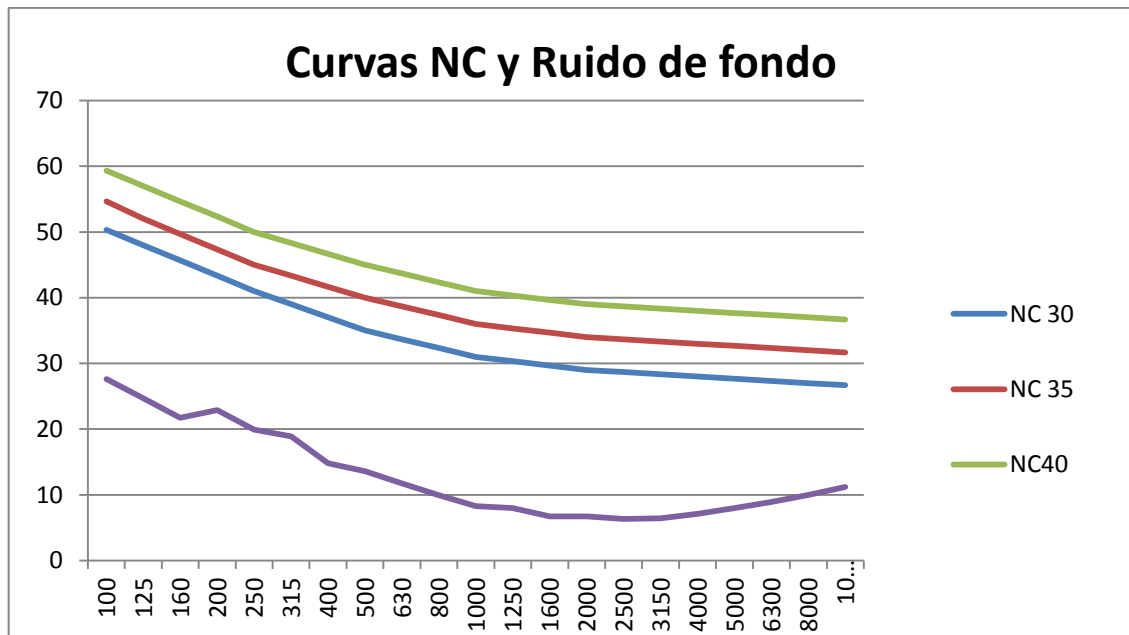


Imagen 43. Comparación del Ruido de fondo de la Sala 5 y las curvas NC30, NC35 y NC40

### 6.2.3 Ruido de fondo en EASE 4.4

Para que las medidas se adapten a la realidad de la sala, hay que considerar el ruido medido in-situ también en la simulación, por lo que se introducen los valores medidos en la sala de ruido de fondo en la simulación.

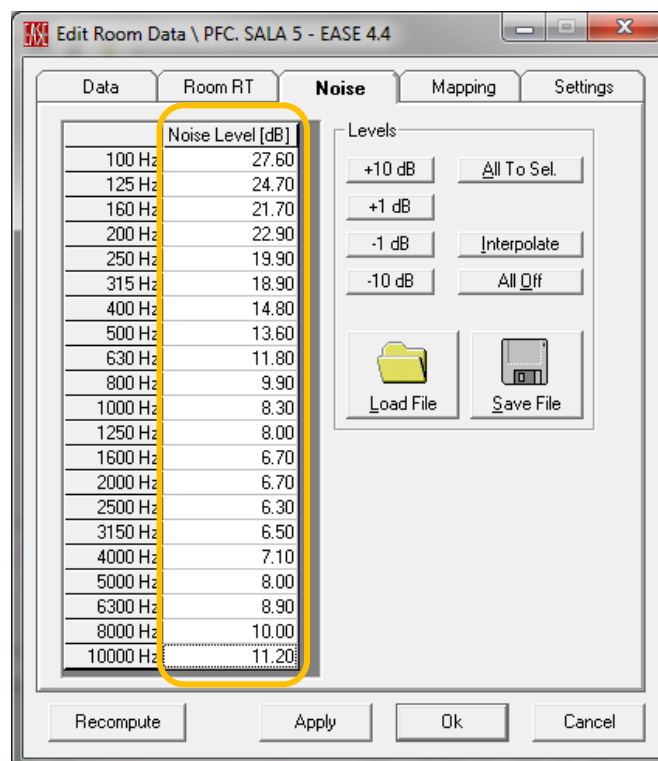


Imagen 44: Nivel de ruido introducido en la simulación de la sala 5



# CAPÍTULO 3: ESTUDIO ELECTROACÚSTICO

## 7 Sistemas de reproducción de sonido multicanal en cine

El sonido multicanal nace en la industria del cine para dar espacialidad, realismo y provocar efectos envolventes en los oyentes durante la reproducción de películas. Más tarde se extiende a la reproducción de música.

En cine, han existido varios métodos de recubrimiento: antiguamente, el audio de una película se reproducía a través de un solo altavoz, sonido monoaural (mono) o a través de dos, izquierdo y derecho, sonido estéreo y a lo largo de las últimas décadas, el sonido multicanal ha ido evolucionando y perfeccionándose a la percepción del sonido del oyente incorporando el surround.

El sistema surround se refiere al uso de múltiples canales de audio. En las salas actuales de cine se utilizan diferentes configuraciones surround que dependen de varias características como del tipo de señal de audio grabada (analógica/digital: en la actualidad, el formato analógico está casi obsoleto), según el soporte de grabación (película de 35mm o disco duro/óptico), del su codificación-decodificación, etc:

### DOLBY DIGITAL

Sistema 5.1; 5 canales independientes (L, C, R, LS y RS) más uno de efectos en baja frecuencia LFE. Su codificación es AC-3 (codificación perceptual que se basa en eliminar los sonidos grabados no percibidos por el oído).

#### Dolby Digital Cinema System

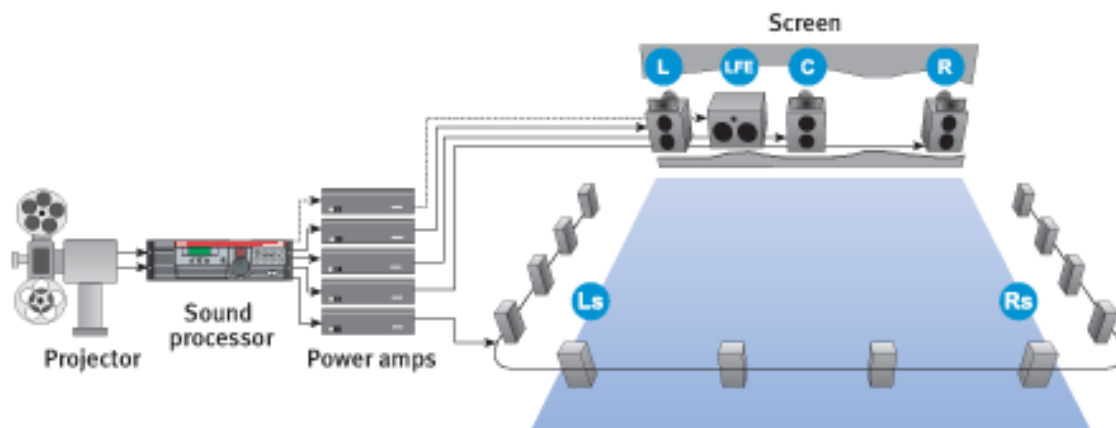


Imagen 45: Sistema de audio Dolby digital



## DOLBY DIGITAL SURROUND EX (THX SURROUND EX).

Es un Dolby Digital 5.1 con codificación matricial, por lo que es un sistema 6.1 (5 canales de pantalla, L, C, R, LS, BS, RS y un LFE). Los canales LS, el RS y BS pasan por un codificador matricial del que salen las señales LSt y RSt. Añade surround traseros pero es un 5.1 porque forman parte del LSt Y RSt. Este formato fue desarrollado por Dolby y Lucasfilm THX en 1999 y, como curiosidad, en parte es famoso porque fue usado por primera vez en la película "La guerra de las Galaxias Episodio I: La amenaza fantasma"

Provee de una forma económica compatibilizar con las películas de 5.1 (es de fácil conmutación con el sistema Dolby Digital 5.1.) un sexto canal, surround trasero, que mejora la localización de los efectos. Como resultado, se puede reproducir sin pérdidas de calidad en los sistemas estándar de 5.1 o en 6.1 y 7.1 en sistemas con decodificador Surround EX y altavoces adicionales.

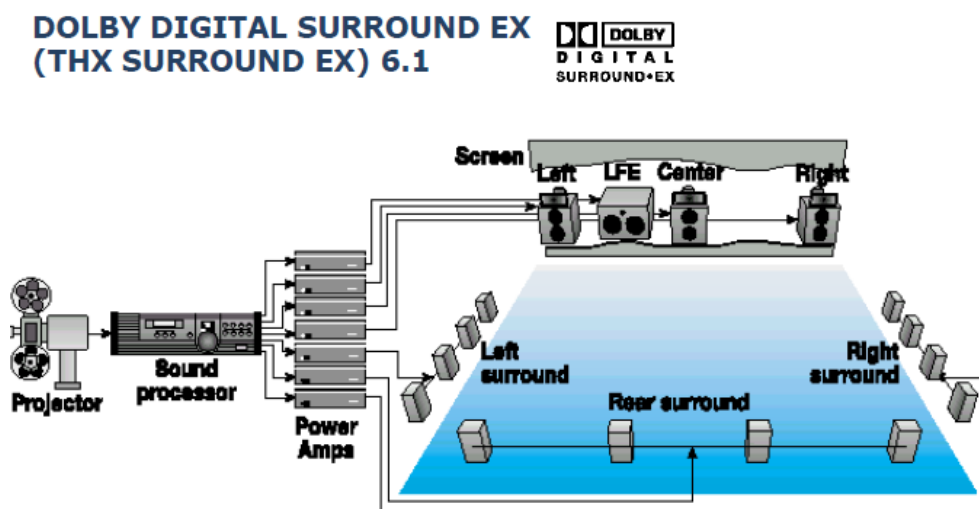


Imagen 46: Sistema de audio Dolby Digital Surround EX

SDDS (Sony Dynamic Digital Sound).

Formato 7.1, 5.1 o 4.0 con codificación ATRAC con compresión 5:1. Es compatible con Dolby analógico ya que las pistas se alojan en los márgenes de las películas estándar de 35mm, sin ser incompatibles con las pistas ópticas analógicas.

DTS (Digital Theatre System).

Permite un 6.1 o un 5.1, es un formato de cine y doméstico con codificación Coherent Acoustics (compresión 4:1). Es el único sistema usado en películas de 70mm en cine. La respuesta en frecuencia de los canales frontales es de 20 a 20kHz, de los surround de 80 a 20kHz y de los graves de 20 a 80Hz.

DTS ES (Extended Surround).

Incluye dos variantes, DTS-ES Matrix y DTS-ES Discrete 6.1, dependiendo de su masterización y grabado de sonido. DTS-ES provee sonido 6.1 discreto; en sistemas 7.1, los dos altavoces traseros del centro reproducen en mono. DTS-ES Matrix provee sonido 5.1 discreto con un sonido trasero envolvente.

Todos los cines siguen las normas de mezcla multicanal ITU-R BS.775-1 y SMPTE RP 173.

## 7.1 Formato digital en la sala 5

En los cines Kinépolis se utiliza el formato de reproducción de sonido multicanal tipo 5.1., digital y que llega a través del servidor directamente desde el soporte en disco duro.

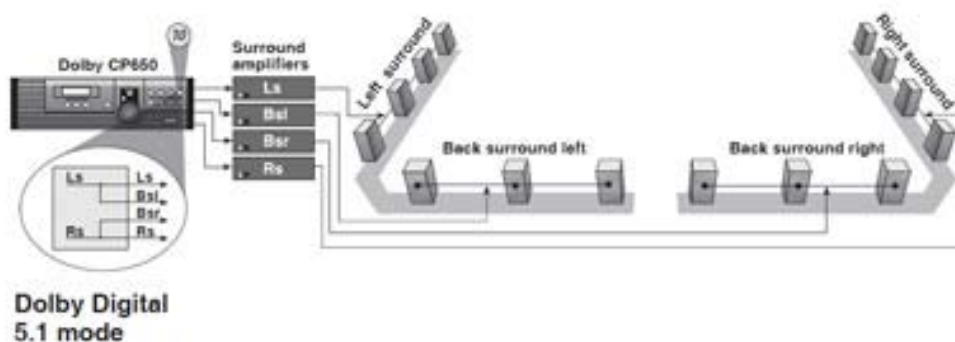


Imagen 47: distribución del sonido en los canales surround en la sala 5

Su codificación-decodificación es discreta, es decir, que los canales vienen grabados por separado y se necesita compresión digital de datos.

En configuraciones anteriores, la sala utilizaba reproducción multicanal SDDS, de ahí la existencia y uso de 5 canales de pantalla. En la actual configuración, son usados tres de los canales de pantalla y en el proyecto se plantea la sonorización de la sala con los cinco canales de pantalla dada su instalación en el cine, se aprovechan los mismos y como otra mejora a implementar, se configura el sistema de reproducción como un 6.1 (añadiendo el canal surround trasero) en el estudio.

En una sala de cine común se usa el canal C para llevar únicamente el diálogo y los altavoces laterales para el sonido estéreo. Con este sistema no se carga con información común los canales L y R de pantalla y los oyentes más lejanos distinguen la procedencia del mensaje sonoro.

## 7.2 Situación y características de los altavoces

Después de realizar la simulación completa de la sala bajo estudio, el paso siguiente en la simulación de EASE es localizar los altavoces en la sala.

En la simulación se han creado, a partir de unos modelos dados por el fabricante JBL, los altavoces de surround y subwoofer de la sala con las mismas características que las de los altavoces reales (modificando algunas de las características del modelo JBL para adaptarlas al KCS), ya que el fabricante KCS no proporciona los archivos necesarios para la simulación en EASE como hacen otros fabricantes. Considerando su posición real, se han colocado los altavoces siguientes.

Tabla 6: Modelos y características de los altavoces en la sala 5

Modelo altavoz (los usados en simulación en gris)		Potencia admisible	Sensibilidad a 1 kHz	Resistencia
<b>ALTAVOZ DE PANTALLA JBL 5674</b> Sistema de tres vías	Modelo 4648A para <b>Graves</b>	2400 W	103 dB SPL	4 $\Omega$
	Modelo 4648A para <b>Medios</b>	100 W	114 dB SPL	8 $\Omega$
	Modelo 2446H para <b>Agudos</b>	75 W	112 dB SPL	8 $\Omega$
<b>ALTAVOZ DE SURROUND KCS SR12</b> JBL 8350(descripción EASE 8350 1)		200 W	97 dB SPL	8 $\Omega$
<b>ALTAVOZ DE SUBWOOFER KCS C-218A</b> JBL 4642 A (descripción EASE 4642 asubwofercarcasa)		1200 W	101 dB SPL	4 $\Omega$

En la simulación de EASE, el apuntalamiento de los altavoces, se determina por tres ángulos: el horizontal, el vertical y el de rotación. El ángulo horizontal es el que forma con el eje -Y la proyección del eje del altavoz en el plano horizontal. El ángulo vertical es el que forma el eje del altavoz con el plano horizontal. El ángulo de rotación es el de giro del altavoz alrededor de su eje.

Una vez situados los altavoces, posiciones y direccionamientos acordes a los existentes en la sala, hay que dar sus datos de posición y su potencia.

En un primer momento, la potencia eléctrica de los altavoces en la simulación, debe aprovechar la potencia máxima de los altavoces, por lo tanto los primeros cálculos serán a potencia máxima y luego se ajustará la potencia de cada uno de ellos para adaptar la respuesta de la sala a los requisitos de ecualización y niveles.

Los altavoces en la simulación de la sala tras su simulación son los de la Tabla 7.

**Tabla 7: Altavoces en simulación de la sala 5, nombre y modelo**

	Nombre del altavoz en la simulación	Modelo Altavoz
1	Pantalla C	5674
2	Pantalla CL	5674
3	Pantalla LEFT	5674
4	Pantalla CR	5674
5	Pantalla RIGHT	5674
6	Surround R1	8350 1
7	Surround L1	8350 1
8	Surround R2	8350 1
9	Surround L2	8350 1
10	Surround R3	8350 1
11	Surround L3	8350 1
12	Surround R4	8350 1
13	Surround L4	8350 1
14	Surround R5	8350 1
15	Surround L5	8350 1
16	Surround R6	8350 1
17	Surround L6	8350 1
18	Surround R7	8350 1
19	Surround L7	8350 1
20	Surround T3	8350 1
21	Surround T2	8350 1
22	Surround T1	8350 1
23	Surround T4	8350 1
24	Surround T5	8350 1
25	Surround T6	8350 1
26	Canal LFE	4642Asubwoofer
27	Canal LFE2	4642Asubwoofer
28	Canal LFE1	4642Asubwoofer

## 7.2.1 Canales de pantalla

En la sala 5, el modelo de altavoz utilizado en la simulación para los canales de pantalla es el JBL 5674.

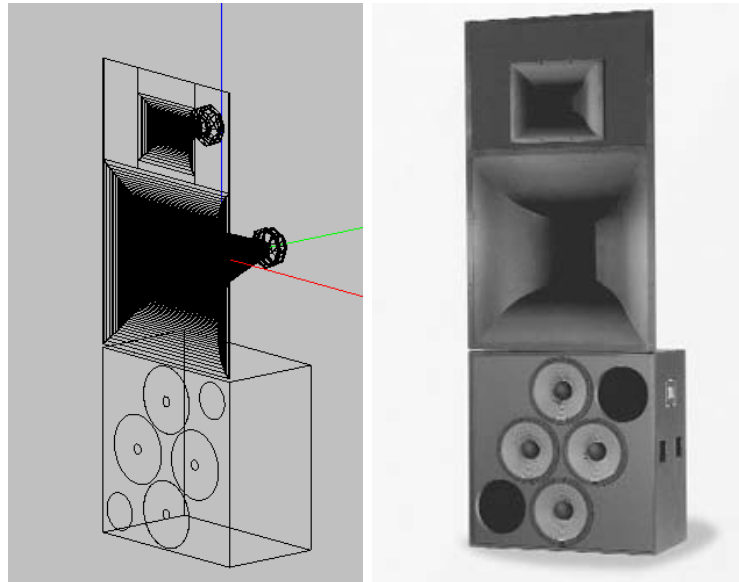


Imagen 48: Altavoz de pantalla JBL 5674 en la simulación y en la realidad.

El altavoz de pantalla JBL 5674 es un sistema de tres vías que está compuesto por una caja de graves de 4 altavoces distribuidos en forma de diamante (distribución que permite a los cuatro altavoces de graves dar la máxima potencia y minimizar interferencias destructivas causadas por usar múltiples altavoces en la misma banda de frecuencias) y por dos conos, uno para emisión de frecuencias medias y otro para altas.

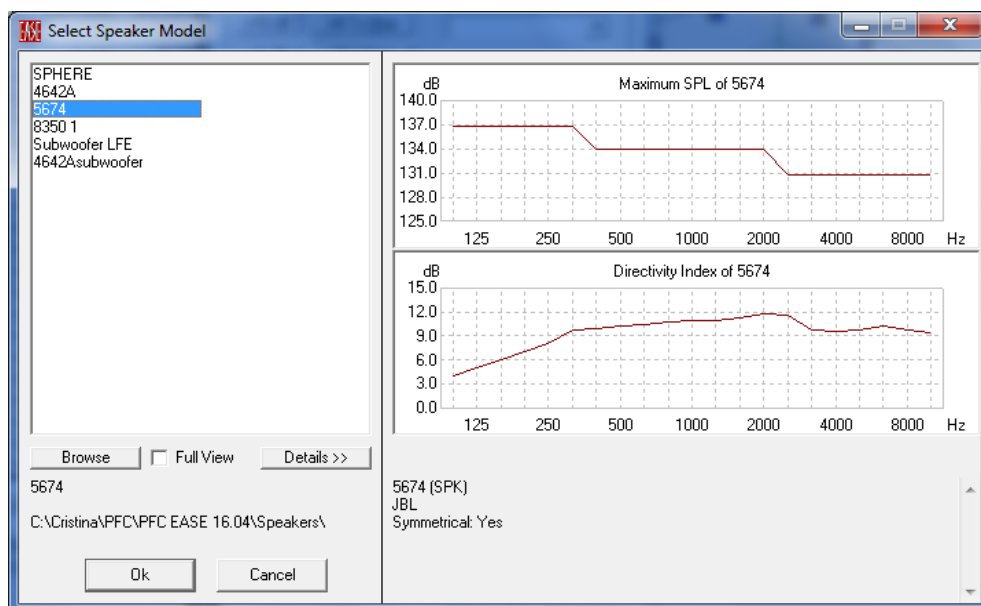


Imagen 49. Detalle del altavoz de pantalla JBL 5674 en la simulación

Características:

- Sistema de amplificación de tres vías, consigue así una salida óptima con la menor distorsión.
- Control de frecuencias medias para mejorar la relación del nivel directo/reverberante.

Tabla 8: especificaciones de altavoz de pantalla en la simulación

Especificaciones	ALTAVOZ JBL 5674
Rango de frecuencias	35 Hz- 16kHz (-10dB)
Respuesta en frecuencia	45 Hz – 12.5 kHz ( $\pm 3$ dB)
Ángulos de cobertura HxV	80° x 45° (media de 300Hz a 16 kHz)
Factor de directividad Q	10.4
Índice de directividad DI	11
Salida máxima	117 dB-SPL a 10m
Nivel de pico a 1m (LFXMFxHF)	143 / 140 / 137 dB
Frecuencias de cruce (LF/MF)	297 Hz
Frecuencias de cruce (MF/HF)	2.5kHz
Sensibilidad de 1W, 1m (LF/MF/HF)	103 / 114 / 112 dB
Impedancia nominal (LF/MF/HF)	4 (por par en paralelo) / 8 / 8 $\Omega$
Dimensiones	2895.6 x 1118 x 863.6 mm
Peso neto	171.69 kg

En cuanto a su situación, los altavoces de pantalla se sitúan justo detrás de la pantalla alineados acústicamente con la parte central de la sala y de manera equidistante para cubrir la horizontal de la pantalla de manera similar a los de la Imagen 50: Colocación de los altavoces de pantalla.



Imagen 50: Colocación de los altavoces de pantalla

Estos se deben situar a  $\frac{2}{3}$  la longitud vertical de la pantalla, es decir, en esta sala (con una pantalla de 8 metros de altura) tendrán que estar a unos 5,3 m sobre el suelo.

Para un mejor recubrimiento se usan bocinas de media/alta frecuencia con cobertura horizontal de  $80^\circ$ . Para conseguir más campo directo se hace que los ejes de los altavoces laterales apunten hacia el centro.

También los ejes horizontales deben apuntar a  $\frac{2}{3}$  de la longitud de la sala y se giran hacia el centro los altavoces Pantalla CL, Pantalla CR, Pantalla Left y Pantalla Right  $-170^\circ$ ,  $170^\circ$ ,  $-160^\circ$  y  $160^\circ$  grados respectivamente. Además, se inclinan verticalmente  $-5^\circ$  grados.

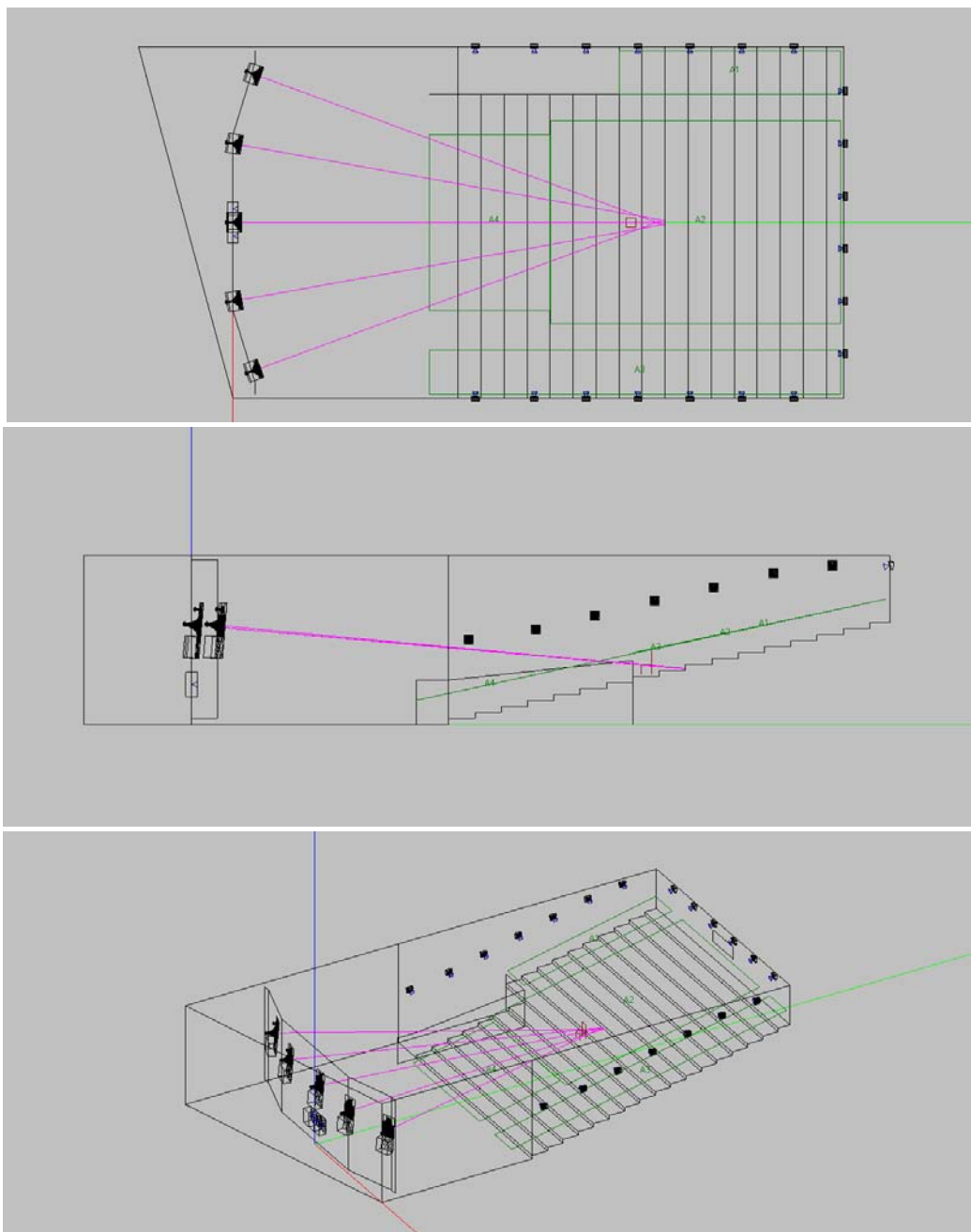


Imagen 51: Direccionamiento e inclinación de los altavoces de pantalla en la simulación

## 7.2.2 Canales de surround

En la sala 5 el modelo de altavoz surround utilizado es el KCS SR-12 y en la simulación es el altavoz JBL 8359 adaptado a las características de los altavoces surround reales:

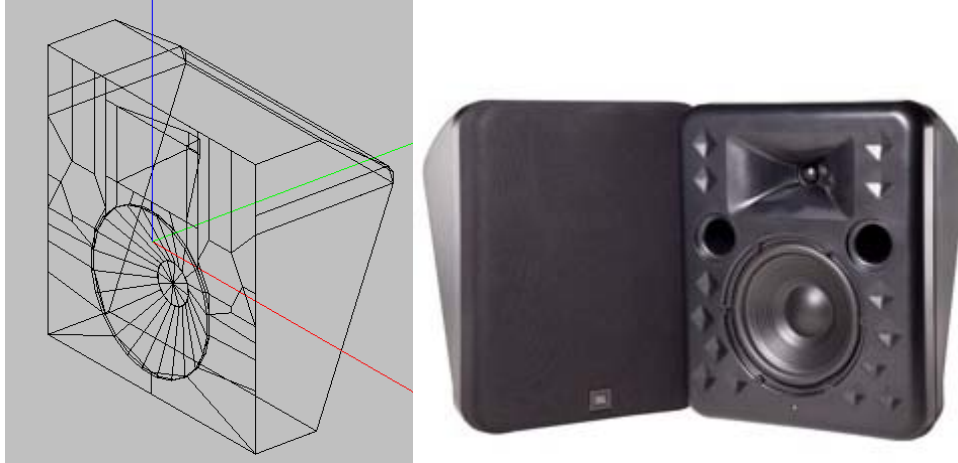


Imagen 52: Altavoz en la simulación, modelo JBL 8359



Imagen 53: Altavoz surround en sala 5. Modelo KCS SR-12

Tabla 9: Comparación de las especificaciones del altavoz de surround real en sala y el usado en la simulación

	ALTAVOZ KCS SR-12(en sala)
Rango de frecuencias	40 Hz- 20 kHz
Ángulos de cobertura HxV	90° x 60°
Potencia	200 W
Ángulos de cobertura HxV	90° x 60°
Frecuencia de cruce	1.5 kHz
Sensibilidad de 1W, 1m	97 dB
Impedancia nominal	8 Ω
Dimensiones	50 x 53 x 27 cm
Peso neto	17 kg

Las características definidas en EASE para este altavoz son las de la Imagen 54.



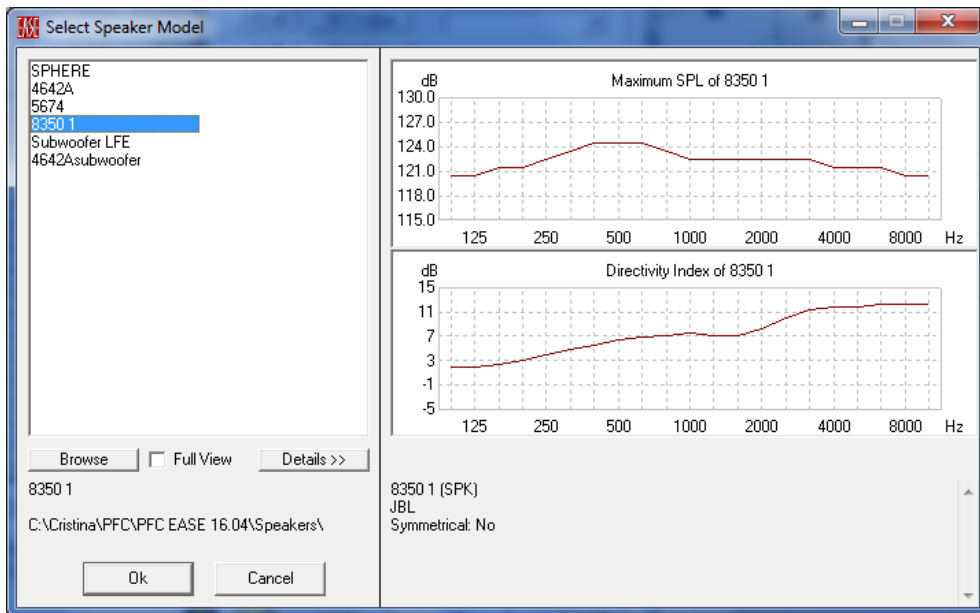


Imagen 54: Detalles altavoz surround en la simulación

La sala de estudio tiene 20 altavoces surround: 7 surround derechos, 7 surround izquierdos y 6 traseros.

En cuanto a posiciones de los mismos, la inclinación de los altavoces es 14 grados apuntando a la audiencia (hacia abajo).

### 7.2.3 Canal de LFE o subwoofer

En la sala 5 el modelo de altavoz de efectos en bajas frecuencias o subwoofer (LFE) es el altavoz modelo KCS C-218A y el altavoz utilizado en la simulación es uno de características similares, el JBL 4642A

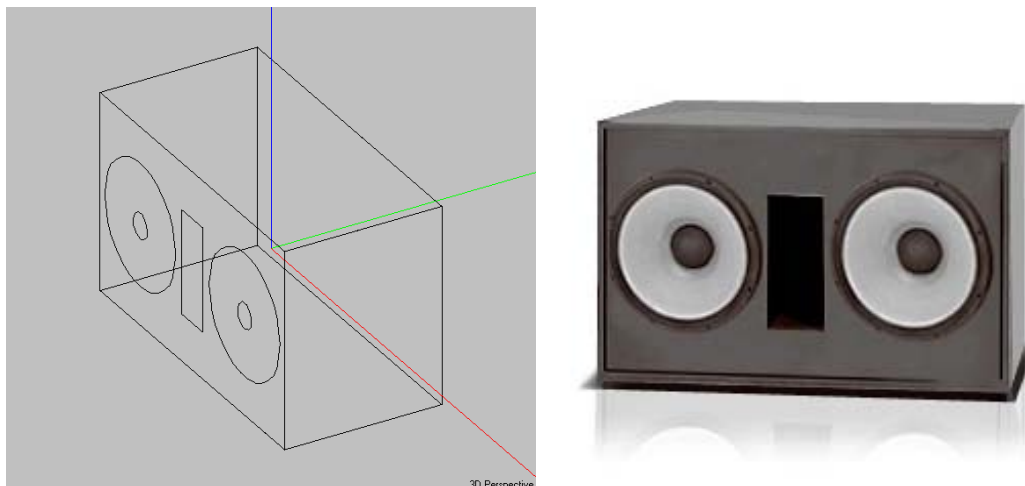


Imagen 55: Altavoz en la simulación, modelo JBL 4642A



Imagen 56: Altavoz LFE en sala 5. Modelo KCS C218A

Tabla 10: Comparación de las especificaciones del altavoz de subwoofer real en sala y el usado en la simulación

	ALTAVOZ KCS C218A (en sala)
Rango de frecuencias	20Hz-500kHz
Frecuencia de corte	80-110 Hz
Nivel de pico	1200W
Sensibilidad de 1W, 1m	101 dB SPL
Impedancia nominal	4 $\Omega$
Dimensiones	100 X 70 X 72 cm
Peso neto	74 kg

Las características definidas en EASE para este altavoz son los de la Imagen 57.

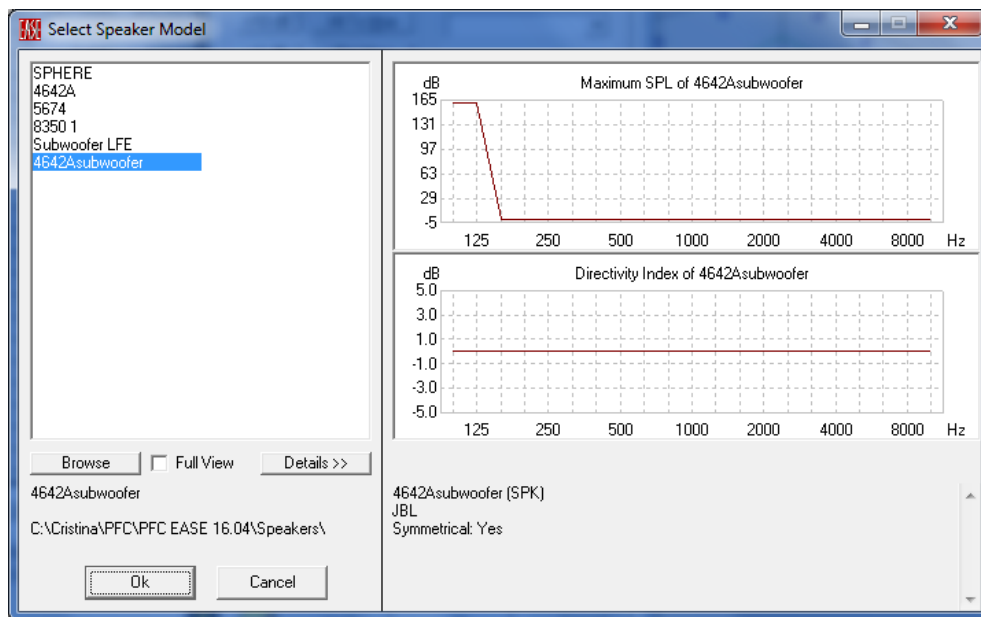


Imagen 57: Detalles altavoz subwoofer en la simulación

Los altavoces están situados en el muro posterior de la pantalla, simétricamente desde el centro de la misma y a 50cm del suelo. Consiguen generar una radiación en  $\frac{1}{4}$  de espacio incrementando el nivel radiado a baja frecuencia. Además, los tres altavoces que hay, están juntos para facilitar el acoplamiento. Aunque cada altavoz está alimentado por un amplificador de potencia propio.

Los niveles de bajas frecuencias son captados con menor precisión por el oído humano que las medias, por lo que se hace necesario tener un nivel mayor para tener la misma sensación sonora.

Es habitual instalar un canal por cada  $707\text{m}^3$  de volumen de la sala. En la sala de estudio se tienen  $5305.1\text{m}^3$  y hay instalados 3 altavoces JBL 4642 A.

La potencia continua de los altavoces debe estar entre 400 y 800 W y el sistema completo debe entregar un nivel entre 110 y 115 dB en 40Hz.

La simulación de nuestra sala en EASE con todos los altavoces colocados en la posición correspondiente en la realidad queda como muestran las imágenes Imagen 58, Imagen 59 e Imagen 60.

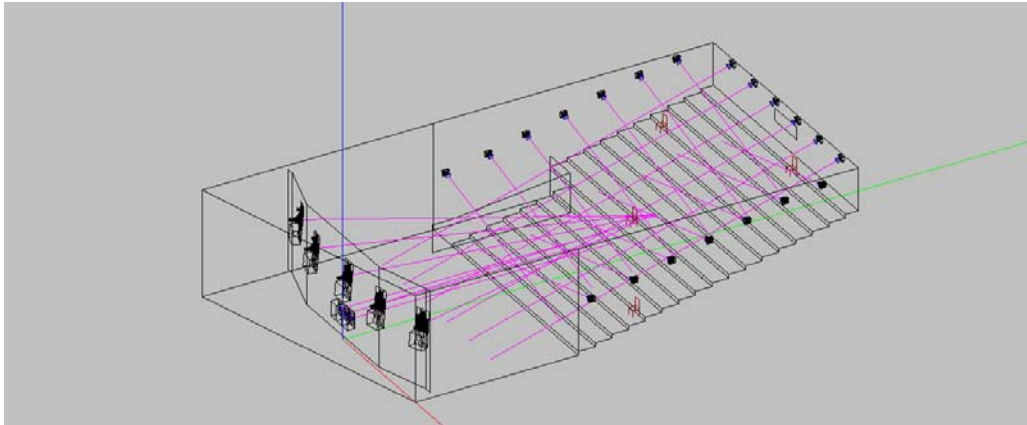


Imagen 58: Vista del alzado de la sala simulada. Altavoces colocados y direccionados

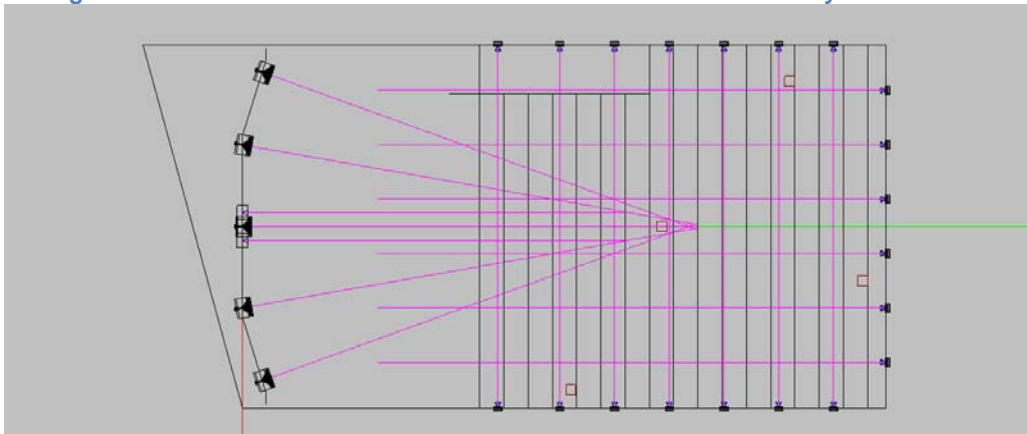


Imagen 59: Vista de planta de la sala simulada. Altavoces colocados y direccionados

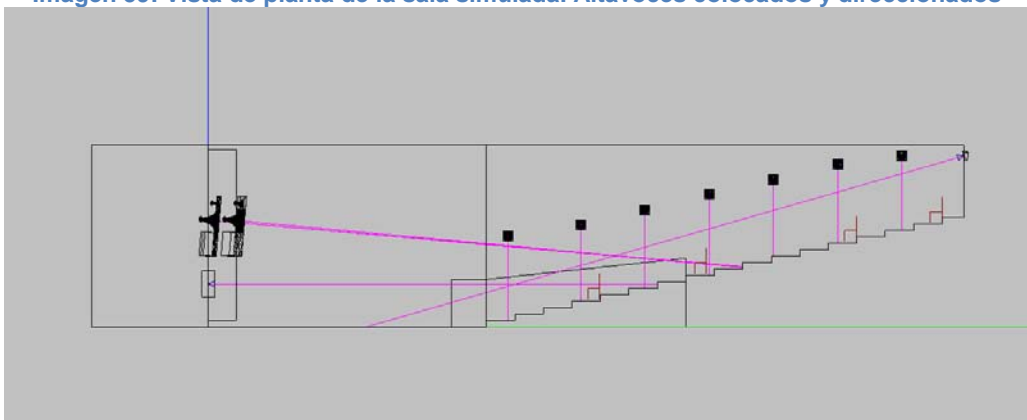


Imagen 60: Vista de perfil de la sala simulada. Altavoces colocados y direccionados



## 8 Ecuación

Una vez definido en la simulación los altavoces y las áreas de audiencia, el siguiente paso para la sonorización de la sala es realizar la ecualización.

La ecualización de una sala consiste en ajustar la respuesta en frecuencia en la audiencia con referencia a una curva de ecualización preestablecida. En nuestro caso se debe ajustar la potencia eléctrica de cada banda de frecuencia, en todos los altavoces, de tal manera que el campo sonoro total ( $SPL_{total}$ ), cuando se evalúa en promedio toda la zona de audiencia, cumpla la curva X de ecualización (de la norma ISO 2969) que se utiliza como estándar en salas cinematográficas.

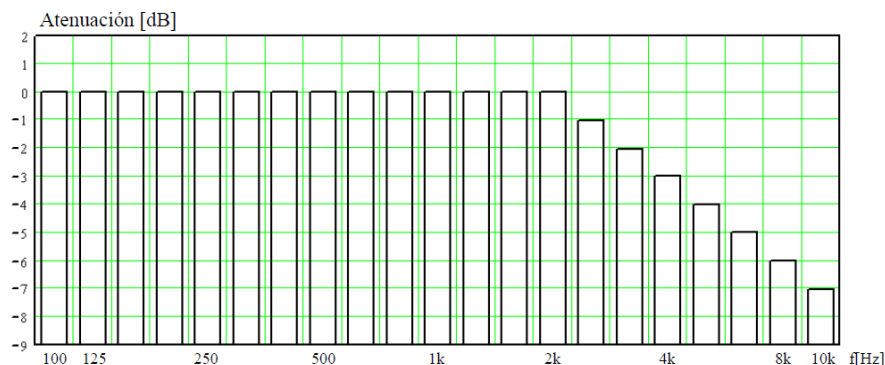


Imagen 61: Curva X de ecualización para el campo total

Para ello, en primer lugar se ponen todos los altavoces a potencia máxima para posteriormente adaptarlos acorde a la ecualización para aproximar la respuesta en frecuencia de la sala a la curva X e intentar aprovechar al máximo la potencia que proporcionan los altavoces.

Para la ecualización de la sala, una vez obtenido el SPL total y a partir de la distribución en frecuencia del nivel total en la sala, se ajusta la respuesta en frecuencia (de acuerdo a la curva X) como valores de atenuación-amplificación dando más o menos nivel a la señal eléctrica a unas bandas respecto a otras.

Para la modificación de cada altavoz, hay que hallar el SPL directo equivalente y en base a esta tabla, se modifica cada banda de cada altavoz.

Hayamos la ecualización de cada canal por separado siguiendo el siguiente proceso:

1. Averiguamos el  $SPL_t$  del altavoz en cuestión en el punto de medida creado para dicho proceso (punto 1, en la posición denominada <<punto dulce>>) Se debe tener en cuenta los valores máximos de  $SPL_{directo}$  de cada altavoz ya que puede ocurrir que al ajustar la curva en la ecualización dé valores mayores que los que pueda producir el altavoz en cuestión.

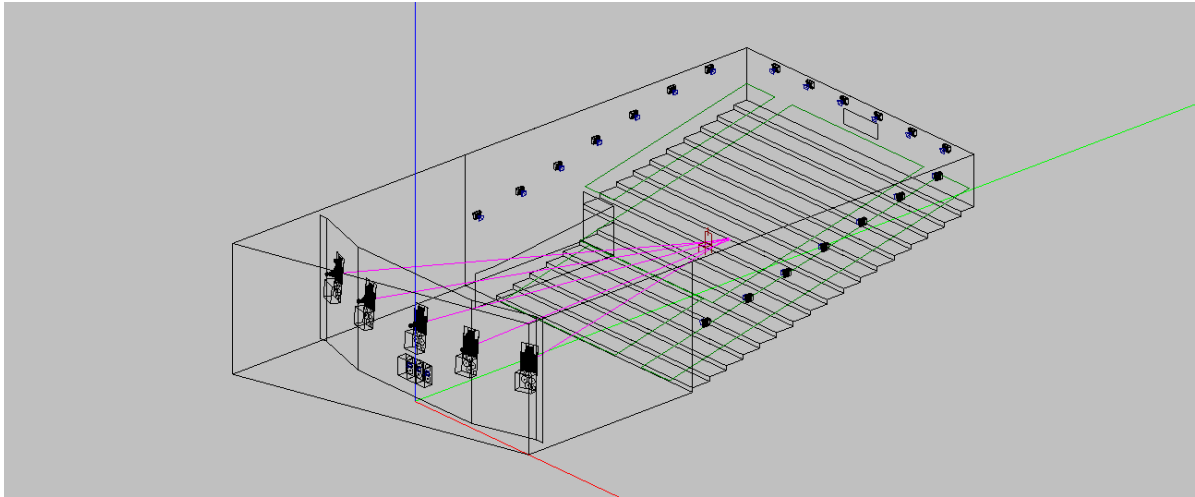


Imagen 62: Posición del punto de oyente numero 1 (posición del punto dulce)

2. Se empieza a ecualizar partiendo del tercio de octava del nivel promedio más bajo en la zona plana de la curva C de ecualización (es decir 100Hz-1600Hz). Se escoge el valor menor de entre estos que deberían responder con una respuesta plana (<2000 Hz) y a partir de ese valor, se ajusta la curva de respuesta en frecuencia del altavoz.
3. Utilizamos la curva X para ecualizar.
4. Obtenemos los valores antes de ecualizar y después de ecualizar.
5. Una vez obtenido el nivel de SPLd a 1m se modifica en las propiedades del altavoz y se vuelve a calcular la respuesta en frecuencia.

La ecualización debe hacerse según el número de ecualizadores que se vayan a usar. En el caso de estudio, se ecualizan los cinco canales de pantalla por separado (C, CL, CR, LEFT, RIGHT) y el canal surround derecho (SR), el canal surround izquierdo (SL) y el canal surround trasero (ST). El canal de subwoofer (LFE) no se ecualiza ya que sólo radia en dos bandas de frecuencia.

En la se muestra un ejemplo de cómo se plantea la ecualización. La columna <SPL Total (Average)>contiene el promedio de la sala (nivel directo más reverberante). La columna <SPL (1m)> es el valor de señal directa que entrega el altavoz.

Tabla 11: planteamiento de la ecualización

ANTES DE ECUALIZAR				DESPUES DE ECUALIZAR			
Fz(Hz)	SPL Total (Avg)	SPL (1m)	Curva X	Atenuación	SPL Total, Ecualización teórica	SPL Directo (1m) Ecualizado	SPL Total ecualizado

Para la ecualización, se va a aplicar la columna <Atenuación>, que son los valores de atenuación que hay que aplicar a cada uno de los altavoces de la sala para conseguir el nivel promedio deseado. Como se está trabajando con los altavoces a potencia máxima, todos los niveles de esta columna en todas las bandas son negativos, es decir no hay ninguna amplificación, todo son atenuaciones.

Una vez obtenida la curva de ecualización, hay que aplicarla a todos los altavoces. Como en EASE no se pueden ecualizar todos los altavoces a la vez,

se ecualiza cada canal por separado. La razón es que para atenuar un determinado altavoz hay que introducir la potencia eléctrica absoluta (o SPL a 1m) en la banda correspondiente, y no se puede aplicar el factor de atenuación como tal, que valdría para todos los altavoces de la sala.

Se procede de la siguiente manera: primero, de cada modelo de altavoz se guarda la curva de niveles antes de ecualizar: <SPL (1m)>. Después, se aplica la curva de ecualización (<Atenuación>) y se obtienen los niveles del altavoz después de ecualizar <SPL Total, Ecualización teórica> y <SPL Directo (1m) Ecualizado>. Los niveles de la columna <SPL Directo(1m)> son los que se tienen que cargar en cada modelo de altavoz en la tabla de niveles SPL.

Una vez aplicada la ecualización a todos los altavoces, deberá comprobarse que el recinto está correctamente ecualizado. Para ello se recalculará el campo total, debiéndose obtener un nivel promedio compatible con la curva X.

En este momento se considerará ajustada la posición de los altavoces para SPL uniforme y la ecualización de la sala. Se calcularán y archivarán los mapas de recubrimiento y las curvas de respuesta en frecuencia.

## 8.1 Ecualización de los canales de pantalla

Los canales de pantalla apuntan al punto denominado “punto dulce” situado a 2/3 de la longitud de la sala y en donde, en la simulación, se pondrá el punto 1 de escucha (simulación de la situación de un oyente en esa posición). Con los ejes de los altavoces apuntando a ese punto.

