



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACIÓN

Titulación :

INGENIERO TÉCNICO DE TELECOMUNICACIÓN, ESPECIALIDAD EN
SONIDO E IMAGEN

Título del proyecto:

DISEÑO Y APLICACIÓN DE UNA HERRAMIENTA COMPUTACIONAL
PARA EL ANÁLISIS ESPACIAL DE PARÁMETROS ACÚSTICOS EN
RECINTOS

Verónica Hernández Domingo

Tutor: Ricardo San Martín Murugarren

Pamplona, Abril 2012

Contenido

Contenido	2
1. PREFACIO	5
1.1. ORIGEN DEL PROYECTO	5
1.2. MOTIVACIÓN DEL PROYECTO	5
2. OBJETIVOS	6
2.1. OBJETIVO GENERAL	6
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	6
3. METODOLOGÍA DE TRABAJO	7
4. MEDIDAS.....	8
4.1. SALA OBJETO DE ESTUDIO	8
4.2. PARÁMETROS ACÚSTICOS	12
4.2.1. Respuesta impulsiva	12
4.2.2. Medida de la respuesta impulsiva. Sweeps	15
4.2.3. Parámetros monoaurales	17
4.2.4. Parámetros binaurales	19
4.2.5. Parámetros laterales	19
4.3. DISPOSITIVO EXPERIMENTAL.....	20
4.4. PROCEDIMIENTOS EXPERIMENTAL.....	21
4.4.1. Posiciones	22
4.4.2. Proceso de captación de las medidas.....	23
4.4.3. Cálculo de los parámetros acústicos a partir de una IR medida	23
4.5. DATOS winMLS.....	24
4.5.1. Exportación de archivos de parámetros a archivos .txt	24
4.5.2. Agrupar los datos.....	25
4.5.3. Preparar los datos para la aplicación	25
5. SIMULACIÓN	26
5.1. OBJETIVO.....	26
5.2. Trabajo en SketchUp.....	26
5.2.1. El programa SketchUp Pro 7 ©	26
5.2.2. Modelización	29
5.2.3. Asignación de materiales.....	33
5.2.4. Configuración de las capas	34
5.2.5. Exportación a .dxf	34
5.3. Cómo realizar una buena simulación acústica en Odeon.....	35
5.3.1. Precisión deseada. JND (Just Noticeable Difference).....	35
5.3.2. Fuentes de error	36
5.4. Trabajo en Odeon	40
5.4.1. CORRECCIÓN DEL MODELO	40
5.4.2. AJUSTE SEGÚN PARÁMETROS MEDIOS	42
5.4.3. SIMULACIONES CON TODOS LOS RECEPTORES.....	54
5.4.4. PREPARACIÓN DE LOS DATOS PARA SU ANÁLISIS.....	57
6. PROGRAMA.....	58

6.1.	OBJETIVO.....	58
6.2.	INTRODUCCIÓN.....	58
6.3.	INTRODUCCIÓN A VISUAL BASIC EXPRESS 2008.....	59
6.4.	REQUISITOS DEL SISTEMA E INSTALACIÓN.....	60
6.4.1.	Requisitos del sistema	60
6.4.2.	Cómo instalar la aplicación.....	60
6.5.	INTERFAZ Y DISEÑO.....	61
6.5.1.	Objetivos que debe cumplir la interfaz	61
6.5.2.	Decisiones sobre diseño	61
6.5.3.	Organización de la interfaz	62
6.6.	PROGRAMACIÓN	63
6.6.1.	MENÚ ARCHIVO.....	63
6.6.2.	MENÚ HERRAMIENTAS.....	76
6.6.3.	MENÚ GRÁFICAS.....	93
6.6.4.	MENÚ CONFIGURACIÓN.....	102
6.6.5.	MENÚ AYUDA	106
6.7.	TRABAJO EN MATLAB	108
6.8.	CONTROL DE ERRORES.....	109
6.8.1.	Técnicas para el control de errores.....	109
7.	EJEMPLOS DE USO DE LA APLICACIÓN	110
7.1.	Relación entre T30 y variaciones de los coeficientes de absorción de las butacas para el Auditorio Fernando Remacha	110
7.2.	Influencia del número de rayos definido en Odeon y el parámetro C80	117
8.	CONCLUSIONES.....	121
8.1.	Realización de las medidas	121
8.2.	Simulación.....	121
8.3.	Programación.....	122
8.4.	Ejemplos de uso de la aplicación	123
9.	BIBLIOGRAFÍA	124
10.	URLOGRAFÍA.....	124
11.	ANEXO A: GRÁFICAS EJEMPLOS DE USO DE LA APLICACIÓN	125
11.1.	Gráficas T30(s).....	125
11.1.1.	T30(s) α + 0%.....	125
11.1.2.	T30(s) α + 5%.....	129
11.1.3.	T30(s) α - 5%	133
11.1.4.	T30(s) α + 10%.....	137
11.1.5.	T30(s) α - 10%	141
11.2.	Gráficas JND	145
11.2.1.	T30(s) α + 0%.....	145
11.2.2.	T30(s) α + 5%.....	149
11.2.3.	T30(s) α - 5%	153
11.2.4.	T30(s) α + 10%.....	157
11.2.5.	T30(s) α - 10%	161
11.3.	Comparación C80(dB)	165
11.3.1.	C80(dB) winMLS - C80(dB) para simulación con 196 rayos.....	165

11.3.2.	C80(dB) winMLS - C80(dB) para simulación con 707 rayos.....	169
11.3.3.	C80(dB) winMLS - C80(dB) para simulación con 1401 rayos.....	174
11.3.4.	C80(dB) winMLS - C80(dB) para simulación con 3019 rayos.....	178
11.3.5.	C80(dB) winMLS - C80(dB) para simulación con 5542 rayos.....	182

1. PREFACIO

1.1. ORIGEN DEL PROYECTO

La idea de diseñar una herramienta computacional para el análisis espacial de parámetros acústicos en recintos que sirva para analizar tanto los resultados de una simulación acústica realizada con Odeon como para datos medidos in situ en una sala surge de la posibilidad de medir en una sala en concreto, el Auditorio Fernando Remacha situado en el sótano del Conservatorio Superior de Música de Navarra, todos los puntos de interés acústico, es decir, en cada butaca de la audiencia.

Con todos estos resultados medidos las posibilidades de análisis son enormes. Se multiplica la complejidad proporcionalmente al número de medidas realizadas in situ con lo que un análisis detallado con hojas de cálculo convencionales sería poco eficiente y se crea la necesidad de diseñar una herramienta que permita mayor eficacia en cálculos de parámetros medios, gráficas estadísticas, comparación de parámetros...

La aplicación, para que sirva para el análisis de otras salas, tendrá que servir para cualquier tipo de medida exportada del programa de simulación y/o del programa de captación de medidas y para cualquier parámetro. Deberá tener una interfaz sencilla y evitar al máximo errores de ejecución.

1.2. MOTIVACIÓN DEL PROYECTO

Lo que me llevó a dedicar mi proyecto al área de la acústica arquitectónica fue el interés por profundizar más en los conocimientos adquiridos en la asignatura Laboratorio de Acústica Arquitectónica e Iluminación que me han resultado muy útiles tanto en la parte teórica como en la práctica.

Además, para este proyecto me resultó muy atractiva la idea de no sólo hacer un análisis teórico sino también realizar trabajo de campo, el diseño gráfico de la sala y una aplicación para manejar los datos, combinando así varios tipos de tareas.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GENERAL

El objetivo de este proyecto crear una aplicación para el análisis espacial de parámetros acústicos en un recinto y evaluar su efectividad con ejemplos de simulaciones acústicas realizadas con el programa Odeon del Auditorio Fernando Remacha.

Se desea comprobar la utilidad de la aplicación y no desarrollar una caracterización de la sala ni un análisis de calidad de los parámetros obtenidos.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para llevar a cabo este trabajo es necesario:

1. **Realizar las medidas** de los parámetros monoaurales, binaurales y laterales en cada butaca de la sala
2. **Obtener los resultados** de las mediciones que nos proporciona el programa winMLS 2004 ©, de Morset Sound Development.
3. Llevar a cabo la **simulación acústica** del auditorio apoyándonos en los datos obtenidos de las medidas con el programa Odeon 11.0 ©, elaborado por el Departamento de Tecnología Acústica de la Universidad técnica de Dinamarca.
4. **Programar una aplicación** que permita manejar y comparar los datos de los parámetros obtenidos.
5. **Evaluar el uso de la aplicación** para dos ejemplos concretos.

3. METODOLOGÍA DE TRABAJO

Para llevar a cabo todo el proyecto es necesario realizar un planteamiento eficiente del tiempo y de los recursos necesarios.

Antes de comenzar ha sido necesario buscar documentación básica necesaria, revisar los manuales de Odeon y winMLS y tutoriales de Visual Basic.

Para la realización de las medidas se decidió emplear una semana de forma intensiva, en grupos rotatorios de al menos 2 personas. Cada día se llevaba un plan de trabajo a cumplir.

Una vez obtenidos los resultados, se trabajó entre varias personas para exportar los datos de winMLS a archivos .txt.

El modelado en 3D de la sala se realizó con el programa Google SketchUp a partir del plano y de medidas obtenidas in situ con un medidor láser.

Con toda esta información se procedió a realizar todo el trabajo de simulación en el laboratorio.

La mayor parte de la programación de la aplicación, la he llevado a cabo trabajando fuera del laboratorio y compaginando esta tarea con las anteriormente mencionadas.

La redacción de este documento se ha ido realizando conforme se avanzaba en el desarrollo del proyecto.

4. MEDIDAS

4.1. SALA OBJETO DE ESTUDIO

La sala objeto de estudio es el Auditorio Fernando Remacha, que se encuentra en el sótano del Conservatorio Superior de Música de Navarra (Pamplona). El uso de esta sala está destinado principalmente para música sinfónica, de cámara y coral.



Imagen 1: Auditorio de la Ciudad de la Música¹

El volumen de la sala es de 4144 m³. El escenario, el techo, el suelo y la pared del fondo están recubiertos por madera clara cuya superficie total es de 1088.5 m². La parte superior de las paredes laterales de la zona de audiencia inferior incluidas las cajas del escenario, están recubiertas de una madera lacada blanca que conforma una superficie de 514,5 m².

¹ Fotografía recuperada de: <http://www.noticiasdenavarra.com/2011/11/22/ocio-y-cultura/cultura/un-miembro-de-la-casa-real-reinaugurara-la-ciudad-de-la-musica-en-diciembre>

Los primeros 2 m. de las paredes laterales se adentran 17 cm. Además de su efecto estético, están recubiertos por una madera rugosa con una mayor absorción acústica, su superficie total es de 72.2 m².



Imagen 2: Detalle de la madera rugosa. Fotografía original

Al patio de butacas superior se accede por unas escaleras, siendo la altura de su primera fila de 1.12 m. sobre el pasillo central. El frontal de este desnivel se cubre con una estructura de paneles perforados cuya misión es servir de resonador a frecuencias altas y medias.

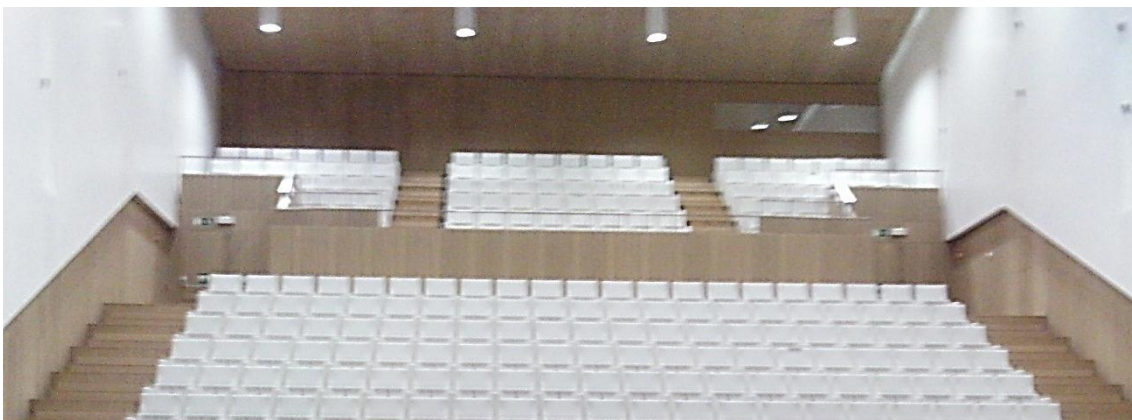


Imagen 3: Vista de la zona superior desde el escenario. Fotografía original.



Imagen 4: Detalle del panel perforado. Fotografía original.

Al fondo de la sala, en la parte de la derecha mirando desde el escenario se encuentra una ventana cerrada de cristal ahumado correspondiente a la cabina de grabación que tiene una superficie de 2.3 m².²

No hay más ventanas interiores ni exteriores. Hay cuatro puntos de acceso al recinto, dos en el escenario que son cajas formadas por paneles corredizos de unos 10 cm. de grosor de madera lacada a cada lado del escenario y otros dos en la zona superior integrados con los paneles perforados situados uno a cada lado de la sala.

Todas las butacas son del modelo Prima de la casa Dynamobel, especializada en mobiliario para este tipo de salas.

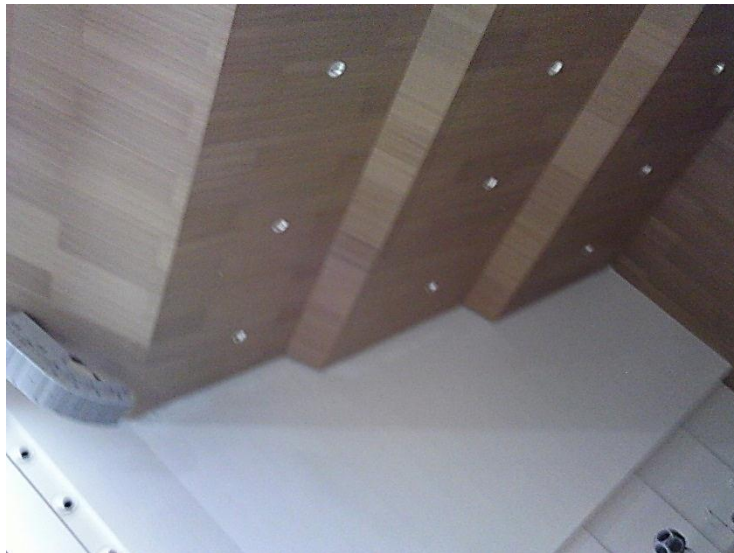


Imagen 5: Detalle de las butacas. Fotografía original.

² Véase: Imagen 3: Vista de la zona superior desde el escenario. Fotografía original.

Constan de una estructura de tubo y chapa de acero soldado al arco con hilo continuo y el asiento y el respaldo son de espuma de poliuretano tapizado en piel de vacuno blanca. Están diseñadas para que la respuesta acústica de la sala sea lo más parecida posible tanto si las butacas están ocupadas como si no.

Como elementos útiles y decorativos cabe destacar las estructuras metálicas alrededor del patio de butacas superior, los tubos verticales también metálicos y los arrays de altavoces suspendidos del techo colocados a ambos lados del escenario así como el sistema de acondicionamiento. En el medio del escenario a una cierta altura hay un proyector retráctil.



**Imagen 6: Detalle de los altavoces y del sistema de acondicionamiento.
Fotografía original.**

El sistema de iluminación ofrece múltiples posibilidades. Existen unos focos en el hueco entre la madera lacada y la rugosa, luces en cada escalón, ojos de buey en el techo del escenario, lámparas cilíndricas de cristal translúcido blanco en el resto del techo y luces de emergencia sobre los dinteles de las puertas de acceso superiores.

4.2. PARÁMETROS ACÚSTICOS

Para comprender mejor los contenidos de este proyecto es necesario realizar una introducción teórica y describir algunos conceptos que son clave en la acústica arquitectónica y que se utilizarán más adelante.

4.2.1. Respuesta impulsiva

Una señal acústica cualquiera puede ser descrita por su función temporal $x(t)$ donde x denotaría la presión sonora, la velocidad de partícula o la densidad del aire. Si $x(t)$ es una función seno o coseno se habla de una señal armónica. Aunque las señales acústicas no suelen ser armónicas puras, toda señal puede ser considerada como una superposición de ellas, este es el fundamento matemático del *Teorema de Fourier* que se postula de la siguiente manera:

Sea $x(t)$ una señal no periódica, suficientemente estable, cuya integral es:

$$x(t) = \int_{-\infty}^{\infty} X(f)e^{2\pi f t} df \quad \text{con} \quad X(f) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t)e^{-2\pi f t} dt$$

La función $X(f)$, transformada de Fourier TF de $x(t)$, también se denomina espectro de la señal. Tanto $X(f)$ como $x(t)$ son representaciones completamente equivalentes de la misma señal.

De acuerdo con la teoría de sistemas, un sistema de transmisión lineal e invariante temporal está completamente caracterizado por su respuesta al impulso $h(t)$ o por su función de transferencia asociada $H(f)$. Por su propia definición, $h(t)$ es la señal de salida obtenida como respuesta a una señal de entrada impulsiva representada por la función delta de Dirac:

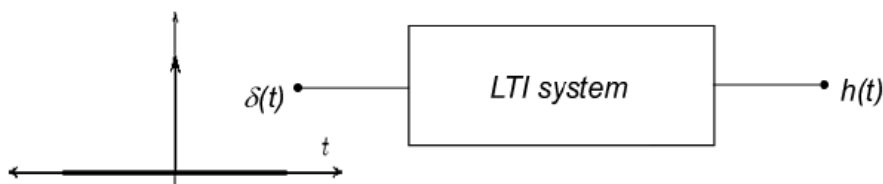


Figura 1: función delta de Dirac y su respuesta al impulso $h(t)$

Así como una señal seno o coseno es ilimitada en el tiempo y su espectro consiste en una única línea, podemos considerar la función $\delta(t)$ como su homóloga, definida con una única línea en el dominio del tiempo mientras la amplitud de su espectro es constante para todas las frecuencias y de valor unitario. Se puede formular de la siguiente manera:

$$\delta(t) = \begin{cases} 0 & t \neq 0 \\ \infty & t = 0 \end{cases}$$

Cada par de puntos emisor-receptor de una habitación pueden ser considerados la entrada y salida de un sistema de transmisión acústica. Si éste es lineal e invariante temporal, su IR asociada describirá completamente los cambios que sufre una señal sonora mientras viaja desde el punto emisor al receptor. Estará formada por la energía que llega de forma directa – sonido directo – junto con una compleja interacción de ondas sonoras reflejadas entre las distintas superficies que conforman la sala. Tanto el grado de absorción acústica de los materiales utilizados como revestimientos de las superficies implicadas como el aire presente influyen la transmisión absorbiendo la energía asociada a cada onda sonora. Analizando la evolución temporal del sonido reflejado se observan básicamente dos zonas de características diferenciadas: una primera que engloba todas aquellas reflexiones que llegan inmediatamente después del sonido directo – primeras reflexiones –, y una segunda formada por reflexiones tardías que constituyen la denominada cola reverberante:

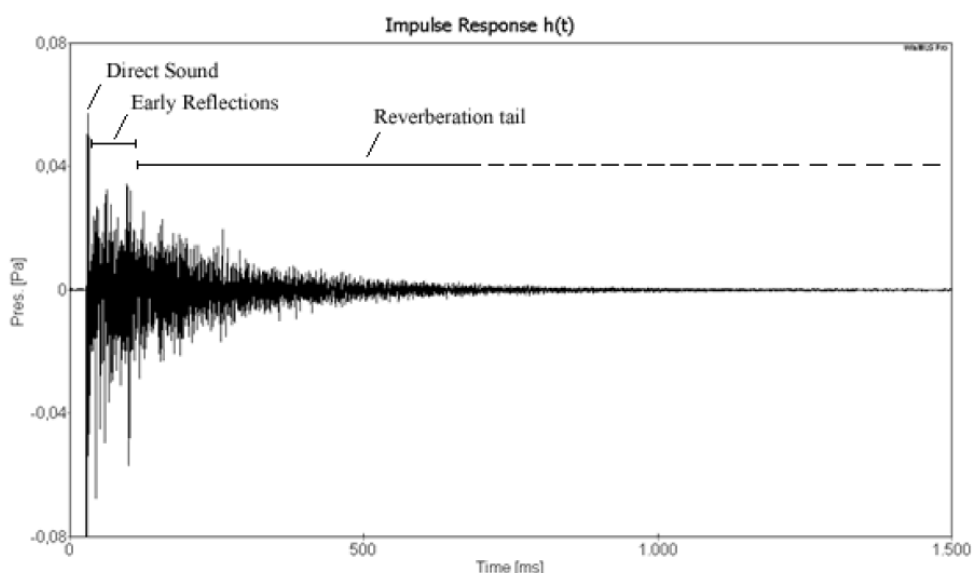


Figura 2: Perfil típico de una respuesta al impulso emisor-receptor compuesta por sonido

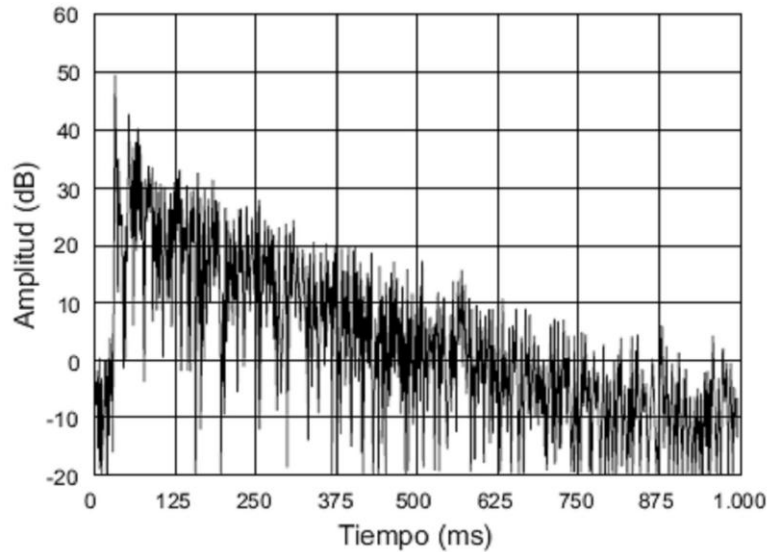


Figura 3: Curva energía-tiempo ETC medida en un punto de un recinto.

Si la respuesta al impulso emisor-receptor es conocida, la señal de salida $y(t)$ del sistema emisor-receptor correspondiente a una señal de entrada cualquiera $x(t)$ puede ser obtenida sustituyendo la función *delta* por su respuesta asociada, es decir, $h(t)$. Esta operación es conocida como convolución:

$$y(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(\tau)h(t - \tau)d\tau = \int_{-\infty}^{+\infty} h(\tau)x(t - \tau) = h(t) * x(t) = x(t) * h(t)$$

Ecuación 1: Convolución de las señales $x(t)$ y $h(t)$

En frecuencia: $TF[x(t) * h(t)] = X(f)H(f) = Y(f) \rightarrow H(f) = \frac{Y(f)}{X(f)}$

A la función $H(f)$ se le llama función de transferencia.

Aunque se podría pensar que la forma más rápida y sencilla de obtener la IR de una sala sería excitar el sistema con una función impulsiva tipo *delta de Dirac*, las dificultades surgen a la hora de generar la excitación impulsiva con un rango dinámico adecuado en todas las frecuencias de interés desde el punto vista acústico, desde 20 Hz hasta 20 kHz. La utilización de impulsos resulta viable cuando la medida a realizar es puramente eléctrica, es decir, no existe camino acústico dentro de la cadena de medida. En este caso, la señal de entrada puede aproximarse con la generación de un impulso rectangular de duración más corta que el período de la mayor componente espectral a analizar. Sin embargo, cuando se trata de la medida de la respuesta al impulso de una sala (técnicamente *Room Impulse Response, RIR*),

esta aproximación puede generar dificultades, ya que la mayoría de los altavoces son incapaces de reproducir señales impulsivas de modo correcto. La presencia de ruido de fondo en las medidas de campo y la necesidad de concentrar en un intervalo corto de tiempo la energía de excitación para obtener una relación señal-ruido (*SNR*) suficientemente alta puede hacer que el altavoz abandone su rango lineal de operación, llegando incluso a poder ser dañado por la señal.

Esta dificultad puede ser minimizada repartiendo la energía de excitación durante un intervalo de tiempo más largo. Suponiendo que el sistema que se desea medir, es decir, la sala, es excitado con una señal arbitraria $x(t)$, la señal resultante vendrá dada por el resultado de la convolución con $h(t)$ que representa al sistema (o por su multiplicación por $H(f)$ en el dominio frecuencial). Por tanto, si la magnitud de $X(f)$ es distinta de cero dentro del rango de frecuencias de interés, podremos obtener $Y(f)$ inequívocamente.

4.2.2. Medida de la respuesta impulsiva. Sweeps

Los *sweeps* o barridos sinusoidales son un tipo de señales de entrada utilizadas dentro de los métodos modernos de medición de la IR en recintos. Su uso se remonta a 1967, R.C. Heyser presenta el desarrollo de una nueva técnica de medición de funciones de transferencia con la ayuda de *sweeps* reconocida en la actualidad como *Time Delay Spectrometry (TDS)*. Pensada inicialmente para la medida de altavoces en ambientes reverberantes, la técnica es aplicable a mediciones de acústica de salas o cualquier otro sistema *LTI* en general.

En 1980, A. J. Berkhout, propone un nuevo método para obtener respuestas impulsivas en salas de concierto con elevadas relaciones señal ruido y alta resolución, utilizando *sweeps* como señal de excitación y la de convolución de señales para la obtención de la IR.

En 1996, D. Griesinger presenta un minucioso estudio detallando las técnicas existentes hasta la fecha y decantándose por el uso de *sweeps* frente a las entonces otras señales predominantes como señal de excitación. En 2000, A. Farina presenta una nueva técnica de medida que permite no sólo describir sistemas de comportamiento parcialmente no lineal sino cuantificar dicha no linealidad. En comparación con otros métodos, destaca su *SNR* e inmunidad frente a posibles variaciones temporales. Asimismo, recomienda el uso de *sweeps* cuya frecuencia instantánea varía exponencialmente con el tiempo (*sweeps logarítmicos*) y la de convolución de la respuesta obtenida mediante convolución lineal con el filtro inverso adecuado.

Por último en 2001, S. Müller y P. Massarani realizan un completo estudio comparativo y entre otras cosas proponen además el diseño de *sweeps* desde el dominio frecuencial, estableciendo un método para generar señales de excitación específicas para aumentar el rango dinámico de las medidas. De esta manera, dependiendo de la velocidad del barrido se obtiene un determinado espectro para la señal de excitación logrando compensar coloraciones introducidas por el altavoz o incrementar la *SNR* a determinadas frecuencias.

Esta técnica posee una serie de ventajas que hacen aconsejable su uso en detrimento otros tipos de señales. En primer lugar, presenta una mayor inmunidad contra la distorsión. Al utilizar barridos sinusoidales como señales de excitación, en cada instante la sala es excitada con una única frecuencia, facilitando la localización de los armónicos y por tanto su eliminación. Por la misma razón es posible aumentar la potencia suministrada al altavoz, aumentando así la relación señal ruido, sin riesgo de dañarlo. Además, al aumentar el valor de la relación señal-ruido sin tener que aumentar la duración de la medida, el uso de *sweeps* ofrece una mayor inmunidad contra la variación temporal.

De hecho, aunque existe poca información sobre la influencia de variaciones de temperatura o velocidad del viento cuando se aplica esta técnica, hay claras evidencias de que el método es menos sensible que otro tipo de señales. Aun así, para evitar la influencia de las condiciones meteorológicas, es recomendable la utilización de un único barrido de mayor duración para incrementar la relación señal ruido en lugar de repetir el número de barridos.

Dado que esta señal presenta tantas ventajas, es una de las más utilizadas en la actualidad y la que se ha utilizado para las medidas de este proyecto.

4.2.3. Parámetros monoaurales

De la respuesta al impulso anteriormente definida y obtenida con la excitación de la sala con señales tipo sweeps, se pueden obtener distintos parámetros derivados, entre ellos:

- **T₃₀**: Tiempo que tarda en decaer el nivel de presión sonora entre 5 y 35 dB multiplicado por dos.

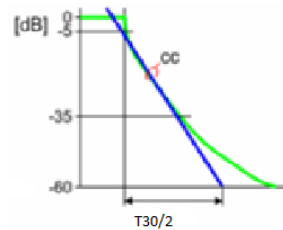


Imagen 7: Gráfica T30

- **EDT o Early Decay Time**

Tiempo que tarda la curva de presión sonora en decrecer 10dB multiplicado por seis.

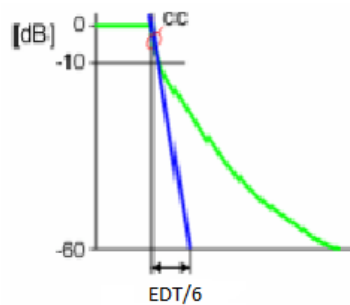


Imagen 8: Gráfica EDT

- **G (Fuerza acústica)**

La sonoridad G se corresponde con el grado de amplificación producido por la sala. Depende de la distancia del oyente al escenario, de la energía asociada a las primeras reflexiones, de la superficie ocupada por el público y del nivel de campo reverberante.

$$G = 10 \log \left(\frac{\int_0^{\infty} h^2(t) dt}{\int_0^{\infty} h_{A,10}^2(t) dt} \right) = 10 \log \left(\frac{E_T}{E_{T(A,10)}} \right)$$

Ecuación 2

- **C₅₀ (Claridad)**

Relación logarítmica entre la energía acumulada en los 50 primeros ms y la energía acumulada después de esos 50 ms.

$$C_{50} = 10 \log \left(\frac{E_{50}}{E_r} \right) = 10 \log \left(\frac{\int_0^{50ms} h^2(t) dt}{\int_{50ms}^{\infty} h^2(t) dt} \right) (dB)$$

Ecuación 3

- **C₈₀ (Claridad musical)**

Relación logarítmica entre la energía acumulada en los 80 primeros ms y la energía acumulada después de esos 80 ms.

$$C_{80} = 10 \log \left(\frac{E_{80}}{E_r} \right) = 10 \log \left(\frac{\int_0^{80ms} h^2(t) dt}{\int_{80ms}^{\infty} h^2(t) dt} \right) (dB)$$

Ecuación 4

- **T_s (tiempo central)**

Corresponde al tiempo del centro de gravedad de la respuesta al impulso cuadrática en base a:

$$T_s = \frac{\int_0^{\infty} t \cdot h^2(t) dt}{\int_0^{\infty} h^2(t) dt} (ms)$$

Ecuación 5

4.2.4. Parámetros binaurales

- **IACC o correlación cruzada interaural**

En general, la correlación cruzada interaural IACC (“InterAural Cross-Correlation”) se define como la correlación entre los sonidos que llegan a ambos oídos, y es indicativa del grado de similitud existente entre las dos señales. Si son iguales, el IACC valdrá 1, mientras que si son señales aleatorias independientes, el IACC será 0.

4.2.5. Parámetros laterales

- **LF o Lateral Energy Fraction**

Se define como la relación entre la energía que llega lateralmente al oyente dentro de los primeros 80 ms desde la llegada del sonido directo (se excluye el sonido directo) y la energía recibida en todas las direcciones en dicho intervalo de tiempo. Como alternativa se puede obtener de una forma fiable la eficiencia lateral aproximando con el parámetro LFC.

$$LF = \frac{\int_0^{80ms} h_{fig8}^2(t) dt}{\int_0^{80ms} h_{omni}^2(t) dt} \quad LFC = \frac{\int_0^{80ms} |h_{fig8}(t)h(t)| dt}{\int_0^{80ms} h^2(t) dt}$$

Ecuación 6 Ecuación 7

4.3. DISPOSITIVO EXPERIMENTAL

El equipo utilizado para la toma de datos ha sido el siguiente:

- PC Toshiba Satellite con winMLS software, tarjeta de sonido profesional, VXPocket, ratón y cable de alimentación.
- Conjunto Cables 2 IN XLR hembra y 1 OUT XLR macho
- Micrófonos GRAS
- Fuente de alimentación Norsonic + cable de alimentación
- Cables BNC-XLR macho de conexión (OUT fuente Norsonic-IN Tarjeta)
- Cables lema de conexión (micrófonos GRAS- IN fuente Norsonic)
- Medidor de temperatura y humedad relativa
- Metro
- Cinta aislante y pilas de repuesto
- Amplificador EV-Q44 + cable de alimentación +cable conexión (fuente-OUT amplificador)
- Maleta fuente D012 + cable conexión (OUT tarjeta-IN amplificador)
- Trípodes para fuente
- Micrófonos GRAS omnidireccionales tipo 40AC con sensibilidad alrededor a 13mV/Pa.
- Micrófono multipatrón AT 4050/CMS con sensibilidad de 15,8 mV/Pa. (omnidireccional, cardioide y figura de 8)
- Cabeza binaural HEAD Acoustics, Modelo HSU III, con un micrófono de condensador polarizado a 200 V en cada oído con sensibilidad alrededor de 50mV/Pa.
- Medidor láser BOSCH

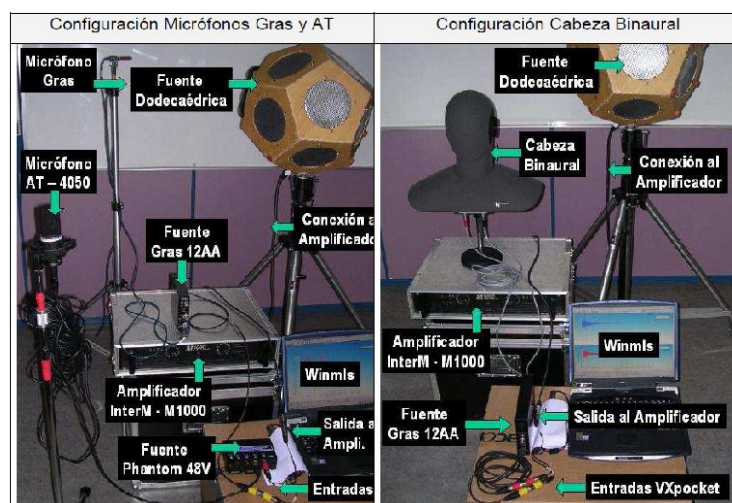


Imagen 9: Equipo y conexión

4.4. PROCEDIMIENTOS EXPERIMENTAL

En este apartado se explica cómo se han realizado las medidas, en qué posiciones de micrófono y de fuente y los pasos a seguir en el programa de captación de las medidas. Se ha aplicado el método según las directrices de las ISO 3382-1:2009.

Las medidas se realizaron en varios días con lo que las condiciones de temperatura y humedad relativa se midieron en cada uno.

Tabla 1: Temperaturas y humedades relativas según el día

Medida	Temperatura [°C]	Humedad [%]	Fecha
Monoaurales P2	19,4	52%	17/10/2011
Monoaurales P3	19,9	50%	18/10/2011
Monoaurales P4	19,9	50%	19/10/2011
Laterales/Binaurales	19,1	50%	20/10/2011
Laterales/Binaurales	18,8	47%	21/10/2011

La fuente acústica generó un nivel suficiente como para poder considerar que las medidas fueron tomadas de forma correcta.

4.4.1. Posiciones

Para las medidas monoaurales se midió en las posiciones de fuente P_2 , P_3 y P_4 , y en cada butaca utilizando al mismo tiempo dos micrófonos Grass. La altura a la que se encontraban del suelo fue de 1.5 m. desde el escenario para la fuente y 1.2 m. para los micrófonos desde el suelo de su fila respectivamente. Las posiciones de fuente se distribuyeron según la siguiente imagen:

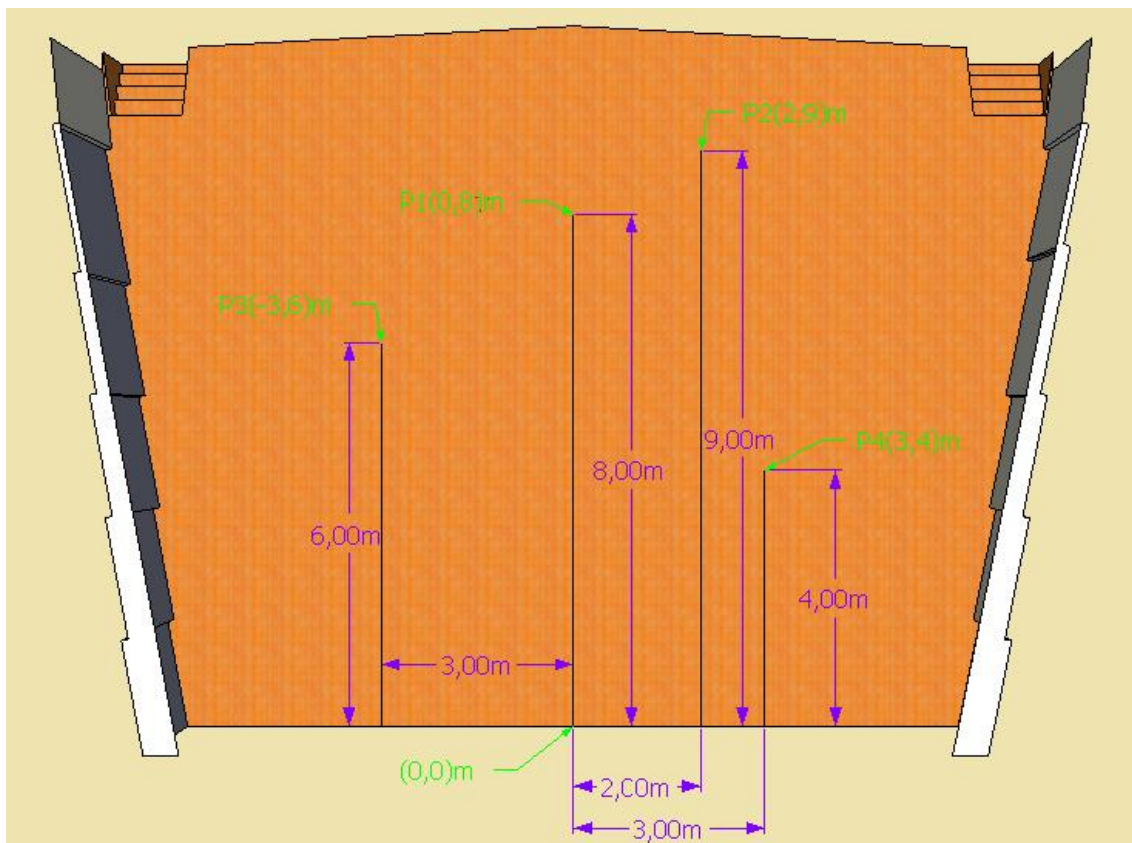


Imagen 10: Planta del escenario y posiciones de fuente

Las medidas binaurales se midieron en una sola posición de fuente, P_1 en la Imagen 10, a 1.5 m. del escenario para todas las butacas colocando la cabeza acústica con ayuda de un cajón de forma que quedase a la altura lo más realista posible de un espectador sentado.

Para los medidas laterales se midió en cada butaca también, con el micrófono multipatrón a una altura de 1.2 m, primero en posición omnidireccional y después en figura de 8 y con la posición de fuente P_1 a 1.5 m. del suelo del escenario.

4.4.2. Proceso de captación de las medidas

Pasos a seguir:

1. Se conecta el sistema en función de los parámetros que vayan a medir (monoaurales, laterales, binaurales)
2. Se abre winMLS y se establece la técnica de medida, en este caso *Sweeps*. Se elige el setup apropiado (*Load Measurement Setup*) y se establece la “vía de medida” donde guardar las IR obtenidas (*Measurement /Saving Defaults*)
3. Con el amplificador al mínimo, realizar un test e ir subiendo el volumen del amplificador hasta obtener un nivel adecuado. Comprobar que los dos canales de entrada reciben señal.
4. En *Measurement /Settings* se fija la duración del sweep (*Max. expected decay time + delay*) y la duración total de la medida (número de barridos).
5. Realizar una medida de prueba *Go*.
6. Visualizar la relación señal ruido (EDR) y si no es suficiente subir el volumen del amplificador con cuidado de no dañar la fuente (sólo necesario la primera vez). Repetimos el proceso y volvemos a comprobar si la EDR es correcta, cuando lo sea realizaremos cada medida pulsando F2.
7. Se guarda la medida, con el nombre de la butaca donde se ha medido.

4.4.3. Cálculo de los parámetros acústicos a partir de una IR medida

Pasos a seguir:

1. Establecer los parámetros a evaluar en *Calculate / User defined / Settings*
 - Monoaurales: T_{30} , EDT, C_{50} , C_{80} , D_{50} , G, T_s , STI, RASTI
 - Laterales: LF, LFC
 - Binaurales: IACCA, IACCE, IACCL
2. Calcular el valor de los parámetros en *Calculate / User defined / Calculate*

Dependiendo del parámetro a evaluar se necesitarán una (monoaurales) o dos IR (laterales y binaurales).

4.5. DATOS winMLS

4.5.1. Exportación de archivos de parámetros a archivos .txt

Para poder manejar los datos en la aplicación es necesario exportar el cálculo de los parámetros de cada IR medida a un formato de texto desde winMLS y guardarlo en la carpeta que le corresponda:

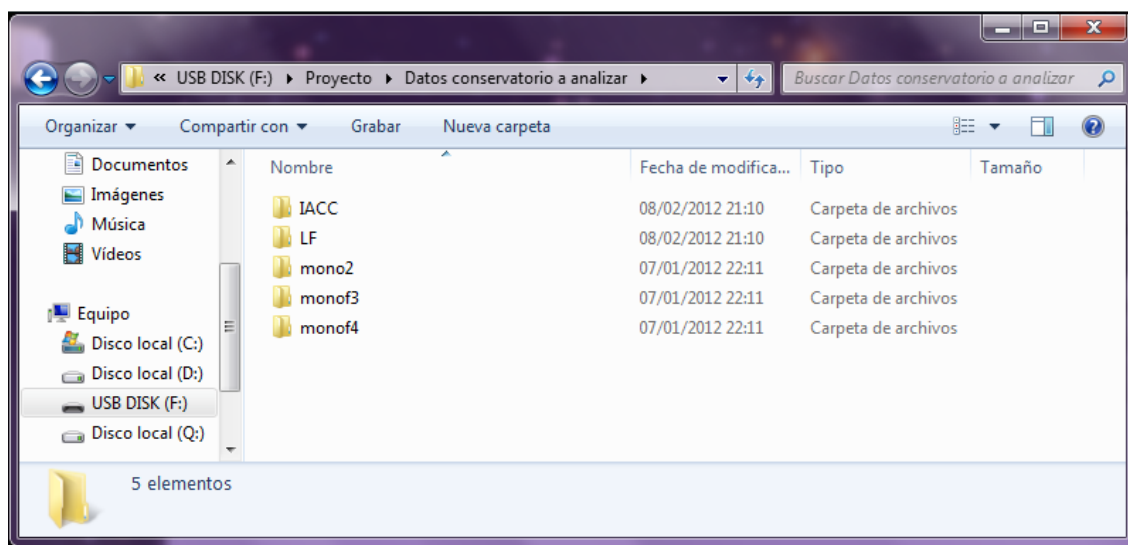


Imagen 11: Carpetas que contienen los datos de winMLS. Captura de pantalla.

- *monof2*: contiene los 375 parámetros monoaurales medidos en cada butaca respecto de la fuente en la posición P2.
- *monof3*: contiene los 375 parámetros monoaurales medidos en cada butaca respecto de la fuente en la posición P3
- *monof4*: contiene los 375 parámetros monoaurales medidos en cada butaca respecto de la fuente en la posición P4
- IACC: contiene los 375 parámetros IACC en cada butaca respecto de la fuente P2
- LF: contiene las 375 medidas de la fracción lateral en cada butaca respecto de la fuente P2.

4.5.2. Agrupar los datos

Una vez guardada la exportación de todos los parámetros calculados, se agrupan todos los datos en un solo archivo .txt por carpeta. Para ello se siguen los siguientes pasos:

1. Abrir la ventana de comandos y situarse en la carpeta monof2

```
cd ruta
```

2. Copiar todos los archivos que hay dentro de la carpeta a uno llamado monof2

```
xcopy *.txt monof2.txt
```

3. Realizar el proceso para el resto de las carpetas

4.5.3. Preparar los datos para la aplicación

La aplicación para manipular los datos abre archivos Excel y tiene la opción de importar archivos .txt. Cada parámetro se coloca en una hoja de Excel, por lo que para evitar incompatibilidades es necesario modificar el archivo final:

- Escribir en la primera línea *winMLS*. La forma de leer los datos de winMLS es algo diferente a la de Odeon, por lo que es necesario escribir esta línea.
- Cambiar TAB por SPACE
- Puntos por comas
- [] por ()
- Si hay para la primera posición/receptor hay más de un parámetro que se llame igual se debe cambiar. Por ejemplo si hay dos *corr*, poner al segundo *corr2*
- Cada vector de frecuencias debe ir precedido por su parámetro, no se aceptan líneas de sólo valores numéricos.
- Los nombres admitidos para los parámetros deben ser compatibles con los nombres asignables a hojas de Excel.
- Los valores numéricos deben ser decimales concretos, no es válido conjuntos de caracteres como *-INF*.

5. SIMULACIÓN

5.1. OBJETIVO

El objetivo de la simulación es realizar un modelo lo más preciso posible para así minimizar la diferencia entre los valores reales y los simulados de una forma fiable. Para ello es necesario:

- Diseñar gráficamente la sala con la máxima precisión modelizando con el programa Google SketchUp Pro 7 ©.
- Cargar el modelo en Odeon 11.0 ©, y ajustar los coeficientes de absorción de los materiales para realizar una caracterización correcta.
- Simular según las posiciones de fuente y de los receptores.
- Guardar los resultados de la simulación para poder compararlos con la aplicación

5.2. Trabajo en SketchUp

Este es el paso previo para poder realizar la simulación acústica, se necesita hacer un modelo en tres dimensiones que incluya todas las superficies relevantes de la sala. La creación de este modelo es un compromiso entre el nivel de detalle óptimo y la simplificación de las superficies, ya que a mayor número superficies y de asimetrías se complica más la posterior simulación en el programa Odeón.

5.2.1. El programa SketchUp Pro 7 ©

Es una aplicación de diseño en 3D para ingeniería civil, diseño industrial, videojuegos y entornos arquitectónicos desarrollado y publicado por Google.

Es muy intuitivo y flexible. Permite modelar imágenes en 3D de casi cualquier cosa pero además incluye una galería muy completa de texturas, imágenes y galerías de objetos que se pueden descargar o que se puede realizar y compartir con otros usuarios.

Entorno de trabajo

Se organiza en cuatro partes:

1. Barra de menú superior
Incluye las opciones típicas de un programa de diseño: *Archivo, Edición, Cámara, Dibujo, Herramientas, Ventana y Ayuda*.
2. Barra de herramientas
Se describe en la Tabla 2: Resumen de las herramientas básicas de Google SketchUp.
3. Espacio de diseño:
Tiene muchas posibilidades de vista para adaptarse a las necesidades del usuario.
4. Barra de menú inferior
Hay un Textbox donde se muestran las medidas de lo que se va dibujando

Además es posible agregar otros paneles como: *Vistas, Principal, Caminar, Estilo de cara* que no se muestran por defecto.

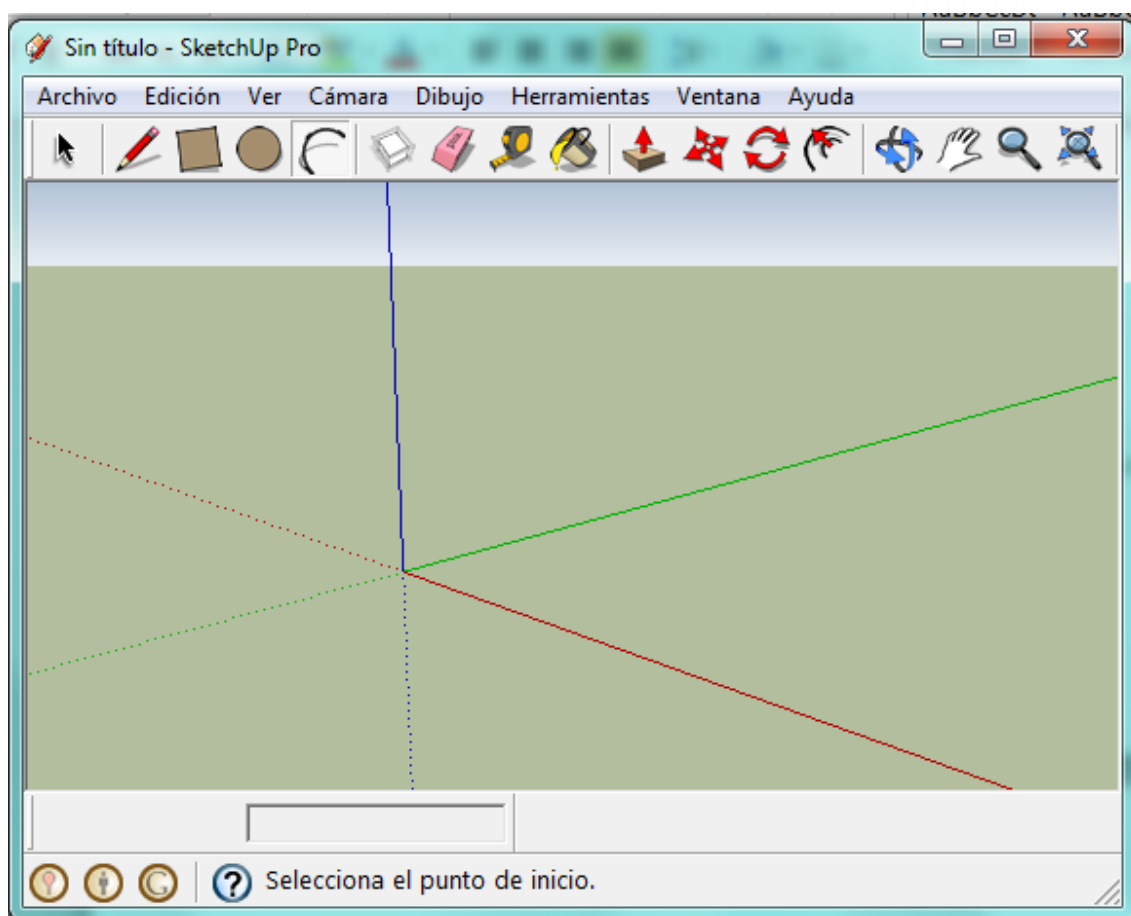


















Imagen 12: Interfaz de Google SketchUp 7

Tabla 2: Resumen de las herramientas básicas de Google SketchUp

	<i>Seleccionar</i>	Permite seleccionar superficies y aristas del modelo.
	<i>Línea</i>	Dibuja una línea recta, si mientras se usa se introduce una medida en el TextBox inferior y se pulsa ENTER, se consigue dibujar una línea de la medida introducida.
	<i>Rectángulo</i>	Dibuja un rectángulo.
	<i>Curva</i>	Dibuja una curva, primero se deben definir los puntos inicial y final y después arrastrar la línea
	<i>Crear componente</i>	Crea una componente de una selección
	<i>Borrar</i>	Borra el objeto seleccionado
	<i>Medir</i>	Mide la distancia entre dos puntos.
	<i>Pintar</i>	Asigna el aspecto de un material a una superficie
	<i>Empujar / Tirar</i>	Da profundidad a una superficie seleccionada
  	<i>Mover</i> <i>Rotar</i> <i>Girar</i>	Estas tres herramientas sirven para desplazar un objeto
   	<i>Orbitar</i> <i>Desplazar</i> <i>Zoom</i> <i>Centrado</i>	Estas cuatro herramientas sirven para ayudar en la visualización.

5.2.2. Modelización

Una vez conocida la aplicación que se va a manejar, se describen los pasos seguidos para la modelización:

1. Qué elementos se van a dibujar y cómo:
 - **Paredes, techo y suelos** incluyendo la forma de las escaleras.
 - **Audiencia:** 4 superficies, 3 para el patio de butacas superior y 1 para la inferior.
 - **Ventana** de la cabina de grabación.

Se ha decidido prescindir de las puertas ya que son del mismo material que la pared en la que se integran y además se supone que las puertas se encuentran cerradas cuando hay una actuación. Tampoco se modelizan los elementos de iluminación, altavoces y el sistema de acondicionamiento ya que el total de sus superficies y su baja absorción no supondrían un cambio relevante en la simulación.

2. Dibujo del escenario

El punto medio de la pared del fondo del escenario es la primera referencia a tomar, el punto donde se sitúa el eje de coordenadas. Desde aquí, con la herramienta *Línea* se realizan las líneas guía y se termina de dibujar el escenario. Después se dibuja el frontal del escenario y éste da la altura de la primera fila de butacas.

Durante todo el proceso se utilizará la herramienta *Línea*, ya que cuando se crea una forma cerrada con esta herramienta automáticamente se crea la superficie si todos los puntos de esta están en el mismo plano, esto minimizará el número de errores.

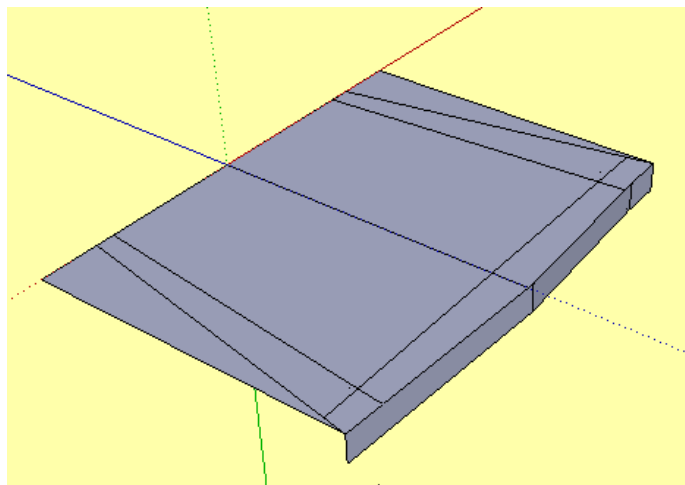


Imagen 13: Modelo 3D .Detalle del escenario

3. Patio de butacas inferior

Tras establecer el área de separación entre el escenario y la primera fila de butacas, se dibujan a cada extremo las escaleras con la herramienta lápiz también. Una vez dibujadas todas, se une la superficie correspondiente a las butacas.

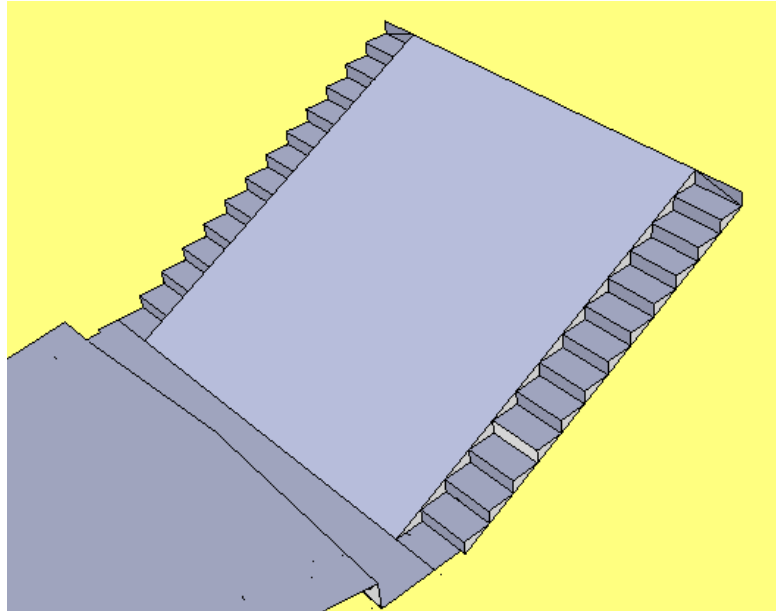


Imagen 14: Modelo 3D. Detalle del patio de butacas inferior

4. Patio de butacas superior

Se dibuja la parte del suelo entre el patio de butacas inferior y las puertas y sobre ella las superficies de los paneles perforados. Se dibujan las escaleras de acceso al patio de butacas superior y el suelo de su primera fila. Después se dibujan las escaleras superiores y las superficies de las butacas.

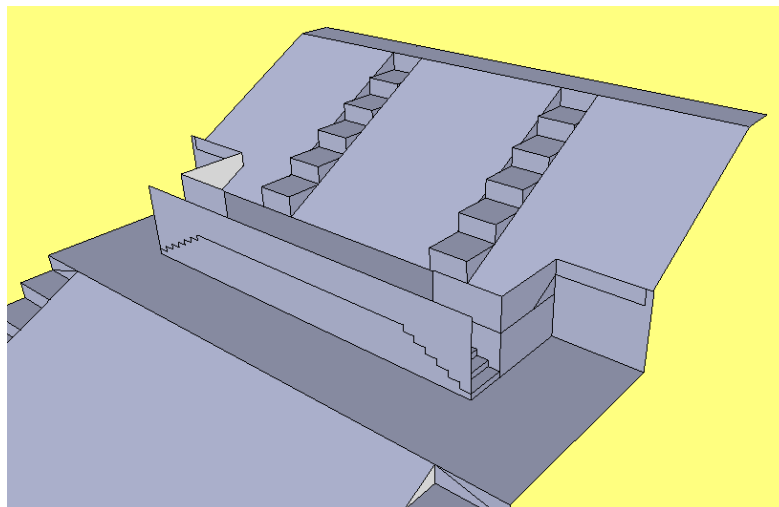


Imagen 15: Modelo 3D. Detalle del patio de butacas superior

5. Pared trasera, delantera y techo

A la altura del último escalón se da forma el pasillo superior. Ahora que ya se tienen todas las superficies bajas, se dibuja la pared del fondo con su ventana y desde ella se empieza a dibujar el techo hasta llegar a la pared del fondo del escenario.

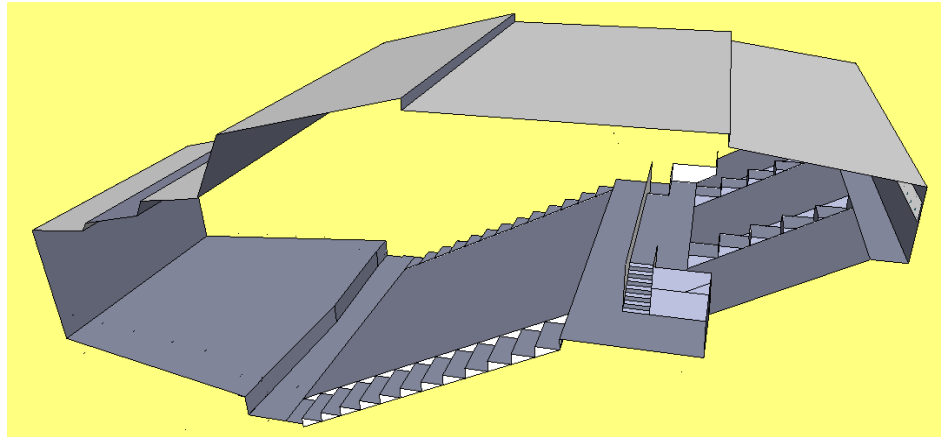


Imagen 16: Modelo 3D. con techo, pared frontal y trasera.

6. Pares laterales

Comenzando por la parte de atrás se van cerrando todas las superficies laterales. Sobre ellas se dibujan las líneas que marcan la superficie rugosa y con la herramienta *Extrude* se le da una profundidad de 17 cm. Después es conveniente poner estos laterales como no visibles para que se pueda ver el interior bien. Cuando se llega al escenario primero se dibuja la superficie lisa y después las cajas con la herramienta *Línea*.

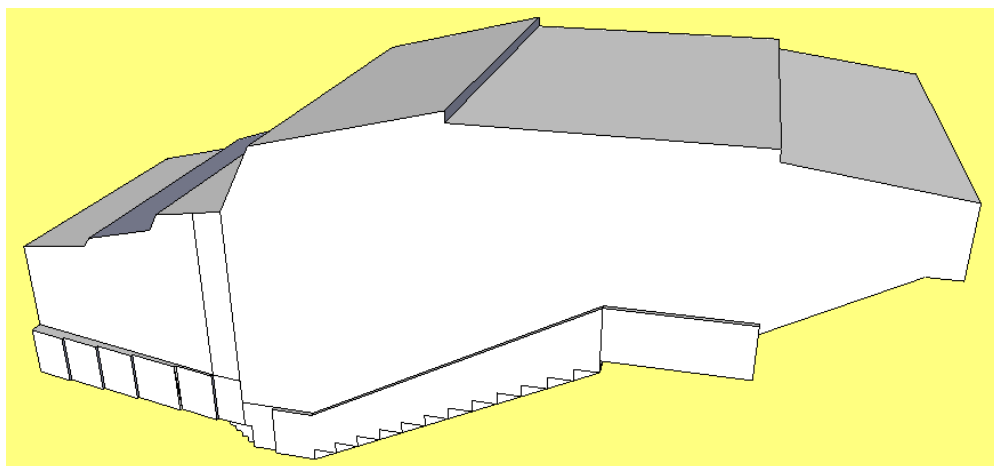


Imagen 17: Modelo 3D con el cerramiento lateral

7. Otros detalles

Para completar el modelo queda dibujar las escaleras del escenario y el hueco que hay debajo de este.

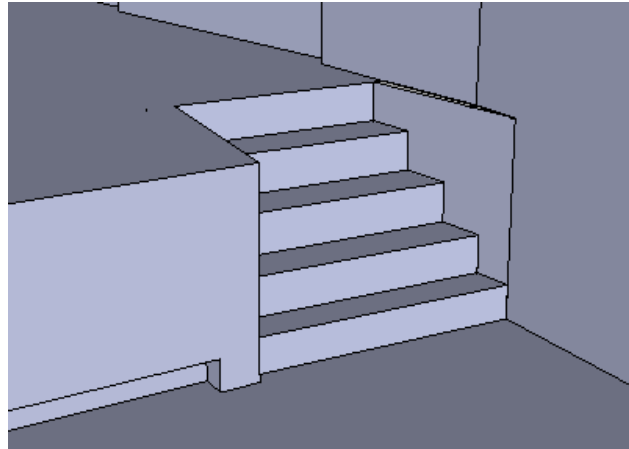


Imagen 18: Detalle de las escaleras y el hueco del escenario

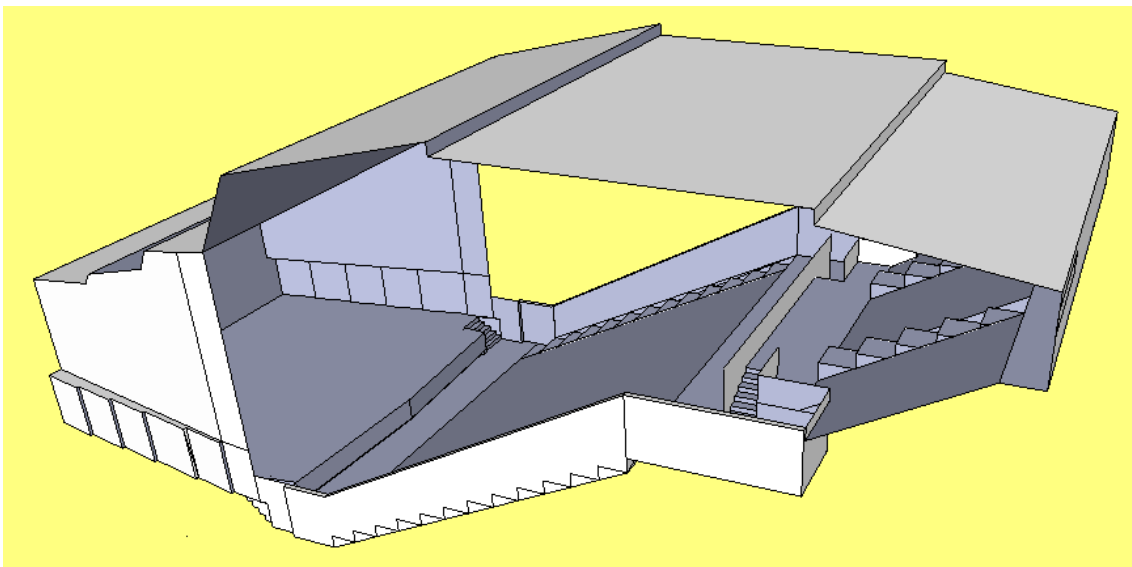


Imagen 19: Modelo 3D sin asignación de materiales

5.2.3. Asignación de materiales

La asignación de materiales en este programa es un detalle casi puramente estético, aunque sirve de mucha ayuda para reconocer las distintas superficies y configurar después la configuración de las capas.

Pasos a seguir:

1. Se selecciona la capa y se pulsa sobre el icono pintar.
2. En el cuadro de diálogo se selecciona el tipo de material.
3. Se edita para que se parezca lo más posible al real.
4. Se pintan todas las capas del mismo material
5. Se repite el proceso para todos los materiales que haya.

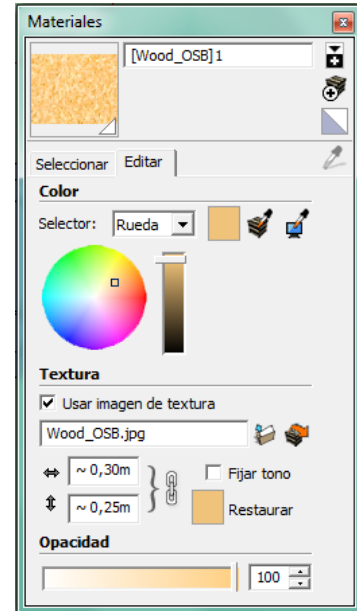


Imagen 20: Cuadro de diálogo de los materiales

Si se olvida pintar alguna capa no hay ningún problema porque todos los materiales del modelo se guardan automáticamente.