Para la ecualización de los canales de pantalla se haya la ecualización de cada canal de pantalla por separado (Pantalla C, Pantalla CL, Pantalla LEFT, Pantalla CR y Pantalla RIGHT)

### 8.1.1 Ecualización canal de pantalla central (C)

En el canal central tenemos un SPLt antes de ecualizar de:

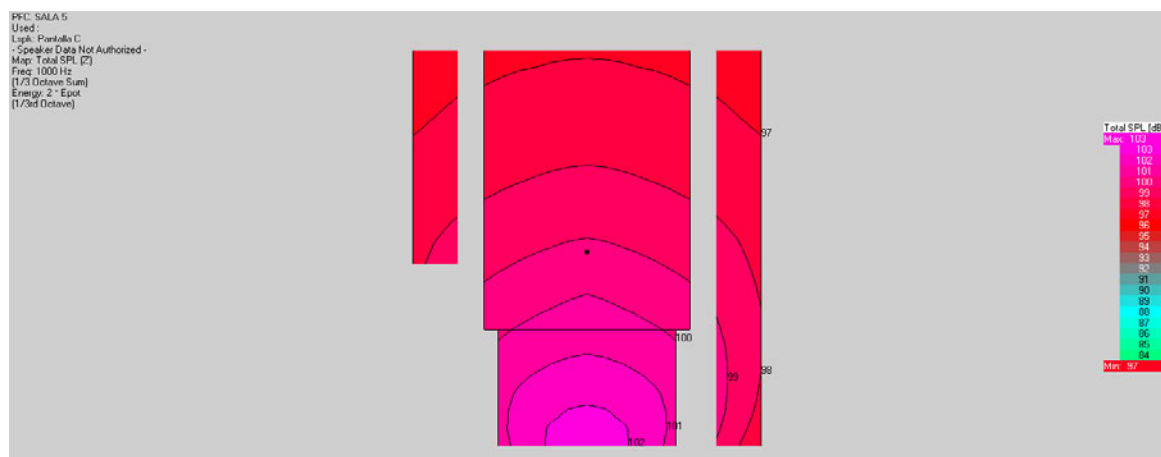


Imagen 63: Campo total dado por el canal de pantalla central antes de la ecualización



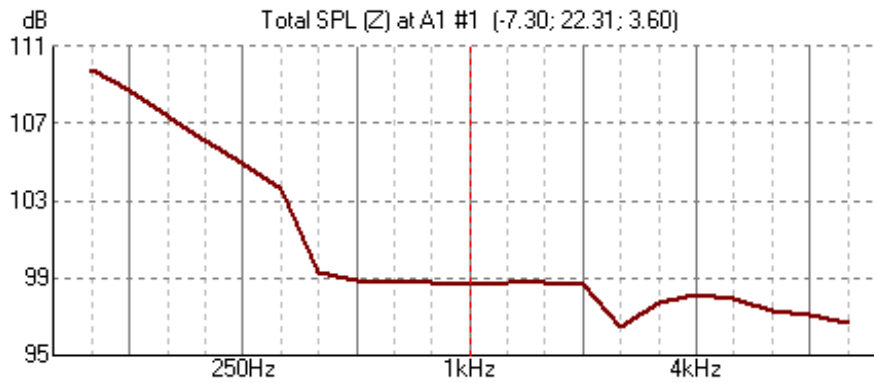


Imagen 64: Curva SPL, canal de pantalla C sin ecualizar

Se realizan los cálculos teóricos con los valores del SPLt obtenidos en la simulación de la sala y aplicamos la curva C:

Tabla 12: Cálculo de los valores de SPL para la ecualización del canal de pantalla central.

Frecuencia	ANTES DE ECUALIZAR			Atenuación	DESPUES DE ECUALIZAR		
	SPL Total (Average)	SPL (1m)	Curva X		SPL Total, Ecualización teórica	SPL Directo (1m) Ecualizado	SPL Total ecualizado
100 Hz	109,75	129,02	0	-13,34	96,41	115,68	96,41
125 Hz	108,78	129,02	0	-12,37	96,41	116,65	96,41
160 Hz	107,38	129,02	0	-10,97	96,41	118,05	96,41
200 Hz	106,08	129,02	0	-9,67	96,41	119,35	96,41
250 Hz	104,91	129,02	0	-8,5	96,41	120,52	96,41
315 Hz	103,62	129,02	0	-7,21	96,41	121,81	96,41
400 Hz	99,23	124,97	0	-2,82	96,41	122,15	96,41
500 Hz	98,82	124,97	0	-2,41	96,41	122,56	96,41
630 Hz	98,77	124,97	0	-2,36	96,41	122,61	96,41
800 Hz	98,74	124,97	0	-2,33	96,41	122,64	96,41
1000 Hz	98,68	124,97	0	-2,27	96,41	122,7	96,41
1250 Hz	98,79	124,97	0	-2,38	96,41	122,59	96,41
1600 Hz	98,77	124,97	0	-2,36	96,41	122,61	96,41
2000 Hz	98,62	124,97	0	-2,21	96,41	122,76	96,41
2500 Hz	96,41	122,3	-1	-1	95,41	121,3	95,41
3150 Hz	97,71	122,3	-2	-3,3	94,41	119	94,41
4000 Hz	98,12	122,3	-3	-4,71	93,41	117,59	93,41
5000 Hz	97,9	122,3	-4	-5,49	92,41	116,81	92,41
6300 Hz	97,28	122,3	-5	-5,87	91,41	116,43	91,41
8000 Hz	97,04	122,3	-6	-6,63	90,41	115,67	90,41
10000 Hz	96,59	122,3	-7	-7,18	89,41	115,12	89,41

Se insertan los valores hallados para el SPL directo (1m) con la ecualización realizada en la columna SPL(1m) de las características del altavoz en la simulación:

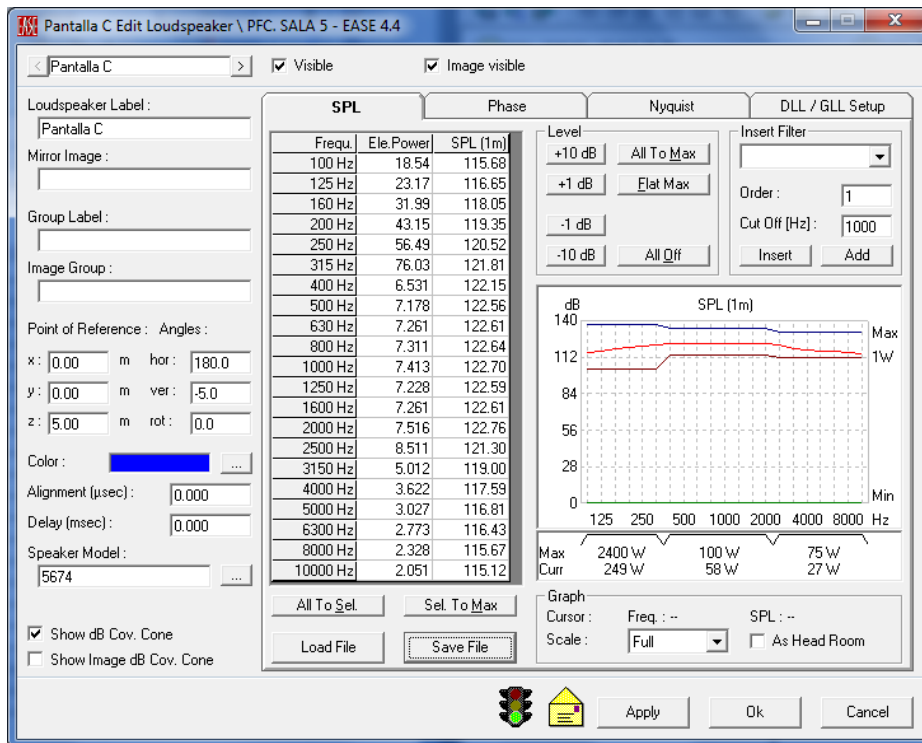


Imagen 65: Valores de SPL del canal de Pantalla C después de la ecualización

Y después del ajuste se obtiene una curva de SPL total acorde a la Curva X:

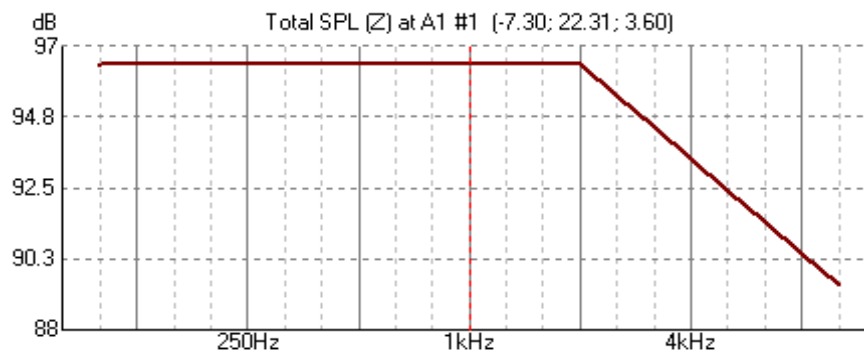


Imagen 66: Curva SPL<sub>t</sub> canal de pantalla C ecualizado

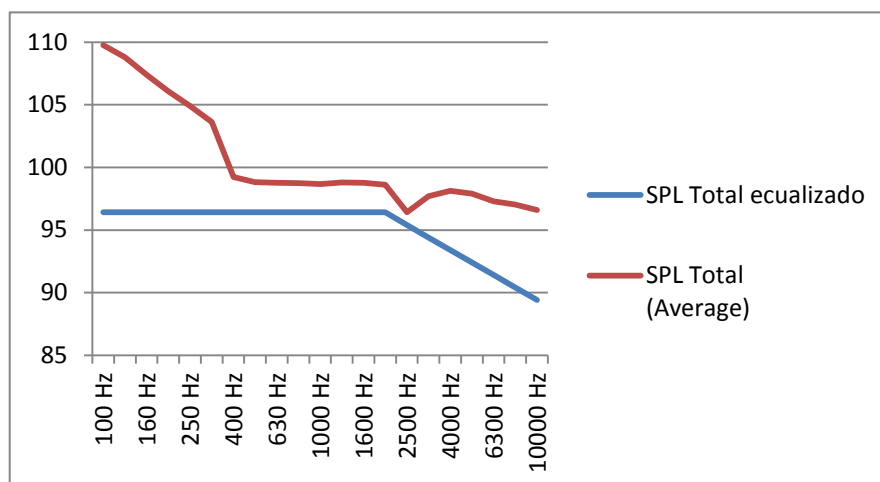


Imagen 67: Comparación SPL total del canal de pantalla C antes y después de la ecualización.

### 8.1.2 Ecuación canales de pantalla Derecho CR

Al igual que el canal C, calculamos el nivel total ( $SPL_t$ ) en el oyente 1 con el altavoz a máxima potencia para el canal de pantalla Derecho CR.

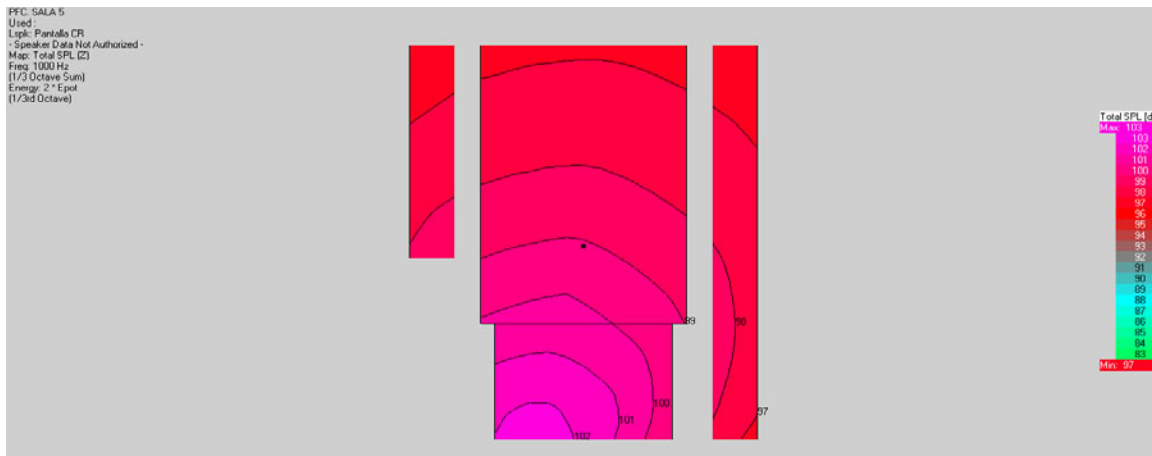


Imagen 68: Campo total del canal de pantalla central derecho antes de la ecualización

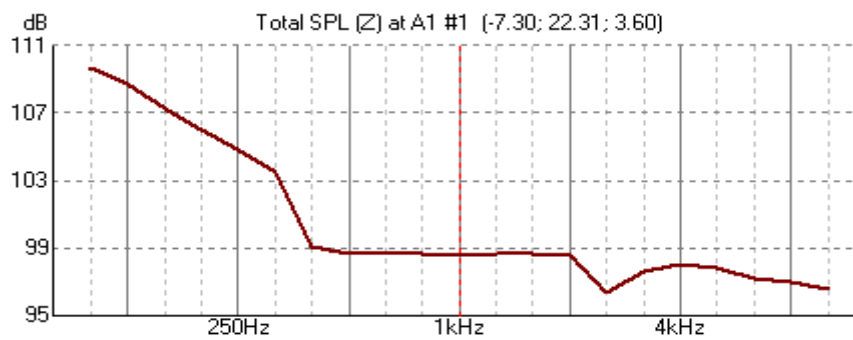


Imagen 69: Curva  $SPL_t$  canal de pantalla central derecho sin ecualizar

Se realizan los cálculos teóricos con los valores del  $SPL_t$  obtenidos en la simulación de la sala y se aplica la curva C y se insertan los valores hallados para el SPL directo (1m) con la ecualización realizada en la columna SPL(1m) de las características del altavoz en la simulación. Se modifica también las propiedades del altavoz con los valores hallados en la columna resaltada en verde y volvemos a calcular el nivel total.

Tabla 13: Cálculo de los valores de SPL para la ecualización del canal de pantalla central derecho.

ANTES DE ECUALIZAR				DESPUES DE ECUALIZAR			
Frecuencia	SPL Total (Average)	SPL (1m)	Curva X	Atenuación	SPL Total, Ecualización teórica	SPL Directo (1m) Ecualizado	SPL Total ecualizado
100 Hz	109,7	129,02	0	-13,41	96,29	115,61	96,29
125 Hz	108,73	129,02	0	-12,44	96,29	116,58	96,29
160 Hz	107,31	129,02	0	-11,02	96,29	118	96,29
200 Hz	106	129,02	0	-9,71	96,29	119,31	96,29
250 Hz	104,81	129,02	0	-8,52	96,29	120,5	96,29
315 Hz	103,49	129,02	0	-7,2	96,29	121,82	96,29
400 Hz	99,1	124,97	0	-2,81	96,29	122,16	96,29
500 Hz	98,68	124,97	0	-2,39	96,29	122,58	96,29
630 Hz	98,63	124,97	0	-2,34	96,29	122,63	96,29
800 Hz	98,59	124,97	0	-2,3	96,29	122,67	96,29
1000 Hz	98,53	124,97	0	-2,24	96,29	122,73	96,29
1250 Hz	98,65	124,97	0	-2,36	96,29	122,61	96,29
1600 Hz	98,64	124,97	0	-2,35	96,29	122,62	96,29
2000 Hz	<b>98,49</b>	124,97	0	-2,2	96,29	122,77	96,29
2500 Hz	96,29	122,3	-1	-1	95,29	121,3	95,29
3150 Hz	97,61	122,3	-2	-3,32	94,29	118,98	94,29
4000 Hz	98,02	122,3	-3	-4,73	93,29	117,57	93,29
5000 Hz	97,8	122,3	-4	-5,51	92,29	116,79	92,29
6300 Hz	97,18	122,3	-5	-5,89	91,29	116,41	91,29
8000 Hz	96,93	122,3	-6	-6,64	90,29	115,66	90,29
10000 Hz	96,49	122,3	-7	-7,2	89,29	115,1	89,29

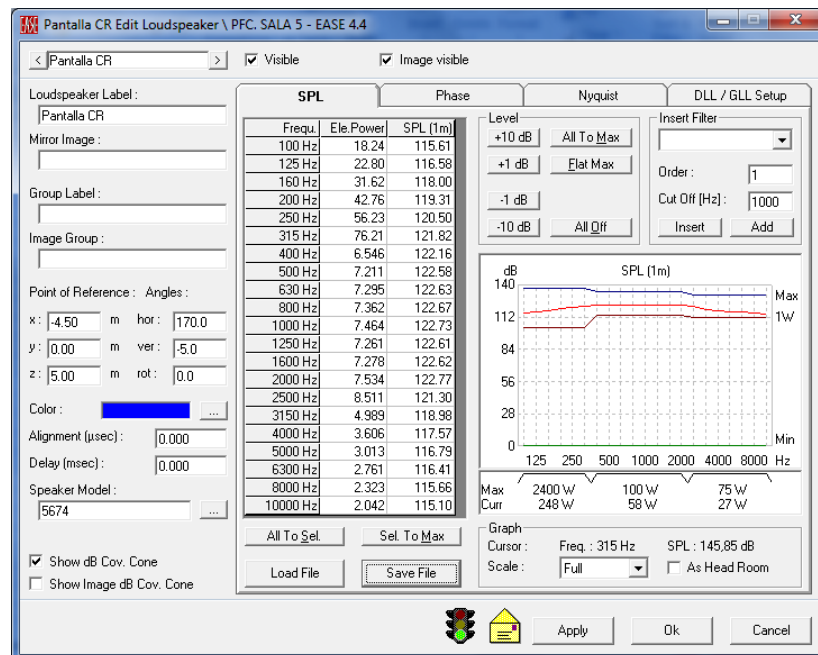


Imagen 70: Valores de SPL del canal de Pantalla Central Derecho CR después de la ecualización

Y después del ajuste se obtiene una curva de SPL total acorde a la curva X para el canal central derecho acorde a la curva x según la curva de la Imagen 71.

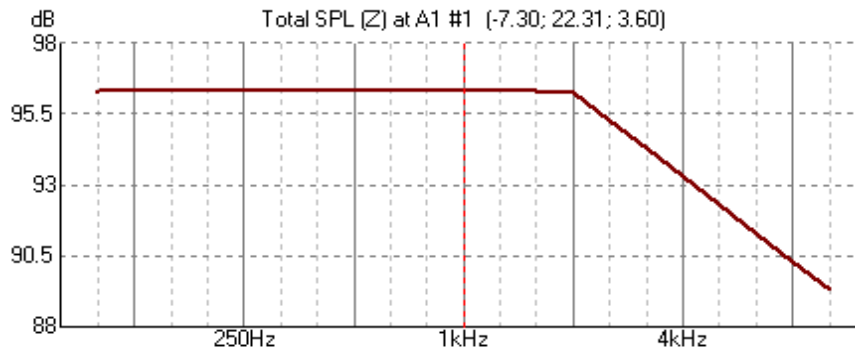


Imagen 71: Curva SPLt canal de pantalla central derecho CR ecualizado

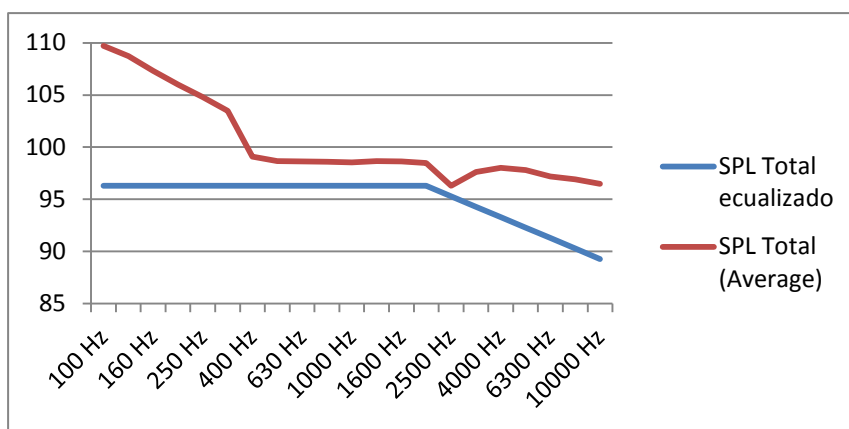


Imagen 72: Comparación SPL total del canal de pantalla central derecho CR antes y después de la ecualización

### 8.1.3 Ecualización canales de pantalla Derecho Right (Pantalla R)

Del canal de pantalla derecho tenemos un SPLt antes de ecualizar de:

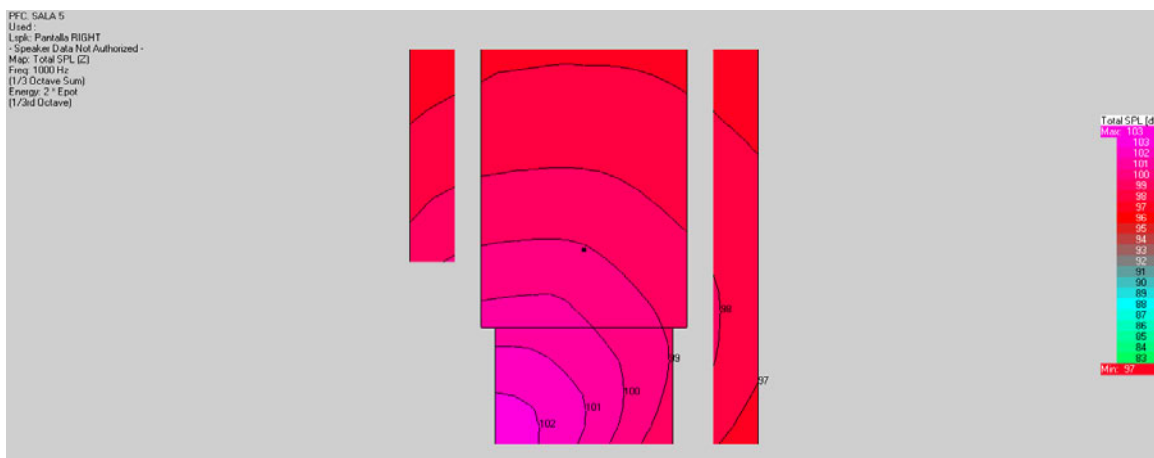


Imagen 73: Campo total del canal de pantalla derecho antes de la ecualización

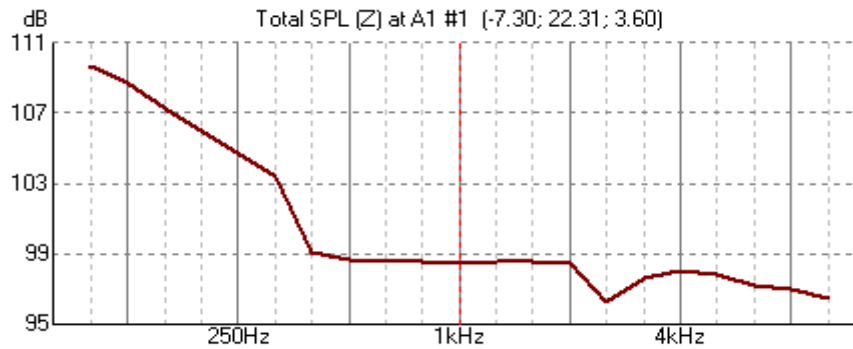


Imagen 74: Curva SPLt canal de pantalla Right sin ecualizar

Se realizan los cálculos teóricos con los valores del SPLt obtenidos en la simulación de la sala y aplicamos la curva C:

Tabla 14: Cálculo de los valores de SPL para la ecualización del canal de pantalla derecho.

Frecuencia	ANTES DE ECUALIZAR			DESPUES DE ECUALIZAR			
	SPL Total (Average)	SPL (1m)	Curva X	Atenuación	SPL Total, Ecualización teórica	SPL Directo (1m) Ecualizado	SPL Total ecualizado
100 Hz	109,68	129,02	0	-13,46	96,22	115,56	96,22
125 Hz	108,71	129,02	0	-12,49	96,22	116,53	96,22
160 Hz	107,28	129,02	0	-11,06	96,22	117,96	96,22
200 Hz	105,95	129,02	0	-9,73	96,22	119,29	96,22
250 Hz	104,75	129,02	0	-8,53	96,22	120,49	96,22
315 Hz	103,42	129,02	0	-7,2	96,22	121,82	96,22
400 Hz	99,02	124,97	0	-2,8	96,22	122,17	96,22
500 Hz	98,59	124,97	0	-2,37	96,22	122,6	96,22
630 Hz	98,55	124,97	0	-2,33	96,22	122,64	96,22
800 Hz	98,51	124,97	0	-2,29	96,22	122,68	96,22
1000 Hz	98,45	124,97	0	-2,23	96,22	122,74	96,22
1250 Hz	98,57	124,97	0	-2,35	96,22	122,62	96,22
1600 Hz	98,56	124,97	0	-2,34	96,22	122,63	96,22
2000 Hz	<b>98,41</b>	124,97	0	-2,19	96,22	122,78	96,22
2500 Hz	<b>96,22</b>	122,3	-1	-1	95,22	121,3	95,22
3150 Hz	97,57	122,3	-2	-3,35	94,22	118,95	94,22
4000 Hz	97,98	122,3	-3	-4,76	93,22	117,54	93,22
5000 Hz	97,77	122,3	-4	-5,55	92,22	116,75	92,22
6300 Hz	97,15	122,3	-5	-5,93	91,22	116,37	91,22
8000 Hz	96,91	122,3	-6	-6,69	90,22	115,61	90,22
10000 Hz	96,47	122,3	-7	-7,25	89,22	115,05	89,22

Se insertan los valores hallados para el SPL directo (1m) con la ecualización realizada en la columna SPL(1m) de las características del altavoz en la simulación.

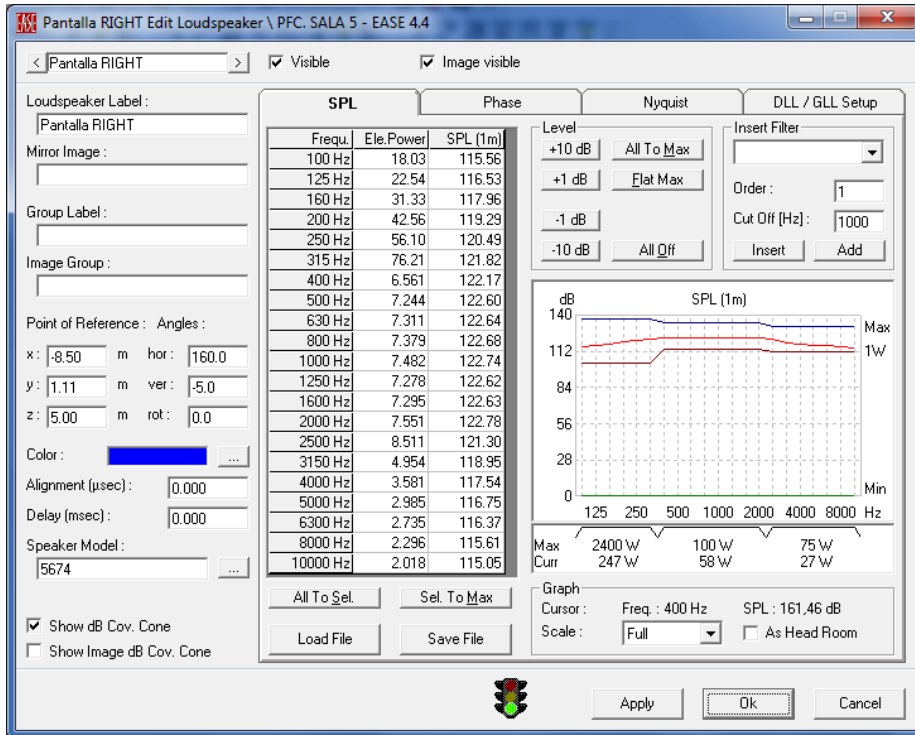


Imagen 75: Valores de SPL total del canal de Pantalla Derecho R después de la ecualización

Y después del ajuste se obtiene una curva de SPL total acorde a la Curva X para el canal de pantalla derecho Right.

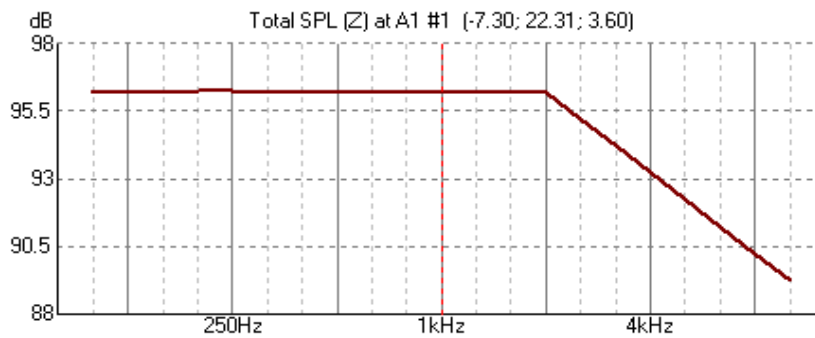


Imagen 76: Curva SPLt del canal de pantalla R ecualizado

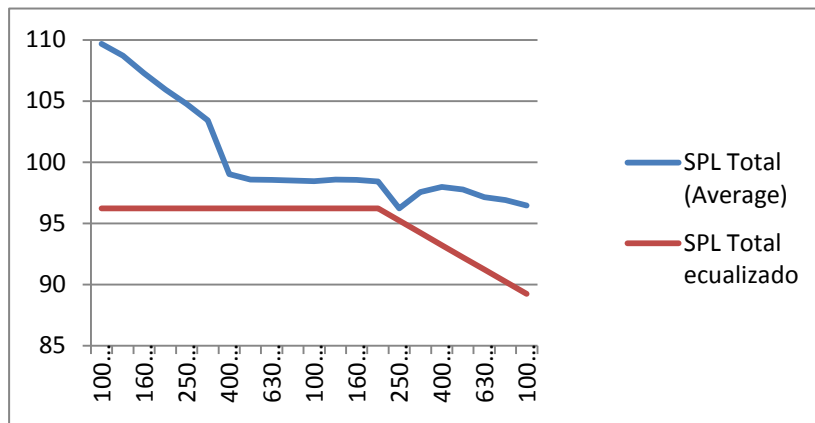


Imagen 77: Comparación SPL total del canal de pantalla derecho RIGHT antes y después de la ecualización.

### 8.1.4 Ecuación canales de pantalla izquierdo central CL

Como en el resto de canales de pantalla, calculamos el nivel total ( $SPL_t$ ), en el oyente 1, con el altavoz a máxima potencia, para el canal de pantalla central izquierdo CL.

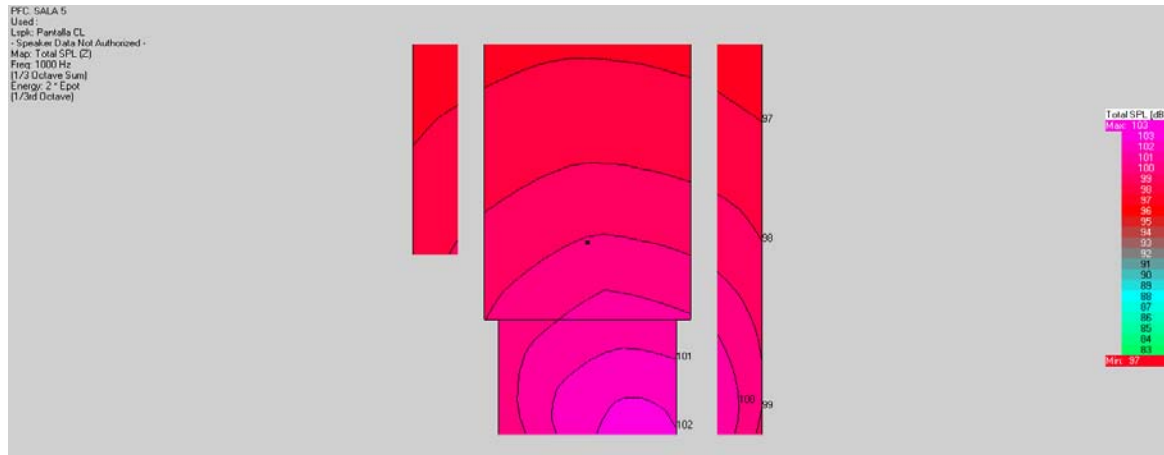


Imagen 78: Campo total del canal de pantalla central izquierdo antes de la ecualización



Imagen 79: Curva  $SPL_t$  canal de pantalla central izquierdo CL

Se realizan los cálculos teóricos con los valores del  $SPL_t$  obtenidos en la simulación de la sala y se aplica la curva C para después insertar los valores hallados para el SPL directo (1m) con la ecualización realizada en la columna  $SPL(1m)$  de las características del altavoz en la simulación



Tabla 15: Cálculo de los valores de SPL para la ecualización del canal de pantalla central izquierdo.

ANTES DE ECUALIZAR				DESPUES DE ECUALIZAR			
Frecuencia	SPL Total (Average)	SPL (1m)	Curva X	Atenuación	SPL Total, Ecualización teórica	SPL Directo (1m) Ecualizado	SPL Total ecualizado
100 Hz	109,74	129,02	0	-13,35	96,39	115,67	96,39
125 Hz	108,77	129,02	0	-12,38	96,39	116,64	96,39
160 Hz	107,36	129,02	0	-10,97	96,39	118,05	96,39
200 Hz	106,06	129,02	0	-9,67	96,39	119,35	96,39
250 Hz	104,89	129,02	0	-8,5	96,39	120,52	96,39
315 Hz	103,59	129,02	0	-7,2	96,39	121,82	96,39
400 Hz	99,2	124,97	0	-2,81	96,39	122,16	96,39
500 Hz	98,79	124,97	0	-2,4	96,39	122,57	96,39
630 Hz	98,75	124,97	0	-2,36	96,39	122,61	96,39
800 Hz	98,71	124,97	0	-2,32	96,39	122,65	96,39
1000 Hz	98,66	124,97	0	-2,27	96,39	122,7	96,39
1250 Hz	98,76	124,97	0	-2,37	96,39	122,6	96,39
1600 Hz	98,75	124,97	0	-2,36	96,39	122,61	96,39
2000 Hz	<b>98,59</b>	124,97	0	-2,2	96,39	122,77	96,39
2500 Hz	<b>96,39</b>	122,3	-1	-1	95,39	121,3	95,39
3150 Hz	97,7	122,3	-2	-3,31	94,39	118,99	94,39
4000 Hz	98,1	122,3	-3	-4,71	93,39	117,59	93,39
5000 Hz	97,88	122,3	-4	-5,49	92,39	116,81	92,39
6300 Hz	97,27	122,3	-5	-5,88	91,39	116,42	91,39
8000 Hz	97,02	122,3	-6	-6,63	90,39	115,67	90,39
10000 Hz	96,58	122,3	-7	-7,19	89,39	115,11	89,39

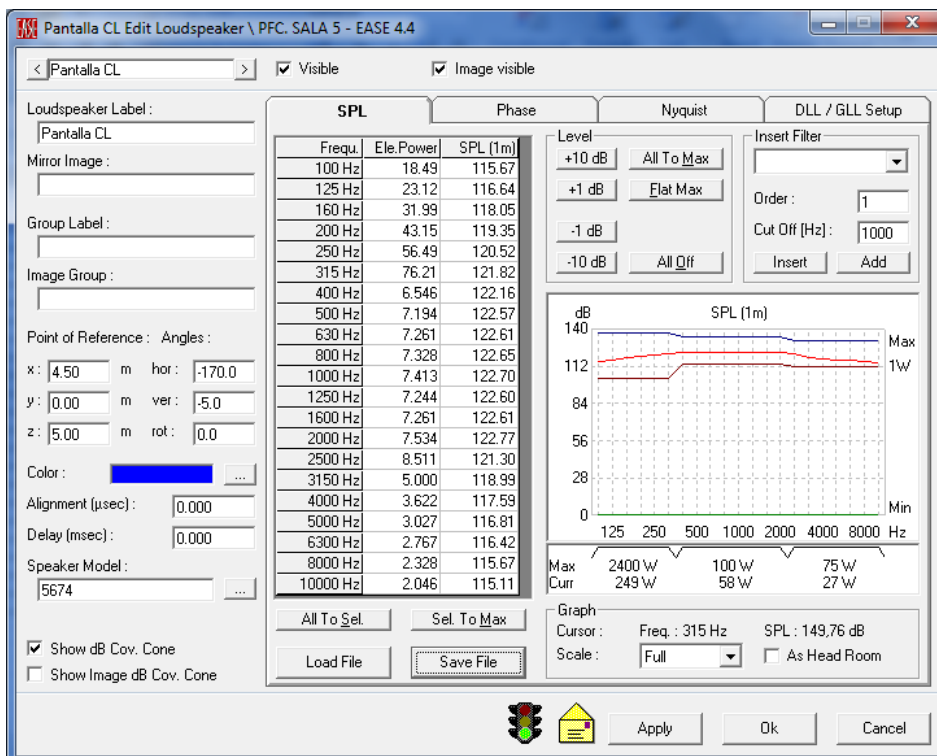


Imagen 80: Valores de SPL del canal de Pantalla Central Izquierdo CL después de la ecualización

Calculamos el campo total,  $SPL_t$ , en el oyente 1 con el canal central izquierdo CL de pantalla radiando y se obtiene una curva acorde a la curva X:

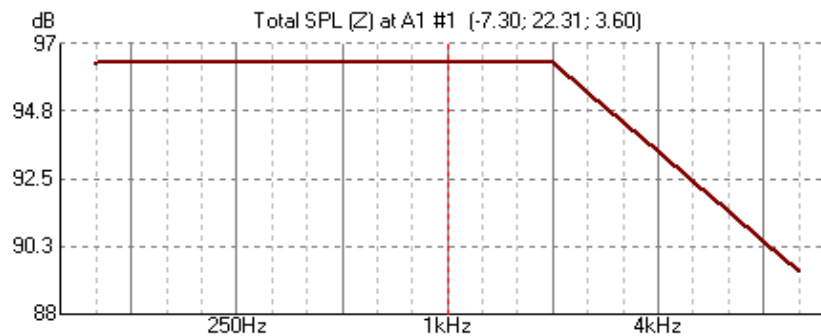


Imagen 81: Curva  $SPL_t$  del canal de pantalla central izquierdo ecualizado

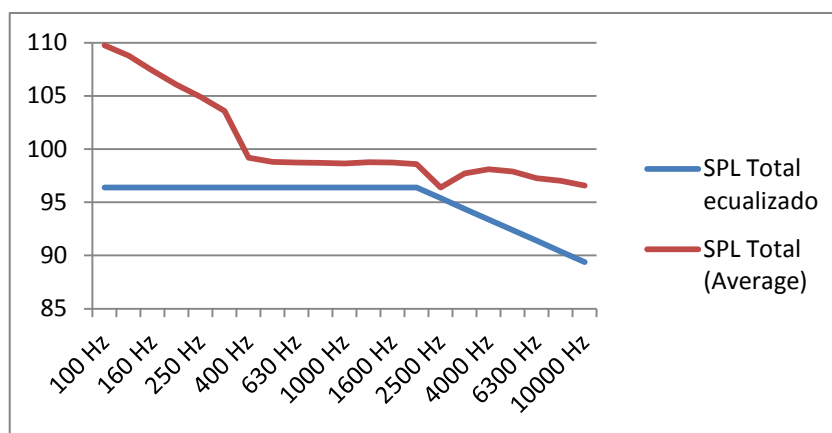


Imagen 82: Comparación SPL total del canal de pantalla central izquierdo antes y después de la ecualización.

### 8.1.5 Ecualización canales de pantalla izquierdo LEFT (Pantalla L)

Calculamos el nivel total ( $SPL_t$ ) en la posición del oyente 1, con el altavoz de pantalla izquierdo a máxima potencia y se obtiene que:

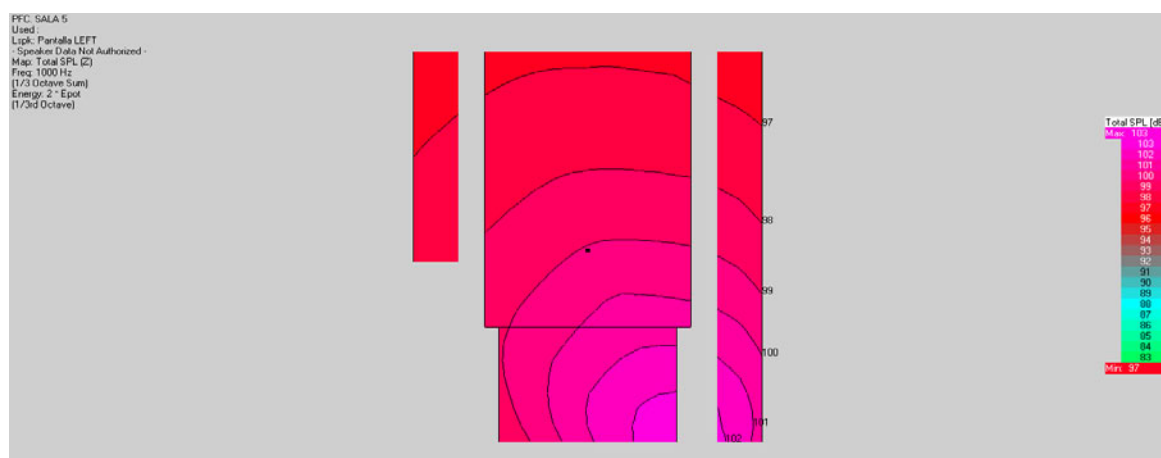


Imagen 83: Campo total del canal de pantalla izquierdo antes de la ecualización

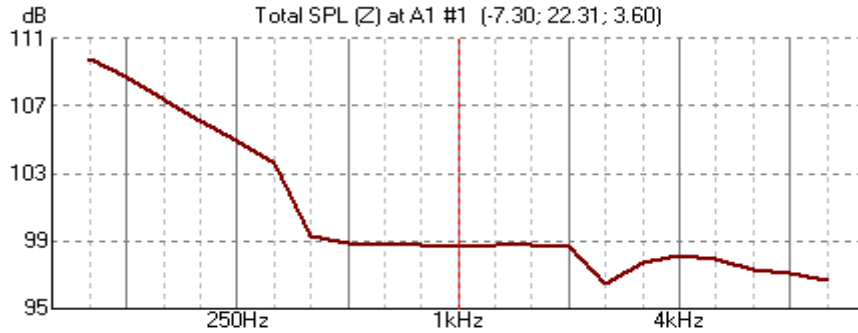


Imagen 84: SPL total (average) para el canal de pantalla izquierdo

Se realizan los cálculos teóricos con los valores del  $SPL_t$  obtenidos en la simulación de la sala y aplicamos la curva C.

Tabla 16: Cálculo de los valores de SPL para la ecualización del canal de pantalla izquierdo.

Frecuencia	ANTES DE ECUALIZAR				DESPUES DE ECUALIZAR		
	SPL Total (Average)	SPL (1m)	Curva X	Atenuación	SPL Total, Ecualización teórica	SPL Directo (1m) Ecualizado	SPL Total ecualizado
100 Hz	109,74	129,02	0	-13,33	96,41	115,69	96,41
125 Hz	108,78	129,02	0	-12,37	96,41	116,65	96,41
160 Hz	107,37	129,02	0	-10,96	96,41	118,06	96,41
200 Hz	106,07	129,02	0	-9,66	96,41	119,36	96,41
250 Hz	104,9	129,02	0	-8,49	96,41	120,53	96,41
315 Hz	103,61	129,02	0	-7,2	96,41	121,82	96,41
400 Hz	99,22	124,97	0	-2,81	96,41	122,16	96,41
500 Hz	98,81	124,97	0	-2,4	96,41	122,57	96,41
630 Hz	98,77	124,97	0	-2,36	96,41	122,61	96,41
800 Hz	98,73	124,97	0	-2,32	96,41	122,65	96,41
1000 Hz	98,68	124,97	0	-2,27	96,41	122,7	96,41
1250 Hz	98,78	124,97	0	-2,37	96,41	122,6	96,41
1600 Hz	98,76	124,97	0	-2,35	96,41	122,62	96,42
2000 Hz	98,6	124,97	0	-2,19	96,41	122,78	96,42
2500 Hz	96,41	122,3	-1	-1	95,41	121,3	95,41
3150 Hz	97,71	122,3	-2	-3,3	94,41	119	94,41
4000 Hz	98,12	122,3	-3	-4,71	93,41	117,59	93,41
5000 Hz	97,91	122,3	-4	-5,5	92,41	116,8	92,41
6300 Hz	97,29	122,3	-5	-5,88	91,41	116,42	91,41
8000 Hz	97,05	122,3	-6	-6,64	90,41	115,66	90,41
10000 Hz	96,61	122,3	-7	-7,2	89,41	115,1	89,41

Se insertan los valores hallados teóricamente del SPL directo (1m) (columna destacada en verde en la Tabla 16) con la ecualización realizada, en la columna SPL(1m) de las características del altavoz en la simulación.

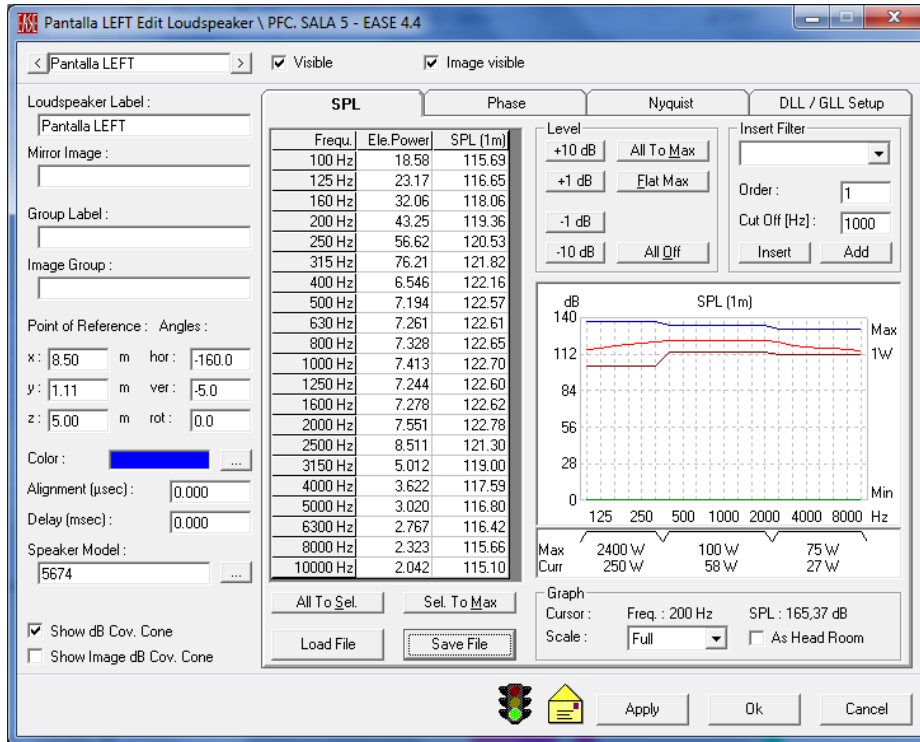


Imagen 85: Valores de SPL del canal de Pantalla Izquierdo LEFT después de la ecualización

Después de este ajuste en el altavoz de pantalla izquierdo se obtiene la curva de SPL total en la sala, acorde a la curva X:

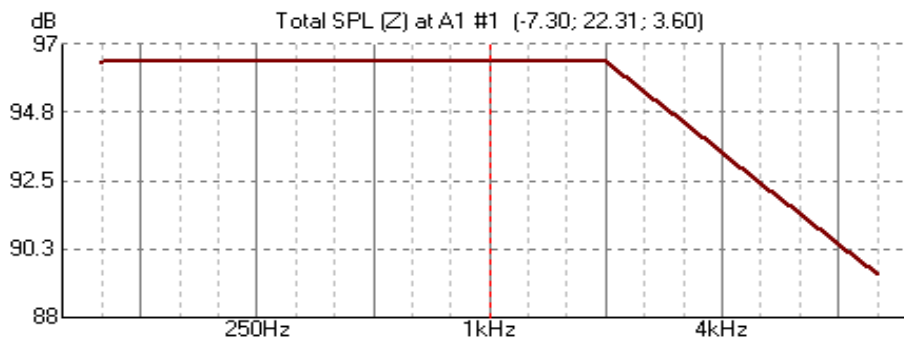


Imagen 86: Curva SPL<sub>t</sub> del canal de pantalla izquierdo, Pantalla LEFT, ecualizado

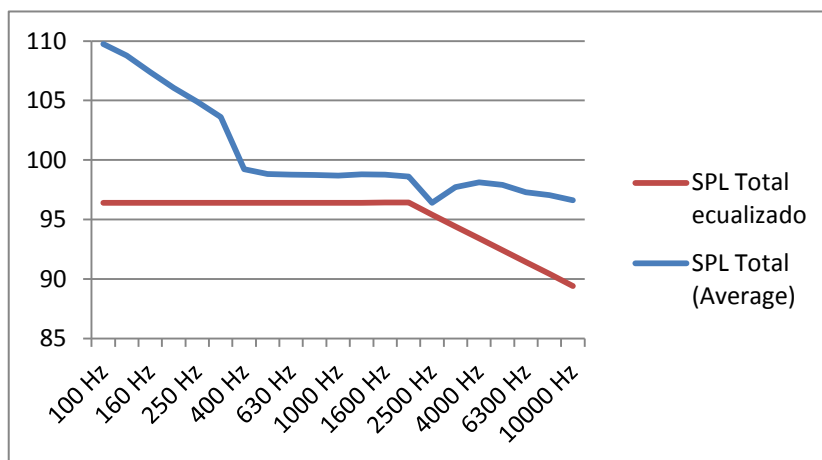


Imagen 87: Comparación del SPL<sub>t</sub> del canal de pantalla izquierdo antes y después de la ecualización

## 8.2 Ecuación de los canales de surround

Al igual que en los canales de pantalla, se realiza el cálculo para los altavoces de surround, pero esta vez, el cálculo se realiza por el canal entero (surround izquierdo, surround derecho y surround traseros)

### 8.2.1 Ecuación del canal surround derecho (SR)

Empezando por los altavoces que componen el canal surround derecho, es decir, todos los instalados en la pared derecha de la sala, el cálculo no se realiza altavoz por altavoz, ya que se toma todo el sistema de altavoces surround derecho.

Calculamos el nivel total  $SPL_t$  en la posición del oyente 1, con los altavoces surround derechos a máxima potencia.