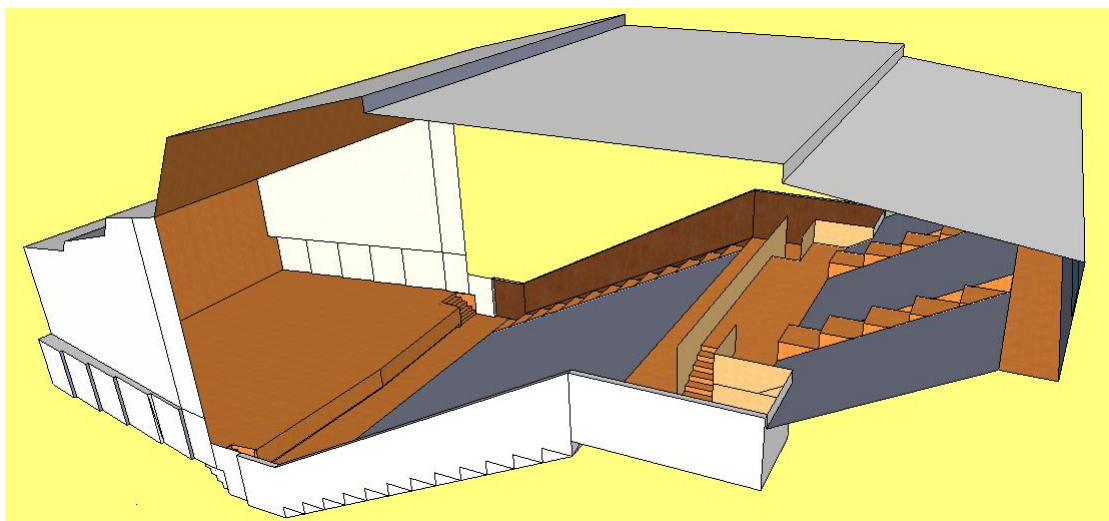


Imagen 21: Modelo 3D con asignación de materiales

5.2.4. Configuración de las capas

Se necesita configurar las capas porque así será mucho más fácil asignar los materiales en el programa de la simulación. En un modelo como este, que incluye tantas superficies es conveniente que sea este el último paso para evitar dejarnos alguna capa sin configurar.

Pasos a seguir:

1. Se renombra la capa general con el nombre del material más abundante, en este caso Madera normal.
2. Se hace clic en el icono *más* y añadimos cada material.
3. Se selecciona una superficie, se hace clic con el botón derecho y se elige *Información de la entidad*, en la lista desplegable de *Capa* se selecciona la deseada.
4. Se repite el proceso para cada superficie

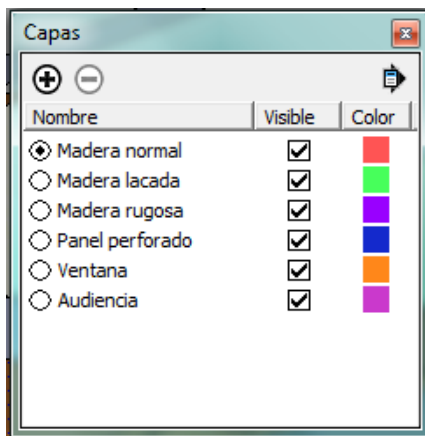


Imagen 22: Cuadro de diálogo *Capas*

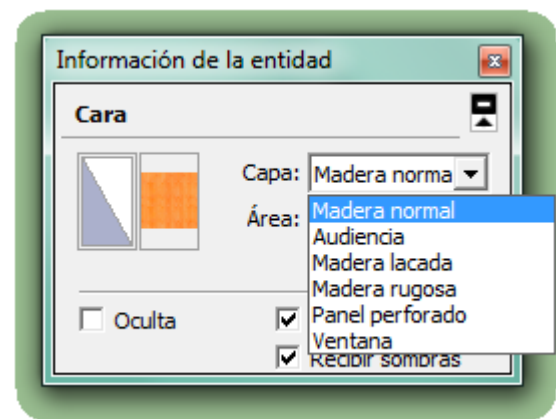


Imagen 23: Cuadro de diálogo *Información de la entidad*

5.2.5. Exportación a .dxf

El modelo en formato .skp no es importable en Odeon por lo que se debe exportar a .dxf dentro de SketchUp y guardarlo. Se sigue el menú *Archivo / Exportar / Modelo 3D...* y en el cuadro de diálogo se elige el formato de salida y el nombre del archivo.

5.3. Cómo realizar una buena simulación acústica en Odeon

En este apartado se explica cómo obtener buenos resultados y qué se considera un buen resultado en Odeon. No hay una respuesta directa en cuanto como conseguir el mejor resultado, pero sí se pueden dar algunas ideas.

5.3.1. Precisión deseada. JND (Just Noticeable Difference)

Un tema directamente relacionado con las impresiones subjetivas asociadas a los distintos parámetros acústicos derivados de la respuesta al impulso es el relativo a la sensibilidad del oyente a los cambios en los valores de dichos parámetros. En psicofísica, el *just noticeable difference* (*jnd*) o limen subjetivo se define como la mínima diferencia en una sensación que es perceptible por el ser humano. Adaptada la definición a nuestro campo, se considera *jnd* a la mínima variación en el valor de un parámetro acústico perceptible por el oyente y es actualmente aceptado por la comunidad científica como el mejor indicador de cara a conocer la percepción subjetiva provocada por una variación en dicho parámetro. El *jnd* puede usarse en muchas áreas: ofrece una orientación sobre la precisión con la que deberían medirse los parámetros acústicos objetivos; establece la precisión con que los modelos computacionales deberían ser capaces de simular un recinto; y es una herramienta fundamental para los acústicos para conocer si una alteración en el diseño de una sala será realmente apreciada por la audiencia.

Aunque después de muchos estudios de distintos científicos no se ha llegado a un consenso total sobre los valores exactos de los *jnd*, la siguiente tabla puede considerarse en la actualidad una fuente de referencia:

Tabla 3: Parámetros acústicos con su *jnd* asociado

Parámetro	Jnd
EDT, T ₂₀ , T ₃₀	5 % s
D ₅₀	5 %
C ₅₀ , C ₈₀	1 dB
T _s	10 ms
G	1 dB
LF	0,05
IACC	0,08

Para realizar la simulación en Odeon tendremos que considerar que aquellos valores que obtengamos que se encuentren dentro del error de un jnd serán válidos.

5.3.2. Fuentes de error

Hay muchas fuentes de error en una simulación acústica que conducen a resultados incorrectos (dentro de un limen subjetivo). El resultado podría ser aceptable si sólo interesan los resultados en bruto, pero si se desean resultados lo más precisos posibles hay que considerar las posibles fuentes de error y así aprovechar al máximo Odeon. Algunas de las más importantes son:

5.3.2.1. Aproximaciones hechas en los algoritmos de cálculo ODEON

Los algoritmos utilizados por un programa como Odeon no son más que una representación cruda de la realidad. En particular, el efecto de los fenómenos ondulatorios se integran sólo de una forma muy parcial en los cálculos. En general no afectará demasiado al usuario, pero deberá recordar que en salas pequeñas o con superficies pequeñas no se simulará con una precisión alta.

5.3.2.2. Parámetros de cálculo inadecuados

Se pueden especificar en Odeon distintos parámetros de cálculo, estos se pueden reflejar según el tiempo de reverberación, la forma particular de la habitación o un compromiso entre la velocidad de cálculo y la precisión.

Numero de rayos tardíos

ODEON por defecto especifica un número sugerido de rayos tardíos para ser usado en los cálculos de la respuesta en un punto. Este número se deriva tomando en cuenta la relación de aspecto de la habitación, así como el tamaño y el número de superficies en la geometría. En pocas palabras, esto significa que en ODEON se sugieren más rayos para una sala muy larga con muchas superficies, que en una habitación cúbica, con pocas superficies. Este número sugerido de rayos será suficiente para muchas de las habitaciones, sin embargo, en algunos casos pueden ser necesarios más rayos para obtener buenos resultados, especialmente en habitaciones con:

Efectos de desacoplamiento fuerte

Si un lugar seco está acoplado a una sala reverberante, pueden ser necesarios más rayos con el fin de estimar el efecto del acoplamiento. Un ejemplo podría ser un vestíbulo o un pasillo junto a un aula. Si la habitación donde se encuentra el receptor sólo se separa a este de la fuente por una pequeña abertura también serán necesarios más rayos.

Distribución muy desigual de la absorción en la sala

En algunas salas el campo reverberante en x, y y z puede ser muy diferente. Un ejemplo de esto podría ser una sala donde se encuentra toda la absorción en el techo, mientras que el resto son superficies son reflectantes o un teatro al aire libre. En estos casos también se deben usar más rayos.

No hay forma de saber si son necesario más rayos para un cálculo determinado, pero para tener una idea de si una habitación tiene fuertes efectos de desacoplamiento es posible que se necesiten más rayos si al ejecutar el cálculo de la estimación global:

- La estimación global se estabiliza lentamente
- La curva de caída da saltos bruscos
- La curva de caída muestra un efecto “curva de mano”

5.3.2.3. Coeficientes de absorción de los materiales imprecisos

Coefficientes de absorción incorrectos o imprecisos son probablemente una de las fuentes más comunes de error en las simulaciones acústicas. Esto puede ser debido a la falta de precisión en las mediciones (o limitaciones a los métodos de medición en sí mismo) de los datos de absorción o porque el material de construcción asumido en las simulaciones está basado en conjeturas. En cualquier caso, es una buena idea para partir de esos materiales para estimar el grado del error en los datos del material, así como el impacto en los resultados simulados. Los coeficientes de absorción fuera del rango de 0,05 a 0,9 se deben utilizar con mucho cuidado (Christensen, Nielsen, y Rindel, 2008). En la lista de materiales en el Odeon, hay un botón que limita el rango de coeficientes de absorción asignados a las superficies en una habitación dentro de un rango seleccionado.

Solución si los materiales son imprecisos

No hay realmente mucho que hacer con la incertidumbre de los datos de los materiales si la habitación no existe y nos encontramos en la fase de diseño, sólo podremos considerar la incertidumbre de los materiales. Si la habitación efectivamente existe y se está modelando con el fin de evaluar los diferentes cambios posibles, puede ser una buena idea para modificar (ajustar) los materiales hasta que los parámetros de simulación acústica de salas se ajusten a la medida lo mejor posible.

A menudo son los propios usuarios los que suponen que las bibliotecas de materiales no tienen errores. Para los coeficientes de absorción y de alta frecuencia los valores son probablemente fiables, sin embargo, los datos de absorción de baja frecuencia y los datos de absorción de los materiales duros a menudo tienen una falta de precisión.

Absorción a baja frecuencia

Los coeficientes de absorción a bajas frecuencias medidos en una sala reverberante tienen una precisión limitada porque:

- Hay muy pocos modos disponibles en una sala reverberante en las bandas de frecuencia más baja
- La absorción a baja frecuencia se debe en parte a la propia construcción y no tanto a la superficie visible.

Materiales duros

Materiales duros como el hormigón son habitualmente definidos con un 1% o 2% de absorción. Quizá una diferencia de un 0.5 % o un 1% no supone una diferencia significativa, pero si este es el material dominante en una sala podría ser un grave problema.

5.3.2.4. Coeficientes de dispersión de los materiales imprecisos

El conocimiento de los coeficientes de dispersión se encuentra bastante limitado. Se espera que en el futuro, los coeficientes de dispersión estén disponibles para algunos materiales. Mientras tanto, lo mejor que se puede hacer es hacer algunas buenas conjeturas sobre la magnitud de los coeficientes de dispersión y realizar algunas estimaciones sobre su efecto en la incertidumbre.

5.3.2.5. La definición de la geometría puede no ser exacta u óptima para Odeon

Odeon reportará siempre mejores resultados si hay un menor número de superficies ya que tendrá que realizar un menor número de cálculos y así se limita la propagación de errores. Siempre que sea posible se debe modelizar la sala agrupando las superficies del mismo material.

5.3.2.6. Imprecisión en los valores de referencia

En muchas ocasiones los datos de referencia medidos en la sala con los cuales se comparan los datos simulados no son perfectos. Se debería aceptar una tolerancia en la precisión en los parámetros medidos.

5.3.2.7. Posición de los receptores

Los errores más comunes son: basar el diseño acústico de habitación en simulaciones de una o sólo unas pocas posiciones de receptor, colocar el receptor demasiado cerca de una superficie o colocar el receptor demasiado cerca de la fuente.

Distancia fuente-receptor

Los cálculos de la respuesta en un punto hechos en ODEON deben ser comparados con mediciones de la respuesta en un punto medidos según la norma (ISO 3382-2) Para obtener una buena estimación del tiempo de reverberación, la mínima distancia fuente-receptor debe ser utilizada con el fin de evitar la fuerte influencia del sonido directo. La mínima distancia fuente-receptor de acuerdo con la norma ISO 3382-1 es la siguiente:

$$d_{min} = 2 \sqrt{\frac{V}{c * T}} \quad \text{donde} \quad \begin{cases} V & \text{volumen de la sala en } m^3 \\ c & \text{velocidad del sonido en } ms^{-1} \\ T & \text{estimación sobre el tiempo de reverberación en } s. \end{cases}$$

Así, para una sala de conciertos típica una distancia fuente-receptor de menos de 10 metros se debe evitar a fin de obtener buenas predicciones (medidas) del tiempo de reverberación.

Distancia mínima desde el receptor a la superficie más cercana

Si el receptor se coloca muy cerca de la superficie los resultados serán sensibles a la posición real de las fuentes secundarias generadas por el método de rayos tardíos de Odeon. Si una fuente secundaria pasa a estar muy cerca del receptor, por ejemplo, 1 a 10 centímetros, esto puede producir un aumento espurio en la curva de caída, dando lugar impredicciones fiables del tiempo de reverberación - de hecho, si la distancia es cero, entonces, en principio, se generaría una contribución infinitamente grande. Para evitar este problema, se recomienda que las distancias a las superficies se mantengan al menos entre 0,3 a 0,5 metros. De todos modos para las mediciones por otras razones, se recomienda mantener distancias mayores de un cuarto de longitud de onda, es decir, 1,3 metros en 63 Hz – se requiere una distancia de 1 metro por la norma ISO3382.

5.4. Trabajo en Odeon

Trabajo necesario para llevar a cabo la simulación acústica.

5.4.1. CORRECCIÓN DEL MODELO

En este punto se comprueba si el modelo realizado con Google SketchUp es correcto, es decir, si se ha minimizado el número de capas, de superficies dobles, si no hay agujeros en la geometría y si se han definido bien las capas.

1. Seleccionar *Files/ Import from file (dxf,3ds,cad)*
2. Especificar el archivo de entrada conservatorio.dxf en el cuadro de diálogo.
3. Especificar el nombre y la ruta destino del archivo que tendrá extensión: conservatorio.par.
4. Se comprueba si la geometría es correcta con la herramienta *3DGeometryDebugger*

Si se observan errores aparecen los puntos y superficies que se deben corregir en rojo. Aunque en el editor de Odeon es posible corregir los errores, resulta mucho más sencillo volver a Google SketchUp y corregir el modelo.

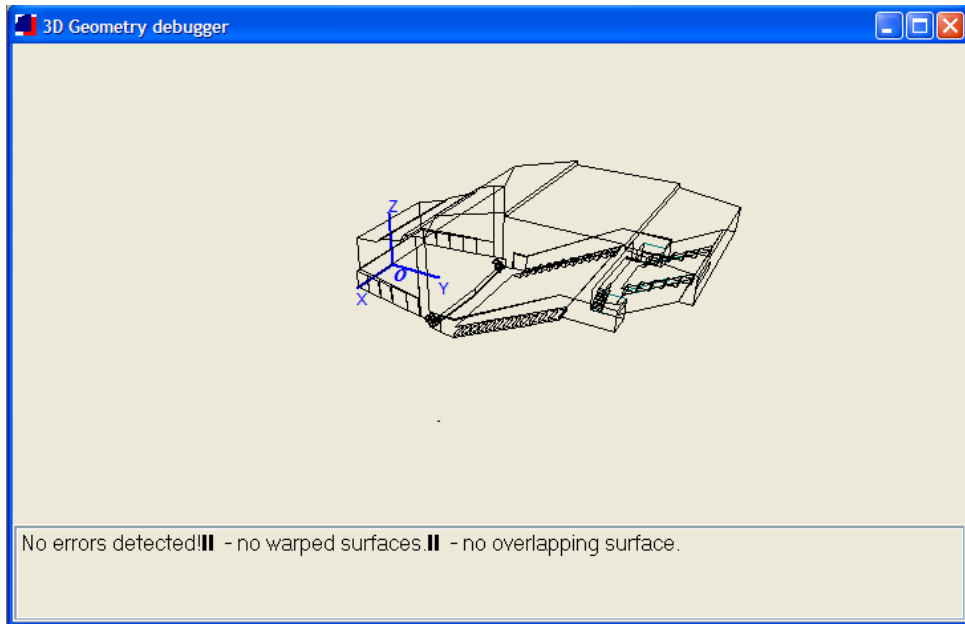


Imagen 24: Captura de pantalla. Depurador de geometría en 3D

5. Una vez conseguida la geometría correcta se debe comprobar si hay agujeros con la herramienta *3D Investigate Rays*.

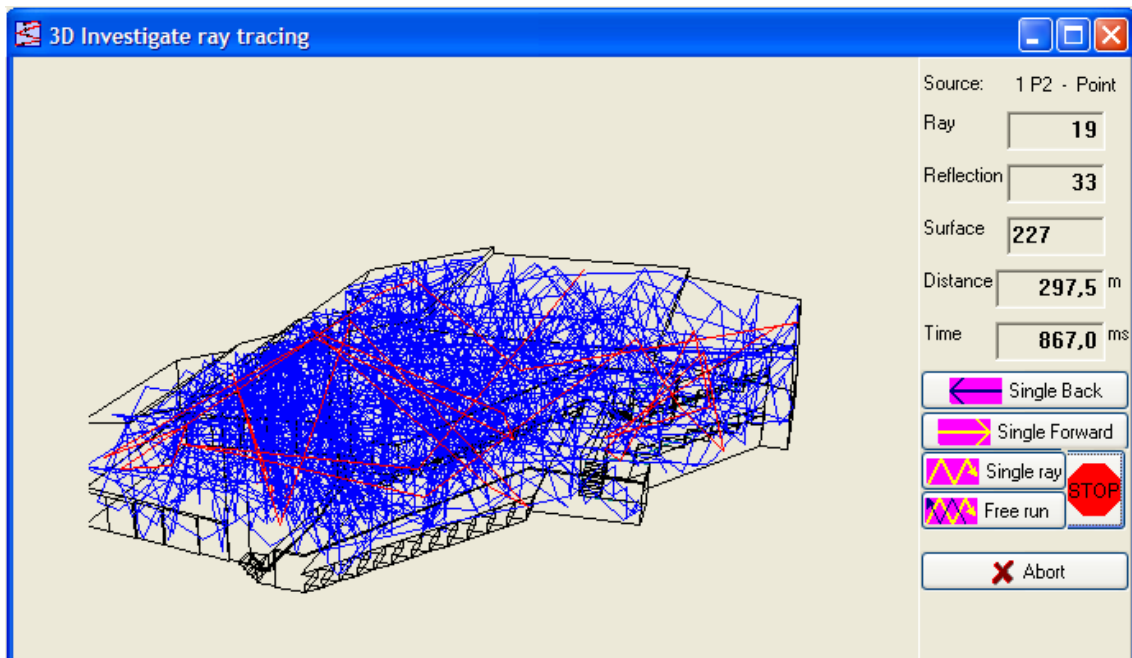


Imagen 25: Captura de pantalla. 3D Investigate ray

Si no existen rayos que se escapen del recinto, se pueden seguir con la simulación, si no es así se debe volver nuevamente a Google SketchUp y buscar en el foco del problema.

6. Por último, se comprueba que las superficies asignadas a las distintas capas son las correctas. En la opción de asignar materiales podemos seleccionar las de cada tipo.

5.4.2. AJUSTE SEGÚN PARÁMETROS MEDIOS

Mediante el ajuste según parámetros medios se pretende hacer una primera aproximación de la sala teniendo como referencia la ISO: 3382-1.

5.4.2.1. Valores de referencia tomados en la sala

Se eligen 9 posiciones de receptor representativas de la sala, en función de cada área de audiencia, y la posición de fuente P2. Tomamos como referencia el parámetro T_{30} y se realiza la media por frecuencias:

Tabla 4: Valores de T_{30} (s) para caracterización de la sala

ÁREAS	POSICIONES	T_{30} (s) POR BANDAS DE FRECUENCIAS EN HZ							
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Audiencia	41	1,50	1,60	1,86	1,83	2,10	2,42	2,53	1,99
	55	1,60	1,52	1,77	1,77	2,07	2,38	2,53	1,95
	170	1,48	1,57	1,85	1,87	2,03	2,35	2,53	1,95
	182	1,42	1,56	1,85	1,79	2,03	2,40	2,56	1,96
	287	1,74	1,48	1,85	1,86	2,07	2,41	2,58	1,94
	275	1,67	1,45	1,72	1,78	2,04	2,41	2,55	1,93
Escenario	29	1,72	1,57	1,75	1,78	1,96	2,35	2,50	1,88
	24	1,57	1,61	1,77	1,76	2,00	2,33	2,46	1,86
	72	1,73	1,56	1,65	1,76	2,00	2,35	2,50	1,88
Promedio		1,60	1,55	1,79	1,80	2,03	2,38	2,53	1,93

5.4.2.2. Añadir receptores

El paso siguiente es añadir en el modelo de Odeon los receptores anteriores en sus mismas posiciones, para ello:

1. Se hace clic en el menú *Source Receiver List*
2. En la barra lateral se selecciona *New Receiver*
3. En el editor se define el nombre en la descripción, y la posición x,y,z (para z se puede alinear relativamente a un eje, en nuestro caso a z)

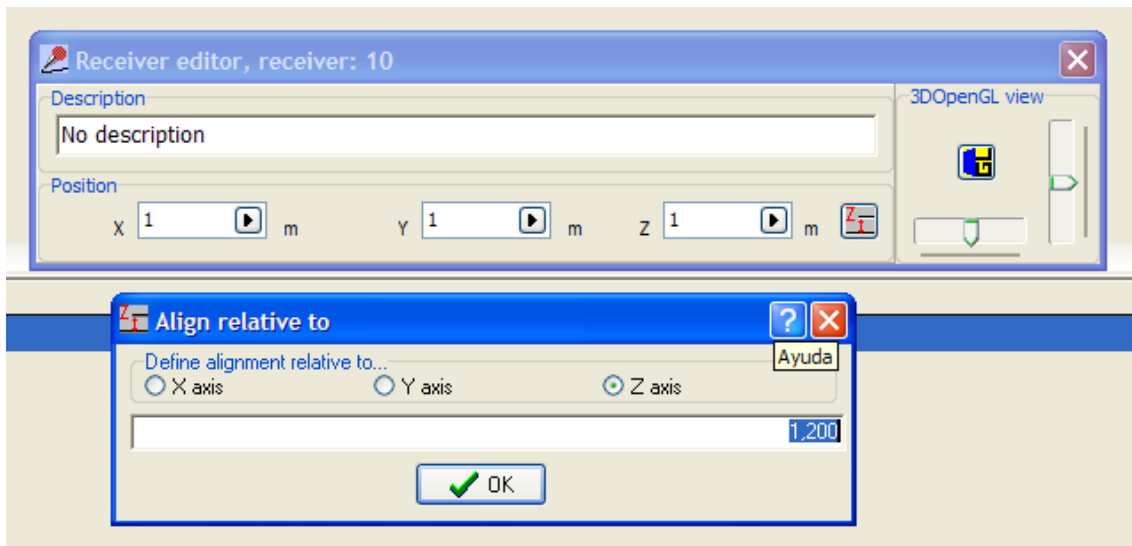


Imagen 26: Captura de pantalla. Añadir un receptor.

5.4.2.3. Añadir fuente

El estudio se ha realizado colocando una fuente omnidireccional de 80 dB en posición de fuente 2³. Para ello dentro del menú *Source Receiver List*, pulsamos *New Point Source*. Especificamos el nombre de la fuente *P2*, la posición $(2, 9, 1'50)$, de tipo omnidireccional y 80 dB de nivel de ajuste:

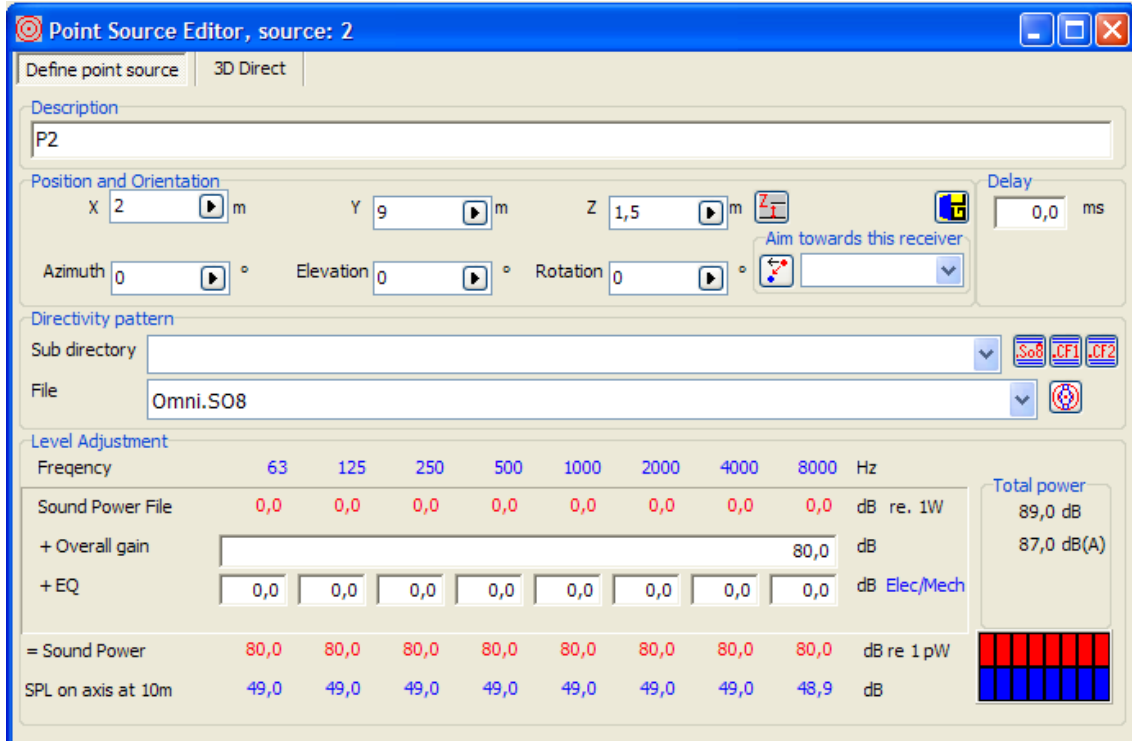


Imagen 27: Captura de pantalla. Añadir una fuente

³ Véase Imagen 10: Planta del escenario y posiciones de fuente

5.4.2.4. Materiales

La sala se diseña en función de seis materiales: cristal, madera rugosa, madera lacada, madera normal, panel perforado y audiencia.

Se asignan los siguientes coeficientes de absorción, como una primera aproximación:

	Coeficientes de absorción por bandas de frecuencia en Hz					
	125	250	500	1000	2000	4000
Madera contrachapada (normal)*	0,25	0,34	0,18	0,1	0,1	0,1
Madera ordinaria (rugosa)*	0,16	0,13	0,1	0,06	0,05	0,05
Panel	0,45	0,8	0,95	0,95	0,8	0,6
Madera barnizada(lacada)*	0,05	-	0,03	-	0,03	-
Cristal	0,18	0,06	0,04	0,03	0,02	0,02
Butacas	0,35	0,65	0,8	0,85	0,75	0,65

*Materiales obtenidos de (Recuero López, 1999)

Para las frecuencias de 63 y 8000 Hz se asignarán unos valores en consonancia con las curvas de absorción por frecuencia de cada material.

Excepto para el cristal, se crea un nuevo material para cada uno en la base de datos de Odeon en *Add Material* para asignar cada material hacemos sólo visible su correspondiente capa y se pulsa la opción de aplicar coeficientes de absorción a todas las capas visibles.

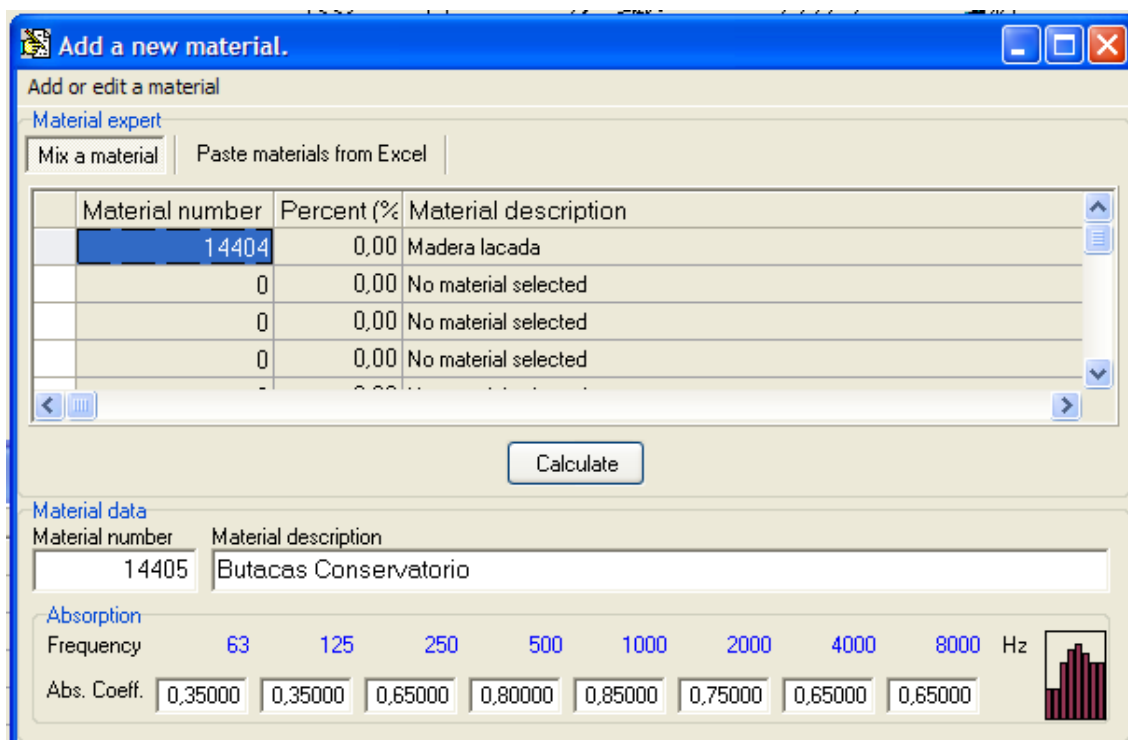


Imagen 28: Captura de pantalla. Añadir un material a la librería de Odeon.

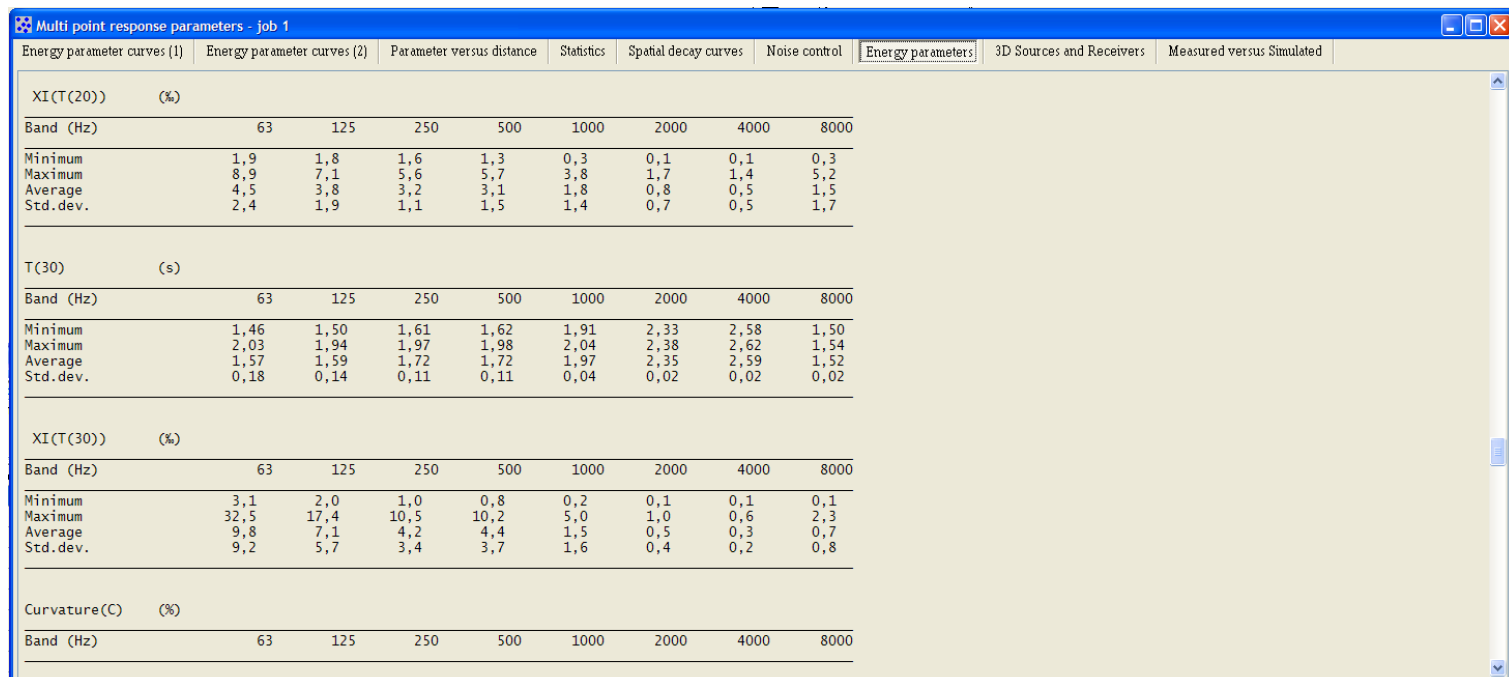
Para las áreas de audiencia aplicamos un coeficiente de scattering de 0,7 que se quedará fijo.

5.4.2.5. Obtención de parámetros y primer ajuste

Para realizar un buen ajuste se ha decidido que se debe conseguir para el parámetro T30(s) simulado un ajuste respecto del real dentro de ± 1 JND, variando solamente el material más absorbente de la sala, es decir, los coeficientes de absorción de las butacas.

Para evaluar si los materiales asignados son idóneos para un ajuste correcto, se realiza una primera simulación, en el menú *Job List* se hace clic en *Run All Jobs*.

Una vez ejecutado, se pueden ver los resultados en el ítem *View Multi Point Response*. En la pestaña *Energy Parameters* se pueden visualizar los resultados de los parámetros para cada receptor y los parámetros medios.



Multi point response parameters - job 1								
Energy parameters								
XI(T(20)) (%)								
Band (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Minimum	1,9	1,8	1,6	1,3	0,3	0,1	0,1	0,3
Maximum	8,9	7,1	5,6	5,7	3,8	1,7	1,4	5,2
Average	4,5	3,8	3,2	3,1	1,8	0,8	0,5	1,5
Std. dev.	2,4	1,9	1,1	1,5	1,4	0,7	0,5	1,7
T(30) (s)								
Band (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Minimum	1,46	1,50	1,61	1,62	1,91	2,33	2,58	1,50
Maximum	2,03	1,94	1,97	1,98	2,04	2,38	2,62	1,54
Average	1,57	1,59	1,72	1,72	1,97	2,35	2,59	1,52
Std. dev.	0,18	0,14	0,11	0,11	0,04	0,02	0,02	0,02
XI(T(30)) (%)								
Band (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Minimum	3,1	2,0	1,0	0,8	0,2	0,1	0,1	0,1
Maximum	32,5	17,4	10,5	10,2	5,0	1,0	0,6	2,3
Average	9,8	7,1	4,2	4,4	1,5	0,5	0,3	0,7
Std. dev.	9,2	5,7	3,4	3,7	1,6	0,4	0,2	0,8
Curvature(C) (%)								
Band (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000

Imagen 29: Captura de pantalla. Pestaña Energy Parameters del cuadro Multi View Response

Si el resultado no se ajusta, se editan nuevamente los coeficientes de absorción de las butacas volviendo al menú de materiales.

Después de intentar ajustar al máximo los coeficientes reduciéndolos todo lo posible, se observa que no es posible conseguir un valor correcto a 8000Hz.

Tabla 5: T30(s) simulado y real con sus JND

	Bandas de frecuencia en Hz							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
T30(s) real	1,60	1,55	1,79	1,80	2,03	2,38	2,53	1,93
T30(s) simulado	1,57	1,59	1,72	1,72	1,97	2,35	2,59	1,52
JND máximo	0,08	0,08	0,09	0,09	0,10	0,12	0,13	0,10
JND obtenido	0,03	0,04	0,07	0,08	0,06	0,03	0,06	0,41

Tras ajuste los coeficientes de absorción asignados son los siguientes:

Tabla 6: Coeficientes de absorción finales para el primer ajuste

	Coeficientes de absorción por bandas de frecuencia en Hz							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Madera normal	0,055	0,055	0,06	0,09	0,09	0,1	0,1	0,00001
Madera rugosa	0,22	0,22	0,16	0,13	0,09	0,06	0,05	0,001
Panel	0,55	0,45	0,8	0,95	0,95	0,8	0,6	0,1
Madera lacada	0,07	0,075	0,07	0,07	0,06	0,06	0,005	0,015
Cristal	0,18	0,18	0,06	0,04	0,03	0,02	0,02	0,02
Butacas	0,49	0,49	0,83	0,77	0,5	0,28	0,00035	0,00001

Los errores relativos respecto de los teóricos son:

	Error relativo por frecuencia en %					
	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Butacas	28,57	21,69	3,90	70,00	167,86	185614,29

A excepción del error a 500 Hz, se observa que los coeficientes de absorción de las butacas no se ajustan a los teóricos dentro de los márgenes de error, en estos casos el mínimo error es de un 21,69 %.

5.4.2.6. Estudio sobre la computación de la absorción del aire en Odeon

Aunque el volumen del recinto es inferior a 5000 m³, la influencia de la absorción del aire para esta sala, sobre todo para medias y altas frecuencias es considerable. Se ha realizado un pequeño estudio para hallar qué constantes m utiliza Odeon en función de la temperatura y la humedad relativa del aire con el fin de compararlas con las tablas de referencia teóricas y así

evaluar el posible error cometido en la simulación y en 8000 Hz especialmente. Se crea un nuevo modelo muy simple, un cubo cuyo volumen es de 5755,29 m³, y por lo tanto, mayor de 5000 m³. Se le asigna un coeficiente de absorción a los materiales, inferior a 0,2, para poder simplificar los cálculos y poder aplicar la fórmula de Sabine para el tiempo de reverberación.

$$T_{30}(s) = \frac{0.161 * V}{S_T * \alpha + 4mV}$$

Ecuación 8: Fórmula de Sabine para el T_r

En la siguiente ventana de Odeon podemos ver la absorción total de los materiales:

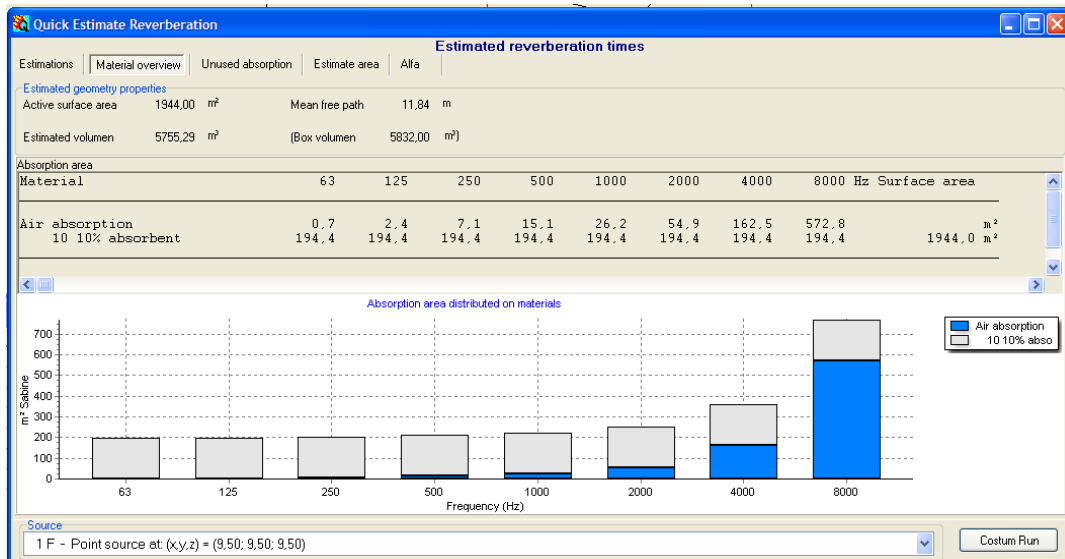


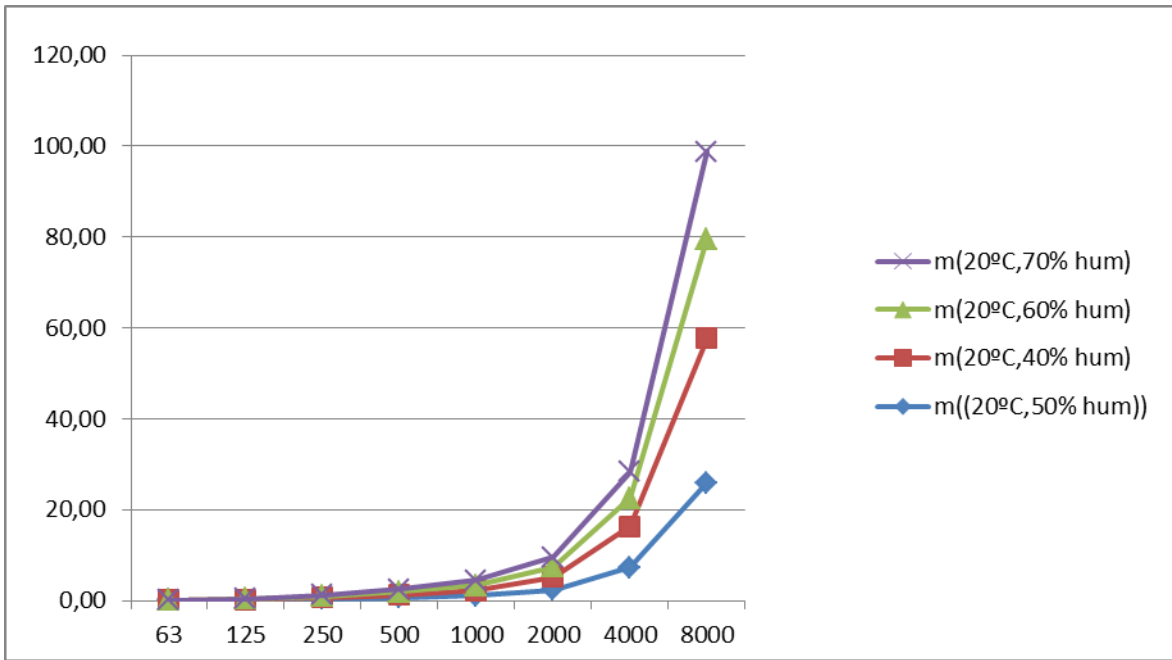
Imagen 30: Captura de pantalla. Absorciones para el estudio de absorción del aire en Odeon

Despejando los valores *m* obtenemos los datos y las siguientes gráficas:

Tabla 7: Constantes de atenuación del aire en Odeon

m (T ^a , hum %)	Constante de atenuación del aire Odeon en [10-3m-1]							
	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 KHz	2 KHz	4 K Hz	8 KHz
m(20°C,40% hum)	0,03	0,12	0,32	0,61	1,09	2,74	8,98	31,79
m(20°C,50% hum)	0,03	0,11	0,31	0,63	1,10	2,40	7,31	25,90
m(20°C,60% hum)	0,03	0,09	0,29	0,64	1,13	2,24	6,30	21,94
m(20°C,70% hum)	0,02	0,08	0,27	0,65	1,16	2,16	5,66	19,17
m(18°C,50% hum)	0,03	0,11	0,30	0,59	1,04	2,46	7,90	28,11
m(19°C,50% hum)	0,03	0,11	0,30	0,61	1,07	2,42	7,59	26,98
m(20°C,50% hum)	0,03	0,11	0,31	0,63	1,10	2,40	7,31	25,90
m(21°C,50% hum)	0,03	0,10	0,31	0,66	1,14	2,38	7,06	

Gráfica 1: Constante de atenuación del aire para 20°C y distinta humedad relativa



Gráfica 2: Constante de atenuación del aire para una humedad relativa de 50% y distintas temperaturas

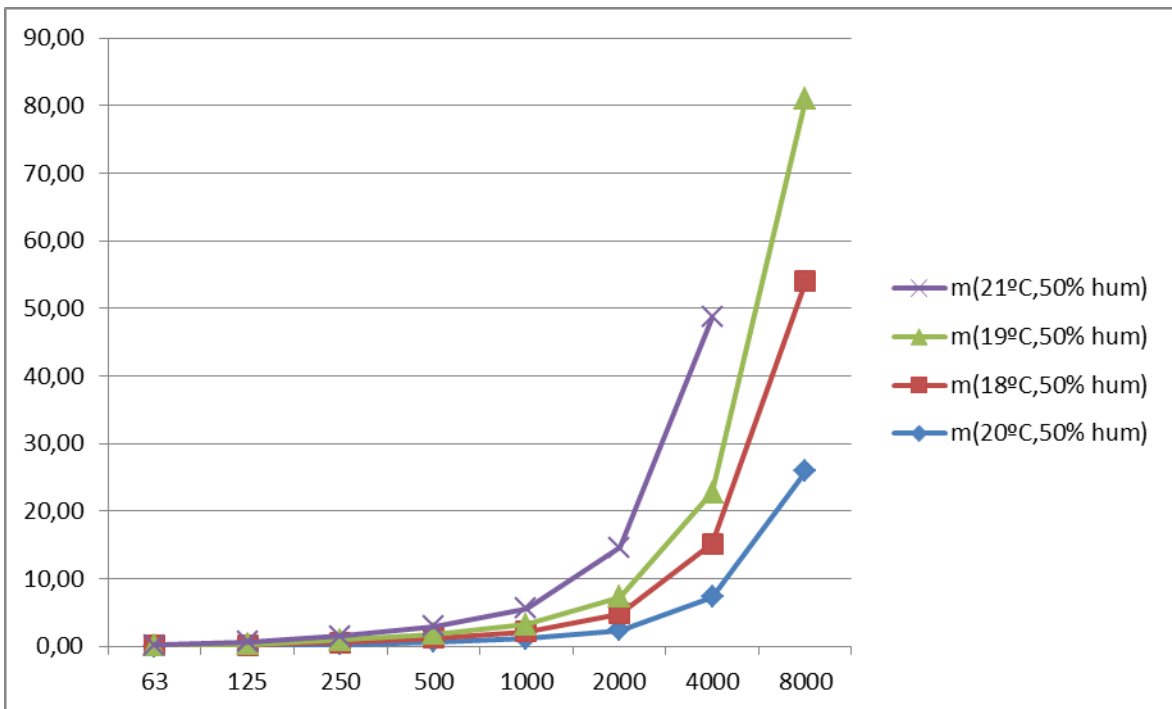


Tabla 8: Constantes de atenuaciones del aire teóricas y calculadas a partir de Odeon

m (Tª, hum %)	Constante de atenuación del aire Odeon en [10-3m-1]					Constante de atenuación del aire teórica en [10-3m-1]				
	500 Hz	1 KHz	2 KHz	4 K Hz	8 KHz	500 Hz	1 KHz	2 KHz	4 K Hz	8 KHz
m(20°C,40% hum)	0,61	1,09	2,74	8,98	31,79	0,6	1,07	2,58	8,4	30
m(20°C,50% hum)	0,63	1,10	2,40	7,31	25,90	0,63	1,08	2,28	6,84	24,29
m(20°C,60% hum)	0,64	1,13	2,24	6,30	21,94	0,64	1,11	2,14	5,91	20,52
m(20°C,70% hum)	0,65	1,16	2,16	5,66	19,17	0,64	1,15	2,08	5,32	17,91

Tabla 9: Error relativo entre constantes de atenuación

	Error relativo %				
	500 Hz	1 KHz	2 KHz	4 K Hz	8 KHz
m(20°C,40% hum)	1,67	1,87	6,20	6,90	5,97
m(20°C,50% hum)	0,00	1,85	5,26	6,87	6,63
m(20°C,60% hum)	0,00	1,80	4,67	6,60	6,92
m(20°C,70% hum)	1,56	0,87	3,85	6,39	7,04

Se aprecia que los errores en general son menores de un 7% y más altos a más alta frecuencia. La absorción que calcula Odeon es ligeramente mayor que la teórica, con lo que se aplicará una corrección para conseguir un tiempo de absorción correcto a 8 KHz.

5.4.2.7. Estudio sobre la absorción de las butacas

Con la intención de buscar un nuevo criterio de ajuste y dado que se tienen los tiempos de reverberación de la sala antes de la colocación de las butacas y del panel perforado, se da la posibilidad de poder calcular los coeficientes de absorción medios de toda la madera y posteriormente los de las butacas.

Fundamento teórico

1. Partimos de la situación 1:

Recinto sin panel perforado y sin butacas y de la siguiente fórmula se obtiene el coeficiente $\tilde{\alpha}_{mad}$

$$T_{30sit1} = \frac{0.161 * V}{S_T \tilde{\alpha}_{mad} + 4mV}$$

2. En la situación 2:

Recinto sin panel perforado y con butacas se despeja α_{but}

$$T_{30sit_2} = \frac{0.161 * V}{(S_T - S_{but})\tilde{\alpha}_{mad} + S_{but}\alpha_{but} + 4mV}$$

3. En la situación 3:

Recinto con todos los materiales, se despeja un nuevo α_{but}

$$T_{30sit_3} = \frac{0.161 * V}{(S_T - S_{but} - S_{panel})\tilde{\alpha}_{mad} + S_{but}\alpha_{but} + S_{panel}\alpha_{panel} + 4mV}$$

4. Se repite el proceso para la fórmula de Eyring

$$T_{30sit_4} = \frac{0.161 * V}{-S_T \ln(1 - \tilde{\alpha}_{mad}) + 4mV}$$

Resultados

Tabla 10: Cálculo de coeficientes de absorción de las butacas aplicando la fórmula de Sabine

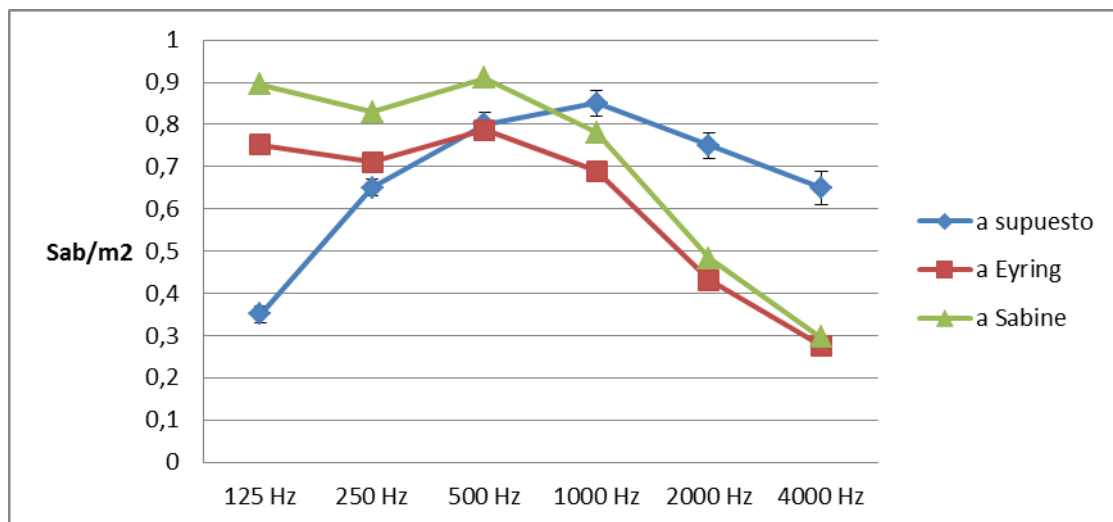
	Frecuencia [Hz]							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
T30(s) situación 1	1,94	2,83	3,99	5,03	5,34	4,60	3,96	2,22
m(20°C,50% hum)	0,03	0,11	0,31	0,63	1,10	2,40	7,31	15,00
α_{aire}	0,5	1,8	5,1	10,5	18,3	39,8	121,2	248,64
α_{med}	0,18	0,12	0,09	0,06	0,06	0,06	0,03	0,03
T30(s) situación 2	1,60	1,55	1,79	1,80	2,03	2,38	2,53	1,93
$\alpha_{but 1}$	0,49	0,95	0,96	1,08	0,92	0,63	0,43	0,22
T30(s) situación 3	1,60	1,55	1,79	1,80	2,03	2,38	2,53	1,93
α_{panel}	0,40	0,45	0,80	0,95	0,80	0,85	0,75	0,65
$\alpha_{but 2}$	0,45	0,89	0,83	0,91	0,78	0,48	0,30	0,11
$\alpha_{fabricante}$		0,35	0,65	0,8	0,85	0,75	0,65	
error fabricante		0,02	0,02	0,03	0,03	0,03	0,04	
error relativo(%)		60,85	21,65	12,14	8,85	55,10	119,63	

Tabla 11: Cálculo de coeficientes de absorción de las butacas aplicando la fórmula de Eyring

	Frecuencia [Hz]							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
T30(s) situación 1	1,94	2,83	3,99	5,03	5,34	4,60	3,96	2,22
m(20°C,50% hum)	0,03	0,11	0,31	0,63	1,10	2,40	7,31	15,00
α_{aire}	0,50	1,80	5,10	10,50	18,30	39,80	121,20	248,64
$\ln(1 - \alpha_{\text{med}})$	-0,18	-0,12	-0,09	-0,06	-0,06	-0,06	-0,03	-0,03
α_{med}	0,17	0,12	0,08	0,06	0,06	0,05	0,02	0,03
T30(s) situación 2	1,60	1,55	1,79	1,80	2,03	2,38	2,53	1,93
$\ln(1 - \alpha_{\text{med}})$	-0,22	-0,23	-0,20	-0,19	-0,16	-0,13	-0,08	-0,05
α_{med}	0,20	0,20	0,18	0,17	0,15	0,12	0,07	0,05
α_{but1}	0,42	0,81	0,84	0,95	0,83	0,58	0,41	0,21
T30(s) situación 3	1,60	1,55	1,79	1,80	2,03	2,38	2,53	1,93
α_{panel}	0,40	0,45	0,80	0,95	0,80	0,85	0,75	0,65
α_{but2}	0,37	0,75	0,71	0,79	0,69	0,43	0,28	0,10
$\alpha_{\text{fabricante}}$		0,35	0,65	0,8	0,85	0,75	0,65	
error fabricante		0,02	0,02	0,03	0,03	0,03	0,04	
error relativo(%)		53,42	8,52	1,62	23,36	73,88	135,82	

Respecto a los valores dados por el fabricante se aprecia un error considerable, aplicando la fórmula de Sabine desde un mínimo de un 12'14 % hasta casi un 120 % y aplicando la de Eyring desde un mínimo de 1,62 hasta algo más de un 135 %. Estos datos se alejan muchísimo de los errores admitidos por el fabricante, como se observa en la siguiente gráfica:

Gráfica 3: Comparativa de coeficientes de absorción dados por el fabricante, calculados según Sabine y calculados según Eyring



5.4.2.8. Ajuste mejorado

Para el ajuste mejorado se utilizarán los coeficientes calculados en el punto anterior ajustando la sala con sólo 4 materiales:

- Toda la madera: los mismos coeficientes para la madera lacada, rugosa y normal.
- Panel perforado
- Cristal
- Butacas

Se utiliza una copia del proyecto en Odeon del primer ajuste, se crean los nuevos materiales y se asignan a las capas. Se cambia en el menú *Room Setup* la humedad relativa del aire a 62%.

Room setup

Calculation parameters | Air conditions /STI parameter/model check

Background Noise for STI, U(nn) etc. (only 125-8000 Hz for STI calculations)

Noise at 63 Hz octave band: -99,0 dB

Noise at 125 Hz octave band: -99,0 dB

Noise at 250 Hz octave band: -99,0 dB

Noise at 500 Hz octave band: -99,0 dB

Noise at 1000 Hz octave band: -99,0 dB

Noise at 2000 Hz octave band: -99,0 dB

Noise at 4000 Hz octave band: -99,0 dB

Noise at 8000 Hz octave band: -99,0 dB

Apply NC curve: NC15

+1 dB

-1 dB

Total levels

Linear: -90,0 dB

A-weighted: -92,0 dB(A)

Background noise levels

SPL(dB)

Frequency (Hz)

Model check

Max accept. Warp: 0,010 m

Max accept. wall overlap: 0,050 m

Air conditions

Temperature: 20,00 °C

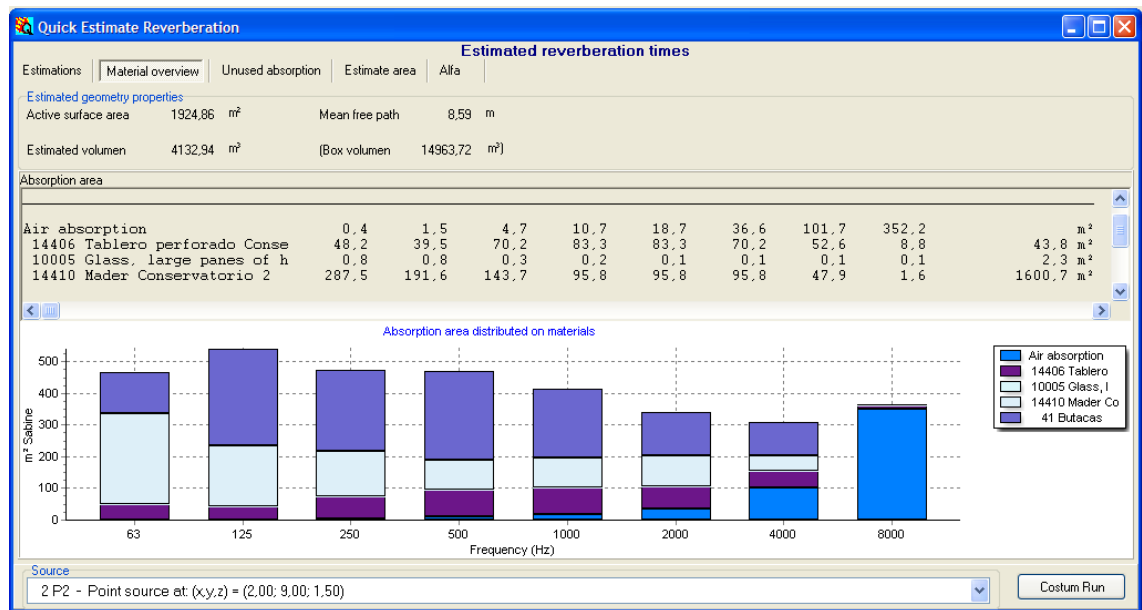
Relative humidity: 62,00 %

Cómo en el caso anterior, realizamos la simulación completa (*Run All Jobs*) y se obtiene el T30(s) por frecuencia, si los valores no se encuentran dentro de 1 JND, modificamos el coeficiente de absorción de las butacas hasta conseguirlo.

En la siguiente tabla se comprueba que los valores se encuentran dentro de un 1 JND:

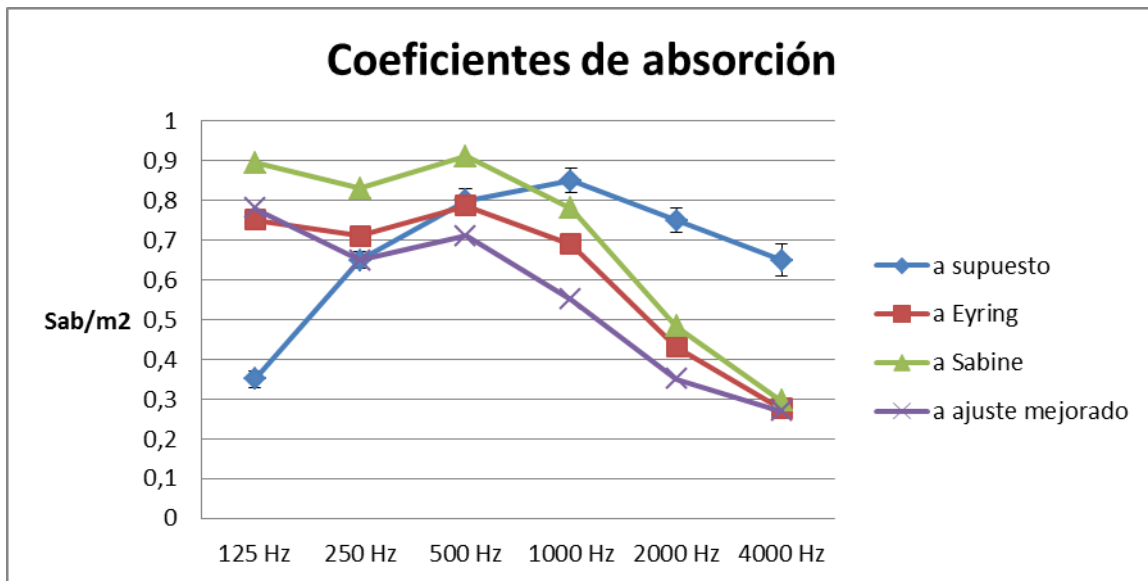
	Bandas de frecuencia en Hz							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
T30(s) real	1,60	1,55	1,79	1,80	2,03	2,38	2,53	1,93
T30(s) simulado	1,63	1,61	1,81	1,86	2,03	2,36	2,6	1,85
JND máximo	0,08	0,08	0,09	0,09	0,10	0,12	0,13	0,10
JND obtenido	0,03	0,06	0,02	0,06	0,00	0,02	0,07	0,08

Una vez ajustado, se obtiene la siguiente tabla de absorciones (menú *Quick estimate Reverberation*):



En este punto es interesante volver a comparar las gráficas de absorciones de las butacas, para comparar si las absorciones del ajuste son más parecidas a las dadas por el fabricante:

Gráfica 4: Comparativa de absorción de las butacas por frecuencia



Excepto para la 125 Hz, las absorciones de la simulación son menores que las teóricas. Se observa la misma tendencia que para las absorciones teóricas calculadas a partir de los datos medidos in situ.

5.4.3. SIMULACIONES CON TODOS LOS RECEPTORES

Para comprobar la eficiencia del programa, es necesario realizar simulaciones con un volumen grande de datos también tal y cómo se ha hecho en la toma de medidas. En este apartado se van a generar resultados que posteriormente se analizarán con ayuda de la aplicación.

5.4.3.1. Cargar receptores

El primer paso es hacer una copia del documento de Odeon de archivo mejorado y colocar los 375 receptores en sus posiciones correspondientes. Introducir uno por uno cada receptor resultaría una tarea tediosa, por ello se ha decidido utilizar la función *Importar XML* de Odeon.

Se genera un documento XML con una tabla que contenga los siguientes datos por receptor desde Excel.

- Nombre del receptor
- Posición x
- Posición y
- Posición z

	A	B	C	D	E	F	G	H
1			Receptor	x	y	z		
2	Receiver	"	1 "	-7,18	33,08	9		
3	Receiver	"	2 "	-6,64	33,08	9		
4	Receiver	"	3 "	-6,1	33,08	9		
5	Receiver	"	4 "	-5,56	33,08	9		
6	Receiver	"	5 "	-4,97	33,08	9		
7	Receiver	"	6 "	-4,37	33,08	9		
8	Receiver	"	7 "	-3,77	33,08	9		
9	Receiver	"	8 "	-2,09	33,08	9		
10	Receiver	"	9 "	-1,49	33,08	9		
11	Receiver	"	10 "	-0,89	33,08	9		
12	Receiver	"	11 "	-0,29	33,08	9		
13	Receiver	"	12 "	0,31	33,08	9		

Imagen 31: Documento XML de receptores

El dato correspondiente a z no tiene porqué ser concreto, será necesario únicamente que estén situados por encima del área de audiencia.

En el menú de editar fuentes y receptores (*Source receiver List*), eliminamos todos los receptores, cargamos el XML y editamos cada uno para que se encuentre a 1'20 m sobre el área de audiencia.

5.4.3.2. Simulación para obtener T30 variando el coeficiente de absorción de las butacas

Para el primer ejemplo de uso de la aplicación se ha decidido realizar distintas simulaciones variando el coeficientes de absorción de las butacas entre un $\pm 5\%$ y un $\pm 10\%$.

A partir de los coeficientes asignados a las butacas en el ajuste mejorado se crea una tabla con los coeficientes + su variación porcentual:

Tabla 12: Coeficientes de absorción de las butacas

Coeficientes de absorción	F 63 Hz	F125 Hz	F 250 Hz	F 500 Hz	F 1000 Hz	F 2000 Hz	F 4000 Hz	F 8000 Hz
α_b	0,33	0,78	0,65	0,71	0,55	0,35	0,27	0,0010
$\alpha_b + 5\%$	0,35	0,82	0,68	0,75	0,58	0,37	0,284	0,0011
$\alpha_b - 5\%$	0,31	0,74	0,62	0,67	0,52	0,33	0,26	0,0010
$\alpha_b + 10\%$	0,36	0,86	0,72	0,78	0,61	0,39	0,30	0,0011
$\alpha_b - 10\%$	0,30	0,70	0,59	0,64	0,50	0,32	0,24	0,0009

Se crea un nuevo documento para cada simulación, y en cada una:

1. Se edita un nuevo material con los coeficientes de absorción de la Tabla 13 y se asigna a las áreas de audiencia.
2. Se editan los parámetros a mostrar en el menú configuración Menú *Toolbar/Room acoustic parameter list* botón *Expand tables* y checkear los que se deban mostrar, al menos T(30).

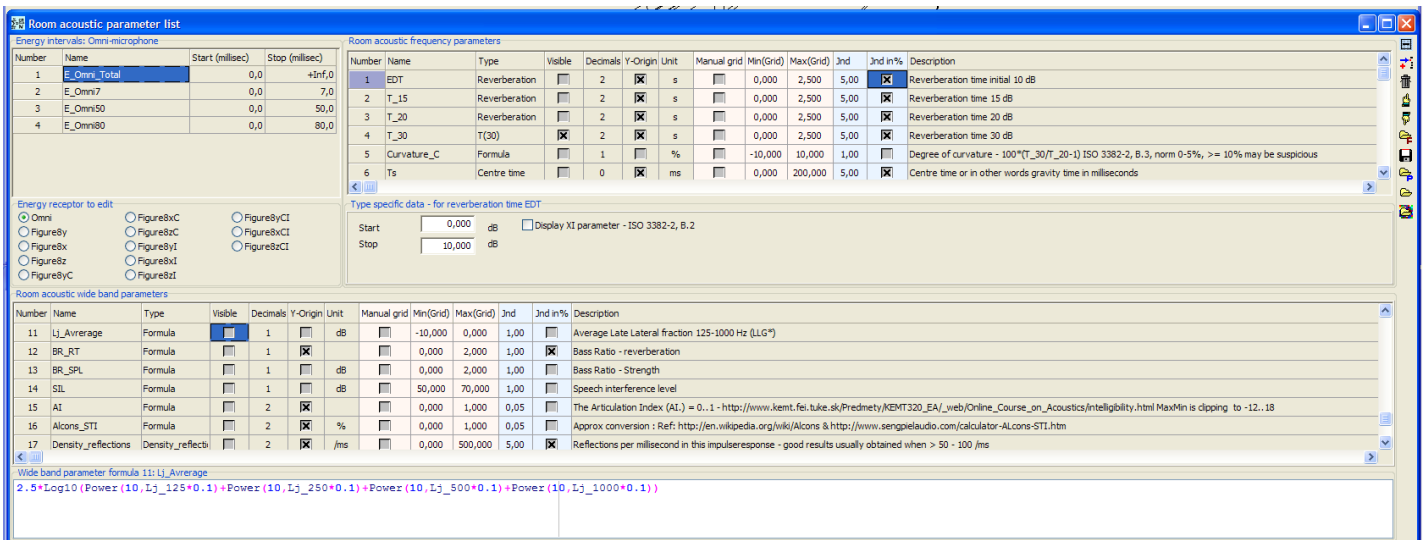


Imagen 32: Captura de pantalla. *Room acoustic parameter list*

3. Se ejecuta la simulación completa (menú *Job List*, clic en *Run All Jobs*)
4. Se exportan los resultados a .txt

Con la ventana de *Multi Point response...* abierta ir al menú *Energy Parameters/ASCCI Output* y guardar los datos

5.4.3.3. Simulación para obtener C80 variando el número de rayos

Para el segundo ejemplo de uso de la aplicación se ha decidido realizar distintas simulaciones del modelo ajustado variando el número de rayos con la intención de comparar después el parámetro C80 obtenido en la simulación con el medido en la sala.

Se crea un nuevo documento para cada simulación, y en cada una:

1. En el menú *Calculation Param* se elige *Room Setup* y se varía el número de rayos (196, 707, 1401, 3019 o 5542)
2. Se editan los parámetros a mostrar en el menú configuración Menú *Toolbar/Room acoustic parameter list* botón *Expand tables* y checkear los que se deban mostrar, al menos C(80).

3. Se ejecuta la simulación completa (menú *Job List*, clic en *Run All Jobs*)
4. Se exportan los resultados a .txt

Con la ventana de *Multi Point response...* abierta ir al menú *Energy Parameters/ASCCI Output* y guardar los datos

5.4.4. PREPARACIÓN DE LOS DATOS PARA SU ANÁLISIS

5.4.4.1. Modificación de los .txt

La aplicación para manipular los datos abre archivos Excel y tiene la opción de importar archivos .txt. Cada parámetro se coloca en una hoja de Excel, por lo que para evitar incompatibilidades es necesario modificar el archivo final:

- Eliminar todas las líneas que no correspondan a datos en cada receptor o grid de la malla y escribir en la última línea *Point* para datos multipunto.
- Cambiar TAB por SPACE
- Puntos por comas
- [] por ()
- Si hay para la primera posición/receptor hay más de un parámetro que se llame igual se debe cambiar. Por ejemplo si hay dos *corr*, poner al segundo *corr2*
- Cada vector de frecuencias debe ir precedido por su parámetro, no se aceptan líneas de sólo valores numéricos.
- Los nombres admitidos para los parámetros deben ser compatibles con los nombres asignables a hojas de Excel, por ejemplo, no se aceptan parámetros con paréntesis dobles como $XI(T(20))$, deberán cambiarse por $XI(T20)$.
- Los valores numéricos deben ser decimales concretos, no es válido conjuntos de caracteres como -INF.

```

Point response energy parameters for job 1
Receiver Number: 1 1 (x,y,z) = (-7,18; 33,08; 10,17)
Param, simulated 63 125 250 500 1000 2000 4000 8000 Param, measured 63 125 250 500 1000 2000 4000 8000 JN:
EDI 1,29 1,39 1,47 1,57 1,50 1,89 2,09 1,06 EDI - - - - - EDI - - - - -
T(20) 1,55 1,68 1,79 1,99 1,75 2,12 2,38 1,33 T(20) - - - - - T(20) - - - - -
XI(T20) 8,9 11,3 24,5 56,2 51,8 7,9 4,6 3,1 XI(T20) - - - - - XI(T20) - - - - -
T(30) 1,48 1,47 1,58 1,71 1,71 2,06 2,33 1,34 T(30) - - - - - T(30) - - - - -
XI(T30) 4,1 11,3 14,6 40,2 21,2 3,7 2,6 1,9 XI(T30) - - - - - XI(T30) - - - - -
Echo(Dietsch) 0,62 0,62 0,64 0,71 0,80 0,73 0,74 0,77 Echo(Dietsch) - - - - - Echo(Dietsch) - - - - -
Density(reflections) 33,94 Density(reflections) - Density(reflections) -
Point response energy parameters for job 1
Receiver Number: 2 2 (x,y,z) = (-6,64; 33,08; 10,17)
Param, simulated 63 125 250 500 1000 2000 4000 8000 Param, measured 63 125 250 500 1000 2000 4000 8000 JN:
EDI 1,30 1,35 1,43 1,48 1,47 1,86 2,11 1,14 EDI - - - - - EDI - - - - -
T(20) 1,58 1,71 1,82 2,03 1,84 2,08 2,30 1,31 T(20) - - - - - T(20) - - - - -
XI(T20) 2,0 15,0 30,0 72,0 39,9 5,8 1,3 1,4 XI(T20) - - - - - XI(T20) - - - - -
T(30) 1,48 1,51 1,67 1,82 1,82 2,03 2,27 1,33 T(30) - - - - - T(30) - - - - -
XI(T30) 2,7 10,9 13,9 38,7 19,2 2,2 0,7 0,8 XI(T30) - - - - - XI(T30) - - - - -
Echo(Dietsch) 0,53 0,55 0,55 0,62 0,58 0,59 0,60 0,54 Echo(Dietsch) - - - - - Echo(Dietsch) - - - - -
Density(reflections) 37,76 Density(reflections) - Density(reflections) -
Point response energy parameters for job 1
Receiver Number: 3 3 (x,y,z) = (-6,10; 33,08; 10,17)
Param, simulated 63 125 250 500 1000 2000 4000 8000 Param, measured 63 125 250 500 1000 2000 4000 8000 JN:
EDI 1,27 1,34 1,40 1,44 1,46 1,82 2,10 1,13 EDI - - - - - EDI - - - - -
T(20) 1,59 1,68 1,78 1,91 1,86 2,07 2,31 1,32 T(20) - - - - - T(20) - - - - -
XI(T20) 1,8 12,3 21,8 54,9 26,3 4,5 1,6 1,3 XI(T20) - - - - - XI(T20) - - - - -
T(30) 1,49 1,51 1,69 1,86 1,85 2,04 2,28 1,33 T(30) - - - - - T(30) - - - - -
XI(T30) 3,7 8,6 12,1 31,9 16,3 2,8 0,6 0,7 XI(T30) - - - - - XI(T30) - - - - -
Echo(Dietsch) 0,52 0,51 0,52 0,55 0,55 0,58 0,59 0,53 Echo(Dietsch) - - - - - Echo(Dietsch) - - - - -
Density(reflections) 37,27 Density(reflections) - Density(reflections) -
Point response energy parameters for job 1
Receiver Number: 4 4 (x,y,z) = (-5,56; 33,08; 10,17)
Param, simulated 63 125 250 500 1000 2000 4000 8000 Param, measured 63 125 250 500 1000 2000 4000 8000 JN:
EDI 1,27 1,34 1,40 1,44 1,47 1,85 2,10 1,13 EDI - - - - - EDI - - - - -
T(20) 1,59 1,62 1,75 1,84 1,85 2,07 2,31 1,33 T(20) - - - - - T(20) - - - - -

```

Imagen 33: Ejemplo archivo multipunto importable por la aplicación

6. PROGRAMA

6.1. OBJETIVO

El objetivo de este programa es facilitar el análisis tanto de los parámetros medidos en una sala como de los obtenidos con una simulación de Odeon así como su comparación.

En este ejemplo de aplicación, donde el volumen de datos es enorme se crea la necesidad de programar una herramienta que automatice procesos que resultarían tediosos con una hoja de cálculo convencional como podrían ser el cálculo de medias, de desviaciones típicas, filtrados y elaboración de gráficas.

Por otro lado, resulta muy útil poder realizar la resta de distintos parámetros de winMLS, resta entre distintas mallas de Odeon y otras operaciones que no permiten realizar ni Odeon ni winMLS pero que muy a menudo resultan indispensables en acústica de salas.

También se ha dado mucha importancia a la representación gráfica de los distintos resultados.

6.2. INTRODUCCIÓN

En primer lugar, hay distintos motivos por los cuales se decidió utilizar Visual Basic. Por un lado ya tenía experiencia previa en este tipo de programación en aplicaciones muchísimo más simples y con versiones anteriores, me ha servido para aprender mucho más e investigar sobre este lenguaje de programación que no se da en ninguna asignatura de la carrera. Por otro, el motivo principal, ha sido que Visual Basic dispone de herramientas muy potentes para la creación y gestión de bases de datos con lo que ofrece muchísimas posibilidades. Además es relativamente sencilla integrar la interoperabilidad de programas, es decir, desde VB podemos ejecutar cualquier programa que esté instalado en el ordenador.

Se ha diseñado el programa de forma que sea modular, es decir, que en posibles actualizaciones sea sencillo editar las distintas funciones, que sirva para cualquier archivo exportado de winMLS y/u Odeon, cualquier sala y cualquier número de receptores, con el fin de que la aplicación no sirva sólo para el caso tratado en concreto del Auditorio Fernando Remacha.

Para la representación parámetros acústicos en función de la disposición geométrica de la sala se ha integrado el programa Matlab de forma que a partir de una hoja de resultados se puede ejecutar cualquier función guardada en el ordenador del usuario que sea compatible con los datos. Por defecto se encuentra predefinida la función que crea las gráficas del Auditorio Fernando Remacha, con el que se pondrá a prueba la eficiencia del programa, pero esta opción es totalmente modificable.

En este apartado no se pretende especificar el código y todos los aspectos necesarios para la creación de la aplicación, sería casi imposible especificar cada mínimo aspecto configurado de forma clara, sino explicar de una forma amena los aspectos más importantes, algoritmos utilizados y aspectos de diseño básicos. Para profundizar más lo mejor es abrir el archivo de Visual Basic y revisarlo directamente.

Algunos datos generales sobre la aplicación:

- Número de líneas de código: 4115
- Número de funciones diseñadas, sin contar controles ni menús : 20
- Numero de formularios: 4
- Número de cuadros de diálogo editados: 5

6.3. INTRODUCCIÓN A VISUAL BASIC EXPRESS 2008

Microsoft Visual Basic Express permite desarrollar aplicaciones para Windows de forma visual e intuitiva y compilarlas como archivos ejecutables.

La programación de la interfaz es bastante sencilla, directamente se pueden arrastrar todos los controles y objetos como botones, etiquetas, tablas, listas desplegables... editando sus propiedades que también son modificables en la programación.

Microsoft Visual Basic toma ventaja de las últimas tecnologías como temas de Windows, *Multithreadin*, conectividad a bases de datos SQL, Microsoft Forms y .NET Framework. Incluye un asistente de código que contiene con los 400 trozos de código más usados, resaltado de sintaxis y sugerencia de cambios en la misma, diseñado para ahorrar tiempo y trabajo a los programadores.

6.4. REQUISITOS DEL SISTEMA E INSTALACIÓN

6.4.1. Requisitos del sistema

Para que el programa funcione correctamente es necesario que el equipo en el que se ejecuta utilice el sistema operativo Windows Xp, o 7, ya que se han realizado dos versiones diferentes por motivos de diseño.

Deberán estar instaladas las siguientes aplicaciones:

- Excel 97 de Microsoft o una versión superior ©
- Matlab de Mathworks ©

El programa ha sido probado en un PC que utiliza Windows 7 de 64 bits, Excel 2010 y Matlab R2009a y en el de la universidad que usa Windows Xp Profesional de 32 bits, Excel 2007 y Matlab R2010b.

La aplicación ha sido diseñada para que se ejecute en sistemas operativos de 32 bits, para que sea compatible tanto en sistemas de 32 bits como de 64.

6.4.2. Cómo instalar la aplicación

Al programar en Visual Basic, cuando se ejecuta el Debug⁴ o cuando se publica la aplicación se crean carpetas dentro de la carpeta de los archivos del programa, *Debug* y *Release* según el caso. La carpeta *Release*, contiene el archivo .exe compilado desde donde se ejecuta la aplicación y todas las librerías necesarias que contienen las referencias que utiliza el programa.

Se podría utilizar un asistente de instalación para cargar la aplicación pero para ello se tendría que instalar en el equipo Microsoft SQL Server 2008 y otras aplicaciones que no tuviera el equipo, que si se quisiera desinstalar el programa y no se usan se deberían desinstalar también. Para evitar estos problemas, es mejor utilizar la aplicación preinstalada. Para empezar a utilizar la aplicación:

1. Se copia la carpeta raíz *MyAcousticTool_Setup* o *MyAcousticTool_SetupXp* en una ubicación segura, como Archivos de Programa.
2. Se copia el acceso directo de *MyAcousticTool* donde prefiera en un sitio fácilmente accesible.

⁴ Depuración de un programa en ejecución

3. Si se desea eliminar la aplicación de su equipo, sólo se deberá eliminar la carpeta y todos los accesos directos creados.

6.5. INTERFAZ Y DISEÑO

6.5.1. Objetivos que debe cumplir la interfaz

Se ha decidido realizar una interfaz que resulte al usuario lo más sencilla y a la vez completa posible conservando un equilibrio estético tanto en los colores elegidos cómo en el tipo de letra y en la presentación de los controles.

Se pretende que todos los cálculos estén a la vista y sean fácilmente seleccionables pero se muestren de forma ordenada para evitar que el usuario se agobie con la aglomeración de datos.

Las gráficas deben ser claras y mostrar todos los datos necesarios para que se entiendan.

6.5.2. Decisiones sobre diseño

Aunque lo más importante en la aplicación es la usabilidad y el contenido, para dar ser lo más profesional posible nunca hay que restar importancia al diseño y al marketing. El usuario debe sentirse cómodo con los colores, tipos de letra, gráficos y se debe crear una imagen y un nombre que se recuerden fácilmente.

Se decidió poner un nombre para la aplicación que fuera descriptivo y se eligió *MyAcousticTool*. Para identificarla mejor se creó un logo con la aplicación *Pixlr*, un editor de imágenes muy parecido a *Photoshop* con el que se trabaja online⁵.

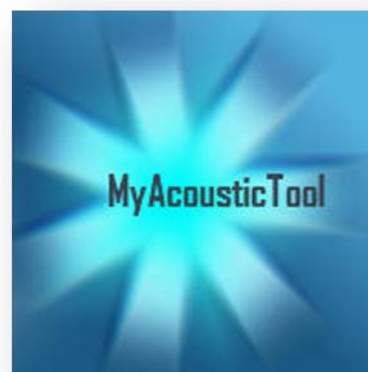


Imagen 34: Logo. MyAcousticTool

⁵ Página web de Pixlr: <http://pixlr.com/editor/>

En la página web de Favicon⁶, se pueden crear archivo .ico a partir de una imagen guardada en el ordenador, se usó esta herramienta para crear iconos de distintos tamaños para utilizarlos en la aplicación.

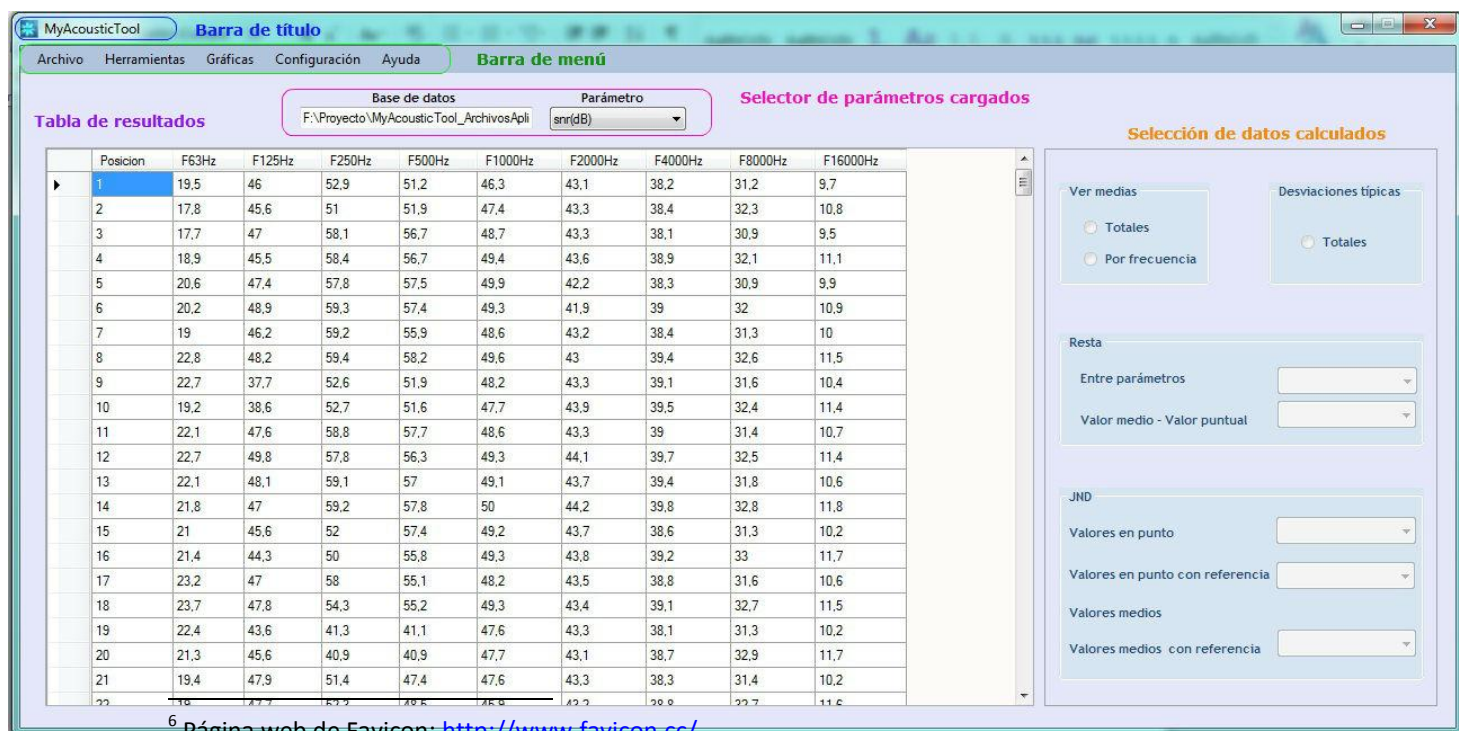
Para la interfaz del programa se decidió utilizar tonos fríos y neutros, distintos tonos de azul apagado, grises claros y blanco para mostrar los datos. El tipo de letra *Trebuchet MS* en negrita hace que la información se vea claramente. Esta elección hace que el usuario se centre en los datos y no disperse su atención. Cómo la visualización no es igual para sistemas con Windows Xp y Windows 7, se ha creado una interfaz optimizada para cada uno difiriendo ligeramente en los colores.

Aunque se podrían haber creado efectos gráficos se decidió no hacerlo, esto consume más recursos y no aporta mayor información al usuario.

6.5.3. Organización de la interfaz

La aplicación parte de un formulario principal que consta de las siguientes partes:

- **Tabla de resultados** que se carga en un *DataGridView*
- **Selector de parámetros cargados** en la aplicación, en un *ComboBox*
- **Barra de título**
- Un **menú desplegable** desde donde se ejecutan todas las funciones del programa.
- **Panel de selección de datos calculados**, controles que permiten visualizar datos calculados a partir de los parámetros cargados en la aplicación.



⁶ Página web de Favicon: <http://www.favicon.cc/>

Imagen 35: Aplicación. Organización de la interfaz

6.6. PROGRAMACIÓN

Cómo ya se ha dicho en la introducción, no se va a exponer todo el código, sólo los algoritmos y distintos diagramas que explican de forma sencilla el funcionamiento del programa. Se utilizarán diagramas de flujo para explicar los procesos más complejos.

6.6.1. MENÚ ARCHIVO

Este es el menú que define los controles básicos, la mayoría son análogos a otros muchos programas.

6.6.1.1. SALIR

Cierra el formulario principal y cualquier otra ventana que haya quedado abierta de la aplicación. Antes de hacerlo se deben eliminar todos los procesos Excel que haya abierto el programa con la función *Reseteo* y cerrar el libro Excel del programa. Esta función se utilizará también al abrir o importar nuevos datos.

Interfaz botón

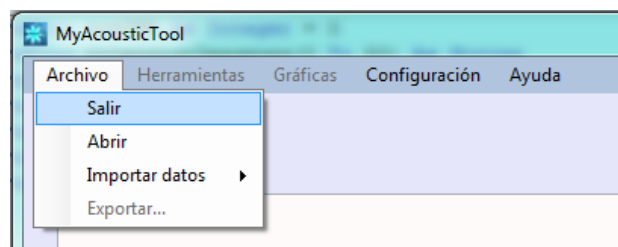


Imagen 36: Menú. Salir

Programación

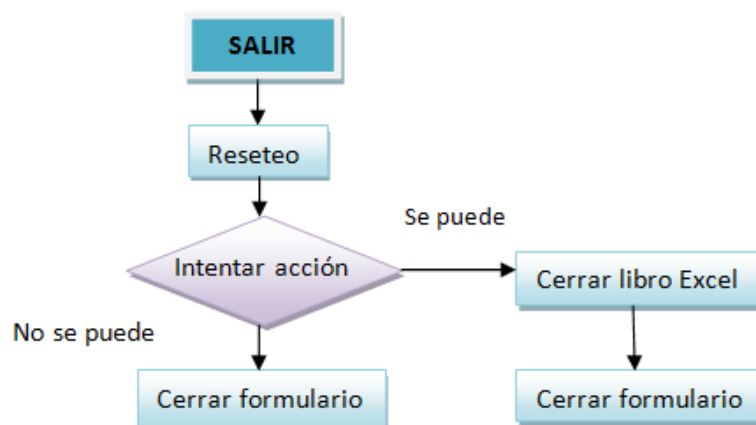


Diagrama 1: Salir

6.6.1.2. ABRIR

Se abre un archivo Excel compatible con el programa de winMLS o de Odeon y lo muestra por pantalla.

Interfaz

Se selecciona el ítem abrir del menú

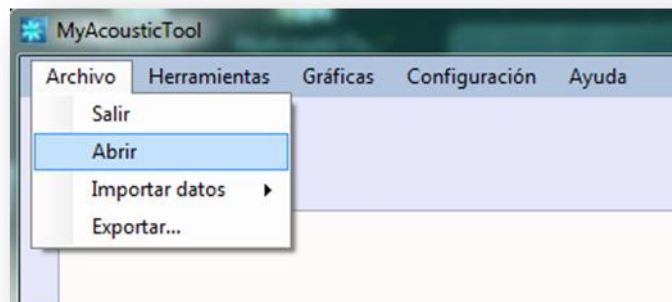


Imagen 37: Menú. Abrir

Se abre un cuadro de diálogo donde se puede elegir un archivo en Excel 97-2003.

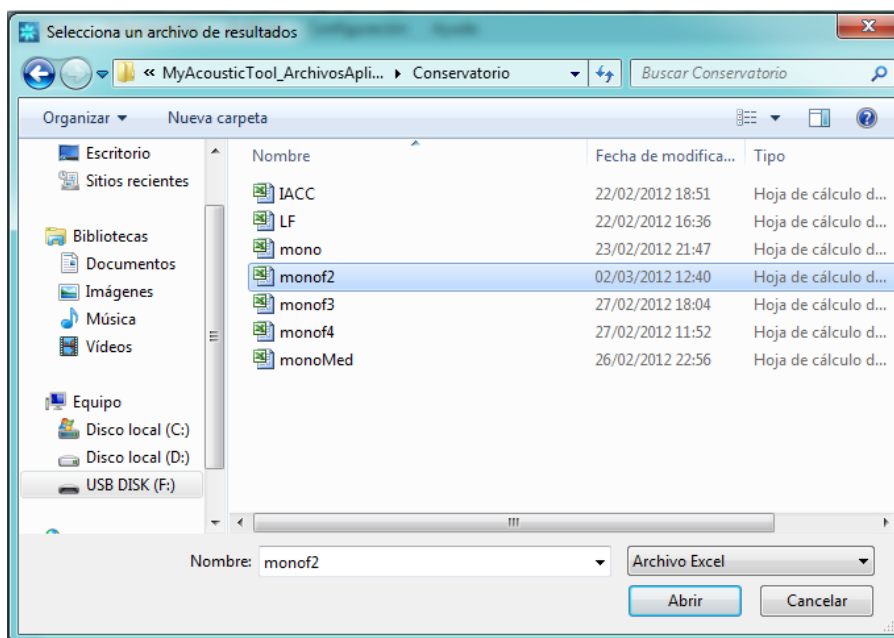


Imagen 38: Cuadro de diálogo. Abrir un archivo de resultados.

Los resultados se muestran en el programa.

The screenshot shows the MyAcousticTool application window. At the top, there is a menu bar with 'Archivo', 'Herramientas', 'Gráficas', 'Configuración', and 'Ayuda'. Below the menu, there are two dropdown menus: 'Base de datos' (set to 'F:\Proyecto\MyAcousticTool_ArchivosApl') and 'Parámetro' (set to 'snr(dB)'). The main area contains a table with 18 rows and 10 columns. The columns are labeled: Posicion, F63Hz, F125Hz, F250Hz, F500Hz, F1000Hz, F2000Hz, F4000Hz, F8000Hz, and F16000Hz. The first row is highlighted in blue. To the right of the table, there are three control panels: 'Ver medias' with radio buttons for 'Totales' and 'Por frecuencia'; 'Desviaciones típicas' with a radio button for 'Totales'; and 'Resta' with dropdown menus for 'Entre parámetros' and 'Valor en punto - Valor medio'. Below these are 'JND' controls with dropdown menus for 'Valores en punto', 'Valores en punto con referencia', 'Valores medios', and 'Valores medios con referencia'.

Posicion	F63Hz	F125Hz	F250Hz	F500Hz	F1000Hz	F2000Hz	F4000Hz	F8000Hz	F16000Hz
1	19,5	46	52,9	51,2	46,3	43,1	38,2	31,2	9,7
2	17,8	45,6	51	51,9	47,4	43,3	38,4	32,3	10,8
3	17,7	47	58,1	56,7	48,7	43,3	38,1	30,9	9,5
4	18,9	45,5	58,4	56,7	49,4	43,6	38,9	32,1	11,1
5	20,6	47,4	57,8	57,5	49,9	42,2	38,3	30,9	9,9
6	20,2	48,9	59,3	57,4	49,3	41,9	39	32	10,9
7	19	46,2	59,2	55,9	48,6	43,2	38,4	31,3	10
8	22,8	48,2	59,4	58,2	49,6	43	39,4	32,6	11,5
9	22,7	37,7	52,6	51,9	48,2	43,3	39,1	31,6	10,4
10	19,2	38,6	52,7	51,6	47,7	43,9	39,5	32,4	11,4
11	22,1	47,6	58,8	57,7	48,6	43,3	39	31,4	10,7
12	22,7	49,8	57,8	56,3	49,3	44,1	39,7	32,5	11,4
13	22,1	48,1	59,1	57	49,1	43,7	39,4	31,8	10,6
14	21,8	47	59,2	57,8	50	44,2	39,8	32,8	11,8
15	21	45,6	52	57,4	49,2	43,7	38,6	31,3	10,2
16	21,4	44,3	50	55,8	49,3	43,8	39,2	33	11,7
17	23,2	47	58	55,1	48,2	43,5	38,8	31,6	10,6
18	23,7	47,8	54,3	55,2	49,3	43,4	39,1	32,7	11,5

Imagen 40: Aplicación. Abrir un archivo de Excel

Programación

Cómo en el caso anterior, la primera acción es invocar la función *Reseteo*. Se intenta abrir el archivo llamando a la función *Excel_a_Database*, común a todas las funciones de importar datos, cuyas acciones se definirán después. Se habilitan las acciones del menú que se encuentran deshabilitadas si no hay datos con los que manejar y si el archivo no es legible muestra un mensaje de error. Ése Excel se carga en una base de datos del programa y se visualizan los datos en la tabla de resultados.

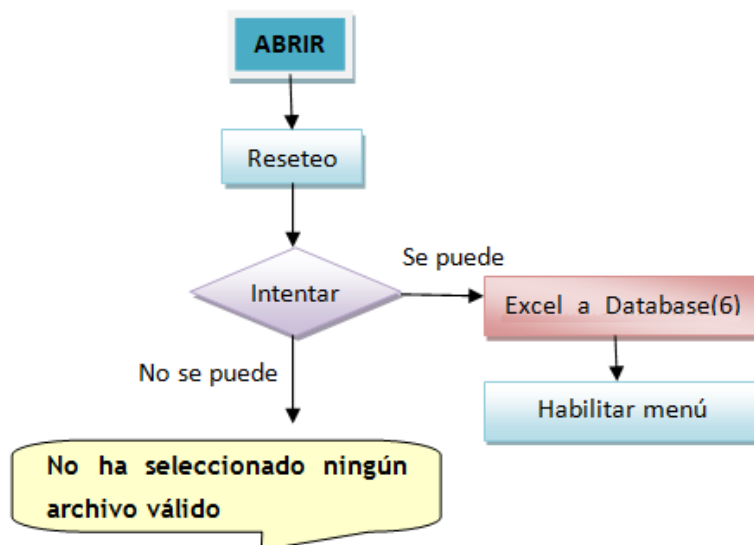


Diagrama 2: Abrir archivo

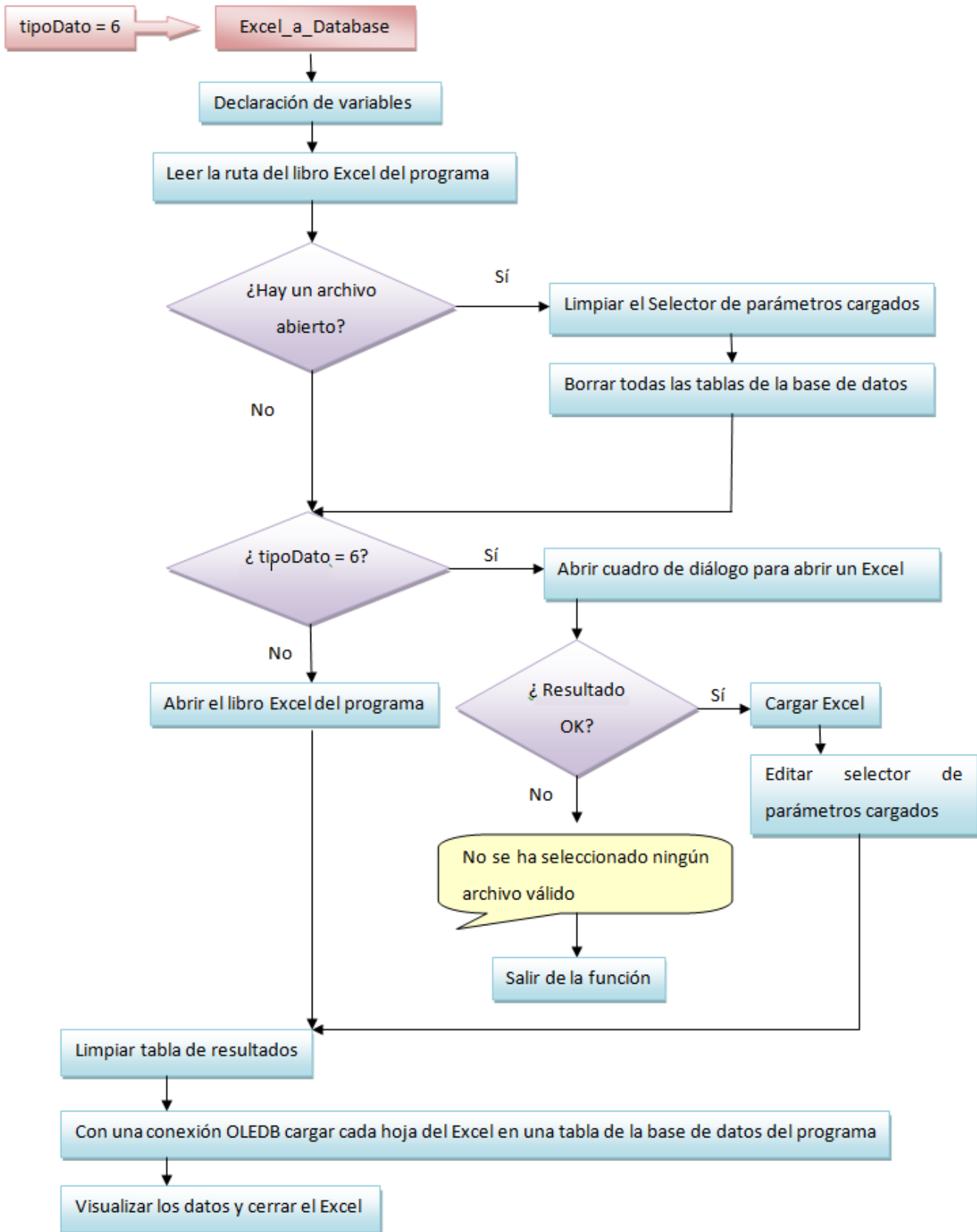


Diagrama 3: Función Excel_a_Database

6.6.1.3. IMPORTAR

Hay tres tipos de archivos que se pueden importar: archivos de winMLS, archivos de mallas de Odeon y archivos de receptores de Odeon. Como la estructura de los datos es diferente para cada uno, también se crean tres funciones diferentes para leerlos, aunque bastante parecidas.

La teoría es pasar los datos de cada archivo .txt a un Excel que el usuario puede guardar con las funciones: *Abrir_datosWINMLS*, *Abrir_datosOdeon* y *Abrir_datosOdeonReceptores*. Aunque el usuario no lo guarde, se guarda en LibroPrograma.xls auxiliar. Se carga ese Excel en la base de datos del programa con la función del punto anterior *Excel_a_Database*.

En un principio se diseñó la función *Abrir_Excel* para que leyeran los datos de winMLS con cada medida guardada en un Excel, de forma que leyese todos los archivos Excel de las medidas de una misma carpeta y los agrupase. Como resultaba poco eficiente, se creó la función *Abrir_datosWINMLS* para que se leyeran de un txt. Aunque no se va a especificar el comportamiento de esa función porque no se usa si está en el código.

Interfaces

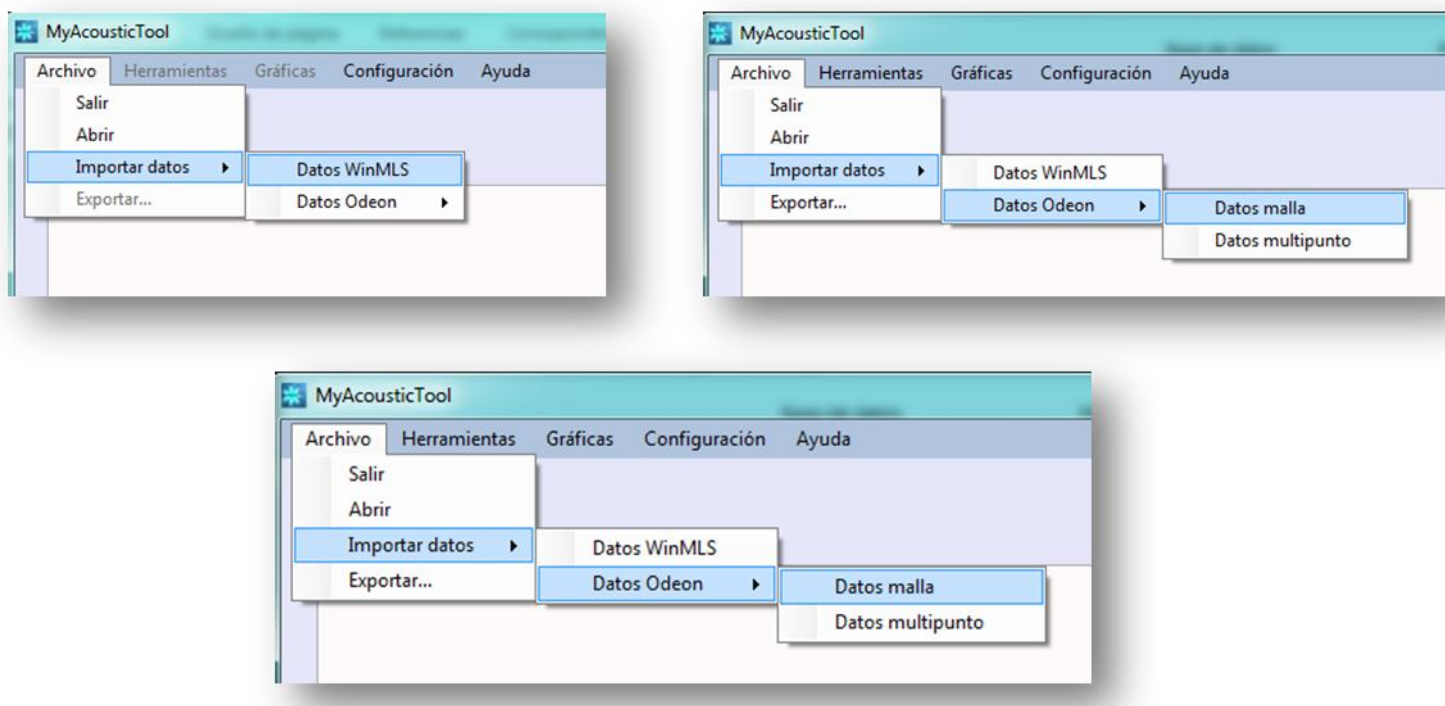


Imagen 41: Menú. Importar

Aparece un cuadro de diálogo donde pide el nombre de la base de datos a crear.

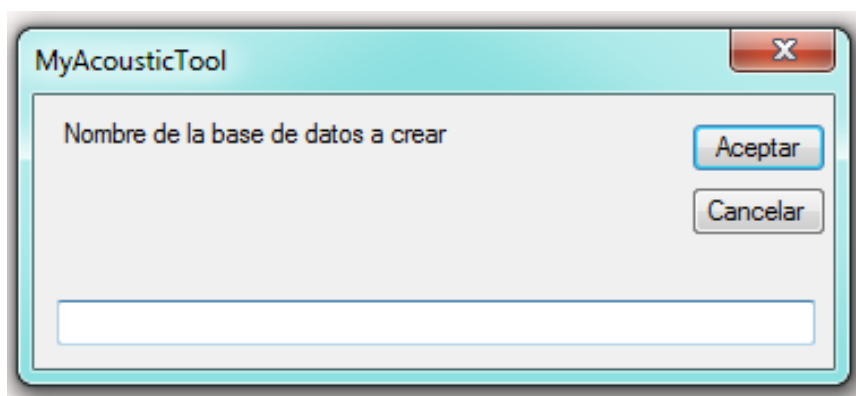


Imagen 42: Cuadro de diálogo. Insertar nombre para la base de datos.

Se selecciona un archivo .txt guardado en el equipo.

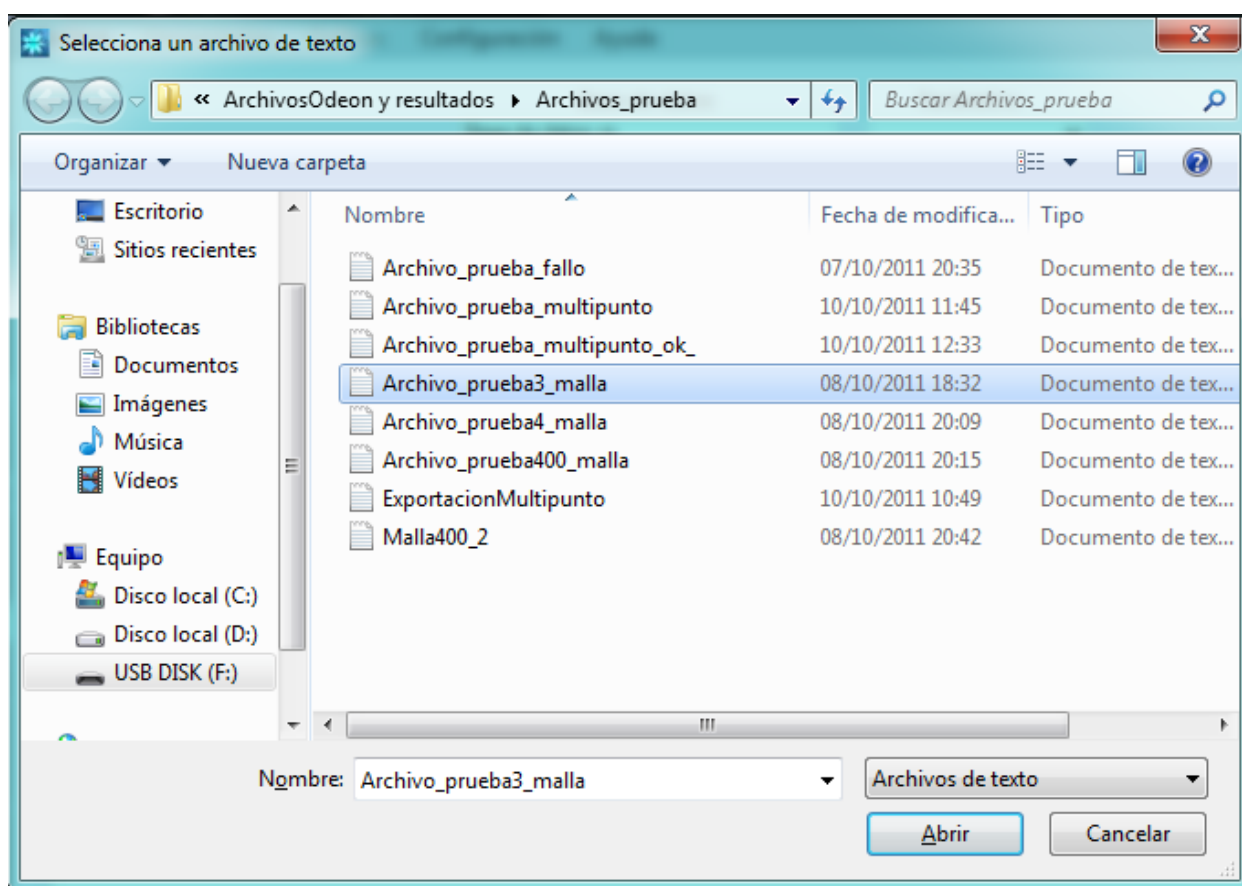


Imagen 43: Cuadro de diálogo. Seleccionar archivo .txt de datos de mallas de Odeon importable

La aplicación automáticamente crea un Excel que posteriormente se podrá utilizar en el programa y que puede guardar como un archivo de Excel 97-2003.

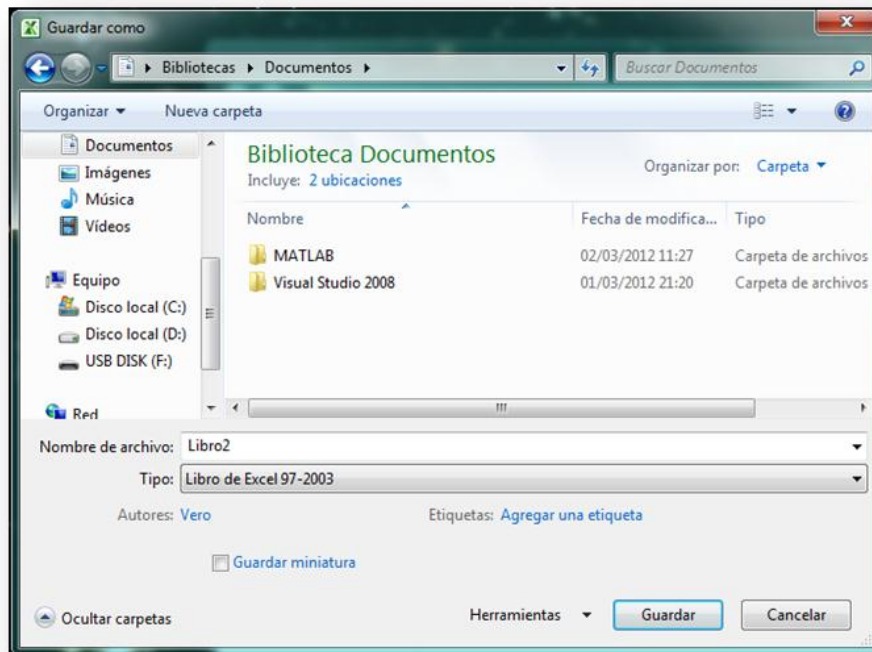


Imagen 44: Cuadro de diálogo. Guardar Excel recién importado.

Los resultados aparecen en el programa para poder manejarlos.

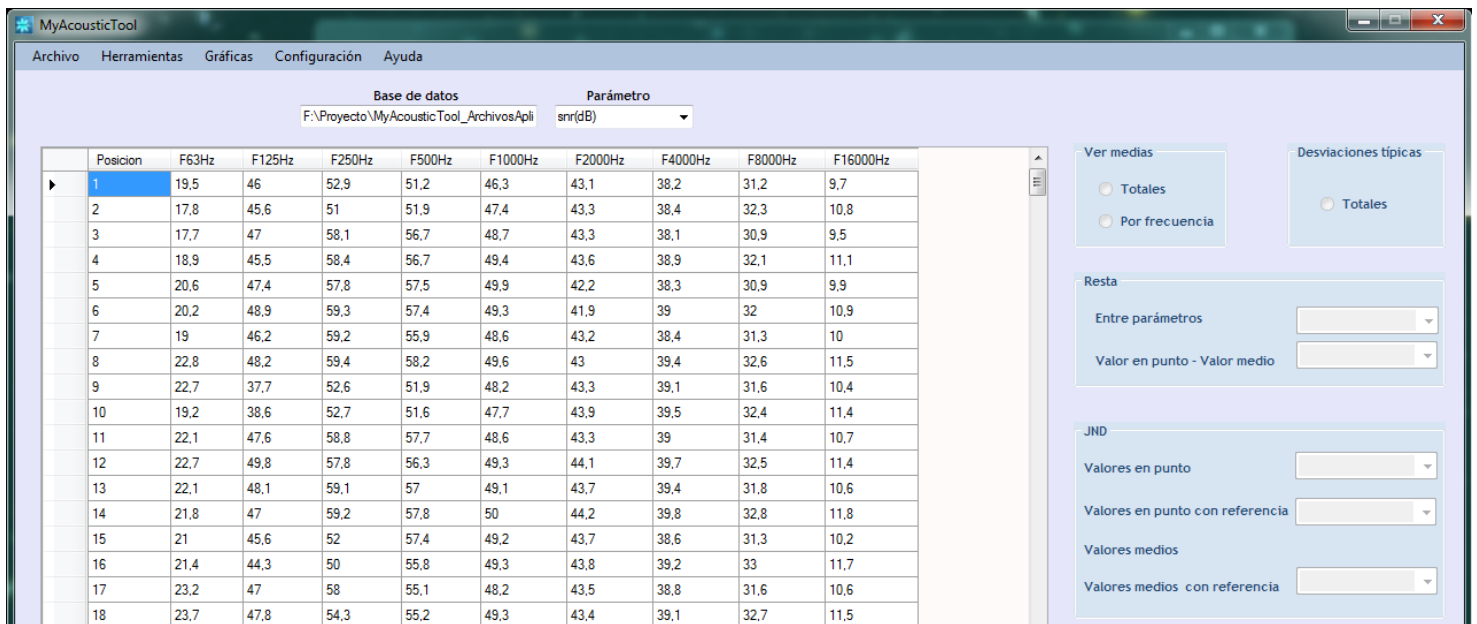


Imagen 45: Aplicación. Archivos recién importados de mallas de Odeon

Programación

Las tres formas de importar archivos pasan por la misma función *Importar*, que prepara los datos y los envía según el tipo de importación a las tres funciones que convierten el .txt en un Excel.

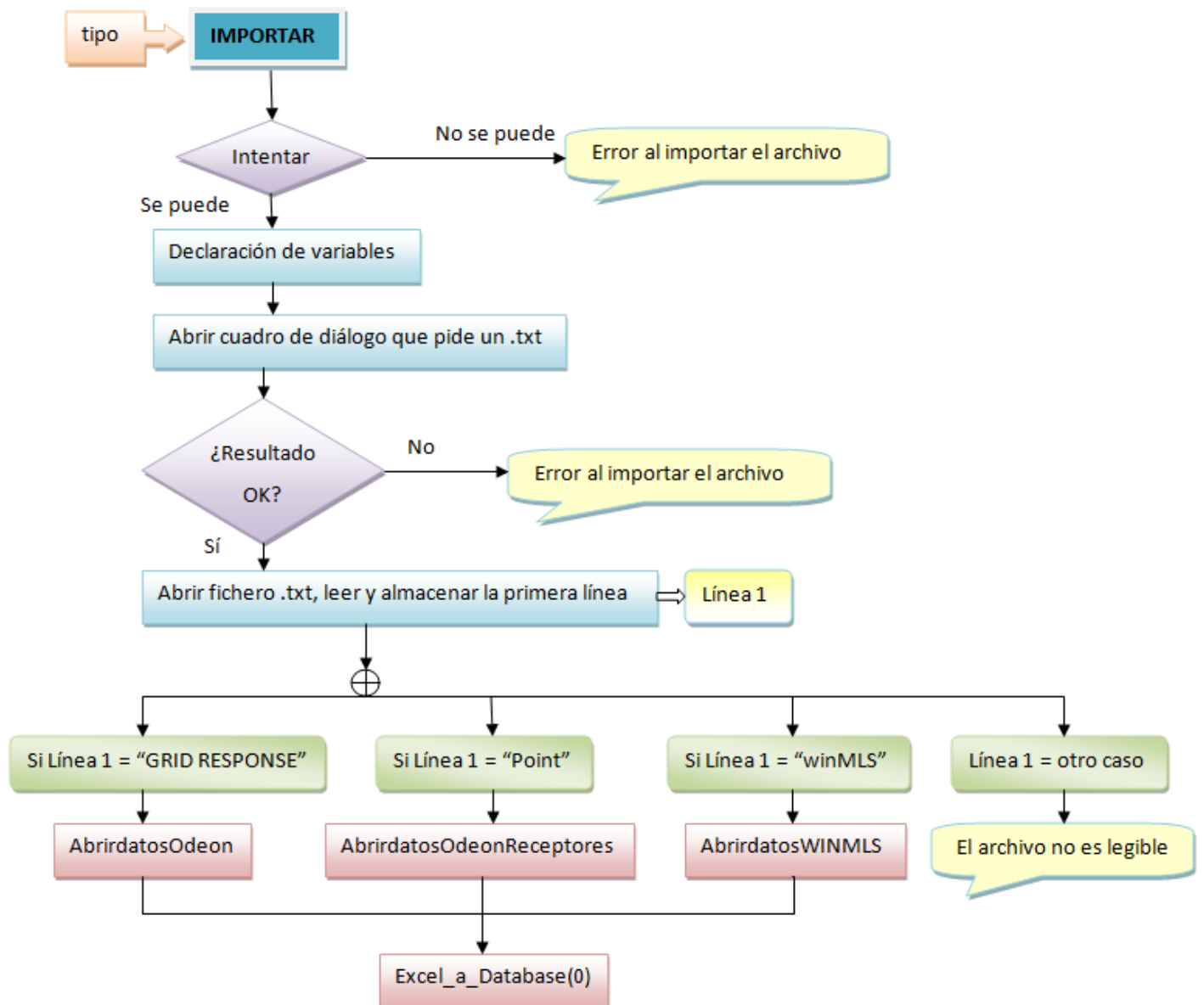


Diagrama 4: Función importar

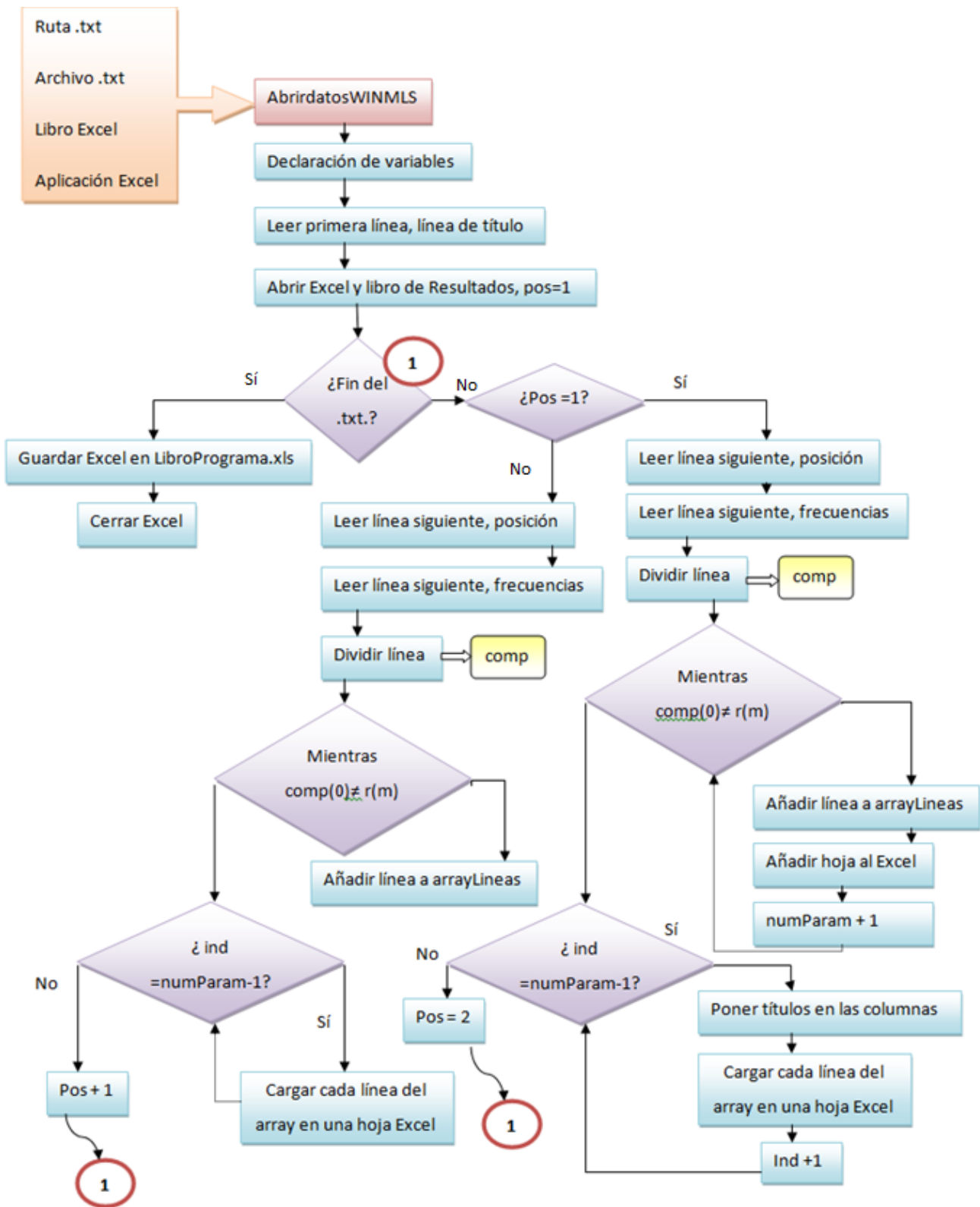


Diagrama 5: Función AbrirdatosWINMLS

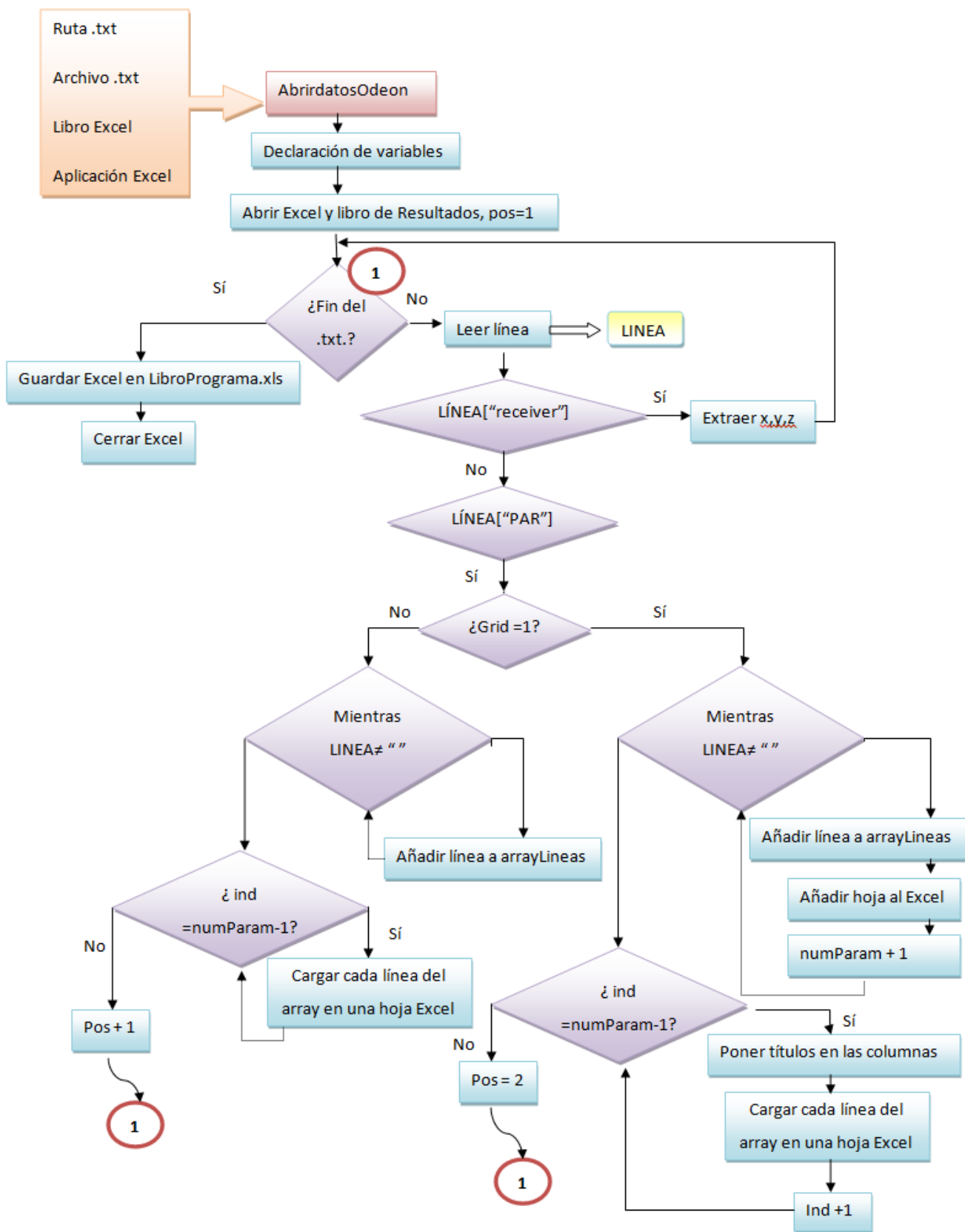


Diagrama 6: Función AbrirdatosOdeon

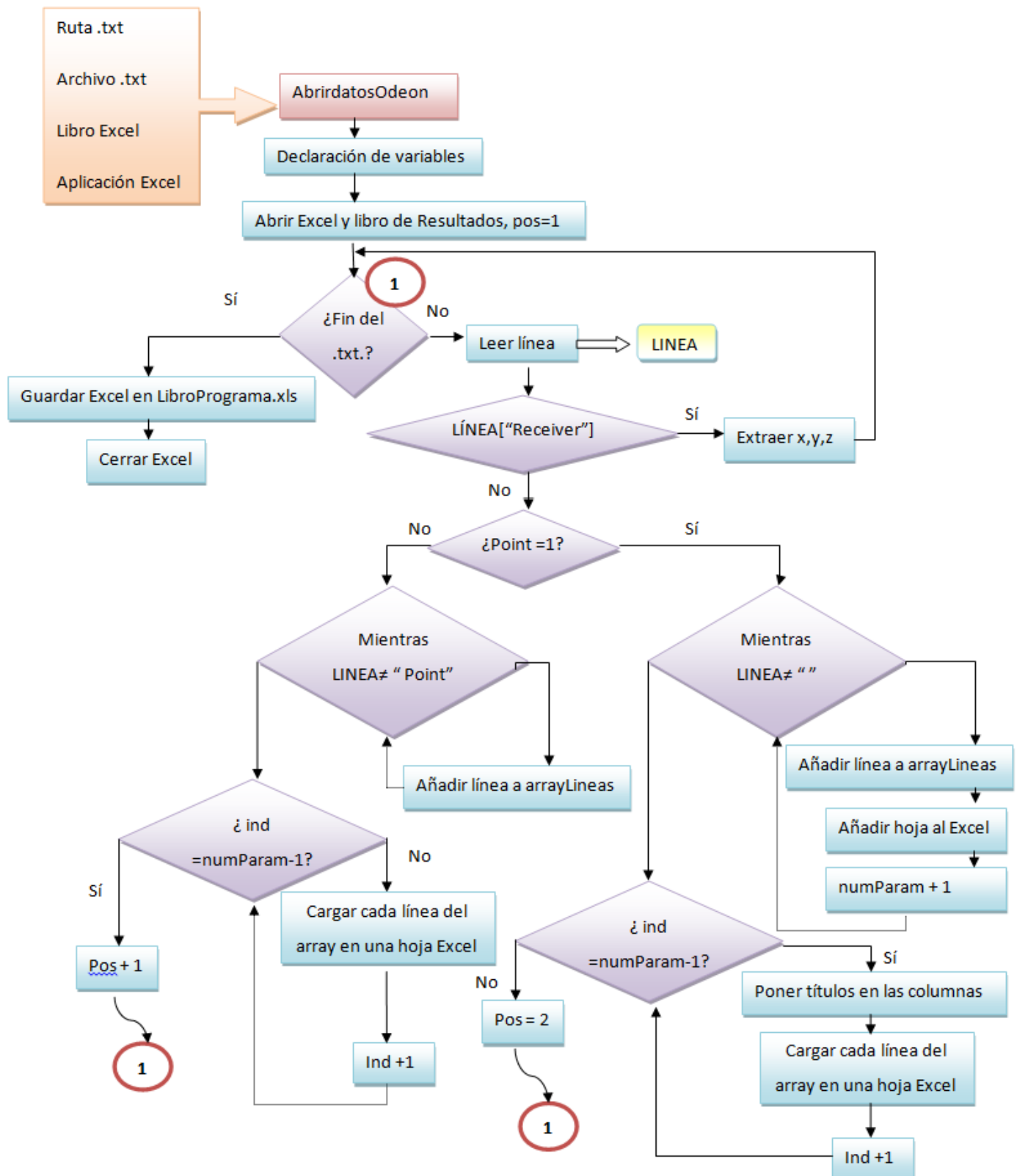


Diagrama 7: Función AbrirdatosOdeonReceptores

6.6.1.4. EXPORTAR

Es una de las opciones más importantes, ya que el programa no tiene extensión propia. Con esta opción podemos copiar en un nuevo Excel los resultados que se están visualizando en la tabla.

Interfaz

Se selecciona el parámetro o resultado que se desea exportar y se hace clic en Exportar.