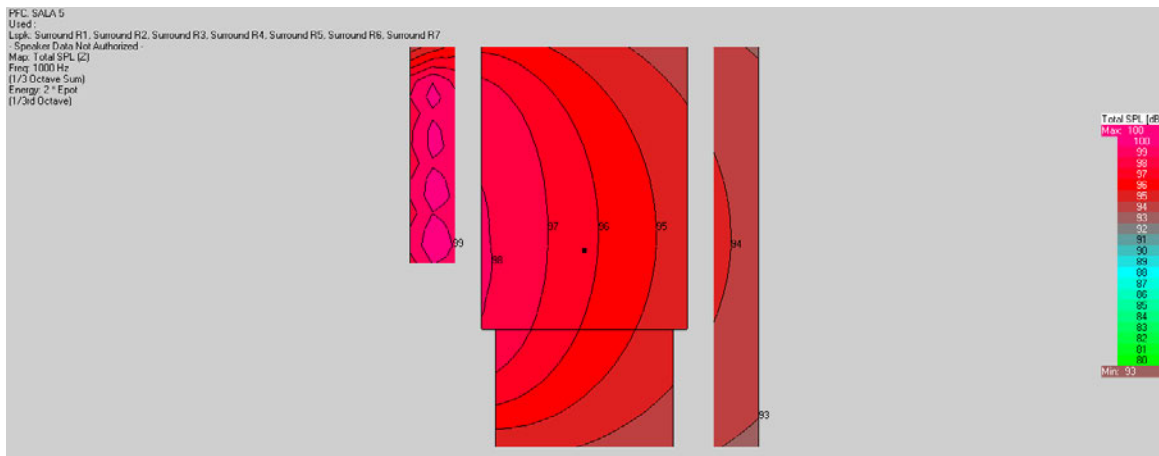


Imagen 88: Campo total del canal de surround derecho antes de la ecualización

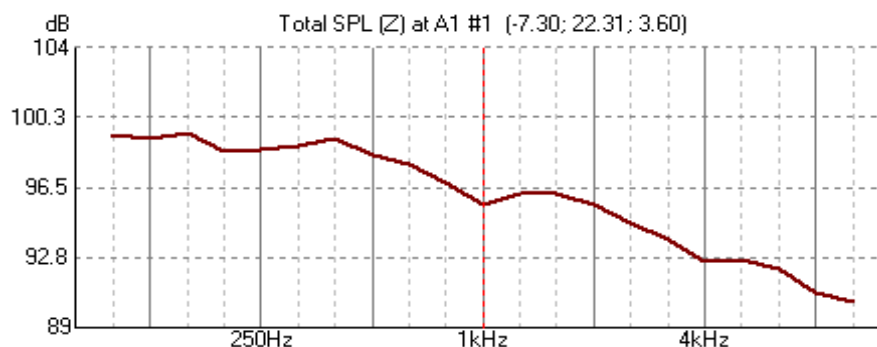


Imagen 89: SPL total para el canal surround derecho.

Se realizan los cálculos teóricos con los valores de  $SPL_t$  obtenidos en la simulación de la sala y aplicamos la curva C según el procedimiento habitual para la ecualización y les cambiamos el SPL (1m) a los altavoces derechos surround en la simulación con los valores calculados teóricamente.

Tabla 17: Cálculo de los valores de SPL para la ecualización del canal surround derecho.

ANTES DE ECUALIZAR					DESPUES DE ECUALIZAR		
Frecuencia	SPL Total (Average)	SPL (1m)	Curva X	Atenuación	SPL Total, Ecualización teórica	SPL Directo (1m) Ecualizado	SPL Total ecualizado
100 Hz	99,29	107,22	0	-4,75	94,54	102,47	94,54
125 Hz	99,15	107,22	0	-4,61	94,54	102,61	94,54
160 Hz	99,41	108,22	0	-4,87	94,54	103,35	94,55
200 Hz	98,45	108,22	0	-3,91	94,54	104,31	94,54
250 Hz	98,49	109,22	0	-3,95	94,54	105,27	94,54
315 Hz	98,73	110,22	0	-4,19	94,54	106,03	94,55
400 Hz	99,09	111,22	0	-4,55	94,54	106,67	94,54
500 Hz	98,27	111,22	0	-3,73	94,54	107,49	94,54
630 Hz	97,72	111,22	0	-3,18	94,54	108,04	94,54
800 Hz	96,78	110,22	0	-2,24	94,54	107,98	94,54
1000 Hz	95,56	109,22	0	-1,02	94,54	108,2	94,54
1250 Hz	96,11	109,22	0	-1,57	94,54	107,65	94,54
1600 Hz	96,2	109,22	0	-1,66	94,54	107,56	94,54
2000 Hz	95,58	109,22	0	-1,04	94,54	108,18	94,54
2500 Hz	94,54	109,22	-1	-1	93,54	108,22	93,54
3150 Hz	93,65	109,22	-2	-1,11	92,54	108,11	92,54
4000 Hz	92,51	108,22	-3	-0,97	91,54	107,25	91,54
5000 Hz	92,57	108,22	-4	-2,03	90,54	106,19	90,54
6300 Hz	92,1	108,22	-5	-2,56	89,54	105,66	89,54
8000 Hz	90,84	107,22	-6	-2,3	88,54	104,92	88,54
10000 Hz	90,38	107,22	-7	-2,84	87,54	104,38	87,54

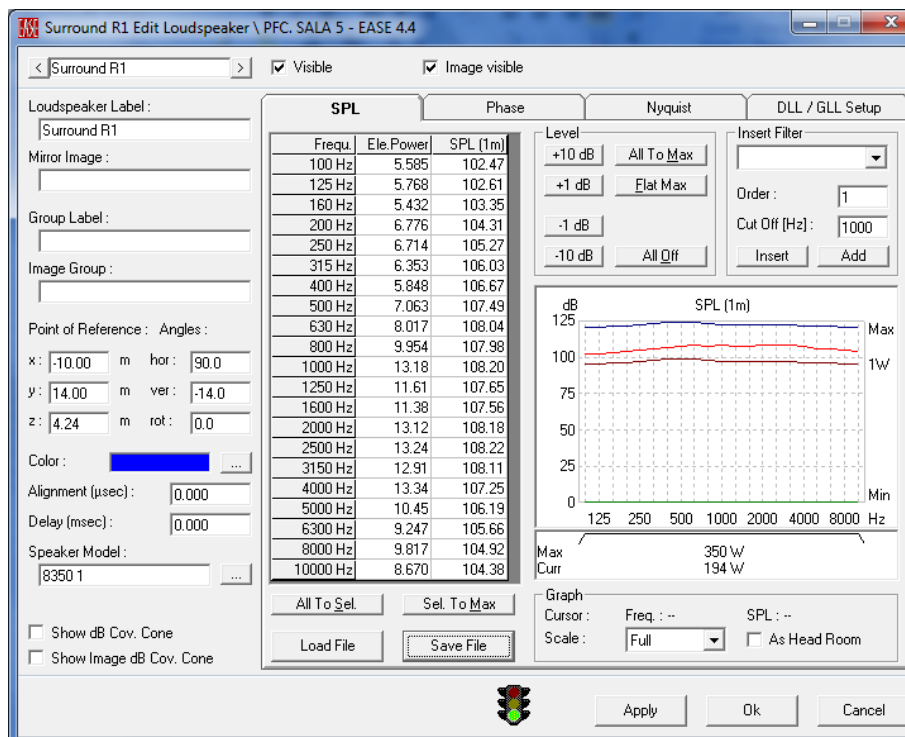


Imagen 90: Valores de SPL del canal surround derecho después de la ecualización.

Después de este ajuste en los altavoces que componen el canal surround derecho de la sala: altavoces Surround R1, Surround R2, Surround R3, Surround R4, Surround R5, Surround R6 y Surround R7, se obtiene un nivel total en la sala con una curva acorde a la curva X.

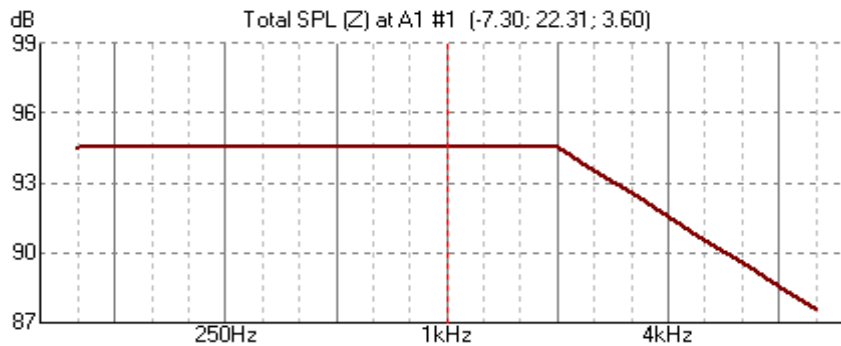


Imagen 91: Curva SPL<sub>t</sub> del canal de surround derecho, ecualizado

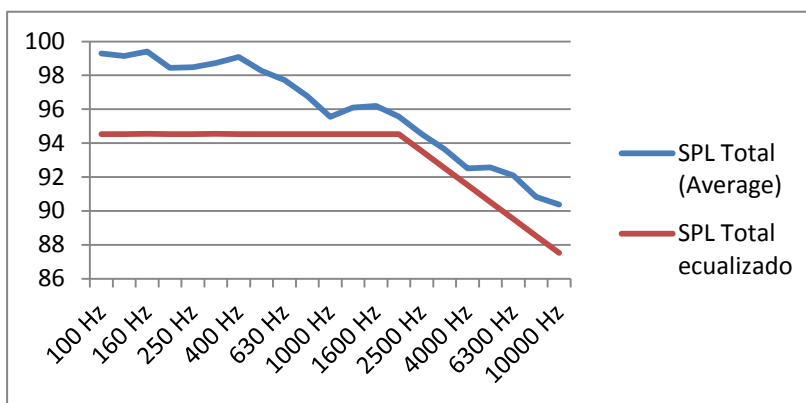


Imagen 92: Comparación del SPL<sub>t</sub> del canal de pantalla izquierdo antes y después de la ecualización.

### 8.2.2 Ecualización de canal surround izquierdo (SL)

Como en el canal surround derecho de la sala y el resto de canales de pantalla, se calcula el nivel total (SPL<sub>t</sub>) en el oyente 1, con los altavoces a máxima potencia, para el canal surround izquierdo (SL)

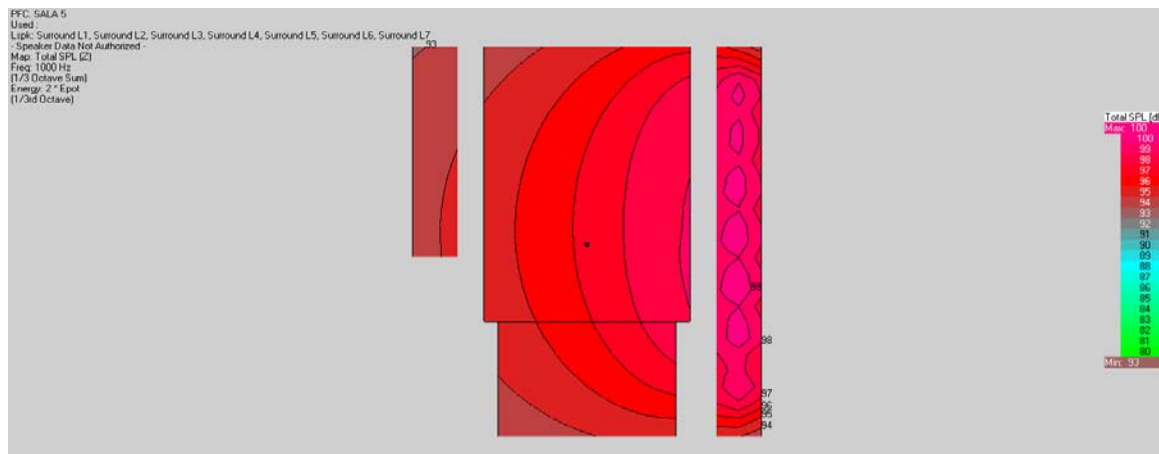


Imagen 93: Campo total del canal de surround izquierdo antes de la ecualización

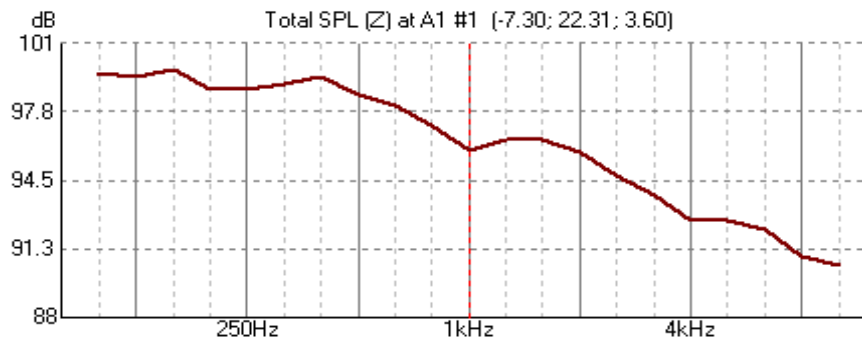


Imagen 94: Curva SPL<sub>t</sub> canal surround izquierdo SL

Se realizan los cálculos teóricos con los valores del SPL<sub>t</sub> obtenidos en la simulación de la sala y aplicamos la curva C

Tabla 18: Cálculo de los valores de SPL para la ecualización del canal surround izquierdo

Frecuencia	ANTES DE ECUALIZAR				DESPUES DE ECUALIZAR		
	SPL Total (Average)	SPL (1m)	Curva X	Atenuación	SPL Total, Ecualización teórica	SPL Directo (1m) Ecualizado	SPL Total ecualizado
100 Hz	99,55	107,22	0	-4,82	94,73	102,4	94,73
125 Hz	99,42	107,22	0	-4,69	94,73	102,53	94,73
160 Hz	99,72	108,22	0	-4,99	94,73	103,23	94,73
200 Hz	98,78	108,22	0	-4,05	94,73	104,17	94,73
250 Hz	98,83	109,22	0	-4,1	94,73	105,12	94,73
315 Hz	99,08	110,22	0	-4,35	94,73	105,87	94,73
400 Hz	99,43	111,22	0	-4,7	94,73	106,52	94,83
500 Hz	98,57	111,22	0	-3,84	94,73	107,38	94,73
630 Hz	98,01	111,22	0	-3,28	94,73	107,94	94,73
800 Hz	97,1	110,22	0	-2,37	94,73	107,85	94,73
1000 Hz	95,87	109,22	0	-1,14	94,73	108,08	94,73
1250 Hz	96,42	109,22	0	-1,69	94,73	107,53	94,73
1600 Hz	96,45	109,22	0	-1,72	94,73	107,5	94,73
2000 Hz	95,85	109,22	0	-1,12	94,73	108,1	94,73
2500 Hz	94,73	109,22	-1	-1	93,73	108,22	93,73
3150 Hz	93,79	109,22	-2	-1,06	92,73	108,16	92,73
4000 Hz	92,58	108,22	-3	-0,85	91,73	107,37	91,73
5000 Hz	92,61	108,22	-4	-1,88	90,73	106,34	90,73
6300 Hz	92,12	108,22	-5	-2,39	89,73	105,83	89,73
8000 Hz	90,85	107,22	-6	-2,12	88,73	105,1	88,74
10000 Hz	90,42	107,22	-7	-2,69	87,73	104,53	87,74

Se insertan los valores hallados para el SPL directo (1m) con la ecualización realizada en la columna SPL(1m) de las características del altavoz en la simulación.



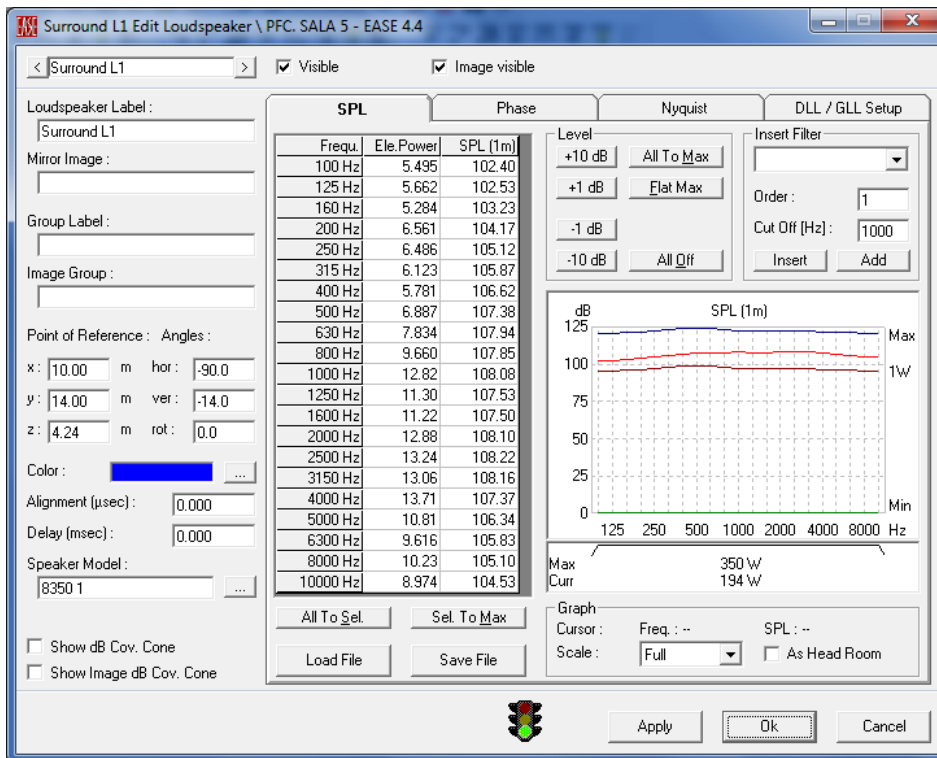


Imagen 95: Valores de SPL del canal surround derecho después de la ecualización.

Se aplica el SPL (1m) ecualizado a cada altavoz del canal surround izquierdo: Surround L1, Surround L2, Surround L3, Surround L4, Surround L5, Surround L6, Surround L7 y se obtiene una curva acorde a la curva X:

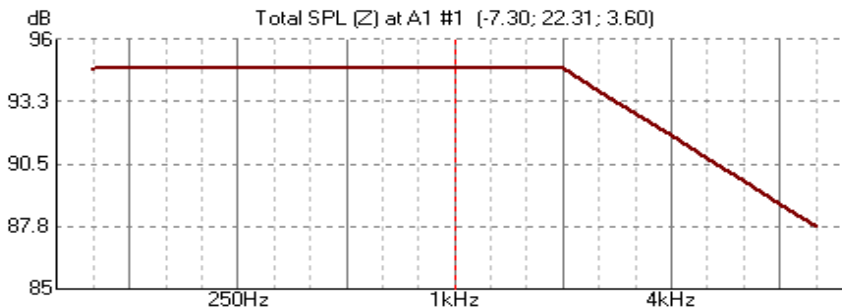


Imagen 96: Curva SPL<sub>t</sub> del canal surround izquierdo, surround L, ecualizado

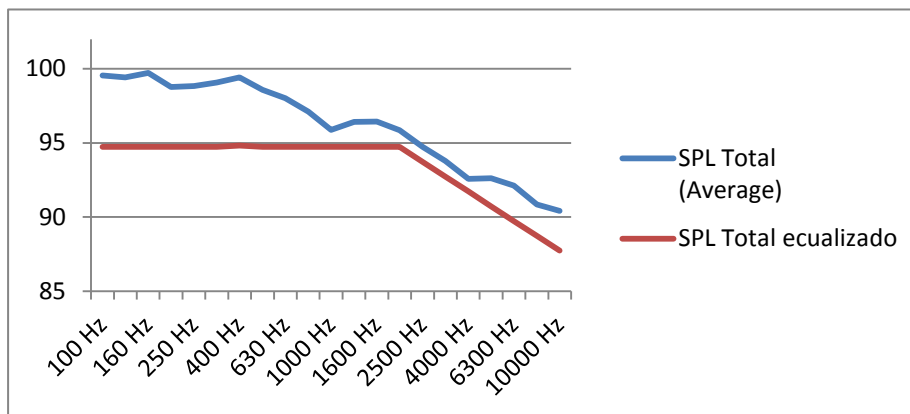


Imagen 97: Comparación del SPL<sub>t</sub> del canal surround izquierdo antes y después de la ecualización

### 8.2.3 Ecuación del canal surround trasero (ST)

Se halla el SPL Total al igual que para los canales surround izquierdo y derecho, para el canal surround trasero.

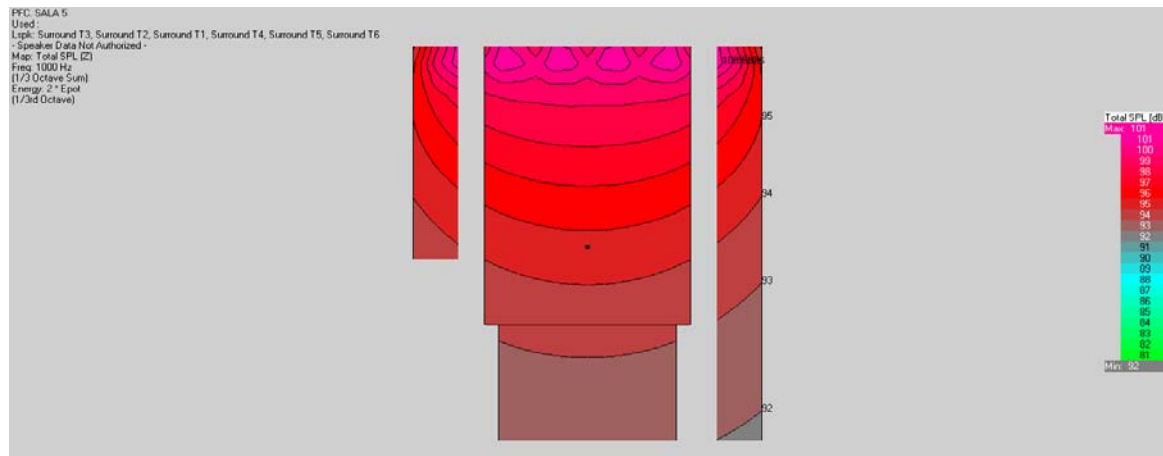


Imagen 98: Campo total del canal de surround trasero antes de la ecualización

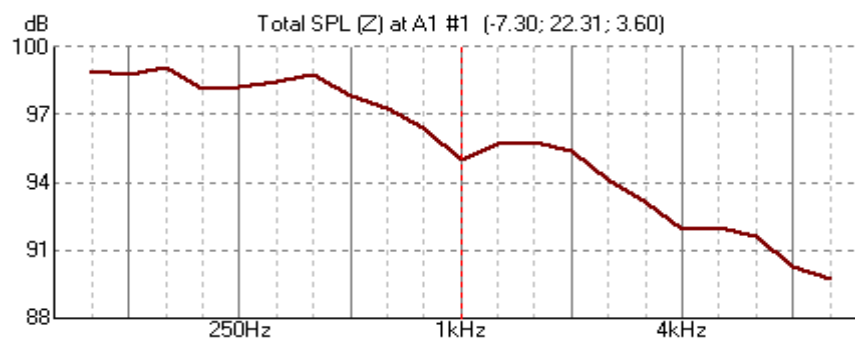


Imagen 99: Curva SPL<sub>t</sub> canal surround trasero antes de la ecualización

Se realizan los cálculos teóricos con los valores del SPL<sub>t</sub> obtenidos en la simulación de la sala dados por el canal surround trasero y aplicamos la curva C y se insertan los valores hallados para el SPL directo (1m) con la ecualización realizada en la columna SPL(1m) de las características del altavoz (para aproximar a la curva X los 6 altavoces surround traseros) en la simulación.

Tabla 19: Cálculo de los valores de SPL para la ecualización del canal surround trasero

ANTES DE ECUALIZAR					DESPUES DE ECUALIZAR		
Frecuencia	SPL Total (Average)	SPL (1m)	Curva X	Atenuación	SPL Total, Ecualización teórica	SPL Directo (1m) Ecualizado	SPL Total ecualizado
100 Hz	98,92	107,22	0	-4,77	94,15	102,45	94,15
125 Hz	98,81	107,22	0	-4,66	94,15	102,56	94,15
160 Hz	99,1	108,22	0	-4,95	94,15	103,27	94,15
200 Hz	98,16	108,22	0	-4,01	94,15	104,21	94,15
250 Hz	98,2	109,22	0	-4,05	94,15	105,17	94,15
315 Hz	98,42	110,22	0	-4,27	94,15	105,95	94,15
400 Hz	98,74	111,22	0	-4,59	94,15	106,63	94,15
500 Hz	97,84	111,22	0	-3,69	94,15	107,53	94,15
630 Hz	97,27	111,22	0	-3,12	94,15	108,1	94,15
800 Hz	96,41	110,22	0	-2,26	94,15	107,96	94,15
1000 Hz	95,02	109,22	0	-0,87	94,15	108,35	94,15
1250 Hz	95,71	109,22	0	-1,56	94,15	107,66	94,15
1600 Hz	95,8	109,22	0	-1,65	94,15	107,57	94,15
2000 Hz	<b>95,36</b>	109,22	0	-1,21	94,15	108,01	94,15
2500 Hz	<b>94,15</b>	109,22	-1	-1	93,15	108,22	92,94
3150 Hz	93,09	109,22	-2	-0,94	92,15	108,28	92,09
4000 Hz	91,91	108,22	-3	-0,76	91,15	107,46	91,98
5000 Hz	92,03	108,22	-4	-1,88	90,15	106,34	91,27
6300 Hz	91,59	108,22	-5	-2,44	89,15	105,78	89,16
8000 Hz	90,27	107,22	-6	-2,12	88,15	105,1	88,16
10000 Hz	89,73	107,22	-7	-2,58	87,15	104,64	87,15

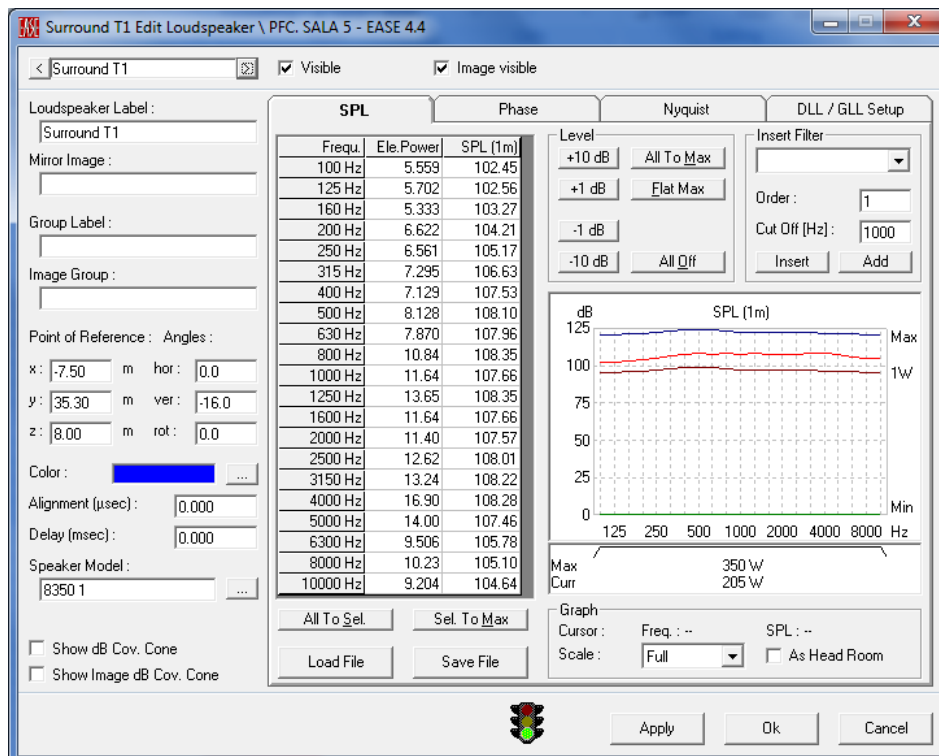


Imagen 100: Valores de SPL del canal surround trasero después de la ecualización.

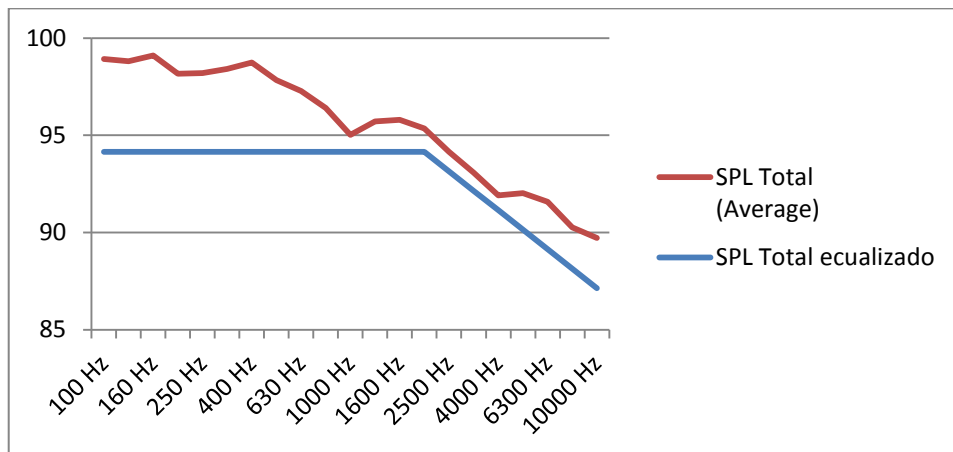


Imagen 101: Comparación del  $SPL_t$  del canal surround trasero antes y después de la ecualización

### 8.3 Resultado ecualización en campo total

Para comprobar el resultado de la ecualización de los altavoces en la sala, se realiza el cálculo de la respuesta de la sala total.

Antes de la ecualización, la sala tenía una respuesta en frecuencia diferente a la exigida por la curva X, como muestran las imágenes Imagen 102 e Imagen 103.

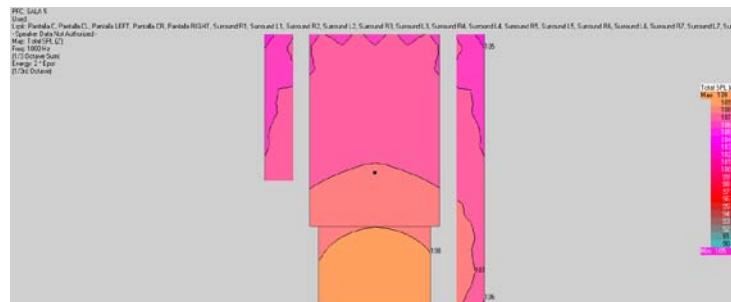


Imagen 102: Campo total de todos los canales a la vez antes de la ecualización

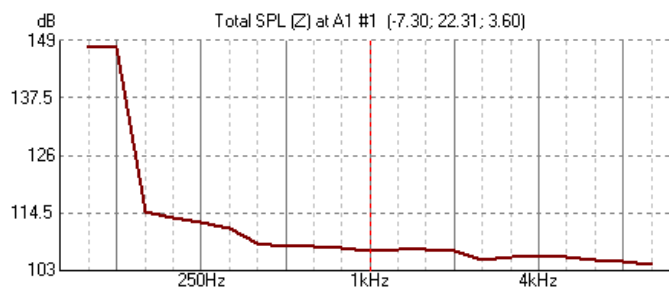


Imagen 103: Curva  $SPL_t$  de todos los canales a la vez antes de la ecualización

Una vez realizada la ecualización, la sala tiene una respuesta en frecuencia similar a la curva X. El pico de señal que aparece en la Imagen 174 en bajas frecuencias es debido a los altavoces de efectos LFE, aún no modificados y a su nivel máximo

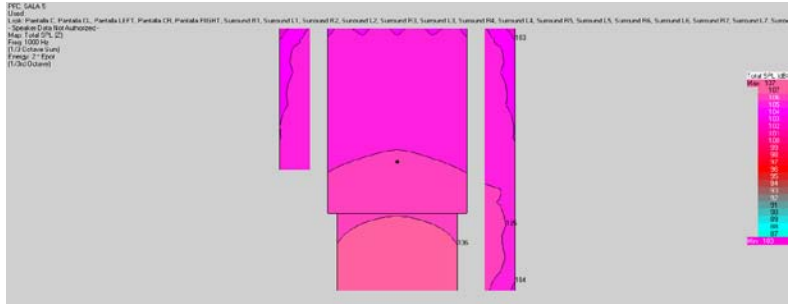


Imagen 104: Campo total de todos los canales a la vez después de la eualización

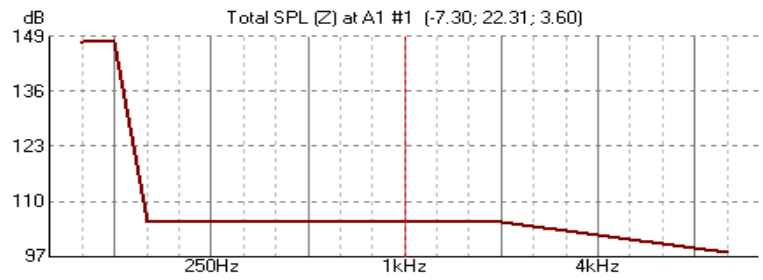


Imagen 105: Curva  $SPL_t$  de todos los canales a la vez después de la eualización

## 9 Ajuste de niveles

El ajuste final de nivel se debe realizar sobre los sistemas ya ecualizados. Así, una vez ecualizada la sala, se realiza el ajuste de niveles de cada canal a los valores acordes a las recomendaciones SMPTE y THX.

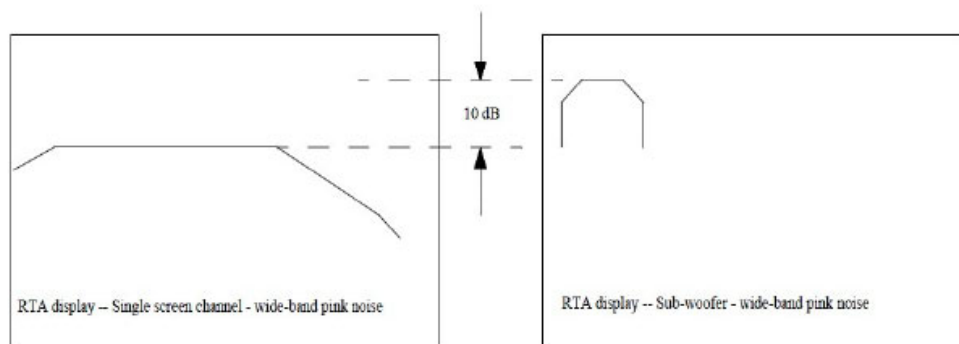
La norma SMTE RP 200 recomienda unos niveles de referencia de medida en la sala de 85dBC para canales de pantalla, 82dBC para los surround y 95dBC para el canal de efectos de baja frecuencia en su banda de trabajo para Dolby Digital.

El nivel de presión sonora de los canales de pantalla y surround, se debe medir en nivel de banda ancha y ponderación C. Sin embargo, este método no es válido para los altavoces de efectos en bajas frecuencias ya que, por ejemplo, si un ruido rosa y un medidor de nivel fueran usados con iguales niveles en un subwoofer cuya banda se extiende a 125Hz y otro que se extienda a 250Hz, los niveles de presión en la banda de paso de cada altavoz serían diferentes.

En los canales de pantalla, el nivel de presión sonora relativo en cada canal no debe variar de  $\pm 0.5\text{dB}$  del nivel absoluto de nivel de presión sonora que es el nivel medido en un canal de un sistema de teatro con ruido rosa en banda ancha con un estímulo eléctrico de nivel de referencia de  $20\text{mN/m}^2$ .

En los canales surround, si hay un único canal, entonces el nivel de presión debe ser igual que el nivel absoluto de presión sonora. Si hay dos canales, izquierdo y derecho, entonces cada uno debe radiar un nivel tal que cuando son alimentados a la vez, la suma será igual al nivel absoluto ya que ambos canales soportan el mismo mensaje sonoro. Para un sistema con dos canales surround el nivel individual para cada uno deberá ser de 3dB por debajo del nivel de referencia, es decir, 82dBC, como es nuestro caso.

El canal de subwoofer, cuando se compara con un canal de pantalla de banda ancha, debe mostrar 10dB de ganancia en banda visto por un analizador en tiempo real. Por ejemplo, el mismo nivel en su banda de paso como el nivel en banda de paso del canal de pantalla. Por lo tanto se deberá ajustar a un nivel de 95dB.



**Imagen 106: Ajuste de niveles. Comparación del canal subwoofer con un canal de pantalla en banda ancha**

Este ajuste se debe a un fenómeno cuya explicación se realiza muy bien con las curvas isofónicas, curvas definidas en 1956 por Robinson y Dadson. Estas

curvas representan el nivel de sonoridad de un ruido en función del nivel de presión sonora (NPS) con la frecuencia.

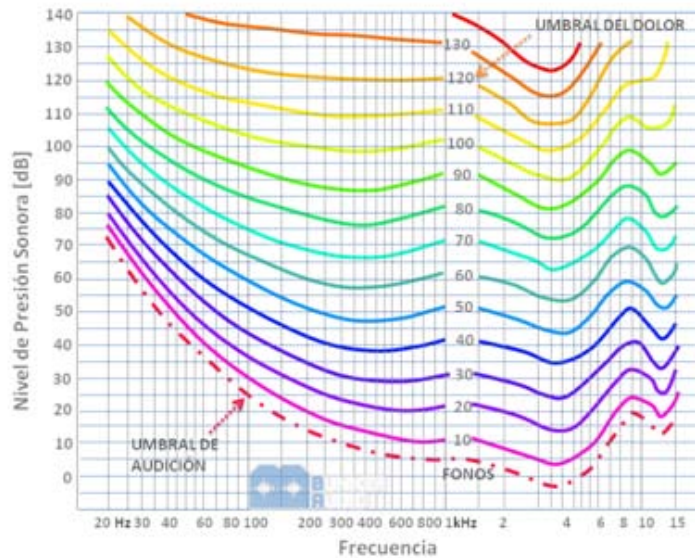


Imagen 107: Curvas isofónicas

Los puntos que estén en una misma curva representan los niveles de presión sonora que han sido juzgados como igualmente sonoros es decir que dos tonos de frecuencia diferente y con igual intensidad sonora, se dice que cualitativamente son diferentes, pero son de la misma "línea isofónica" cuando tienen igual sonoridad. Por ejemplo, la curva que pasa por los 1000 Hz a un nivel de presión sonora de 40 dB es isótona a un tono con un nivel de presión sonora de 35 dB a 3000 Hz, o a un tono de 100 Hz con un nivel de presión sonora de 50 dB.

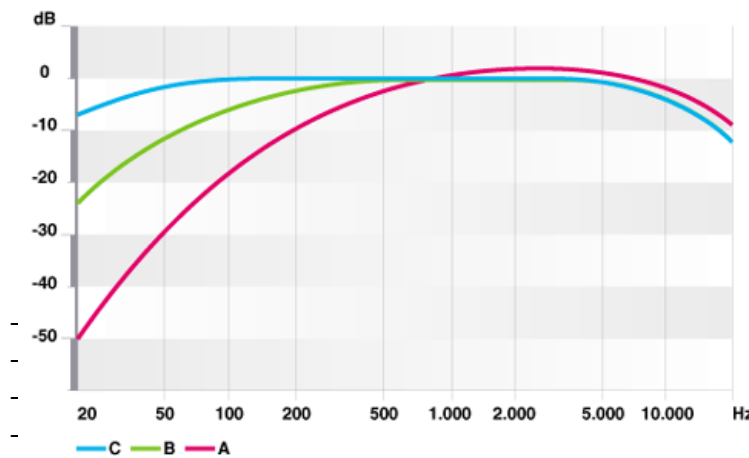
Como conclusión, es necesario un nivel mayor de presión sonora para tener la misma sensación en las frecuencias bajas que con frecuencias medias y altas ya que el oído humano es poco sensible a las bajas frecuencias

Se realiza el mismo cálculo para todos los canales, los de pantalla, los surround, (derecho e izquierdo y trasero) el subwoofer siguiendo un mismo proceso:

- Se parte de la presión sonora total calculada por EASE después de la ecualización.
- Se aplica la curva de ponderación C (adecuada para ruidos de alta intensidad)

Para poder obtener el valor del nivel sonoro en dBC, es necesario sumar o restar (según el signo sea positivo o negativo) al valor de nivel sonoro registrado, los valores de atenuación de la curva C correspondientes a cada nivel de banda de octava. Así se convierte el cálculo del nivel sonoro registrado al nivel sonoro que sería percibido por el oído humano.

Los valores de atenuación de la curva C para las diferentes bandas de octava son los de la tabla adjunta.



Frecuencia (Hz)	Curva de ponderación C (dB)
100 Hz	-0,30
125 Hz	-0,17
160 Hz	-0,08
200 Hz	-0,03
250 Hz	0,00
315 Hz	0,02
400 Hz	0,03
500 Hz	0,03
630 Hz	0,03
800 Hz	0,02
1000 Hz	0,00
1250 Hz	-0,03
1600 Hz	-0,09
2000 Hz	-0,17
2500 Hz	-0,30
3150 Hz	-0,50
4000 Hz	-0,83
5000 Hz	-1,29
6300 Hz	-1,99
8000 Hz	-3,05
10000 Hz	-4,41

- Los niveles de presión de cada frecuencia se transforman a presión sonora ( Pa) mediante la fórmula

$$SPL(Pa) = 10^{\left(\frac{SPL_{inicial}[dBC]}{10}\right)} \quad (6)$$

- Después se suman todas las bandas para hallar el total y tras pasar de nuevo a nivel:

$$10 \log SPL(Pa)$$

Se ajusta la potencia (log21, por las 21 bandas, menos para el canal de LFE que solo tiene dos bandas, asíque será log2).

- El ajuste que deberemos aplicar a cada banda será la resta de este nivel con respecto al de referencia (85dB).
- Así, obtenemos el nuevo SPL<sub>directo</sub> (1m) restando el valor del ajuste al SPL directo que se obtuvo al realizar la ecualización, que deberemos modificar en las propiedades de los altavoces de nuestra sala.
- Para comprobar si el resultado es el previsto, se vuelve a hallar el SPL total y a hacer el cálculo a la inversa, obteniendo que el nuevo SPL medio es 85 dBC para los canales de Pantalla, 82 dBC para los canales de Surround y 95 dBC para los canales de subwoofer como es exigido.

A continuación se muestran los cálculos de ajustes de niveles y en la Tabla 20 la atenuación que se le debe dar a los valores de cada banda de SPL (1m) para los canales de la sala de estudio



Tabla 20. Atenuación que se debe aplicar a cada canal para el ajuste de niveles.

Canales	Atenuación SPL (1m) [dB]
Canal de pantalla central (C)	22,19
Canal de pantalla izquierdo (LEFT)	22,19
Canal central de pantalla izquierdo (CL)	22,17
Canal de pantalla derecho (RIGHT)	22
Canal central de pantalla derecho (CR)	22,07
Canal surround izquierdo (SL)	23,51
Canal surround derecho (SR)	23,32
Canal surround trasero (ST)	22,93
Canal de subwoofer (LFE)	66,25

Finalmente, se aplica la atenuación hallada a cada altavoz de la sala.

## 9.1 Ajuste de niveles canal de pantalla central C

Se aplica el ajuste al canal de pantalla central C.

Tabla 21: Ajuste de niveles para el canal de pantalla central C

Frecuencia (Hz)	SPL Directo (1m) Ecuilizado	SPL Directo (1m) Ajuste de niveles
100 Hz	115,68	93,49
125 Hz	116,65	94,46
160 Hz	118,05	95,86
200 Hz	119,35	97,16
250 Hz	120,52	98,33
315 Hz	121,81	99,62
400 Hz	122,15	99,96
500 Hz	122,56	100,37
630 Hz	122,61	100,42
800 Hz	122,64	100,45
1000 Hz	122,7	100,51
1250 Hz	122,59	100,40
1600 Hz	122,61	100,42
2000 Hz	122,76	100,57
2500 Hz	121,3	99,11
3150 Hz	119	96,81
4000 Hz	117,59	95,40
5000 Hz	116,81	94,62
6300 Hz	116,43	94,24
8000 Hz	115,67	93,48
10000 Hz	115,12	92,93

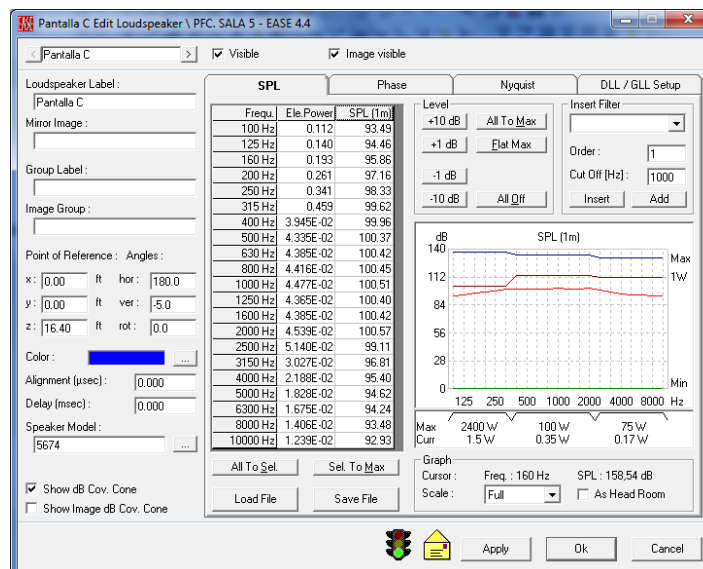


Imagen 108: Ajuste de niveles en la ventana de propiedades del altavoz de canal de pantalla C

Después del ajuste de niveles el canal de pantalla C obtiene un nivel total de:

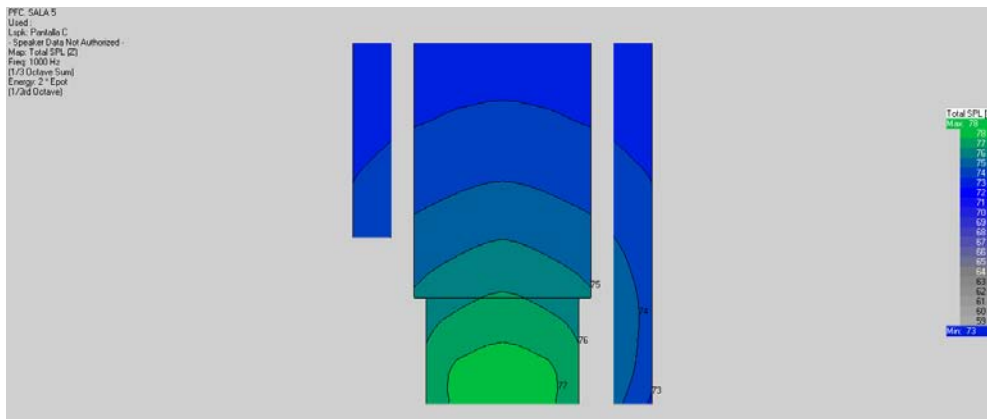


Imagen 109: Nivel total del canal de pantalla central C tras el ajuste de niveles

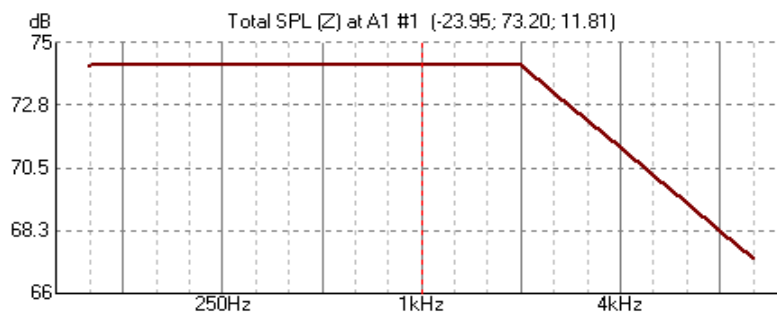


Imagen 110: Respuesta en frecuencia del nivel total de la sala del canal de pantalla C

En la simulación obtenemos una pequeña diferencia con el cálculo teórico. Teóricamente el ajuste de nivel para los canales de pantalla está calculado para obtener 85dBC. Se puede comprobar que en la simulación el valor obtenido difiere mínimamente: el valor de SPL corregido tras el ajuste de niveles que genera el altavoz de pantalla C en la simulación es de 84,98dBC (cálculos guardados en el CD de referencia del proyecto en el apartado de ajuste de niveles).

## 9.2 Ajuste de niveles canal de pantalla izquierdo LEFT

Se aplica el ajuste de niveles al canal de pantalla izquierdo y se introducen dichos valores en las propiedades del altavoz de pantalla izquierdo en EASE

Tabla 22: Ajuste de niveles para el canal de pantalla izquierdo

Frecuencia (Hz)	SPL Directo (1m) Ecuilizado	SPL Directo (1m) Ajuste de niveles
100 Hz	115,69	93,50
125 Hz	116,65	94,46
160 Hz	118,06	95,87
200 Hz	119,36	97,17
250 Hz	120,53	98,34
315 Hz	121,82	99,63
400 Hz	122,16	99,97
500 Hz	122,57	100,38
630 Hz	122,61	100,42
800 Hz	122,65	100,46
1000 Hz	122,7	100,51
1250 Hz	122,6	100,41
1600 Hz	122,62	100,43
2000 Hz	122,78	100,59
2500 Hz	121,3	99,11
3150 Hz	119	96,81
4000 Hz	117,59	95,40
5000 Hz	116,8	94,61
6300 Hz	116,42	94,23
8000 Hz	115,66	93,47
10000 Hz	115,1	92,91

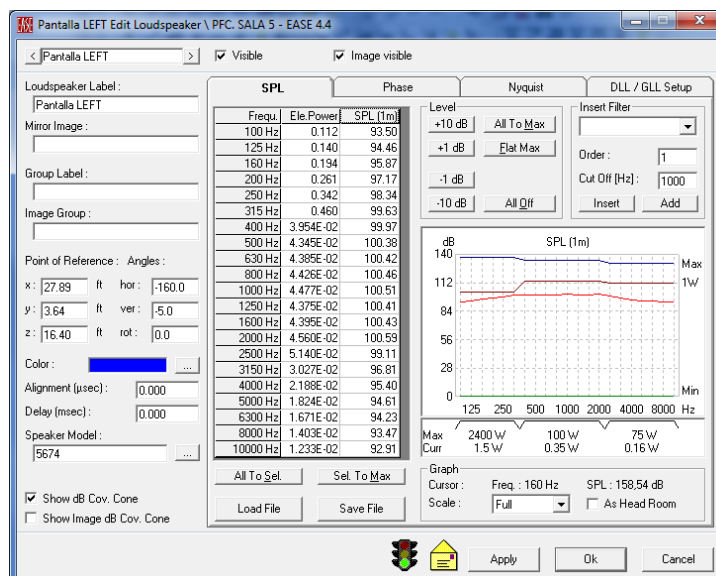


Imagen 111: Ajuste de niveles en la ventana de propiedades del altavoz de canal de pantalla izquierdo

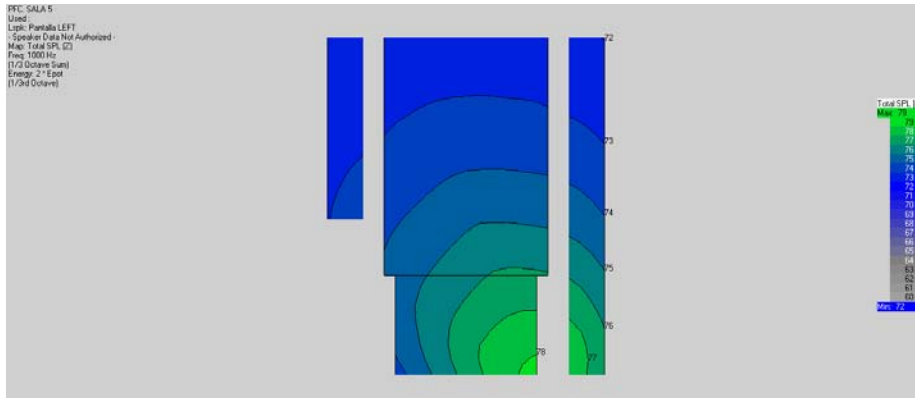


Imagen 112: Nivel total del canal de pantalla izquierdo tras el ajuste de niveles

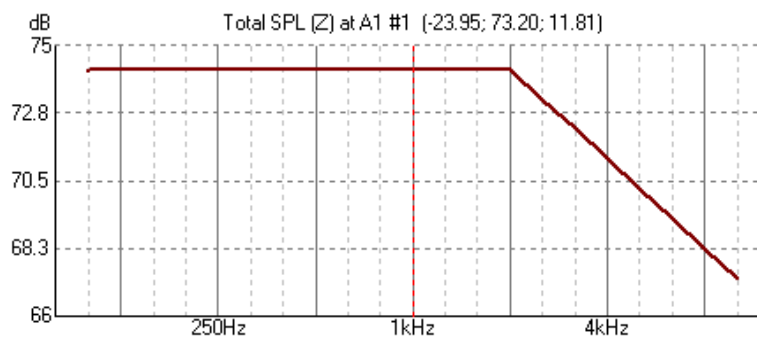


Imagen 113: Respuesta en frecuencia del nivel total de la sala del canal de pantalla izquierdo

Después del ajuste de niveles el canal de pantalla izquierdo obtiene el nivel total dado en las Imagen 112 e Imagen 113. Teóricamente y tras el ajuste en la simulación el valor del nivel total dado por el canal de pantalla izquierdo es de 85dBC (cálculos guardados en el CD de referencia del proyecto en el apartado de ajuste de niveles).

### 9.3 Ajuste de niveles canal de pantalla central izquierdo CL

Se aplica el ajuste de niveles al canal de pantalla central izquierdo:

Tabla 23: Ajuste de niveles para el canal de pantalla central izquierdo

Frecuencia (Hz)	SPL Directo (1m) Ecuilizado	SPL Directo (1m) Ajuste de niveles
100 Hz	115,67	93,50
125 Hz	116,64	94,47
160 Hz	118,05	95,88
200 Hz	119,35	97,18
250 Hz	120,52	98,35
315 Hz	121,82	99,65
400 Hz	122,16	99,99
500 Hz	122,57	100,40
630 Hz	122,61	100,44
800 Hz	122,65	100,48
1000 Hz	122,7	100,53
1250 Hz	122,6	100,43
1600 Hz	122,61	100,44
2000 Hz	122,77	100,60
2500 Hz	121,3	99,13
3150 Hz	118,99	96,82
4000 Hz	117,59	95,42
5000 Hz	116,81	94,64
6300 Hz	116,42	94,25
8000 Hz	115,67	93,50
10000 Hz	115,11	92,94

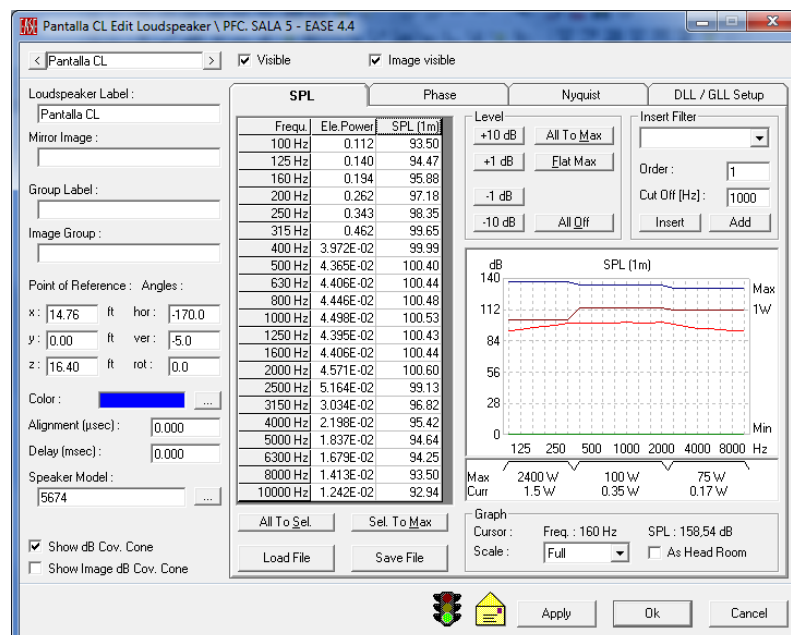


Imagen 114: Ajuste de niveles en la ventana de propiedades del altavoz de canal de pantalla Central izquierdo

Después del ajuste de niveles el canal de pantalla C obtiene un nivel total de:

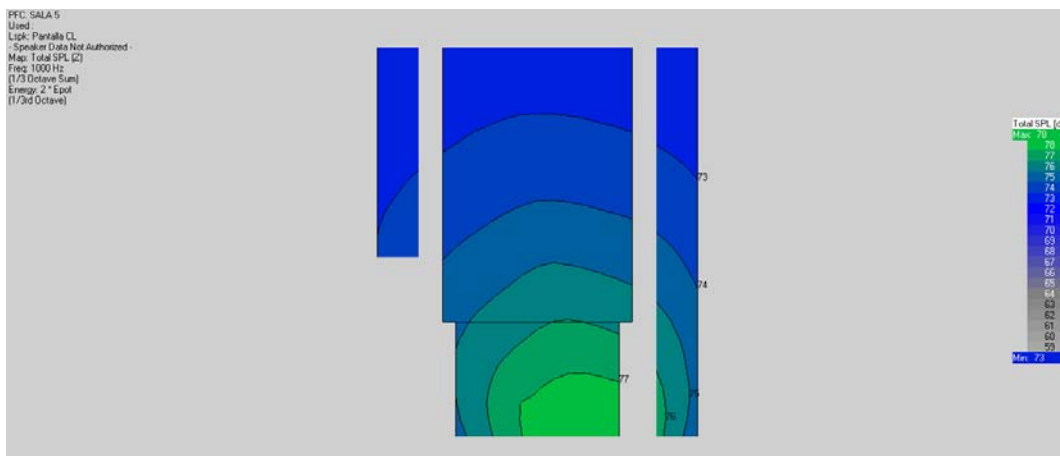


Imagen 115: Nivel total del canal de pantalla central izquierdo tras el ajuste de niveles

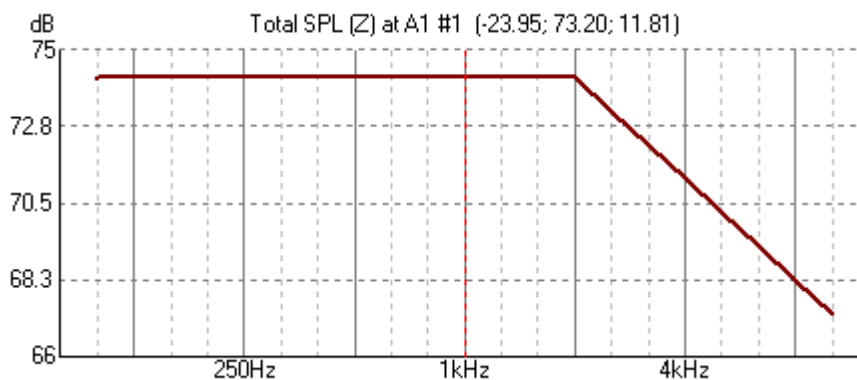


Imagen 116: Respuesta en frecuencia del nivel total de la sala del canal de pantalla central izquierdo

En la simulación obtenemos una pequeña diferencia con el cálculo teórico. Teóricamente el ajuste de nivel para los canales de pantalla está calculado para obtener 85dBC. Se puede comprobar que en la simulación el valor obtenido difiere mínimamente: el valor de SPL corregido tras el ajuste de niveles que genera el altavoz de pantalla central izquierdo en la simulación es de 84,99dBC (cálculos guardados en el CD de referencia del proyecto en el apartado de ajuste de niveles).

## 9.4 Ajuste de niveles canal de pantalla derecho RIGHT

Se aplica el ajuste de niveles al canal de pantalla derecho

Tabla 24: Ajuste de niveles para el canal de pantalla central izquierdo

Frecuencia (Hz)	SPL Directo (1m) Ecuilizado	SPL Directo (1m) Ajuste de niveles
100 Hz	115,56	93,56
125 Hz	116,53	94,53
160 Hz	117,96	95,96
200 Hz	119,29	97,29
250 Hz	120,49	98,49
315 Hz	121,82	99,82
400 Hz	122,17	100,17
500 Hz	122,6	100,60
630 Hz	122,64	100,64
800 Hz	122,68	100,68
1000 Hz	122,74	100,74
1250 Hz	122,62	100,62
1600 Hz	122,63	100,63
2000 Hz	122,78	100,78
2500 Hz	121,3	99,30
3150 Hz	118,95	96,95
4000 Hz	117,54	95,54
5000 Hz	116,75	94,75
6300 Hz	116,37	94,37
8000 Hz	115,61	93,61
10000 Hz	115,05	93,05

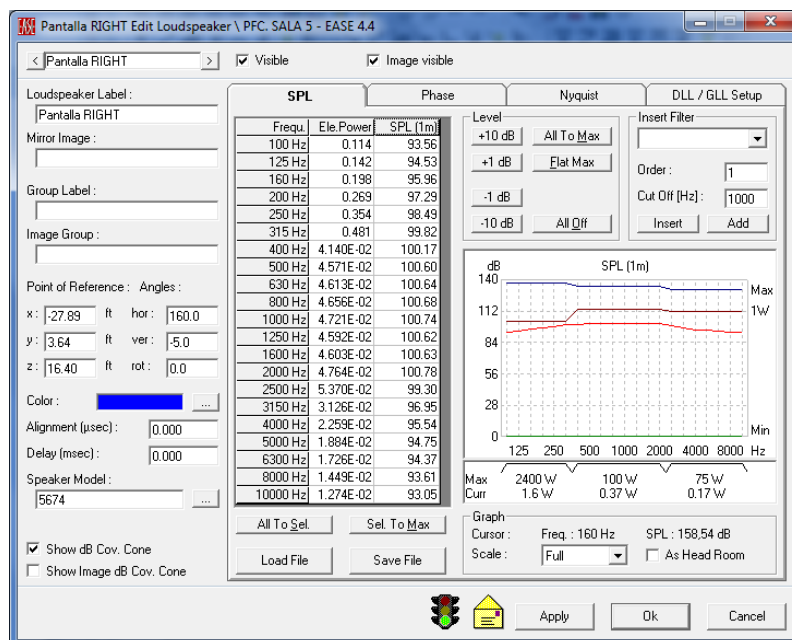


Imagen 117: Ajuste de niveles en la ventana de propiedades del altavoz de canal de pantalla derecho



Después del ajuste de niveles el canal de pantalla C obtiene un nivel total de:

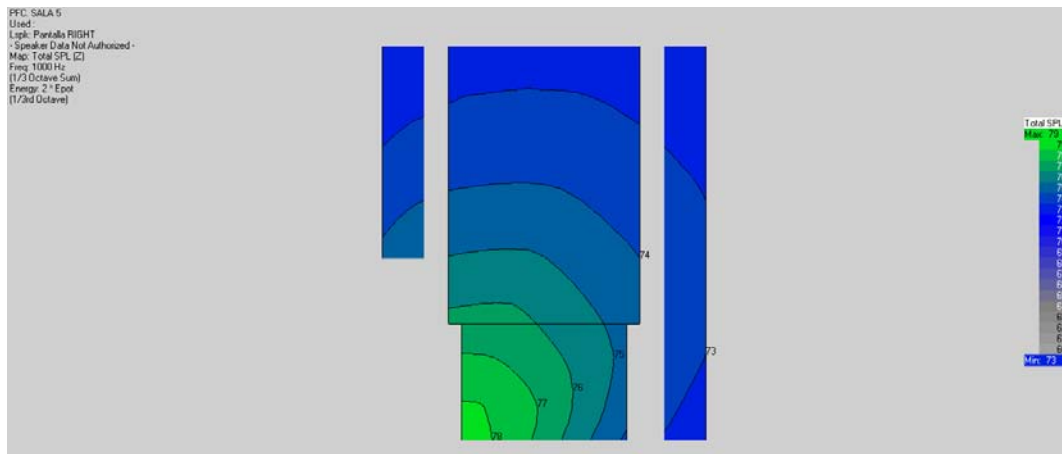


Imagen 118: Nivel total del canal de pantalla derecho tras el ajuste de niveles

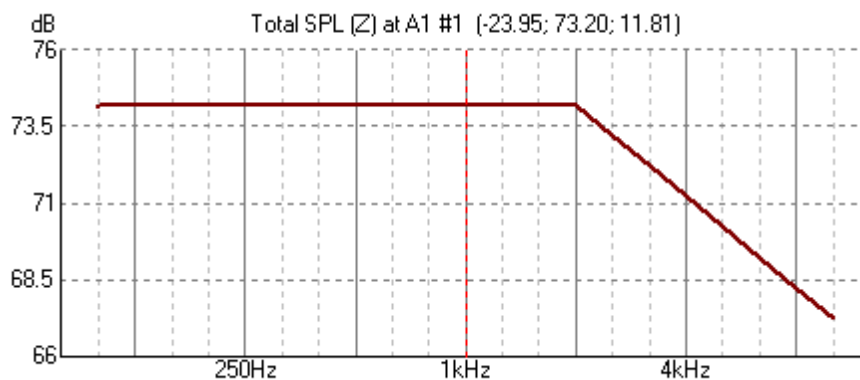


Imagen 119: Respuesta en frecuencia del nivel total de la sala del canal de pantalla derecho

Teóricamente y tras el ajuste en la simulación los valores difieren mínimamente. En la simulación obtenemos una pequeña diferencia con el cálculo teórico y el valor de SPL corregido que genera el altavoz. El nivel total en la sala dado por el canal de pantalla derecho será de 84,97dBC (cálculos guardados en el CD de referencia del proyecto en el apartado de ajuste de niveles).

## 9.5 Ajuste de niveles canal CR

Se aplica el ajuste de niveles al canal de pantalla central derecho:

Tabla 25: Ajuste de niveles para el canal de pantalla central derecho

Frecuencia (Hz)	SPL Directo (1m) Ecualizado	SPL Directo (1m) Ajuste de niveles
100 Hz	115,61	93,54
125 Hz	116,58	94,51
160 Hz	118	95,93
200 Hz	119,31	97,24
250 Hz	120,5	98,43
315 Hz	121,82	99,75
400 Hz	122,16	100,09
500 Hz	122,58	100,51
630 Hz	122,63	100,56
800 Hz	122,67	100,60
1000 Hz	122,73	100,66
1250 Hz	122,61	100,54
1600 Hz	122,62	100,55
2000 Hz	122,77	100,70
2500 Hz	121,3	99,23
3150 Hz	118,98	96,91
4000 Hz	117,57	95,50
5000 Hz	116,79	94,72
6300 Hz	116,41	94,34
8000 Hz	115,66	93,59
10000 Hz	115,1	93,03

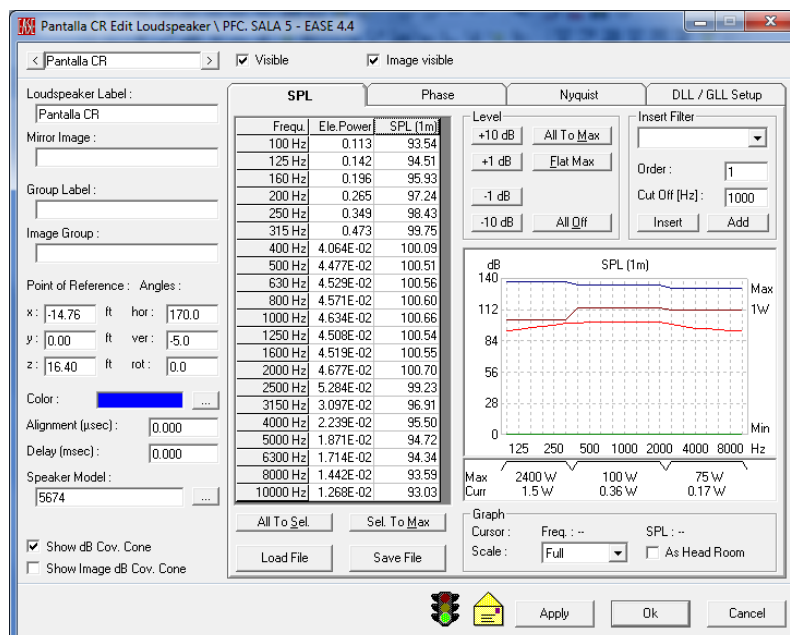


Imagen 120: Ajuste de niveles en la ventana de propiedades del altavoz de canal de pantalla central derecho

Después del ajuste de niveles el canal de pantalla C obtiene un nivel total de:

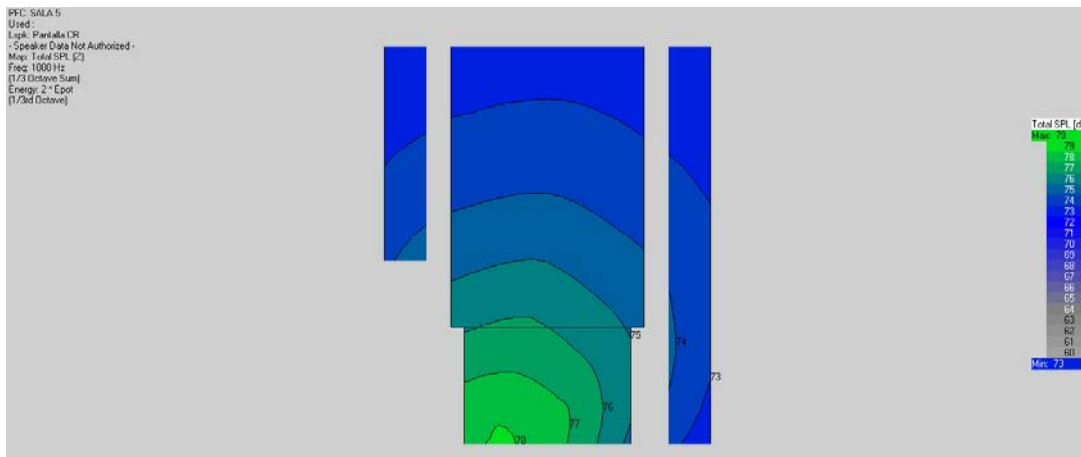


Imagen 121: Nivel total del canal de pantalla central derecho tras el ajuste de niveles

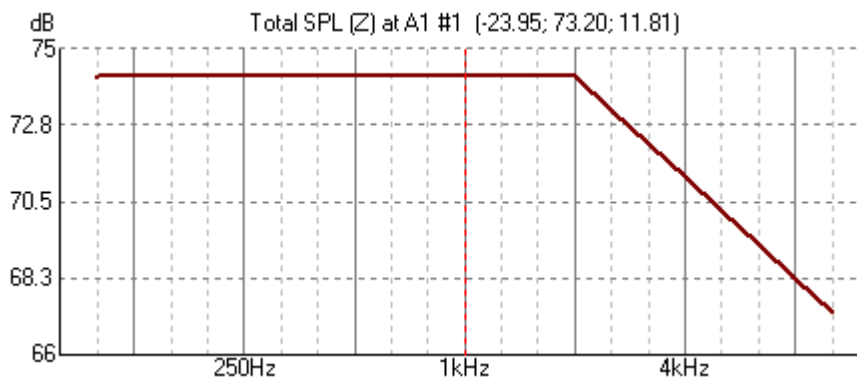


Imagen 122: Respuesta en frecuencia del nivel total de la sala del canal de pantalla central derecho

Teóricamente y tras el ajuste en la simulación los valores difieren mínimamente. En la simulación obtenemos una pequeña diferencia con el cálculo teórico y el valor de SPL corregido que genera el altavoz. El nivel total en la sala dado por el canal de pantalla central derecho es de 84,98dBC (cálculos guardados en el CD de referencia del proyecto en el apartado de ajuste de niveles).

## 9.6 Ajuste de niveles canal surround izquierdo SL

Se aplica el ajuste de nivel a los 7 altavoces del canal surround izquierdo (surround L1, L2, L3, L4, L5, L6 y L7).

Tabla 26: Ajuste de niveles para el canal surround izquierdo

Frecuencia (Hz)	SPL Directo (1m) Ecuilizado	SPL Directo (1m) Ajuste de niveles
100 Hz	102,4	78,89
125 Hz	102,53	79,02
160 Hz	103,23	79,72
200 Hz	104,17	80,66
250 Hz	105,12	81,61
315 Hz	105,87	82,36
400 Hz	106,52	83,01
500 Hz	107,38	83,87
630 Hz	107,94	84,43
800 Hz	107,85	84,34
1000 Hz	108,08	84,57
1250 Hz	107,53	84,02
1600 Hz	107,5	83,99
2000 Hz	108,1	84,59
2500 Hz	108,22	84,71
3150 Hz	108,16	84,65
4000 Hz	107,37	83,86
5000 Hz	106,34	82,83
6300 Hz	105,83	82,32
8000 Hz	105,1	81,59
10000 Hz	104,53	81,02

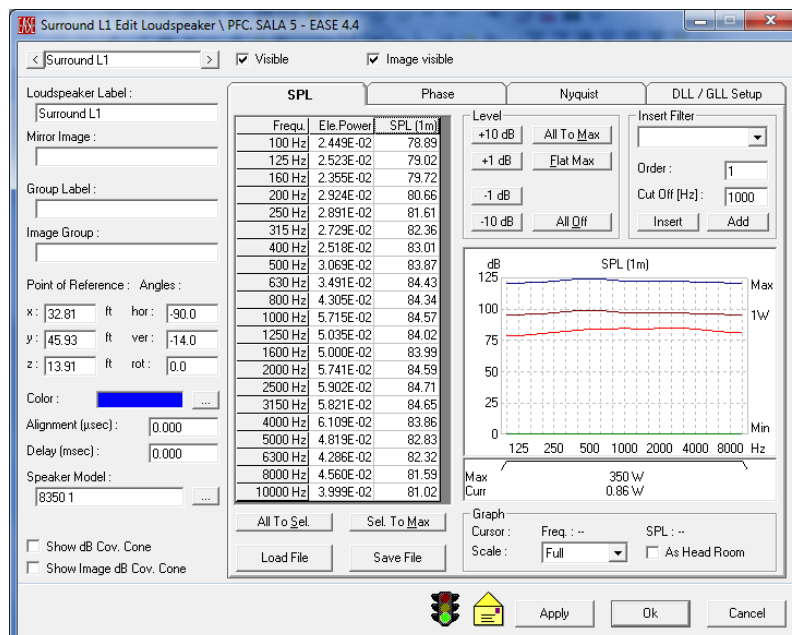


Imagen 123: Ajuste de niveles en la ventana de propiedades del altavoz de canal surround izquierdo.

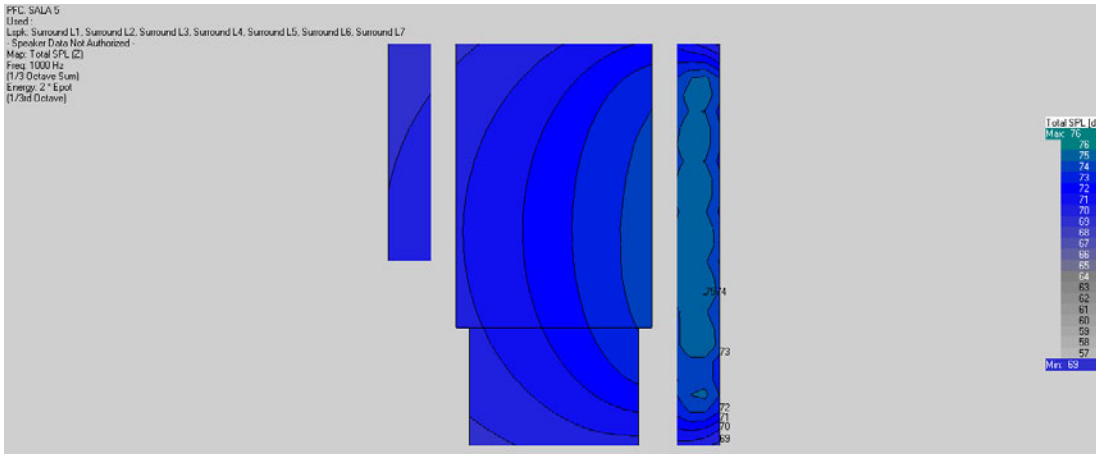


Imagen 124: Nivel total del canal surround izquierdo tras el ajuste de niveles

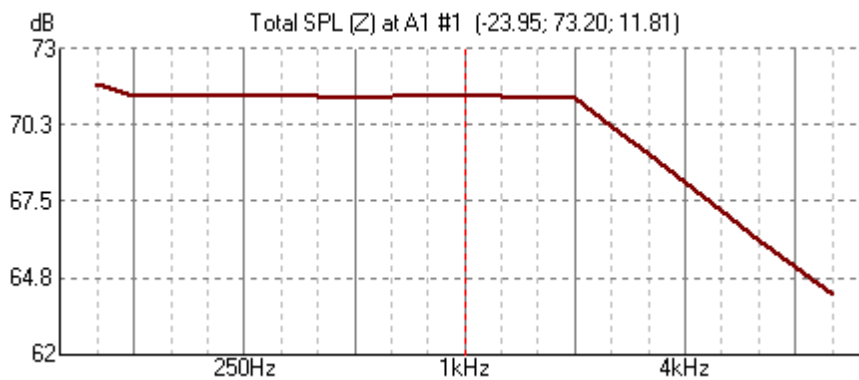


Imagen 125: Respuesta en frecuencia del nivel total de la sala del canal surround izquierdo

Teóricamente el ajuste de nivel para los canales surround está calculado para obtener 82dBC. Después del ajuste de niveles el canal de surround izquierdo se obtiene un nivel total de 82,07dBC por lo que tras el ajuste en la simulación los valores teóricos difieren mínimamente (cálculos guardados en el CD de referencia del proyecto en el apartado de ajuste de niveles).

## 9.7 Ajuste de niveles canal surround derecho SR

Se aplica el ajuste de nivel a los 7 altavoces del canal surround derecho (surround R1, R2, R3, R4, R5, R6 y R7)

Tabla 27: Ajuste de niveles para el canal surround derecho

Frecuencia (Hz)	SPL Directo (1m) Ecuilizado	SPL Directo (1m) Ajuste de niveles
100 Hz	102,47	79,15
125 Hz	102,61	79,29
160 Hz	103,35	80,03
200 Hz	104,31	80,99
250 Hz	105,27	81,95
315 Hz	106,03	82,71
400 Hz	106,67	83,35
500 Hz	107,49	84,17
630 Hz	108,04	84,72
800 Hz	107,98	84,66
1000 Hz	108,2	84,88
1250 Hz	107,65	84,33
1600 Hz	107,56	84,24
2000 Hz	108,18	84,86
2500 Hz	108,22	84,90
3150 Hz	108,11	84,79
4000 Hz	107,25	83,93
5000 Hz	106,19	82,87
6300 Hz	105,66	82,34
8000 Hz	104,92	81,60
10000 Hz	104,38	81,06

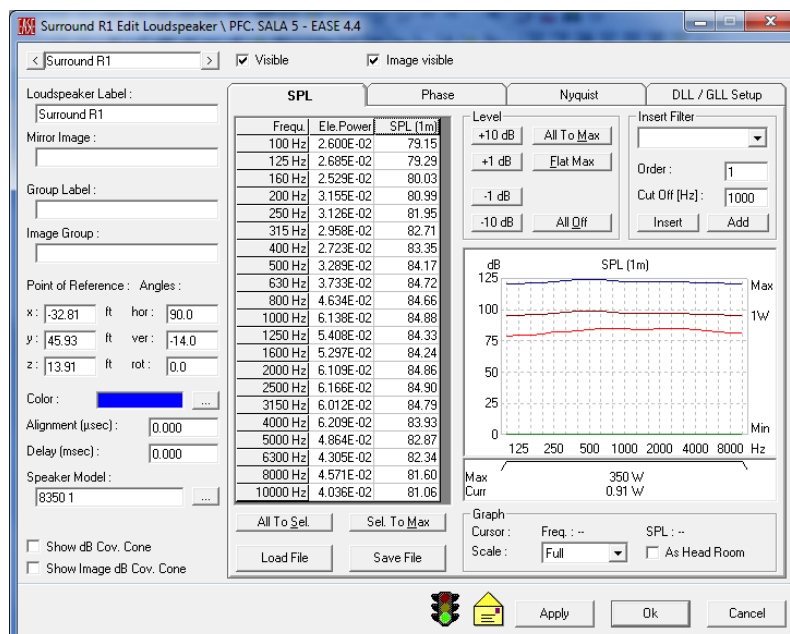


Imagen 126: Ajuste de niveles en la ventana de propiedades del altavoz de canal de pantalla central derecho

Después del ajuste de niveles el canal de surround izquierdo obtiene un nivel total de:

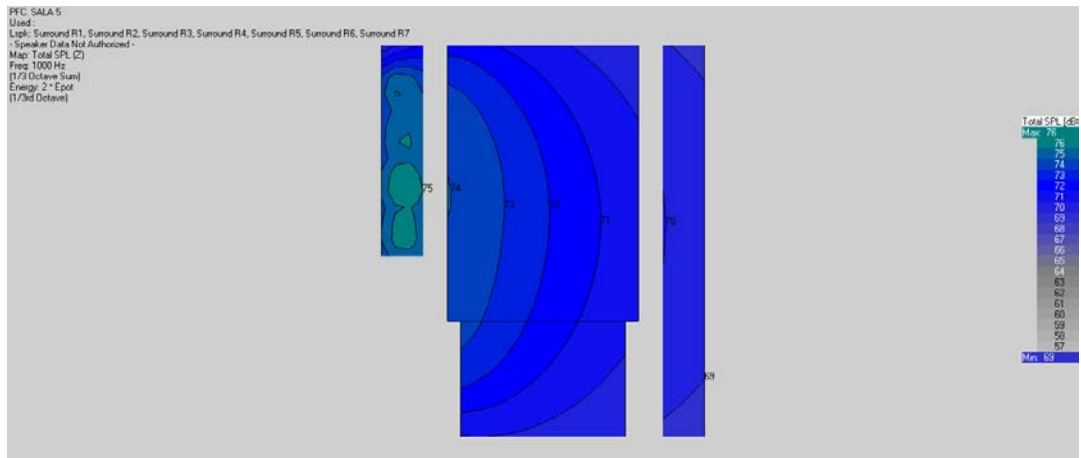


Imagen 127: Nivel total del canal surround derecho tras el ajuste de niveles

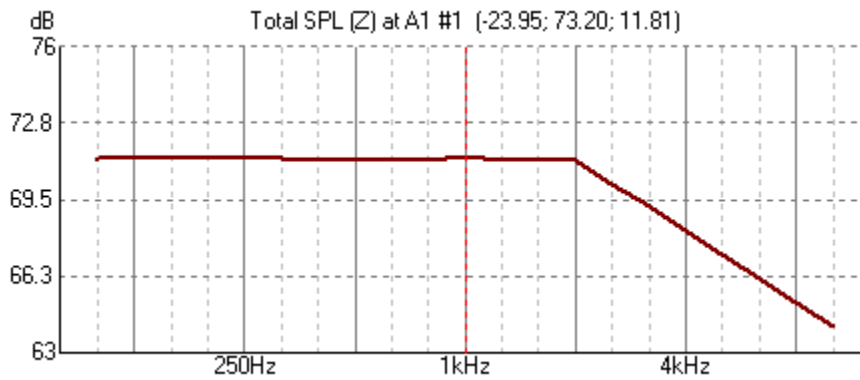


Imagen 128: Respuesta en frecuencia del nivel total de la sala del canal surround derecho

Teóricamente y tras el ajuste en la simulación los valores obtienen un nivel total de 82 dBC en el canal surround derecho (cálculos guardados en el CD de referencia del proyecto en el apartado de ajuste de niveles).

## 9.8 Ajuste de niveles canal ST

Se aplica el ajuste de nivel a los 6 altavoces del canal surround trasero (surround T1, T2, T3, T4, T5 y T6)

Tabla 28: Ajuste de niveles para el canal surround trasero

Frecuencia (Hz)	SPL Directo (1m) Ecuilizado	SPL Directo (1m) Ajuste de niveles
100 Hz	102,45	79,52
125 Hz	102,56	79,63
160 Hz	103,27	80,34
200 Hz	104,21	81,28
250 Hz	105,17	82,24
315 Hz	105,95	83,02
400 Hz	106,63	83,70
500 Hz	107,53	84,60
630 Hz	108,1	85,17
800 Hz	107,96	85,03
1000 Hz	108,35	85,42
1250 Hz	107,66	84,73
1600 Hz	107,57	84,64
2000 Hz	108,01	85,08
2500 Hz	108,22	85,29
3150 Hz	108,28	85,35
4000 Hz	107,46	84,53
5000 Hz	106,34	83,41
6300 Hz	105,78	82,85
8000 Hz	105,1	82,17
10000 Hz	104,64	81,71

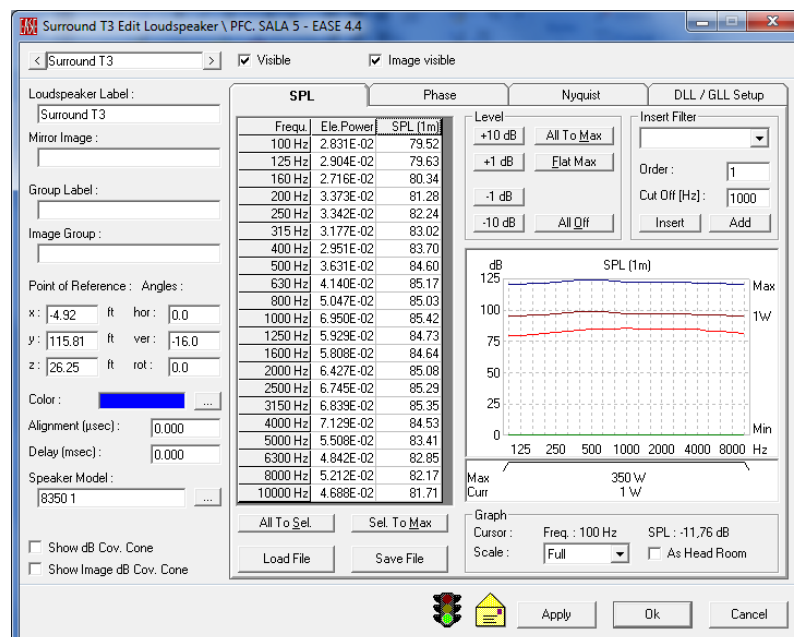


Imagen 129: Ajuste de niveles en la ventana de propiedades del altavoz de canal surround trasero



Después del ajuste de niveles el canal de surround izquierdo se obtiene un nivel total de:

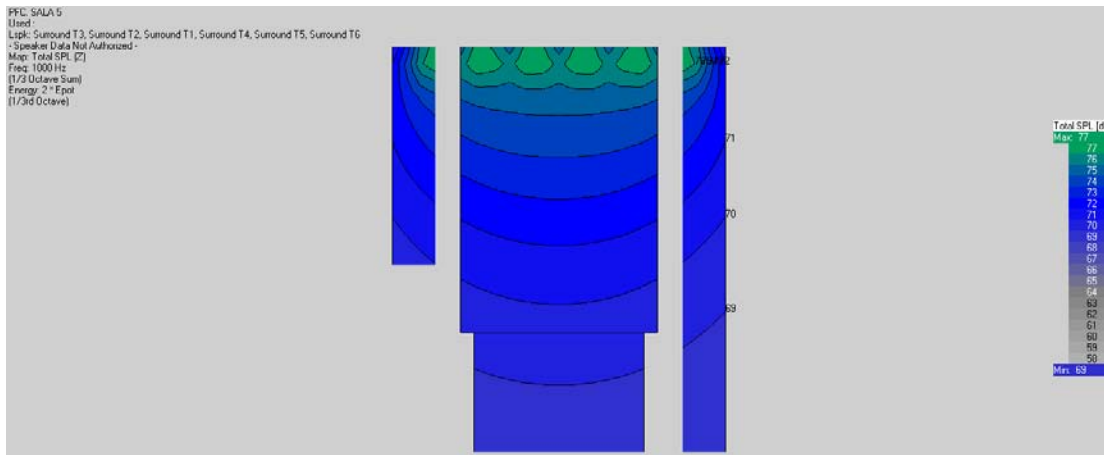


Imagen 130: Nivel total del canal surround trasero tras el ajuste de niveles

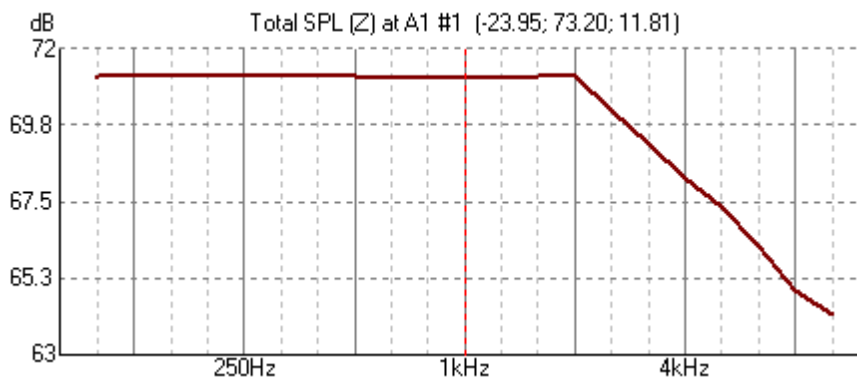


Imagen 131: Respuesta en frecuencia del nivel total de la sala del canal surround trasero

Teóricamente y tras el ajuste en la simulación los valores difieren mínimamente. El valor a obtener es de 82dBC en los canales surround, en la simulación obtenemos una pequeña diferencia con el cálculo teórico y el valor de SPL corregido que generan los altavoces ya que se obtienen 81,96dBC (cálculos guardados en el CD de referencia del proyecto en el apartado de ajuste de niveles).

## 9.9 Ajuste de niveles canal LFE

Para el canal de efectos en baja frecuencia se obtiene un nivel de 95dBc.

Tabla 29: Ajuste de niveles para las dos bandas de frecuencias del canal de LFE

Frecuencia (Hz)	SPL Directo (1m)	SPL Directo (1m) Ajuste de niveles
100 Hz	158,78	92,53
125 Hz	158,78	92,53

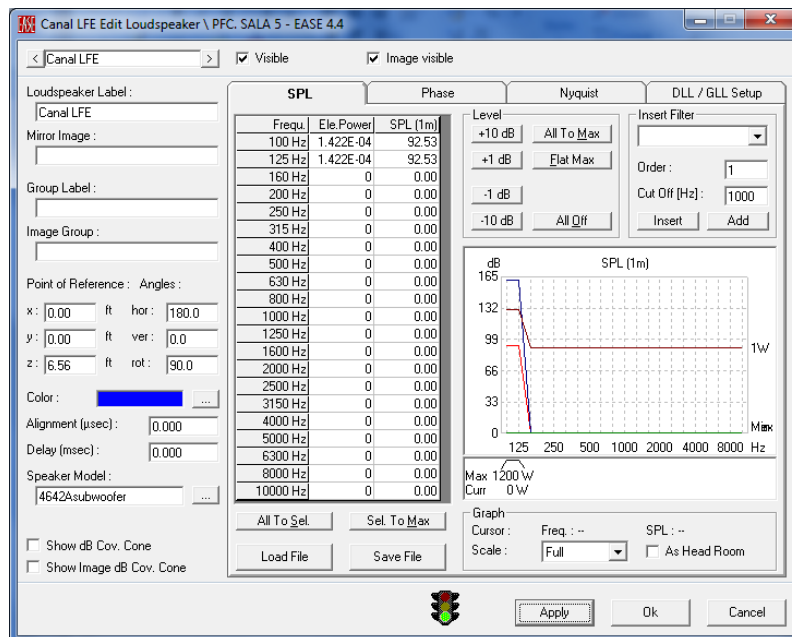


Imagen 132: Ajuste de niveles en la ventana de propiedades del altavoz de canal LFE

Después del ajuste de niveles para el canal LFE se obtiene un nivel total de 95dbC. La simulación es representada para una de las bandas de bajas frecuencias (100Hz)

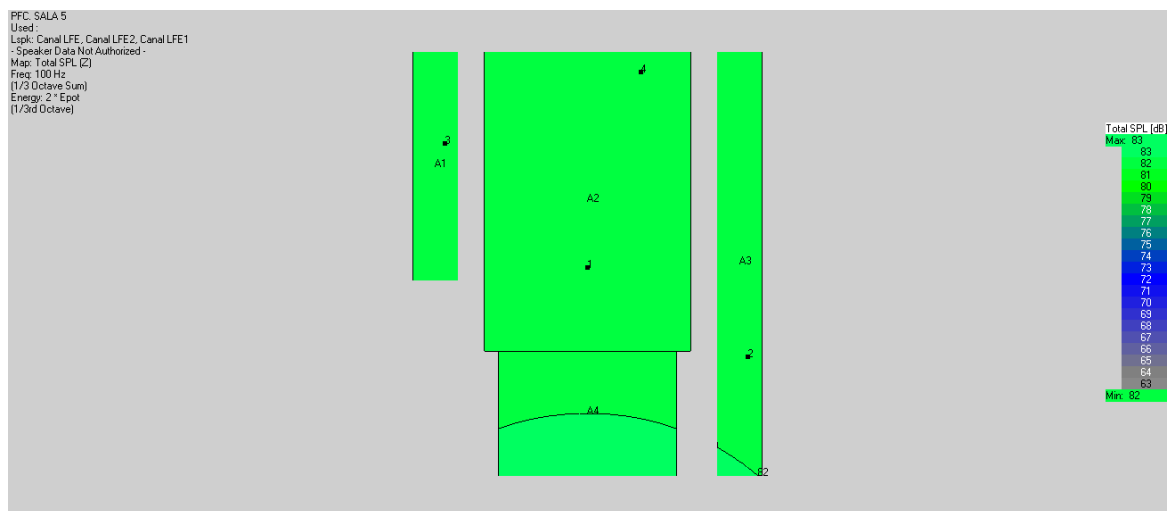


Imagen 133: Nivel total del canal LFE tras el ajuste de niveles

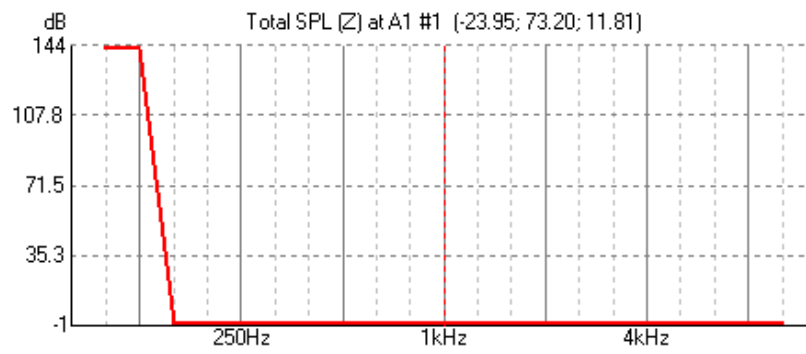


Imagen 134: Respuesta en frecuencia del nivel total de la sala del canal surround trasero

## 10 Retardos

Los retardos en un refuerzo sonoro se utilizan para controlar la respuesta temporal de la sala. Interesa que la respuesta temporal no tenga una excesiva duración ya que producirá defectos de percepción que se materializan en una mala inteligibilidad del habla, una mala respuesta en frecuencia debida a posibles interferencias entre fuentes que se sumen, ecos, etc.

La respuesta temporal de una sala influye en la percepción sonora subjetiva de la misma. En recintos como este es conveniente que el suceso sonoro principal parezca proceder de la zona frontal al oyente. Por lo tanto, se deben proporcionar retardos a los altavoces que se consideren necesarios para cumplir el efecto precedencia en los oyentes y obtener una adecuada localización del sonido. Esto se consigue haciendo que las fuentes frontales lleguen antes que las fuentes laterales y traseras. Es decir, se trata de crear “precedencia sonora” desde la zona de pantalla, es decir que la procedencia virtual del sonido se encuentre en la zona frontal de los oyentes sentados en la sala de cine.

El efecto de precedencia (también conocido como efecto Hass) afecta a la percepción del sonido y describe cómo, a nivel de percepción, si varios sonidos independientes llegan a nuestro cerebro en un intervalo menor a 50 ms, éste los fusiona interpretándolos como un solo sonido. El oído humano localiza un sonido, además de por el nivel con el que le llega, por el tiempo que tarda en llegar al oído, es decir, que si el sonido llega de diversas fuentes sonoras, como sucede en una sala de cine, el cerebro tendrá en cuenta el que le llegue de la fuente más cercana (o el que le llegue en primer lugar). Si queremos que la localización del sonido que nos llega proceda de la fuente de diálogo, es decir, de la pantalla, y el oyente tiene más cercano un altavoz de surround que los de pantalla, se deberá aplicar a los altavoces de surround el retardo necesario para que el sonido llegue al oyente más tarde y a la vez se integre en el oído.

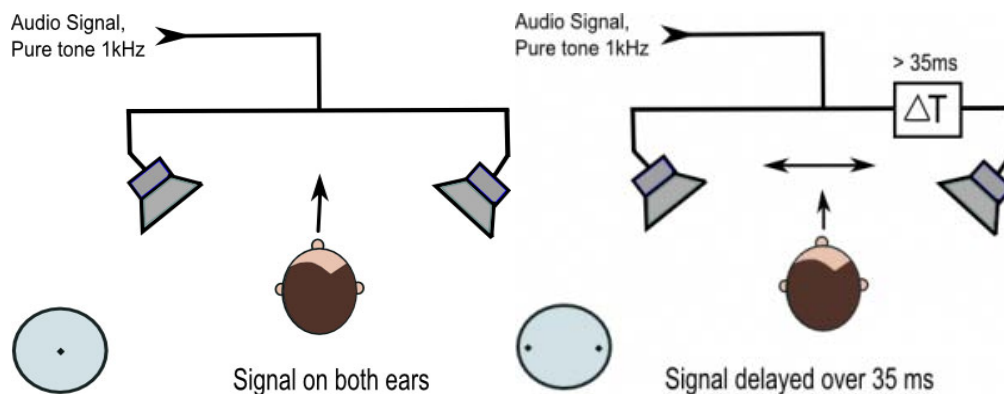


Imagen 135: Precedencia Sonora con y sin retardo

El tiempo de integración del oído es de 50 milisegundos, con lo que si hay una diferencia mayor de tiempos entre ambas fuentes y la diferencia de nivel es menor de unos 10dB, el oído interpretará el sonido que le llega después como un eco que puede causar molestias. Además, hay que tener en cuenta que si el sonido retardado es más intenso que el primero (de unos 10 a 15 dB mayor), se

cancela el efecto precedencia (parámetro controlable en el anterior ajuste de niveles)

En la simulación con EASE se considera como señal directa todas aquellas que lleguen con un margen de 80ms. Más allá son consideradas reflexiones.

Cuando se ponen retardos electrónicos para el “efecto precedencia” puede ocurrir que se alargue en exceso la respuesta temporal, produciéndose un descenso acusado de la inteligibilidad y una posible aparición de ecos. Hay que controlar estos ecos ya que es preferible tener una buena escucha aunque no se cumpla el “efecto precedencia”.

Para hacer el cálculo en EASE, se calcula el comportamiento de la sala en diferentes puntos que pueden ser críticos y se ajustan los altavoces teniendo en cuenta que en cada uno de estos puntos debe cumplirse el efecto precedencia

Para trabajar, se usa la opción de EASE *Probe*. Haciendo clic con el ratón en el punto de audiencia donde se desee evaluar la respuesta temporal, se obtiene el ecograma de campo directo.

La percepción sonora de dirección está determinada por el altavoz que cubra a los demás (o al más próximo) con su cola de precedencia (líneas de color azul en la Imagen 136). Si un pulso sobresale por encima de la cola de precedencia del altavoz anterior quiere decir que dicho altavoz tendrá la precedencia de la señal, que parecerá provenir de la localización de este altavoz.

En el reflectograma de EASE el altavoz que da la precedencia de la señal sonora está en la posición temporal de 0ms. En el caso de la Imagen 136: colas de precedencia., los altavoces de pantalla baja frecuencia LFE, LFE1 y LFE2 y el canal de pantalla central Pantalla C son los que están produciendo precedencia. Si existiese un hueco temporal que no estuviera cubierto por ninguna cola de precedencia, habría eco.

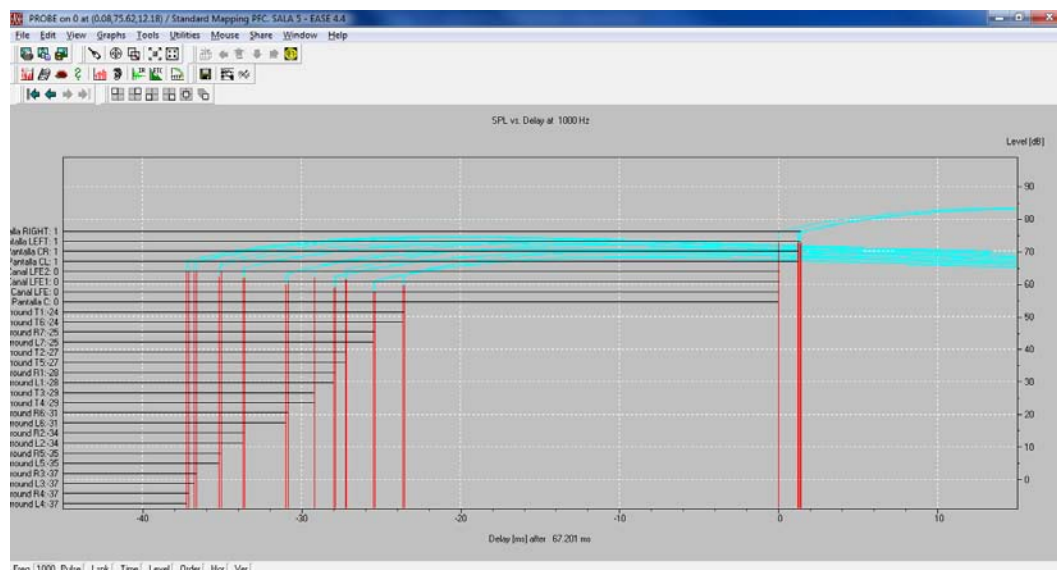


Imagen 136: colas de precedencia.

Debido al tamaño y número de altavoces que posee la sala de estudio, es necesario aplicar diferentes retardos a varios grupos de altavoces. Lo óptimo, sería retardar cada uno independientemente pero esto resultaría caro ya que para cada altavoz sería necesario alimentarlo con un amplificador de potencia diferente (aumentando el número de equipos y por lo tanto, el presupuesto de la sala). La solución alternativa es reunir los altavoces en “grupos de retardos”.