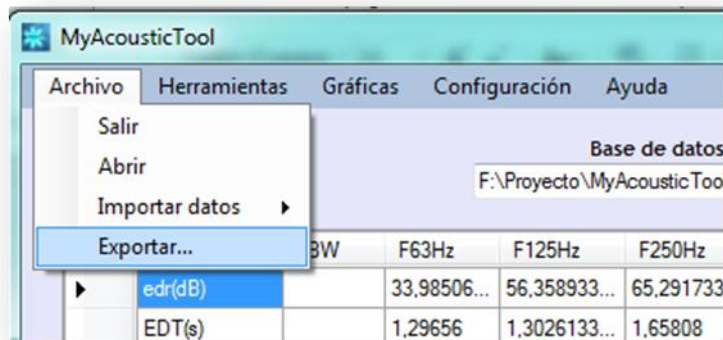
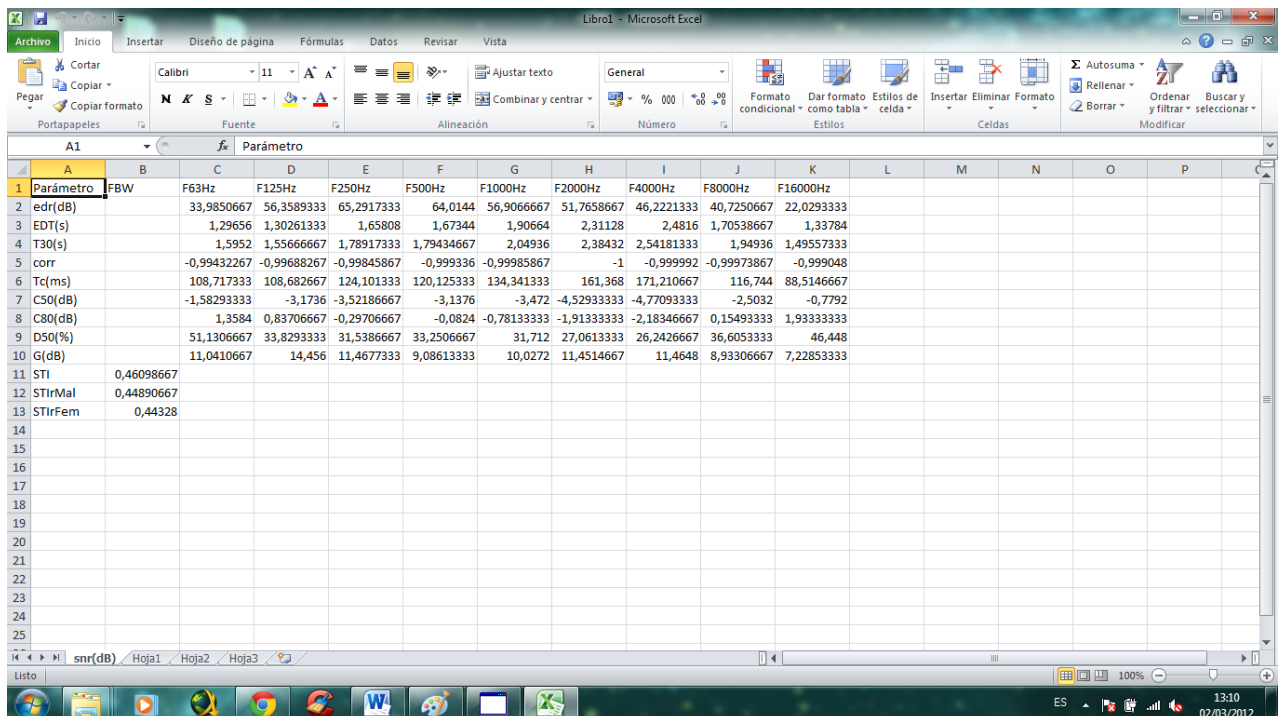


Imagen 46: Menú. Exportar hoja de resultados

Automáticamente se abre una hoja de Excel con los resultados.

Imagen 47: Archivo Excel exportado



Programación

Básicamente, se crea un nuevo Excel y se copia en él celda a celda el contenido de la tabla de resultados con un *bucle for* anidado.

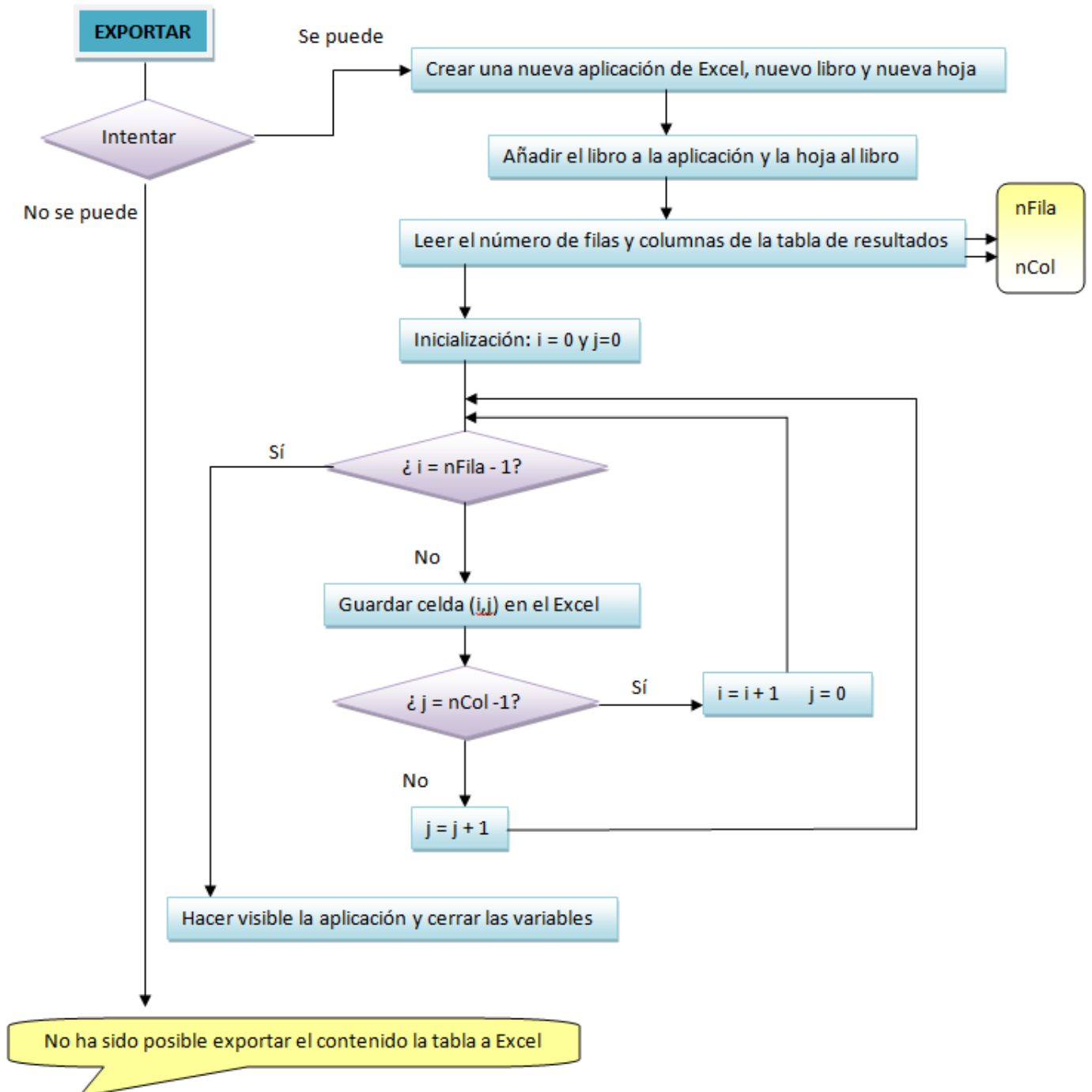


Diagrama 8: Exportar tabla de resultados

6.6.2. MENÚ HERRAMIENTAS

En esta parte del menú se ofrecen todas las posibilidades que tiene el programa para filtrar datos y realizar cálculos derivados de los parámetros cargados. Para cada cálculo se creará una nueva tabla en la base de datos del programa, se mostrará en la tabla de resultados y se activará su correspondiente opción de visualización en el panel de selección.

6.6.2.1. FILTRAR

Cuando el volumen de datos cargados a tratar es muy grande es interesante poder filtrar los resultados con distintas opciones. El programa permite filtrar al mismo tiempo por receptor, valores de resultados, por frecuencia, con una consulta SQL y por posiciones x, y, z (en este caso sólo para datos de Odeon) Por defecto la opción de filtrar según una consulta SQL se encuentra desactivada pero se puede activar en el menú *Configuración*.

Se abre un cuadro de diálogo donde se seleccionan las condiciones de filtrado con sus rangos que se han cargado previamente en la función *CuadroFiltrar* del formulario principal. Cuando el usuario pulsa *Aceptar*, se genera una consulta SQL en función de la selección que se ejecuta sobre la tabla de resultados, dejando sólo los deseados.

Interfaz

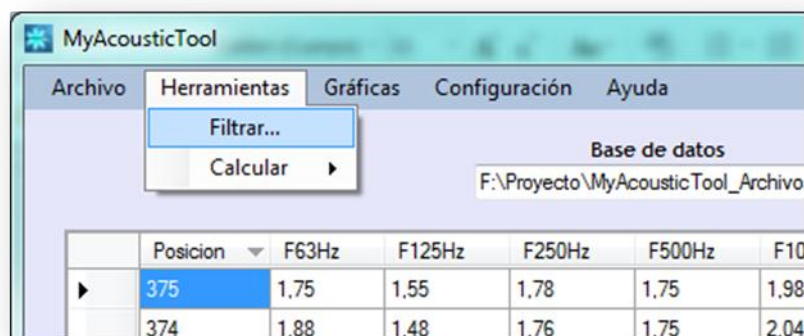


Imagen 48: Menú. Filtrar resultados.

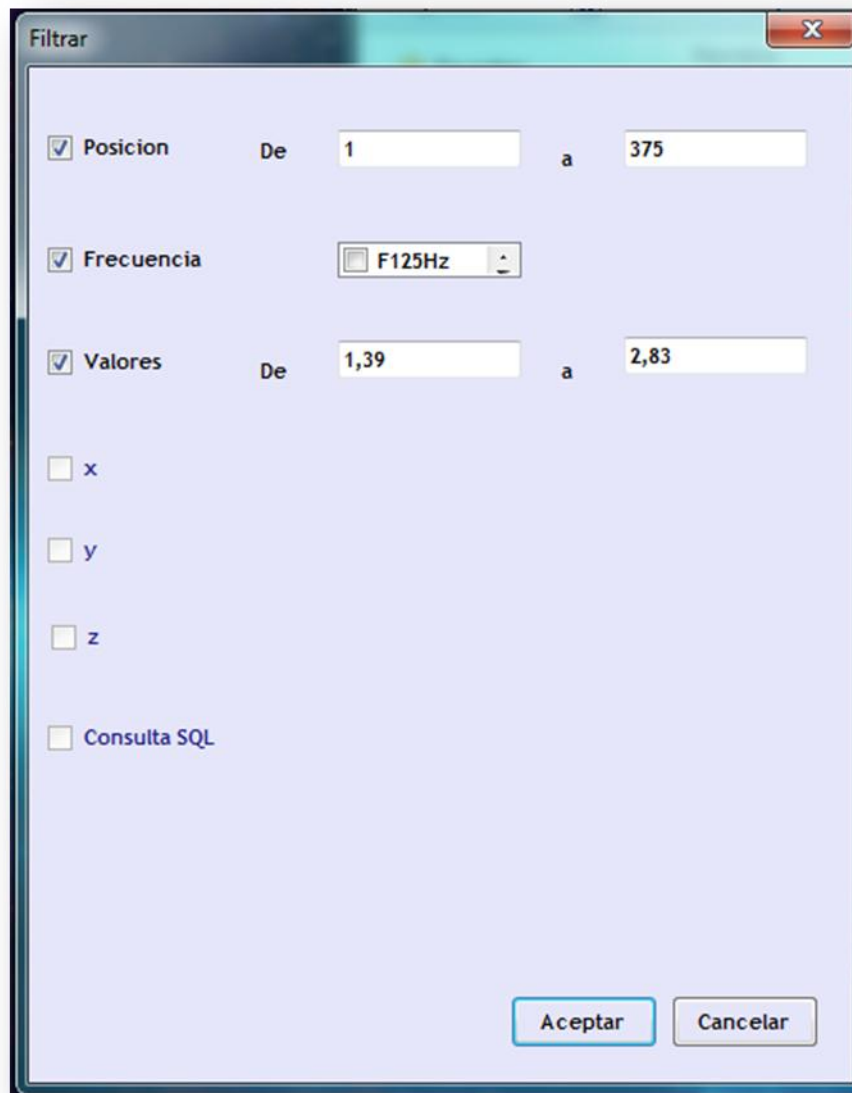


Imagen 49: Cuadro de diálogo. Filtrar.

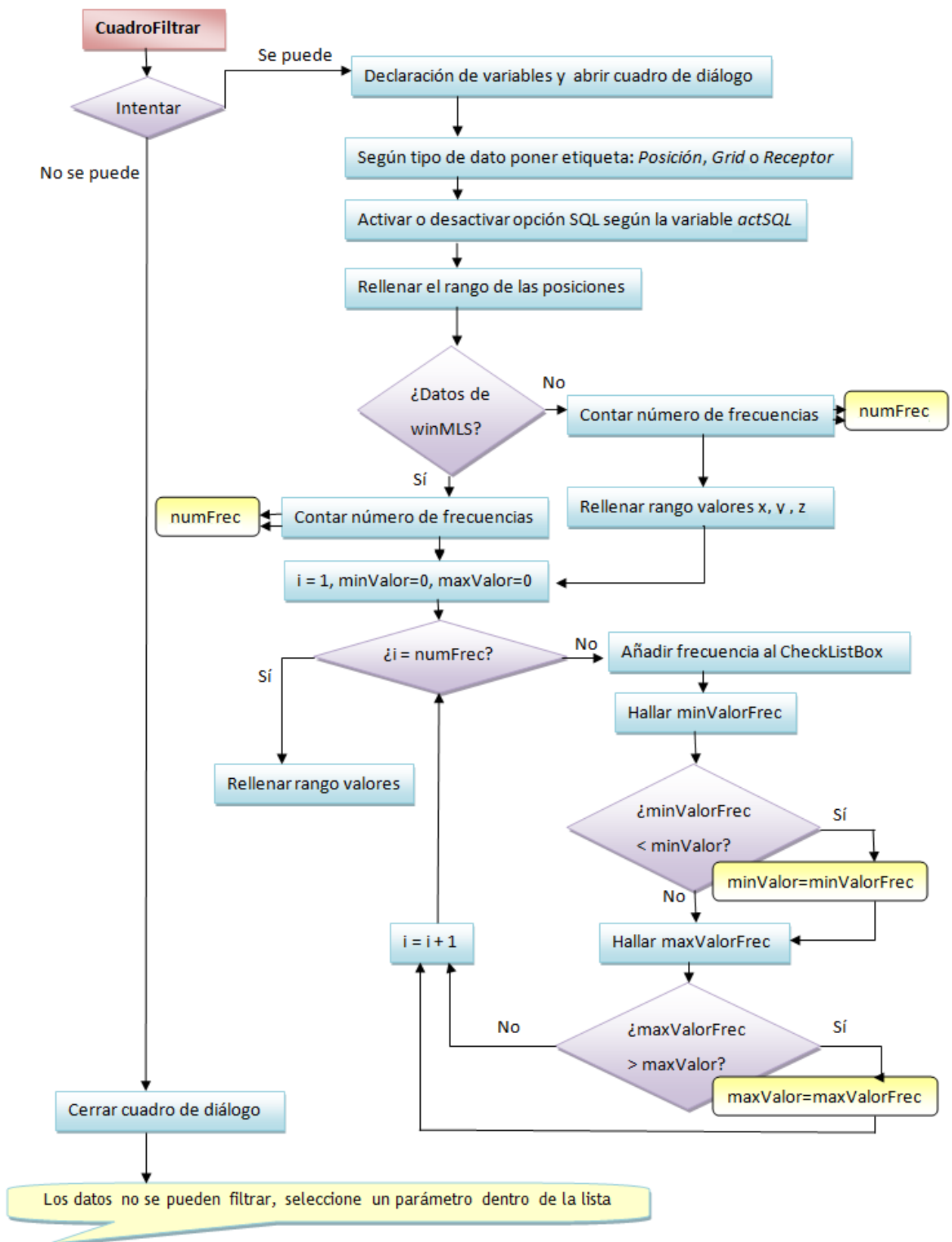
Programación

Ítem del menú *Filtrar*:

Llama a la función *CuadroFiltrar*

Función CuadroFiltrar:

En esta función se cargan los datos dentro del cuadro de diálogo.



Código botón *Aceptar* formulario:

Se crea una consulta SQL según las opciones que haya seleccionado el usuario si los rangos son correctos y se filtra.

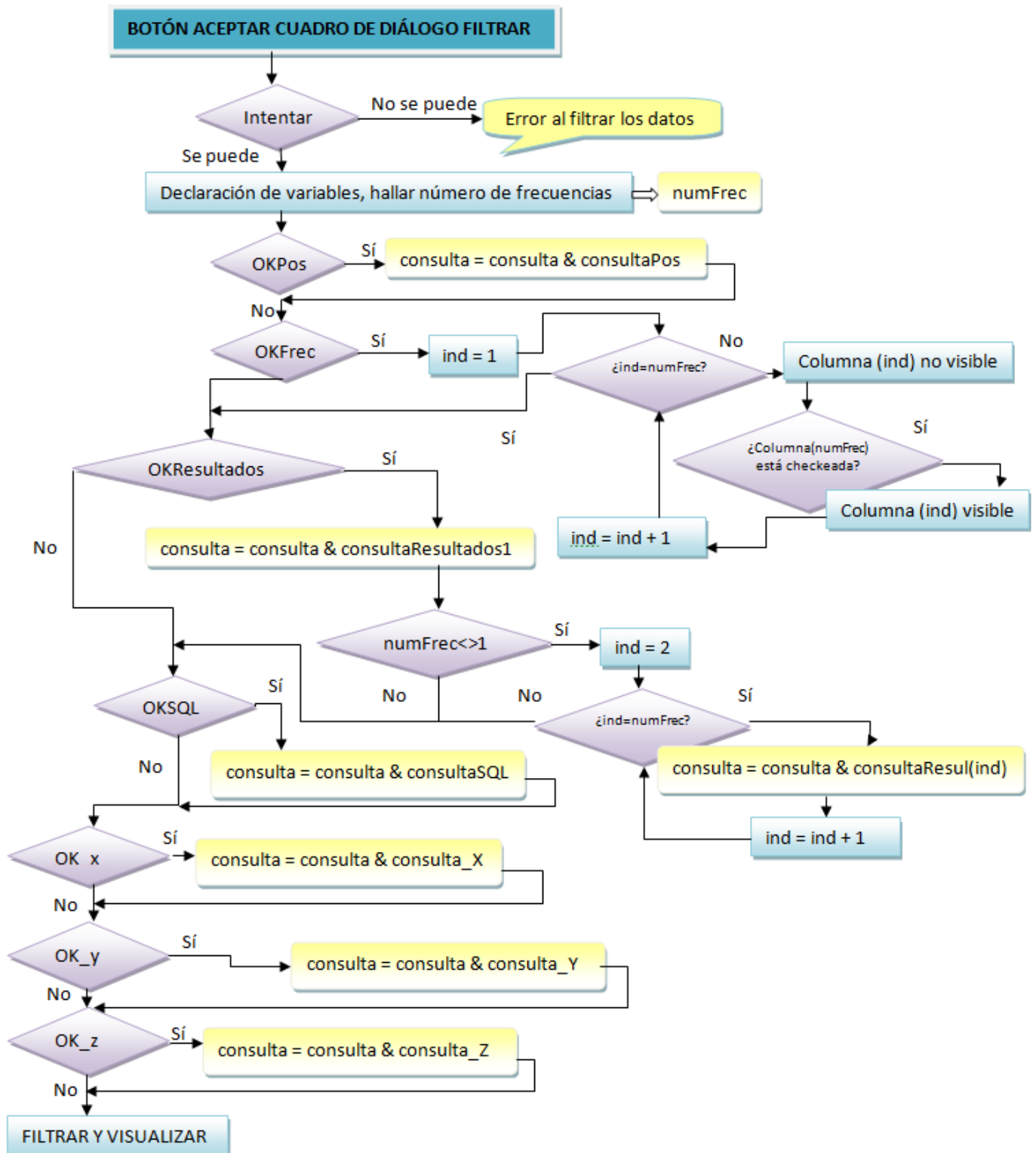


Diagrama 9: Programación botón *Aceptar* del cuadro Filtrar

6.6.2.2. CALCULAR MEDIAS TOTALES

Halla la media de todos los receptores para cada parámetro y lo muestra en una tabla conjunta.

Interfaz

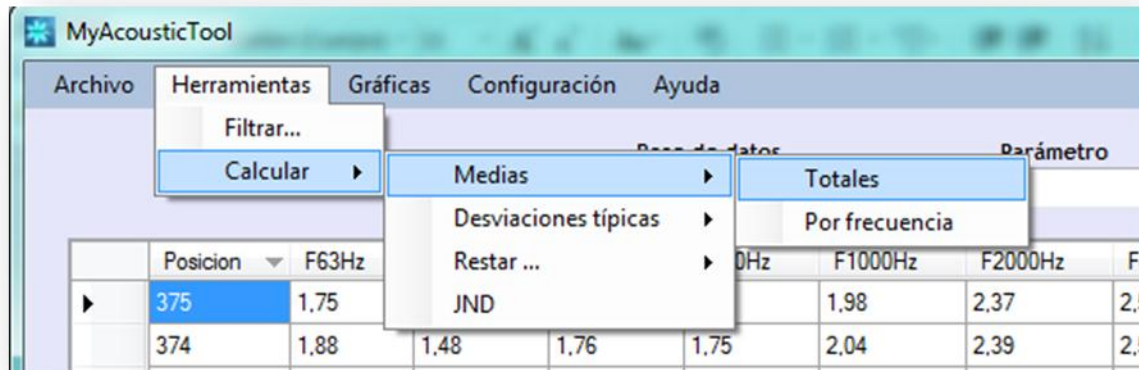


Imagen 50: Menú. Calcular las medias totales.

Se visualizan los resultados y se habilita la opción *Totales* del cuadro *Ver medias*. Cuando marque esta opción podrá volver a ver la hoja.

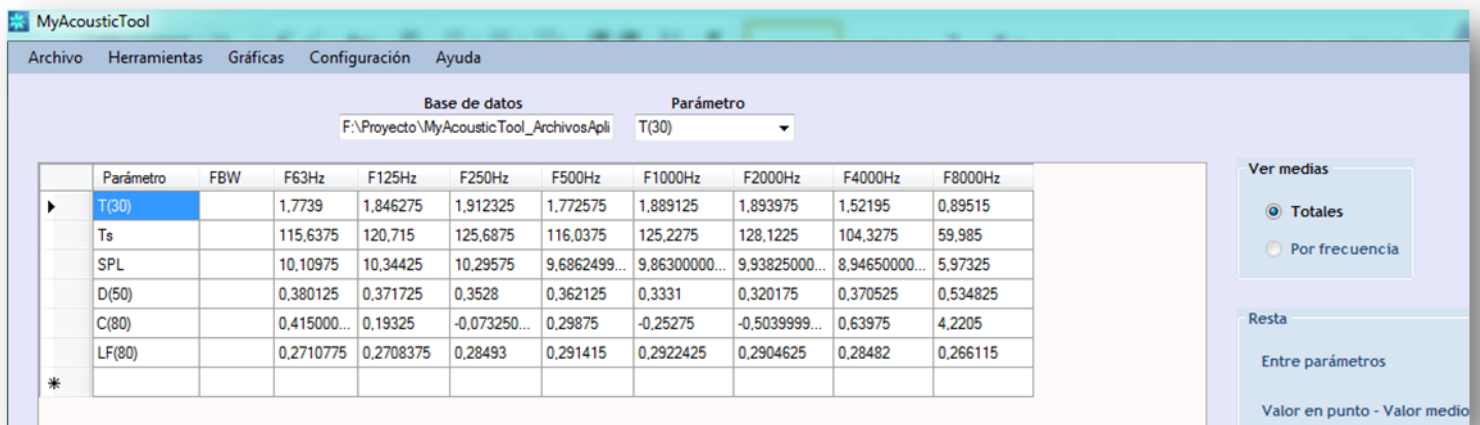


Imagen 51: Aplicación. Muestra los resultados de las medias totales

Programación

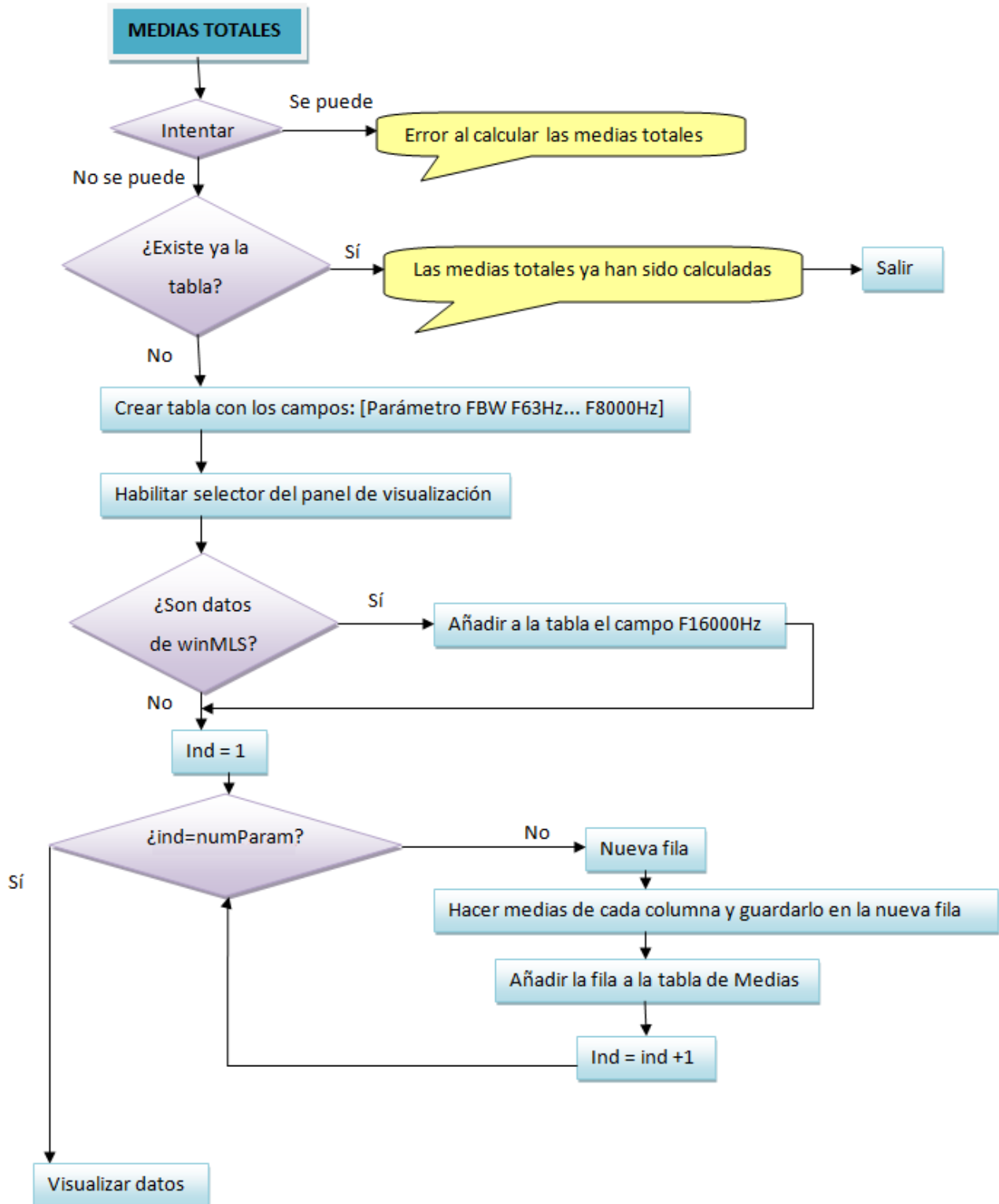


Diagrama 10: Calcular medias totales.

6.6.2.3. CALCULAR MEDIAS POR FRECUENCIA

Permite calcular las medias de cada receptor y parámetro del valor en las frecuencias seleccionadas. Puede resultar muy útil si se desea realizar las medias totales excluyendo alguna frecuencia, hallar medias de los parámetros a bajas, medias y altas frecuencias para compactar más los datos, etc.

Muestra un cuadro de diálogo donde se seleccionan las frecuencias a mediar después muestra por pantalla los resultados y habilita las opciones de selección. Si se realiza otra vez la operación, la tabla se sustituye.

Interfaz

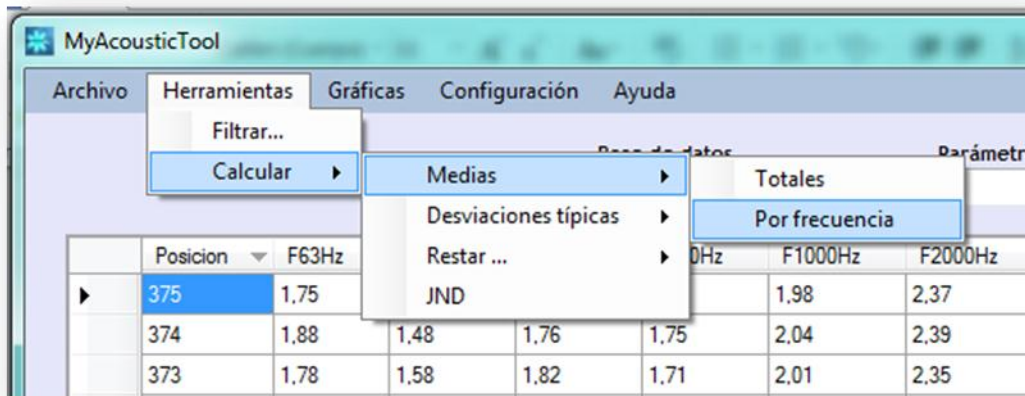


Imagen 52: Menú. Calcular media por frecuencias

Se elijen las frecuencias a mediar en el cuadro de diálogo.

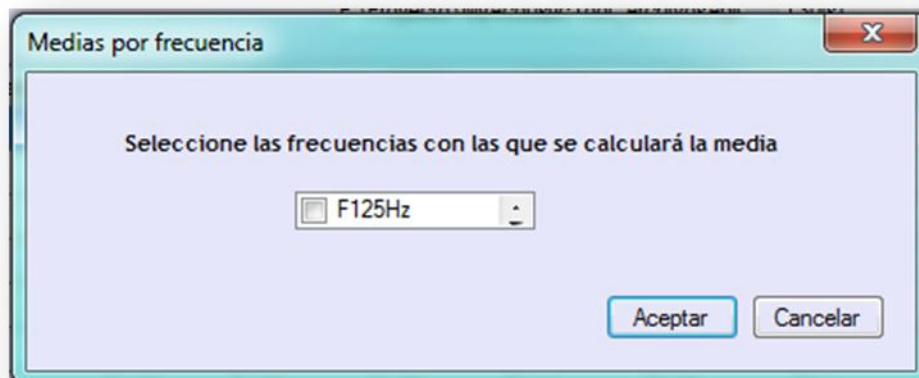


Imagen 53: Cuadro de diálogo. Calcular medias por frecuencia.

Se visualizan los resultados y se habilita la opción *Por frecuencia* del cuadro *Ver medias*.

MyAcousticTool

Archivo Herramientas Gráficas Configuración Ayuda

Base de datos: C:\Users\Vero\Desktop\Proyecto\MyAcou Parámetro: edr(dB)

snr(dB)	edr(dB)	EDT(s)	T30(s)	corr	Tc(ms)	C50(dB)	C80(dB)	D50(%)	G(dB)	STI	STrMal	STrFem
49,45	57,4	1,295	1,66	-0,9975	101,5	-1,55	2,05	43	14,4	0,46	0,43	0,42
48,3	57,2	1,51	1,73	-0,996	124,5	-2,45	0,15	39	16,55	0,44	0,43	0,41
52,55	61	1,495	1,7	-0,9985	125,5	-2,75	-1,55	35	14,85	0,44	0,42	0,42
51,95	59,95	1,77	1,655	-0,9985	129	-1,5	-0,05	42,5	13,8	0,44	0,42	0,41
52,6	60,65	1,67	1,65	-0,997	132	-3,6	-0,25	31,5	14	0,44	0,44	0,43
54,1	61,05	1,585	1,715	-0,997	116,5	-2,55	1	36	14,05	0,44	0,42	0,42
52,7	61,75	1,52	1,695	-0,998	117	-2	1,1	40	13,7	0,45	0,43	0,42
53,8	62,2	1,44	1,71	-0,998	107,5	-2,1	2,25	38	15,85	0,46	0,44	0,43
45,15	53,3	1,47	1,755	-0,998	120	-3,3	1,3	33	14,5	0,47	0,45	0,44

Ver medias: Totales Por frecuencia

Desviaciones típicas: Totales

Resta: Entre parámetros: [dropdown] Valor en punto - Valor medio: [dropdown]

Imagen 54: Aplicación. Muestra los resultados de las medias por frecuencia

Programación

Botón del menú

Muestra la primera hoja de parámetros cargados y abre el cuadro de diálogo donde se seleccionan las frecuencias.

Botón aceptar del cuadro de diálogo

Comprueba si existe la tabla, si no es así la crea y si es así borra la antigua y crea una nueva. Hace invisibles todas las columnas de la tabla de resultados, y vuelve a poner visibles sola las checkeadas en el cuadro. Con las visibles realiza una consulta que se aplica después a cada hoja.

6.6.2.4. CALCULAR DESVIACIONES TÍPICAS TOTALES

Halla las desviaciones típicas de todos los receptores para cada parámetro y lo muestra en una tabla conjunta. La programación es análoga al cálculo de las medias totales, sólo cambia la fórmula a aplicar en las columnas.

Interfaz

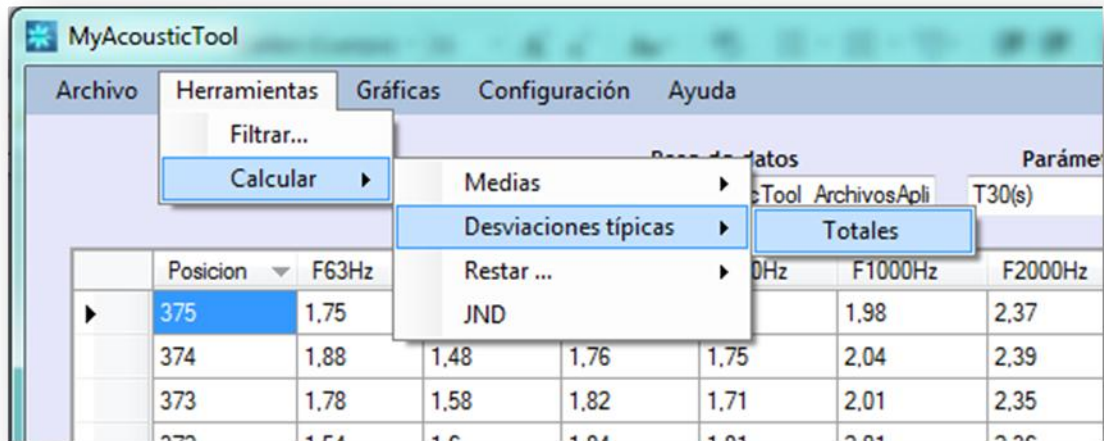


Imagen 55: Menú. Calcular las desviaciones típicas totales

Se visualizan los resultados y se habilita la opción *Totales* del cuadro *Desviaciones típicas*.

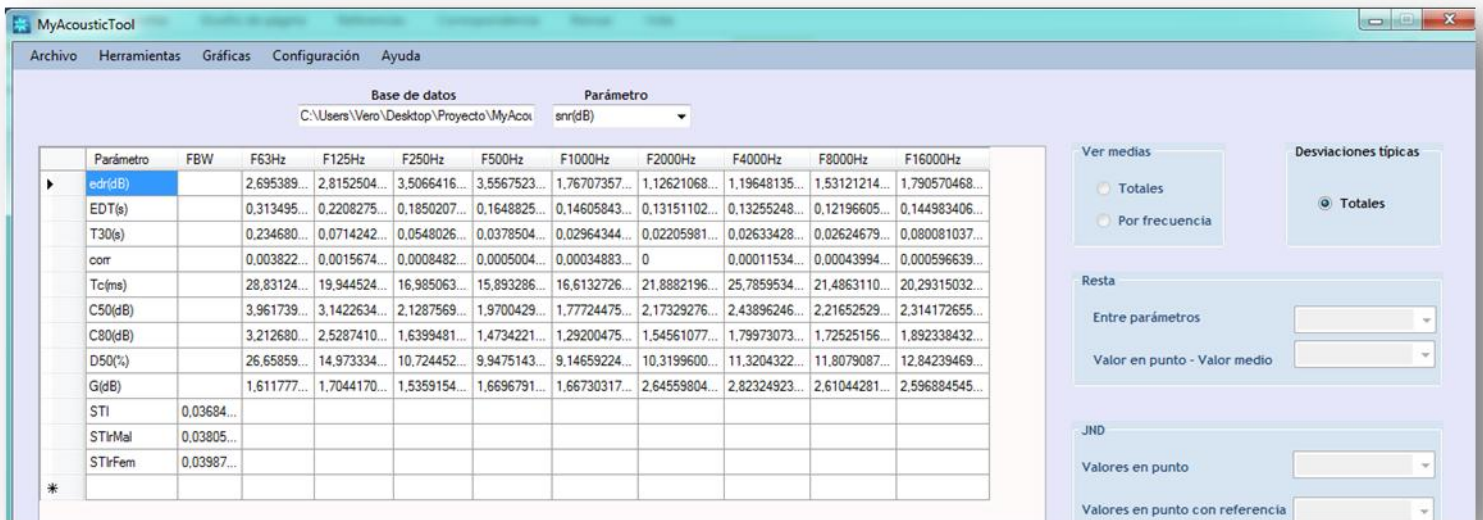


Imagen 56: Aplicación. Muestra los resultados de las desviaciones típicas totales.

6.6.2.5. CALCULAR RESTA

Se pueden calcular dos tipos de resta, resta entre hojas de parámetros punto a punto o la resta del valor medio de los receptores en cada frecuencia menos el valor puntual. Para el primer caso se abrirá un cuadro de diálogo donde se podrán elegir las dos hojas.

Los datos son compatibles entre Odeon y winMLS . Una vez calculada la resta, se podrá volver a visualizar usando los controles del panel de selección. Para optimizar el código se han integrado los dos métodos en una sola función *RestarParam*.

Interfaz para restar dos parámetros



Imagen 57: Menú. Restar dos hojas de parámetros.

Abre un cuadro de diálogo donde seleccionar las dos hojas.

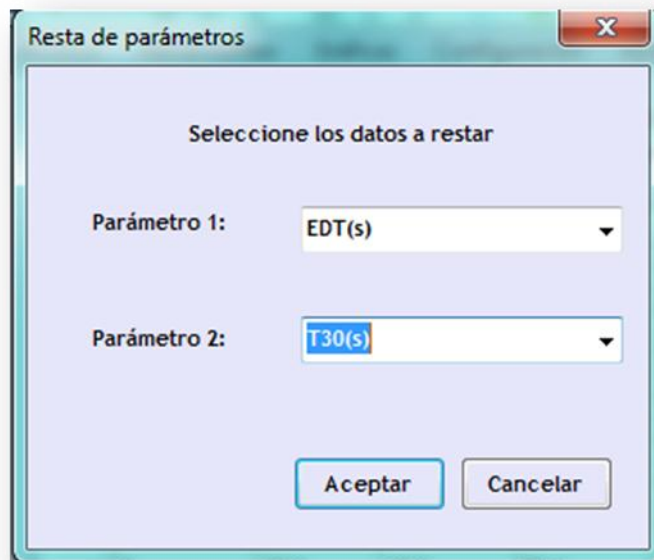


Imagen 58: Cuadro de diálogo. Ejemplo que selecciona restar el parámetro EDT(s) y T30(s)

Los resultados se muestran, se habilita el cuadro *Resta* donde se podrá seleccionar en la opción *Entre parámetros* el cálculo realizado.

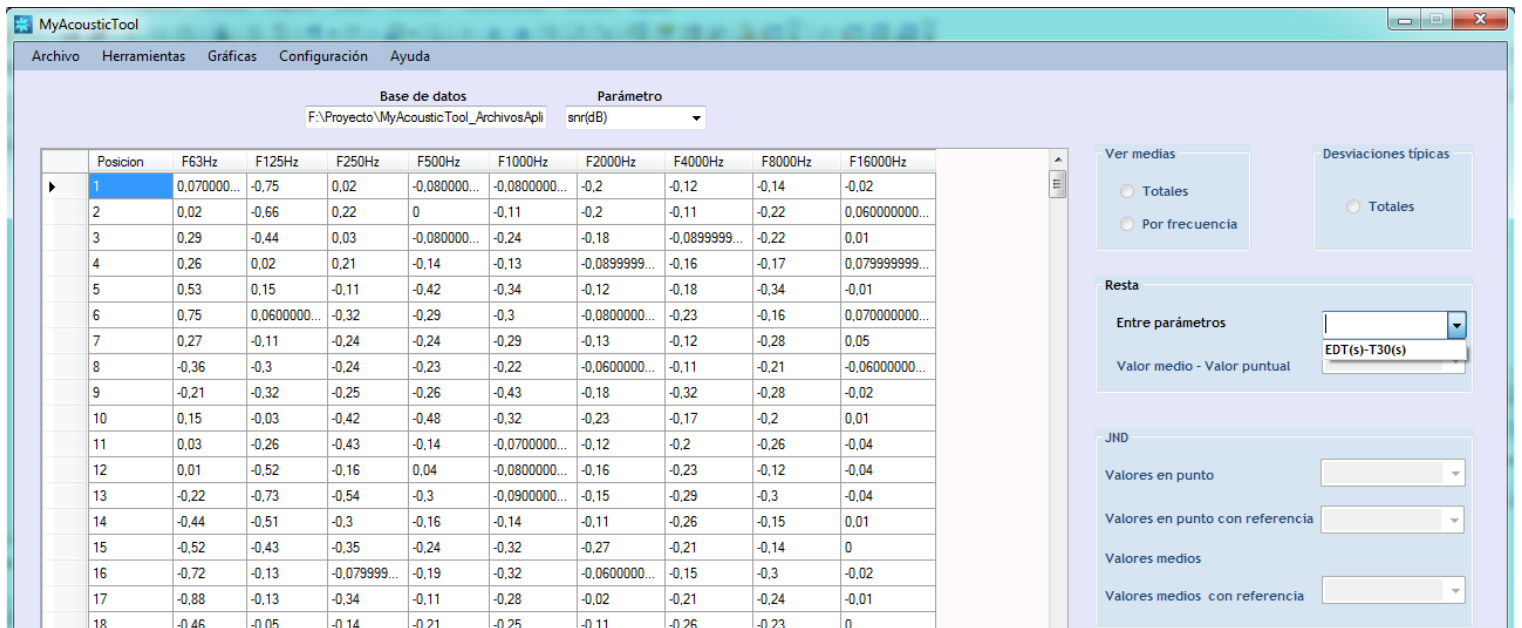


Imagen 59: Aplicación. Muestra la resta entre dos parámetros.

Interfaz para restar valor medio menos valor puntual

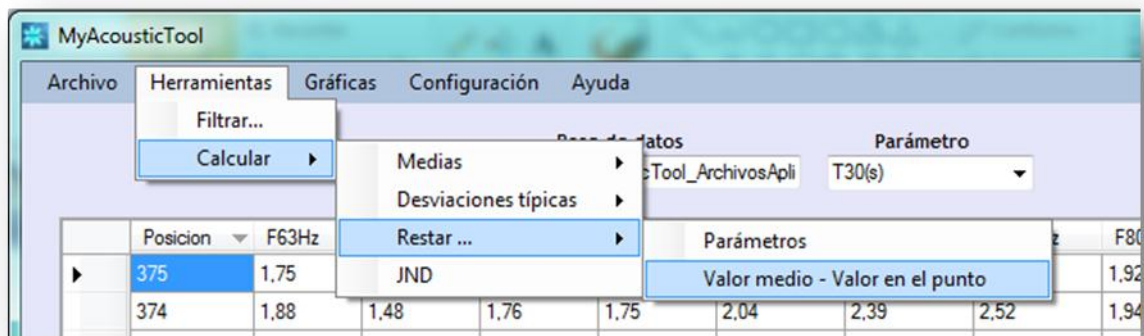


Imagen 60: Menú. Calcular la resta entre el valor medio y el valor en el punto

Los resultados se muestran, se habilita el cuadro *Resta* donde se podrá seleccionar en la opción *Valor medio – Valor puntual* el cálculo realizado.

Posicion	F63Hz	F125Hz	F250Hz	F500Hz	F1000Hz	F2000Hz	F4000Hz	F8000Hz	F16000Hz
0	1.5952	1.566666...	1.7891733...	1.7943466...	2.04936	2.38432	2.54181333...	1.94936	1.495573333...
1	0.1652	-0.043333...	0.0691733...	0.0643466...	-0.01064	-0.0356799...	0.00181333...	-0.0006399...	-0.08442666...
2	0.1552	-0.043333...	-0.070826...	-0.015653...	0.00936000...	-0.0256799...	0.02181333...	-0.0006399...	0.105573333...
3	0.2552	-0.083333...	0.0291733...	0.0043466...	-0.0606399...	-0.0256799...	-0.0081866...	-0.0006399...	0.055573333...
4	0.065199...	0.00666666...	0.0291733...	-0.035653...	0.01936000...	0.00432000...	0.00181333...	0.02936000...	0.155573333...
5	0.1652	0.03666666...	0.0091733...	-0.035653...	-0.01064	0.00432000...	-0.0181866...	-0.0806399...	0.055573333...
6	0.2052	-0.003333...	-0.080826...	-0.055653...	-0.0406399...	0.03432000...	-0.0281866...	-0.02064	0.055573333...
7	-0.3748	-0.073333...	0.0291733...	-0.045653...	-0.03064	-0.0156799...	0.00181333...	-0.04064	0.095573333...
8	0.075199...	-0.073333...	-0.000826...	-0.005653...	-0.0406399...	-0.0156799...	0.02181333...	-0.01064	-0.02442666...
9	0.015199...	-0.093333...	-0.070826...	-0.015653...	-0.05064	-0.0356799...	-0.0081866...	-0.03064	0.035573333...
10	0.035199...	0.03666666...	-0.100826...	-0.085653...	-0.0206399...	0.02432000...	0.02181333...	-0.02064	0.035573333...
11	-0.3048	-0.003333...	-0.040826...	0.0243466...	0.02936000...	0.00432000...	-0.0081866...	-0.03064	0.015573333...
12	-0.2148	0.02666666...	-0.080826...	-0.025653...	-0.01064	0.03432000...	0.02181333...	0.00936000...	-0.02442666...
13	-0.1848	-0.003333...	-0.080826...	-0.065653...	-0.01064	0.00432000...	0.00181333...	-0.01064	0.055573333...
14	-0.1748	-0.073333...	-0.080826...	0.0343466...	-0.01064	0.03432000...	0.03181333...	0.01936	-0.00442666...
15	-0.2048	-0.153333...	-0.010826...	-0.035653...	-0.05064	-0.0156799...	0.06181333...	-0.0006399...	-0.04442666...
16	-0.4348	-0.043333...	-0.090826...	0.0043466...	-0.0406399...	0.04432000...	0.00181333...	-0.0006399...	0.085573333...
17	-0.3248	-0.113333...	-0.010826...	-0.005653...	-0.05064	0.00432000...	-0.0081866...	0.00936000...	0.065573333...

Imagen 61: Aplicación. Muestra de la resta entre el valor medio y el valor puntual

Programación

Menú restar dos parámetros

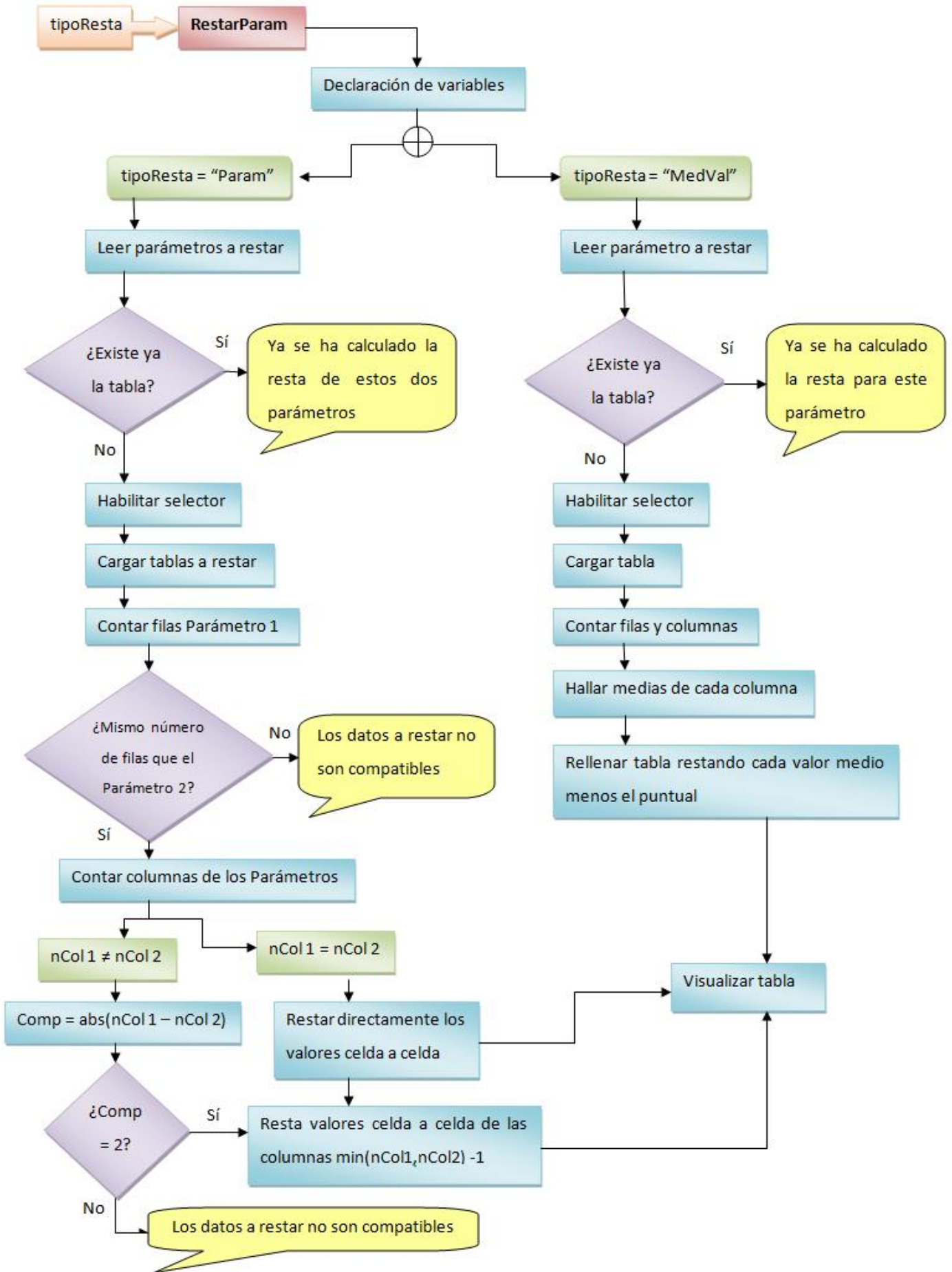
Se abre el cuadro de diálogo donde se cargan las dos listas de parámetros y se especifica el tipo de Resta, “Param”.

Botón Aceptar del cuadro de diálogo

Si el resultado es OK, se llama a la función *RestarParam* del formulario principal.

Menú restar valor medio menos valor puntual

Directamente se llama a la función *RestarParam* especificando el tipo “MedVal”.



6.6.2.6. CALCULAR JND

El cálculo del JND es una herramienta muy útil para analizar las diferencias subjetivas en la percepción de parámetros de salas. El programa ofrece varias posibilidades, aplicar las operaciones a parámetros medios o a una hoja con todos los receptores y por otro lado calcular el JND absoluto o en referencia a los valores introducidos por el usuario.

El criterio de cálculo del JND es el mismo que el contemplado en la simulación (Ver Tabla 3: Parámetros acústicos con su jnd asociado)

Los cálculos se realizan en la función *JND* del formulario principal que tiene como entrada dos parámetros *opción* que dice si se aplica a los datos medios o a la hoja de parámetros y *ref*, que es una variable booleana que será *true* si se calcula con valores de referencia o *false* en caso contrario.

Para cada caso se crea una nueva tabla, que podrá volver a visualizarse en las opciones del panel JND.

Interfaz

Se selecciona la opción *Herramientas/Calcular/JND*.

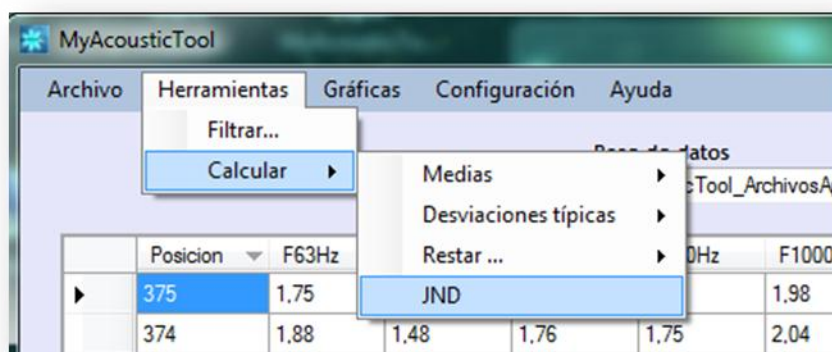


Imagen 62: Menú. Calcular JND

Se abre el cuadro JND que ofrece las opciones de calcular los JNDs absolutos de parámetros medios o valores en cada receptor o en referencia a otros, donde se contempla la diferencia de los dos en términos de número de JNDs. Cuando se trabaje con valores de referencia se mostrarán en rojo aquellos que se encuentren fuera de 1 JND.

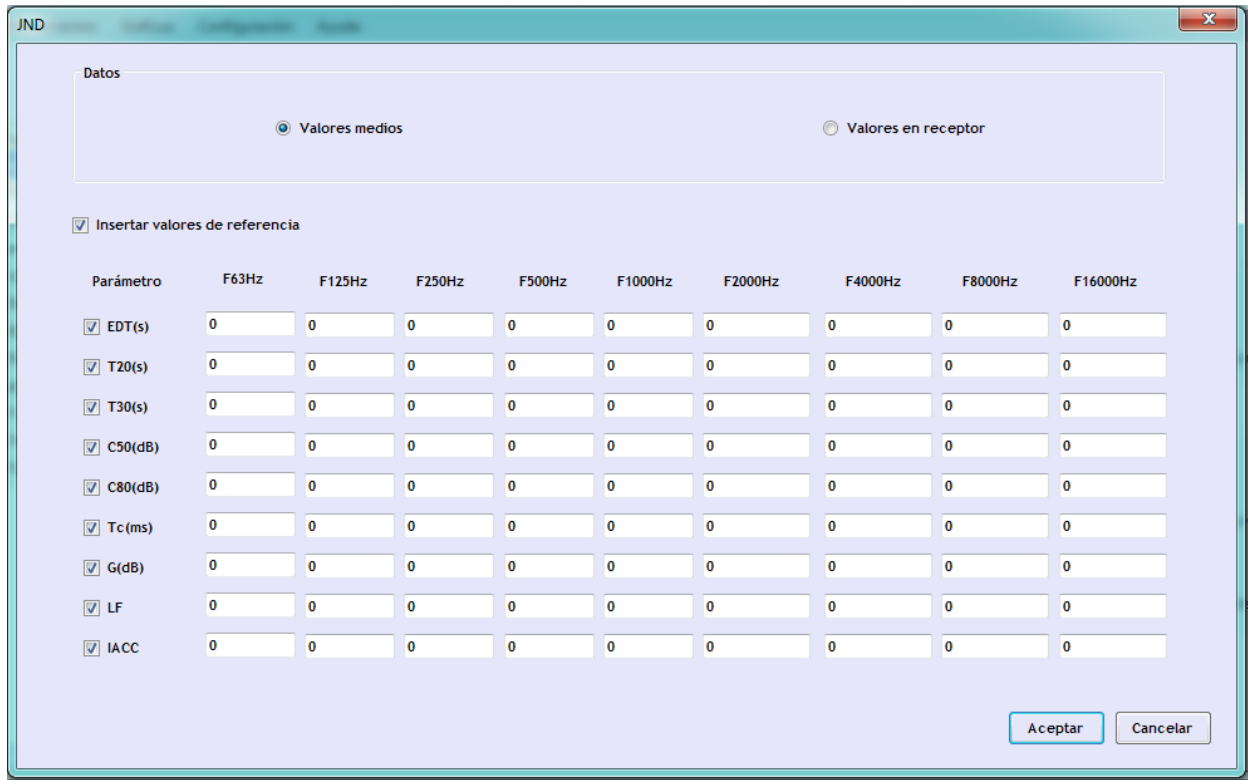


Imagen 63: Cuadro de diálogo. JND

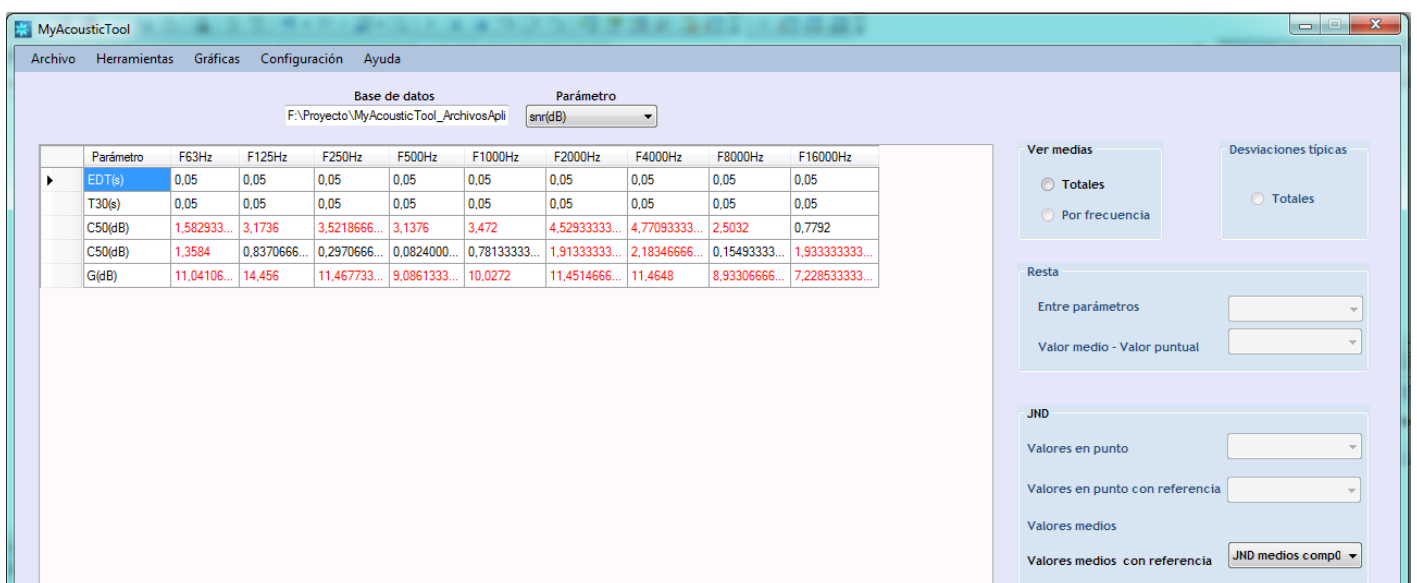


Imagen 64: Aplicación. Ejemplo que muestra resultados de JND medios con referencia

Programación

Ítem JND del menú:

Abre el cuadro de diálogo y ejecuta el procedimiento *enable_Tab* que habilita que se pueda usar el tabulador para moverse dentro de los textbox del cuadro de diálogo.

Botón aceptar del cuadro de diálogo:

Llama a la función *JND (opción, ref)*, según la selección del usuario.

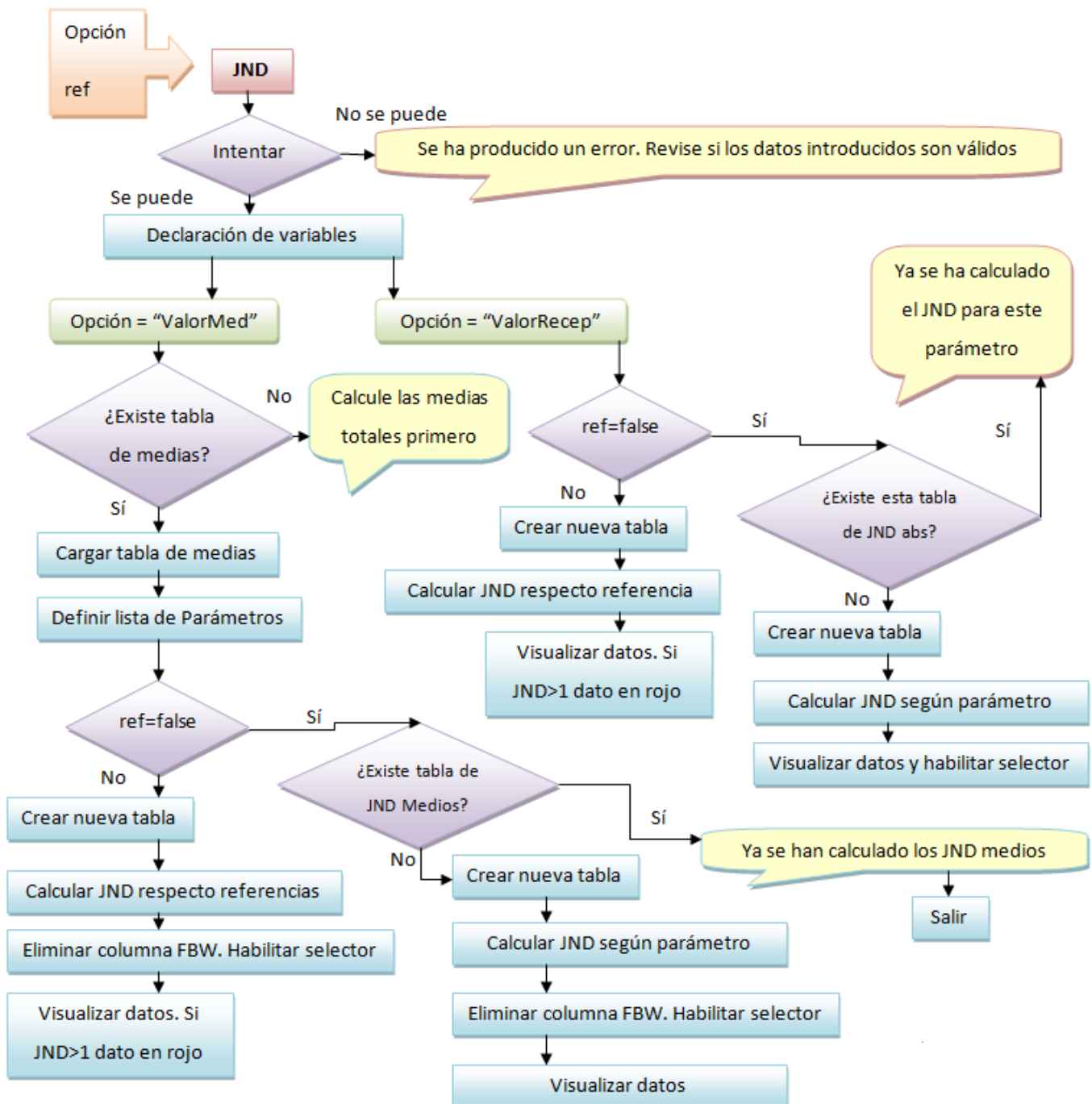


Diagrama 12: Función *JND*

6.6.3. MENÚ GRÁFICAS

6.6.3.1. DEFINIDA EN MATLAB

Permite realizar una gráfica de los datos que se estén visualizando en la tabla de resultados con una función de Matlab. Es muy útil para obtener una representación según la disposición espacial de una sala en concreto.

Ya que cada sala necesitará su propia función, se ha diseñado la aplicación de forma que el usuario pueda seleccionar que función de Matlab quiere utilizar para representar los datos o usar la predeterminada. Para el ejemplo de utilización de la aplicación se ha creado una función para representar los datos del Conservatorio y es la que se ha cargado como predeterminada, pero es perfectamente modificable en el menú configuración.

Interfaz

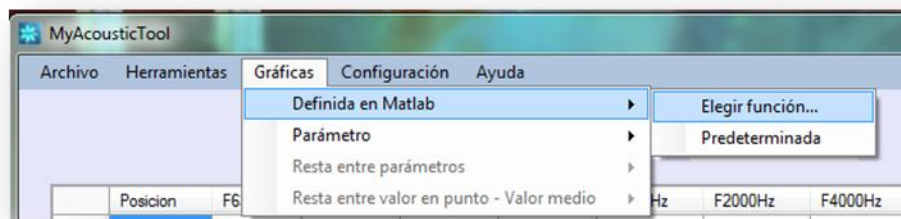


Imagen 65: Menú. Representar parámetro con una función de Matlab elegida por el usuario

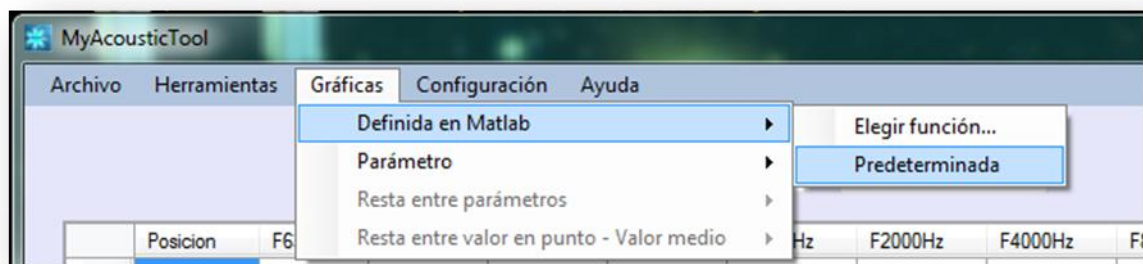


Imagen 66: Menú. Representar parámetro con una función de Matlab predeterminada

Si es una función elegida por el usuario, se abre un cuadro de diálogo.