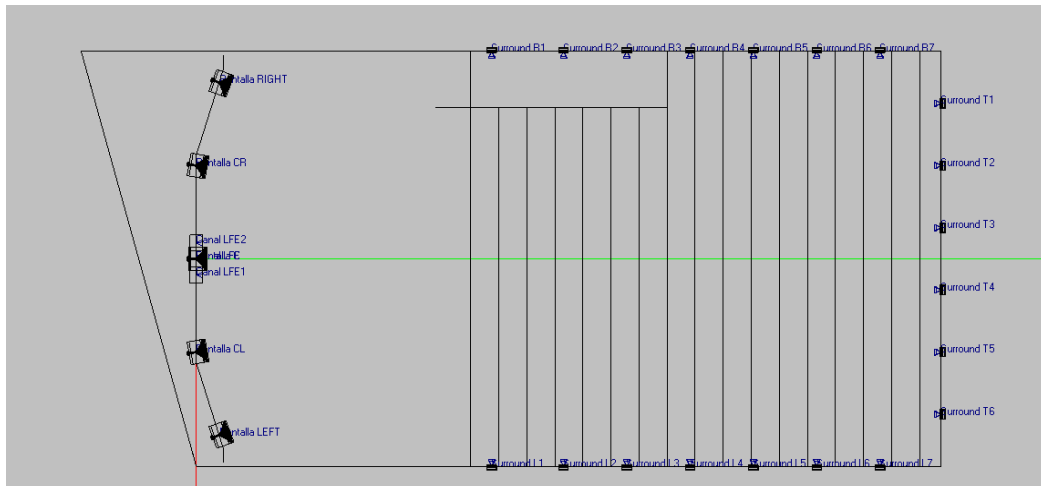


Imagen 137: Visualización en planta de la simulación con los nombres detallados de los altavoces

Antes de insertar retardos en los altavoces, la llegada de la señal de los canales de pantalla era la primera en recibirse en la zona central de la audiencia.

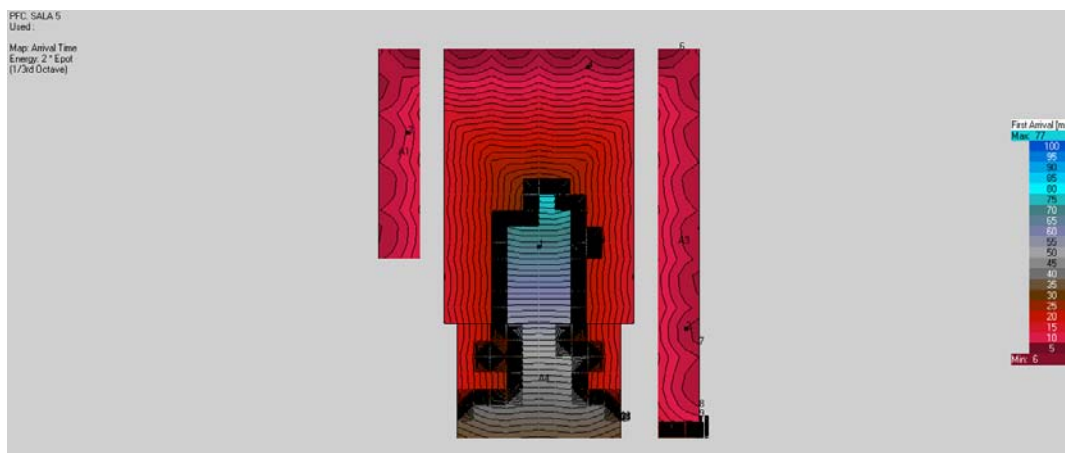


Imagen 138: Precedencia del sonido antes de aplicar retardos a los altavoces

Se realiza el cálculo teórico de los retardos, dependiendo de la distancia del altavoz a la pantalla y se establecen tres valores de retardos.

Se agrupan los altavoces de surround R1, L1, R2, L2, R3 y L3 en un mismo valor de retardo que será de 60ms

- Altavoces surround R1 y surround L1 a 14 metros del altavoz de pantalla central:  $14\text{m}/343\text{m/s} = 41\text{ms}$
- Altavoces surround R2 y surround L2 a 17,40 metros del altavoz de pantalla central:  $17.4/343 = 51\text{ms}$

- Altavoces surround R3 y surround L3 a 20,40 metros del altavoz de pantalla central:  $20.40/343 = 60\text{ms}$

Se agrupan los altavoces de surround R4, L4, R5, L5, R6, L6, R7 y L7 en un mismo valor de retardo que será de un valor de 86 ms, redondeamos a 85 ms.

- Altavoces surround R4 y surround L4 a 23,40 metros del altavoz de pantalla central:  $23.4/343 = 68\text{ms}$
- Altavoces surround R5 y surround L5 a 26,40 metros del altavoz de pantalla central:  $26.4/343 = 77\text{ms}$
- Altavoces surround R6 y surround L6 a 29,40 metros del altavoz de pantalla central:  $29.4/343 = 86\text{ms}$
- Altavoces surround R7 y surround L7 a 32,40 metros del altavoz de pantalla central:  $32,4/343 = 94\text{ms}$

Para los traseros, todos a la misma distancia de la pantalla, el retardo para todos ellos es el mismo, y por tanto se establece este valor como el que hay que aplicar a los altavoces R7, L7, T1, T2, T3, T4, T5 y T6 valor de retardo de 103ms, se redondea a 100ms

- Altavoces surround T1, T2, T3, T4, T5, T6 a 35,30 metros del altavoz de pantalla central:  $35.30/343 = 103\text{ms}$

Por lo tanto, se utilizan tres grupos de retardos diferentes para el sistema de sonorización en la sala.

Tabla 30: Retardos

Altavoz	Retardo (ms)
Surround L1	60
Surround L2	
Surround L3	
Surround R1	
Surround R2	
Surround R3	
Surround L4	85
Surround L5	
Surround L6	
Surround L7	
Surround R4	
Surround R5	
Surround R6	
Surround R7	100
Surround T1	
Surround T2	
Surround T3	
Surround T1	
Surround T2	
Surround T3	

Tras introducir estos valores de retardos en los altavoces, la llegada de la señal en todos los puntos de la sala sigue la distribución de la Imagen 139.

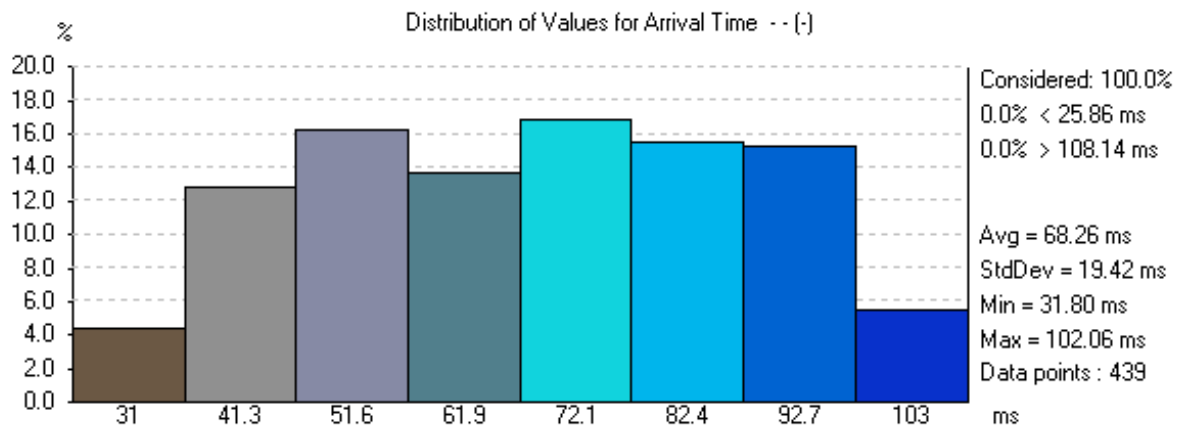
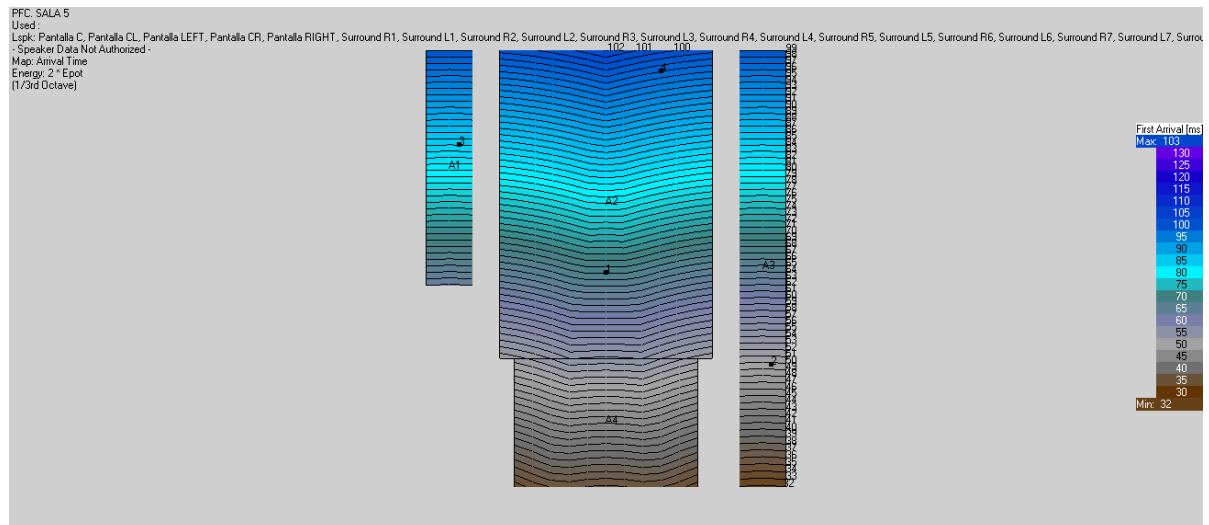


Imagen 139: Distribución y llegada de los frentes de onda en la sala. Efecto precedencia

Por lo que se consigue el deseado efecto precedencia ya que en todos los puntos de la audiencia la onda sonora que llega en primer lugar procede de la pantalla y va desplazándose a lo largo de la audiencia de manera progresiva.

Además, la herramienta Invoke Probe permite activar las colas de precedencia gracias a las cuales es fácil visualizar cómo unas señales enmascaran a otras debido a la diferencia de retardo y de nivel.

Para cada oyente, se realiza el cálculo de las colas de precedencia de señal:



- Oyente 1

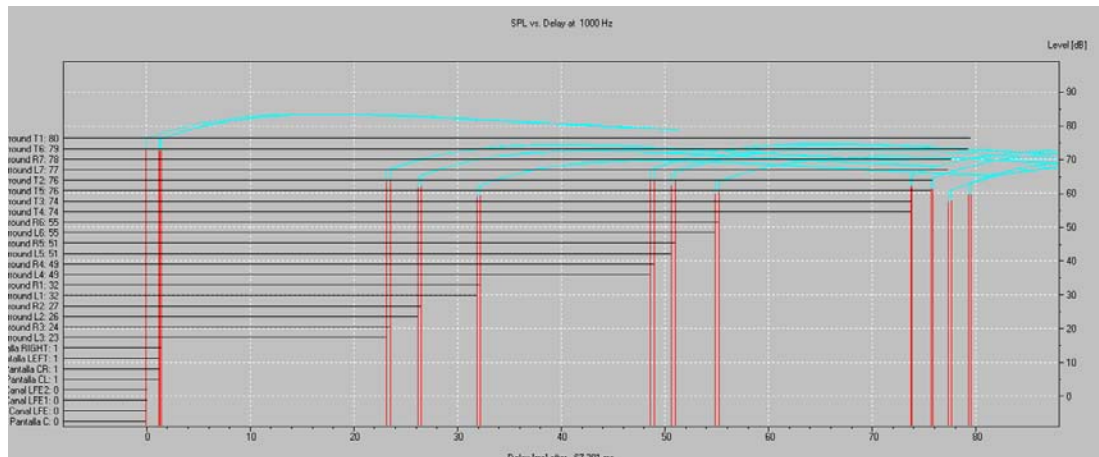


Imagen 140: Ecograma 1. Llegada de señal sonora en el oyente 1

Se observa que el oyente 1 recibe su primer frente de onda de las señales procedente de los canales de pantalla y de los LFE, en el siguiente milisegundo recibe el resto de las señales de los canales de pantalla LEFT, RIGHT, CR y CL, y en los siguientes ms recibe la mayoría de las señales que provienen de los surround, los que llegan por detrás de 50 ms son enmascarados por las señales anteriores.

- Oyente 2

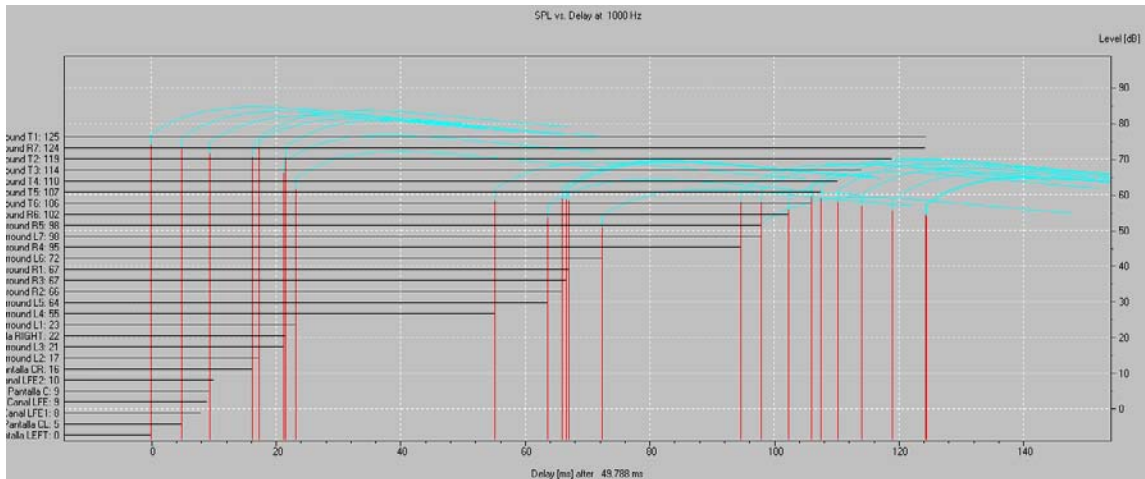


Imagen 141: Ecograma 2. Llegada de señal sonora en el oyente 2

En este caso el oyente está situado en un lugar más crítico puesto que está mucho más cerca del altavoz surround SL2 que de los canales de pantalla. Aún así, las primeras señales que le llegan son las de los canales de pantalla, y el que le llega en primer lugar como se observa es el del altavoz de pantalla LEFT. En este punto, se observa que no sufrirá el efecto de ecos ya que los primeros frentes de onda llegan con un nivel suficiente (>10dB).

- Oyente 3

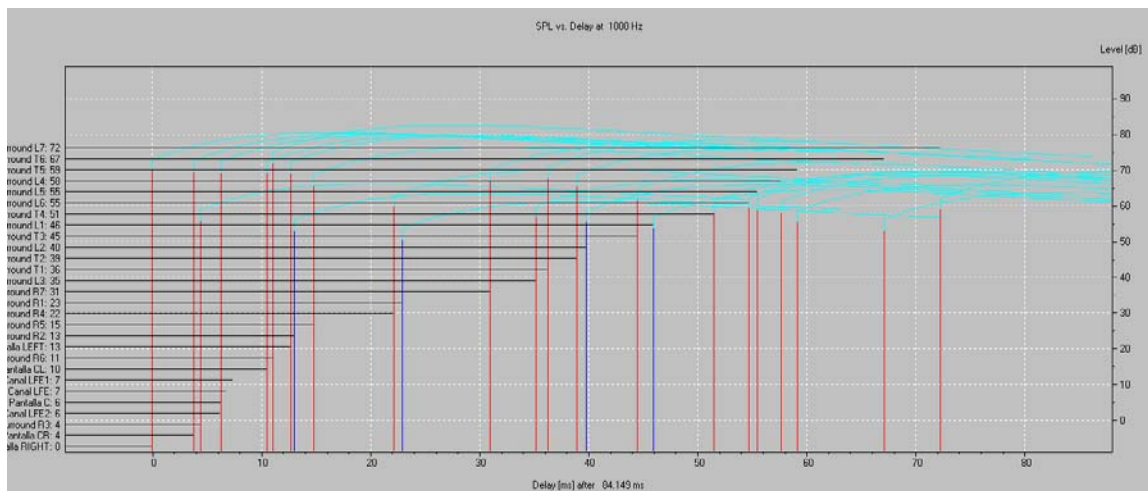


Imagen 142: Ecograma 3. Llegada de señal sonora en el oyente 3

Al estar situado este oyente tan alejado de los canales de pantalla, si no se hace bien el cálculo de los retardos, se podría percibir antes el sonido emitido por los altavoces surround. Con los retardos aplicados, el oyente percibirá antes el canal izquierdo de pantalla que hará que localice adecuadamente el diálogo a pesar de que el siguiente que perciba sean los canales surround cercanos (surround R6).

- Oyente 4

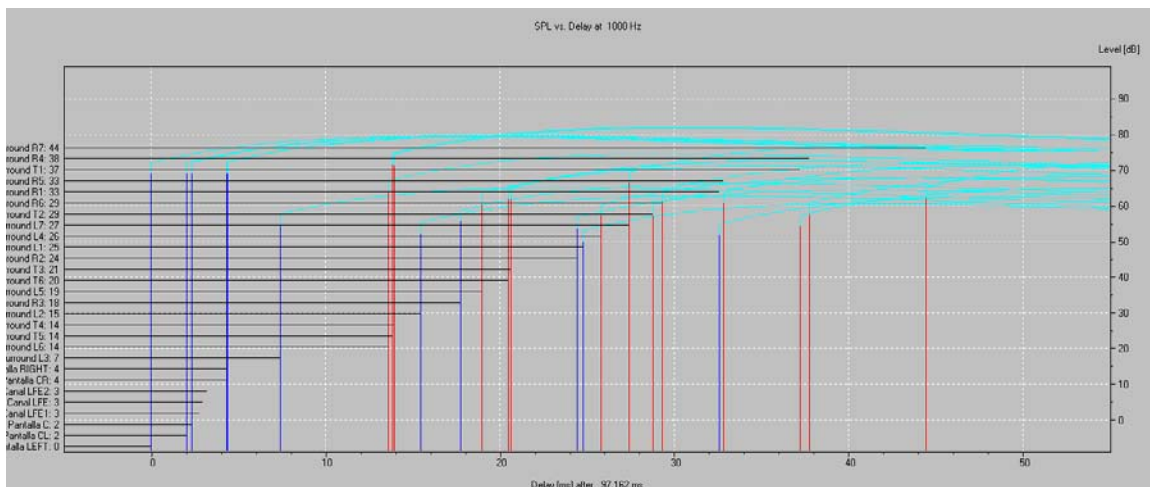


Imagen 143: Ecograma 4. Llegada de señal sonora en el oyente 4

En este punto, de los más alejados en la sala de la pantalla, tenemos más cercanos los surround traseros. Por la situación de esta posición de escucha, serán percibidas predominantemente reflexiones, pero no afectará a la percepción adecuada del sonido ya que le llegan con suficiente nivel y en tiempo adecuado como para localizar adecuadamente el habla en la pantalla.

Por lo que se deduce que la sala, con la introducción de estos retardos, cumplirá con el efecto precedencia como se comprueba en la Imagen 139 .



## 11 Recubrimiento

### 11.1 Campo sonoro directo (Direct SPL)

Nuestro oído percibe el campo sonoro total (señal directa más reverberante) pero es también importante el estudio del campo directo por separado para conocer diferentes parámetros acústicos como la inteligibilidad o la directividad de los altavoces a diferentes frecuencias. Además es imprescindible para el cálculo de la relación D/R (directo reverberante).

El campo sonoro directo no depende de las dimensiones de la sala, pero sí la posición del oyente ya que el nivel disminuye unos 6 dB cada vez que se duplica la distancia hasta la fuente.

Se realiza el cálculo del campo sonoro directo a diferentes frecuencias representativas de bajas, medias y alta frecuencias (250 Hz, 1000 Hz y 4000Hz). Todas las gráficas se adjunta en el CD de referencia del proyecto, ya que la información aportada es extensa y se ha preferido mantener en el proyecto información con contenido útil para el lector.

Se incluyen así para cada canal algunas de las gráficas resultantes y su distribución.

Los cálculos son realizados en las simulaciones con suma coherente de niveles por lo que en las gráficas no existe un recubrimiento uniforme de señal por la cancelación de las señales en suma coherente. Diferentes fuentes emitiendo a la vez con una distancia de separación entre ellas, a una frecuencia determinada suelen tener los denominados “pasillos”, posiciones donde la fase de las ondas emitidas por los altavoces, se cancelan. Problema surgido al representar en una gráfica sólo el comportamiento en una frecuencia y a nivel directo, pero sin importancia ya que el campo que percibirá un oyente será el total (no el directo, sino que percibe la suma de señal directa y reverberante) y no tendrá pérdida de señal ninguna en la percepción.

Si se realizasen los cálculos en EASE como suma no coherente de niveles, el recubrimiento sería más uniforme. Para que un recubrimiento sea uniforme, no debe existir una diferencia de  $\pm 4$ dB en el 90% del área de audiencia. No se debe tener en cuenta, sin embargo, esto en el caso del SPLd ya que en realidad se debe cumplir para el campo total que es el campo real.

Además, se comprobará el efecto del sistema de sonido funcionando al completo.

### 11.1.1 Canal de pantalla C

Para el canal de pantalla C se representa el campo total para bajas, medias y altas frecuencias para tener una referencia de cómo actúan los altavoces de pantalla a diferentes frecuencias.

Nivel del campo directo del canal de pantalla central C a 250 Hz obtiene un nivel directo medio de 69,59dB.

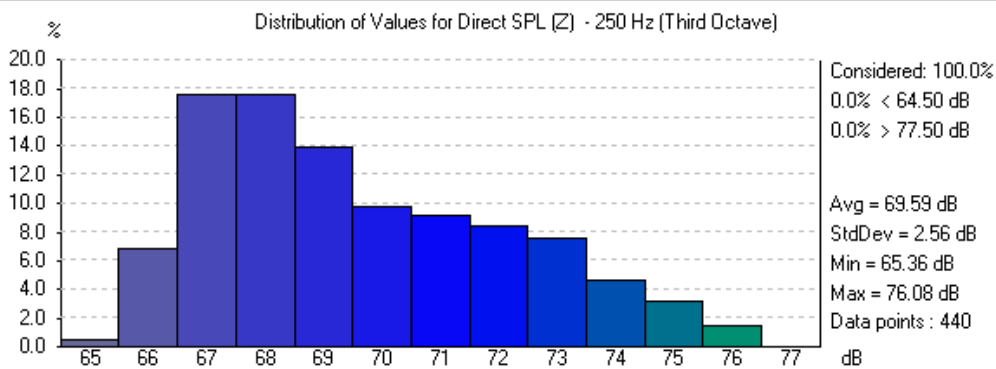
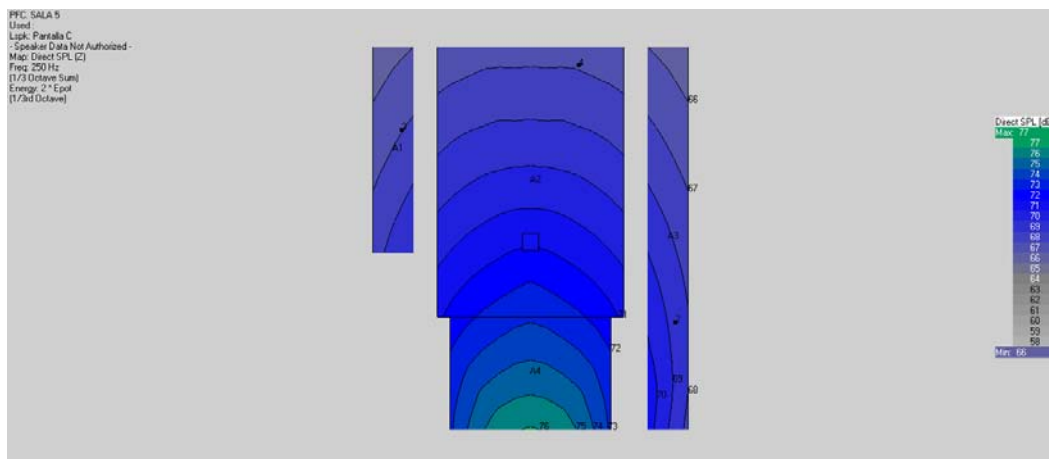
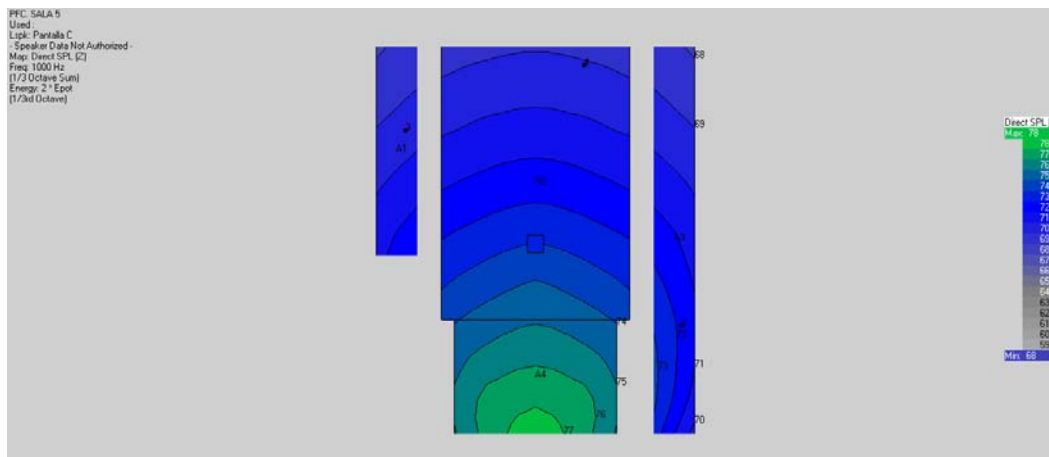


Imagen 144: Nivel del campo directo del canal C a 250Hz

Nivel del campo directo del canal de pantalla central C a 1000Hz obtiene un nivel directo medio de 71,93dB.



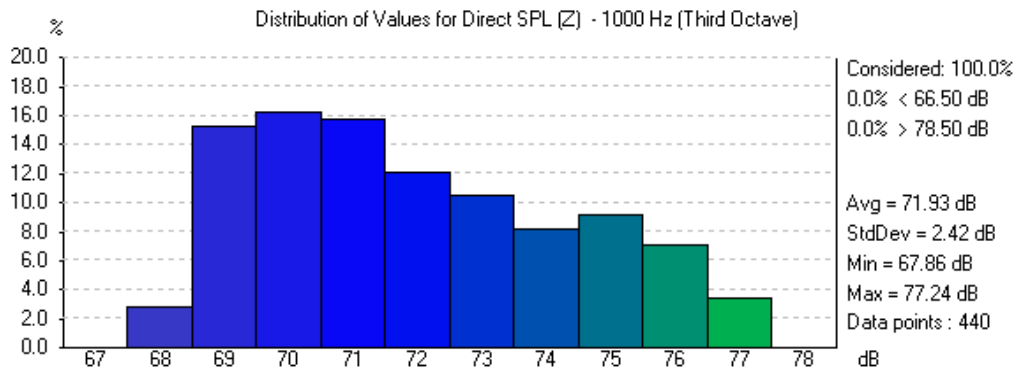


Imagen 145: Nivel del campo directo del canal C a 1000Hz

Nivel de campo directo del canal C a 4000 Hz obtiene un nivel directo medio de 67,24dB.

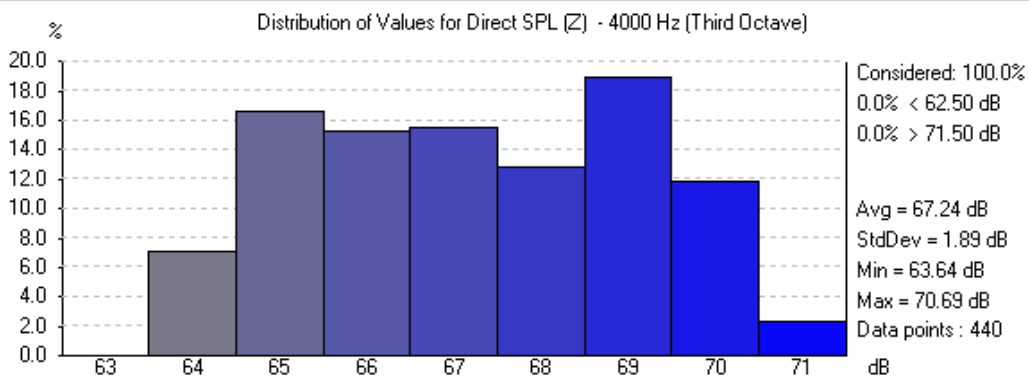
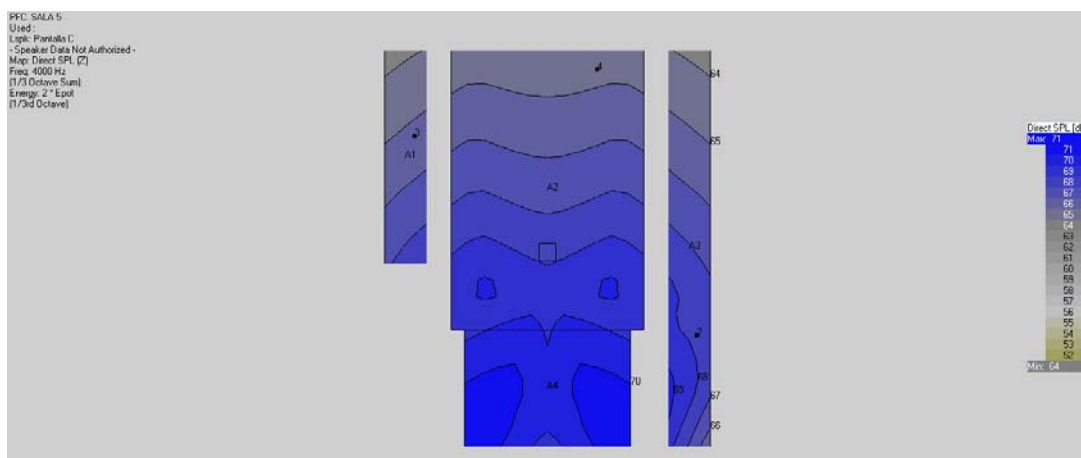


Imagen 146: Nivel del campo directo del canal C a 4000Hz

Se puede comprobar que tanto en bajas, medias y altas frecuencias, el nivel está bien distribuido y uniforme, en bajas y medias se ve claramente como disminuye con la distancia, en altas se crean pequeñas zonas de mayor nivel.

### 11.1.2 Resto de canales de pantalla

Se representan algunas gráficas orientativas de los canales de pantalla a diferentes frecuencias. El resto de gráficas para todos los canales de pantalla a frecuencias bajas, medias y altas pueden encontrarse en el CD de referencia del departamento. Con las mostradas se quiere mostrar algunas de las mismas para obtener una visualización orientativa de los resultados.

Nivel del campo directo del canal de pantalla izquierdo a 250 Hz, obtiene un nivel directo medio de 70,54dB.

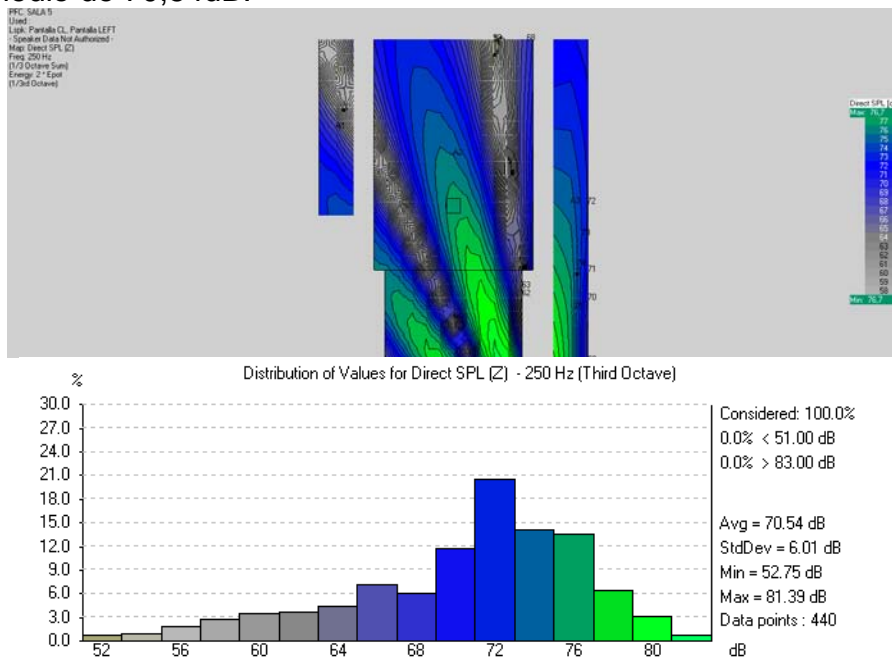


Imagen 147: Nivel del campo directo del canal de pantalla izquierdo a 250Hz

Nivel del campo directo del canal de pantalla derecho a 1000Hz, obtiene un nivel directo medio de 73,96dB.

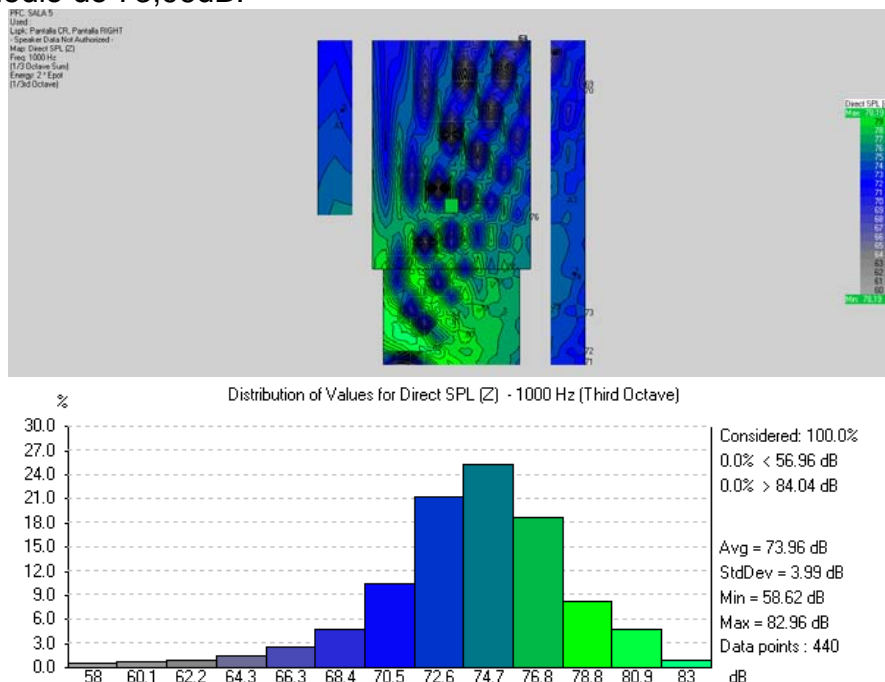


Imagen 148: Nivel del campo directo del canal de pantalla derecho a 1000Hz

### 11.1.3 Canales Surround

Se muestran algunas de las gráficas de campo directo para los canales de surround a diferentes frecuencias.

Nivel del campo directo del canal surround derecho a 250 Hz, obtiene un nivel directo medio de 66,83dB.

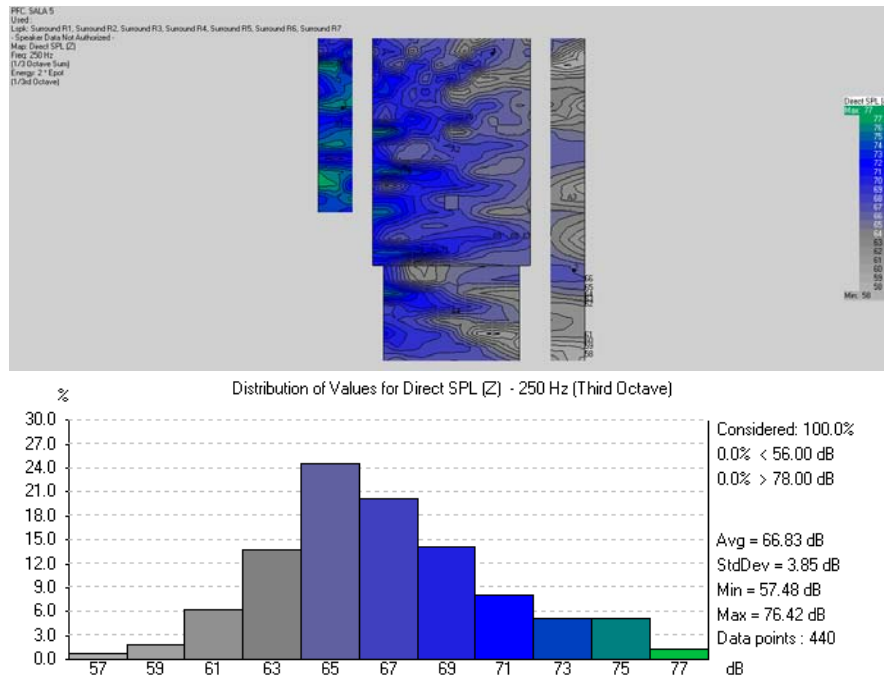


Imagen 149: Nivel del campo directo del canal C a 250Hz

Nivel del campo directo del canal surround izquierdo a 1000Hz, obtiene un nivel directo medio de 69,25dB.

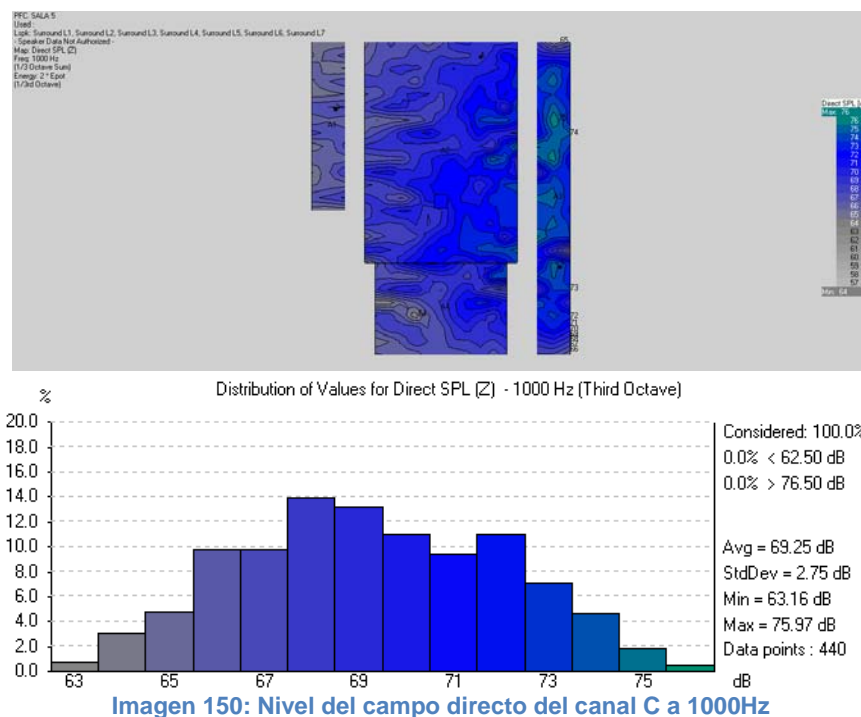


Imagen 150: Nivel del campo directo del canal C a 1000Hz



Nivel del campo directo del canal surround trasero a 4000Hz, obtiene un nivel directo medio de 65,95dB.

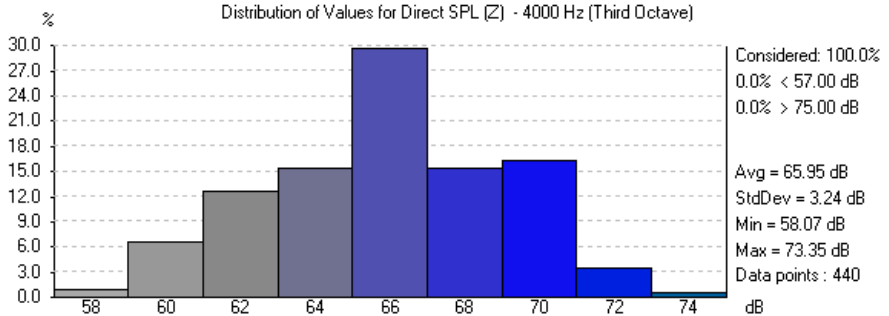
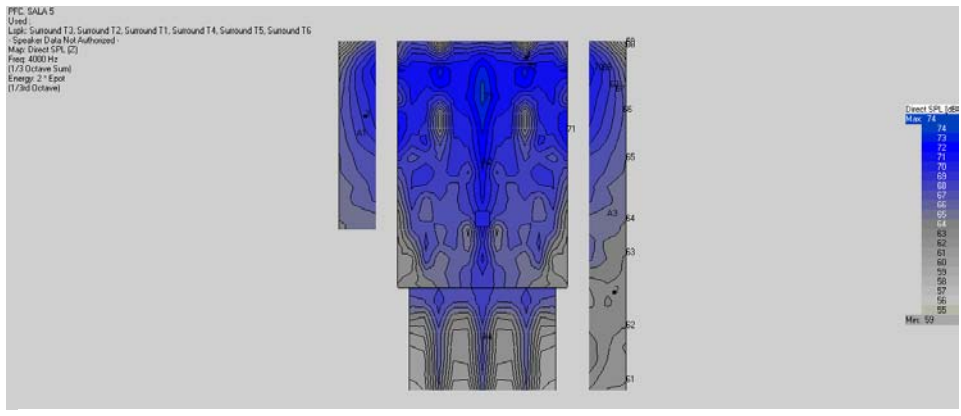


Imagen 151: Nivel del campo directo del canal C a 4000Hz

### 11.1.4 Canal Subwoofer SB

Al emitir solo en dos bandas de frecuencias, se omite calcular estos niveles por separado y se halla el nivel con todos los canales activados simultáneamente.

### 11.1.5 Todos los canales de altavoces simultáneamente

Nivel del campo directo con todos los canales emitiendo a la vez para bajas frecuencias (se representa a 250 Hz), obtiene un nivel directo medio de 78,06dB.

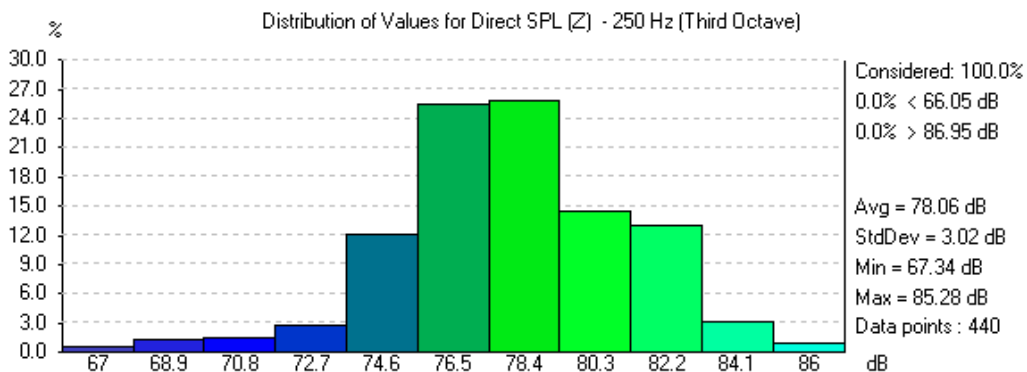
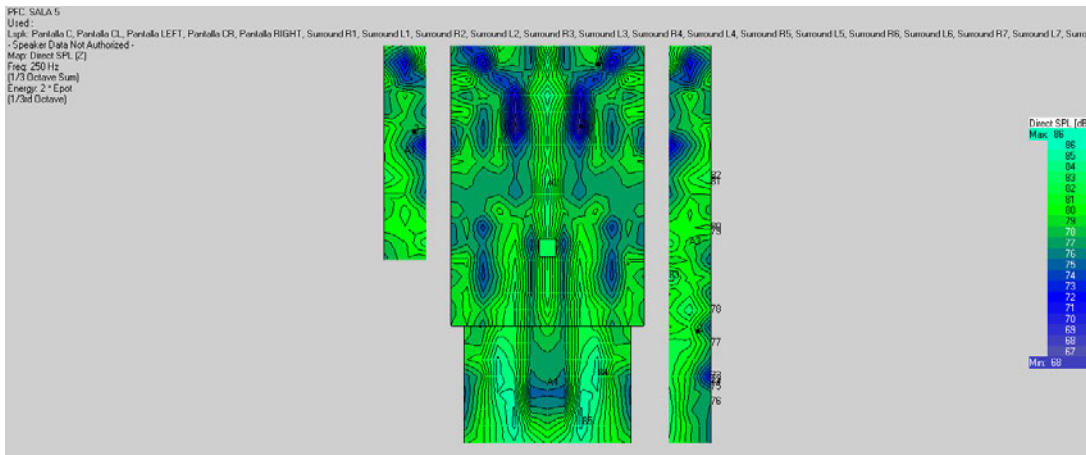
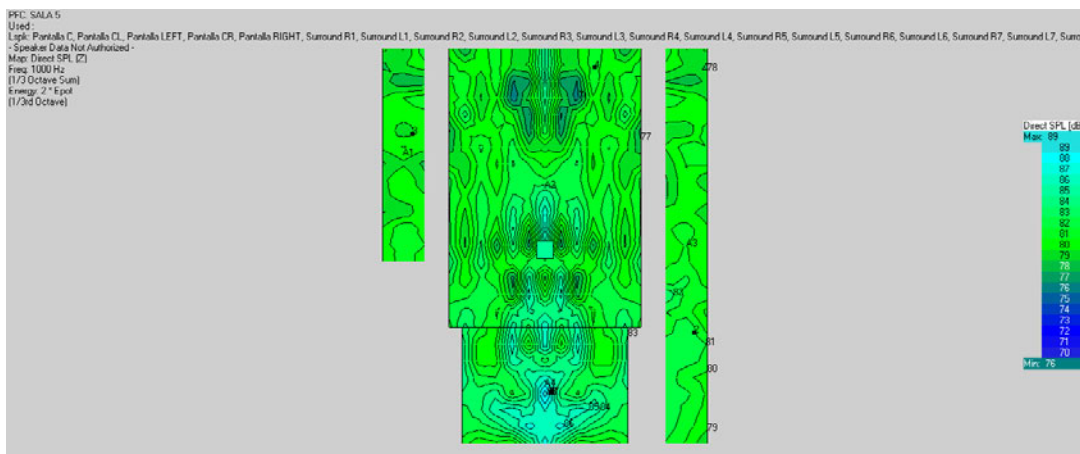


Imagen 152: Nivel del campo directo total a 250Hz

Nivel del campo directo de todos los canales emitiendo a la vez a 1000Hz, , obtiene un nivel directo medio de 80,59dB.



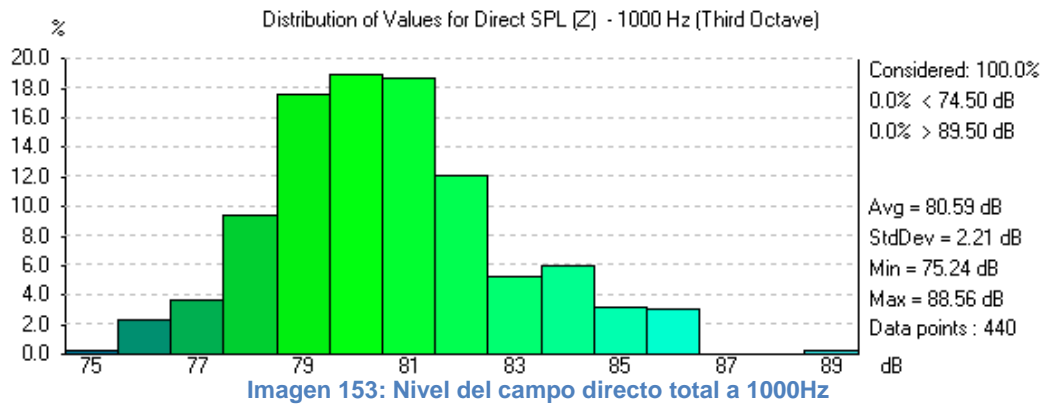


Imagen 153: Nivel del campo directo total a 1000Hz

Nivel del campo directo de todos los canales emitiendo a la vez 4000 Hz, , obtiene un nivel directo medio de 76,28dB.

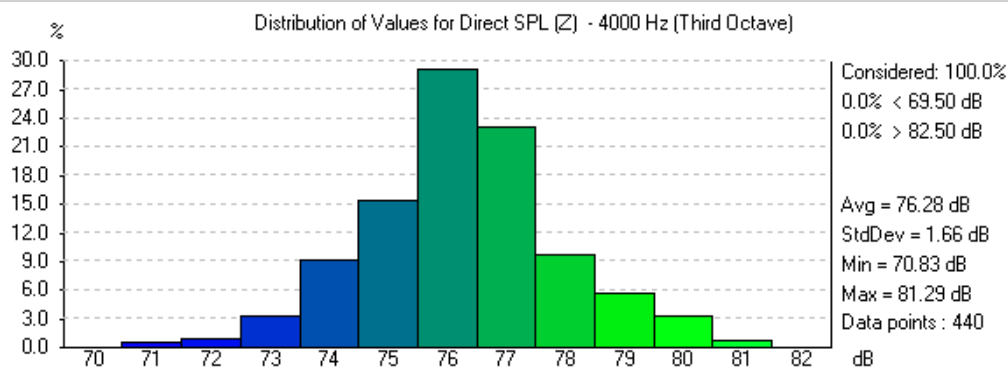
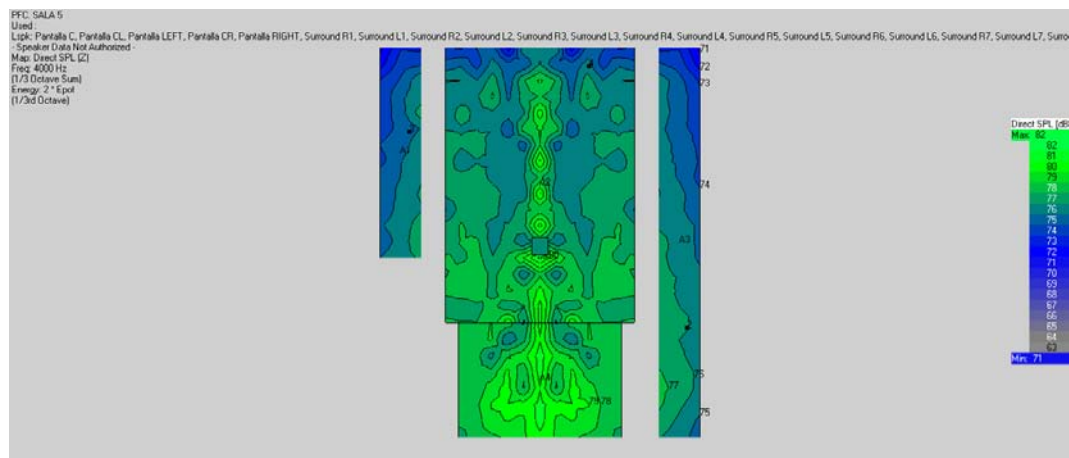


Imagen 154: Nivel del campo directo del total 4000Hz

En este caso y con la suma de los efectos de todos los altavoces, se consigue cumplir que en el 90% de la sala no hay una diferencia mayor a 4dB.

El cálculo del SPLd es necesario a la hora de ecualizar una sala y cada canal por separado, aunque no nos da una visión clara del recubrimiento de la misma. Para ello, será necesario el cálculo del campo sonoro total

## 11.2 Campo sonoro total (Total SPL)

El campo sonoro total, es el que realmente percibe el oído humano. Está compuesto por el campo sonoro directo y el campo sonoro reverberante, por lo tanto, tendrá más nivel que el campo directo. Aquí sí es necesario que se cumpla la regla de los 4 dB de campo uniforme. En cuanto a los canales de surround deberá ser de 2 dB en el 90% de la sala.

Cuando estudiamos el campo total con todos los altavoces no se incluirán canal de baja frecuencia ya que son muy omnidireccionales y su respuesta en frecuencia es especial (solo radian a dos bandas de frecuencia).

Realizamos las medidas del nivel total de cada canal por separado y el de todos los altavoces a la vez. Como para el campo total, se exponen en la memoria algunas de las gráficas para tener una visión representativa de el proyecto en general y de las gráficas de nivel total.

### 11.2.1 Canal de pantalla C

Se obtiene un nivel total en la sala del canal de pantalla C a 250 Hz de media 74,22dB.

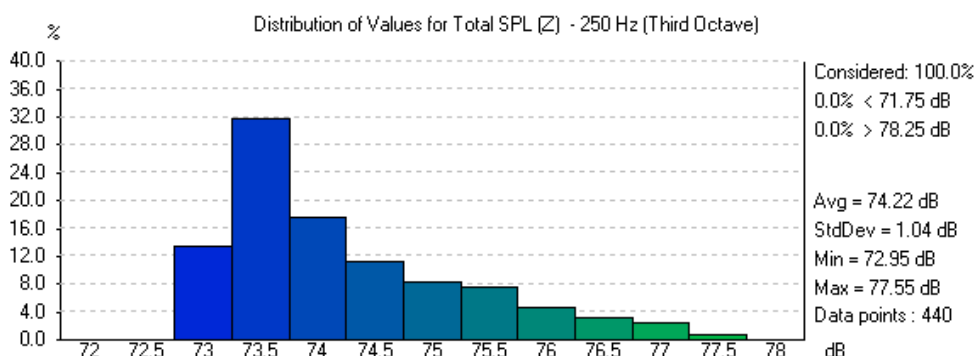
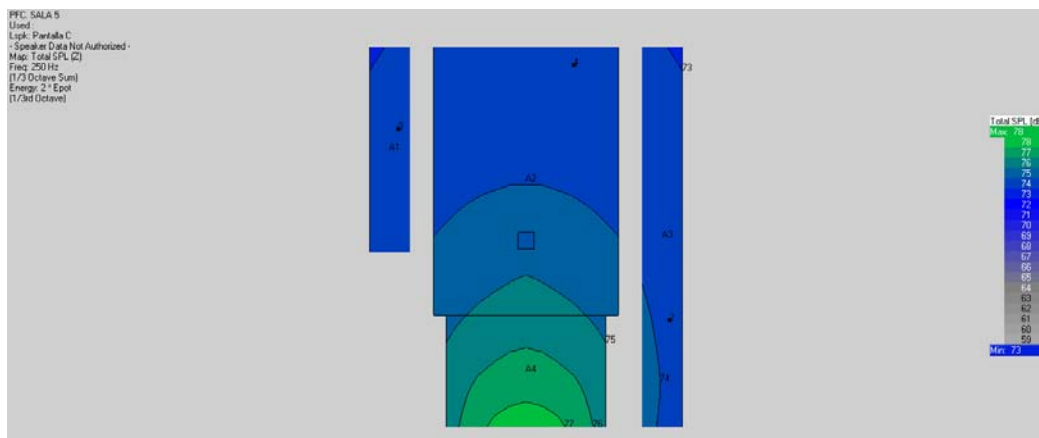


Imagen 155: Nivel del campo total en el canal de pantalla Ca 250Hz

Se obtiene un nivel total en la sala del canal de pantalla C a 1000 Hz de media 74,22dB.

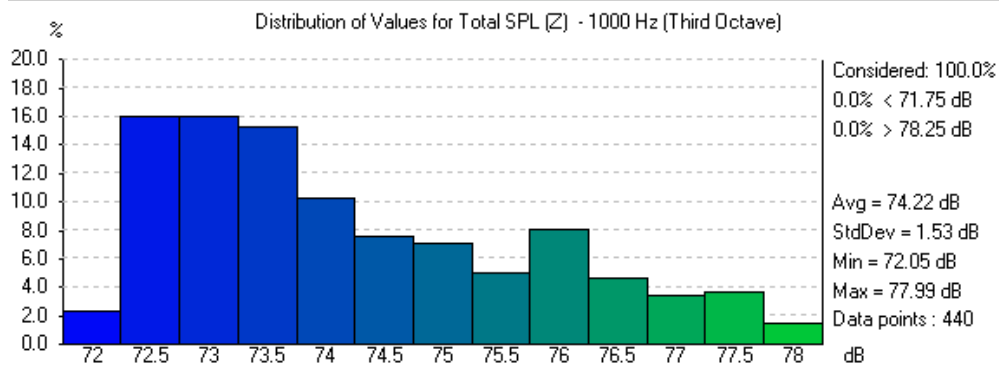
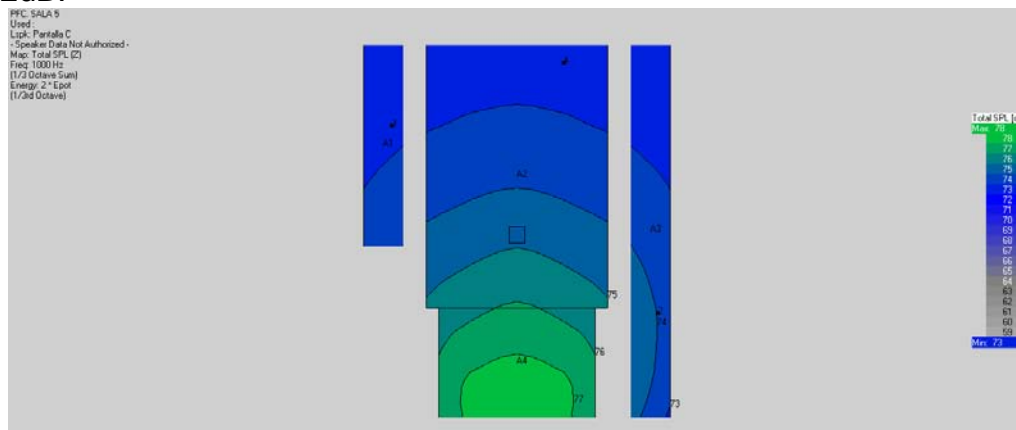


Imagen 156: Nivel del campo total en el canal de pantalla C a 1000Hz

Se obtiene un nivel total en la sala del canal de pantalla C a 4000 Hz de media 71,22dB.

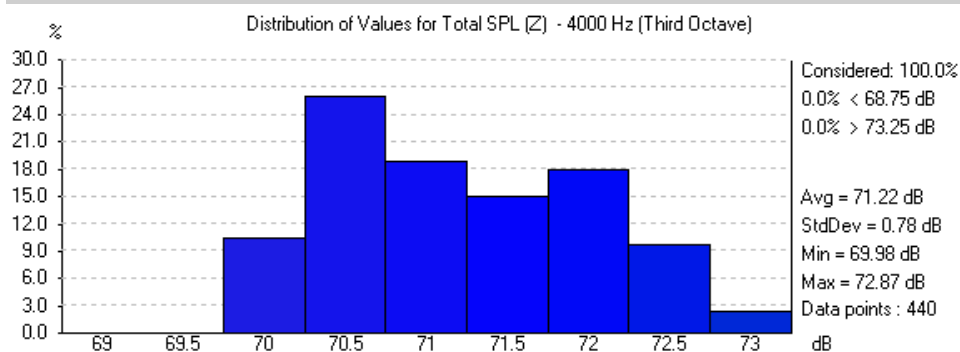
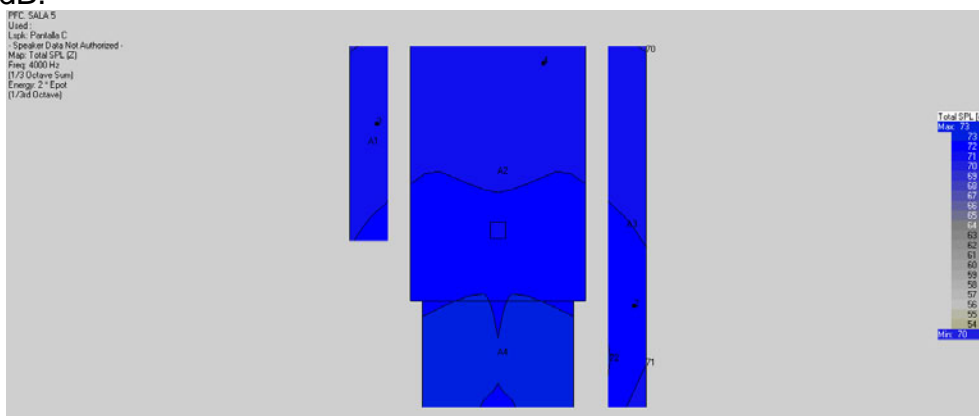


Imagen 157: Nivel del campo total en el canal de pantalla C a 4000Hz

En banda ancha se obtienen casi 85dB.

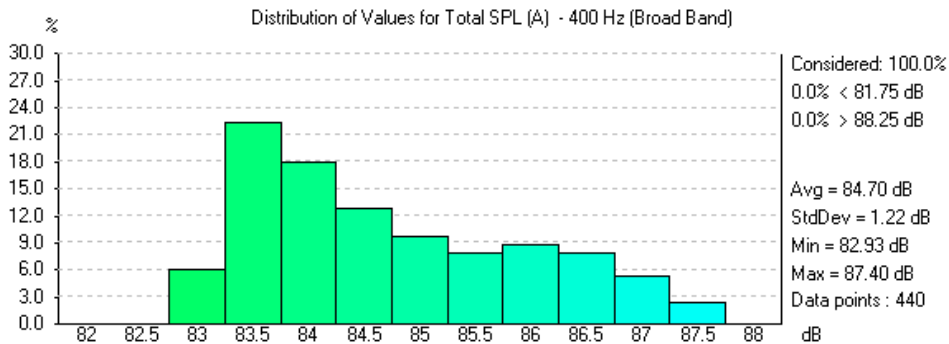
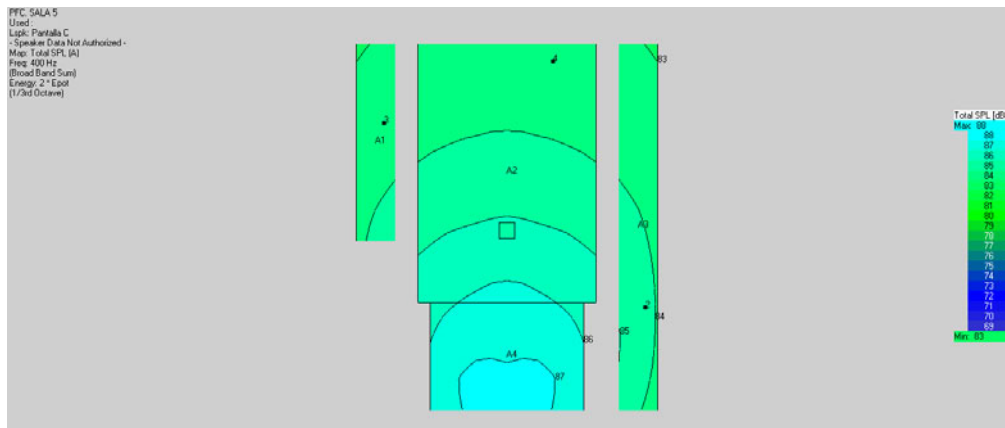


Imagen 158: Nivel del campo total en el canal de pantalla C a en banda ancha

### 11.2.2 Resto de canales de pantalla

Se visualizan en el proyecto, como en el caso del cálculo del nivel directo, algunas de las gráficas para obtener una visión representativa de los resultados.

El nivel del campo total del canal de pantalla izquierdo a 250Hz da un valor medio de 77,24dB.

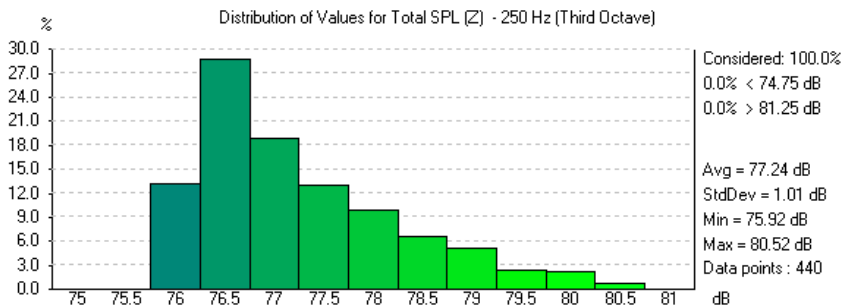
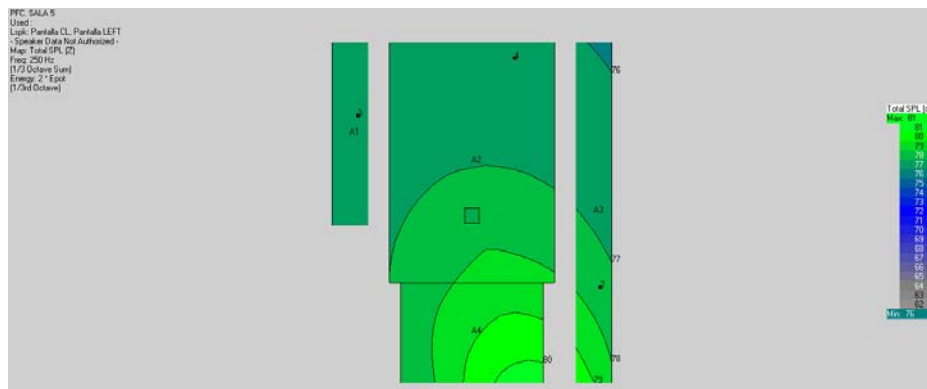


Imagen 159: Nivel del campo total en el canal de pantalla L a 250Hz

En banda ancha ponderado A dado por el canal de pantalla izquierdo obtiene un nivel de 87,71dB.

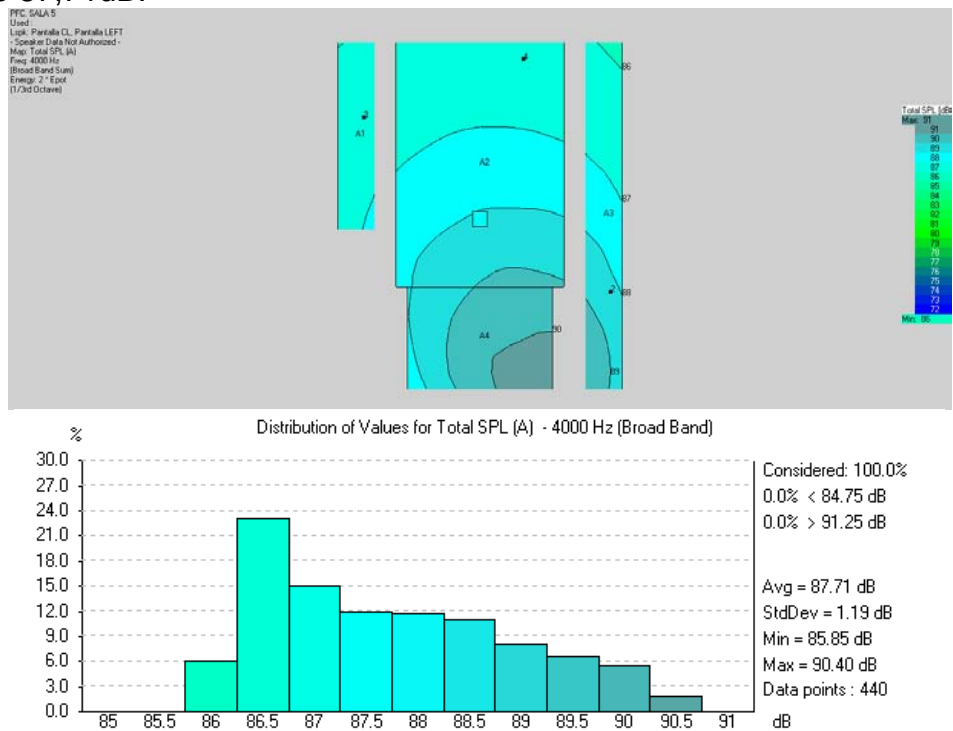


Imagen 160: Nivel del campo total en el canal de pantalla izquierdo en banda ancha

El nivel de campo total del canal de pantalla derecho a 1000Hz es de 77,23dB.

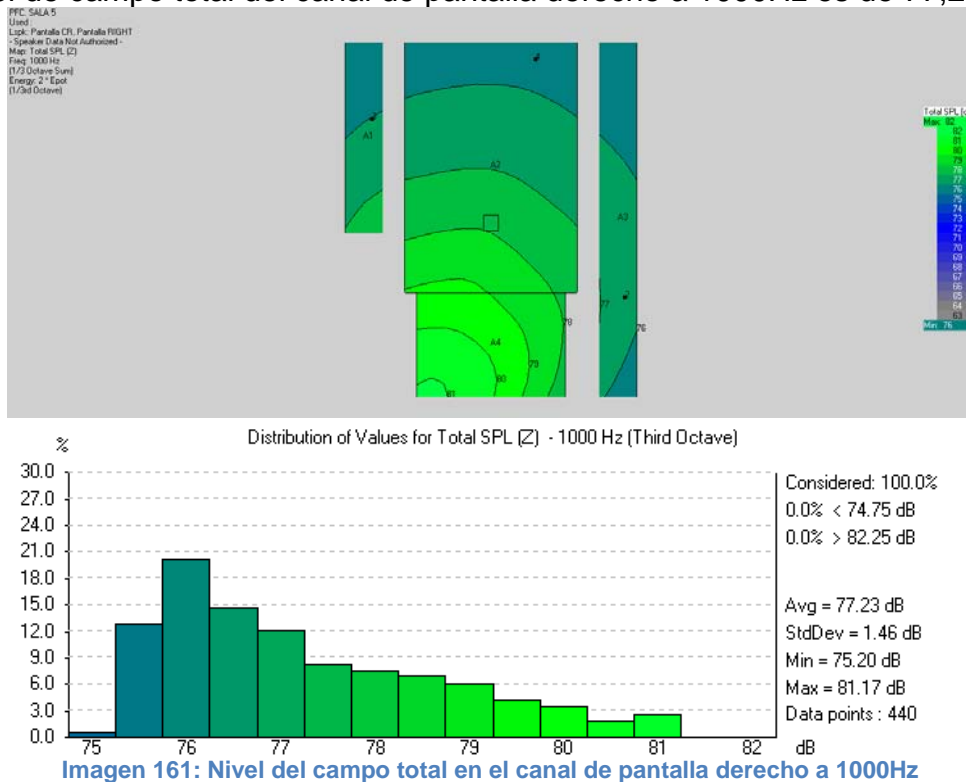


Imagen 161: Nivel del campo total en el canal de pantalla derecho a 1000Hz

En banda ancha ponderado A obtenido por el canal de pantalla derecho en la simulación es un nivel total de media 87,71dB.

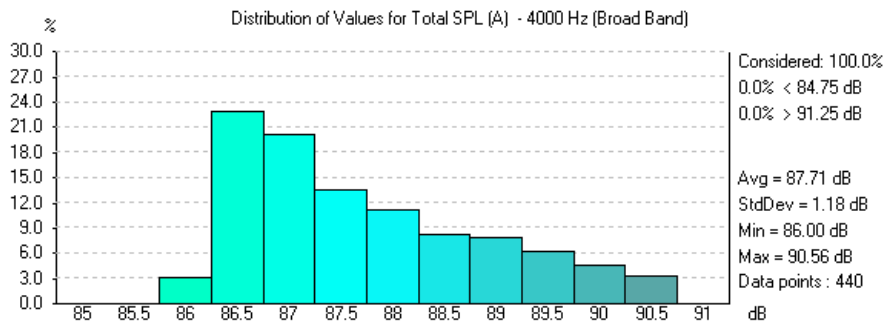
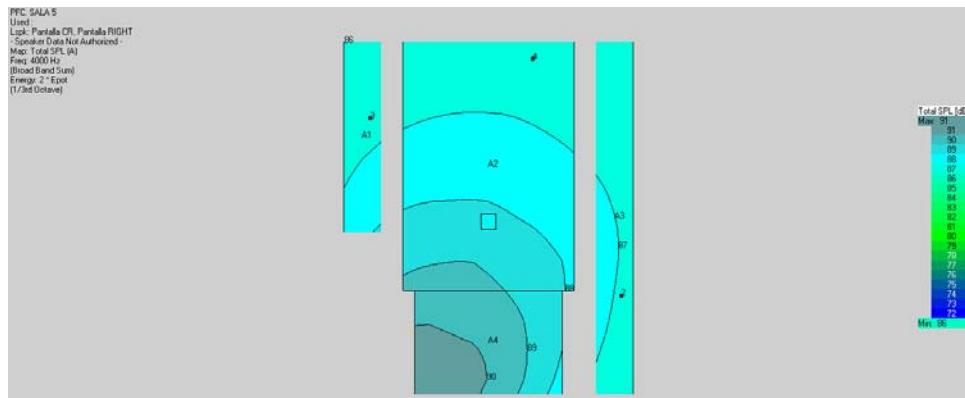


Imagen 162: Nivel del campo total en banda ancha del canal de pantalla derecho



### 11.2.3 Canales surround

Como para el resto de canales, se reflejan algunas de las gráficas obtenidas en las simulaciones. El resto de gráficas pueden encontrarse en el CD de referencia del departamento.

Se elige uno de los canales surround (en este caso el canal surround izquierdo) para mostrar las gráficas a frecuencias bajas, medias y altas. Y para el resto de canales surround se ponen algunas de sus gráficas de resultados como visualización orientativa.

Para el canal surround izquierdo, a 250Hz, 1000Hz y 4000Hz y en banda ancha, los niveles obtenidos son los de las imágenes Imagen 163, Imagen 164, Imagen 165 e Imagen 166.

Uno de los requisitos que son exigidos en los altavoces surround, establece que sólo excitados estos, tendrán que tener una distribución uniforme con una variación de nivel de presión sonora de 2dB (comportamiento equivalente a campo libre). Para el canal surround izquierdo a las diferentes frecuencias hay una desviación de 1.74dB, 1.64dB y 1.47 dB (para 250 Hz, 1000Hz y 4000Hz respectivamente) y de 1.55dB para el nivel total en banda ancha, es decir, que su distribución es muy uniforme y cumple la norma.

El nivel del campo total del canal surround izquierdo a 250Hz se obtiene un nivel medio de 71,22dB.

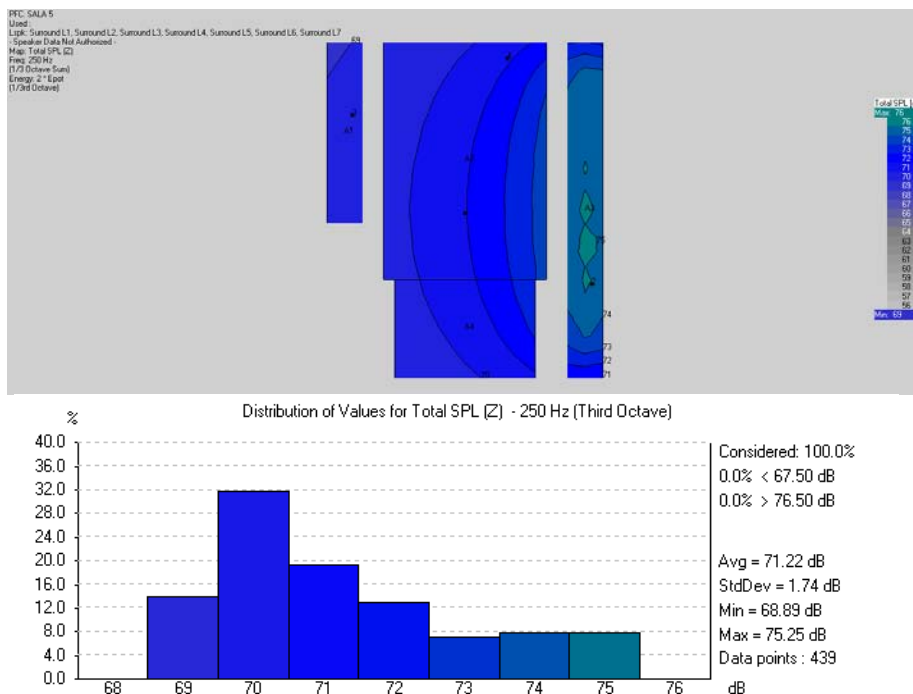


Imagen 163: Nivel del campo total en del canal surround izquierdo a 250Hz.

Para frecuencias medias, en este caso representadas por la frecuencia de 1000Hz, se obtiene un nivel de campo total medio de 71,22dB.

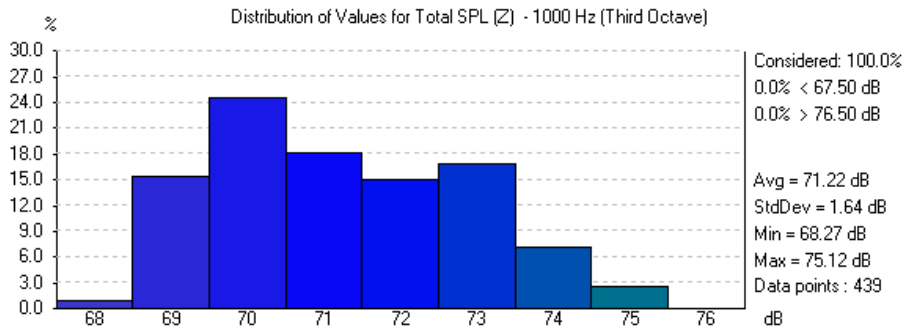
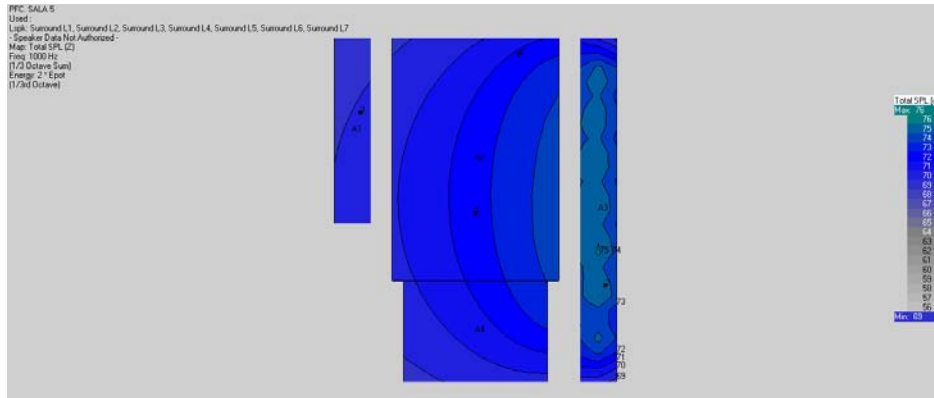


Imagen 164: Nivel del campo total en del canal surround izquierdo a 1000Hz.

Y para la frecuencia de 4000Hz, en el canal surround izquierdo se obtiene un nivel de campo total de 68,22dB.

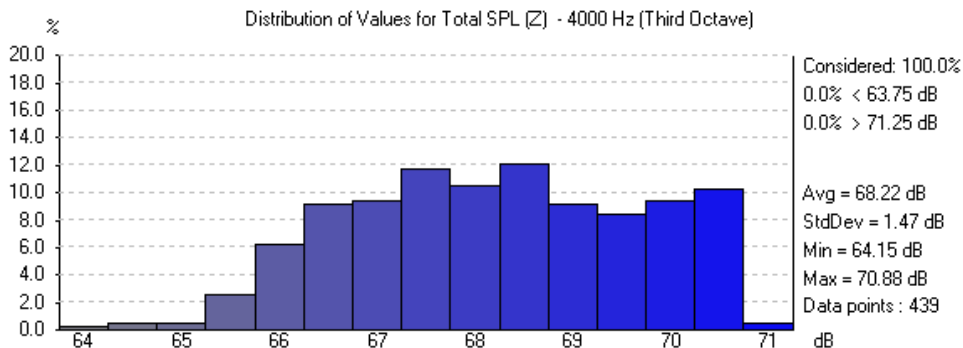
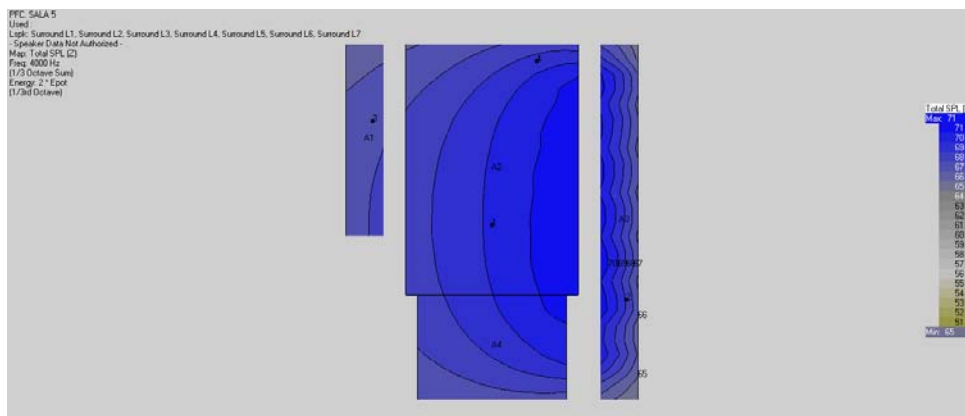
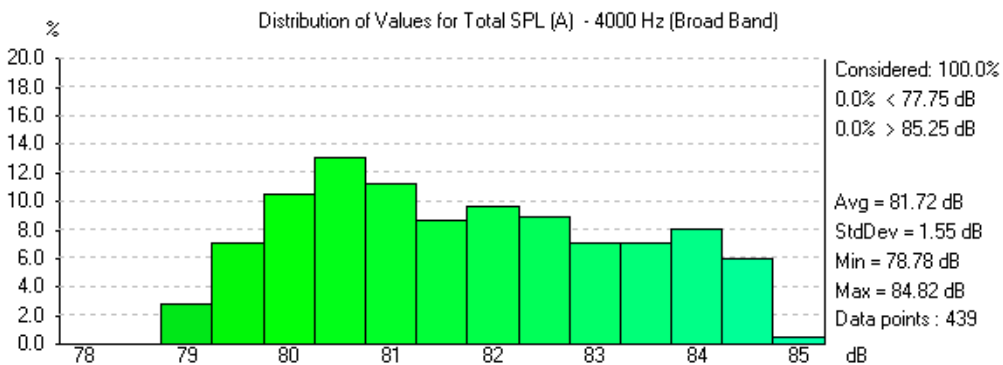
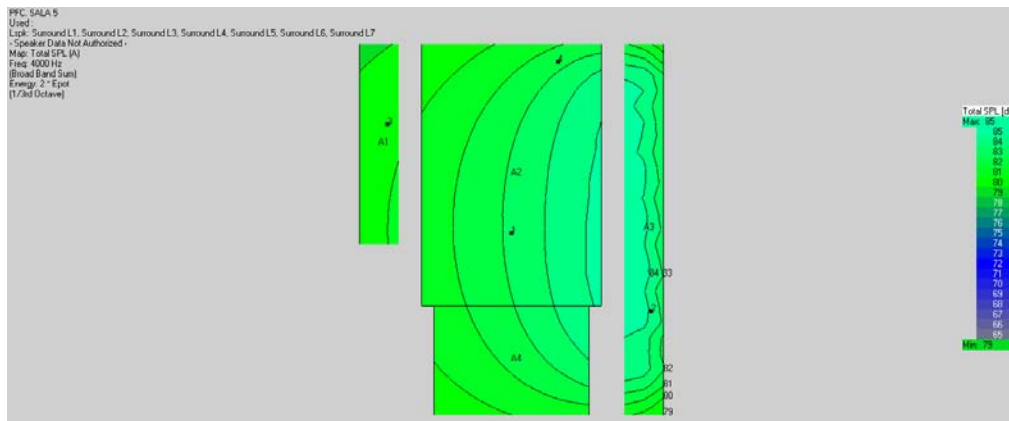


Imagen 165: Nivel del campo total en del canal surround izquierdo a 4000Hz.

En banda ancha ponderado A obtenido por el canal surround izquierdo en la simulación es un nivel total de media 81,72dB.



**Imagen 166: Nivel del campo total en banda ancha del canal surround izquierdo**

Para el resto de canales surround, el canal surround derecho y el surround trasero, los resultados muestran que también se cumplen las normas de recubrimiento sonoro de recintos. Se insertan algunas de las gráficas de resultados.

Para el canal surround derecho a las diferentes frecuencias hay una desviación de 1,62dB, 1,64dB y 1,44 dB (para 250 Hz, 1000Hz y 4000Hz respectivamente) y de 1,56dB en banda ancha, es decir, que su distribución es muy uniforme y cumple la norma.

Y de las distribuciones halladas para los surround traseros, hay una desviación máxima de 2,30 dB (para la frecuencia de 250Hz), es decir, que la diferencia entre los niveles máximos y mínimos es próxima a 2 dB, por lo que se cumple el comportamiento exigido.

El nivel del campo total del canal surround derecho a 1000Hz tiene una media de 71,39dB.

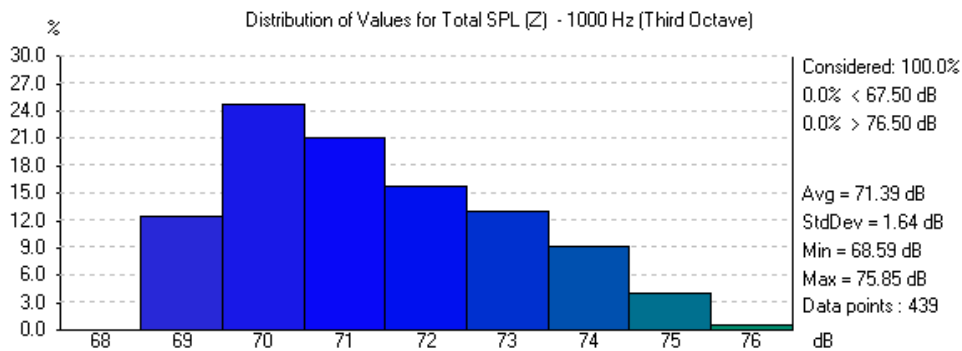
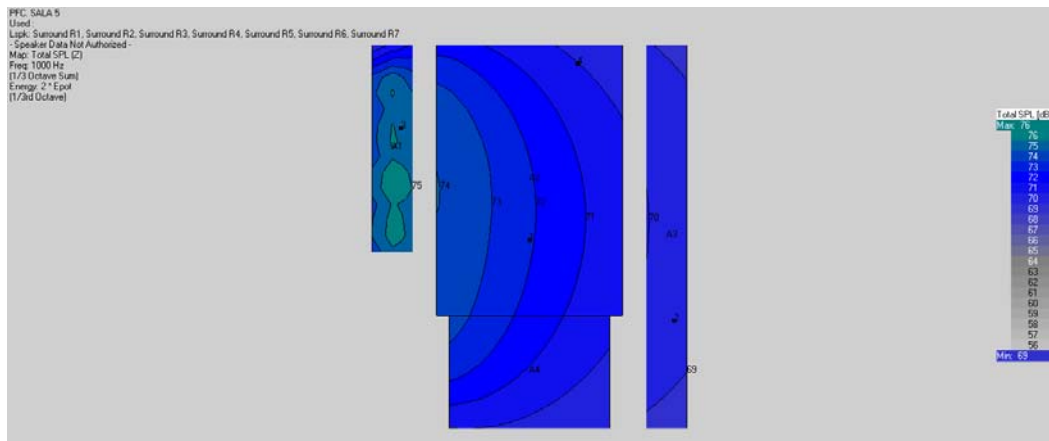


Imagen 167: Nivel del campo total en del canal surround derecho a 1000Hz.

Y en banda ancha ponderado A, para el canal surround derecho se obtiene de media 81,72dB.

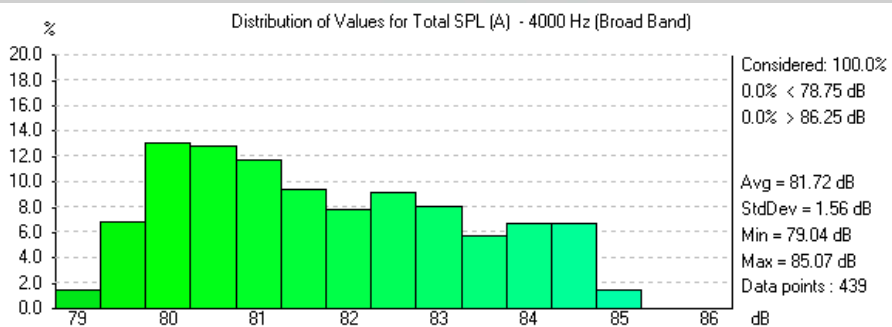
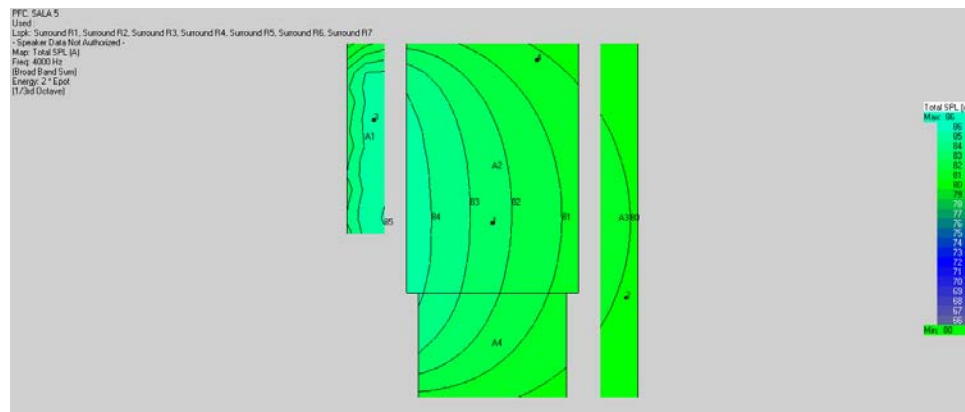


Imagen 168: Nivel del campo total en banda ancha del canal surround derecho.

En el canal surround trasero, para también los 1000Hz, se obtiene el nivel total con una media de 71,22dB.

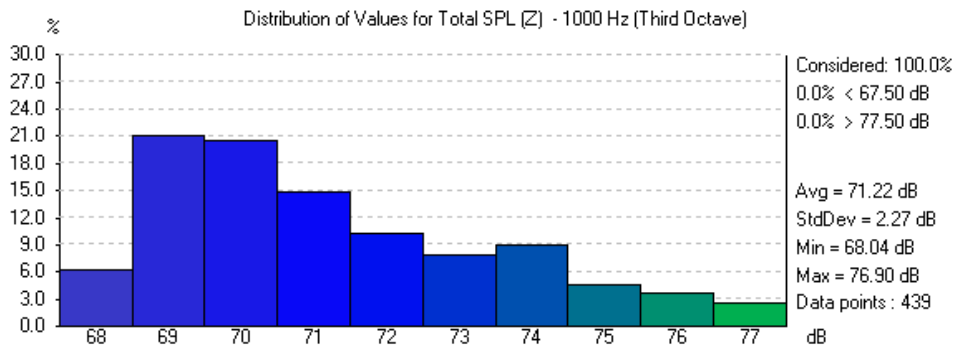
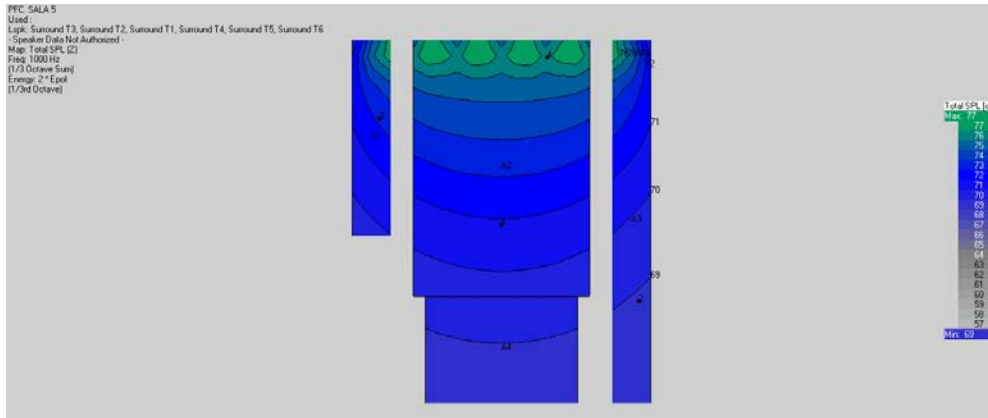


Imagen 169: Nivel del campo total en del canal surround drasero a 1000Hz.

Y en banda ancha ponderado A para el canal surround trasero se obtiene un nivel medio de 81,73dB.

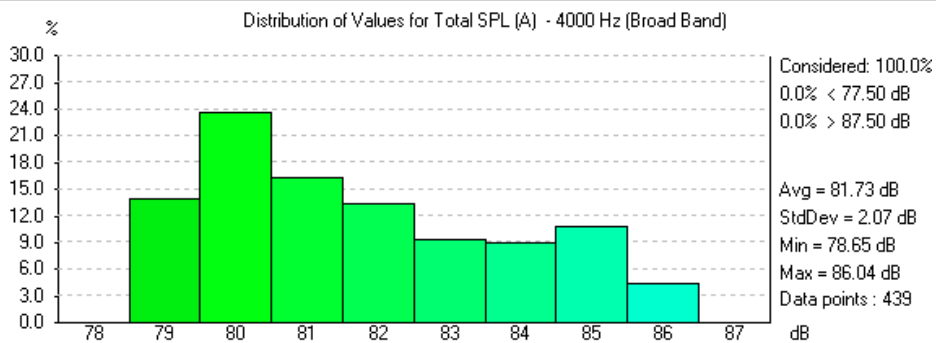
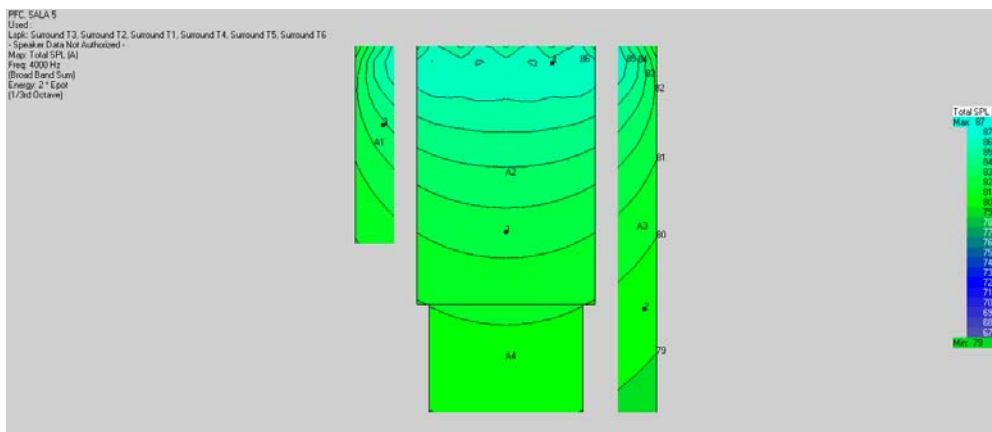


Imagen 170: Nivel del campo total en banda ancha del canal surround trasero.

### 11.2.4 Todos los canales de altavoces simultáneamente

Finalmente, se activan todos los altavoces a la vez para obtener el campo total dado en la sala. Al igual que para los niveles hallados en los altavoces individualmente, se realiza el cálculo de campo total para diversas frecuencias, representando frecuencias bajas, medias y altas (250 Hz, 1000 Hz y 4000 Hz).

El nivel del campo total para todos los canales activados simultáneamente a 250Hz es de una media de 82,53dB.

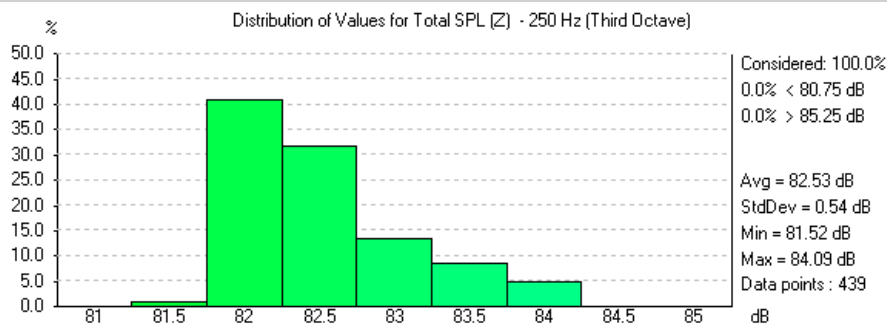
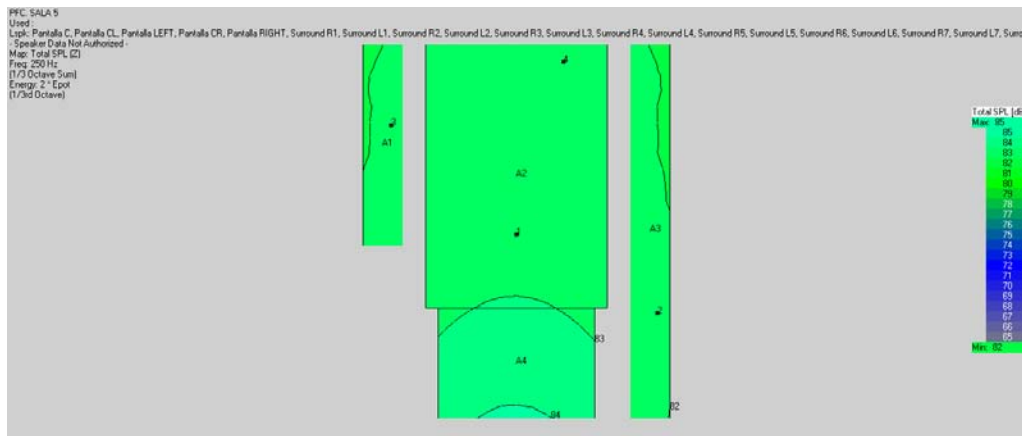
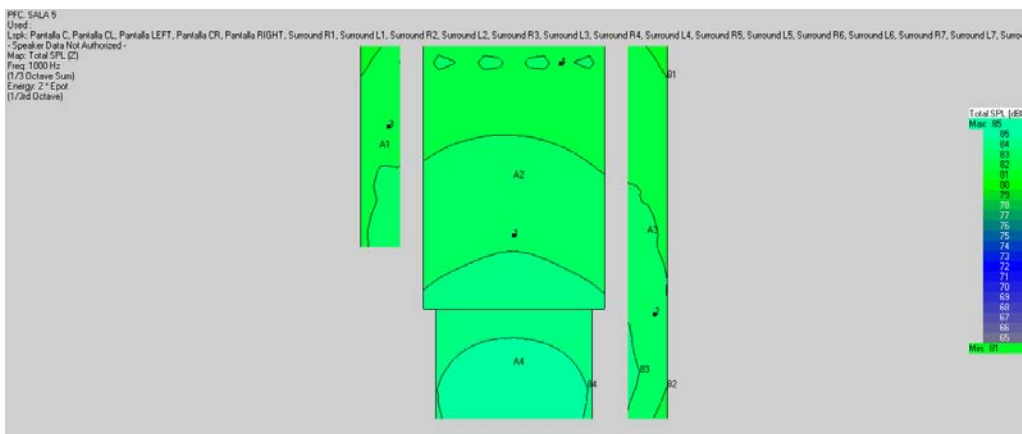


Imagen 171: Nivel de campo total para todos los canales de la sala a 250Hz.

El nivel del campo total para todos los canales activados simultáneamente a 1000Hz es de una media de 82,58dB.



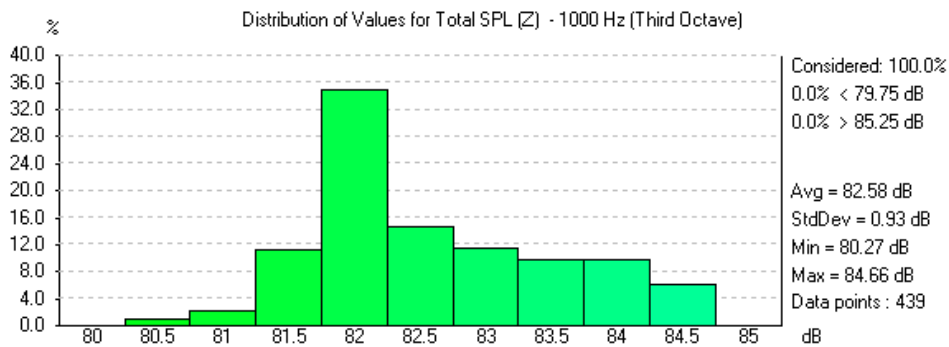


Imagen 172: Nivel de campo total para todos los canales de la sala a 1000Hz.

El nivel del campo total para todos los canales activados simultáneamente a 4000Hz es de una media de 79,43dB.