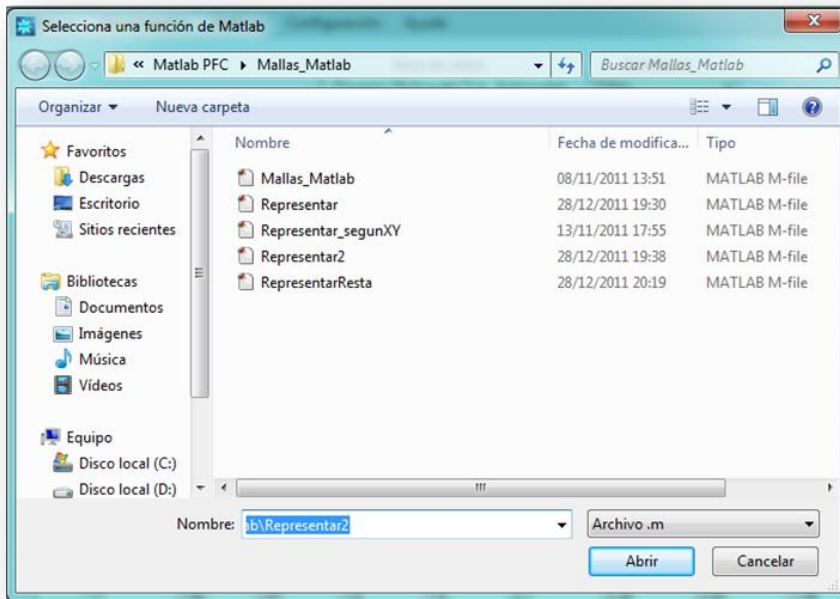


Imagen 67: Cuadro de diálogo. Seleccionar función de representación de Matlab

Se ejecuta la función en Matlab y se cargan en el programa las imágenes generadas en formato JPG en una nueva ventana.

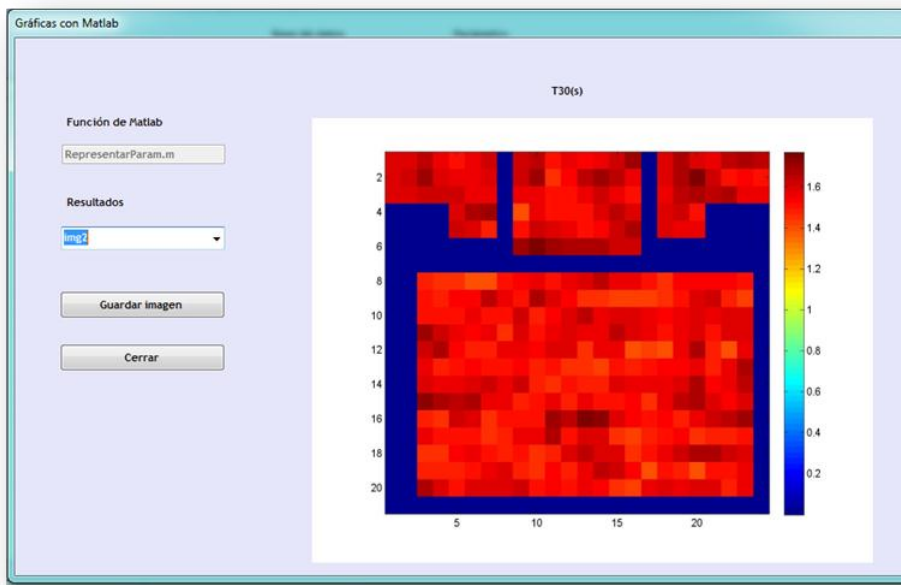


Imagen 68: Aplicación. Resultados gráficos devueltos por una función definida por el usuario en Matlab

Programación

Con la función *GrafMatlab*, se crea una carpeta temporal en un directorio que depende de si la función es una elegida por el usuario o es el directorio de la función predefinida. Se guarda como un Excel los datos que se estén visualizando en ése momento en el directorio anterior con la función *ExcelParaGraf*, que es muy similar a la función exportar, sólo que el usuario no elige la ubicación donde se guarda el archivo, lo hace automáticamente. Después se abre Matlab y se ejecutan dos órdenes, una que se posiciona en el directorio del Excel y otra que ejecuta la función que genera las gráficas y las guarda en la carpeta temporal. Se cargan en Visual Basic las gráficas que se encuentran en la carpeta temporal como imágenes en formato .jpg y se abre un nuevo formulario, donde se puede visualizar la función utilizada y un selector para cambiar de imagen.

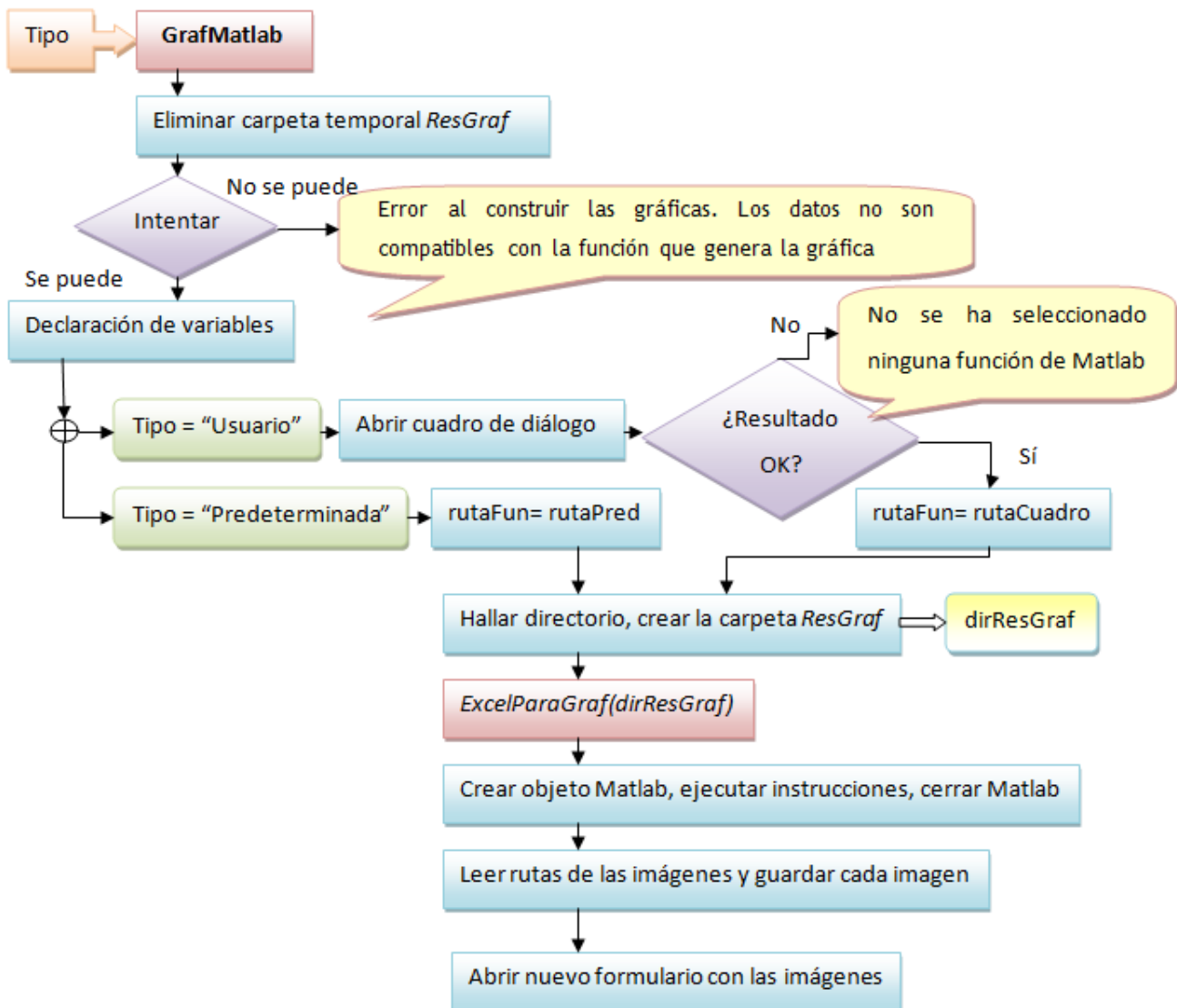


Diagrama 13: Función *GrafMatlab*

6.6.3.2. GRÁFICAS PARA PARÁMETROS, RESTAS ENTRE PARÁMETROS y RESTAS ENTRE VALOR MEDIO Y VALOR PUNTUAL CON TODAS LAS FRECUENCIAS

La aplicación permite realizar las gráficas de los valores de los distintos tipos de datos: parámetros, resta entre parámetro y resta entre valores mostrando en el eje X los receptores y en el Y el valor del dato correspondiente.

En este modelo se visualizan todas las frecuencias en una misma gráfica, con la opción de poder visualizar/dejar de visualizar frecuencias en concreto. El formulario donde se cargan las gráficas contiene un selector de tipo de gráfico: líneas, puntos, barras y áreas, un checkbox que cambia la gráfica a 3D, un checklist donde poder seleccionar que frecuencia no se quiere mostrar y un botón para guardar la gráfica en el equipo. Aunque se encuentran en tres menús diferentes, la función que crea las gráficas es común, *GrafTodasFrec*.

Interfaz

Hacer clic en *Gráficas* después en *Parámetro*, *Resta entre parámetros* o *Resta entre el valor medio –valor puntual* y pulsar *Todas las frecuencias*.

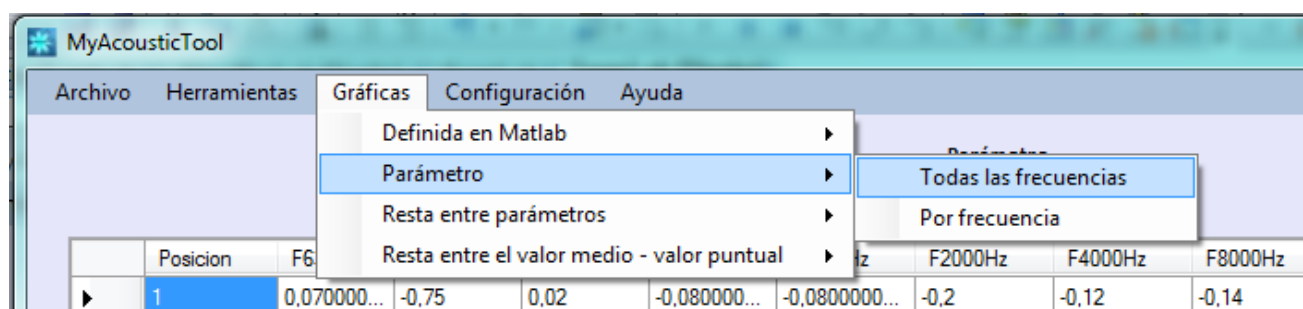


Imagen 69: Menú. Crear un gráfico en función del valor del parámetro y receptor para cada frecuencia

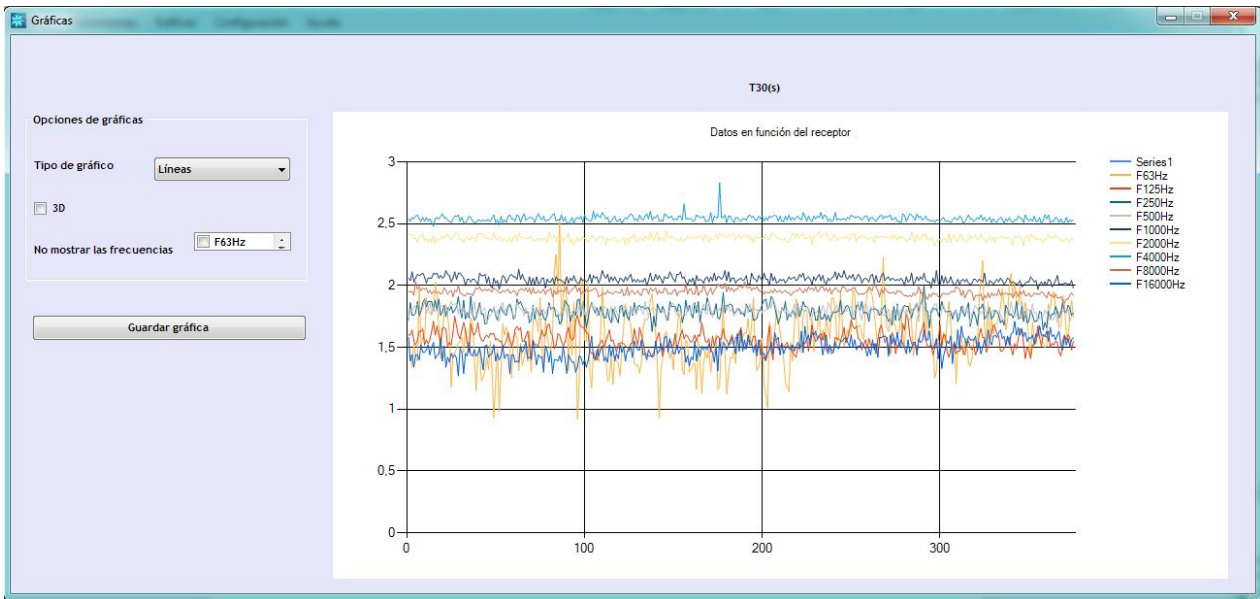


Imagen 70: Ejemplo gráfica con todas las frecuencias

Programación

Menú Gráficas/Parámetros/Todas las frecuencias:

Extrae el nombre de la tabla del ítem del selector de parámetros cargados y llama a la función *GrafTodasFrec (nomTabla)*

Menú Gráficas/Resta/Todas las frecuencias:

Extrae el nombre de la tabla del ítem del selector de resultados *Entre Parámetros* del panel *Resta* y llama a la función *GrafTodasFrec (nomTabla)*

Menú Gráficas/Resta/Todas las frecuencias:

Extrae el nombre de la tabla del ítem del selector de resultados *Valor medio – Valor puntual* del panel *Resta* y llama a la función *GrafTodasFrec (nomTabla)*

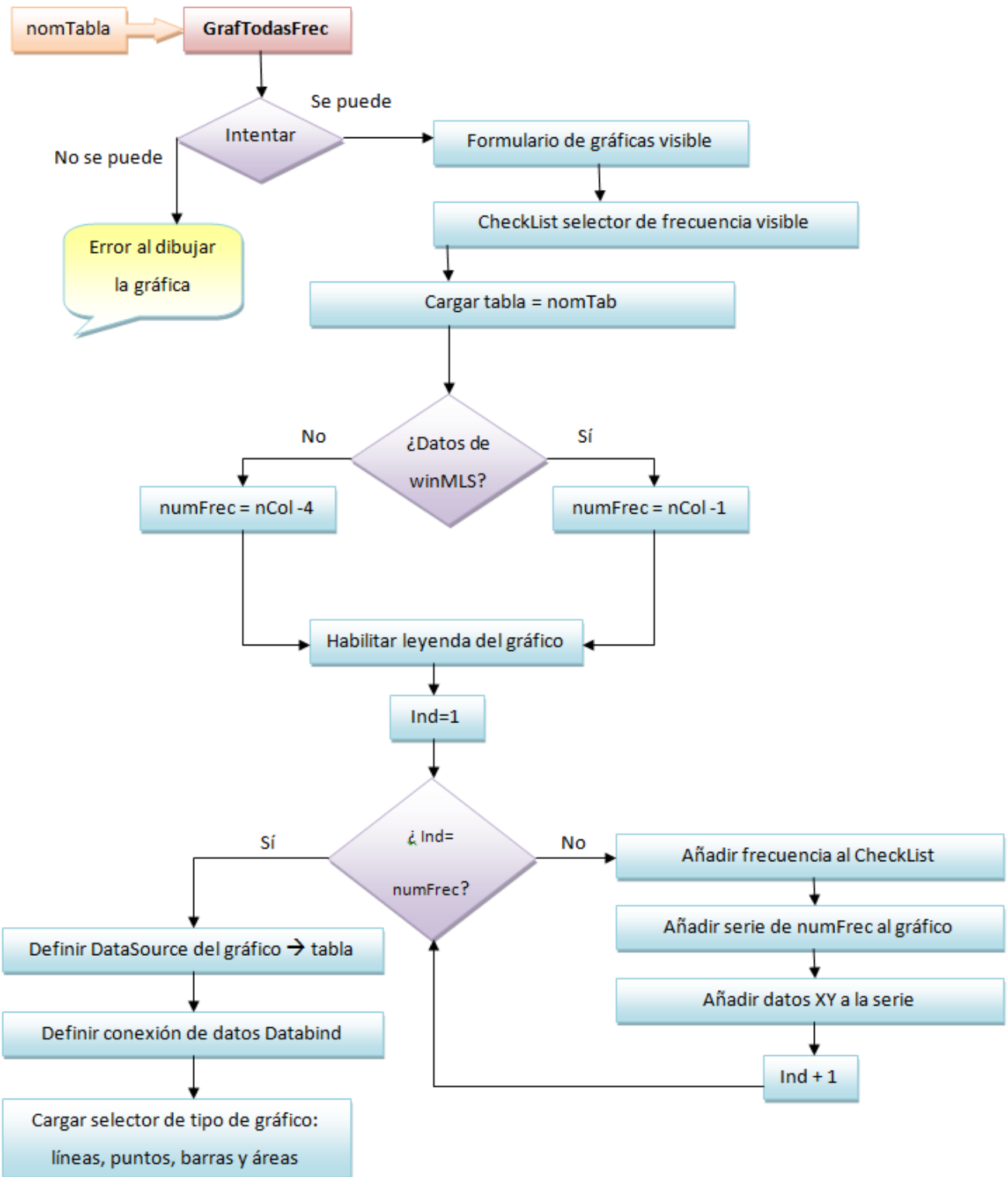


Diagrama 14: Función *GrafTodasFrec*

6.6.3.3. GRÁFICAS PARA PARÁMETROS, RESTAS ENTRE PARÁMETROS y RESTAS ENTRE VALOR MEDIO Y VALOR PUNTUAL POR FRECUENCIAS

La aplicación permite realizar las gráficas de los valores de los distintos tipos de datos: parámetros, resta entre parámetro y resta entre valores mostrando en el eje X los receptores y en el Y el valor del dato correspondiente. En este modelo se visualiza cada frecuencia por separado, de forma que pueda elegirse la deseada en un ComboBox.

El formulario donde se cargan las gráficas contiene un selector de tipo de gráfico: líneas, puntos, barras y áreas, un checkbox que cambia la gráfica a 3D, el ComboBox donde poder seleccionar que frecuencia se quiere mostrar y un botón para guardar la gráfica en el equipo.

Aunque se encuentran en tres menús diferentes, la función que crea las gráficas es común, *GrafFrec*.

Interfaz

Hacer clic en *Gráficas* después en *Parámetro*, *Resta entre parámetros* o *Resta entre el valor medio –valor puntual* y pulsar *Por frecuencia*.

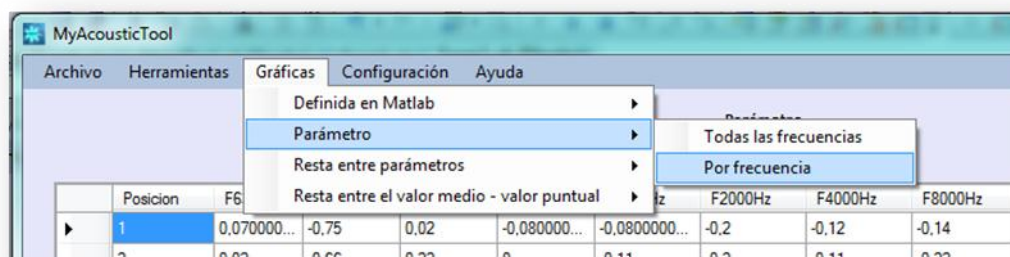


Imagen 71: Menú. Crear un gráfico en función del valor del parámetro y receptor para cada frecuencia

Se abre una ventana donde se puede seleccionar el tipo de gráfico: líneas, puntos, barras o áreas, habilitar la visualización en 3D, la frecuencia a mostrar y un botón que permite guardar la gráfica.

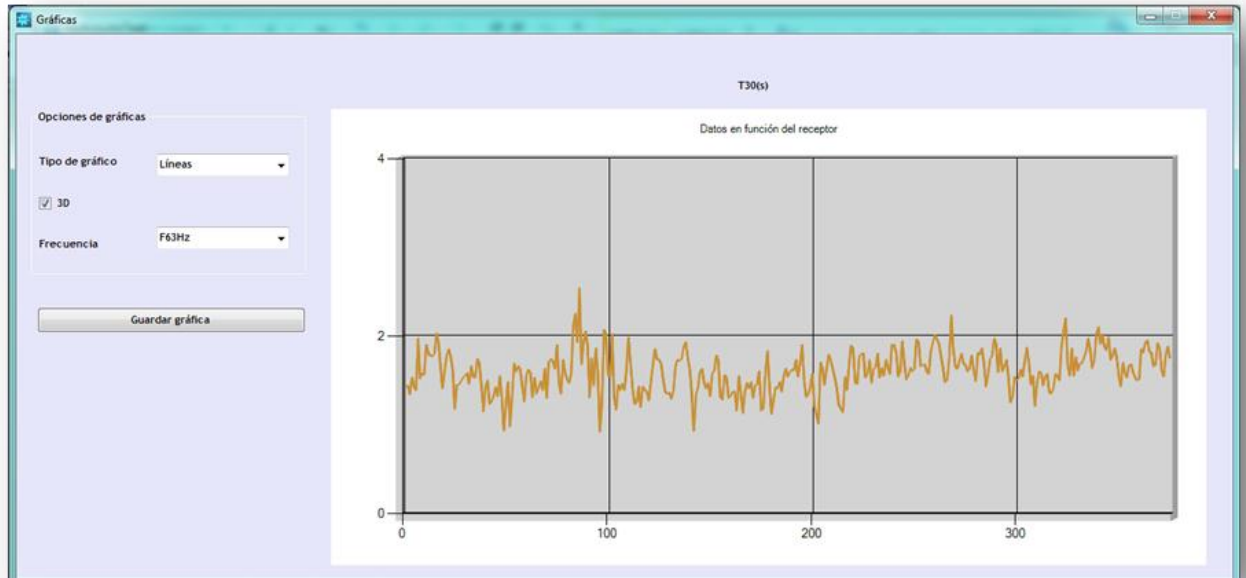


Imagen 72: Aplicación. Gráficas en función del receptor para cada frecuencia

Programación

Menú Gráficas/Parámetros/Por frecuencia:

Extrae el nombre de la tabla del ítem del selector de parámetros cargados y llama a la función *GrafFrec (nomTabla)*

Menú Gráficas/Resta/Por frecuencia:

Extrae el nombre de la tabla del ítem del selector de resultados *Entre Parámetros* del panel *Resta* y llama a la función *GrafFrec (nomTabla)*

Menú Gráficas/Resta/Por frecuencia:

Extrae el nombre de la tabla del ítem del selector de resultados *Valor medio – Valor puntual* del panel *Resta* y llama a la función *GrafFrec (nomTabla)*

ComboBox del cuadro Gráficas:

Cómo al cargar el gráfico sólo se carga la primera frecuencia, en este control se extrae otra frecuencia que se quiera mostrar y se sustituyen los datos de la anterior por la nueva.

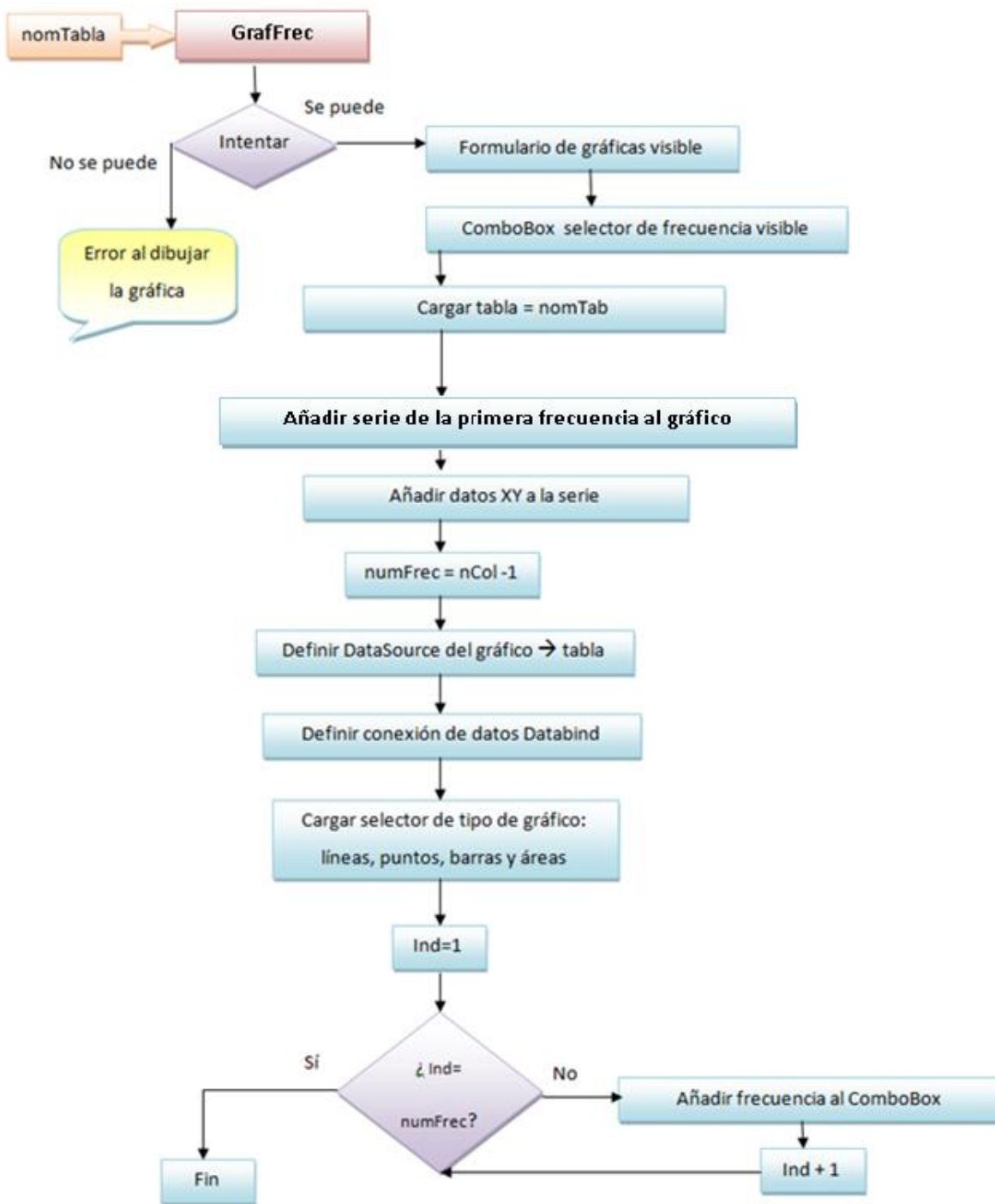


Diagrama 15: Función GrafFrec

6.6.4. MENÚ CONFIGURACIÓN

En este menú el usuario puede elegir sus preferencias, en concreto sólo se han colocado dos opciones editables, pero este menú podría servir de base para configurar otras opciones en una posible actualización.

6.6.4.1. ACTIVAR O DESACTIVAR FILTRADO SQL

La herramienta de filtrar según una consulta SQL puede ser muy ventajosa si las opciones de filtrado que se dan por defecto no se ajustan a los deseadas, pero puede ser muy peligrosa si se tuvieran malas intenciones, podrían borrarse las tablas de la base de datos del programa, modificarlas, etc. Esto se conoce como ataques por inyección de código SQL. Esto podría producir errores en el funcionamiento de la aplicación, por ello la opción de filtrar SQL se encuentra desactivada.

Para activarla o desactivarla es necesario entrar en este menú, pide una clave y si es correcta la activa o desactiva, según su estado primario.

La clave es *VeroPFC*, es necesario escribirla teniendo en cuenta mayúsculas y minúsculas.

Interfaz

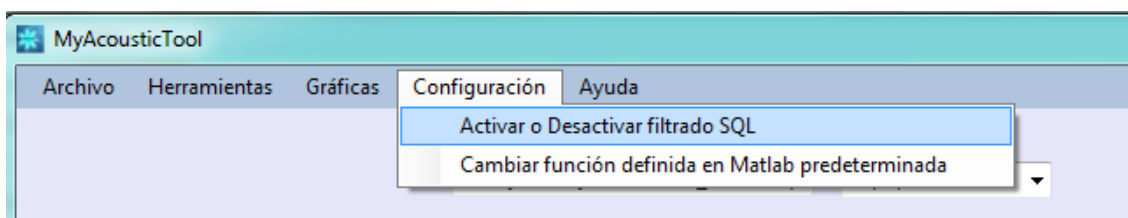


Imagen 73: Menú. Activar o Desactivar filtrado SQL

Se abre un cuadro de diálogo donde pide la contraseña. Si la respuesta es correcta de producirá la activación/desactivación.

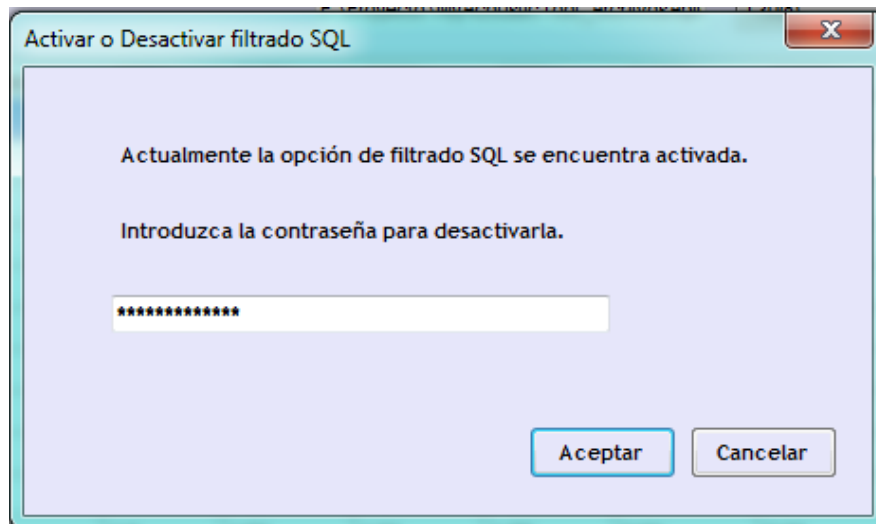


Imagen 74: Cuadro de diálogo. Activar o Desactivar filtrado SQL

Programación

Código en el ítem del menú:

Se edita el texto del cuadro de diálogo, según la opción se encuentre activada o desactivada y se abre el cuadro poniendo la propiedad *Visible* a *True*.

Código en el botón aceptar del cuadro de diálogo:

Si la contraseña entrante es correcta cambia el estado de activación, muestra un mensaje de confirmación y cierra el cuadro de diálogo, si es incorrecta muestra un mensaje de error.

6.6.4.2. CAMBIAR FUNCIÓN DEFINIDA EN MATLAB PREDETERMINADA

Cuando se va a utilizar una función en Matlab muchas veces para realizar las gráficas es mucho más rápido tener la función predefinida en lugar de tener que elegirla cada vez. Esta opción cambia la función predefinida por una que el usuario tenga en su ordenador.

El programa tiene una carpeta dentro de su directorio dedicada a almacenar funciones de Matlab y un documento .txt con el nombre de la función predefinida. En este punto se copia la función elegida por el usuario al directorio, se elimina el .txt y se crea otro con el nombre de la nueva función.

Interfaz

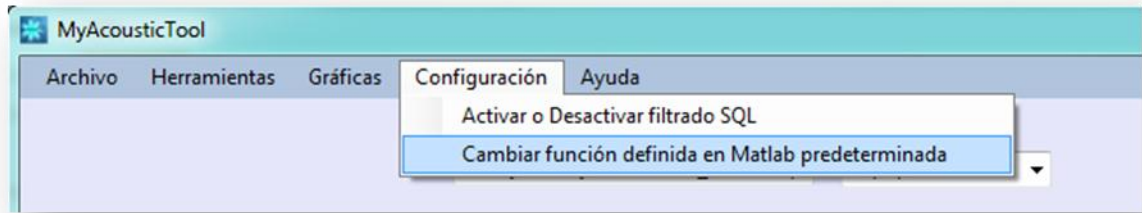


Imagen 75: Menú. Cambiar función definida en Matlab predeterminada.

Se abre el cuadro de diálogo donde se puede elegir otra función de Matlab.

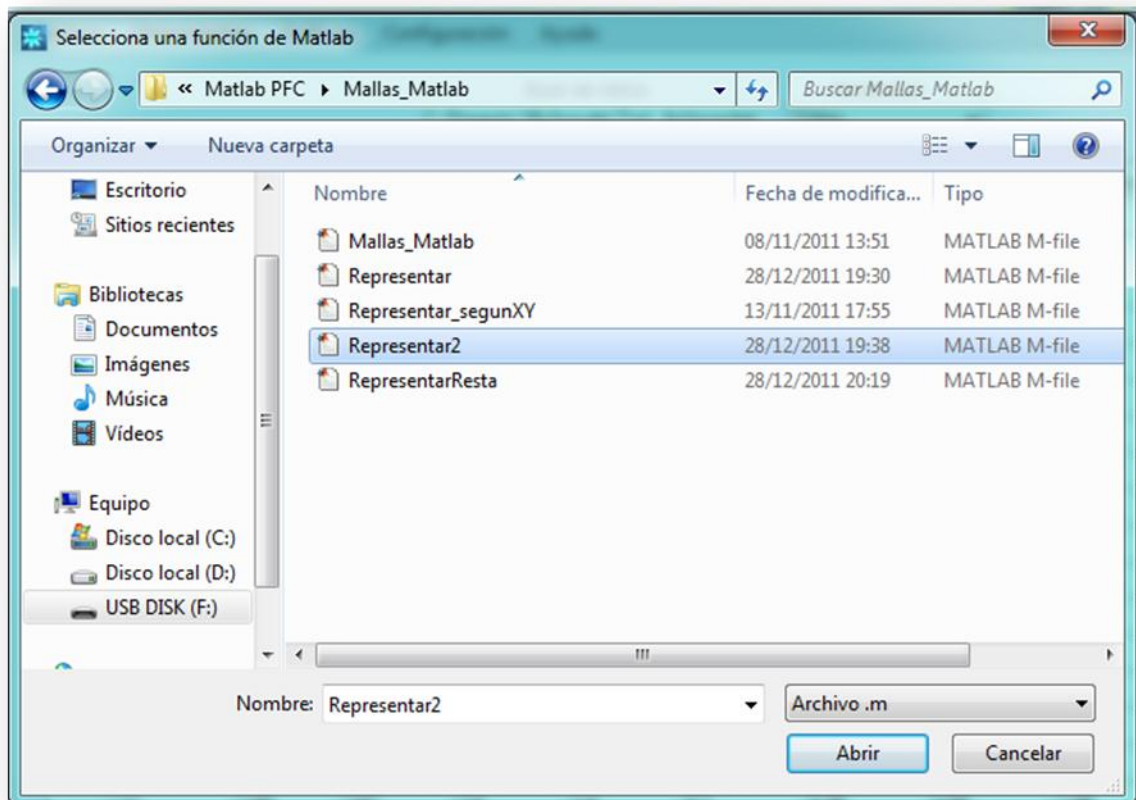
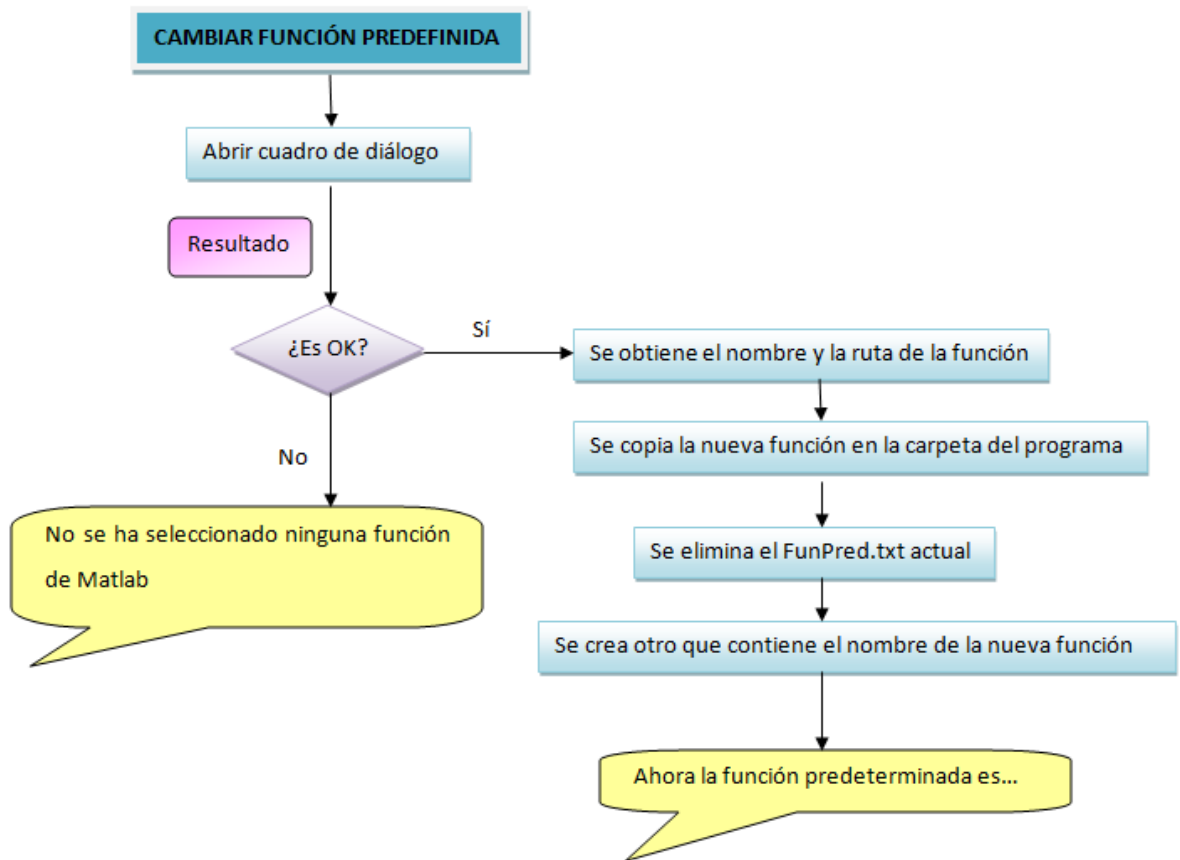


Imagen 76: Cuadro de diálogo. Seleccionar una función de Matlab

Programación



6.6.5. MENÚ AYUDA

Este es un apartado básico en toda aplicación que da información del programa, en este caso sólo hay dos ítems en el menú.

6.6.5.1. SOBRE MyAcousticTool

Muestra el típico cuadro de información del programa, es un formulario estándar. Su edición en Visual Basic es muy sencilla ya que es uno de los tipos de formularios que se encuentran preconfigurados. La información se edita desde las propiedades del proyecto.

Interfaz

Se pulsa en el menú de *Ayuda* en el ítem *Sobre MyAcousticTool* para abrir el cuadro:

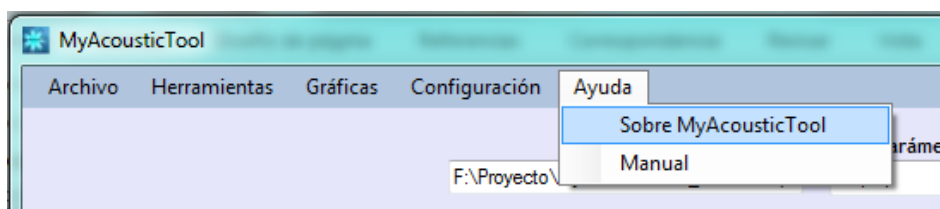


Imagen 77: Menú. Sobre MyAcousticTool



Imagen 78: Aplicación. Cuadro sobre MyAcousticTool

Programación

En el código del ítem del menú sólo hay que escribir la orden:

```
AboutBox1.Visible=True
```

6.6.5.2. MANUAL

Esta opción abre el manual del programa en pdf. Se ha creado un formulario aparte, donde se ha colocado un objeto donde se puede cargar un archivo pdf llamado *AxAcroPDF*.

Interfaz

Para abrir el manual se selecciona *Manual* en el menú *Ayuda*.

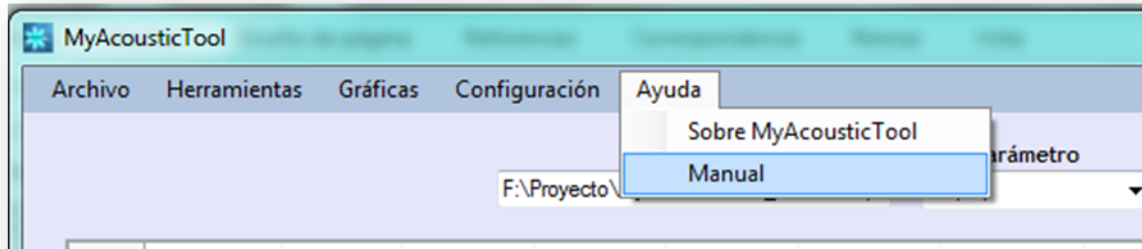


Imagen 79: Menú. Abrir manual

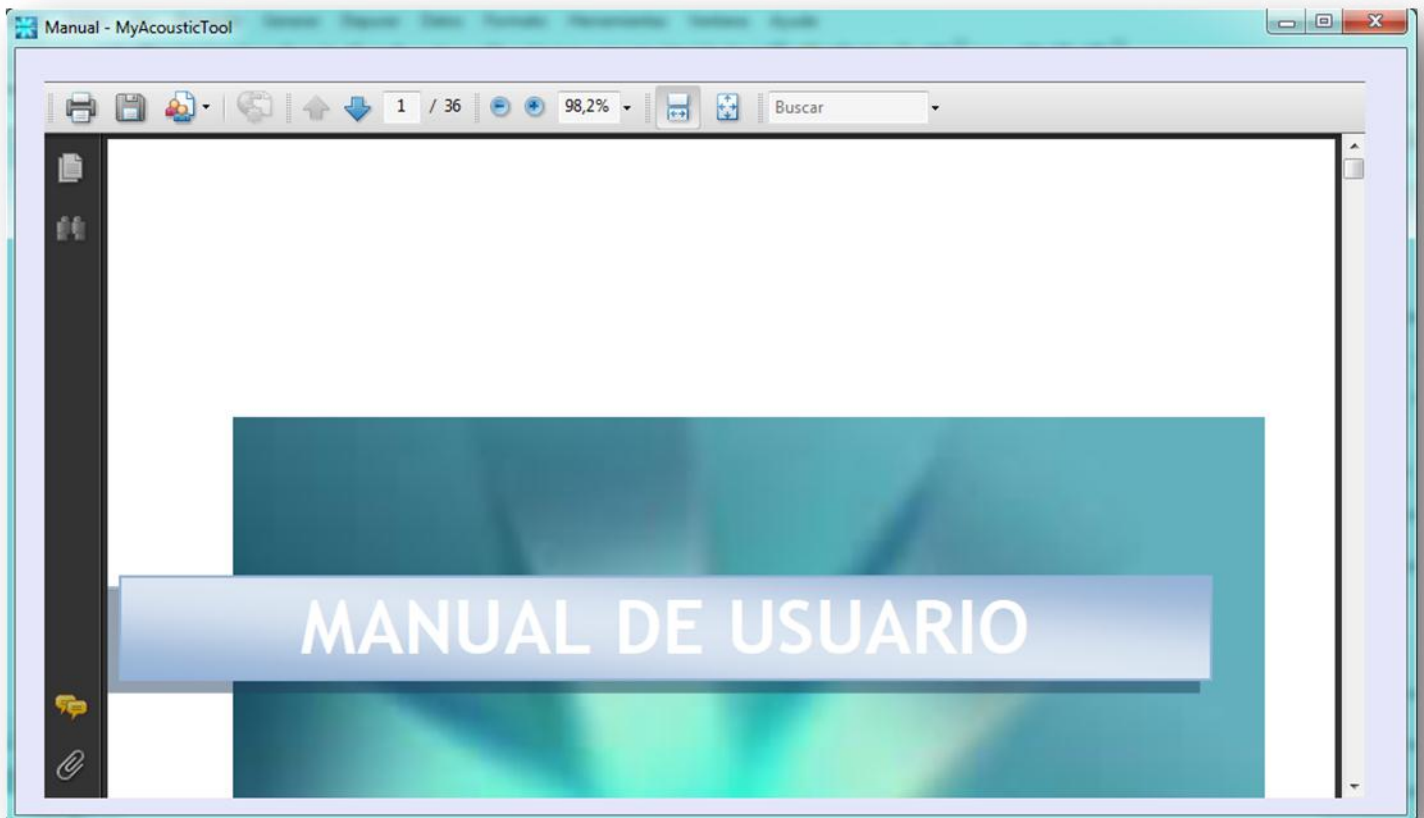


Imagen 80: Aplicación. Manual.

Programación

En el código del botón del menú se pone visible el formulario.

En el evento *Load* del nuevo formulario se llama a la función *LanzarPDF* del formulario principal.

La función *LanzarPDF* obtiene la ruta donde se encuentran los archivos de la aplicación y carga en el nuevo formulario el manual.

6.7. TRABAJO EN MATLAB

Dadas las limitaciones de Visual Basic, la creación de una gráfica donde representar espacialmente los parámetros se hace muy difícil, por ello se decidió utilizar Matlab e integrarlo dentro del programa.

Como ejemplo de funcionamiento se crearon varias funciones en Matlab que representan espacialmente el Auditorio Fernando Remacha, básicamente son iguales pero difieren del mapa de color, algunas sin definir y otras adaptándolo a una representación correcta de los datos. Este tipo de representación ha sido relativamente fácil ya que la sala no tiene encima de sus áreas de audiencia otras a una altura superior. En auditorios con varias plateas sería necesario crear gráficas en 3D o desdobladas por alturas.

Programación

1. Se lee la hoja de Excel creada en la carpeta temporal y se almacenan los datos como una matriz.
2. Se extraen las dimensiones de la matriz y los datos en función si son de Odeon o de winMLS y del número de frecuencias.
3. Se crea una la matriz imagen por frecuencia, ordenando los datos en función de la disposición espacial y rellenando los huecos entre las zonas de audiencia.
4. Se generan las imágenes y se guardan en la carpeta temporal.

Ejemplo función de Matlab: [RepresentarParam.m](#)

6.8. CONTROL DE ERRORES

Una de las partes más importantes de la programación es controlar cada posible proceso alternativo que se pueda dar en la aplicación y pueda conducir a errores. En ejecución cualquiera de estos procesos podría dar lugar a que la aplicación, o incluso el ordenador no respondiesen.

La mayoría de estos errores se dan mientras se depura el programa, y se van corrigiendo poco a poco con el método de ensayo y error, pero para mayor fiabilidad es necesario una vez dada por terminada la aplicación “atacarla” intentando a propósito que se den fallos para poder corregirlos.

6.8.1. Técnicas para el control de errores

- Instrucción *Try*

Colocando esta instrucción en cualquier función importante conseguimos que si da cualquier tipo de excepción en tiempo de ejecución se pueda controlar. Se puede mostrar un mensaje de error y finalizar el proceso fallido.
- Bloquear menús

Se han bloqueado los menús de gráficas y cálculos cuando no hay datos con los que ejecutar las funciones, si imposibilitamos que el usuario pueda acceder a estas funciones no se producirán errores en esa situación.
- Cerrar procesos abiertos

En aplicaciones donde se usa interoperabilidad se crea una conexión entre la aplicación y otra que se encuentre instalada en el ordenador. Uno de los fallos más recurrentes ha sido que si había un archivo abierto no se podía abrir otro, este fallo se corrigió eliminando los procesos abiertos.

7. EJEMPLOS DE USO DE LA APLICACIÓN

7.1. Relación entre T30 y variaciones de los coeficientes de absorción de las butacas para el Auditorio Fernando Remacha

7.1.1.1. Objetivo

El planteamiento es analizar en qué medida al variar porcentualmente los coeficientes de absorción de un material de la sala, varía el parámetro T30(s). En este caso los coeficientes a cambiar son los de las butacas, el material más absorbente.

Se han obtenido los resultados de la simulación en cada butaca con distintas variaciones en los coeficientes, se analizarán los cambios en el T30 para valores medios y lo que supone respecto a la percepción subjetiva de la reverberación en la sala.

7.1.1.2. Introducción teórica

Partiendo de la fórmula de Sabine aplicada al Conservatorio:

$$T30 = \frac{0,161 * V}{\tilde{\alpha}S_T + 4mV} = \frac{0,161 * V}{\tilde{\alpha}_{mad}(S_T - S_b - S_p) + \alpha_b S_b + \alpha_p S_p + 4mV}$$

Suponiendo que lo único que varía es α_b , podemos considerar que la fórmula depende únicamente de este valor, teniendo en cuenta la siguiente fórmula de error:

Partiendo de $x \pm \delta x$, Sea $q = f(x)$

$$\delta q = f(x \pm \delta x) - f(x) = \left| \frac{df(x)}{dx} \right| \delta x$$

Podemos concretar que:

$$\delta T30 = \frac{0,161 * V * S_b}{(\tilde{\alpha}_{mad}(S_T - S_b - S_p) + \alpha_b S_b + \alpha_p S_p + 4mV)^2} * \delta \alpha_b$$

7.1.1.3. Análisis de parámetros medios

Se realizan las simulaciones en Odeon variando los coeficientes de absorción de las butacas un $\pm 5\%$ y un $\pm 10\%$.

Tabla 13: Coeficientes de absorción de las butacas

Coeficientes de absorción	F 63 Hz	F125 Hz	F 250 Hz	F 500 Hz	F 1000 Hz	F 2000 Hz	F 4000 Hz	F 8000 Hz
α_b	0,33	0,78	0,65	0,71	0,55	0,35	0,27	0,0010
$\alpha_b + 5\%$	0,35	0,82	0,68	0,75	0,58	0,37	0,284	0,0011
$\alpha_b - 5\%$	0,31	0,74	0,62	0,67	0,52	0,33	0,26	0,0010
$\alpha_b + 10\%$	0,36	0,86	0,72	0,78	0,61	0,39	0,30	0,0011
$\alpha_b - 10\%$	0,30	0,70	0,59	0,64	0,50	0,32	0,24	0,0009

Se exportan los resultados de los parámetros obtenidos a partir de las simulaciones como un .txt y se modifica para que sea importable por MyAcousticTool. Se guardan los resultados de cada archivo como un Excel y se crea un nuevo Excel sólo con los valores del T30(s) de cada simulación. A partir de este Excel podemos realizar todas las operaciones necesarias para el análisis.

T30(s) medios

Se hallan los T30 medios a partir de la simulación (*Menú Herramientas / Calcular / Medias / Totales*).

Tabla 14: T30(s) medios simulados

T30(s) medios simulados	F63Hz	F125Hz	F250Hz	F500Hz	F1000Hz	F2000Hz	F4000Hz	F8000Hz
T30(s) α_b	1,53	1,53	1,75	1,81	2,03	2,41	2,62	1,83
T30(s) $\alpha_b + 5\%$	1,51	1,47	1,70	1,74	1,97	2,36	2,59	1,82
T30(s) $\alpha_b - 5\%$	1,56	1,58	1,80	1,88	2,10	2,46	2,65	1,83
T30(s) $\alpha_b + 10\%$	1,50	1,42	1,64	1,69	1,92	2,31	2,47	1,81
T30(s) $\alpha_b - 10\%$	1,57	1,64	1,86	1,94	2,14	2,49	2,71	1,83

Para poder comparar si realmente el incremento teórico hallado con la fórmula del punto anterior es igual al proporcionado directamente por la simulación, hallamos dichos incrementos y su error relativo, tomando como datos reales los obtenidos en la simulación.

Incrementos T30(S) teóricos								
	F 63 Hz	F125 Hz	F 250 Hz	F 500 Hz	F 1000 Hz	F 2000 Hz	F 4000 Hz	F 8000 Hz
T30(s) $\alpha + 5\%$	-0,02	-0,05	-0,05	-0,08	-0,09	-0,11	-0,07	-0,01
T30(s) $\alpha - 5\%$	0,02	0,05	0,06	0,08	0,09	0,11	0,07	0,00
T30(s) $\alpha + 10\%$	-0,03	-0,09	-0,12	-0,13	-0,17	-0,21	-0,38	-0,02
T30(s) $\alpha - 10\%$	0,03	0,09	0,12	0,15	0,16	0,17	0,22	0,00

Incrementos T30(S) simulados								
	F 63 Hz	F125 Hz	F 250 Hz	F 500 Hz	F 1000 Hz	F 2000 Hz	F 4000 Hz	F 8000 Hz
$\Delta T30(s) \alpha + 5\%$	-0,02	-0,04	-0,03	-0,04	-0,03	-0,02	-0,01	0,00
$\Delta T30(s) \alpha - 5\%$	0,02	0,04	0,03	0,04	0,03	0,02	0,01	0,00
$\Delta T30(s) \alpha + 10\%$	-0,03	-0,08	-0,07	-0,07	-0,06	-0,04	-0,03	0,00
$\Delta T30(s) \alpha - 10\%$	0,03	0,08	0,06	0,07	0,06	0,04	0,03	0,00

	Error relativo en los incrementos %							
	F 63 Hz	F125 Hz	F 250 Hz	F 500 Hz	F 1000 Hz	F 2000 Hz	F 4000 Hz	F 8000 Hz
$\Delta T30(s) \alpha + 5\%$	0,0	25,0	66,7	100,0	200,0	450,0	600,0	15900,0
$\Delta T30(s) \alpha - 5\%$	0,0	25,0	100,0	100,0	200,0	450,0	600,0	100,0
$\Delta T30(s) \alpha + 10\%$	0,0	12,5	71,4	85,7	183,3	425,0	1166,7	14900,0
$\Delta T30(s) \alpha - 10\%$	0,0	12,5	100,0	114,3	166,7	325,0	633,3	100,0

En la tabla con ayuda de escalas de color se puede apreciar que a frecuencias bajas y hasta los 1000 Hz la diferencia entre el incremento teórico y el simulado es mucho menor que en el resto de las frecuencias para todos los tipos de variación porcentual de absorción por lo que la fórmula teórica se ajusta más para esas frecuencias.

Aquí se muestran la distribución del T30(s) para el mejor caso 250 Hz, donde se aprecia que todas las gráficas son muy parecidas y no hay grandes saltos en la escala de color.

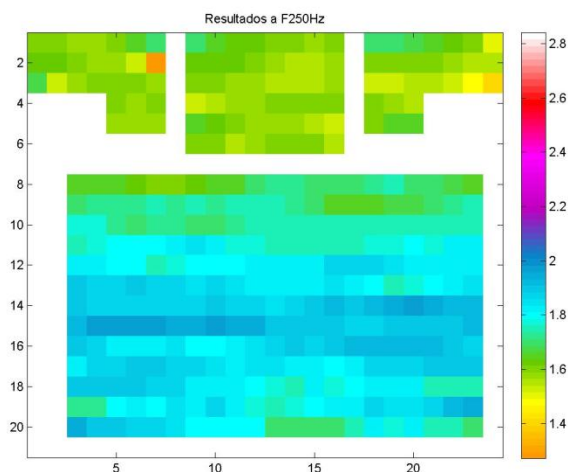


Imagen 82: T30(s) a 250 Hz con $\alpha + 0\%$

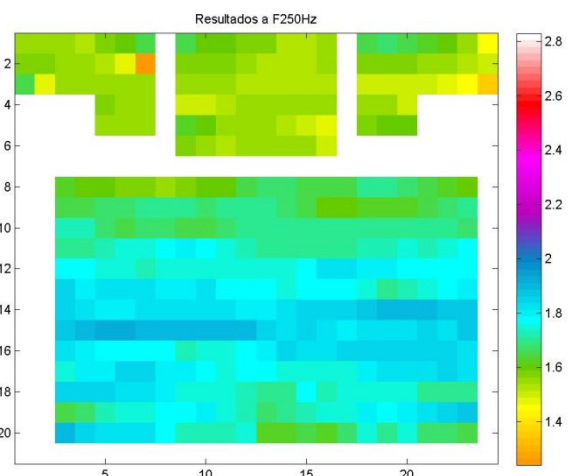


Imagen 81: T30(s) a 250 Hz con $\alpha + 5\%$

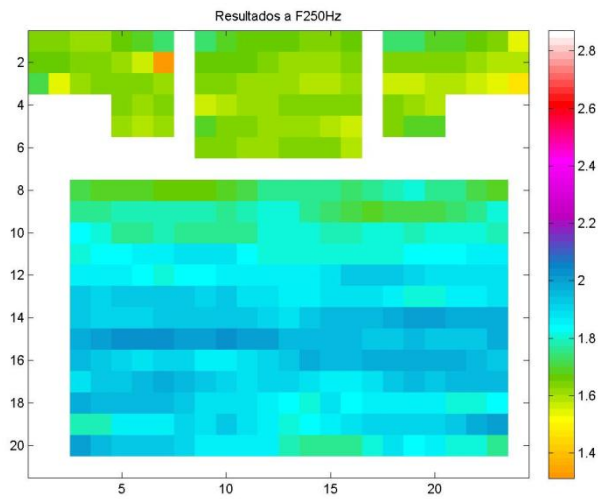


Imagen 84: T30(s) a 250 Hz con α - 5%

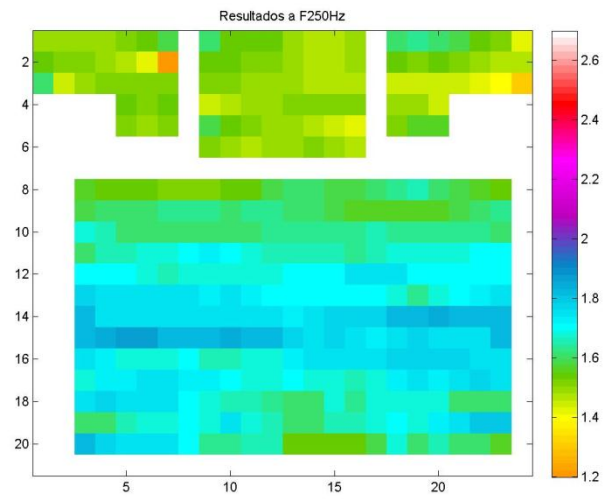


Imagen 83: T30(s) a 250 Hz con α + 10%

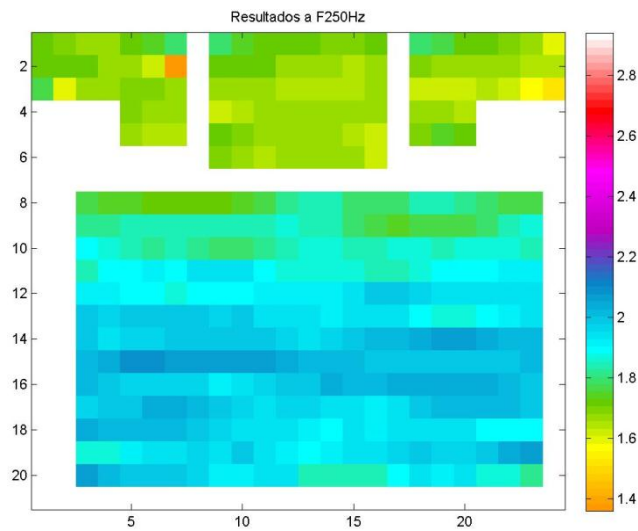


Imagen 85: T30(s) a 250 Hz con α -10%

En esta la distribución del T30(s) para uno de los peores casos, 4000 Hz, los saltos de color entre las distintas imágenes son más abruptos.

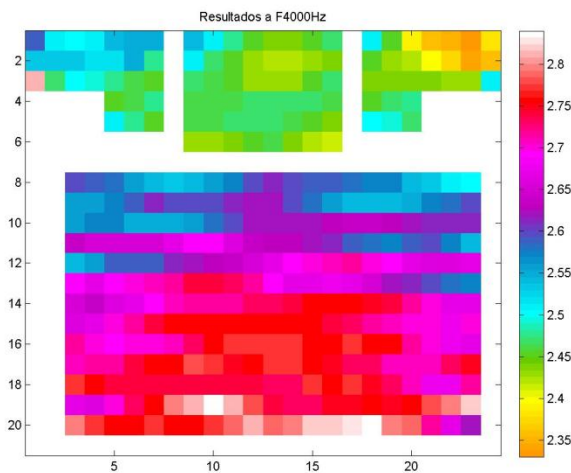


Imagen 87: T30(s) a 4000 Hz con α + 0%

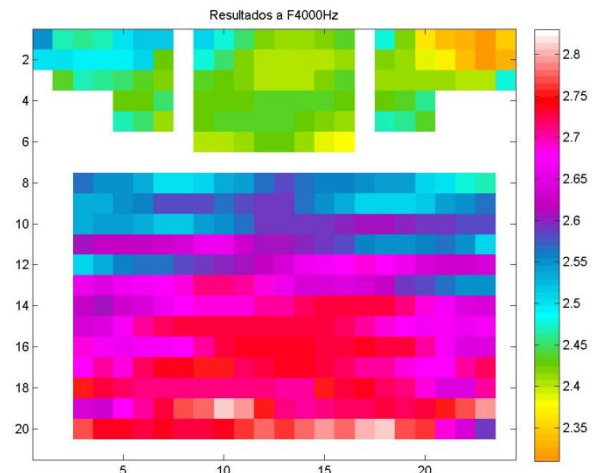


Imagen 86: T30(s) a 4000 Hz con α + 5%

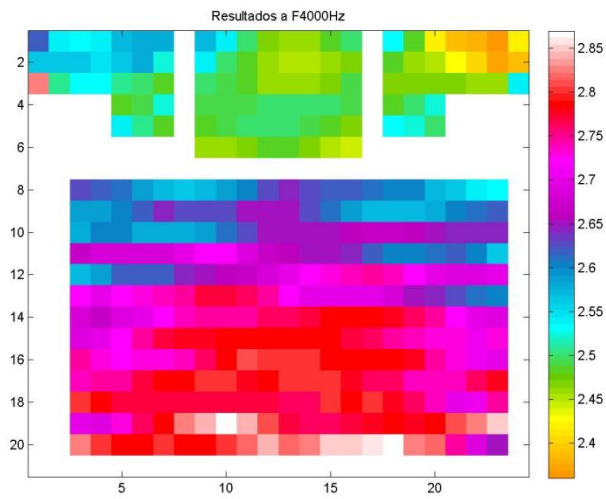


Imagen 89: T30(s) a 4000 Hz con α - 5%

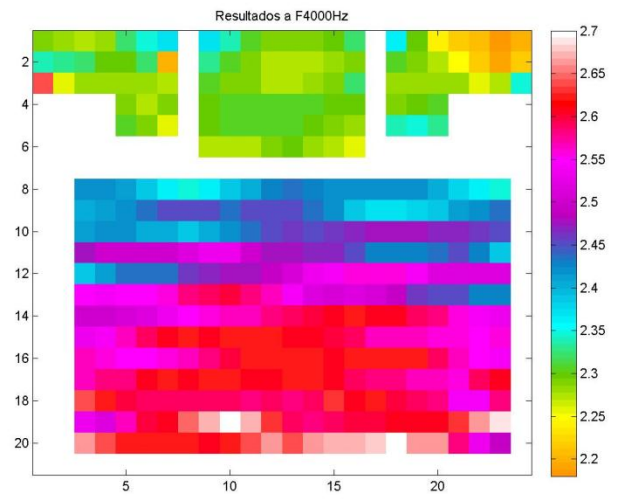


Imagen 88: T30(s) a 250 Hz con α + 10%

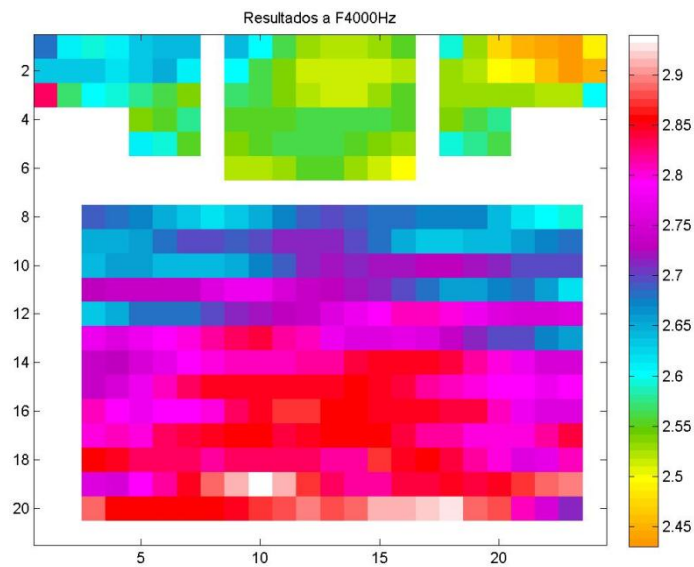


Imagen 90: T30(s) a 250 Hz con α - 10%

En el Anexo A, se muestran todas las [gráficas por frecuencias del parámetro T30\(s\)](#).

7.1.1.4. Percepción subjetiva

Por otro lado resulta muy interesante evaluar hasta qué punto las variaciones porcentuales en los coeficientes de absorción de los materiales producen variaciones subjetivas en la percepción de la reverberación de la sala, esta variación se cuantifica con el JND del parámetro. Todas aquellas variaciones que produzcan una variación mayor a 1 JND respecto de la simulación sin incremento producirán una percepción del sonido diferente.