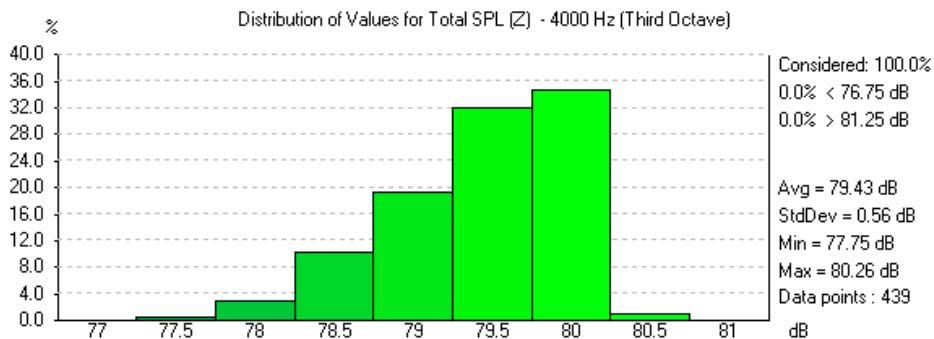
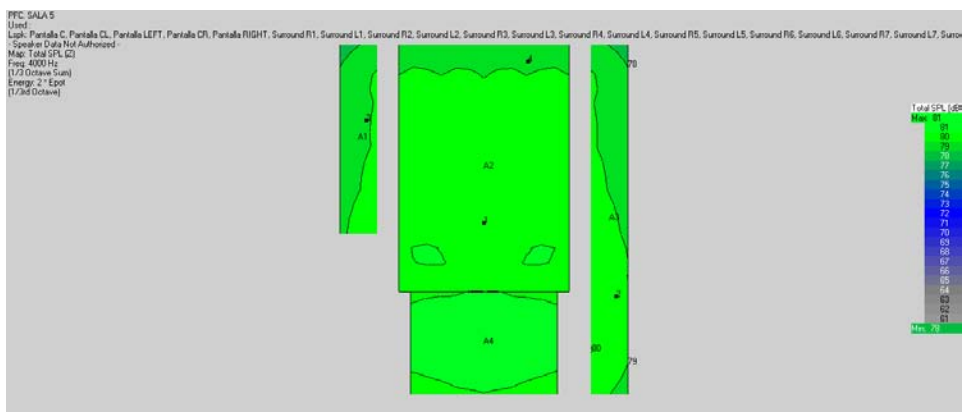


Imagen 173: Nivel de campo total para todos los canales de la sala a 4000Hz.

El nivel en banda ancha ponderado A obtiene un campo total de máximo aproximadamente 85dB.

## 12 Inteligibilidad

A la hora de realizar el estudio acústico de una sala de estas características donde se van a reproducir mensajes de voz, es importante realizar un estudio definido del nivel de comprensión del habla, es decir, si la palabra es inteligible.

La inteligibilidad decrece progresivamente cuando el oyente se aleja de la fuente hasta una distancia límite ( $D_L$ ) a partir de la cual la inteligibilidad permanecerá constante independientemente de la distancia y sólo dependerá del tiempo de reverberación de la sala respecto a la fórmula 7.

$$D_L = 3.16D_c = 0.44 \sqrt{\frac{QR}{n}} \quad (7)$$

Además la inteligibilidad depende de la relación campo directo-campo reverberante y de la relación señal a ruido S/N.

Si la relación S/N fuese mayor de 25dB no influiría en la inteligibilidad, si por el contrario es menor, existe un decrecimiento de la inteligibilidad proporcional al tiempo de reverberación.

Para valorar este nivel de comprensión o inteligibilidad de la palabra, existen diferentes técnicas que utilizan sus propios parámetros con los que podemos valorar la inteligibilidad intrínsecamente a los mismos. Para valorar la inteligibilidad a priori (sin realizar test experimental con oyentes), se realizan estudios y se obtiene la inteligibilidad con diferentes indicadores

- El índice de articulación (IA o *Articulation Index*),
- La pérdida de articulación de consonantes (ALcons o *Articulation Loss*),
- El índice de transmisión de la palabra (STI o *Speech Transmission Index*),
- Y la relación de campo directo con campo reverberante (relación D/R)



## 12.1 Índice de articulación (IA)

El índice de articulación (IA), valora el nivel de comprensión del habla en una escala de 0 a 1. Fue uno de los primeros parámetros desarrollados para valorar la inteligibilidad del habla. Fue en 1940 por *Bell Telephone Laboratories* y en 1960 se transformó en estándar ANSI (*American National Standards Institute*). Ahora se usa cada vez menos ya que, aunque contempla de forma exhaustiva la relación señal ruido, considera la reverberación de manera muy simple. Por lo que si hay poco tiempo de reverberación, el estudio de la inteligibilidad será bastante acertado.

El índice de articulación tiene en cuenta la relación señal a ruido ponderada en las octavas comprendidas entre 250Hz y 4kHz. Cada banda de frecuencia aporta una contribución a la inteligibilidad totalmente independiente del resto, y la suma de inteligibilidad de cada banda es el grado de inteligibilidad total.

El IA expresa un porcentaje de una medida experimental que consiste en contar el número de palabras entendidas correctamente por un oyente, el 100% correspondería a IA igual a 1, y el 0% a un IA de 0. En la escala de valores del índice de Articulación, se considera que los valores son los de la Tabla 31.

Tabla 31: escala de valores de inteligibilidad según el índice de articulación

Índice de Articulación	Grado de inteligibilidad
De 0.7 a 1	Excelente
De 0.5 a 0.7	Bueno
De 0.3 a 0.5	Aceptable
De 0 a 0.3	Inaceptable

Las relaciones que hay entre el tanto por ciento de palabras entendidas y el índice de articulación se establecen en la Imagen 174.

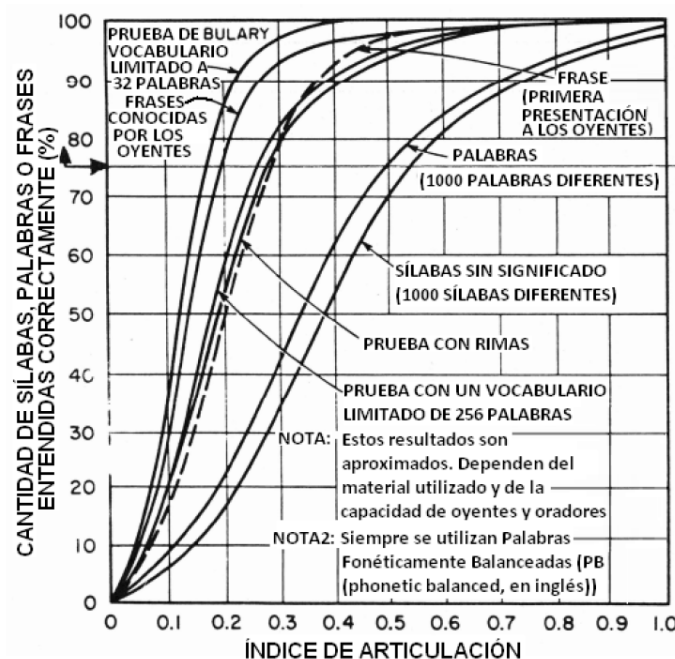


Imagen 174: Relación entre el grado de inteligibilidad y el índice de articulación

Los resultados de la sala de estudio son los de la Imagen 175. En la sala 5 hay un IA de 1, es decir, que el índice de articulación define una sala de calidad excelente en donde son entendidos correctamente todos los mensajes sonoros.

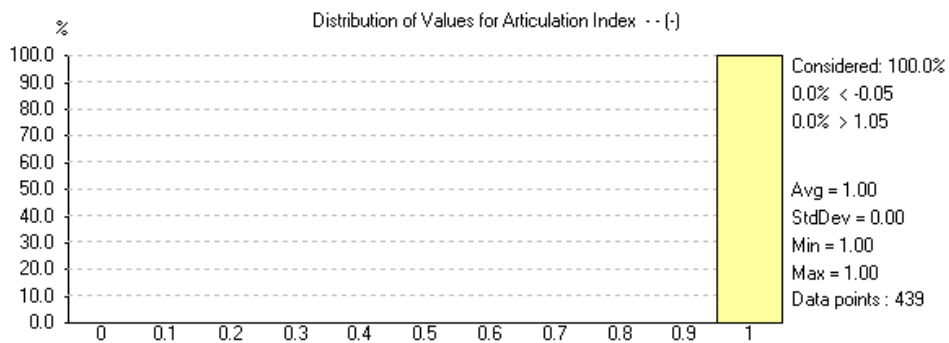
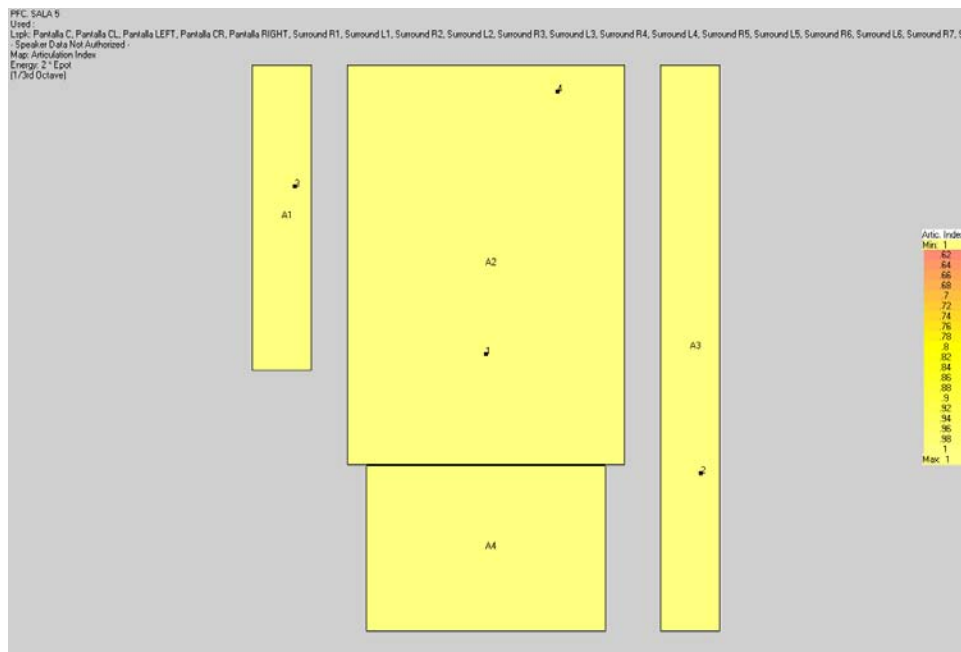


Imagen 175: Resultados del índice de Articulación en EASE de la sala 5

## 12.2 Alcons

El índice Alcons es uno de los parámetros de mayor importancia para la valoración de la inteligibilidad.

Fue desarrollado por *Peutz y Klein* en la facultad de Nijmegen (Holanda) y se utiliza para cuantificar la inteligibilidad de la palabra. Sus siglas significan "Articulation Loss of Consonants", es decir, pérdida de articulación de consonantes.

Este parámetro indica el porcentaje de pérdida de articulación de consonantes y su valor depende de la relación entre la distancia del oyente a la fuente y la distancia crítica, de forma que si la distancia es mayor que la crítica, el valor del índice deja de depender de la distancia y sólo depende del tiempo de reverberación.

El índice de articulación tenía en cuenta la relación señal a ruido ponderada en las octavas comprendidas entre 250Hz y 4kHz. El ALcons además tiene en cuenta la reverberación y el ruido.

Su fórmula es:

$$\%Alcons = \frac{200r^2RT^3(1+n)}{VQM} + K \quad \text{si } r \leq 3.16 D_c \quad (8)$$

$$\%Alcons = 9RT \quad \text{si } r > 3.16 D_c \quad (9)$$

Con:

$r$  ≡ distancia receptor-emisor más cercano

$RT$  ≡ Promedio del tiempo de reverberación medido a 1 y 2kHz

$(1+n)$  ≡ Número total de fuentes similares

$K$  ≡ Factor de calidad del oyente;

$K=2\%$  para un oyente con muy buena audición.

Si  $r < 3.5 < D_c$  será peor.

$V$  ≡ volumen de la sala

$Q$  ≡ Directividad de la fuente más cercana al oyente.

$M$  ≡ Modificador acústico para potencia reverberante de valor 1.

$D_c$  ≡ Distancia crítica

La inteligibilidad viene definida por Alcons según la escala de valores de la Tabla 32.

Tabla 32. Baremo de índice Alcons% por el método Long Form

Alcons Long Form (Peutz LF)	Grado de inteligibilidad
De 0% a 3%	Excelente
De 3% a 7%	Muy bueno
De 7% a 12%	Bueno
De 12% a 15%	Regular
De 15% a 18%	Pobre
Mayor a 18%	Inaceptable

En EASE, el campo directo para determinar el índice ALcons se determina sumando los campos directos de todos los altavoces hasta el *Split Time*. En el campo directo se incluyen no sólo los pulsos directos de los altavoces, sino también la parte inicial del decaimiento exponencial de la presión sonora, según las teorías de acústica estadística. La reverberación se puede calcular utilizando los métodos estadísticos o mediante un cálculo mucho más preciso obteniendo los reflectogramas.

Para obtener el ALcons en este proyecto, se utiliza un valor de *Split Time* de 35ms, y se realiza mediante el método *Long Form* o método largo de Peutz

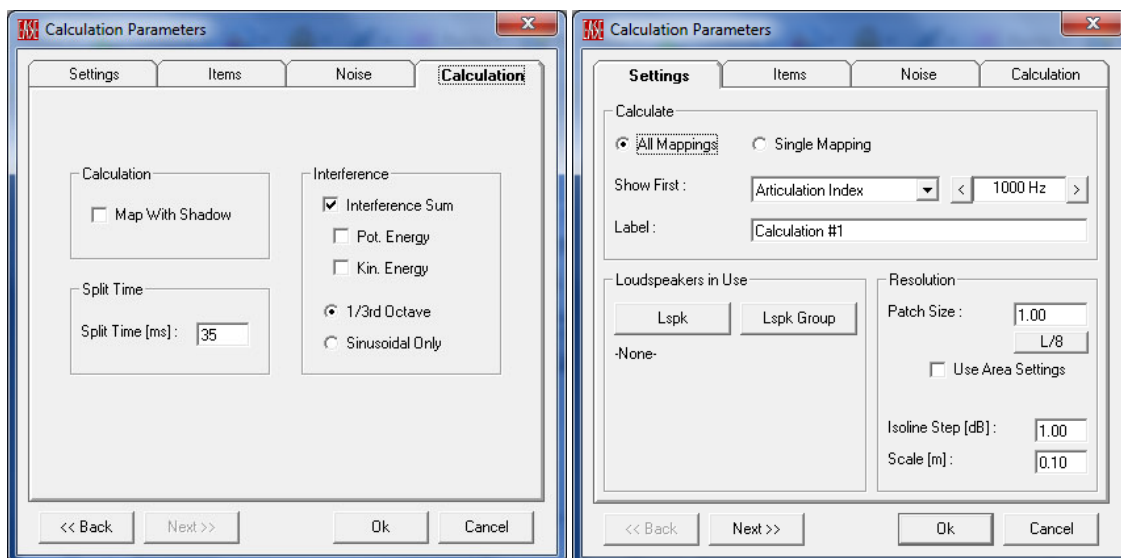
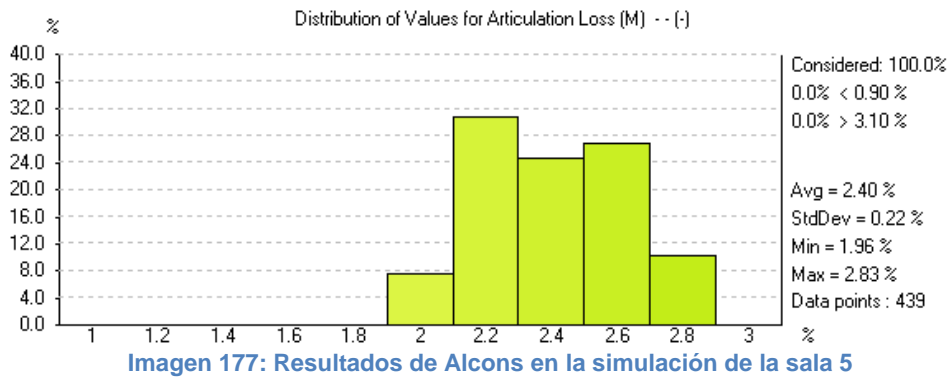
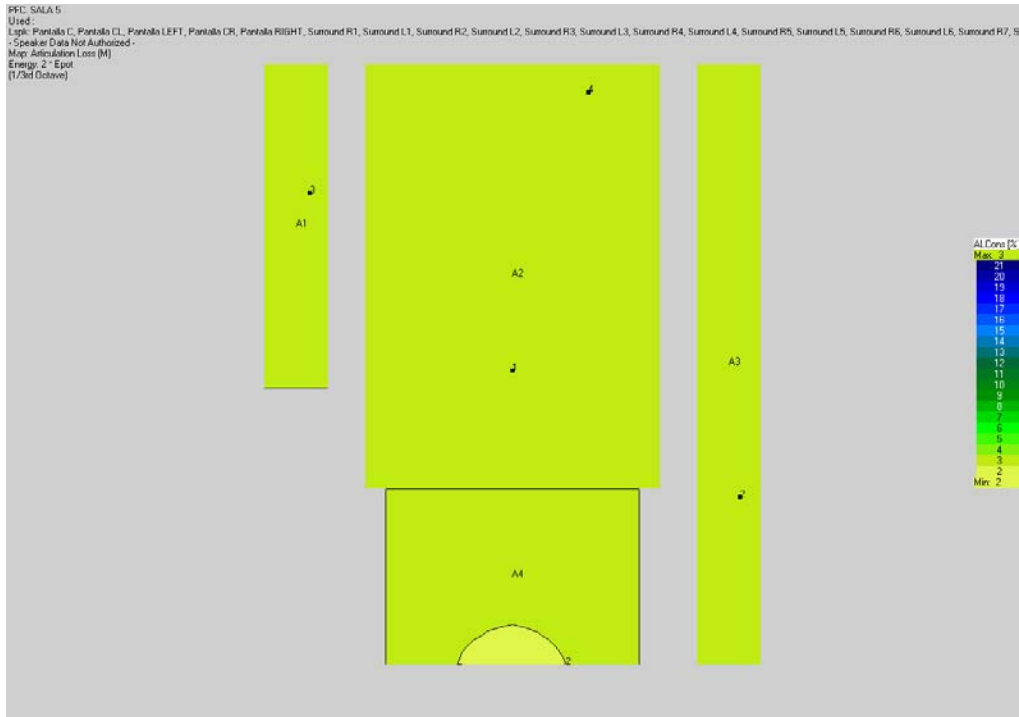


Imagen 176: cálculo del índice ALCONS en la simulación

En la sala de estudio, el Alcons tiene de media 2.4%, es decir que según la escala de valores tiene una inteligibilidad excelente



**Imagen 177: Resultados de Alcons en la simulación de la sala 5**

### 12.3 STI

Es el parámetro más utilizado para la medida de la inteligibilidad.

El STI (*Speech transmisión Index*), fue desarrollado por *Steeneken y Houtgast* en 1980. Su utilización se estandarizó en la norma IEC 60268-16 (2003).

El STI determina el grado de disminución que sufre la amplitud de la modulación de la señal sonora de prueba que se entrega a la sala, producto de la reverberación y el ruido que existe en ella. Esta disminución producida en el está directamente relacionada con la pérdida de inteligibilidad, cuyos resultados se distribuyen en una escala que va desde 0 (ininteligibilidad absoluta) a 1 (inteligibilidad absoluta), es decir, que valora la degradación de la palabra transmitida debida al ruido y la reverberación en una escala de valores del 0 al 1 como indica la Tabla 33: Tabla de STI.

Tabla 33: Tabla de STI

STI	Grado de inteligibilidad
De 0.75 a 1	Excelente
De 0.6 a 0.75	Buena
De 0.45 a 0.6	Aceptable
De 0.3 a 0.45	Mala
De 0 a 0.3	Muy deficiente

La técnica que valora la inteligibilidad mediante este parámetro está basada en pruebas que utilizan como fuente un generador de señal AM que sustituye al habla humana. El estudio mediante este parámetro mantiene que:

- La inteligibilidad del habla no varía siempre que la señal se transmita sin alteración alguna desde la fuente que la genera hasta la posición del oyente.
- La modulación puede disminuir debido tanto por el tiempo de reverberación como por la relación señal a ruido (S/N)
- La inteligibilidad está relacionada con la modulación, por tanto si se reduce la modulación produce pérdidas en la inteligibilidad.

Para medirlo, el sonido de la palabra se modela como una señal de prueba especial con las características representativas de la voz humana: una forma de onda fundamental que es modulada por señales de baja frecuencia. Por lo tanto, se emplea un complejo esquema de modulación de amplitud que genera estas señales de prueba.

Para realizar los cálculos de STI hay que seguir una serie de pasos

- Calcular la relación señal a ruido aparente

$$\left(\frac{S}{N}\right)_{ap} = 10 \log \frac{m}{1-m} \quad (10)$$

- Depende del índice de articulación  $m$ :

$$m(F) = \left[ 1 + \left( 2\pi F \frac{T}{13.8} \right)^2 \right]^{-\frac{1}{2}} \left[ 1 + 10^{-\frac{(\frac{S}{N})}{10}} \right]^{-1} \quad (11)$$

- El valor de la señal a ruido aparente tiene que estar comprendido entre los valores:

$$-15 \leq \left( \frac{S}{N} \right)_{ap} \leq +15 \quad (12)$$

- Y el valor del STI será

$$STI = \frac{\frac{\sum (\frac{S}{N})_{ap}}{98} + 15}{30} \quad (13)$$

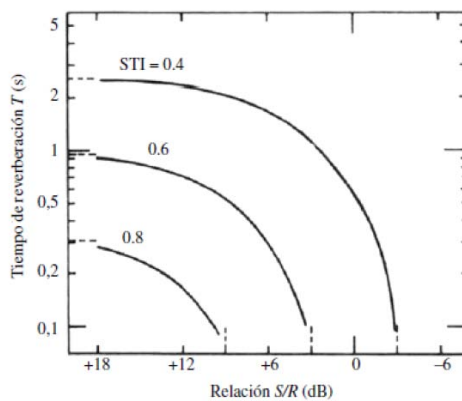


Imagen 178: Inteligibilidad. Parámetro STI para diferentes valores de TR y S/N

El valor de Alcons está relacionado directamente con el STI de la siguiente manera:

$$Al_{cons} = 10^{\frac{1-STI}{0.46}} \quad (14)$$

$$STI = 1 - 0.46 \log(Al_{cons}) \quad (15)$$

Existe otro parámetro asociado a *Brüel & Kjaer* relacionado con el STI, EL Rasti o rapid STI, que tiene un cálculo más simple. El valor de RaSTI es muy similar al índice STI pero solo considera 9 valores en lugar de 98 valores como hacía el STI:

$$RASTI = \frac{\frac{\sum (\frac{S}{N})_{ap}}{9} + 15}{30} = \frac{\sum (\frac{S}{N})_{ap} + 0.5}{270} \quad (16)$$

Aunque EASE no calcula el índice RaSTI a partir de los índices  $m$  de modulación del habla. Lo hace a partir del índice ALcons, utilizando la fórmula modificada de Farrel Becker:

$$RaSTI = 0.9482 - 0.1845 \ln ALcons[\%] \quad (17)$$

En la sala a tratar, la respuesta en frecuencia es plana hasta los 2kHz (se supone así ya que con la ecualización realizada antes se consiguió una respuesta plana en la sala), a partir de este valor va decreciendo. Así que podría decirse que se asemeja mucho al comportamiento óptimo para la utilización del RaSTI.

En la sala de estudio se va a obtener el índice STI ya que es más exacto. En la simulación, se obtiene un valor de STI de 0.756 a 0.824, es decir, que esos valores identifican la sala como una sala con excelente inteligibilidad.

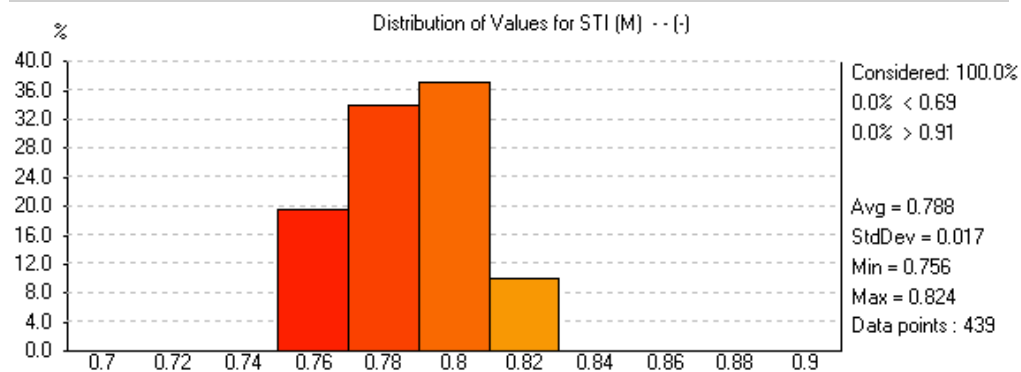
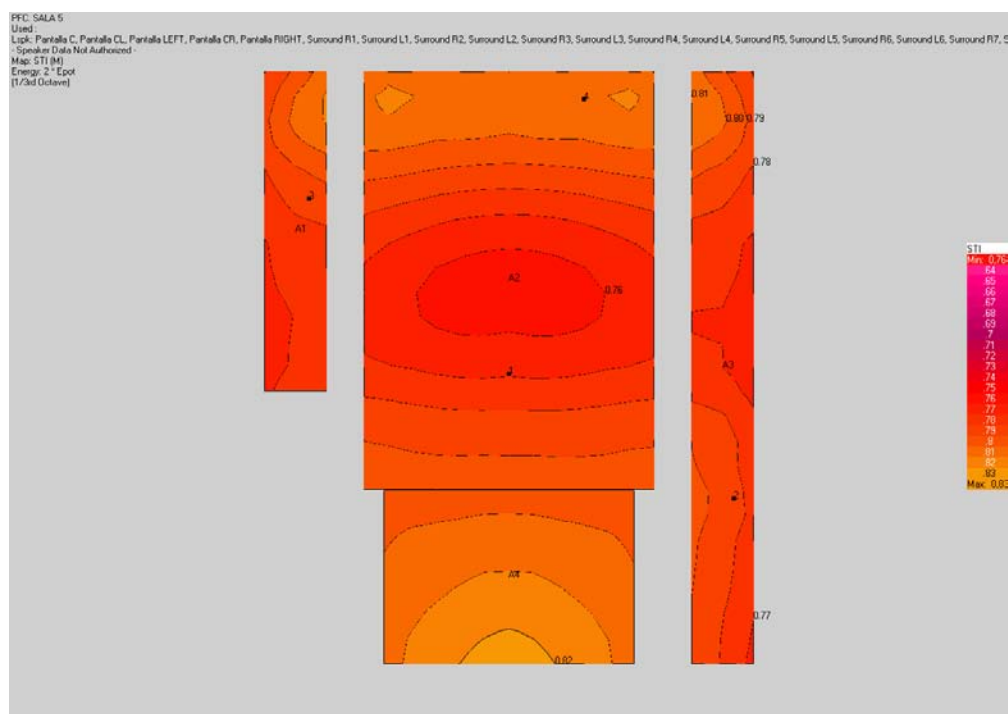


Imagen 179: Valores de STI en la sala 5



## 12.4 D/R Ratio

Es la diferencia entre el nivel directo y reverberante en la sala

$$\frac{D}{R} = SPL_{directo} - SPL_{reverberante} \quad (18)$$

La valoración de la inteligibilidad mediante la proporción entre sonido directo y reverberación se basa en que en una sala donde el campo reverberante tenga mucho nivel y se aproxime al campo directo, es afectada de forma negativa la inteligibilidad.

En EASE existe un límite de tiempo de 80ms de tiempo de llegada para que una señal pueda ser considerada como directa. Es decir, para calcular el campo directo en un punto de audiencia, se suman las señales directas de todos los altavoces dentro del margen de los 80ms, quedando excluidas las señales que lleguen con más retraso. Las señales que llegan con mucho retardo serán consideradas como reverberación o ecos.

En la simulación, los resultados de la relación de nivel directo-reverberante a 1000Hz tienen un mínimo de -1,65 y un máximo de 5,17dB.

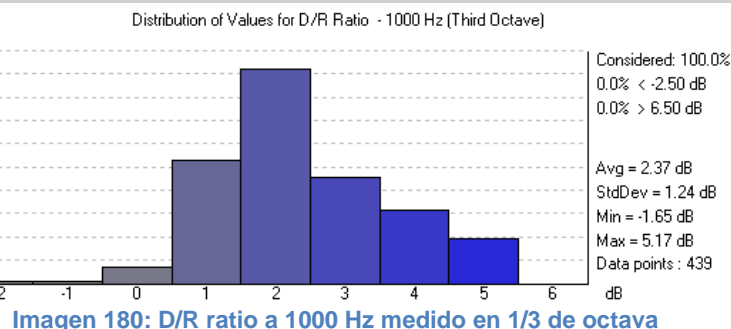
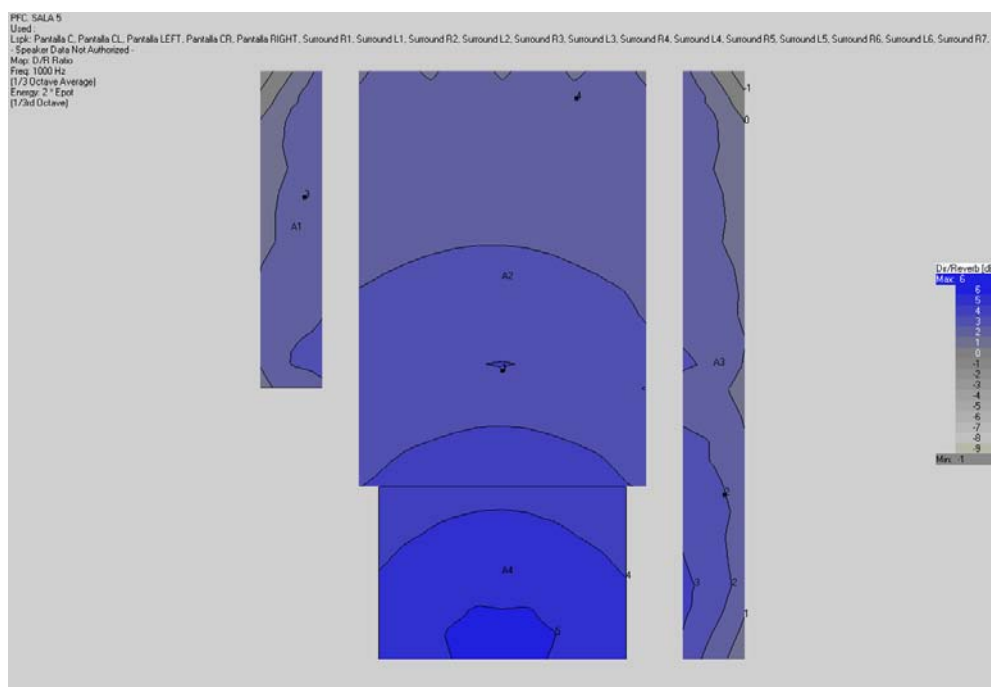


Imagen 180: D/R ratio a 1000 Hz medido en 1/3 de octava

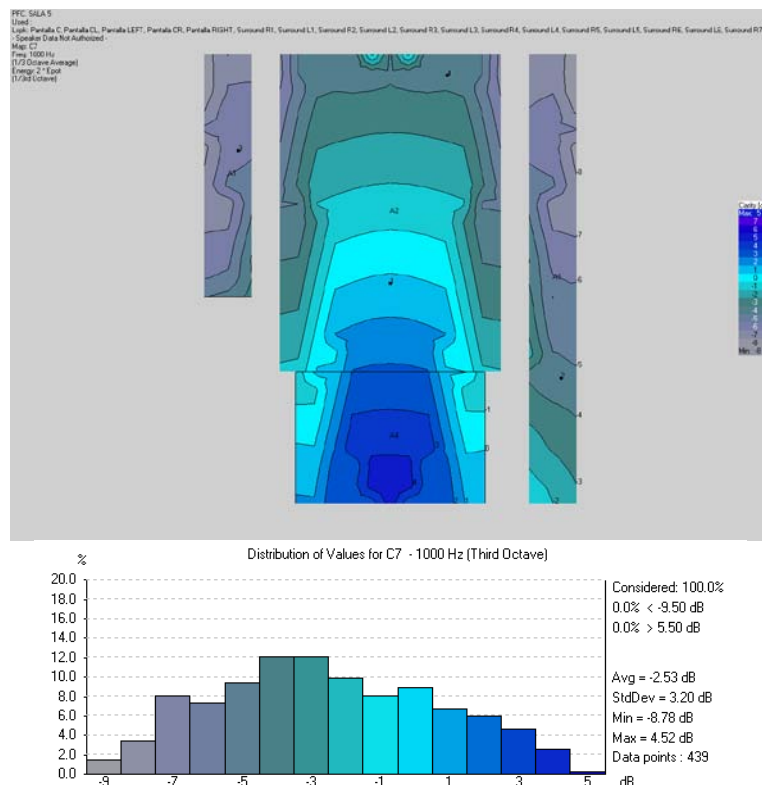
El valor promedio más bajo de dicha relación es de -11.51 (a 100Hz) y el máximo es de 1,88 (a 1000Hz). A otras frecuencias, los valores son a 250 Hz de media -1,47dB (con máximos de 1,59dB) y a 400Hz la relación va subiendo a 0,40db de media (con máximos de 3,96dB), gráficas se pueden ver en el CD de referencia del departamento. Se considera como aceptable una relación D/R mayor de -13dB a 250Hz y a -5dB a 1kHz.

Además del mismo índice D/R. Esta relación se mide también a través de otros parámetros, el más utilizado es la claridad. La claridad es la relación entre la energía sonora recibida durante los primeros 50ms después de recibir el sonido directo (incluido) y la energía restante.

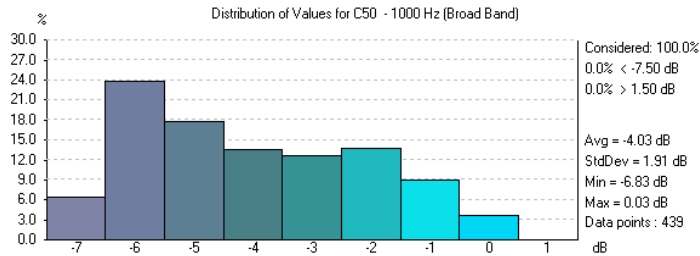
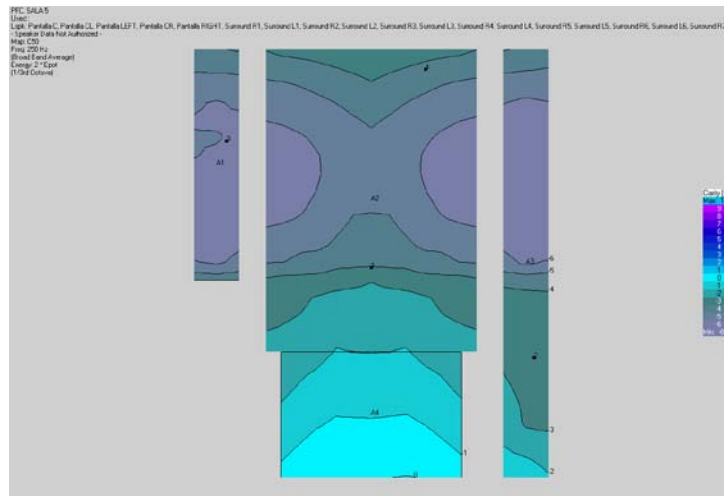
- C50. La claridad 50 es la más utilizada. Expresa la claridad del habla como el cociente de la energía procedente de los 50milisegundos de sonido directo y la energía total de la reverberación. Para nuestra sala, los valores deberían oscilar entre -4 y 0dB, es decir, lo perfecto sería tener más de 4dB de diferencia, y como valor aceptable un valor de 0dB. Según aumente este valor, mayor será la sonoridad y la inteligibilidad.
- Además del C50, otros parámetros también definen la claridad: C7 y C80 entre los más usados.

Los diferentes valores de claridad en ese punto, medidos en banda ancha son:

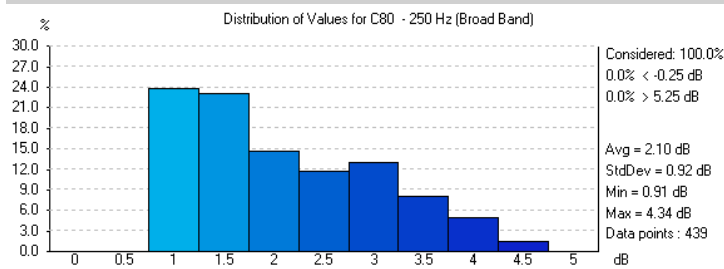
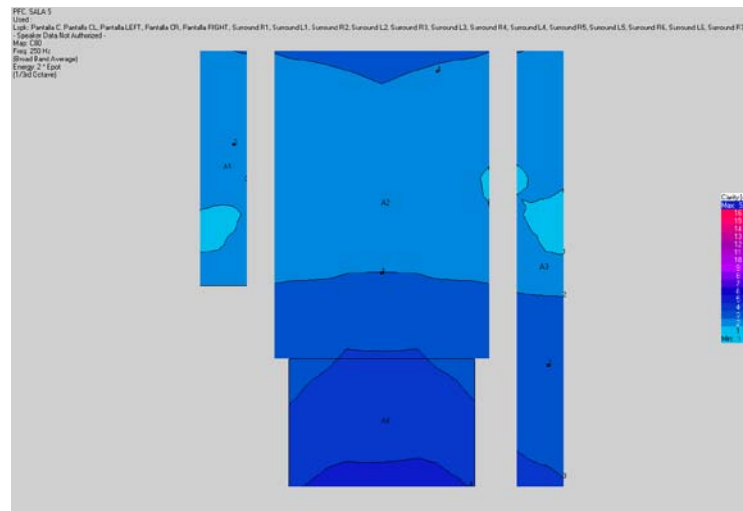
- C7 de -2,53dB de media.



- C50 de valor medio -4,03dB.



- C80 de valor medio 2,10dB.



## 13 Ecos

Es importante estudiar el comportamiento del sistema de acuerdo a los criterios psicoacústicos de efecto precedencia, ya realizado, y de ecos molestos.

En toda sonorización es muy importante el estudio de los ecos para detectar ecos molestos, que son aquellos que interfieren de manera negativa e la percepción del sonido y su existencia da lugar a pérdida de inteligibilidad.

Un eco es cualquier reflexión de primer orden que llega con un retardo superior a 50ms, es decir, son reflexiones tardías. Si el sonido reflejado llega al oído antes de estos primeros 50ms, el oído lo percibe como una señal directa, sino, se considera eco molesto. Para el estudio de los ecos, se calcula la respuesta temporal de la sala en cada uno de los oyentes establecidos, se hallan los ecogramas y se aplica la curva de *Doak y Bolt*.

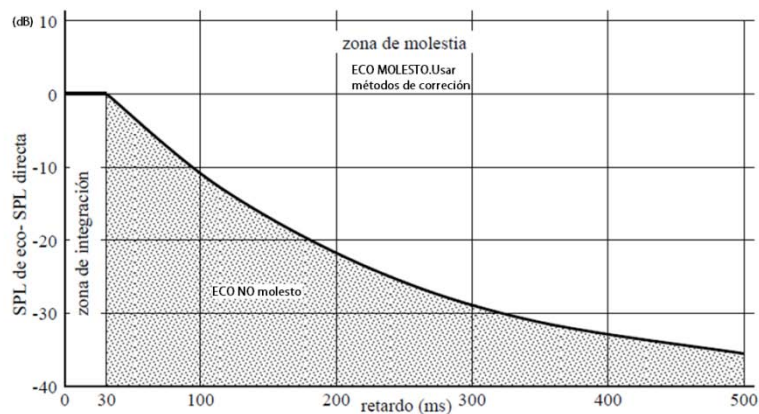


Imagen 181: Curva de Doak & Bolt del 90% para evaluar la molestia de ecos

A continuación se mostrarán los cuatro ecogramas de la sala en los oyentes establecidos con todo el sistema funcionando y las comparaciones con la curva de Doak & Bolt.

Se tienen que evitar la existencia de ecos molestos, para ello, hay que controlar la existencia de ellos. Para su control, existen varias soluciones:

- La colocación de materiales más absorbentes en las superficies conflictivas,
- Colocar las superficies en otra posición, o si no es posible, manipular la superficie creando otros ángulos de reflexión buscando reflexiones en superficies menos problemáticas,
- Superponer elementos convexos a las superficies generadoras del eco.

### 13.1 Respuesta temporal. Ecogramas.

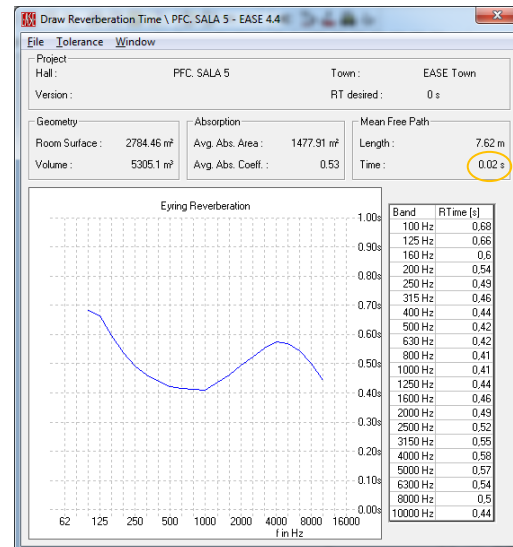
Para el estudio de los ecos, se va a hallar la respuesta temporal de la sala y su estudio se realiza a través de un ecograma, es decir, la representación de la llegada de los sonidos directo y sus reflexiones a lo largo del tiempo.

EASE utiliza varios métodos para calcular la respuesta temporal de una sala:

- El **método del trazado de rayos (Ray Tracing)**, por el que se lanzan un número elevado de rayos acústicos desde los diferentes altavoces de la sala para ver cuales pasan por el punto de estudio de la sala.

Para calcular la respuesta temporal de la sala mediante este método, se eligen los puntos más representativos de la audiencia, en nuestro caso se elige el oyente 1 para tal fin, y se usa el subprograma <<EASE Rays>>. Este método, es un método rápido y puede ser impreciso. El parámetro fundamental de control, tanto de precisión como de rapidez, es el número de rayos que se lanzan por cada altavoz. Si ese número de rayos es insuficiente, habrá reflexiones que no serán calculadas.

Para este cálculo, se utiliza un tiempo de cálculo igual al resultado de multiplicar el orden de reflexiones a calcular por el camino libre medio del recinto en el caso de estudio es de 20ms.



- El **método de las fuentes imagen (Mirror Image)**, según el cual se obtienen todas las trayectorias acústicas mediante el cálculo de las fuentes imagen, desde los altavoces hasta los puntos de escucha. Es muy exacto, pero requiere mucho tiempo de cálculo si se quieren un elevado número de reflexiones (en este método, el parámetro fundamental de control es el orden de reflexión).
- La manera más precisa de calcular ecogramas y evaluar la respuesta temporal de la sala en EASE es a partir de un tercer método; mediante el **módulo <<AURA>> (Analysis Utility for Room Acoustics)**.

Este módulo permite hacer mapas acústicos (de SPL directo, SPL total, inteligibilidad, etc) y además calcula respuestas temporales en forma de ecogramas. Se basa en el algoritmo CAESAR, que permite calcular la respuesta de salas hasta tiempos más allá de la reverberación, sin necesidad de añadir una cola estadística como hacen los otros métodos.

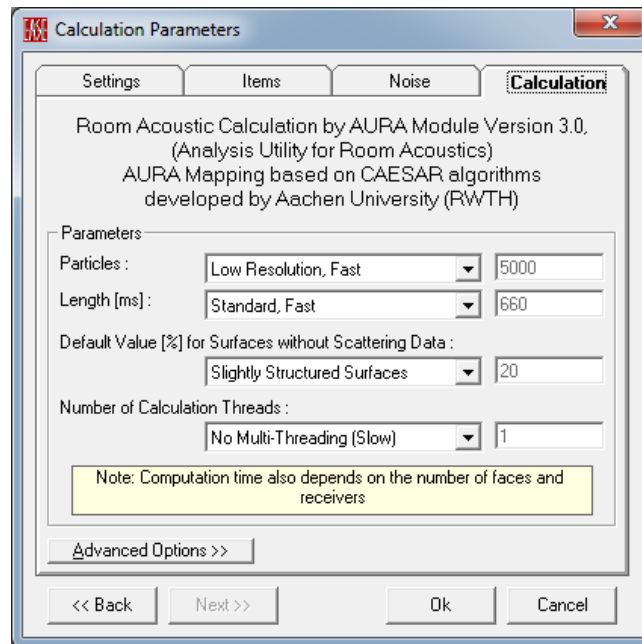


Imagen 182: Pantalla de cálculo del módulo AURA en EASE

En este estudio para el cálculo de los ecos mediante el método AURA, se obtienen cuatro ecogramas de la sala con todos los canales emitiendo a la vez y se aplica el criterio de Doak & Bolt para lograr detectar ecos molestos en los puntos definidos de escucha.

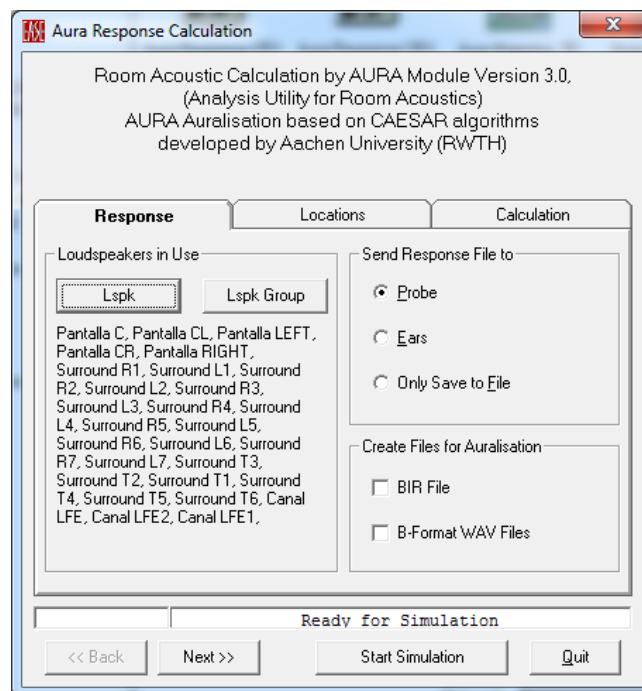


Imagen 183: Pantalla de cálculo de ecograma. Selección de todos los altavoces

Se calcula una respuesta de 1s en los oyentes seleccionados, dejando los demás parámetros en los valores por defecto. Al finalizar el cálculo, se habrán generado tantos archivos de respuesta como puntos de escucha, que se podrán inspeccionar con detalle mediante el módulo de EASE<<Probe>>.

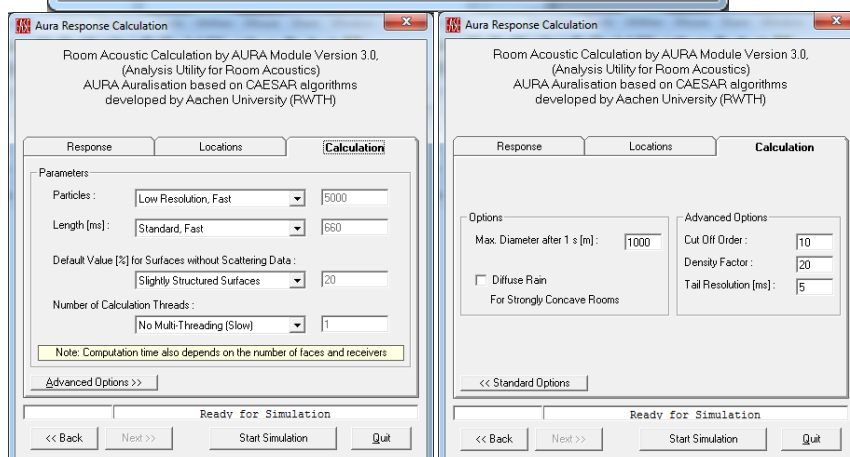
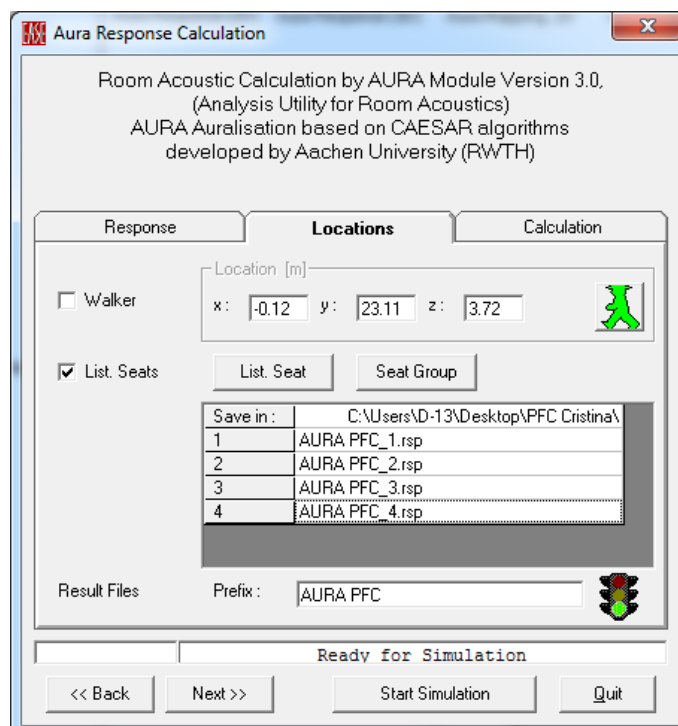


Imagen 184: Ventanas de EASE para el cálculo de la respuesta temporal en los 4 puntos de audiencia mediante el módulo <<AURA>>.

En los ecogramas resultantes, se pueden investigar una a una las reflexiones encontradas. Los pulsos de color rojo corresponden a impactos directos de los altavoces, los verdes son las reflexiones. Se comprueba que la mayor parte de las señales que llegan son reflejadas y están por debajo de las señales directas y van disminuyendo de igual manera que en la curva de Doak & Bolt.

Una vez obtenido el ecograma se puede comparar con la curva de “Doak & Bolt” para establecer si cumple con los requisitos que ésta propone y precisar si existen ecos molestos en los puntos evaluados.

El módulo <<Probe>> permite hacer otras muchas investigaciones acústicas a partir de la respuesta temporal, es decir que a partir del resultado de “Aura Response”, también se pueden estudiar otras propiedades de la sala como la respuesta en frecuencia, la respuesta al impulso, inteligibilidad o el tiempo de reverberación mediante el método de Schroeder.