JND en parámetros medios

La siguiente tabla muestra la diferencia en JND respecto de la simulación sin incremento para todas las frecuencias:

Tabla 15: JND respecto de valores con sin incremento en los coeficientes de absorción

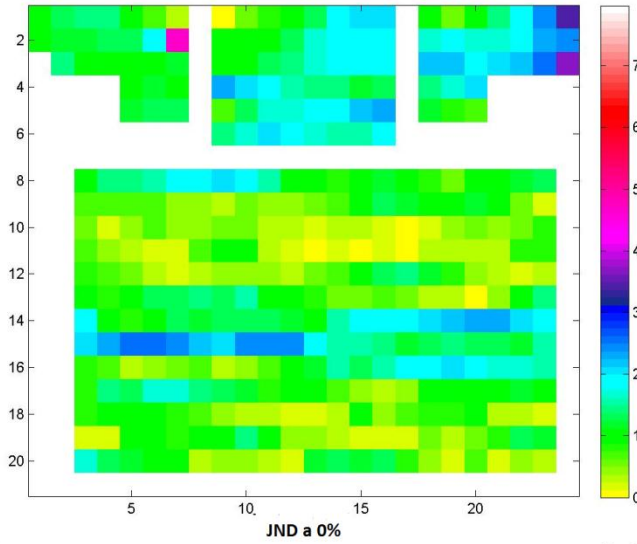
JND respecto 0% de	JND REF T30(s) ALFA 0%							
	F63Hz	F125Hz	F250Hz	F500Hz	F1000Hz	F2000Hz	F4000Hz	F8000Hz
T30(s) $\alpha + 5\%$	0,33	0,72	0,58	0,75	0,59	0,44	0,22	0,07
T30(s) $\alpha - 5\%$	0,34	0,74	0,60	0,79	0,63	0,45	0,23	0,00
T30(s) $\alpha + 10\%$	0,49	1,42	1,31	1,28	1,16	0,85	1,18	0,14
T30(s) $\alpha - 10\%$	0,51	1,51	1,22	1,43	1,06	0,68	0,69	0,00

Cómo para el parámetro T30(s) el JND es de un 5%, es lógico que para incrementos de $\pm 5\%$ todos los valores se encuentren por debajo de 1 JND. Para variaciones de $\pm 10\%$ sí hay valores por encima de 1 JND para las frecuencias de 125 a 1000 Hz y para el incremento del 10% para 4000 Hz.

JND en valores en el receptor

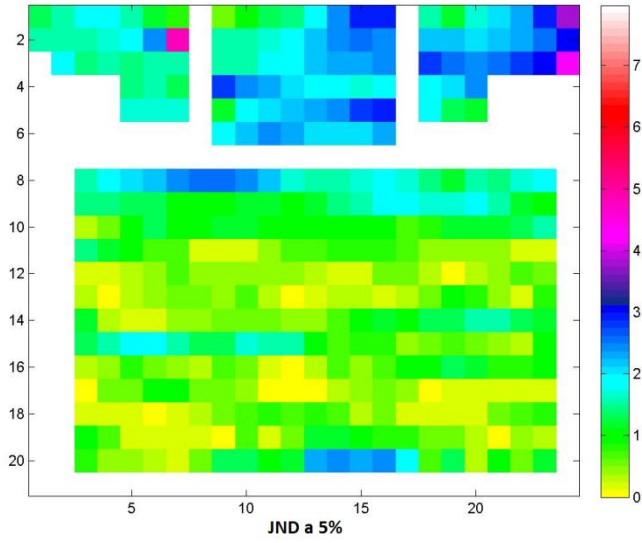
Calcular el JND en los receptores da una idea de la desviación de los datos respecto de la media. Si se hace una comparación espacial de los receptores respecto de los valores medios del T30(s) obtenido sin incrementos en los coeficientes de absorción podemos visualizar las zonas donde las desviaciones son mayores y que contribuyen más a que varíe la percepción subjetiva en la sala. Como ejemplo tomaremos los datos a 125 Hz y se observa que para incrementos positivos de la absorción la mayoría de las diferencias de más de 1 JND se dan en las áreas de audiencia más separadas del escenario y para decrementos de absorción en el área de audiencia más cercana al escenario.

Resultados a F125Hz



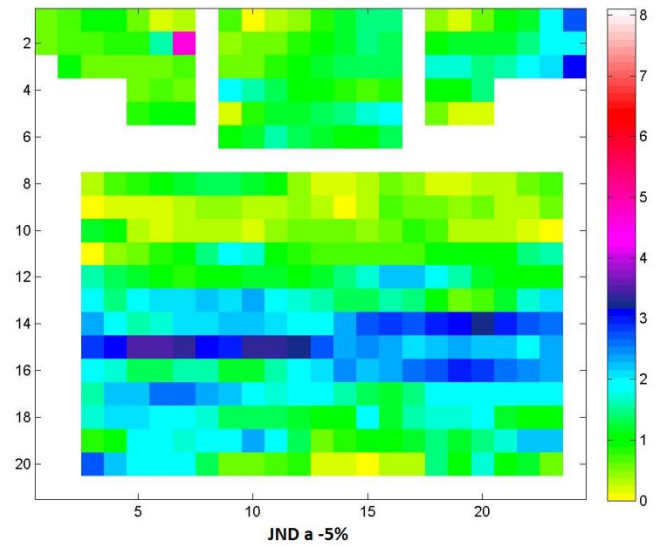
Resultados a F125Hz

JND a 0%



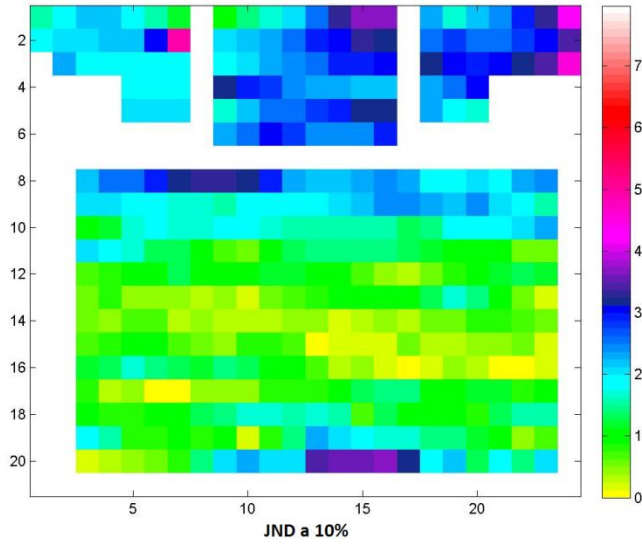
JND a 5%

Resultados a F125Hz



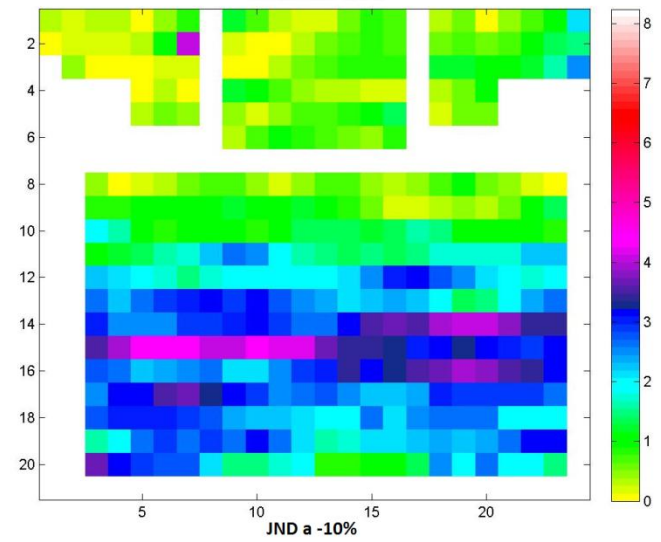
JND a -5%

Resultados a F125Hz



JND a 10%

Resultados a F125Hz



JND a -10%

El resto de las gráficas se encuentran en el apartado [Gráficas JND del Anexo A](#)

7.2. Influencia del número de rayos definido en Odeon y el parámetro C80

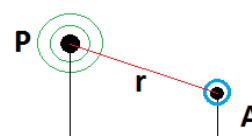
7.2.1.1. Objetivo

Las simulaciones en Odeon se realizan normalmente con un número de rayos que el programa calcula como óptimo teniendo en cuenta el tiempo de ejecución y el número de rayos necesarios para que los cálculos sean correctos. En esta parte se pretende analizar la influencia de variar el número de rayos para realizar la simulación en el parámetro C80, que tiene una gran dependencia espacial.

7.2.1.2. Introducción teórica

Sea P una fuente omnidireccional, se define la densidad espacial de rayos en un punto A como:

$$\rho_r = \frac{4\pi r^2}{N} \text{ siendo } N \text{ el número de rayos incidentes en } A$$



7.2.1.3. Resultados

Lo primero es calcular, partiendo del valor recomendado de 1401 rayos de Odeon, los números de rayos necesarios para que a distintas distancias se consiga una densidad de rayos de 1rayo/m².

Distancia	3,95	7,5	10,56	15,5	21
Nº de rayos para $\rho_{\min}= 1 \text{ rayo/m}^2$	196	707	1401	3019	5542

Se realizan las simulaciones en Odeon variando el número de rayos, los tiempos de ejecución se detallan a continuación:

Tabla 16: tiempo de ejecución según el número de rayos de la simulación

Número de rayos	Tiempo de ejecución(min)
196	0:55
707	2:18
1401	4:10
3019	9:15
5542	18:05

Se exportan los resultados de los parámetros obtenidos a partir de las simulaciones como un .txt y se modifica para que sea importable por MyAcousticTool. Se guardan los resultados de cada archivo como un Excel y se crea un nuevo Excel sólo con los valores del C80(dB) de cada simulación y el obtenido con winMLS. Con este Excel podremos realizar la comparación espacial.

C80(dB) medios

Se hallan los C80(dB) medios a partir de la simulación (*Menú Herramientas / Calcular / Medias / Totales*) y por otro lado los valores medios del C80 de winMLS obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 17: C80(dB) medios de las simulaciones y del valor real

Parámetro	C80(dB) medio							
	F63Hz	F125Hz	F250Hz	F500Hz	F1000Hz	F2000Hz	F4000Hz	F8000Hz
C80(dB)_196	0,8	0,8	0,1	-0,3	-1,0	-2,1	-2,7	-1,0
C80(dB)_707	0,7	0,4	-0,2	-0,7	-1,3	-2,2	-2,8	-1,2
C80(dB)_1401	0,6	0,4	-0,3	-0,7	-1,4	-2,3	-2,9	-1,2
C80(dB)_3019	0,6	0,4	-0,3	-0,7	-1,3	-2,3	-2,9	-1,2
C80(dB)_5542	0,6	0,4	-0,3	-0,7	-1,3	-2,3	-2,9	-1,1
C80(dB)_winMLS	1,4	0,8	-0,3	-0,1	-0,8	-1,9	-2,2	0,2

Tabla 18: Errores relativos de los parámetros simulados respecto de los valores reales

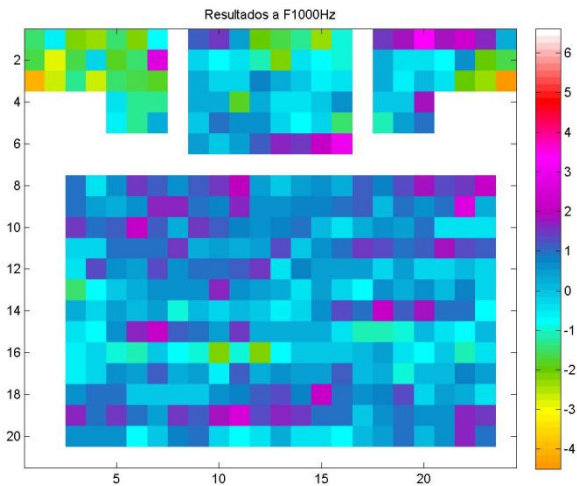
Parámetro	Error relativo respecto valor medido [%]							
	F63Hz	F125Hz	F250Hz	F500Hz	F1000Hz	F2000Hz	F4000Hz	F8000Hz
C80(dB)_196	41,1	10,3	123,2	220,7	31,2	9,4	23,7	754,4
C80(dB)_707	49,5	46,7	24,7	721,7	65,5	17,2	30,1	882,3
C80(dB)_1401	56,8	53,7	3,4	785,4	74,9	21,9	34,1	874,5
C80(dB)_3019	54,7	50,8	14,1	693,9	66,2	19,6	32,3	862,1
C80(dB)_5542	52,7	49,3	10,5	775,1	71,6	20,0	31,3	842,0

Para esta simulación se observa que el número que da por defecto Odeon para este parámetro, 1401 rayos, es precisamente el que peor se ajusta a los datos simulados y que en contra de lo que pueda parecer, el que mejor se ajusta es el que utiliza menor número de rayos. Por lo tanto podemos concluir que utilizar un mayor número de rayos no sólo es ineficiente en cuanto al tiempo de ejecución sino que además deteriora los resultados. De todas formas, todos los parámetros medios se ajustan bien al medido in situ en la sala, no tienen una diferencia mayor de 1 JND (1 dB) excepto para 8 KHz.

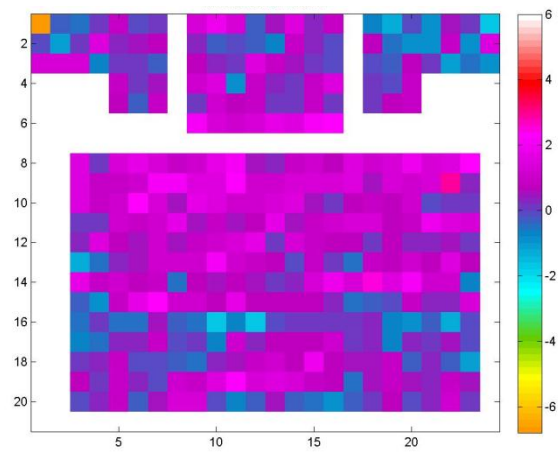
C80(db) en receptores

Para poder evaluar espacialmente donde se dan las mayores imprecisiones en los resultados es interesante comparar los datos reales obtenidos en cada receptor con los datos de las simulaciones realizando la resta. Como ejemplo se pueden analizar las gráficas a 1000Hz que podrían ser representativas del comportamiento general:

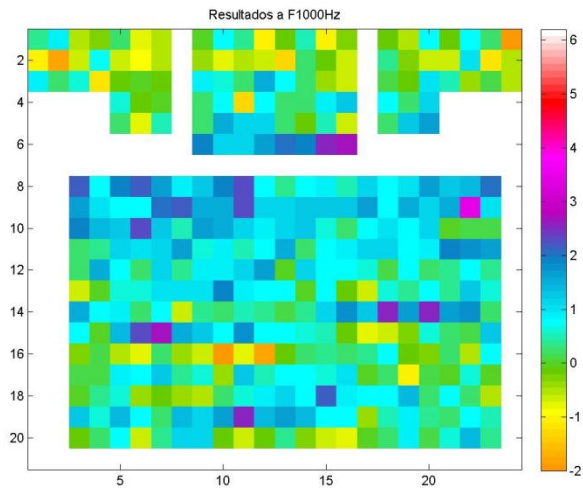
Gráfica 8: Comparación C80 winMLS y C80 simulado con 196 rayos



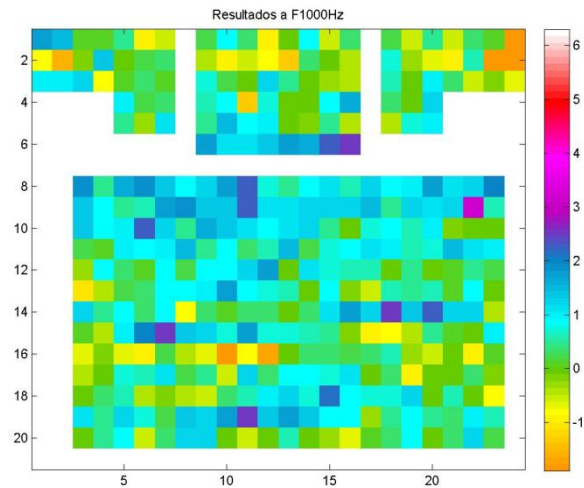
Gráfica 7: Comparación C80 winMLS y C80 simulado con 707 rayos



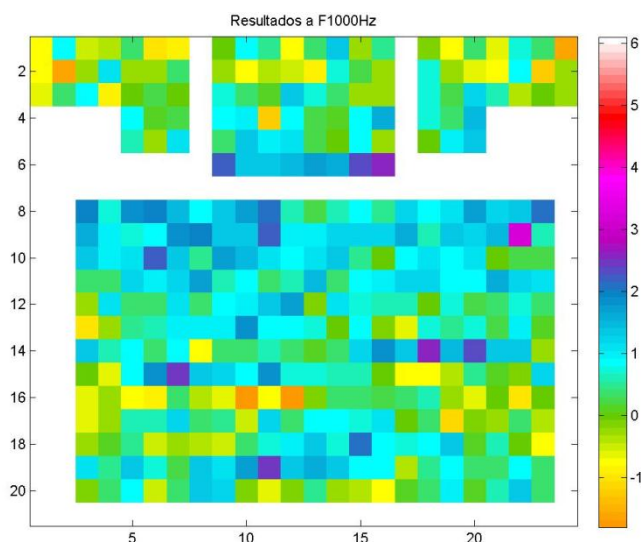
Gráfica 6: Comparación C80 winMLS y C80 simulado con 1401 rayos



Gráfica 5: Comparación C80 winMLS y C80 simulado con 3019 rayos



Gráfica 9: Comparación C80 winMLS y C80 simulado con 5542



Para la primera gráfica, la de la simulación con 196 rayos, se aprecia que la diferencia entre el parámetro real y el simulado es mucho mayor en la zona más alejada del escenario, podemos encontrar diferencias de hasta ± 3 dB, pero por lo demás la mayoría de los valores se encuentran entre ± 1 dB.

En la segunda gráfica, casi todos los valores se encuentran en torno a 2 dB.

La tercera situación, se aprecia una menor variabilidad, y en la zona de audiencia más cercana al escenario casi todas las diferencias se encuentran entre 0 y 2,5 dB. Para las siguientes gráficas las diferencias varían ligeramente en casi todos los receptores respecto a la simulación de 1401 rayos, aumenta la estabilidad en las variaciones pero son todas muy parecidas.

Las gráficas de todas las frecuencias se encuentran en el apartado [comparación C80 del Anexo A.](#)

8. CONCLUSIONES

8.1. Realización de las medidas

1. El proceso de captación de las medidas, aunque ha llevado mucho tiempo, ha resultado muy instructivo.
2. La obtención de los datos de una forma tan precisa aporta mucha información, en muchos casos incluso un exceso, lo más probable es que se hubieran podido obtener los datos medios con una precisión muy similar realizando un menor número de medidas.

8.2. Simulación

1. La modelización en SketchUp ha resultado lo suficientemente precisa como para poder realizar una correcta simulación en el recinto.
2. Tener en cuenta los consejos que ofrece el manual de Odeon para realizar una buena simulación acústica es muy conveniente para realizar una simulación eficiente.
3. Para corregir el modelo para que sea utilizable en Odeon es mucho más sencillo no utilizar su editor, es mucho más rápido e intuitivo volver a SketchUp y corregir allí los fallos.
4. Para el primer ajuste, a excepción del error a 500 Hz, se observa que los coeficientes de absorción de las butacas no se ajustan a los teóricos dentro de los márgenes de error, en estos casos el mínimo error es de un 21,69 %.
5. Las absorciones del aire que calcula Odeon son ligeramente mayores que las teóricas, en general los errores relativos son menores de un 7% y más altos a más alta frecuencia.
6. Comparando los coeficientes de absorción de las butacas dados por el fabricante y los calculados a partir de los datos obtenidos en la sala se aprecia un error aplicando la

fórmula de Sabine desde un mínimo de un 12'14 % hasta casi un 120 % y aplicando la de Eyring desde un mínimo de 1,62 hasta algo más de un 135 %.

7. Para realizar un ajuste mejorado es necesario modificar la humedad relativa del aire y asignar coeficientes de absorción medios para todos los tipos de madera.
8. Cargar un XML con todos los receptores es mucho más rápido que editar los receptores uno a uno.

8.3. Programación

1. El trabajo en Visual Basic es muy complicado por la gran cantidad de elementos que es capaz de incorporar y por las grandes posibilidades de programación que tiene.
2. Crear una interfaz fácil de utilizar y con un diseño atractivo es muy importante para que el usuario se sienta cómodo.
3. La preinstalación hace que sea inmediata la posible utilización de MyAcousticTool y ocupa menos recursos en el ordenador.
4. La aplicación puede considerarse un puente para poder manejar tipos de datos que a priori serían incompatibles por haberse obtenido de distintas aplicaciones, es modular y se adapta a cualquier tipo de sala.
5. Importar los datos como .txt para pasarlos a un Excel permite realizar múltiples operaciones matemáticas en los datos: medias, desviaciones típicas, filtrados... y además permite poder utilizarlos fuera del programa.
6. Las opciones más interesantes del programa son calcular y comparar con JND y la realización de gráficas en Matlab, donde no sólo se pueden visualizar los parámetros en sí sino también las operaciones realizadas con ellos.
7. El control de errores es muy importante para evitar que el ordenador no responda en caso de que se produzca una excepción en tiempo de ejecución.

8.4. Ejemplos de uso de la aplicación

1. El programa resulta muy eficiente para calcular las diferencias en el T30(s) cambiando los coeficientes de absorción de las butacas, tanto para analizar los T30(s) medios como para el T30(s) en cada receptor.
2. La aplicación ha sido muy útil para evaluar la influencia de variar el número de rayos en el parámetro C80(dB), sobre todo por la posibilidad de restar a los datos calculados in situ los simulados y establecer gráficas comparativas.

9. BIBLIOGRAFÍA

Christensen, C. L. (2011). *User manual ODEON ROOM ACOUSTICS SOFTWARE*. Lyngby, Dinamarca: Scion DTU.

Development, M. S. (Ed.). (2004). *winMLS 2004 Reference Documentation*. Trondheim, Noruega.

Isbert, A. C. (1998). *Diseño acústico de espacios arquitectónicos*. Ediciones UPC.

Recuero López, M. (1999). *Acústica arquitectónica aplicada*. Ed. Paraninfo.

10. URLOGRAFÍA

16/12/2011

<http://www.dynamobel.com/Productos/descargas/SILLA/PRIMA/HandlerFichero.pdf>

Durante todo el plazo de desarrollo de la aplicación

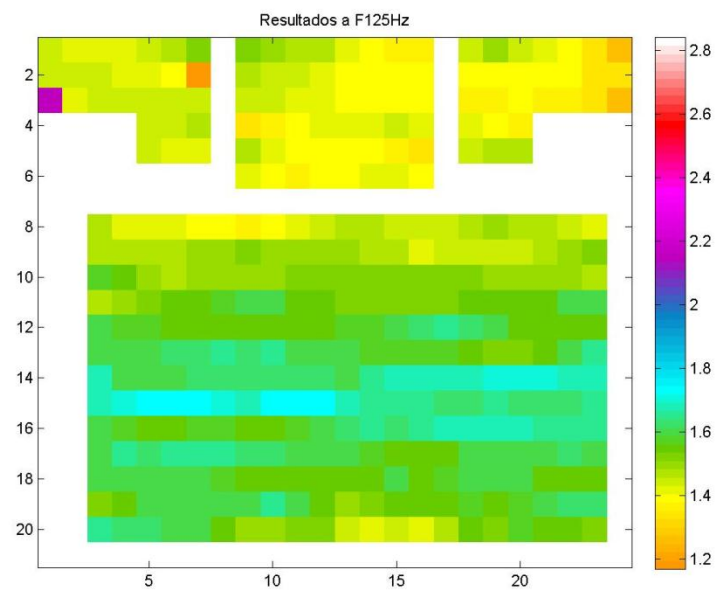
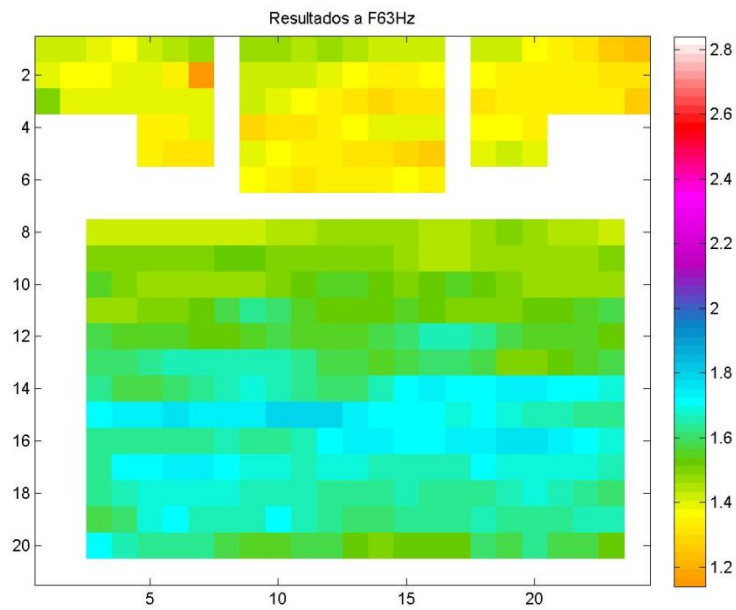
Página web Oficial de Mathworks: <http://www.mathworks.es/>

Página web Oficial de soporte para Visual Basic: <http://msdn.microsoft.com/library/ms123401>

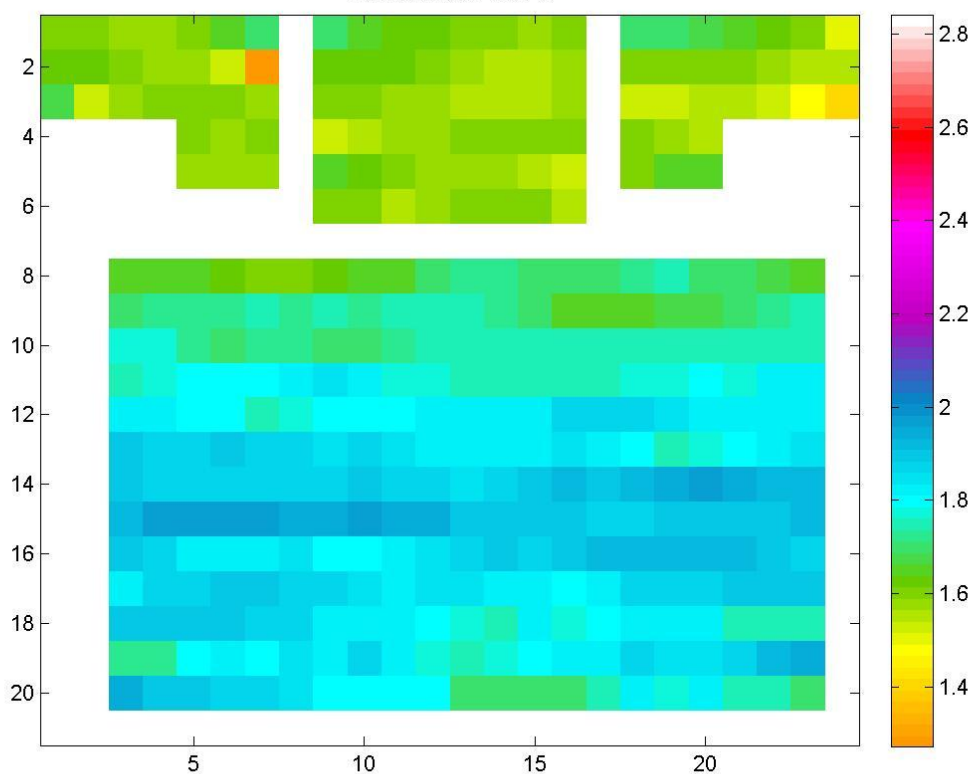
11. ANEXO A: GRÁFICAS EJEMPLOS DE USO DE LA APLICACIÓN

11.1. Gráficas T30(s)

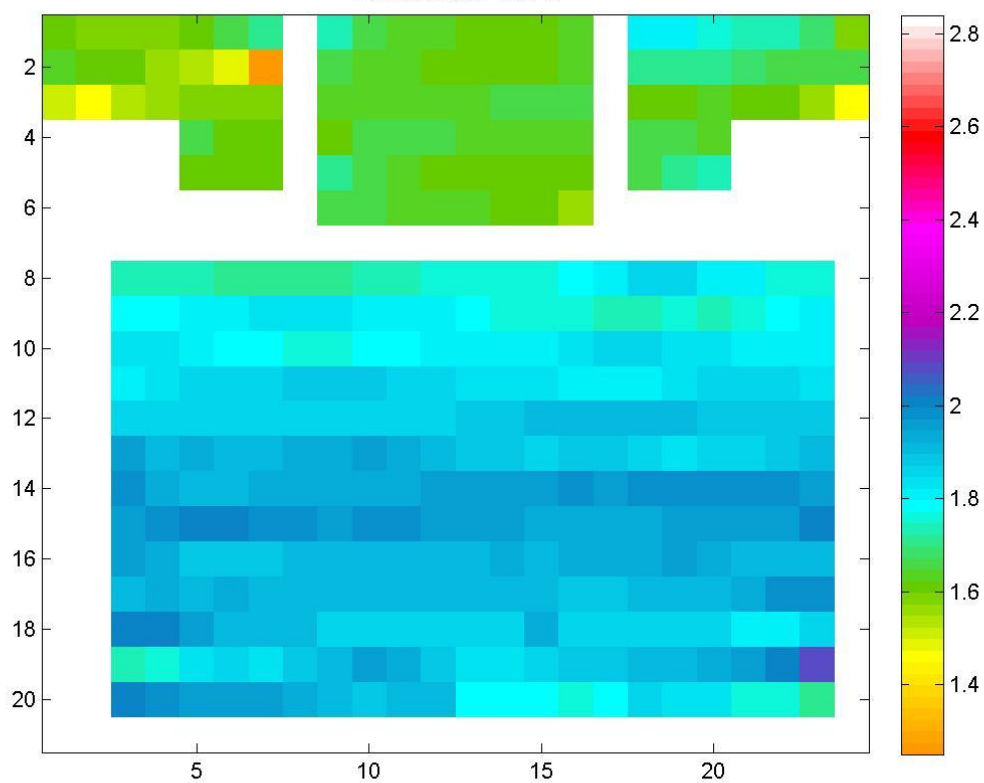
11.1.1. T30(s) $\alpha + 0\%$

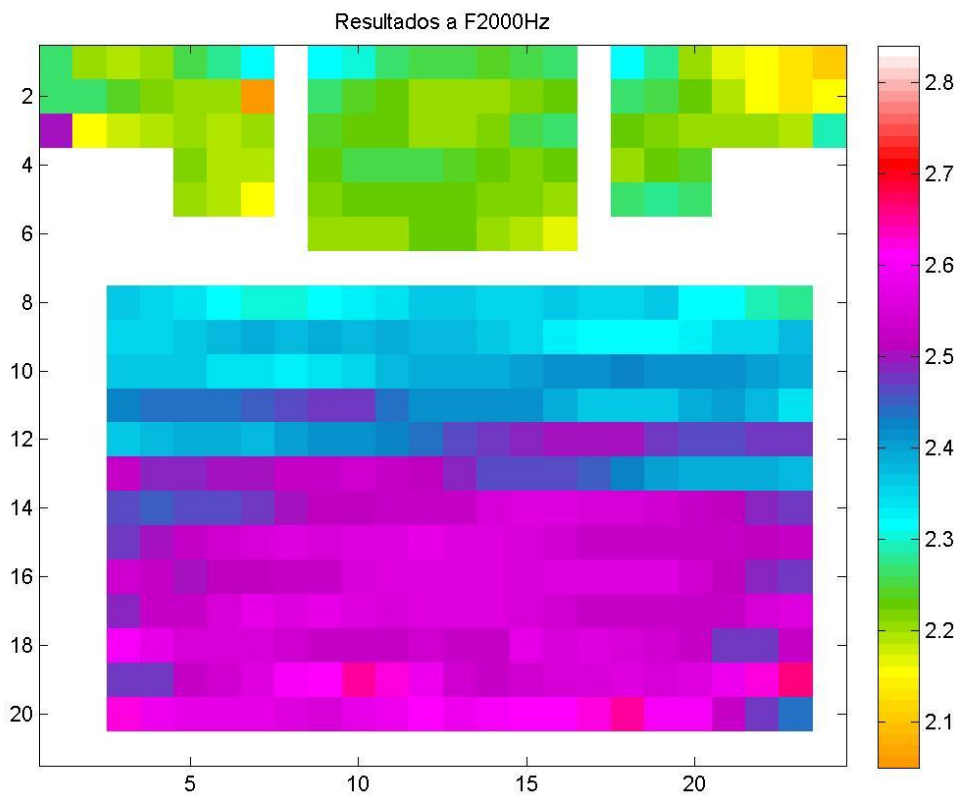
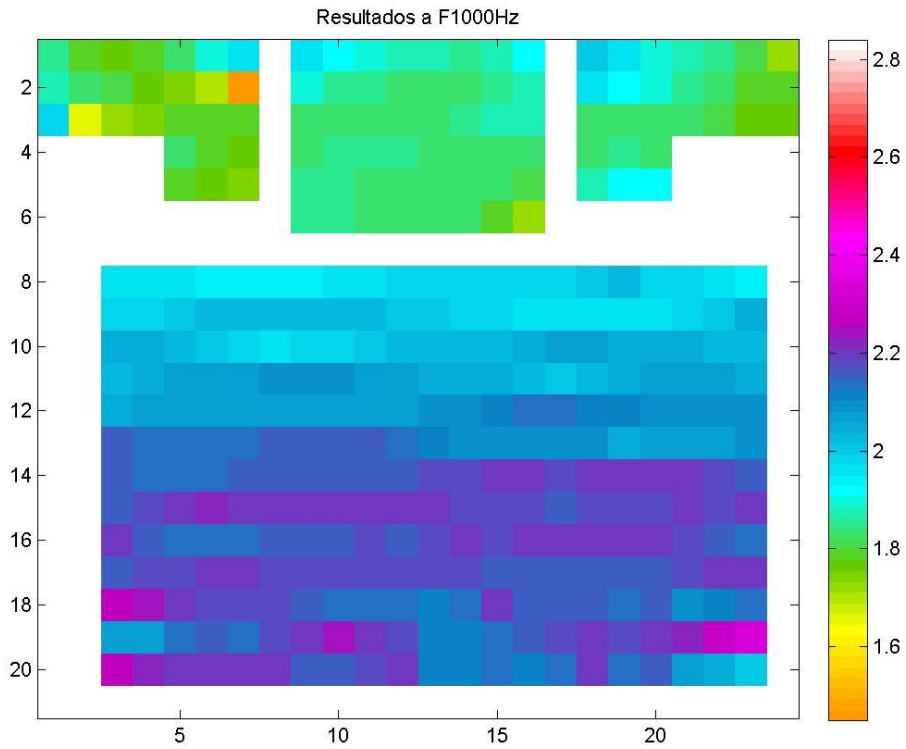


Resultados a F250Hz

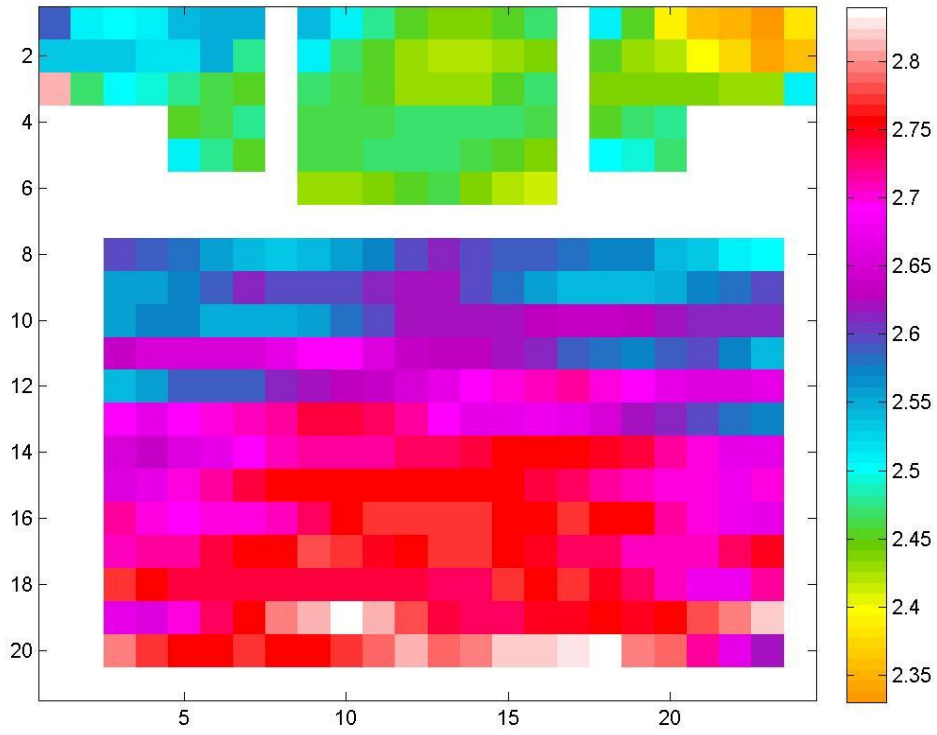


Resultados a F500Hz

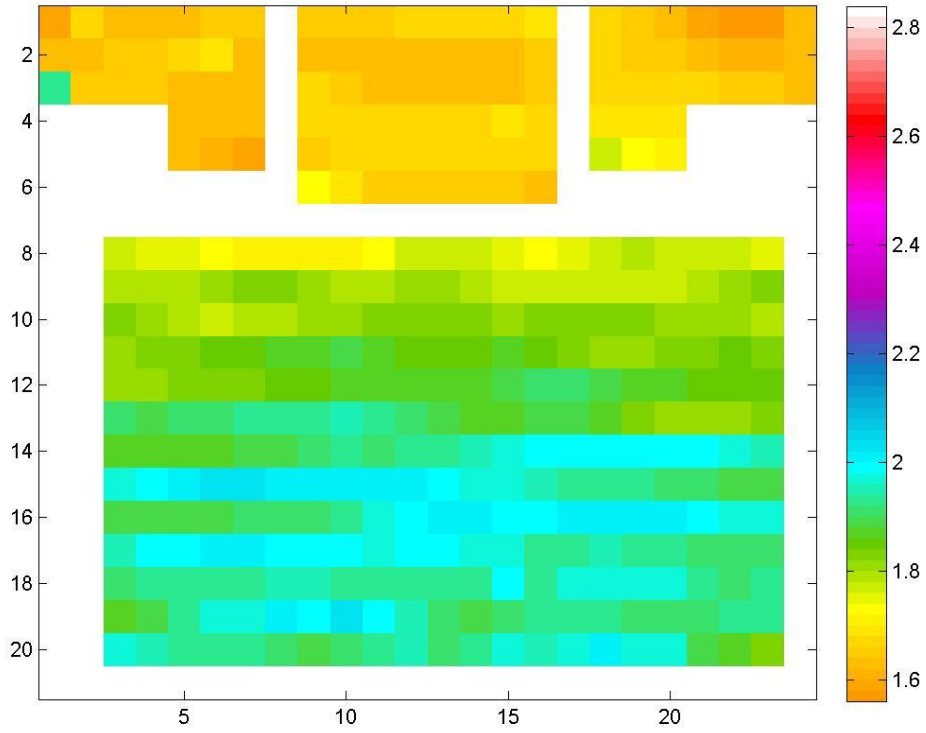




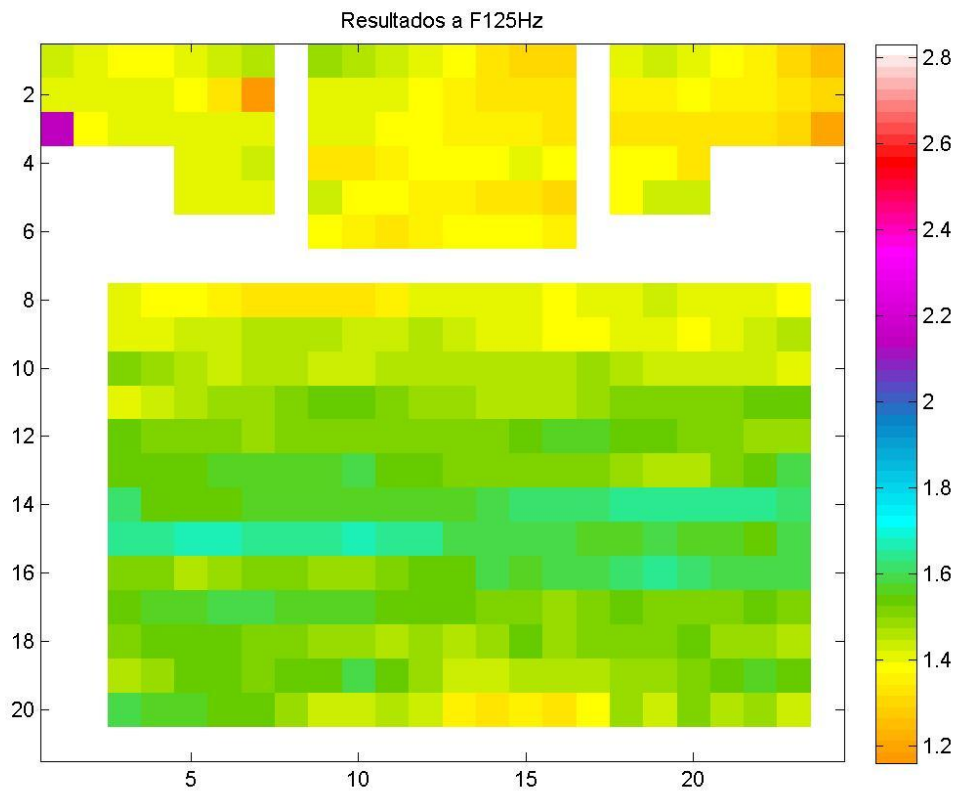
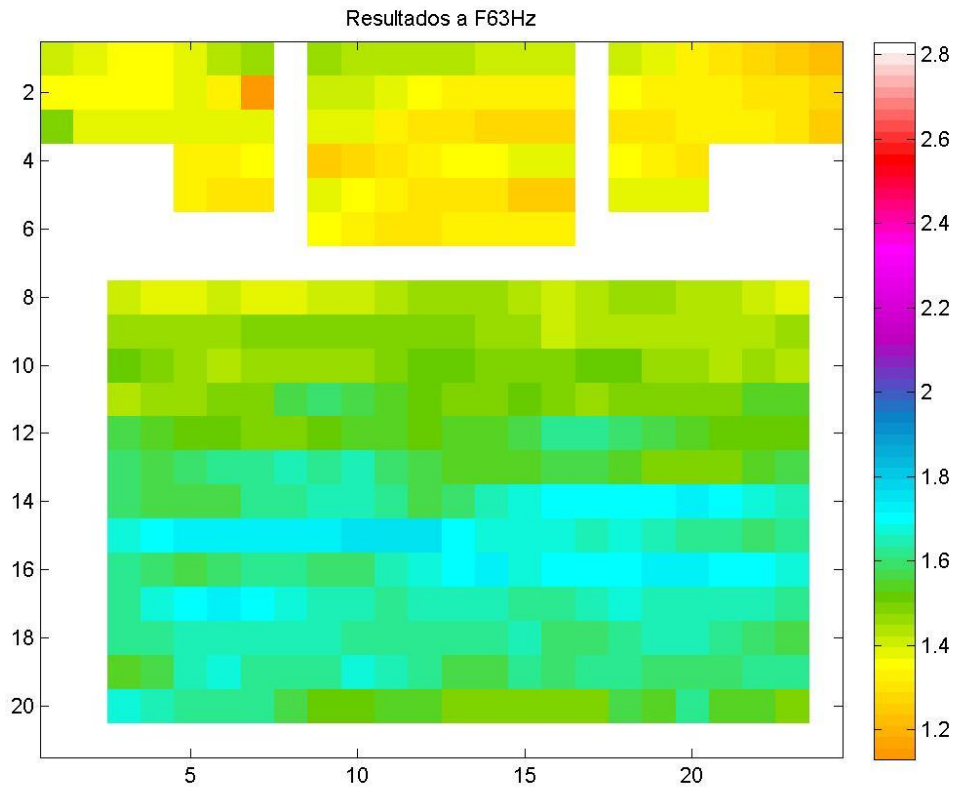
Resultados a F4000Hz



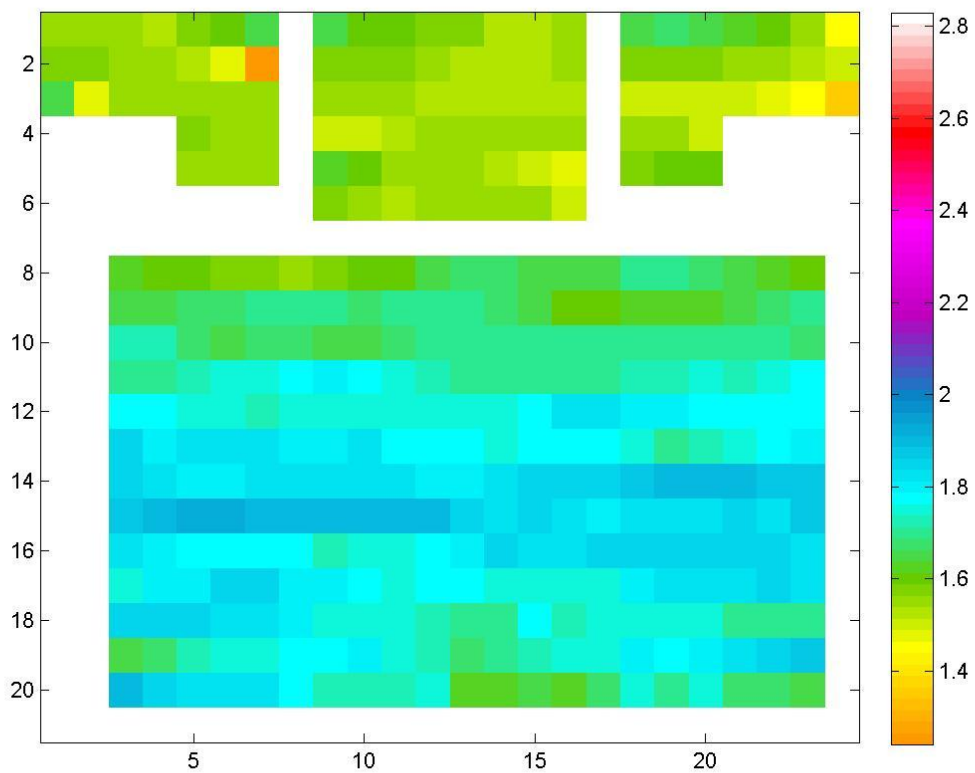
Resultados a F8000Hz



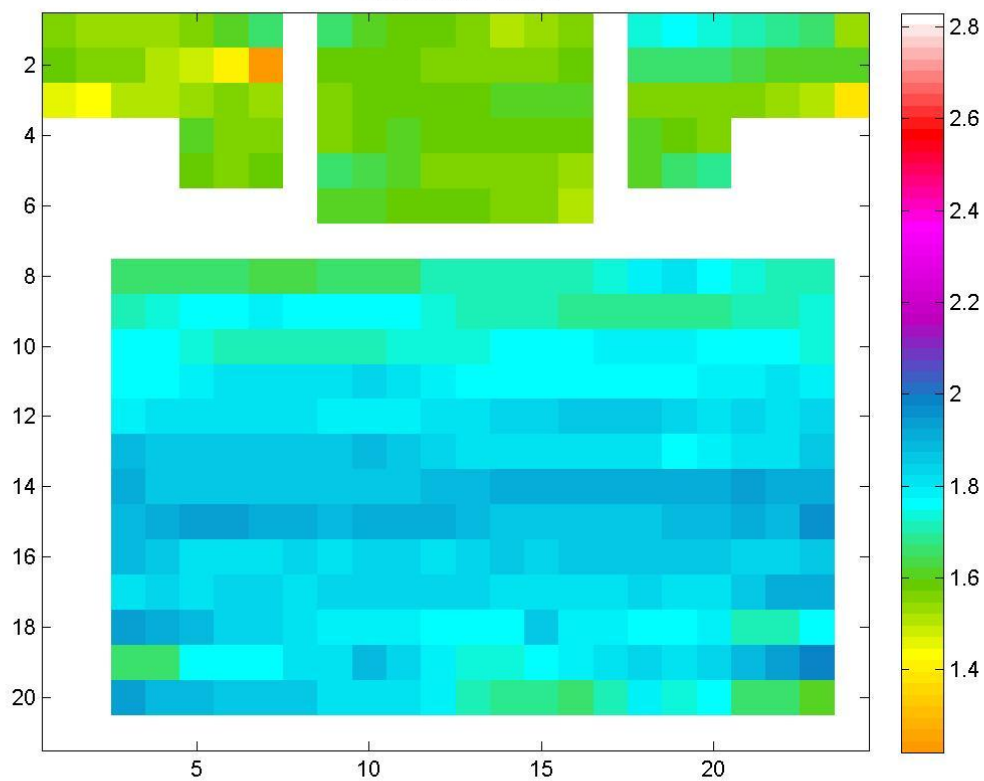
11.1.2. T30(s) $\alpha + 5\%$

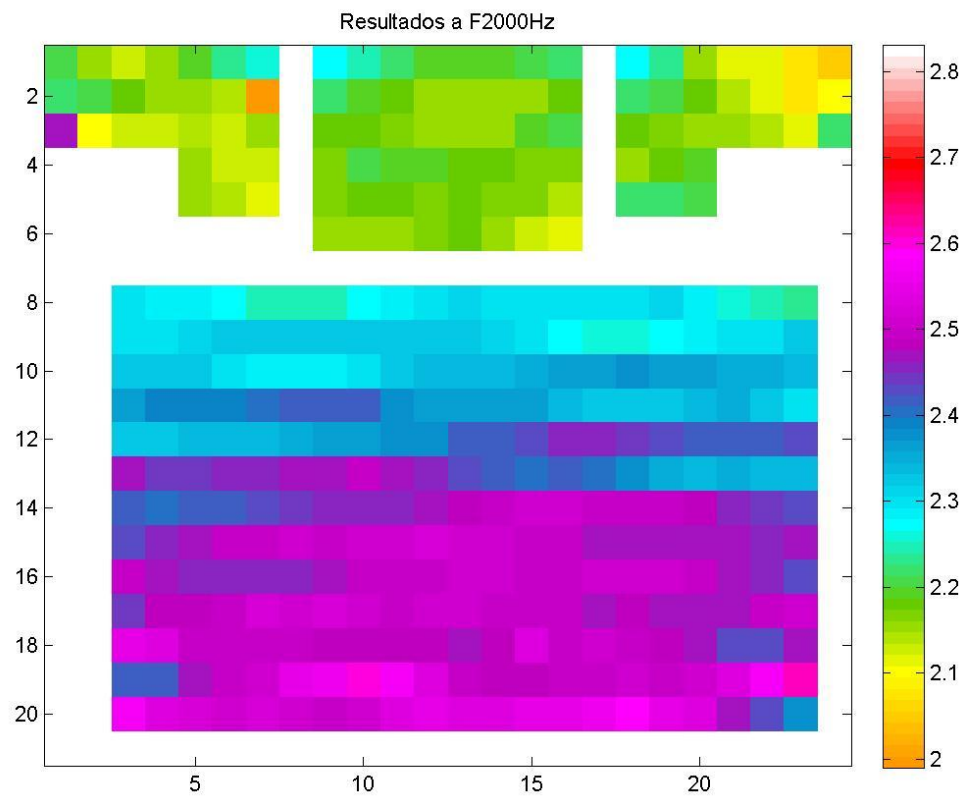
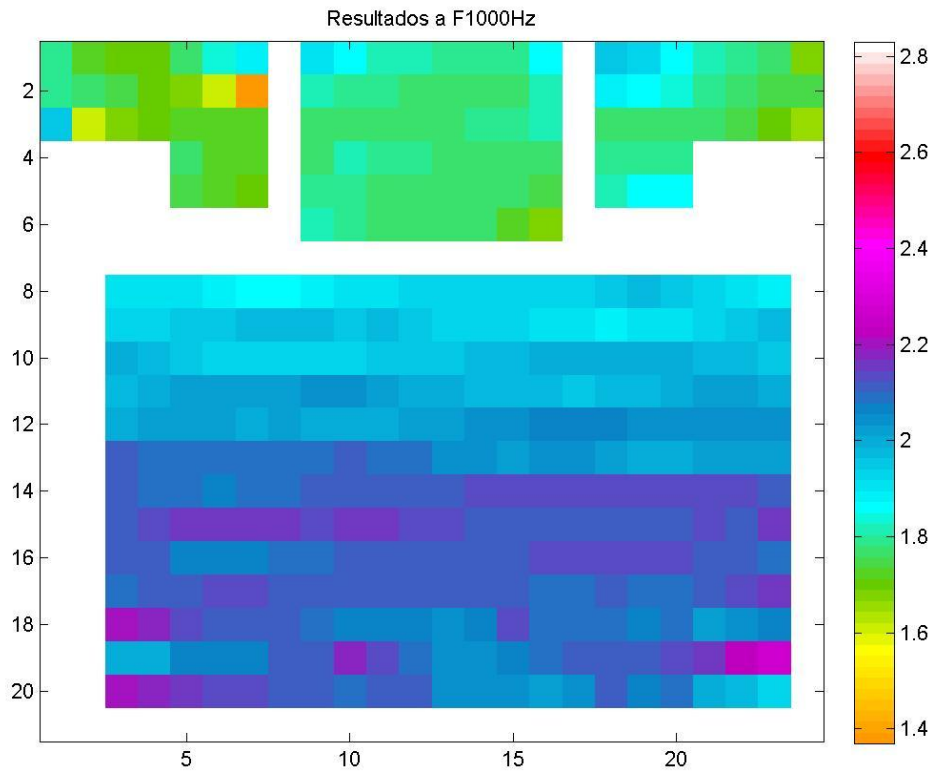


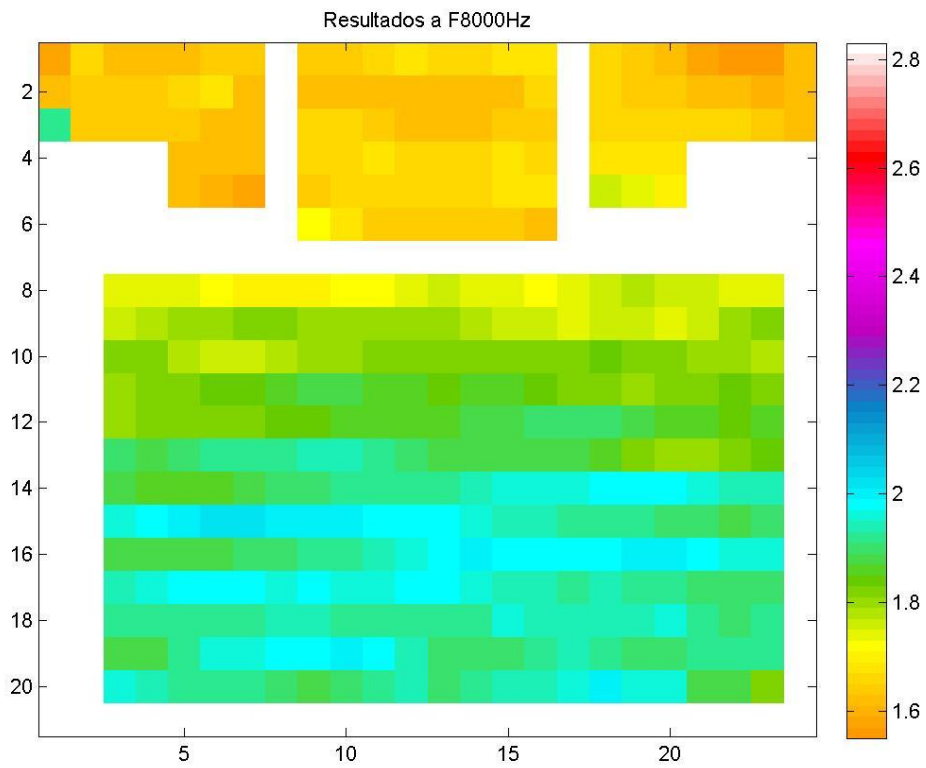
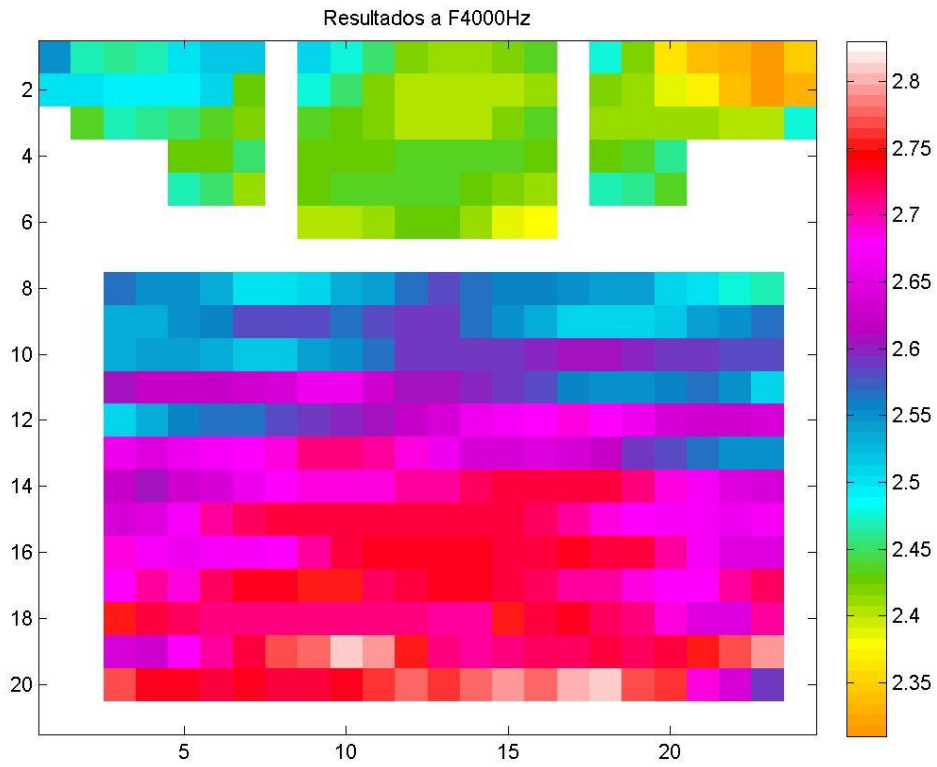
Resultados a F250Hz



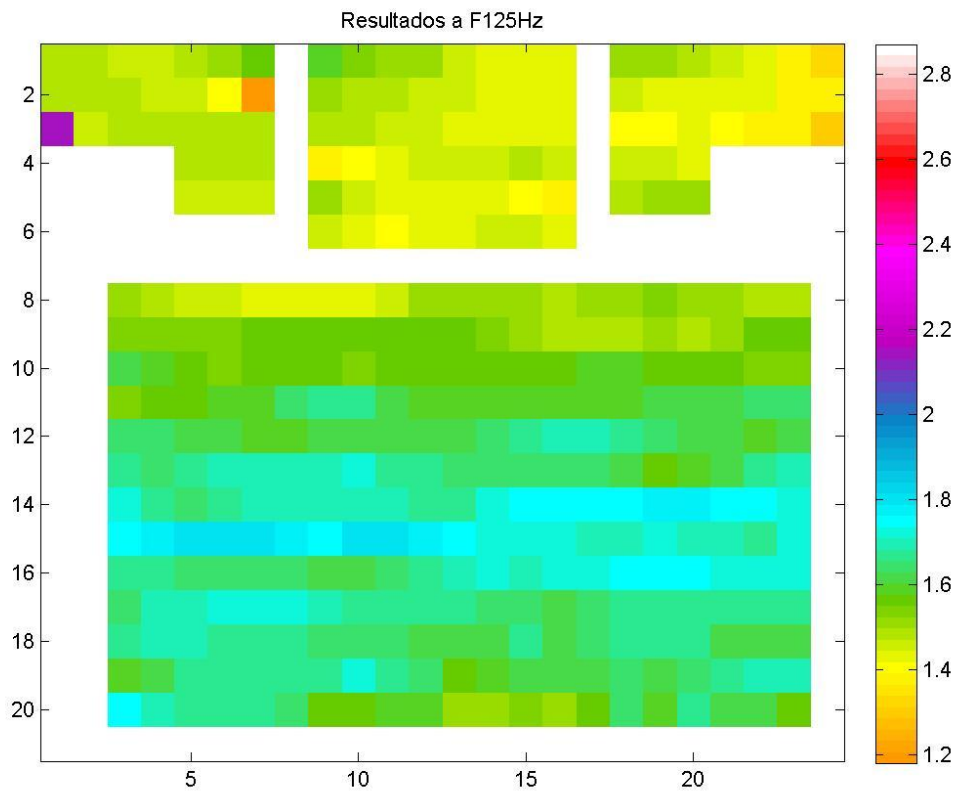
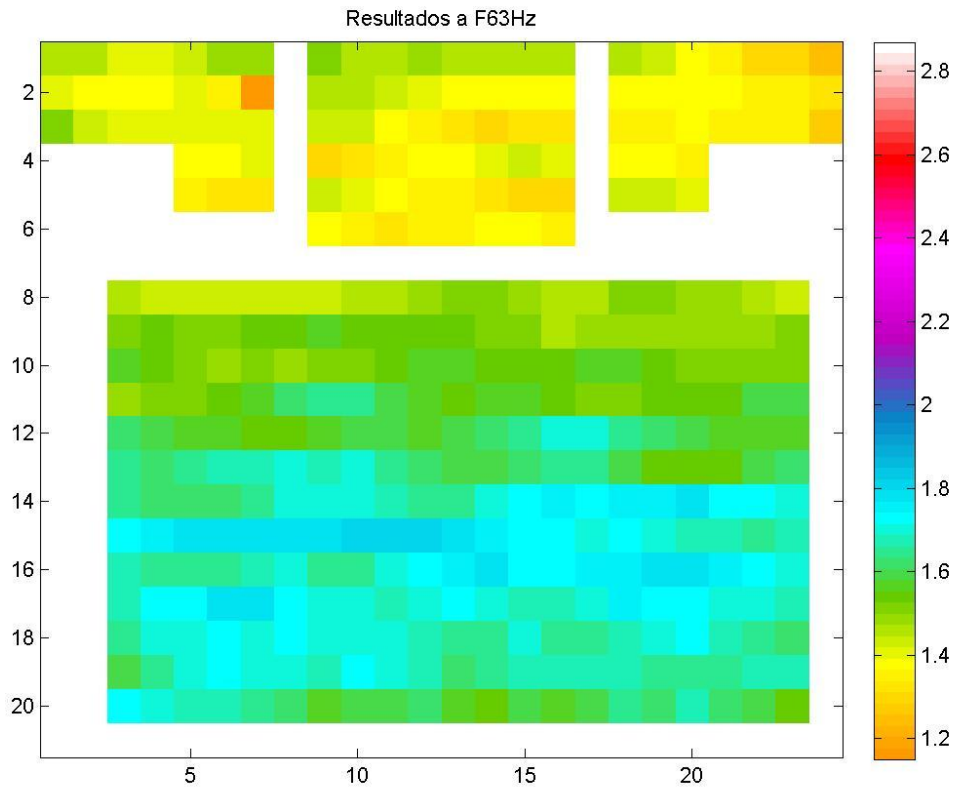
Resultados a F500Hz

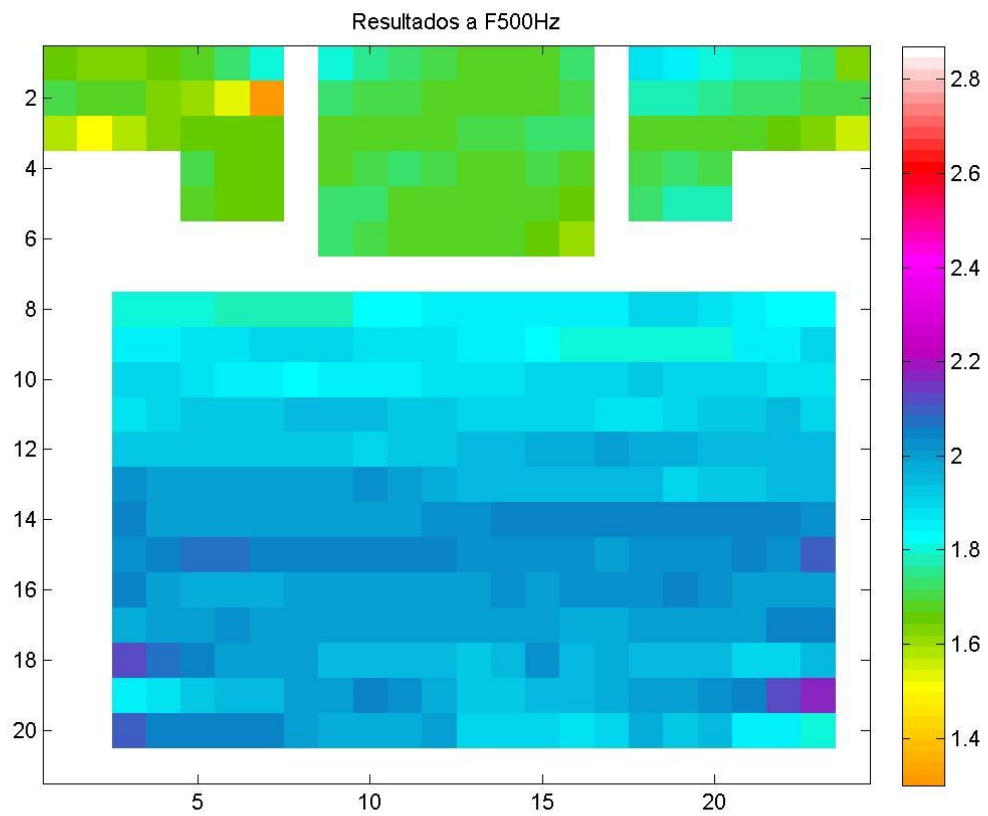
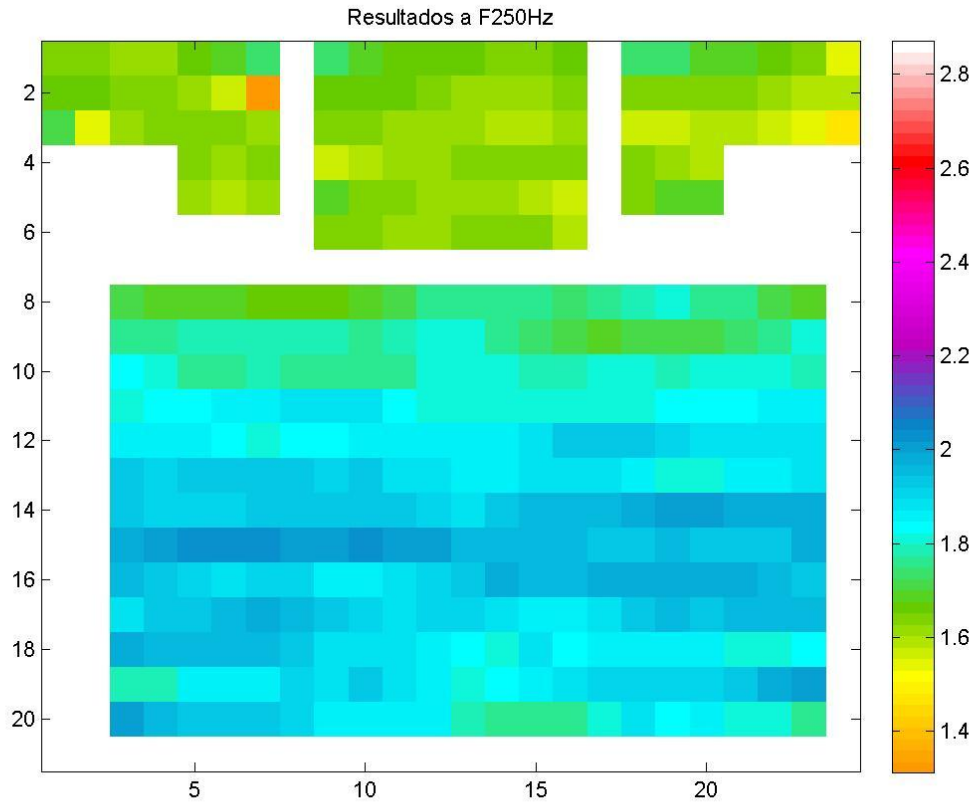


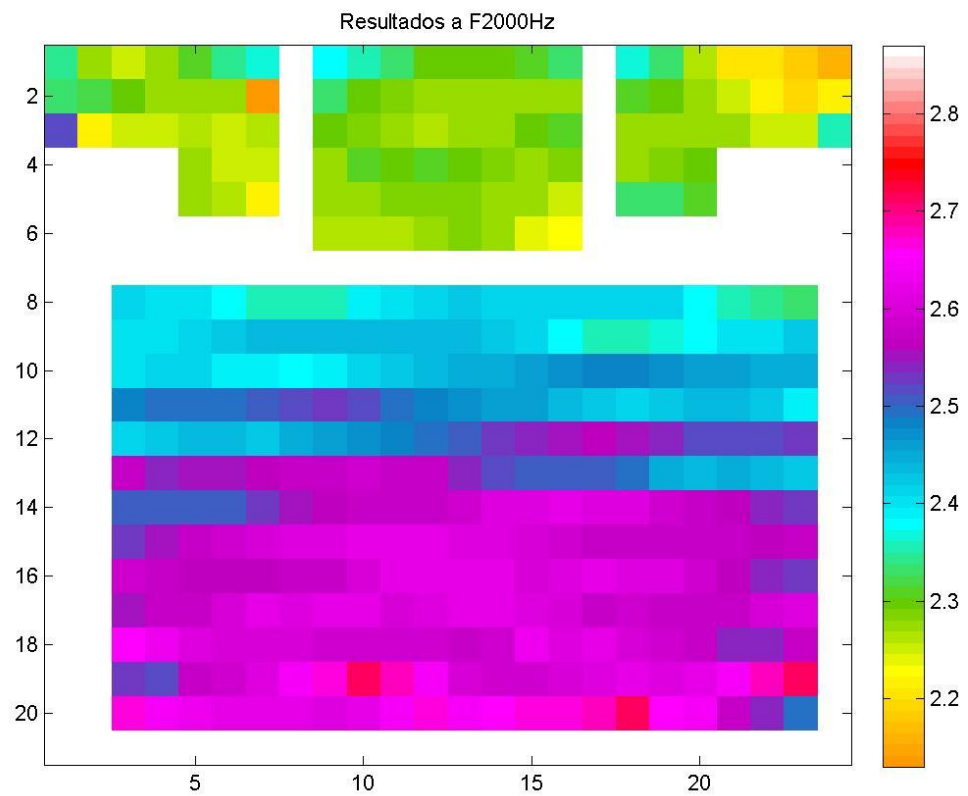
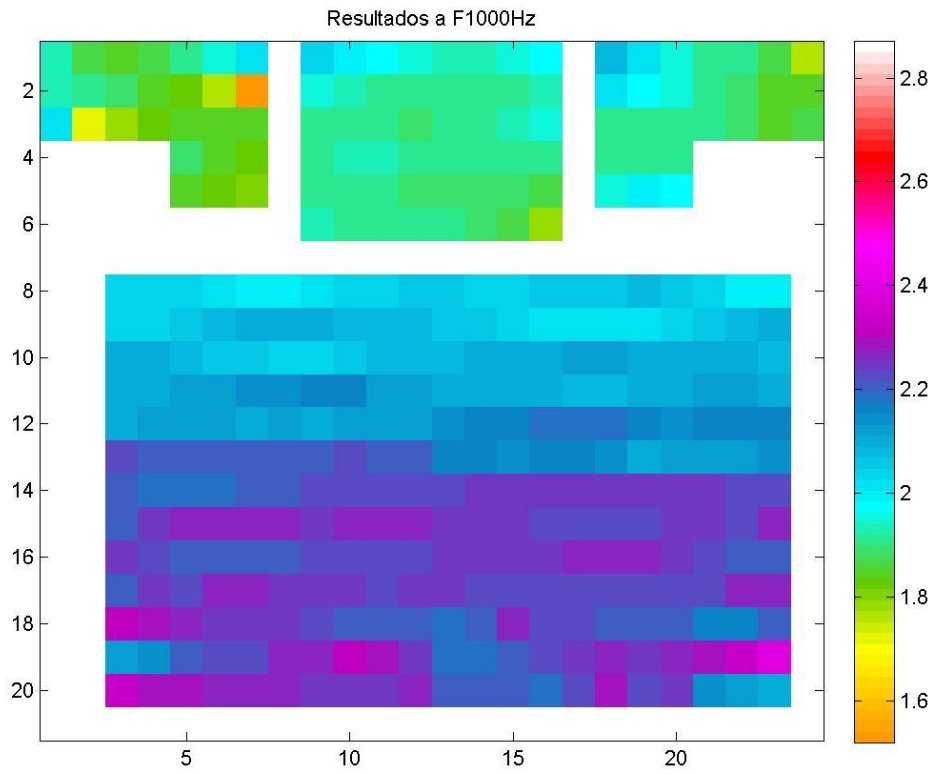


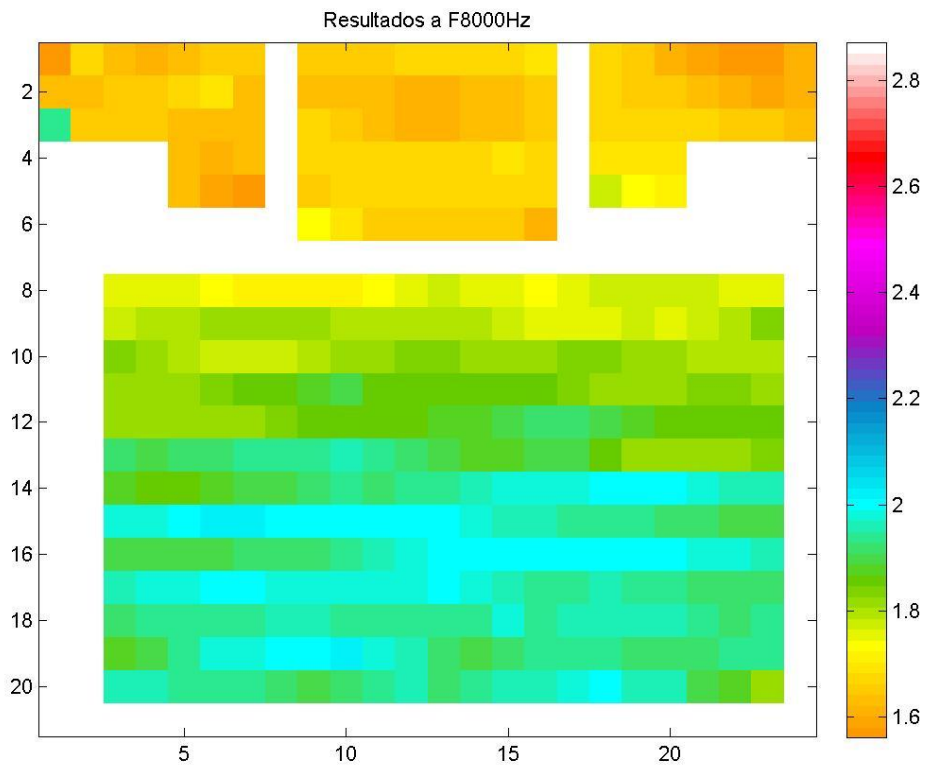
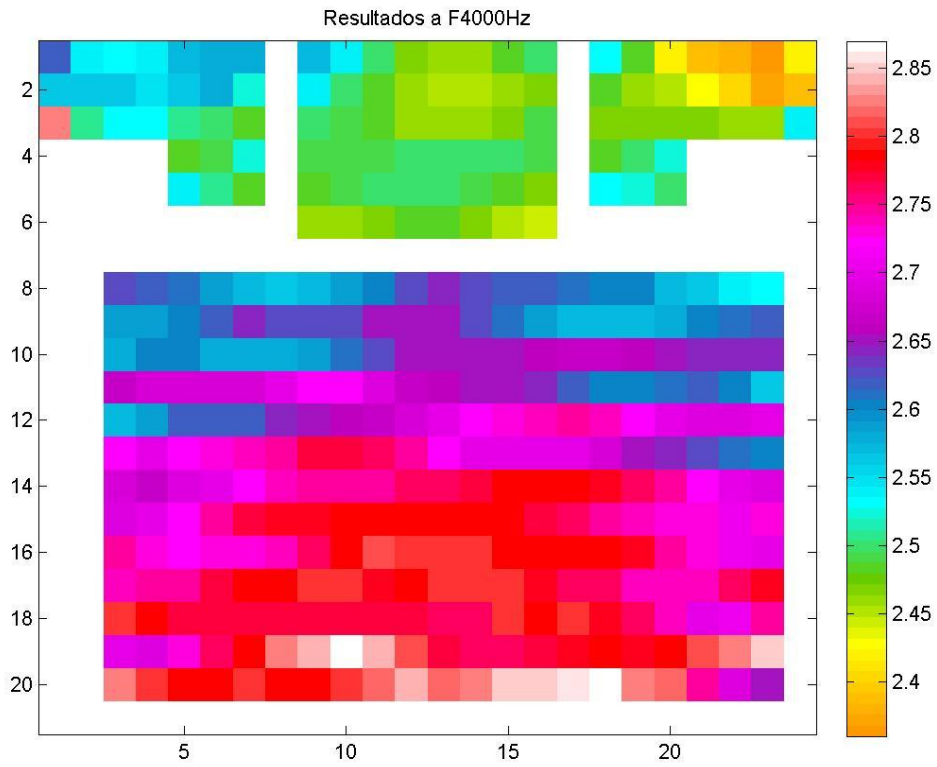


11.1.3. T30(s) α - 5%

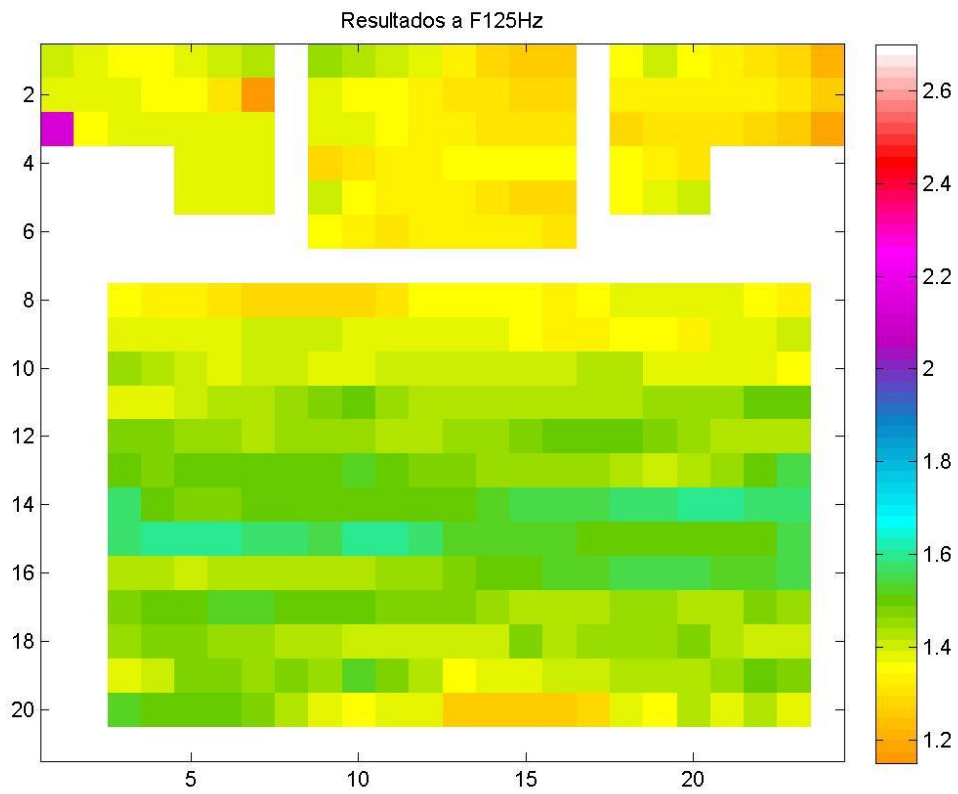
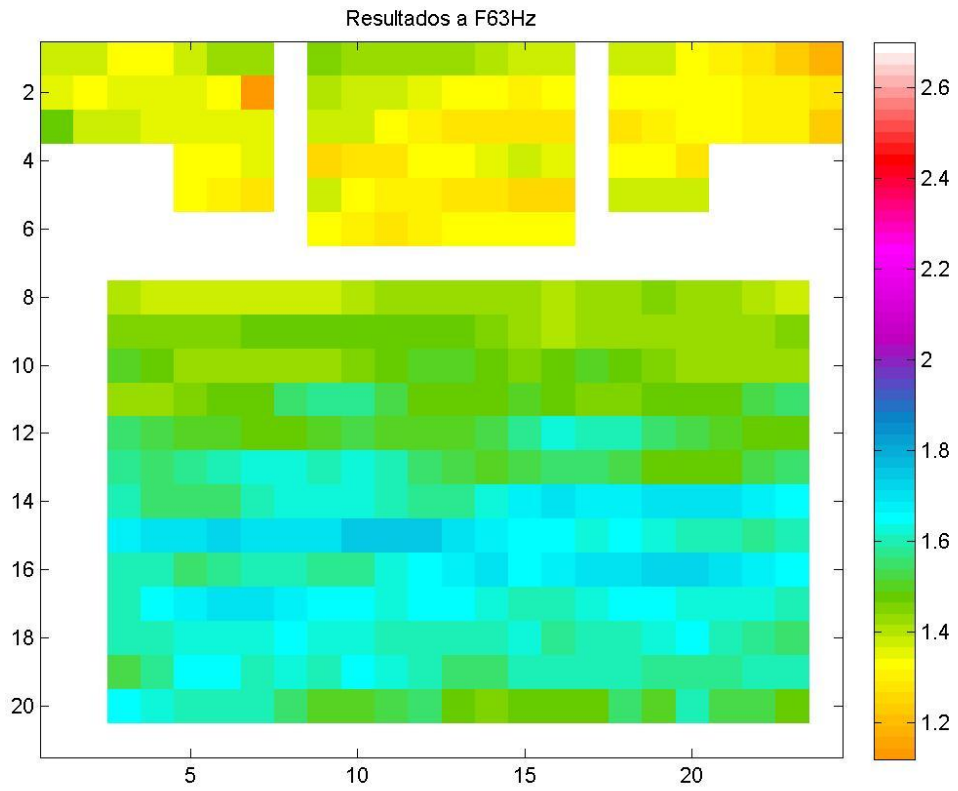


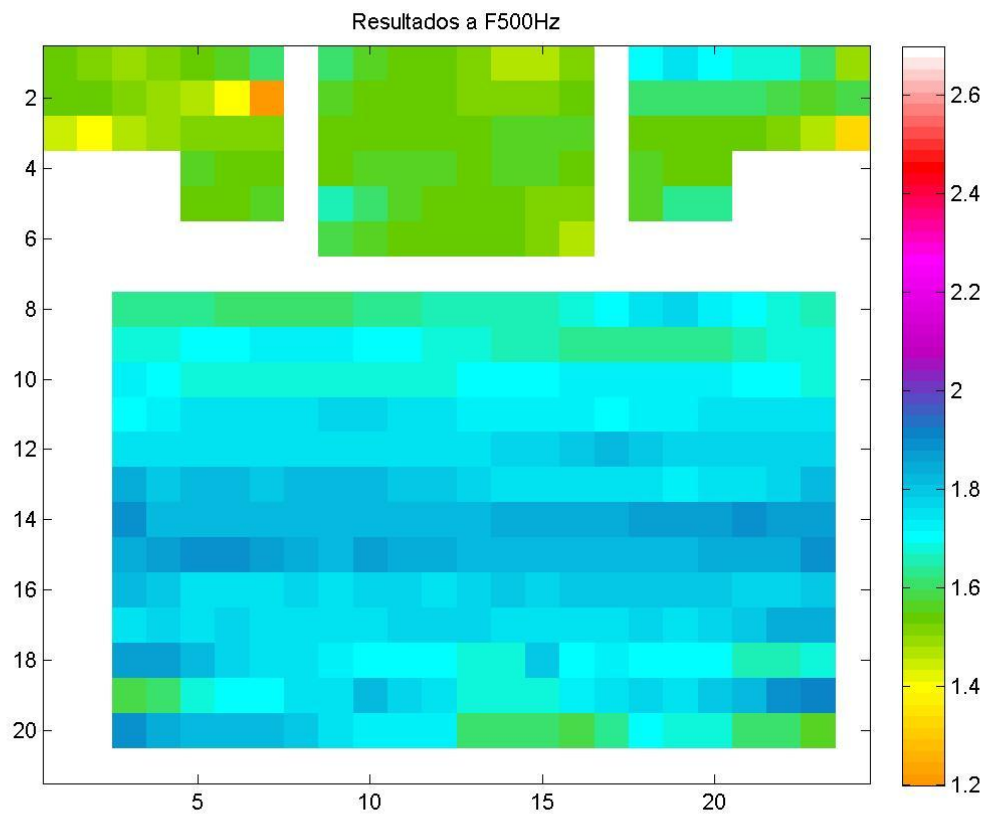
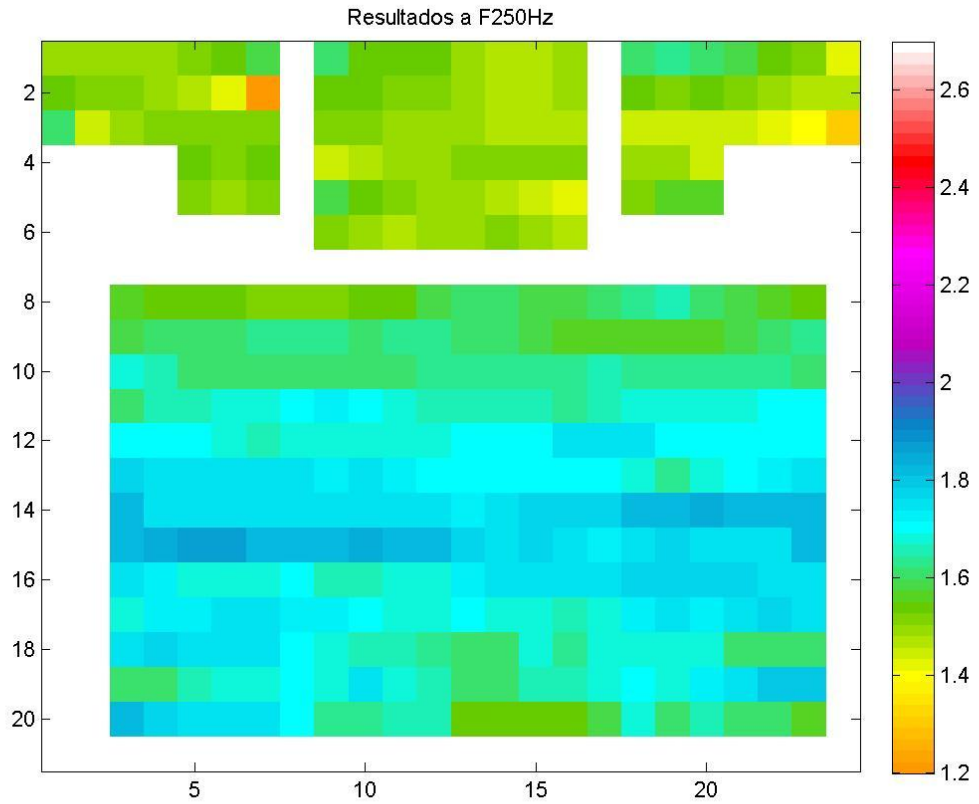




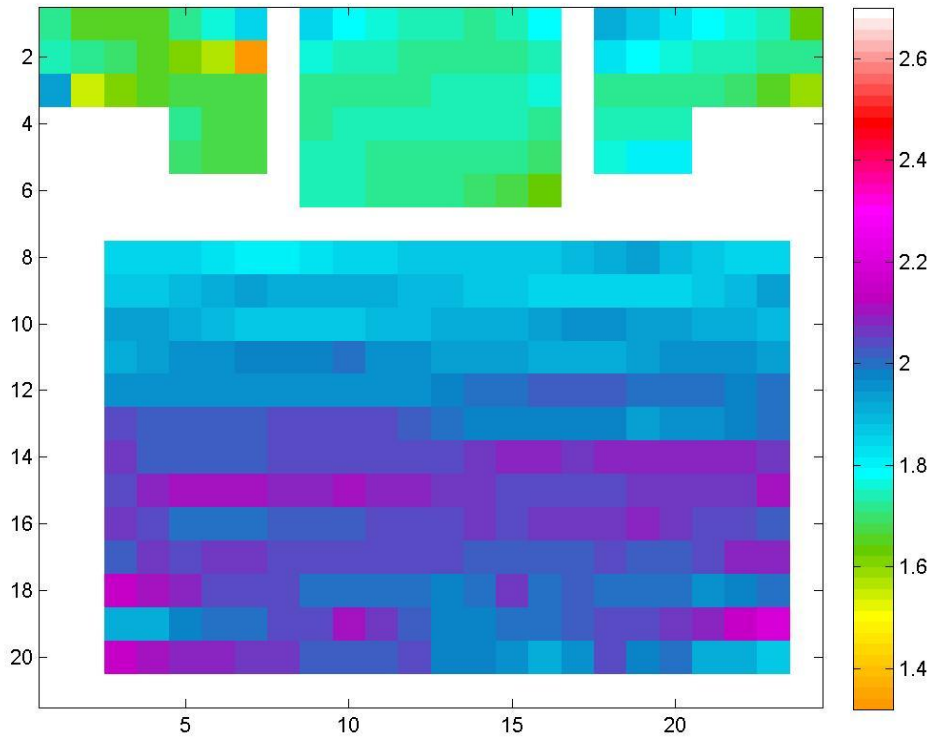


11.1.4. T30(s) $\alpha + 10\%$

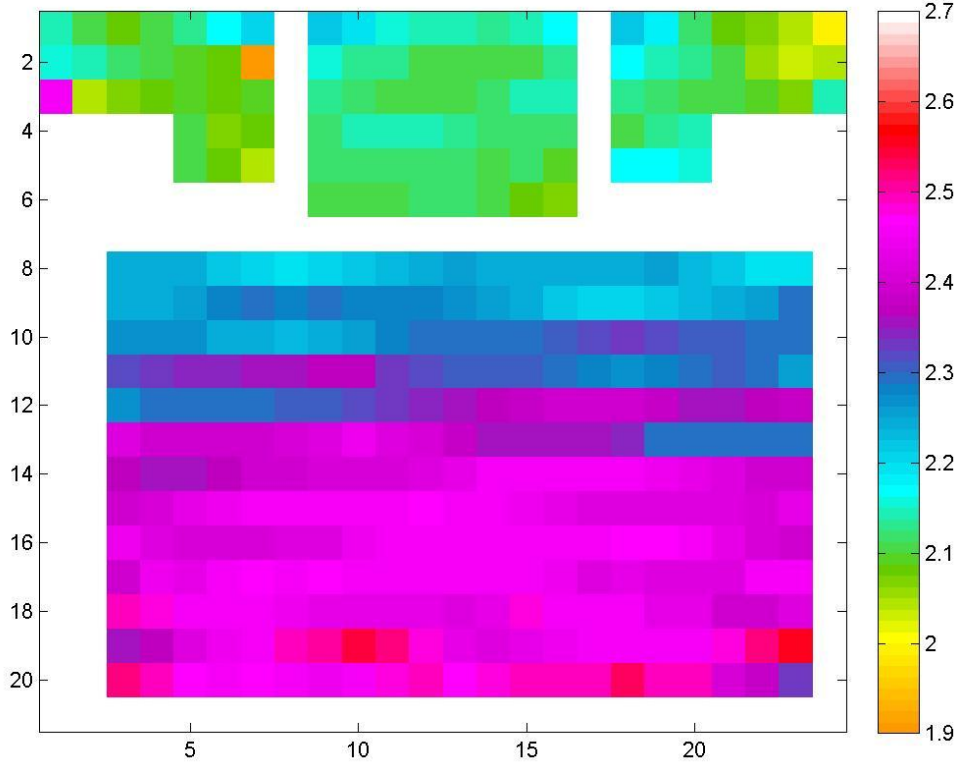


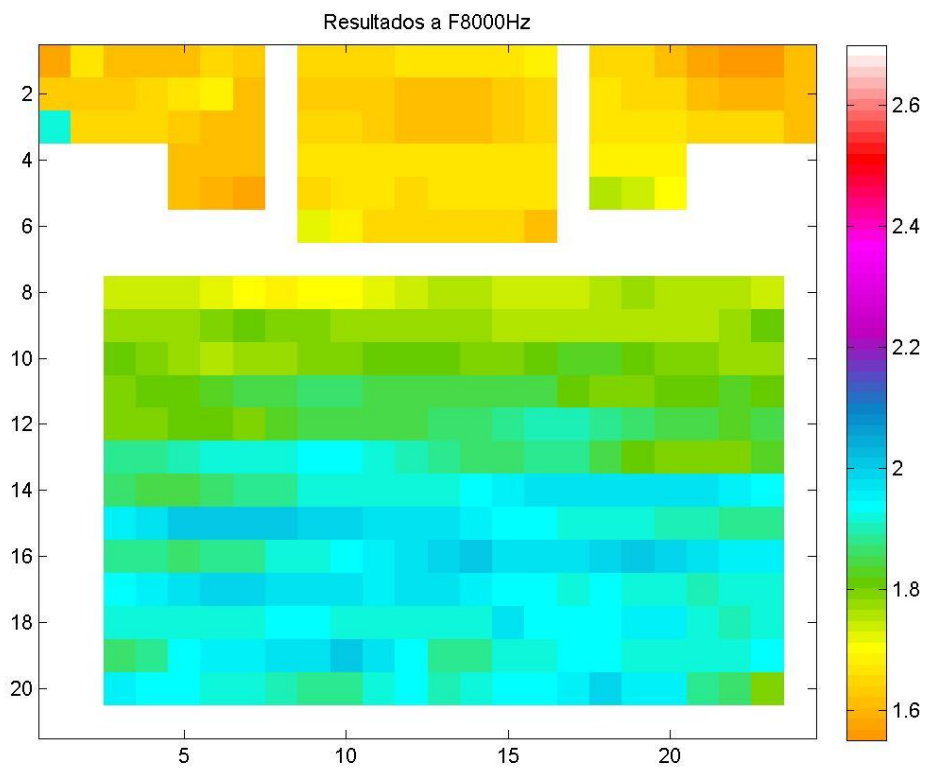
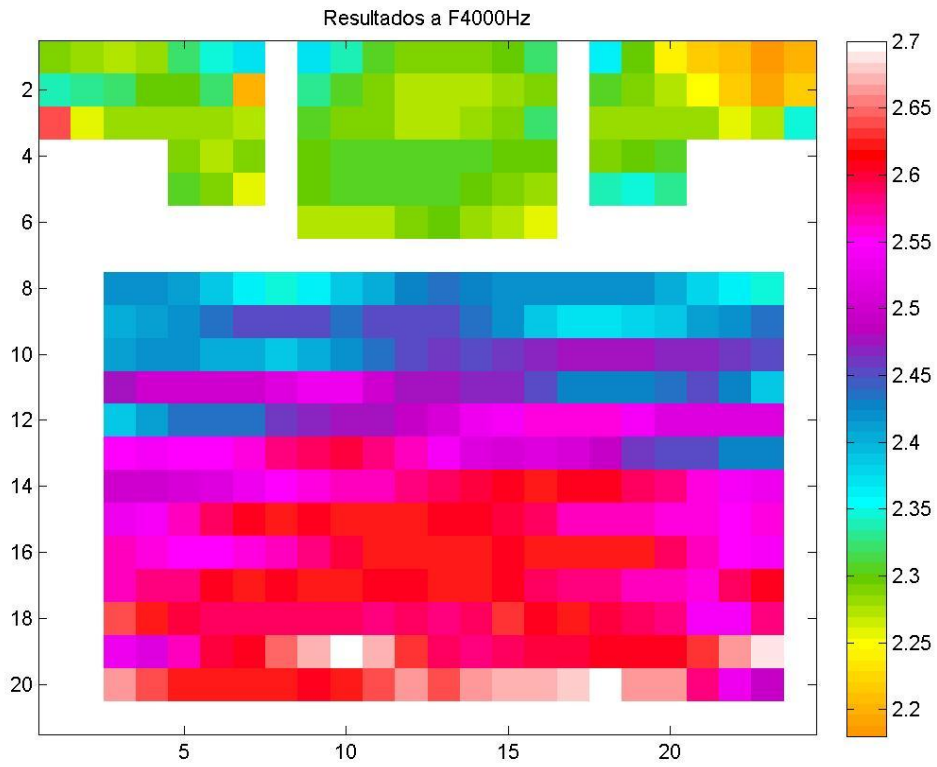


Resultados a F1000Hz

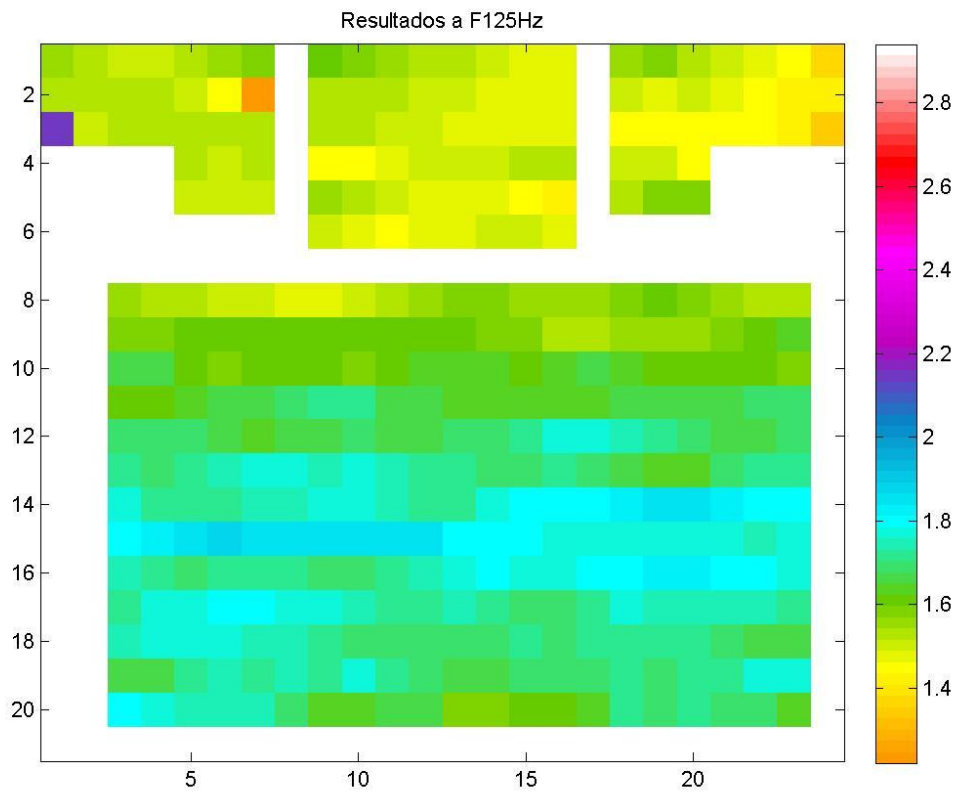
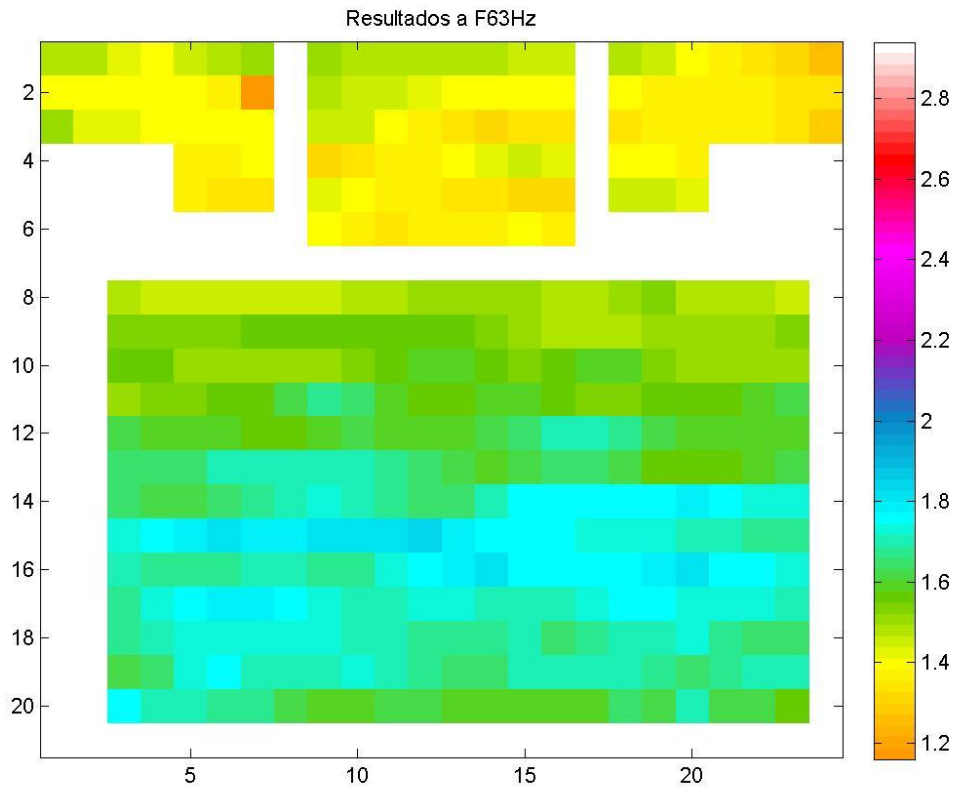


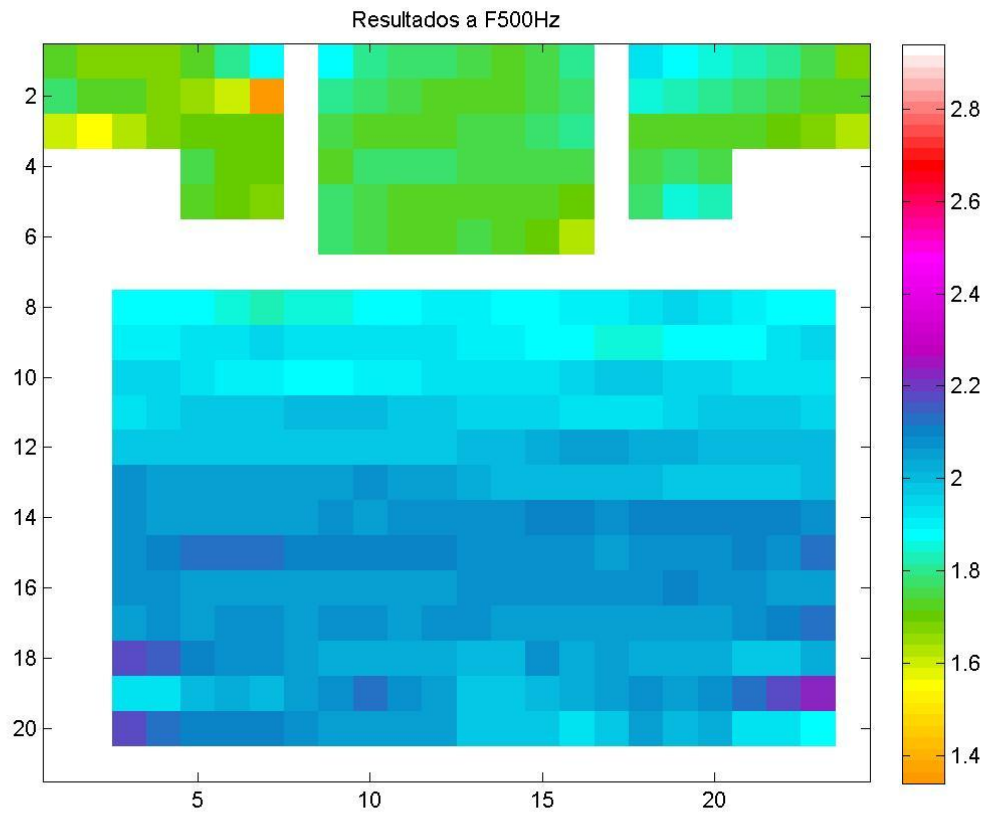
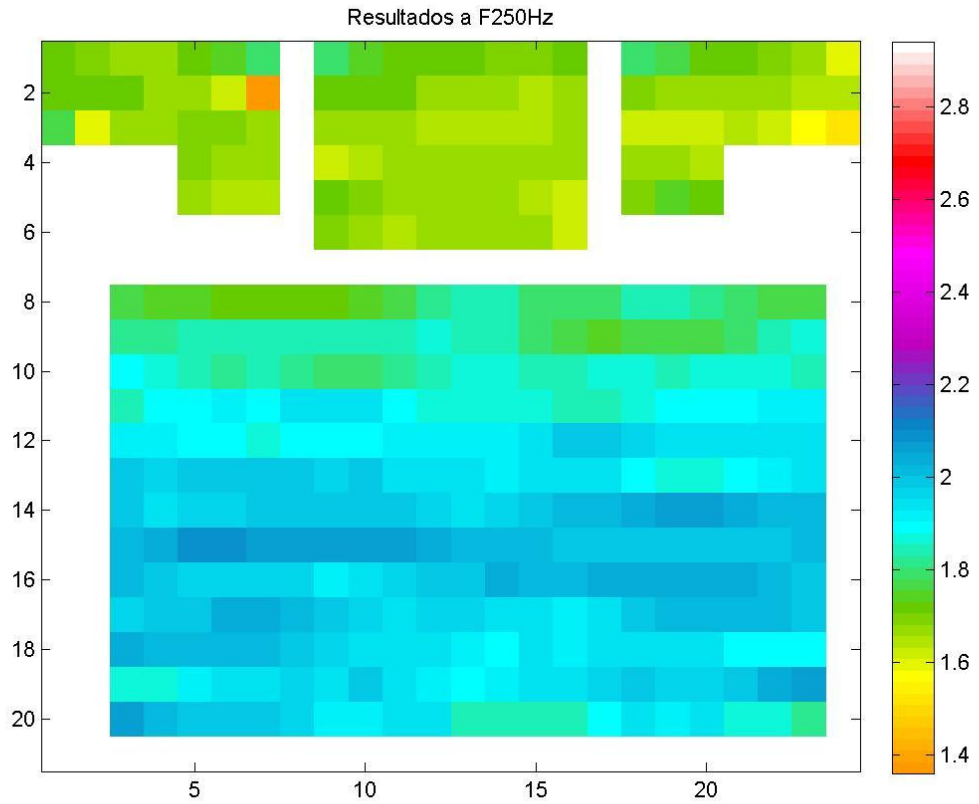
Resultados a F2000Hz

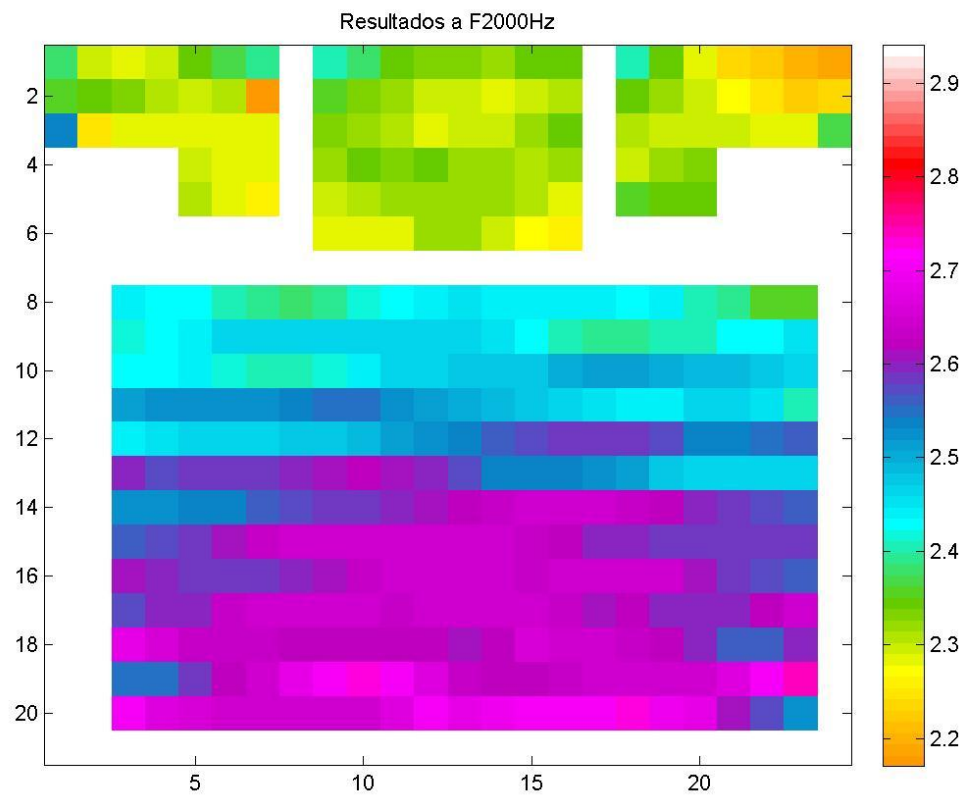
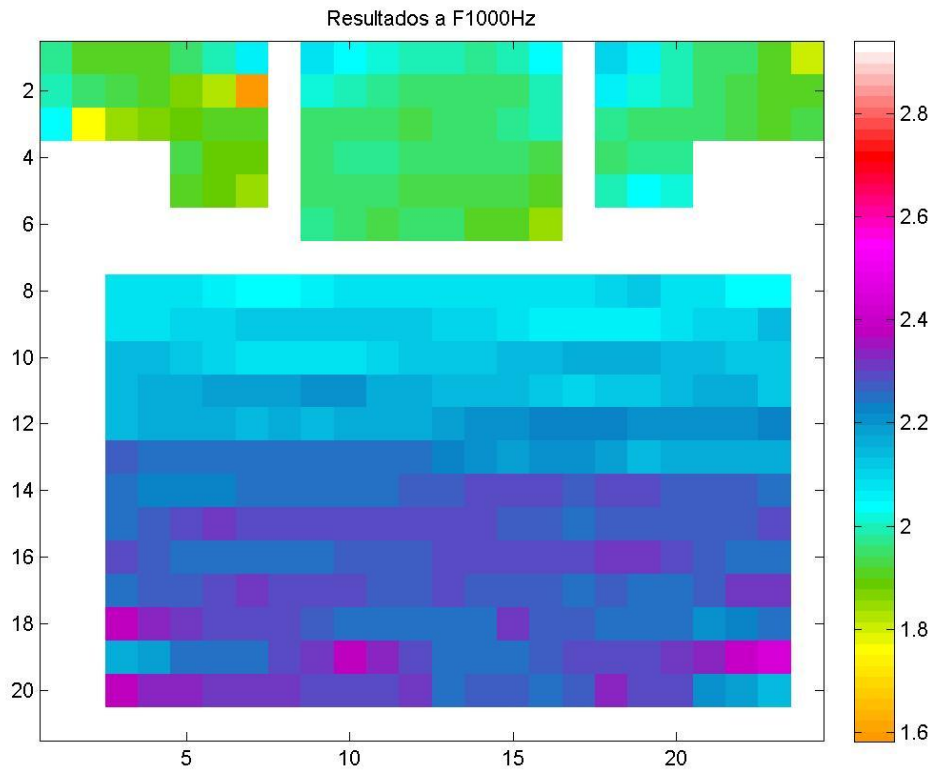




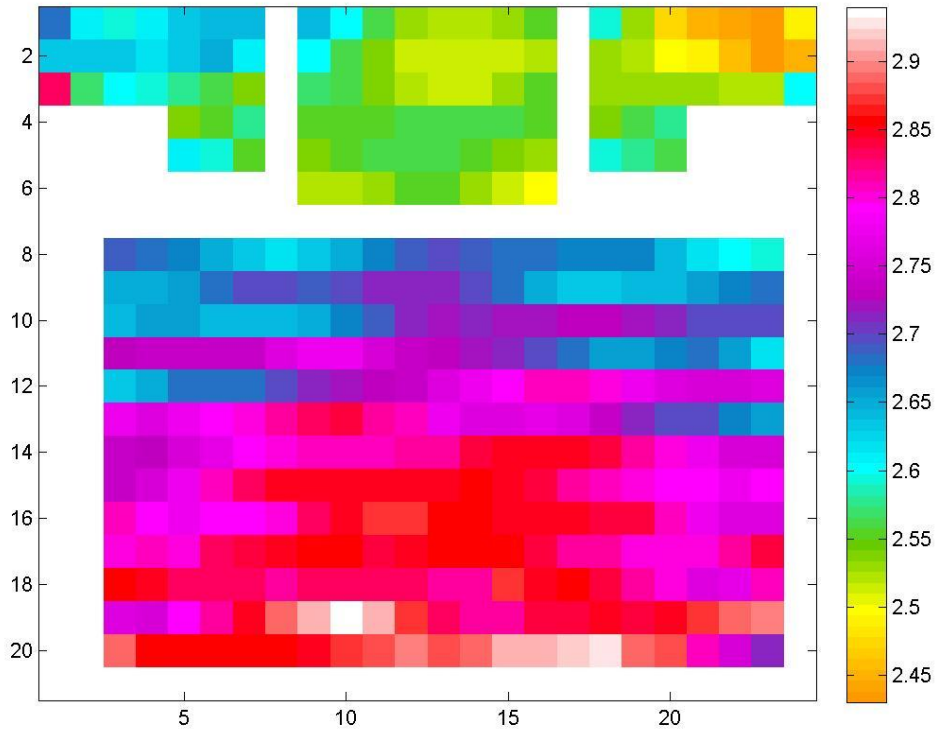
11.1.5. T30(s) α - 10%



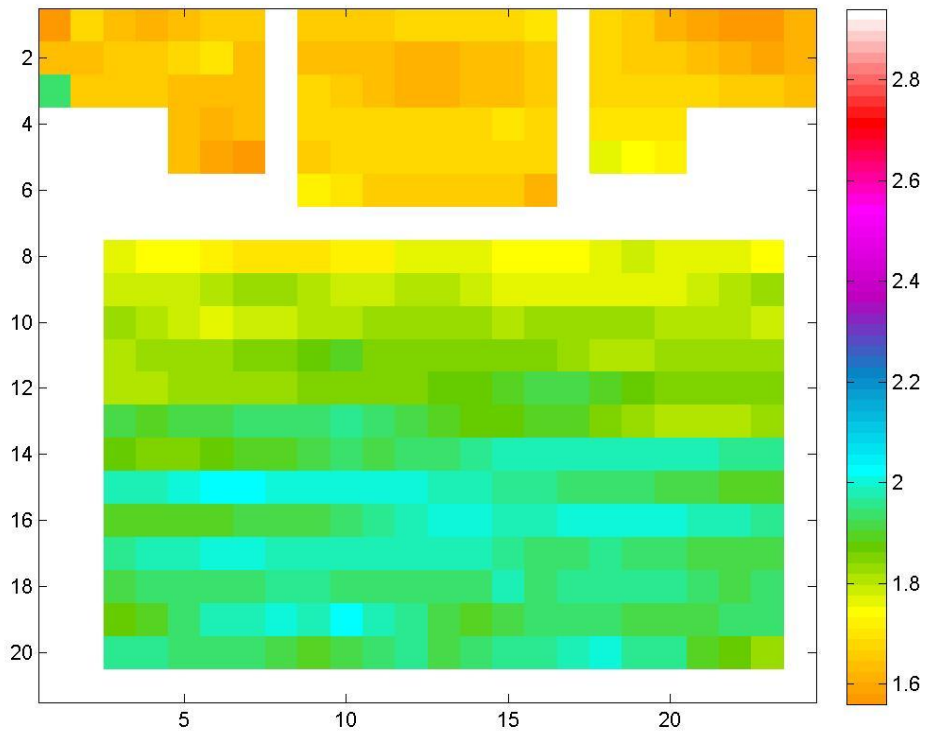




Resultados a F4000Hz

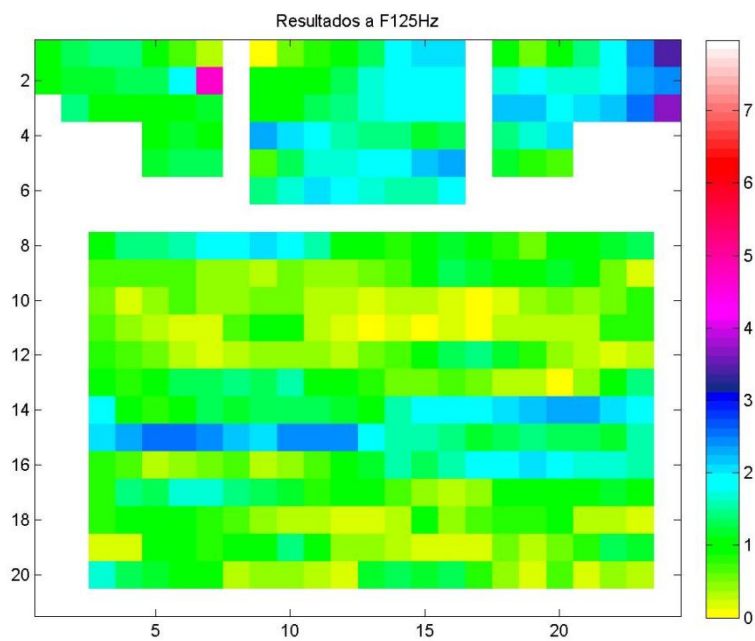
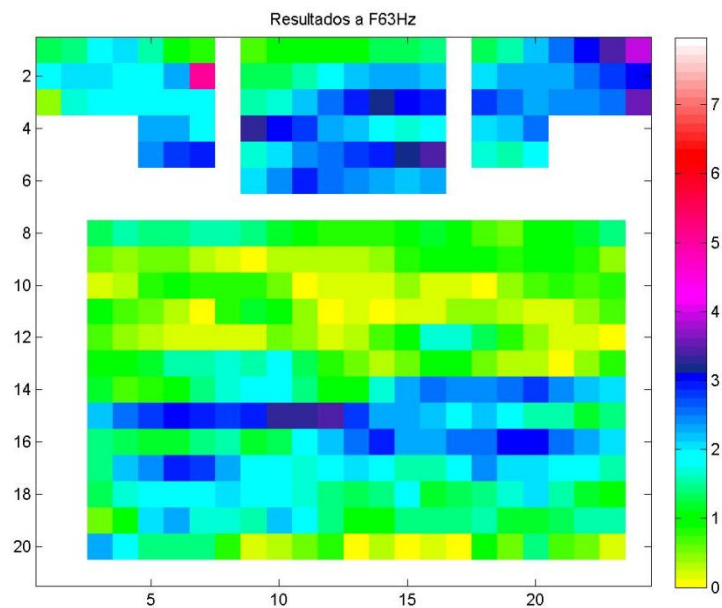


Resultados a F8000Hz

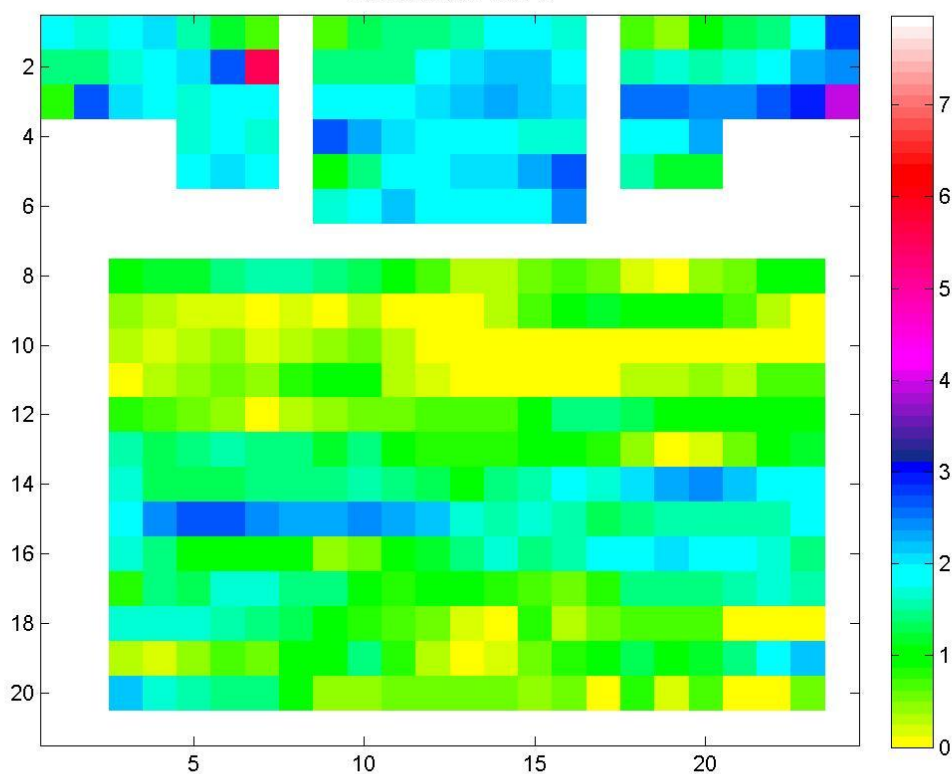


11.2. Gráficas JND

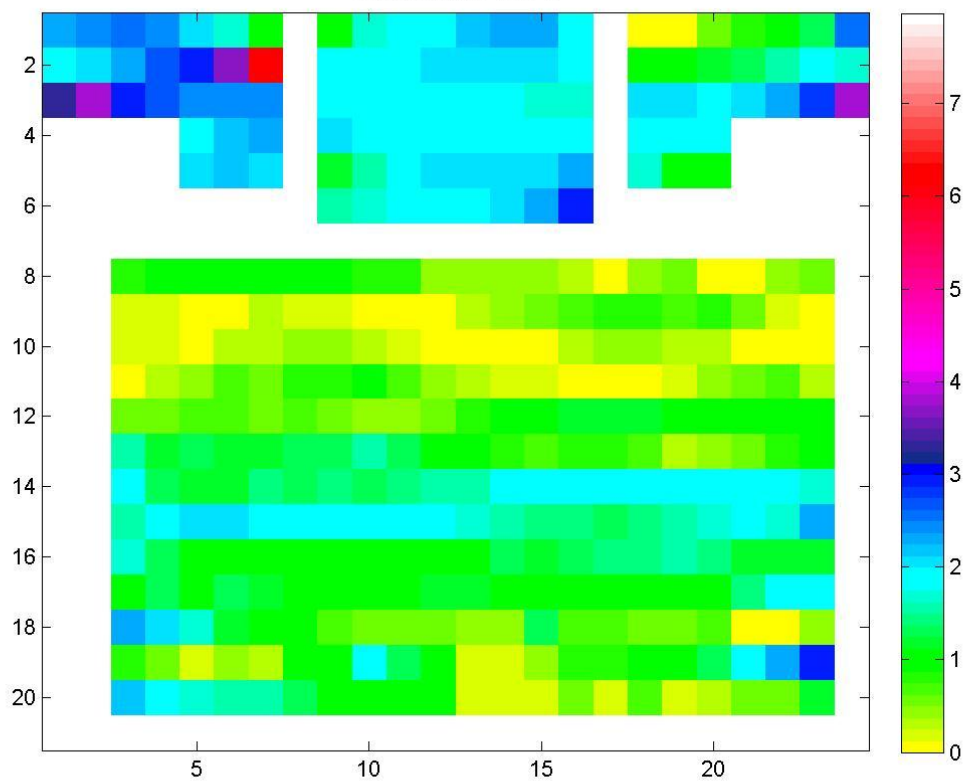
11.2.1. T30(s) $\alpha + 0\%$



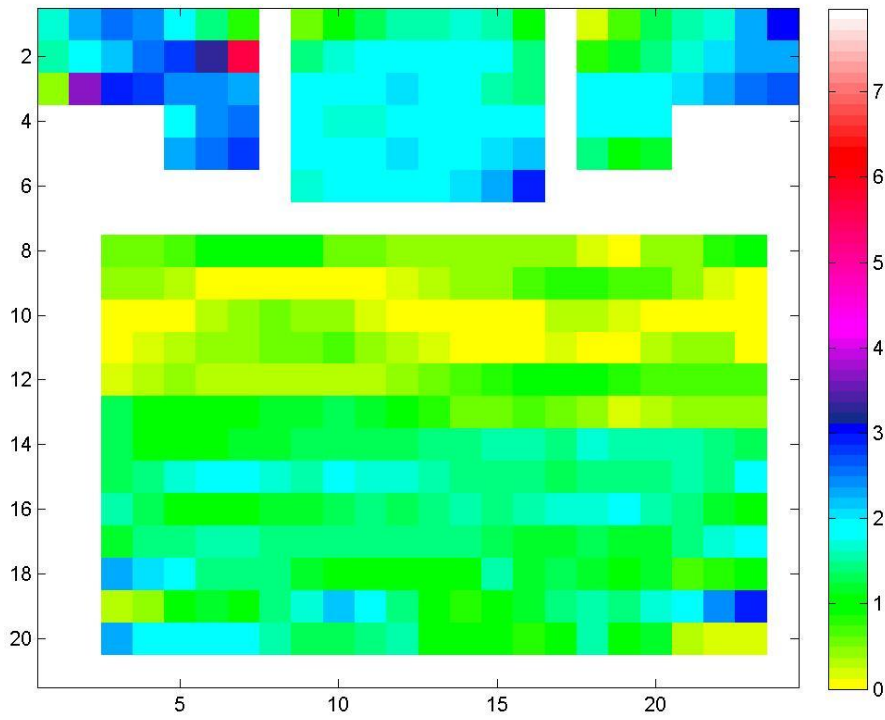
Resultados a F250Hz



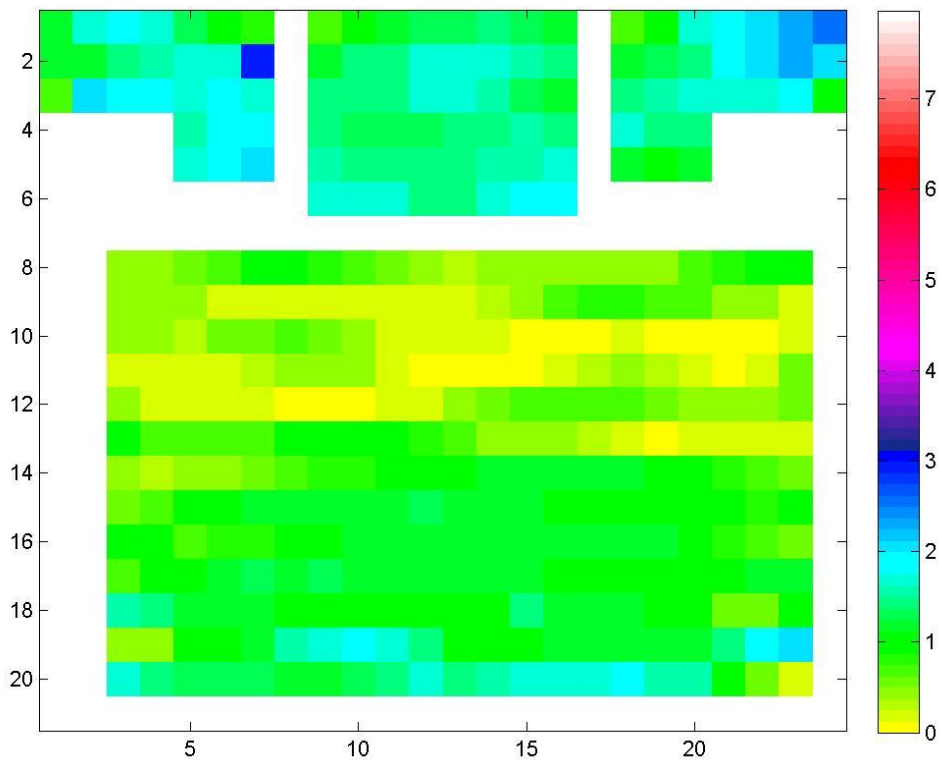
Resultados a F500Hz



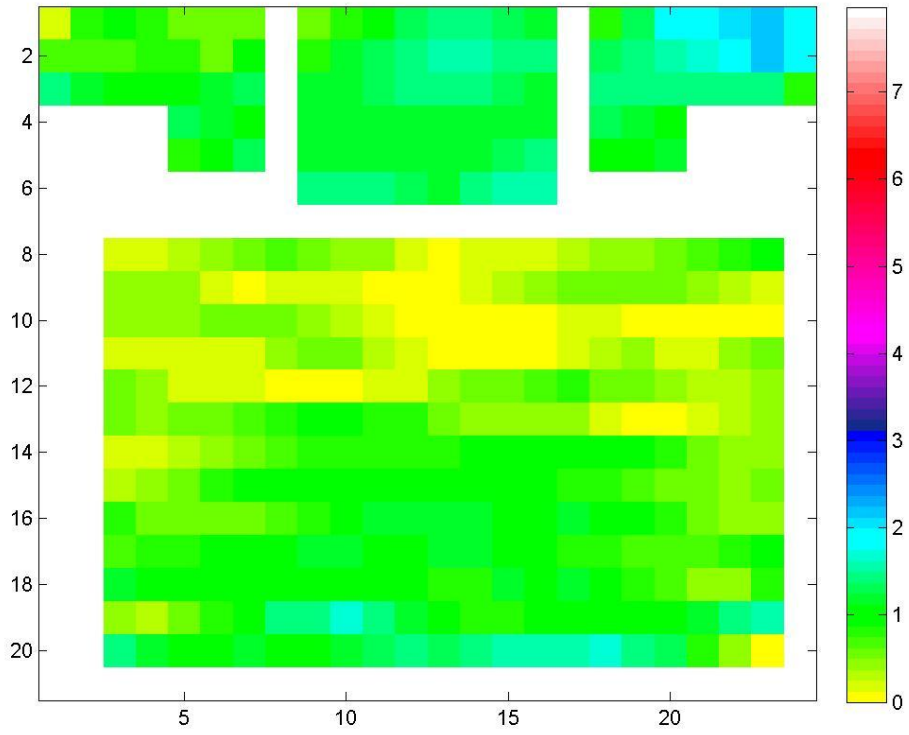
Resultados a F1000Hz



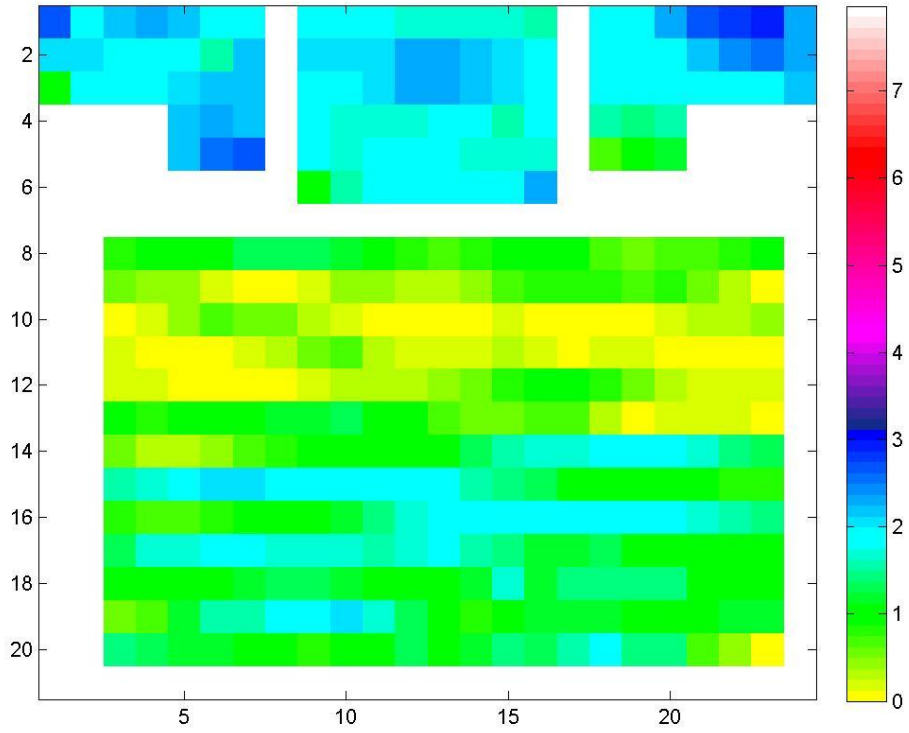
Resultados a F2000Hz



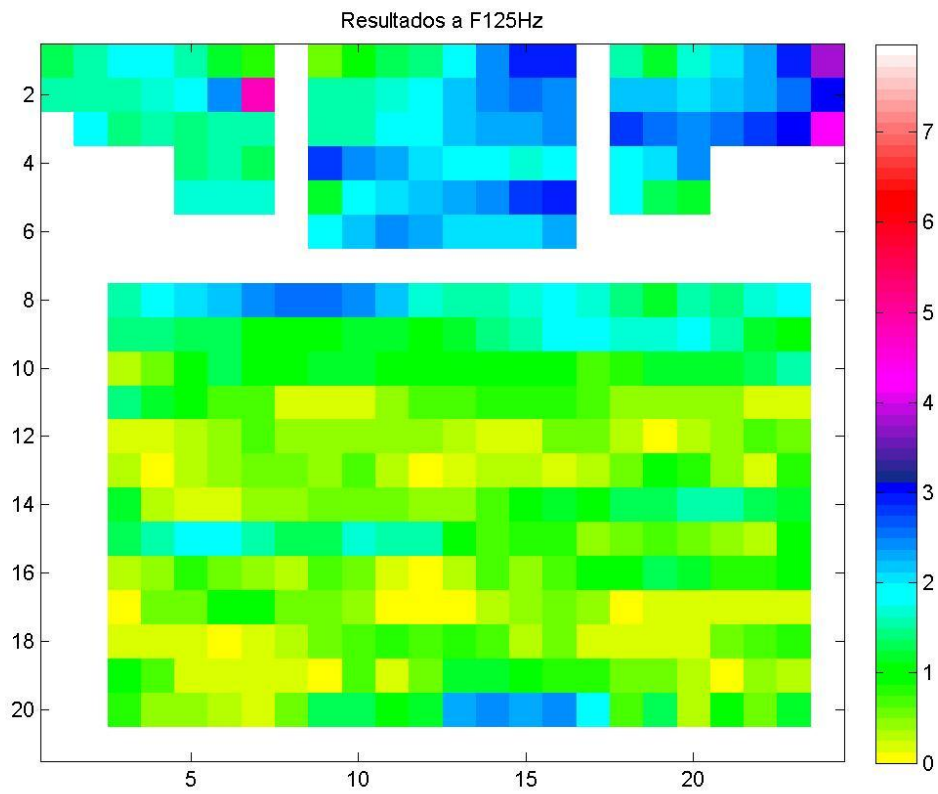
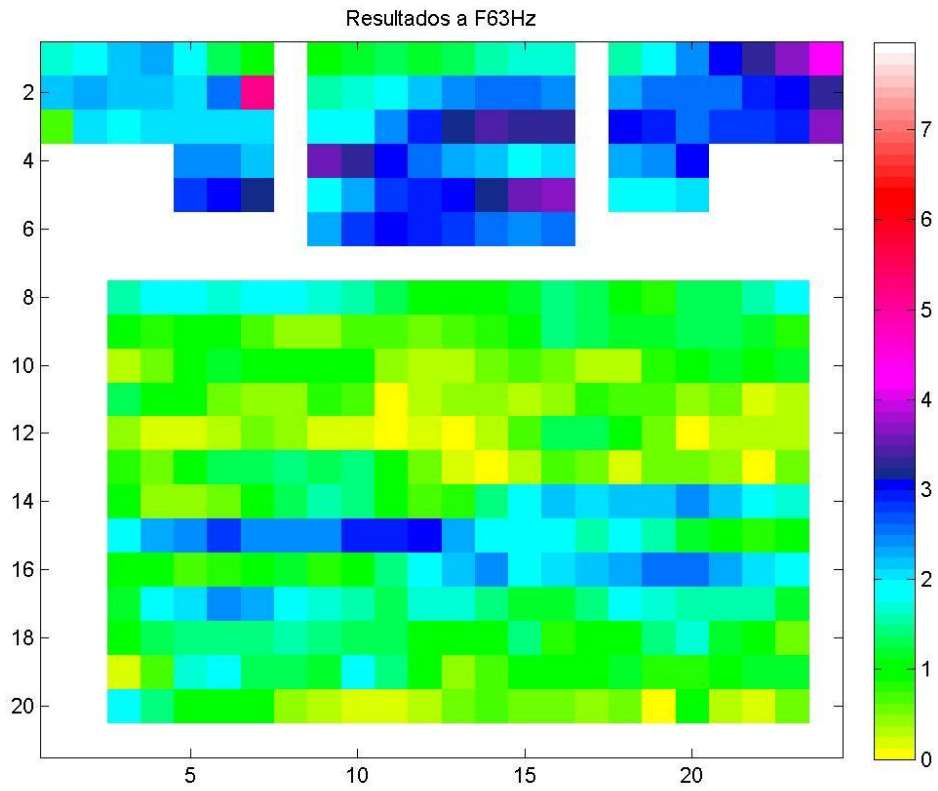
Resultados a F4000Hz