El método AURA se aplica sobre oyentes puntuales y no sobre toda la superficie de audiencia. Así, se calculan cuatro ecogramas para los cuatro puntos de escucha definidos en la simulación;

- Ecograma en el punto 1 (punto dulce de la sala 5)

Para este primer punto, se desarrolla el proceso de localización de ecos molestos para después conocer su desarrollo en los otros tres puntos de la sala.

El ecograma resultante en el punto de oyente 1 es el de la Imagen 185.

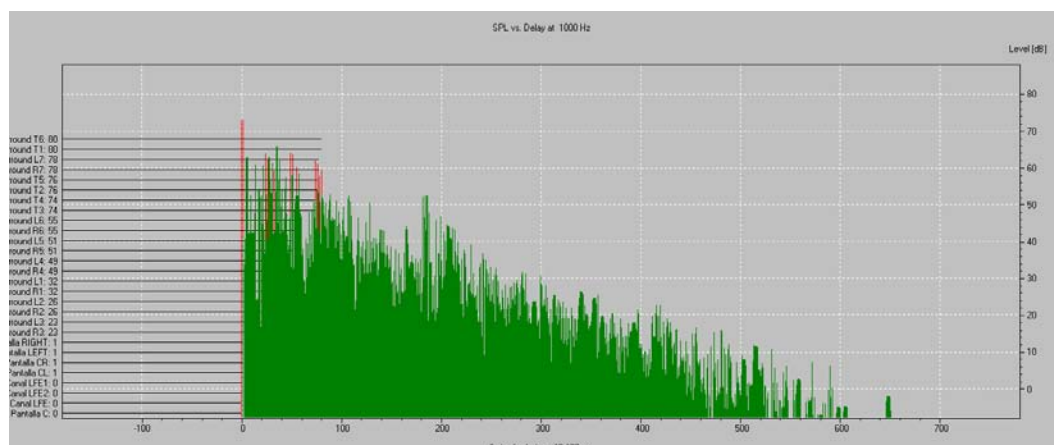


Imagen 185: Ecograma en el oyente 1

Un primer análisis del reflectograma se puede realizar mediante el comando *Inspect Details*, en el que se reflejan las sumas parciales de los diferentes pulsos del reflectograma: *Direct* se refiere a los valores de los impactos directos de los altavoces (pulsos rojos), *Reflect* a las reflexiones (pulsos verdes) y *Reverb.* a estimaciones de reverberación, no consideradas en el reflectograma. De esta manera se obtienen en cada caso la suma parcial de niveles en los intervalos delimitados por *Split Time* (o tiempo de integración del oído o tiempo de integración de Hass (35ms), punto límite para la energía directa útil en el análisis de la inteligibilidad) y el tiempo después de este (*Diffuse Time*) donde el campo se considera difuso).

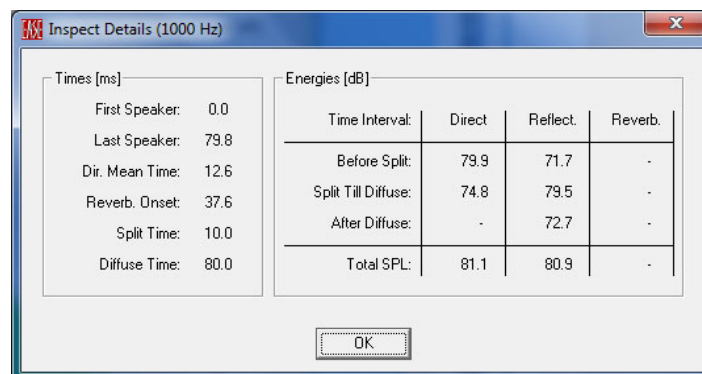


Imagen 186: Balance energético básico mediante *Inspect Details* en un reflectograma. Oyente 1

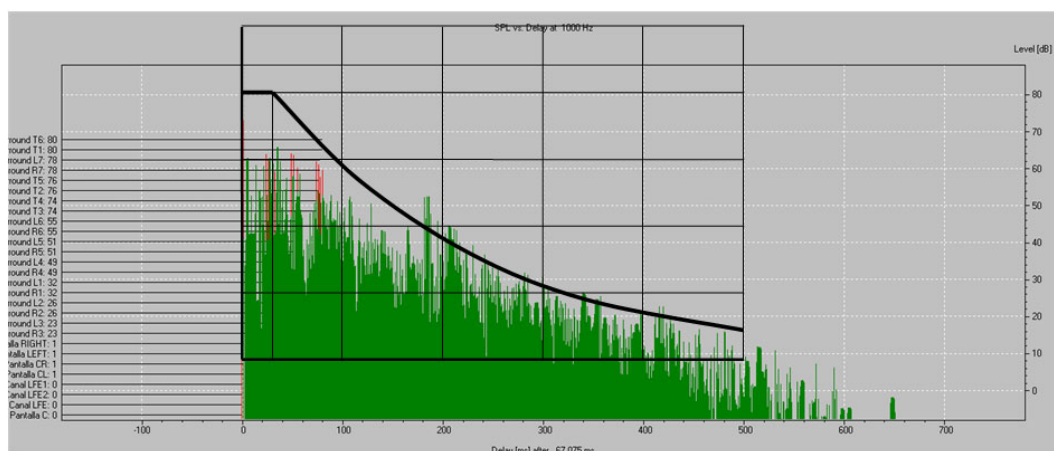
La información de *Inspect Details* se puede utilizar de forma directa para evaluar el criterio de Doak y Bolt para molestias por eco. Para ello, se suman las energías de todos los pulsos (excluyendo *Reverb*) hasta *Split Time* (35 ms).



En el caso de la figura de la Imagen 186: Balance energético básico mediante Inspect Details en un reflectograma., hay que realizar una suma no coherente de los valores directo y reverberante 79,9 <<+>> 71,7, obteniendo un nivel total de 80,51dB.

$$10 \log\left(10^{\frac{SPLd}{10}} + 10^{\frac{SPLr}{10}}\right) \quad (19)$$

Éste será el nivel directo integrado por el oído en ese punto de escucha. Se superpone la curva de Doak y Bolt de la Imagen 181: Curva de Doak & Bolt del 90% para evaluar la molestia de ecos (es imprescindible ajustar las escalas de nivel y tiempo de la curva de Doak y Bolt al ecograma) al ecograma calculado, desde el nivel calculado y a partir de t=0, obteniéndose una gráfica conjunta.



**Imagen 187: Aplicación de la curva de Doak y Bolt del 90% al ecograma del oyente 1 para evaluar la molestia de eco**

Si algún pulso o conjunto de pulsos discretos asoman por encima de la curva, se considera que son ecos molestos. Este método sólo sirve para detectar ecos discretos. Si por encima de la curva se asomase un conjunto abundante de pulsos, éstos no serán percibidos como ecos individuales, sino más bien como reverberación. En el caso de detectar ecos molestos o por encima de la curva de Doak y Bolt, hay que eliminarlos por medio de la inserción de nuevos materiales con mayor absorción en las superficies conflictivas.

Se procede de la misma manera para los otros tres puntos de oyentes definidos en la sala, puntos que son próximos a paredes y esquinas y merecen una especial atención ya que serán más conflictivos que otros puntos de audiencia.

- Ecograma en el punto 2  
Para el caso del oyente 2, hay que realizar una suma no coherente de los valores directo y reverberante 77,8 <<+>> 73,6, obteniendo un nivel total de 79,20dB.

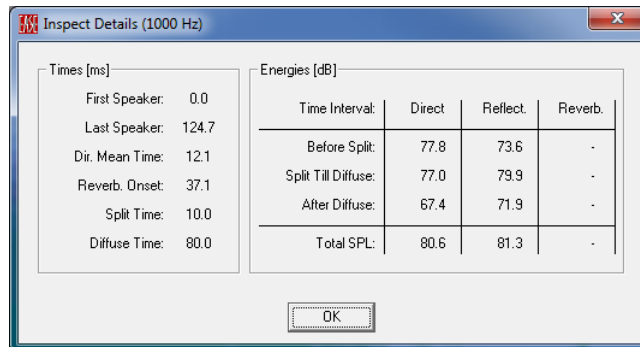


Imagen 188: Balance energético en el oyente 2.

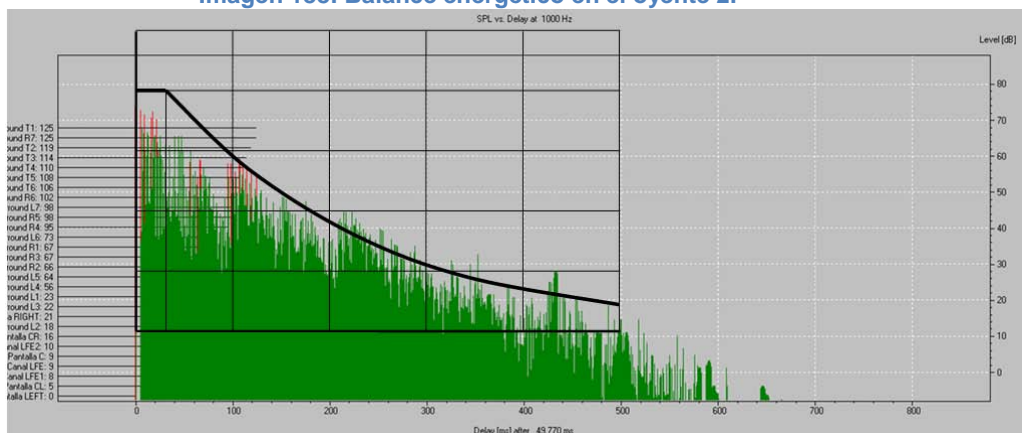


Imagen 189: Evaluación de los ecos mediante la comparación de la curva de Doak y Bolt y su ecograma en el oyente 2.

- Ecograma en el punto 3  
Para el caso del oyente 2, hay que realizar una suma no coherente de los valores directo y reverberante 74,6 <<+>> 72,2, obteniendo un nivel total de 76,57dB.

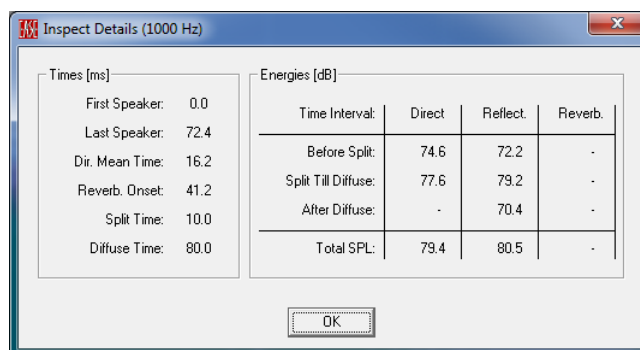


Imagen 190: Balance energético en el oyente 3.

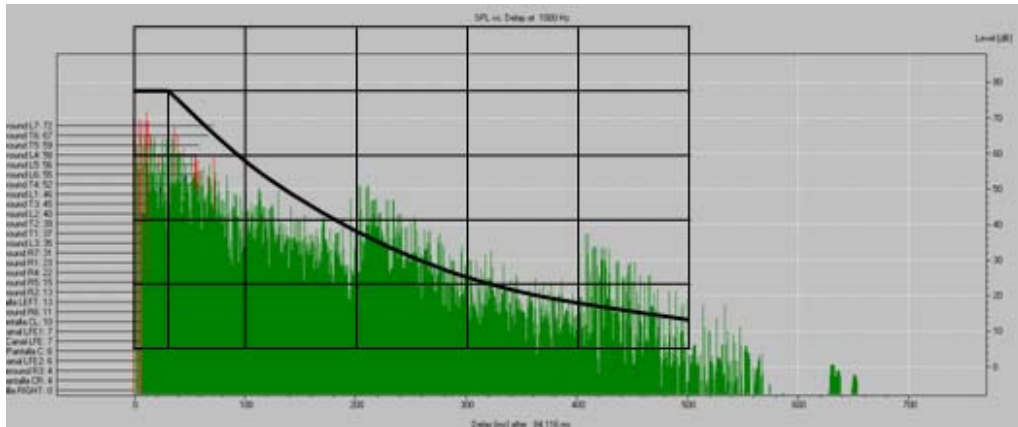


Imagen 191: Evaluación de los ecos mediante la comparación de la curva de Doak y Bolt y su ecograma en el oyente 3.

- Ecograma en el punto 4  
Para el caso del oyente 2, hay que realizar una suma no coherente de los valores directo y reverberante 76,1 <<+>> 73 obteniendo un nivel total de 77,83dB.

Times [ms]		Energies [dB]			
First Speaker:	0.0	Time Interval:	Direct	Reflect.	Reverb.
Last Speaker:	44.5	Before Split:	76.1	73.0	-
Dir. Mean Time:	11.2	Split Till Diffuse:	76.6	77.6	-
Reverb. Onset:	36.2	After Diffuse:	-	69.5	-
Split Time:	10.0	Total SPL:	79.4	79.4	-
Diffuse Time:	80.0				

Imagen 192: Balance energético en el oyente 4

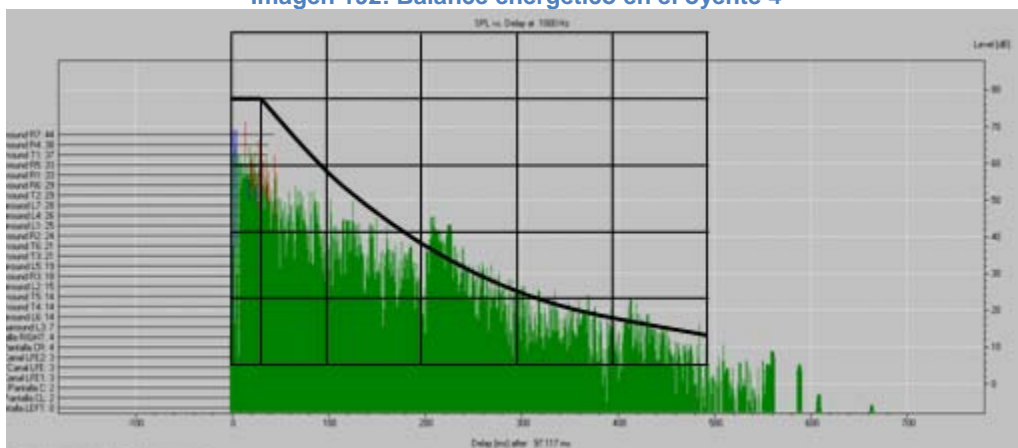


Imagen 193: Evaluación de los ecos mediante la comparación de la curva de Doak y Bolt y su ecograma en el oyente 4.

En las comparaciones de los ecogramas con las curvas de Doak & Bolt, se comprueba que existen algunas reflexiones que están por encima de la curva de comparación y evaluación de Doak y Bolt, ecos molestos a unos 200 y 400 ms que pueden afectar a la inteligibilidad de la sala. Los pulsos directos no sobrepasan la gráfica de evaluación.

## 14 Equipamiento

Para la selección del resto del equipamiento de la sala (además del ya descrito como altavoces, pantalla, etc.) para el estudio de la misma, se buscan tecnologías capaces de asegurar una buena respuesta sonora en la sala. Los existentes en la sala 5 son los que se pueden ver en la Tabla 34 y en la Imagen 194.

Tabla 34: Equipamiento en sala de proyección de la sala 5

EQUIPO	MARCA	MODELO
Servidor	Dolby	DSS 200
Procesador de Audio	QSC	DCP 300
Amplificadores	QSC	DCA 1222/1622/2422
Proyector	BARCO	DP4K-23Bx
Switch	Nortel	2526T
Procesador analógico	Dolby	CP500



Imagen 194: Rack de equipos en la sala.

## 14.1 Procesador de audio

El procesador de audio es el modelo DCP300 de QSC. Este procesador realiza las funciones de máster en la sala. Realiza el procesamiento y monitorizado de la señal para cine digital como un único sistema integrado. Desde él, se programan los retardos en los altavoces y se realiza la ecualización de la sala.

Tiene capacidad para 16 canales de entrada digitales de audio y es conectado directamente desde el servidor (a través de la clavija 25 de pin) para procesar la señal que es mandada a los amplificadores de la sala.



Imagen 195: Procesador de audio DCP300. Display. Fotografía del equipo real en sala

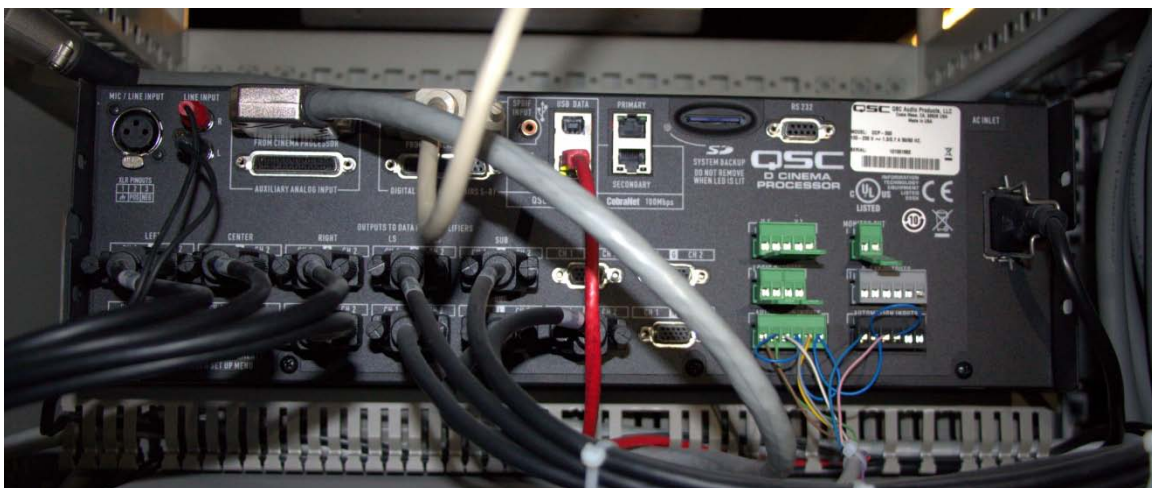


Imagen 196: Procesador de audio instalado en sala. Conexión real.

## 14.2 Amplificadores

Los altavoces de la sala son altavoces de baja impedancia, por lo que la diferencia de potencia que tienen los diferentes modelos, es regulada desde el amplificador mediante el mando de volumen o mediante la utilización de amplificadores de menor potencia. En este caso cada zona deberá estar alimentada por un amplificador o grupo de amplificadores diferentes, puesto que se requiere de niveles diferentes para cada zona (surround, subwoofer y pantalla)

El modelo utilizado es el DCA 2-channel de QSC. Este modelo de amplificador tiene diferentes modelos según la potencia que entregan, los modelos DCA 1222, 1622, 2422, 3022 y 3422. En la sala hay conectados los modelos 1222, 1622 y 2422. Todos los amplificadores tienen unas dimensiones de 8.9 x 48.3 x 35.6 cm (HxWxD) y son amplificadores de dos canales con las características de la Tabla 35.

Tabla 35: Modelos de amplificadores en la sala 5

Modelo	Descripción	Pot. Nominal [W] Potencia por canal (1kHz, 1%THD)
<b>QSC modelo DCA1222</b>	Conexión en sala a los canales de los dos primeros grupos de surround (surround laterales; derecho e izquierdo) LS1, RS1, LS2, RS2	215W (8Ω) 375W (4Ω) 600W(2Ω)
<b>QSC modelo DCA1622</b>	Conexión en la sala a los canales de subrround trasero y canales de agudos de los altavoces de pantalla	350W(8Ω) 600W (4Ω) 800W(2Ω)
<b>QSC modelo DCA2422</b>	Conexiones a los altavoces de LFE (subwoffers) y a los medios y graves de los canales de pantalla.	475W(8Ω) 825W (4Ω) 1200W(2Ω)

En la práctica, la sala 5 utiliza 11 amplificadores.

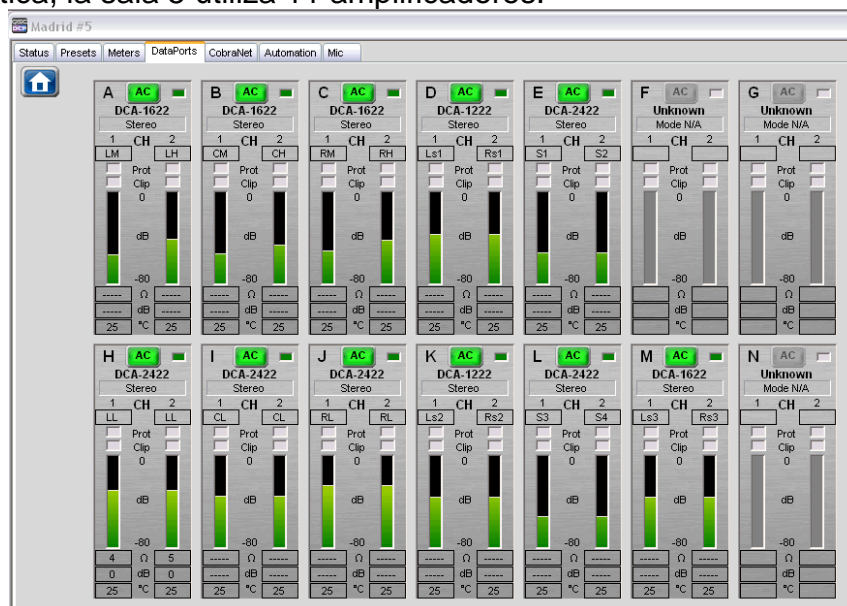


Imagen 197: Visualización de la pantalla de control de amplificadores del procesador

El conexionado de los altavoces de la sala al rack de amplificadores es el de la Imagen 198. Se nombran de la letra A a la N para ser reconocidos en la pantalla de control del PC mostrado en la Imagen 197.



Imagen 198: Conexionado amplificadores. Sala real

Lo teóricamente válido es utilizar los amplificadores como si los altavoces conectados a ellos estuvieran a nivel máximo. En la sala los altavoces están conectados a los amplificadores del rack como en la Imagen 198. En el proyecto, se mejoran las condiciones de la sala para aprovechar la instalación de todos los canales de pantalla y subround y se conectan de la siguiente manera:

- Para los 5 altavoces de pantalla se necesitarán 11 amplificadores:  
Once canales en estéreo y 6 canales en modo Bridge (para los altavoces de agudos)  
Los altavoces de pantalla derecho y central derecho llevan la misma señal. Por lo que agudos, medios y bajos irán conectados a la par en el mismo amplificador.  
Sucede lo mismo con los altavoces de pantalla izquierdo y central izquierdo.  
Para el altavoz central, al llevar un canal independiente de audio, para cada uno de sus conos necesita un canal del procesador QSC diferente
- Para el surround se necesitan 6 canales y serán necesarios 3 amplificadores.  
Para los tres canales de surround (surround derecho, surround izquierdo y el surround trasero )que se implementan en la mejora (en lugar de un 5.1 se propone un 6.1), se necesitan tres amplificadores, uno para cada valor de retardo. Al ser definidos tres valores diferentes de retardos, habrá que tener un canal por cada subround y retardo, es decir, un canal para los altavoces L1, L2 y L3, otro para R1, R2 y R3, otro para L4,L5,L6,L7 otro para R4, R5, R6 y R7 otro para los traseros derechos T1, T2 y T3 y un último para los traseros izquierdos T4, T5, y T6.
- Para altavoces LFE, cada altavoz es soportado por un canal de amplificador DCA 2422, ya que hay tres altavoces de LFE son necesarios 2 amplificadores DCA 2422 para el canal de efectos en baja frecuencia (deja libre un canal de un amplificador).

Para una mejor visualización, el conexionado de la sala puede verse en el próximo apartado 14.7 de conexionado en la Imagen 210.

La mejora propuesta así, para la necesidad de dar potencia a toda la sala en el caso de que fuesen aprovechados toda la potencia de los altavoces, sería tener 16 altavoces (en lugar de los 11 actuales),es decir, instalar 5 altavoces más y cambiar el conexionado de la sala actual para conectar los dos altavoces centrales derecho e izquierdo de pantalla y separar el canal surround trasero de los canales surround laterales.



### 14.3 Proyector

El proyector usado en la sala 5 es el proyector modelo DP4K-23Bx de BARCO que funciona junto con un servidor integrado.



Imagen 199: Proyector DP4K-23Bx de BARCO. Imagen especificación



Imagen 200: Proyector DP4K-23Bx de BARCO en sala real

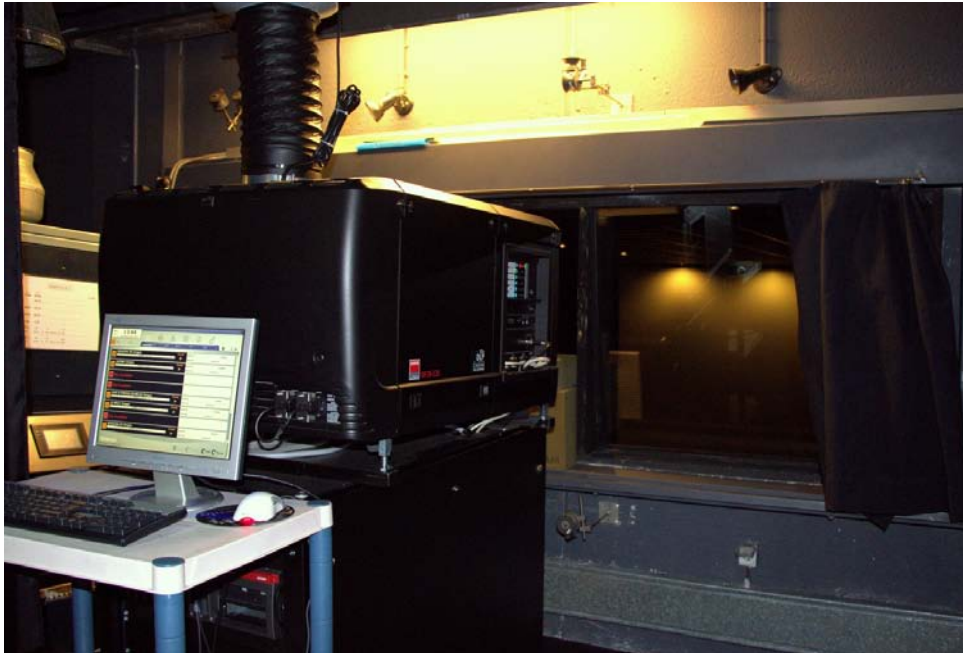


Imagen 201: Sala 5 desde cabina de proyección

El proyector DP4K-23Bx tiene unas características de fabricante que proporcionan:

- Imagen ultra brillante de 4K perfecta para pantallas de hasta 23 metros de ancho.
- Contiene el chip Texas Instruments' 1.38" DLP Cinema, diseñado para asegurar una alta calidad de las salas de proyección cinematográficas.
- El proyector está integrado con un servidor de media, fácil de usar con un procesador de bloques IMB (Integrated Media Block) de Doremi.
- Soporta alta velocidad de "frames", incluyendo las velocidades necesarias para reproducir películas en 3D.
- Posee entradas adicionales como DVI dual, 3G-SDI y HDMI, por lo que puede proyectar contenido alternativo.
- Soporta la proyección de contenidos en MPEG-2 y H264 y está cercano a decodificar emisiones de 3D en vivo originadas por RealD Live o Sensio.

#### 14.4 Procesador Dolby CP500

El procesador Dolby CP500 es el antiguo procesador digital/analógico de la sala 5 antes de la renovación de equipos que se ha mantenido instalado en la sala por si alguna vez se utiliza el proyector analógico.



Imagen 202: Procesador Dolby CP500. Frontal del equipo

Este procesador recoge las señales de los lectores del proyector analógico y las decodifica. Luego, mandaría la información al QSC y este mandaría las señales de audio a las fuentes de sonido de la sala. Además, este procesador tiene ecualizador gráfico, ajuste de niveles y se puede aplicar retardos.

Este procesador es un NOC (Network Operation Center) y puede ser monitorizado, configurado y controlado desde cualquier lugar de la red (la utilidad principal es configurar un ordenador como puesto de control).

Viene integrado con el software Dolby Manager show, un software de fácil uso para la configuración y selección de entradas de audio, volumen, control de audios... También añade codificadores del canal de Surround de los formatos multicanal Dolby (Dolby Surround 7.1, 5.1 Digital PCM, Dolby Digital Surround EX, Dolby Digital, Dolby Digital Prologic II y Dolby Prologic).

## 14.5 Switch

Para la distribución de los servicios a todo el cine, cada sala cuenta con un switch modelo Nortel 2526T que recibe toda la información del distribuidor general en la sala de estudio.



Imagen 203: Switch Nortel 2526T



Imagen 204: Equipo Nortel en la sala

## 14.6 Servidor DSS200

El servidor Dolby Screen Server DSS200 es el núcleo del sistema Dolby de cine digital. Este, decodifica la información de la película y transfiere la información de vídeo al proyector y la información de sonido al procesador de audio de la sala.



Imagen 205: Servidor Dolby Screen Server DSS200

El media block es reprogramable para ajustarse a futuros desarrollos en formatos de imagen y sonido y asegura una alta calidad de audio y vídeo. El DSS200 está preparado para trabajar con archivos JPEG2000 y MPEG-2 y es compatible con contenido alternativo.

El diseño del DSS200 permite que su mantenimiento sea sencillo. Por otro lado, el personal del cine puede programar la presentación de una película localmente o remotamente por el software de Dolby TMS, lo que permite el control central de red, fácil instalación, su programación y monitoreo.

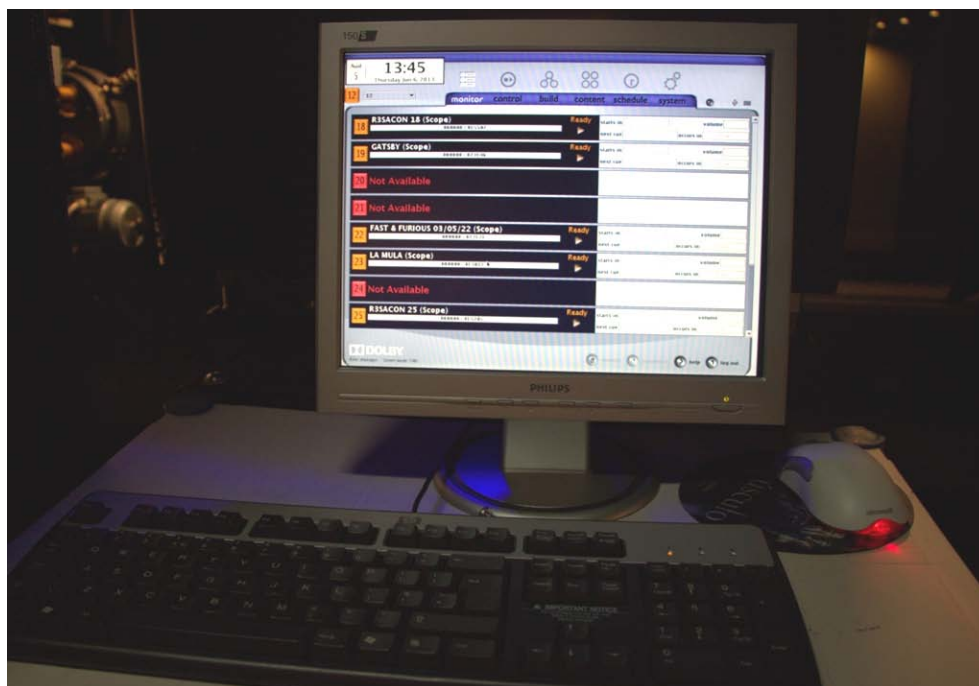


Imagen 206: Monitoreado real en la sala 5 en el momento de la realización de las medidas in-situ

Anexos a este servidor, se tiene su software, la librería, el adaptador, etc:

- Dolby Theatre Management System (TMS) Software

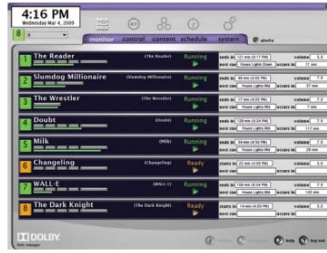


Imagen 207: Visualización del software del servidor DSS200

- Dolby Show Library (DSL100)



Imagen 208: Librería del servidor DSS200

- Opciones de instalación: En esta sala se utiliza el DMA8Plus Digital Media Adapter



Imagen 209: Adaptador del servidor DSS200

## 14.7 Conexionado

Para desarrollar la solución electroacústica se procede a conectar todas las entradas de audio al servidor. El cableado es seleccionado en función de la distancia a los altavoces para mantener pérdidas de un máximo del 5%.

Mediante el diagrama de bloques de la se plantea el esquema de conexionado de todo el sistema, incluyendo altavoces, amplificadores de potencia y los elementos y equipamiento utilizados.

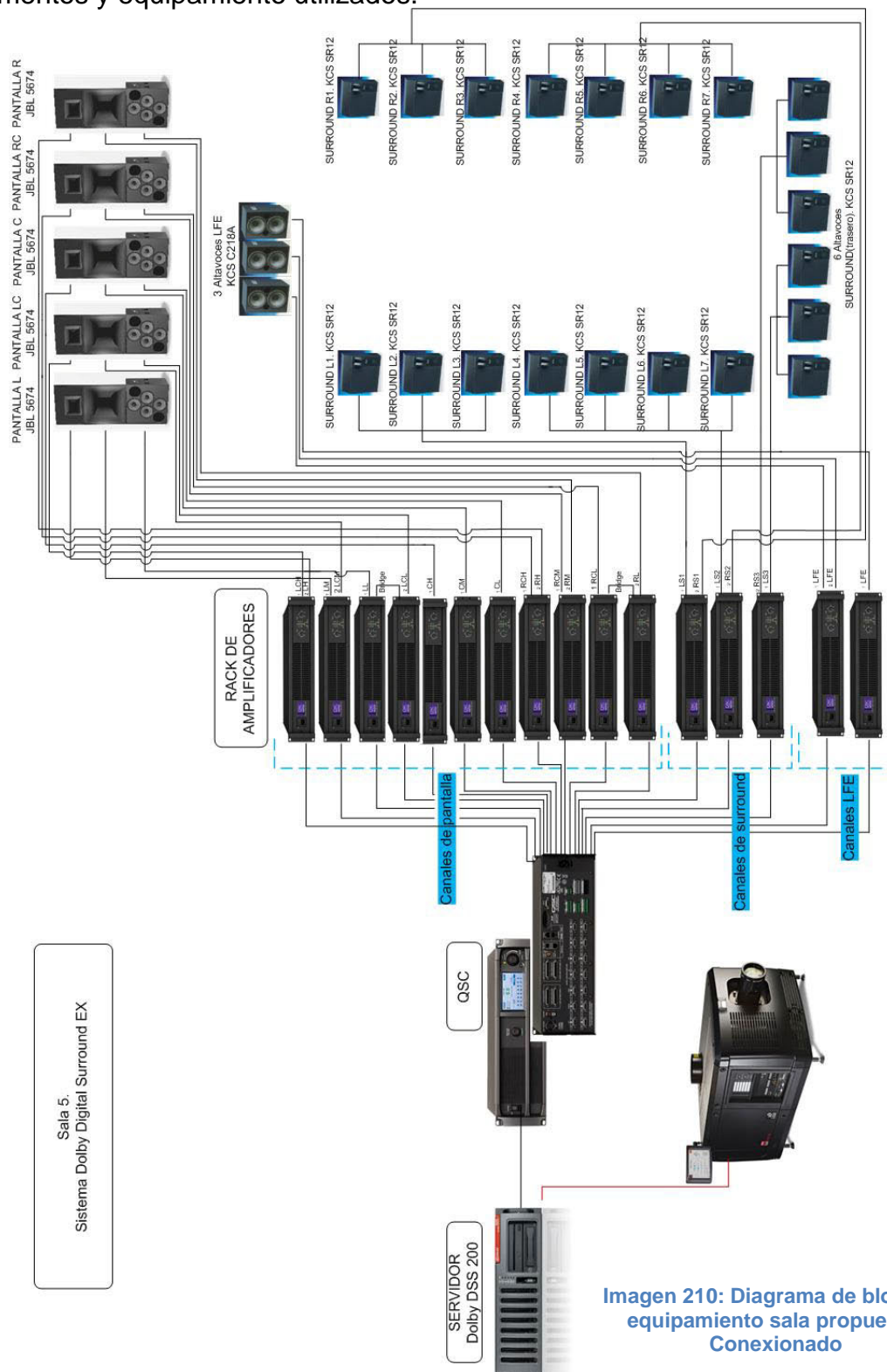


Imagen 210: Diagrama de bloques, equipamiento sala propuesta. Conexionado



## 15 Presupuesto

Se detalla el presupuesto específico para el estudio y las mejoras realizadas en el proyecto y el coste de la posible futura instalación de los equipos de la sala 5 implementados en la mejora. Aunque el proyecto actual se le han dedicado más horas que las reflejadas en este presupuesto, el coste que se ofrecería sería el correspondiente a un nuevo estudio acústico con los programas de simulación y proceso de toma de medidas (con los conocimientos teóricos y prácticos) adquiridos y por tanto, con un proceso que llevaría menor tiempo de dedicación.

Los costes de arquitectura del cine son anteriores a instalación por lo que no se reflejan en este presupuesto así como los componentes que la sala de cine ya tiene instalados.

En el montaje de la sala real, al ser una gran compañía internacional de cines, se supone que el presupuesto necesario será menor debido a ofertas de las compañías suministradoras de los equipos por la compra en grandes cantidades de los mismos.

Los costes de proyecto se dividen en tres tipos: costes de estudio (uso de licencias de programas, alquiler de equipo de medida), costes de suministro de equipamiento, costes de cableado (que serán cero ya que el cine contaba con toda la instalación de cableado) y costes de instalación.

- Coste de estudios previos

	Descripción	Euros/hora	Horas	Coste total
<b>Ingeniero Técnico</b>	Toma de medidas y simulaciones	20	64	1280 €
<b>Uso de licencias software</b>	Dirac 5.5 e Ease 4.4	10	8+56	640 €
<b>Alquiler de equipo de medida</b>	Amplificador, altavoz, sonómetro y resto de materiales de medida in-situ	30	8	240 €
<b>Documentación</b>		10	40	400 €
Coste total de estudio previo				2560 €

- Coste de suministro de equipos y cableado  
Para la mejora, los equipos necesarios extras son los amplificadores. Ya que todos los altavoces están ya instalados y el QSC permitiría soportar él solo el cambio.

Equipo	Descripción	Número	Precio/ unidad	Precio Total
<b>Amplificadores</b>	QSC DCA 1222/1622/2422	5	1855 €	9275 €
<b>Cableado</b>	Ya instalado			0 €
Coste total suministros				9275 €



- Costes de instalación y pruebas

	<b>Euros/hora</b>	<b>Horas</b>	<b>Coste total</b>
<b>Ingeniero Técnico</b>	<b>20</b>	16	320 €
Coste total de instalación			320 €

Y el coste total del proyecto realizado del estudio acústico y electroacústico de la sala 5 de los cines Kinépolis de Madrid con la implementación de la mejora del sistema de audio, ascendería a un total de 12115 €

# CAPÍTULO 4: CONCLUSIONES Y MEJORAS

---

## 16 Conclusiones

Es necesario conocer exhaustivamente el terreno de trabajo a la hora de sonorizar un recinto. Así, se ha realizado el estudio del comportamiento acústico y electroacústico de la sala 5 de los cines Kinépolis de Madrid.

Se han determinado sus características mediante la realización de medidas acústicas y espaciales en la sala (medidas in-situ) y posteriormente, se ha diseñado y realizado el estudio electroacústico mediante el software de simulación EASE 4.4. El resultado con el programa de simulación tiene una fidelidad limitada ya que es muy difícil modelar la respuesta temporal de muchos elementos a partir de los datos introducidos en EASE pero no obstante, la simulación sirve para detectar problemas inherentes a la respuesta temporal del recinto.

Para ello, se ha realizado el estudio in-situ de la sala real, se han medido las dimensiones reales de la sala y se han obtenido los principales parámetros de evaluación acústica de salas, el tiempo de reverberación y el ruido de fondo haciendo unas pequeñas introducciones teóricas.

Además, y a partir de las medidas in-situ de la sala, se ha simulado la sala de estudio en el software EASE 4.4. ajustándola a las medidas reales y consiguiendo un comportamiento similar al de la sala real en la simulación.

El dimensionado de una sala real en el proyecto, y con las simulaciones y representaciones oportunas (mapas de EASE y gráficos) muestra que la sala responde a las expectativas de una buena calidad de sonido, por lo que se confirma que la sala es adecuada para la reproducción cinematográfica.

La sonorización se ha realizado pensando en el principal destino de la sala, la proyección de películas, aunque además, el proyector DP4-23Bx de BARCO, acepta entradas alternativas de video, lo que posibilitaría diversos usos más allá de la reproducción de cine. Existiría la posibilidad de reproducir congresos, convenciones, retransmisiones deportivas, ópera, etc. Aunque la sonorización principal está detallada para el uso de reproducción cinematográfica.

Una vez que el comportamiento acústico de la simulación correspondía a la real, se han obtenido los parámetros acústicos y se ha realizado el estudio electroacústico para obtener una respuesta acústica uniforme tras la equalización, el ajuste de niveles, la inserción de retardos y el análisis de los parámetros que definen la inteligibilidad de la sala. Con este caso real se puede afirmar que las soluciones constructivas adoptadas cumplirán con los requisitos acústicos exigibles para reproducción de cine y se comprueba que la

inteligibilidad del sistema mediante los indicadores AI, ALcons y STI es excelente.

También, los equipos de sonido, son de alto nivel y tienen una respuesta en frecuencia óptima. En conjunto, se ha procedido al diseño electroacústico de toda la sala, se ha detallado el conexionado de los equipos verificando que se cumplen los requisitos que tiene que cumplir una sala bien sonorizada y se ha procedido a implementar y proponer una serie de mejoras en la sala.

La principal mejora a llevar a cabo en la sala, es la utilización de todos los altavoces de pantalla instalados (ya que hay dos de los 5 canales de pantalla que están instalados pero desconectados en la sala actual) y de la utilización del los surround traseros en un canal independiente a los surround laterales.

Además, en la sala, la pantalla es compatible para reproducciones en 3D por lo que se podría realizar mejoras de fácil desarrollo aplicables al cine en 3D.

Otra mejora a proponer, es que ya que Kinépolis group acaba de comprar nuevos cines en España, los cines del centro comercial Diversia en Alcobendas, y los cines en el centro comercial Plaza Mar 2 de Alicante donde el sistema de sonido es anticuado, se propone otra iniciativa; aprovechar el cambio de recursos, para crear un cine accesible para personas con discapacidad visual y auditiva. Es decir, se podrían crear sesiones especiales para la adaptación de las películas para personas con discapacidad visual con la inserción de audio descripción, o se podrían realizar la proyección de películas adaptadas para personas con discapacidad auditiva mediante subtítulos con código de colores.

Se puede concluir que el refuerzo sonoro realizado es óptimo y que el estudio de este proyecto afianza los conocimientos teóricos desarrollados durante los estudios de ingeniería técnica de telecomunicaciones con un objetivo claro, el estudio en busca de la mejora y la optimización del sistema de sonido del cine de la sala 5 de los cines Kinépolis de Madrid.

A nivel personal, un estudio a este nivel me ha servido para aplicar, coordinar e integrar los diversos conocimientos adquiridos a lo largo de la carrera. El uso y desarrollo de los programas de medida (Dirac a Ease) independientes a las clases ha servido para empezar a enfrentarme a un caso más acorde a la vida real que la teoría sin la práctica no puede dar. En esta experiencia, además de la aportación del aprendizaje, se suma la oportunidad laboral que tuve durante el año de realización del proyecto a raíz del uso y conocimiento de los programas de medida aquí detallados, por lo que práctica y profesionalmente, ha servido para acercarme a situaciones propias del ejercicio profesional.

## CAPÍTULO 5: ANEXOS

---

Todos los anexos se pueden encontrar en el CD de referencia y son documentos de dominio público. Se incluyen planos del cine y las hojas de especificación de productos:

- Canal de pantalla JBL 5674
- Altavoz de surround KCS SR-12: Representado en EASE por el modelo 8350-1
- Subwoofer KCS SR-12: Representado en EASE por el modelo 4642<sup>a</sup>
- Procesador DCP 300 (QSC)
- DCA Network
- Amplificadores QSC DCA

Los datos tomados in-situ, cálculos teóricos, gráficas, simulación, se recogen en el CD de referencia del departamento. Más extenso y con información del proyecto más orientada al estudio con detalle del proyecto.



# CAPÍTULO 6: BIBLIOGRAFÍA

---

## 17 Bibliografía y referencias

- Página oficial de EASE, Manual de Ease  
<http://ease.afmg.eu/>
- Kinépolis:  
<http://cd2.kinopolis.es>  
<http://www.kinopolisempresas.com>
- Software Dirac: Manual del software Dirac  
<http://www.bksv.com/Products/analysis-software/acoustics/building-acoustics/room--acoustic-measurement-dirac.aspx>
- Guía de mediciones de Dirac y con sonómetro (Bruel & kjaer)  
<http://www.bksv.com>
- Curva x de ecualización:  
Cinematography -- B-chain electro-acoustic response of motion-picture control rooms and indoor theatres -- Specifications and measurements
- Tiempo reverberación  
"Diseño acústico de espacios arquitectónicos" Antoni Carrión Isbert.  
Ediciones UPC
- Curvas NC  
[http://www.lpi.tel.uva.es/~nacho/docencia/ing\\_ond\\_1/trabajos\\_04\\_05/io6/public\\_html/Indice.html](http://www.lpi.tel.uva.es/~nacho/docencia/ing_ond_1/trabajos_04_05/io6/public_html/Indice.html)
- Curva C (ponderación, nivel sonoro equivalente, etc)  
<http://varinia.es/blog/2009/07>
- Curvas de la ASHARAE (American Society of Heating, Refrigerating, and Air-conditioning)/
- Sonido multicanal en cines  
Refuerzos sonoro, tema 1. Sonido multicanal en salas cinematográfico, documentación.  
Sonorización: Sistemas de reproducción multicanal. Jose Luis Sánchez Bote.
- Dolby  
<http://www.thg.ru/consumer/20021023/print.html>  
<http://www.dolby.com/>
- NRC (coeficiente de reducción de ruido)

[http://www.amfgrafenau.de/index.php?&l=20&mode=listarticles&subcatid=369&ipage=produkt\\_info\\_akustik\\_schall](http://www.amfgrafenau.de/index.php?&l=20&mode=listarticles&subcatid=369&ipage=produkt_info_akustik_schall)

- Curvas isofónicas  
<http://www.elruido.com/portal/web/guest/sonoridad>  
[http://fundacion.usal.es/moodle/audiologia/web/unidades/uni\\_05/cap\\_4\\_v\\_i\\_g.htm](http://fundacion.usal.es/moodle/audiologia/web/unidades/uni_05/cap_4_v_i_g.htm)  
Salesa, E. Perelló, E., Bonavida, A. (2005) "Tratado de Audiología"
- Efecto Hass  
<http://materialesacusticos.net/manual.html>  
<http://activata.org/psicoacustica-y-efecto-hass/>
- EQUIPAMIENTO  
<http://www.performanceaudio.com/>
- Altavoces:  
JBL  
<https://www.jblpro.com>  
  
KCS  
<http://www.kcsspeakers.com/>
- Amplificadores, modelo DCA  
<http://qsc.com/>  
[http://qsc.com/products/power\\_amplifiers/dca\\_series/](http://qsc.com/products/power_amplifiers/dca_series/)
- Proyector  
[www.barco.com](http://www.barco.com)
- Procesador de audio QSC DCP 300  
[http://movingimagetech.com/wp-content/uploads/2012/10/DCP300\\_spec.pdf](http://movingimagetech.com/wp-content/uploads/2012/10/DCP300_spec.pdf)
- Procesador Dolby CP500  
<http://www.dolby.com/us/en/professional/cinema/products/dolby-digital-cinema-processor-CP650-data-sheet.pdf>  
  
<http://www.dhacinema.com/images/dolbly-sound.jpg>  
<http://www.film-tech.com/warehouse/manuals/DOLBYCP500.pdf>
- DBC Bridge Network  
<http://www.crownaudio.com/dbctm-network-bridge.html>
- Servidor: dolby DSS200  
[http://www.freedcp.net/manuals/dolby\\_dss200/DSS200\\_Manual.pdf](http://www.freedcp.net/manuals/dolby_dss200/DSS200_Manual.pdf)  
[http://www.soundassociates.co.uk/datasheets/Dolby\\_datasheets/Dolby\\_DSS200\\_Datasheet.pdf](http://www.soundassociates.co.uk/datasheets/Dolby_datasheets/Dolby_DSS200_Datasheet.pdf)

<http://www.cinesdigitales.com/dolbyservers.html>

- Proyectos anteriores y prácticas:

Gómez Alfageme, Juan José. *Práctica 1 Refuerzo Sonoro. Diseño de una sala de cine con sonido multicanal digital y certificación THX.* Departamento de ingeniería audiovisual y comunicaciones. Curso 2012/2013.

Sánchez Bote, Jose Luis. *Práctica 4 de Sonorización. Diseño del refuerzo sonoro del aula IX de la EUITT.* Departamento de ingeniería audiovisual y comunicaciones. Curso 2011/2012.

Recuero, Manuel. *Acústica Arquitectónica.* Madrid 2001.

Gil Gonzalez, Constantino. *Introducción a las salas para la palabra.* EUITT 2003.

Maldonado Nieto, Sara y Pérez García, Celia. *Estudio acústico y electroacústico de la sala 18 de Kinépolis (Madrid).* EUITT. 2012

Gómez Alonso, Raquel. *Estudio Acústico y Electroacústico de las salas 6 y 7 de Kinépolis (Madrid)* EUITT. Junio 2010.

- Normas:

[www.iso.org](http://www.iso.org)  
<http://engineers.ihs.com/>

SMPTE Engineering Guideline / EG 5-1995 y RP 40-1995 / 35-PA & 35-IQ Test Film.

Norma SMPTE EG (engineering guideline) 18-1994 (SMPTE-EBU EG 18-1994) "Design of effective Cine theaters"

UNE EN ISO 3382. "Medida del tiempo de reverberación de auditorios"

IEC 60268-16

Código Técnico de Edificación (CTE) en el Código Básico HR, Protección contra el Ruido

Medidas de ruido de fondo ANSI S1.13 y ANSI S1.11

Métodos del proceso de medida de ruido de fondo. Norma SMPTE RP 141-1995. *Background Acoustic Noise Levels and Review Rooms*, revisión del año 1990

Norma SMTE RP 200



Norma IEC 60268-16 (2003) STI

Curva de EQ "X-curve" norma ISO 2969: ISO 2969:1987

MPTE RP 200: *Relative and Absolute Sound Pressure Levels for Motion-Picture Multichannel Sound Systems - Applicable for Analog Photographic Film Audio, Digital Photographic Film Audio and D-Cinema*