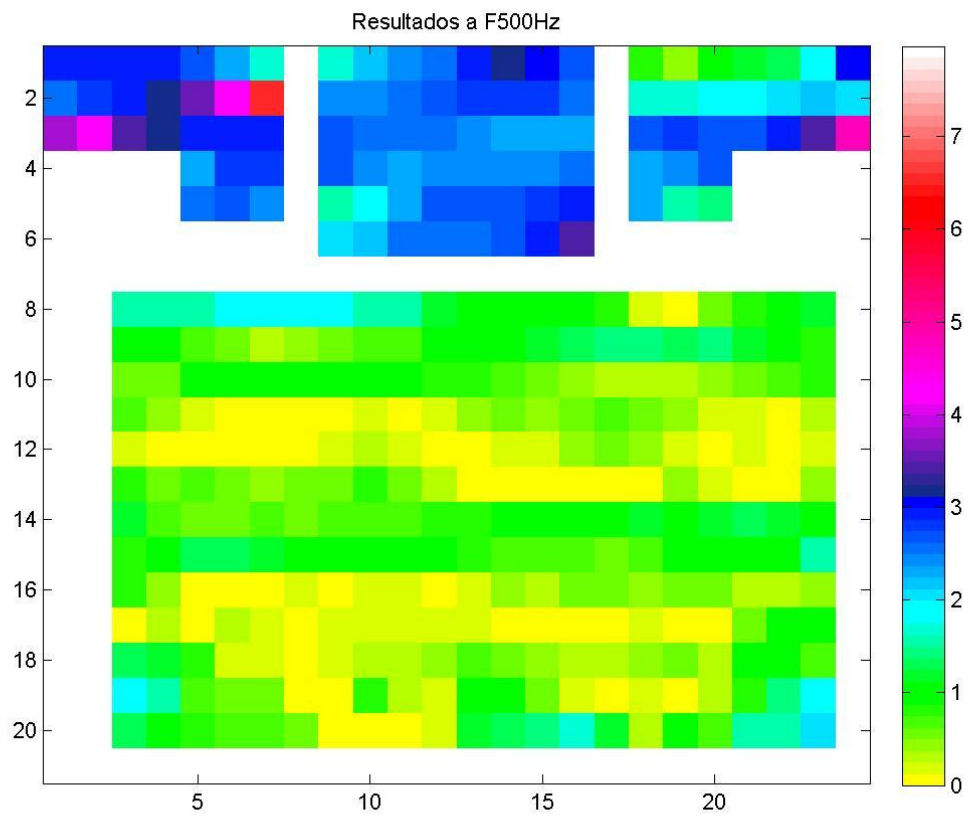
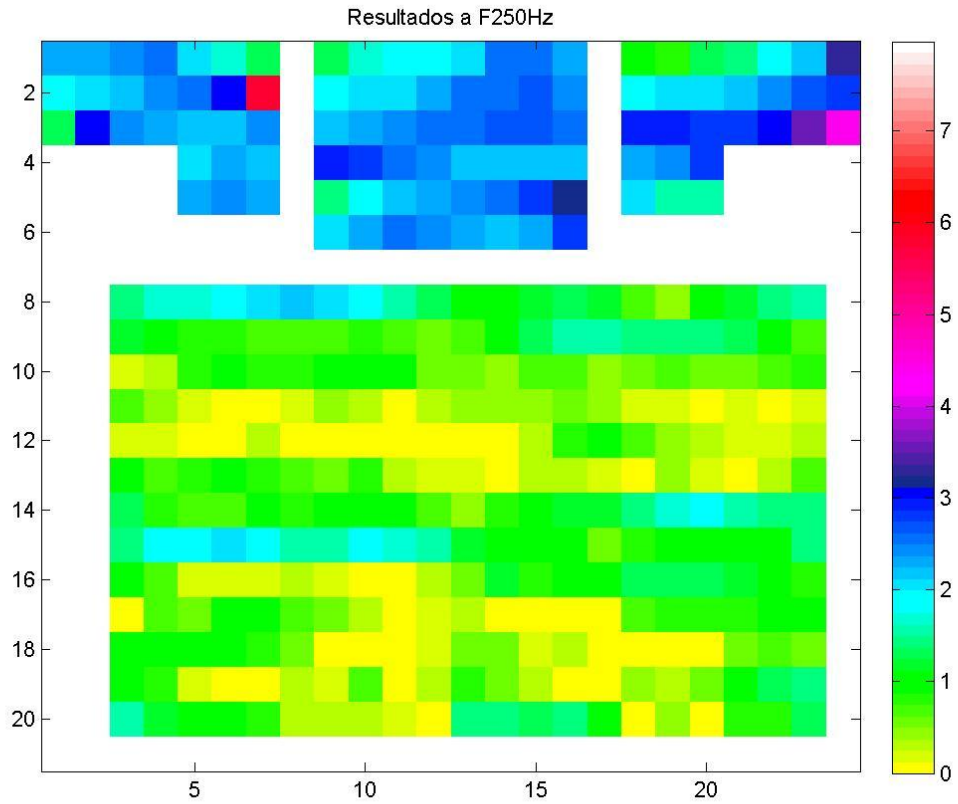


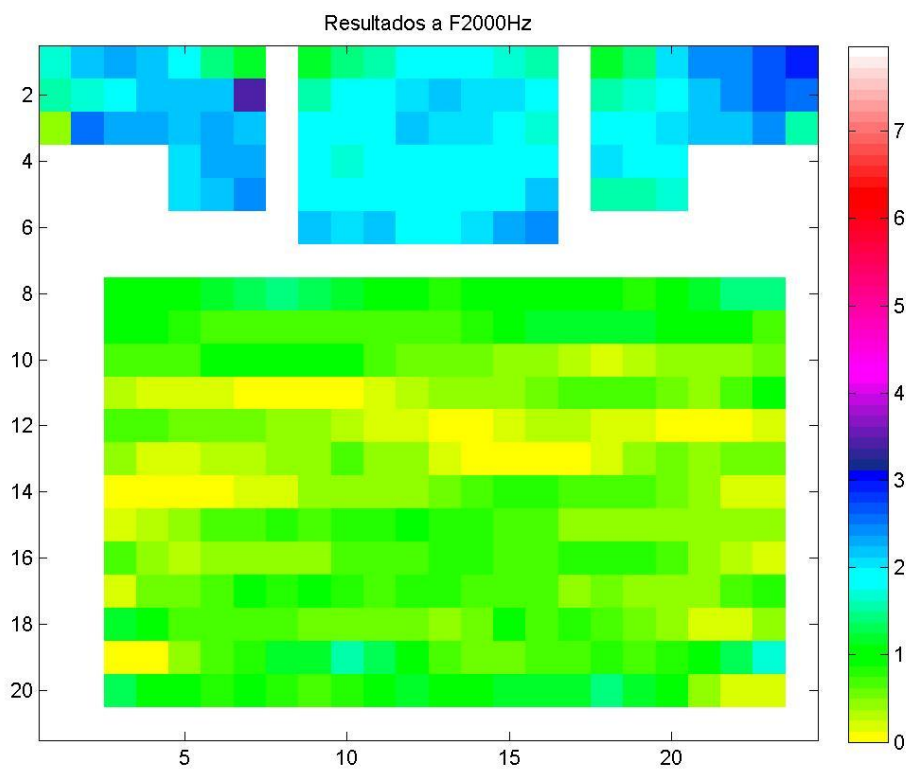
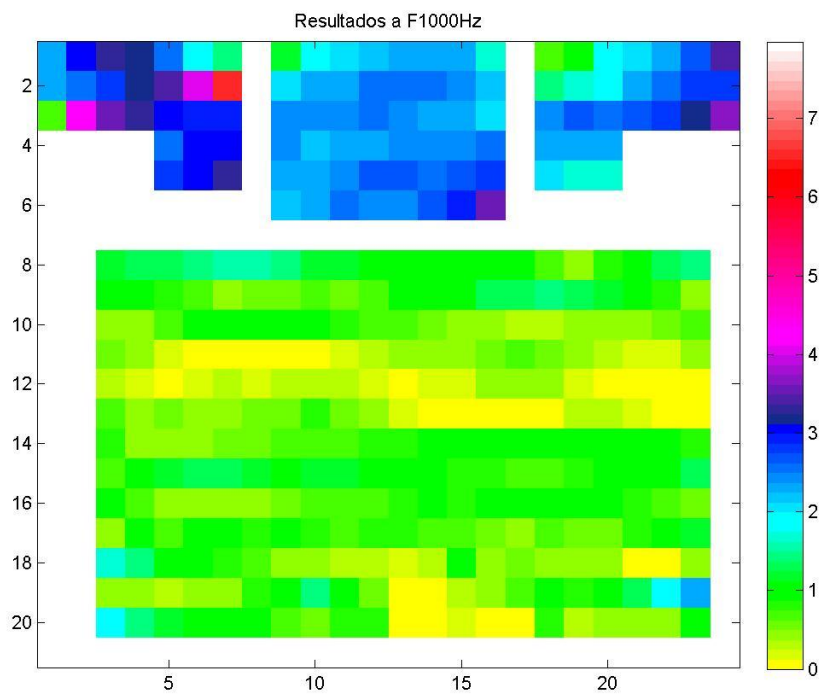
Resultados a F8000Hz



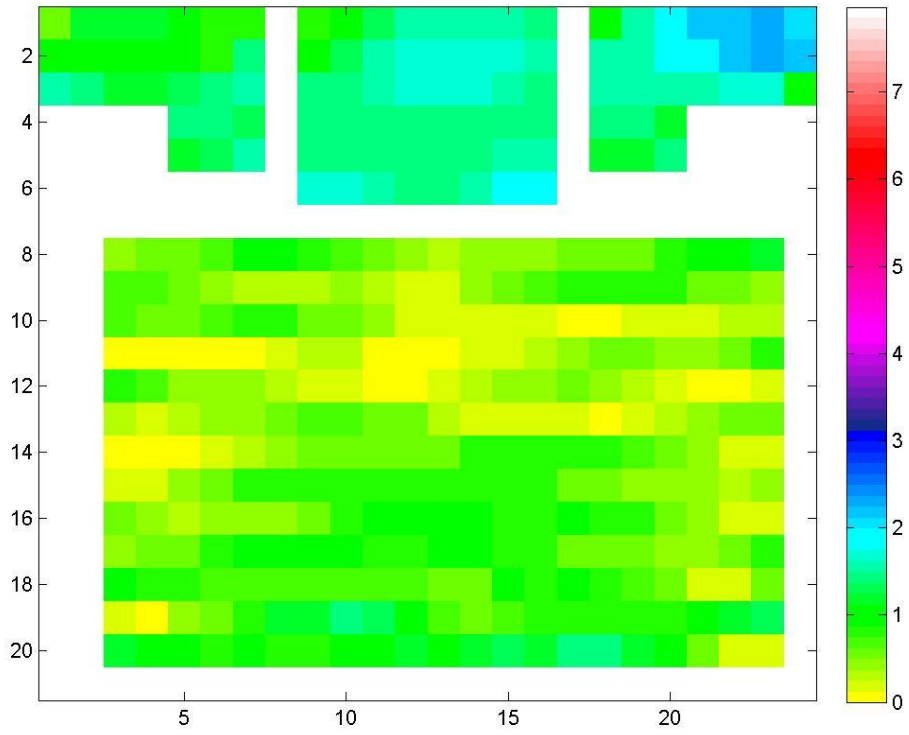
11.2.2. T30(s) $\alpha + 5\%$



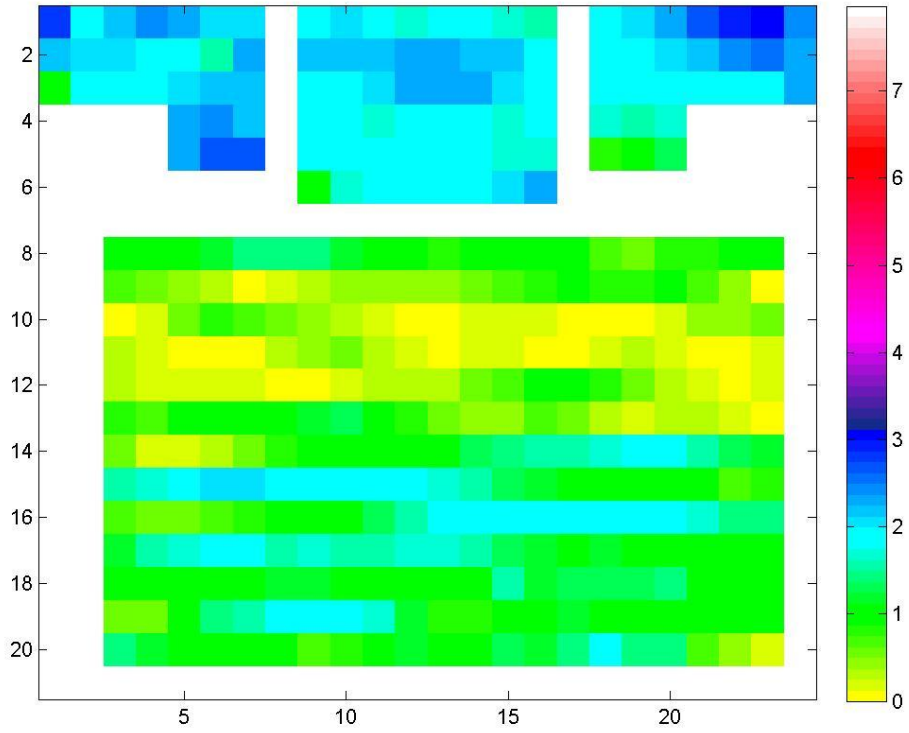




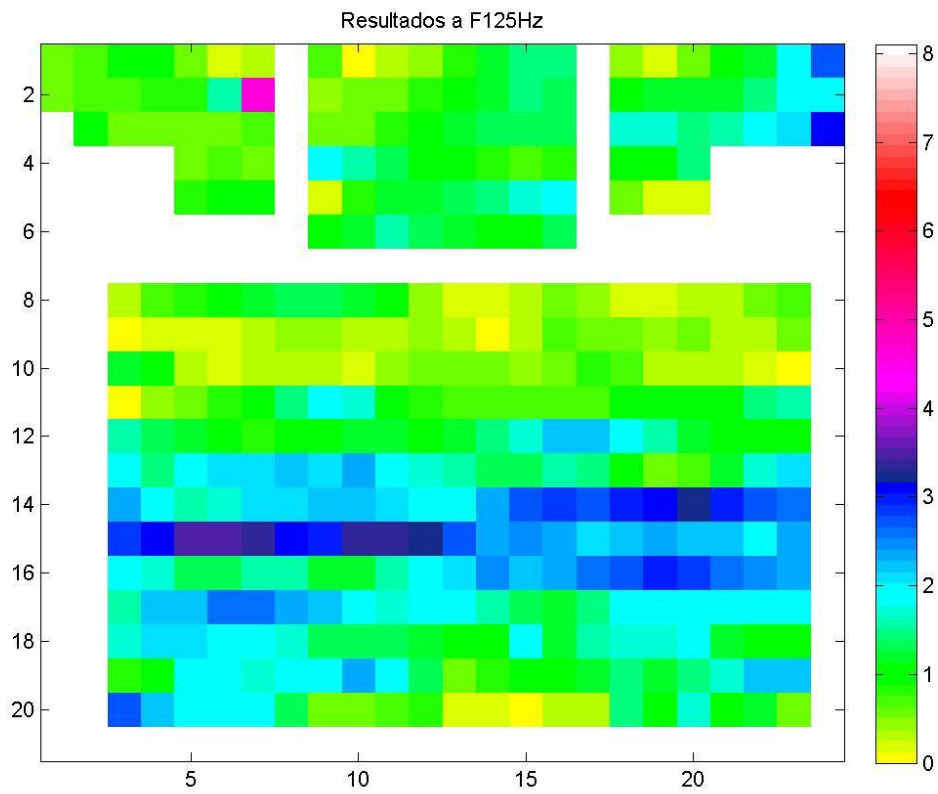
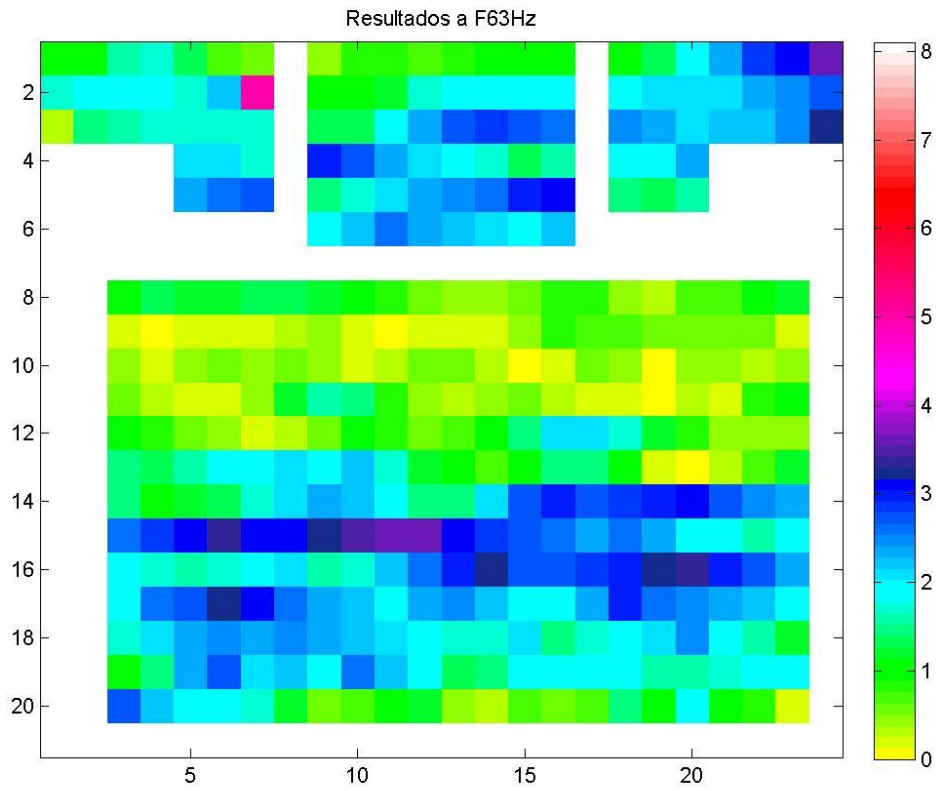
Resultados a F4000Hz



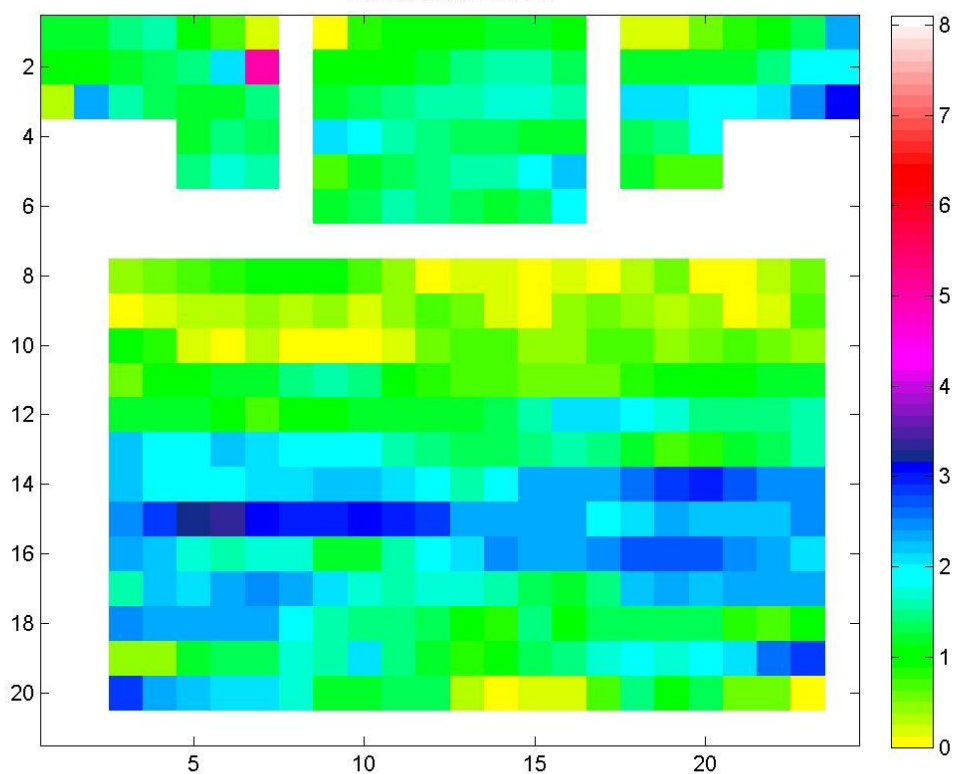
Resultados a F8000Hz



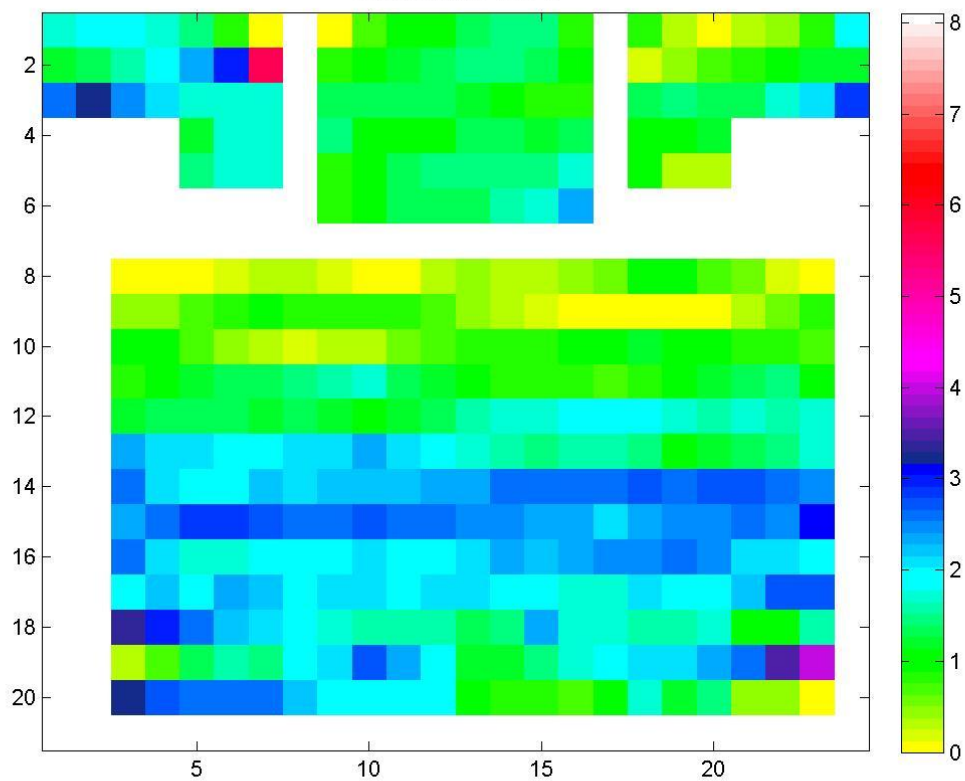
11.2.3. T30(s) α - 5%

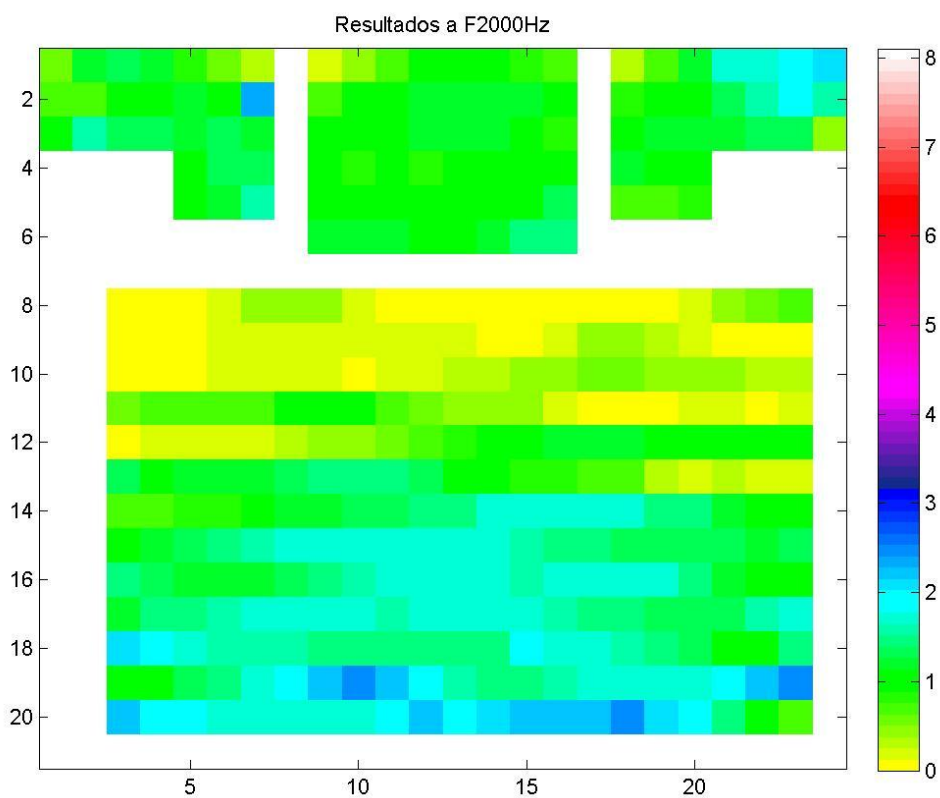
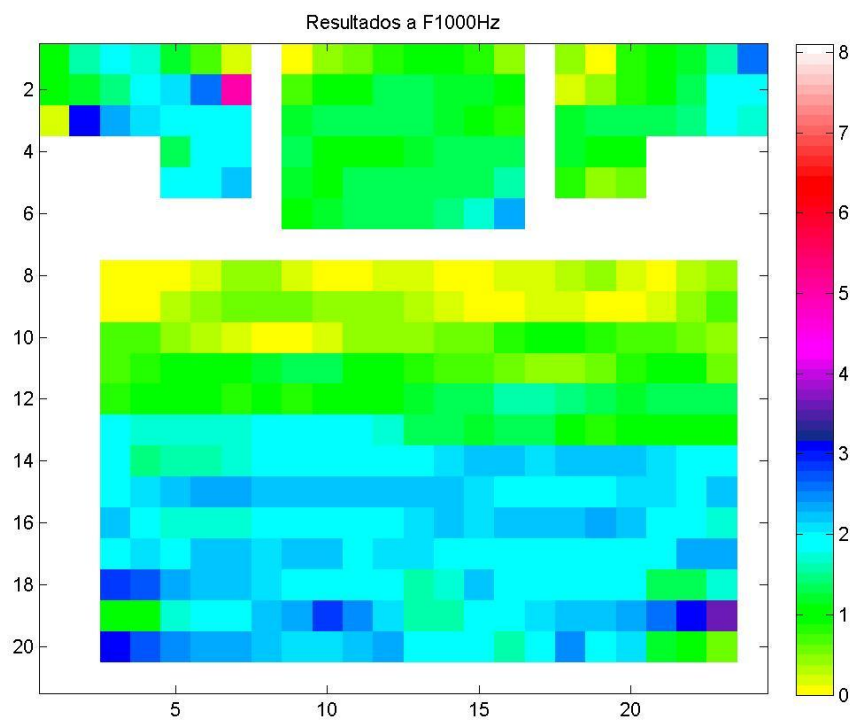


Resultados a F250Hz

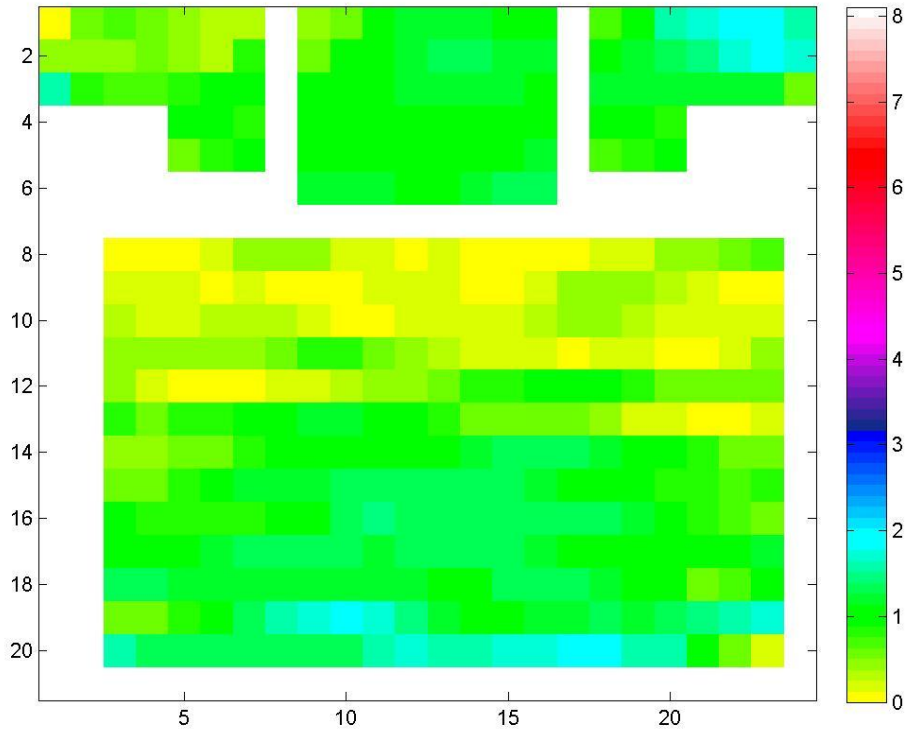


Resultados a F500Hz

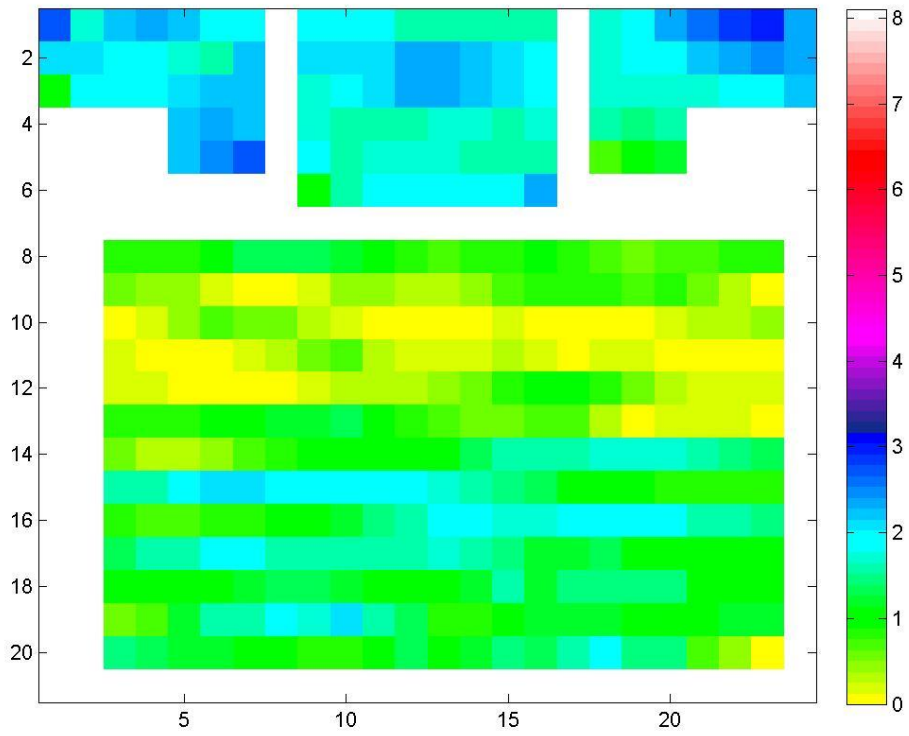




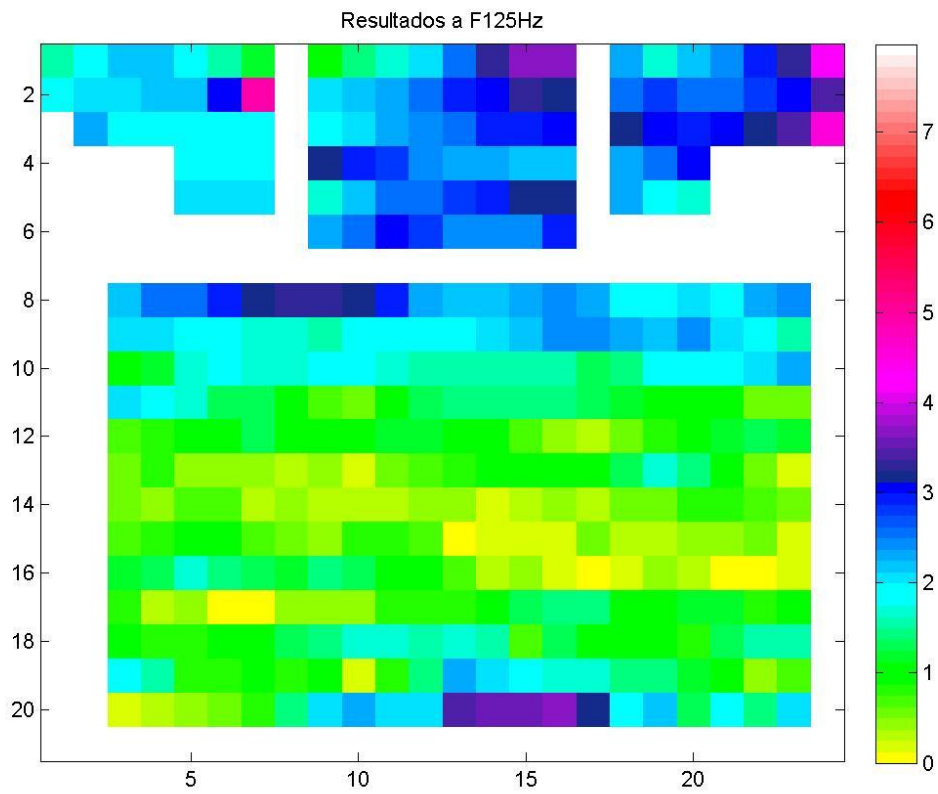
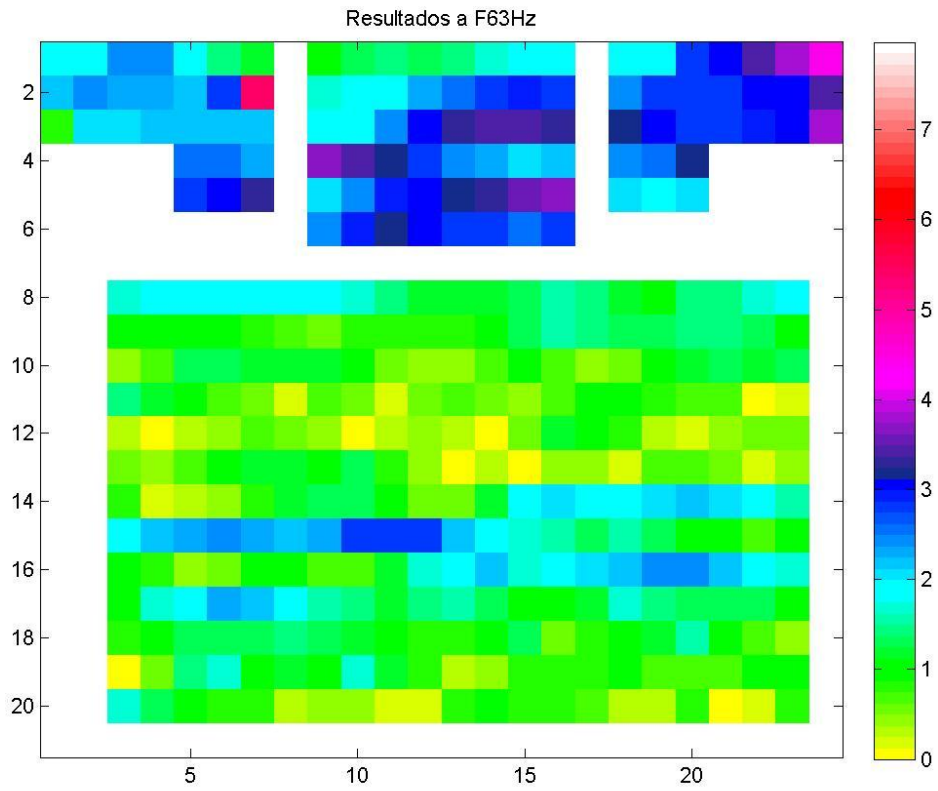
Resultados a F4000Hz



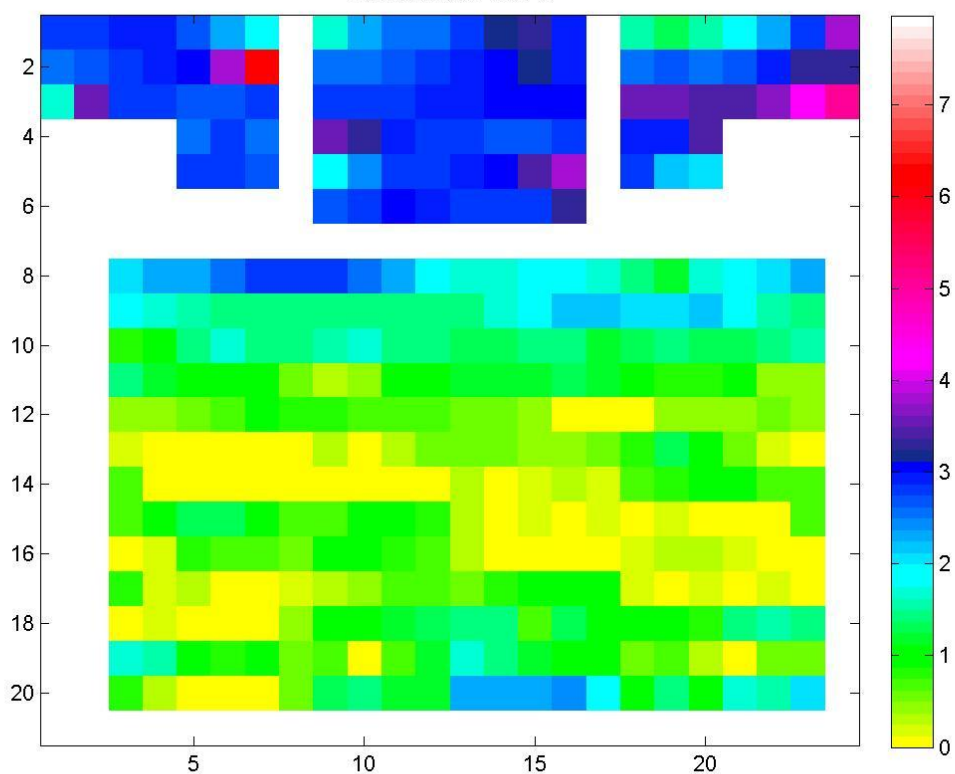
Resultados a F8000Hz



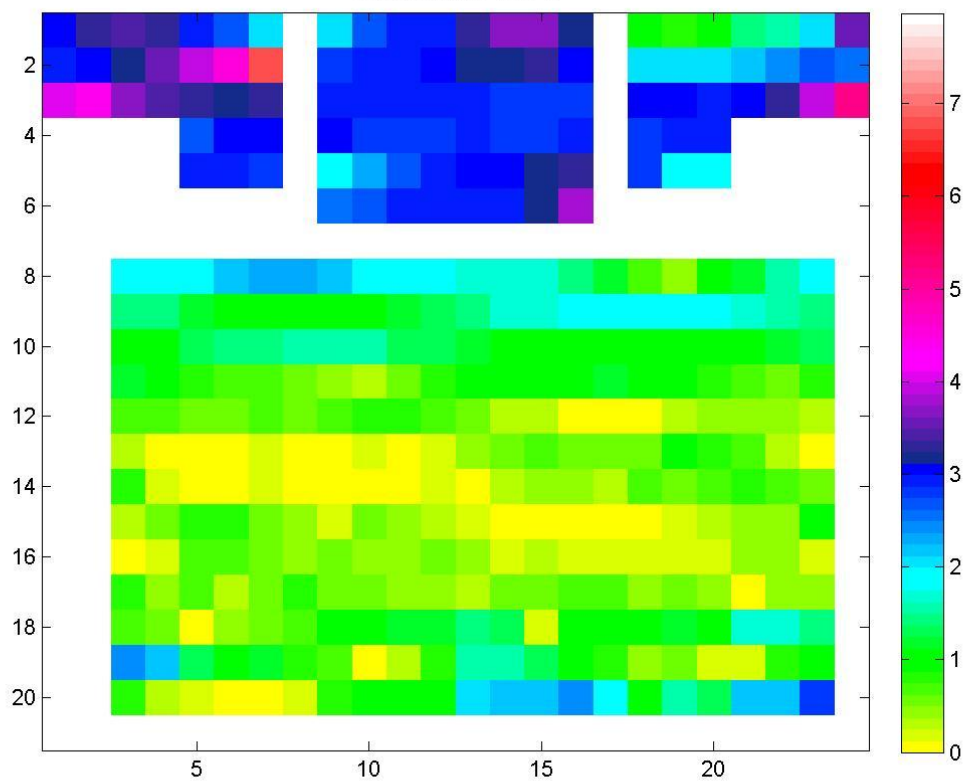
11.2.4. T30(s) $\alpha + 10\%$

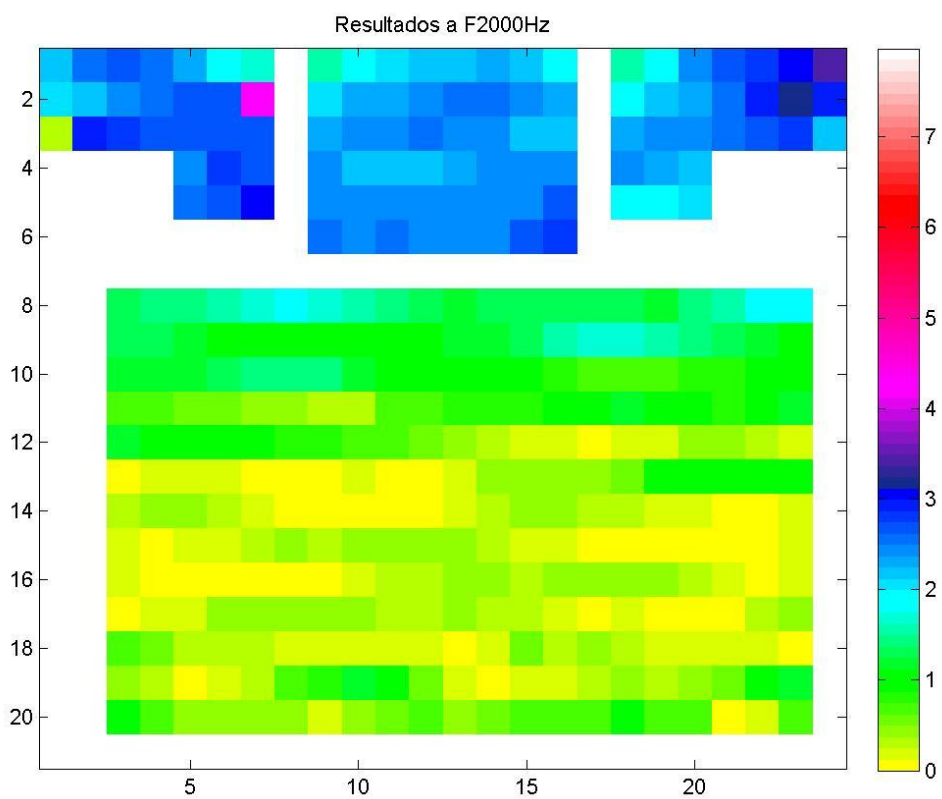
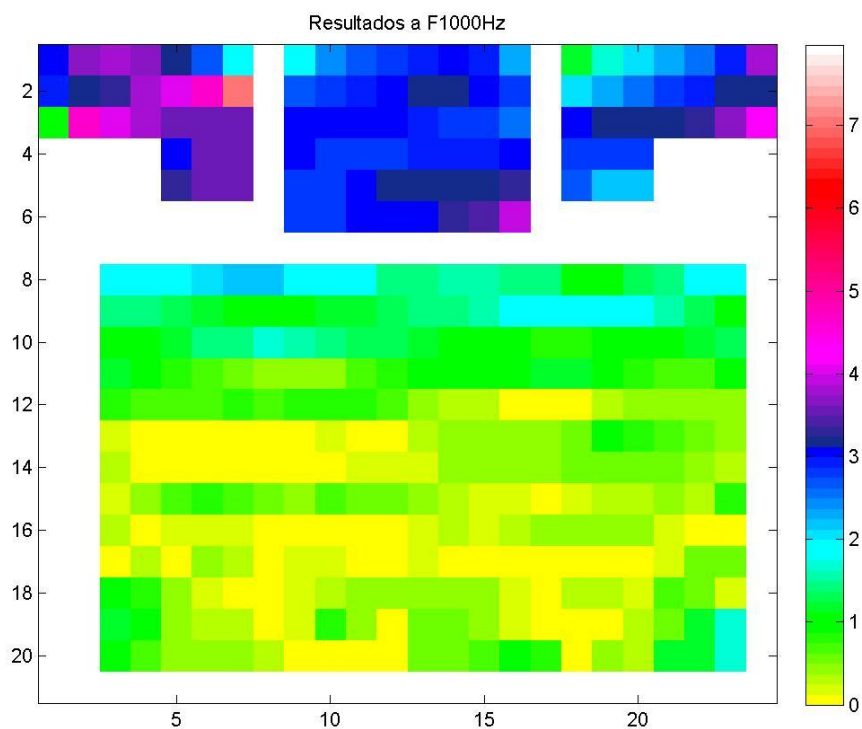


Resultados a F250Hz

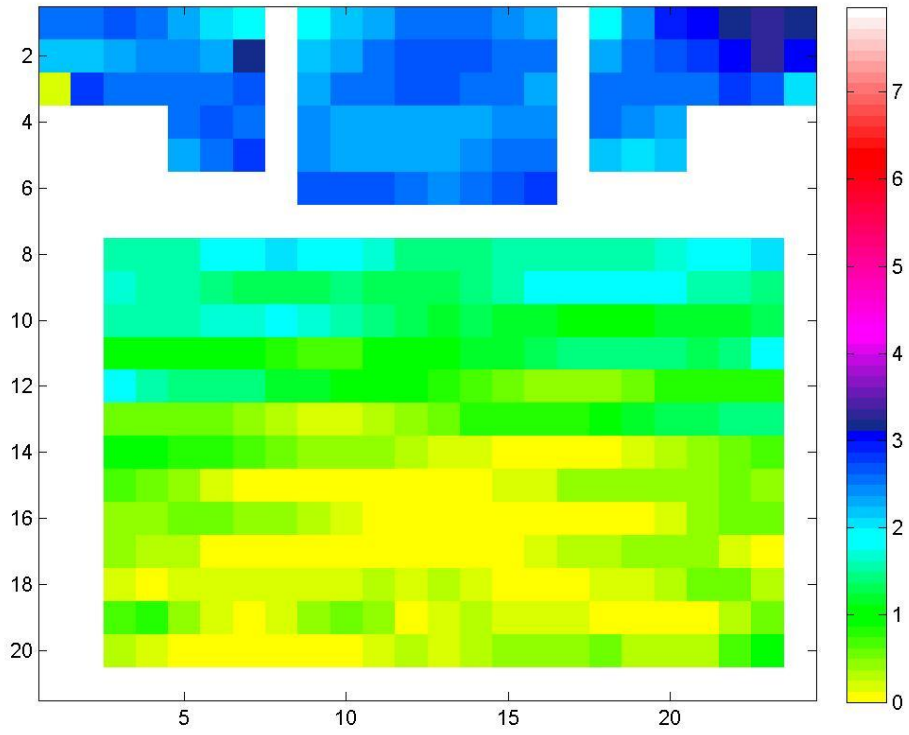


Resultados a F500Hz

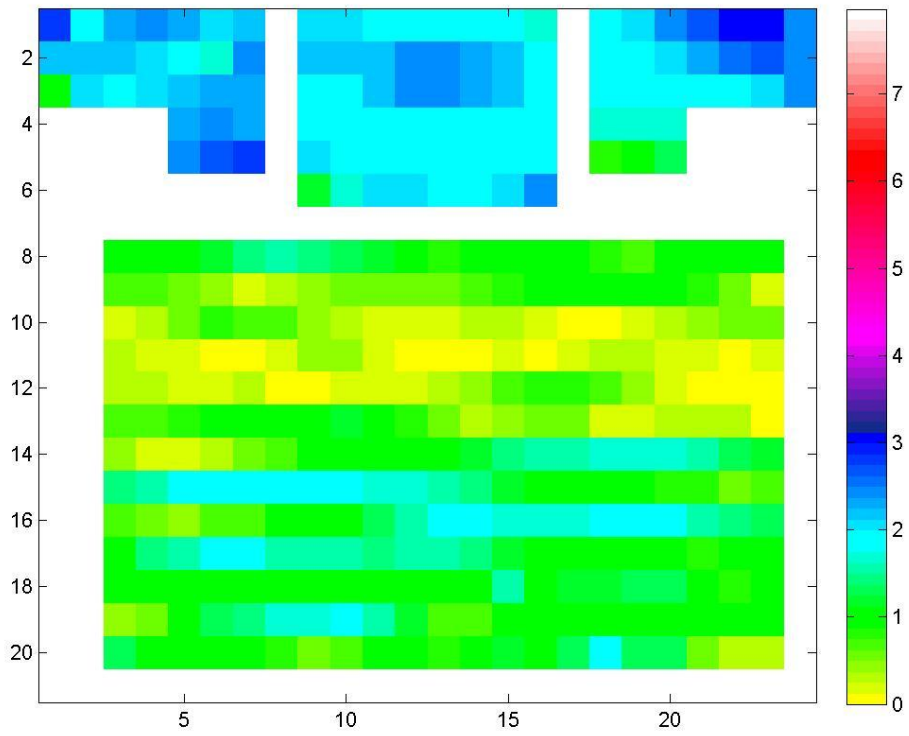




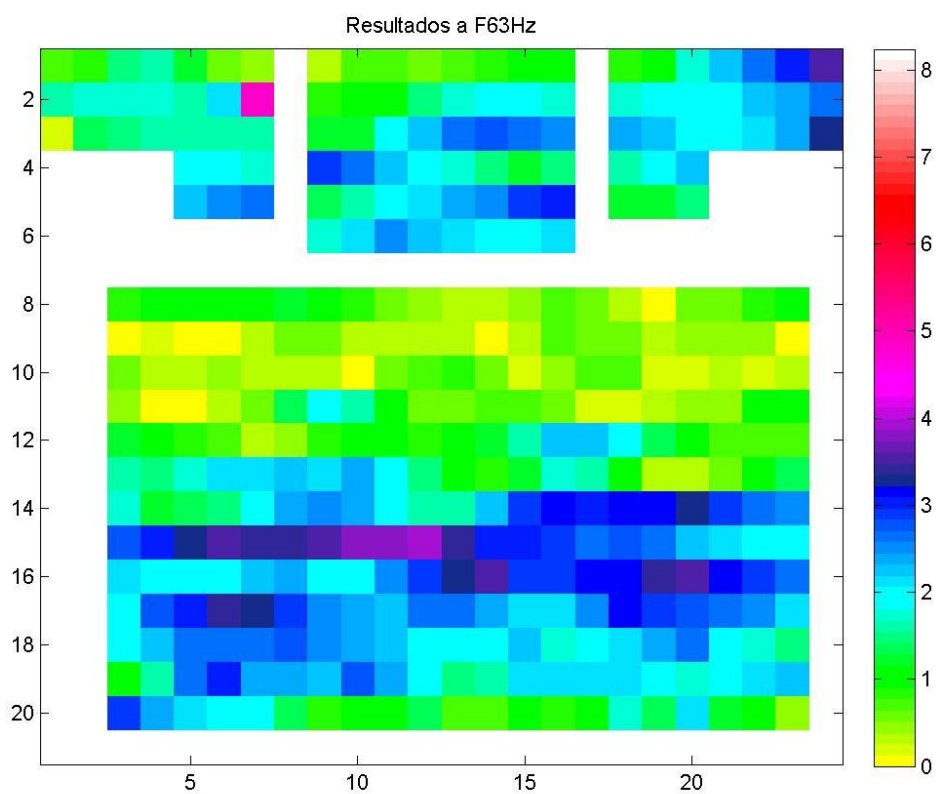
Resultados a F4000Hz

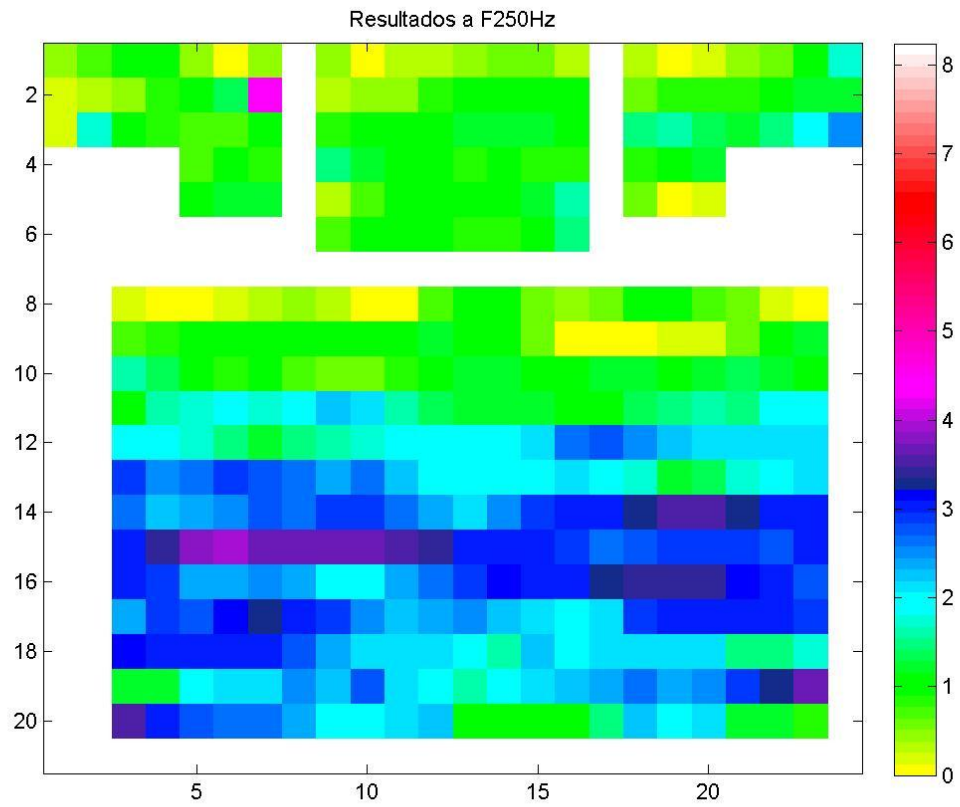
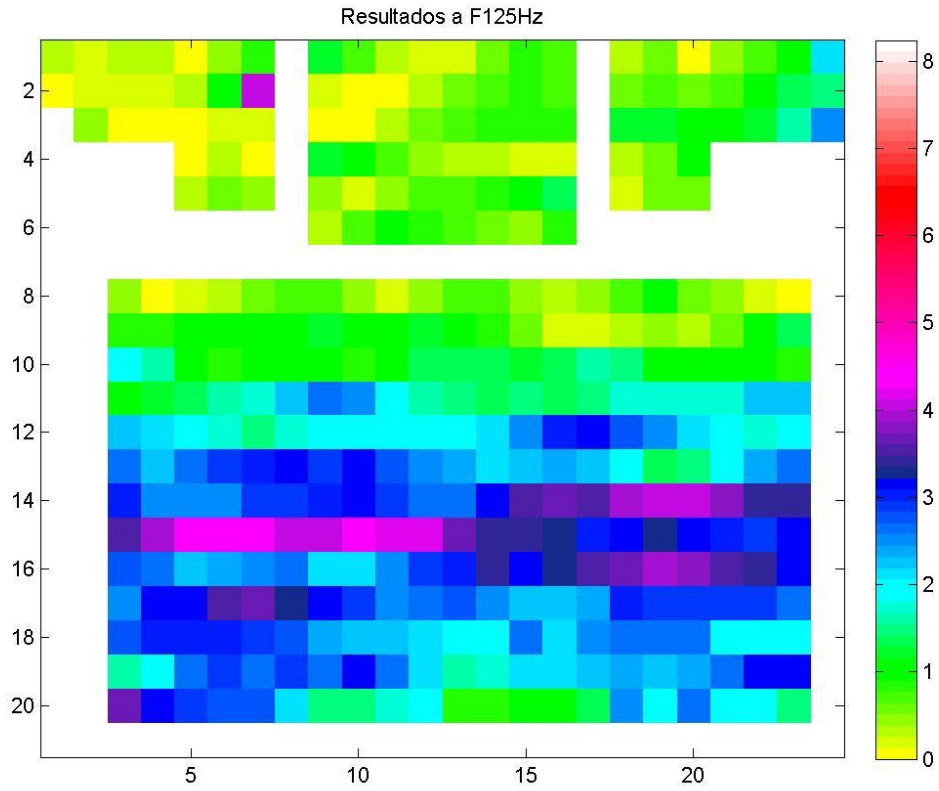


Resultados a F8000Hz

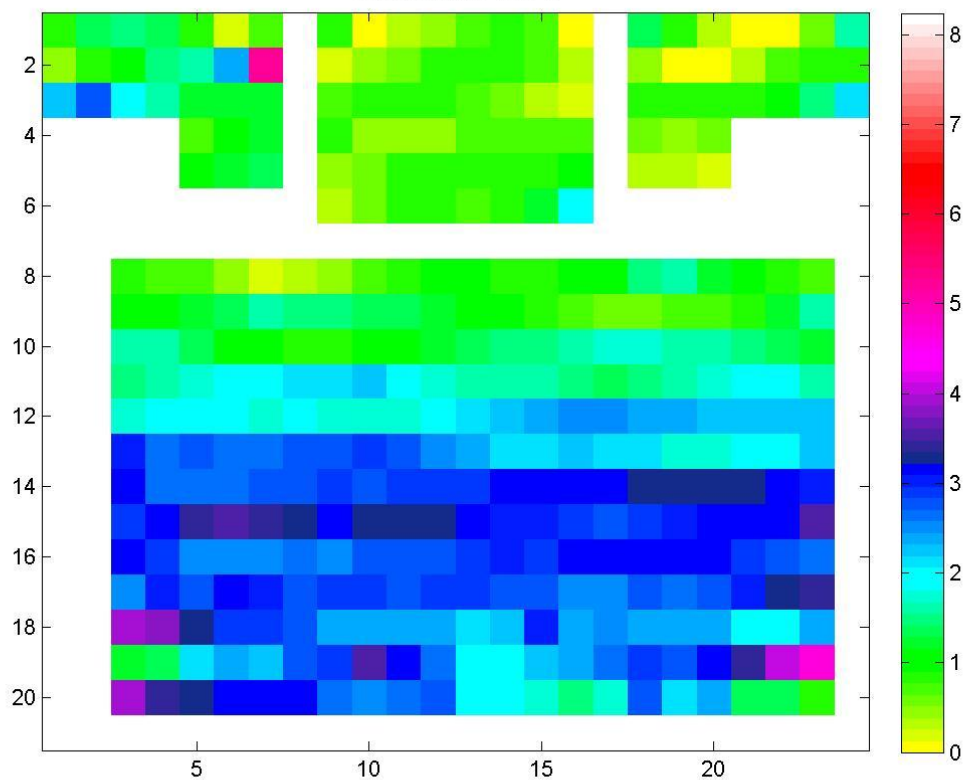


11.2.5. T30(s) α - 10%

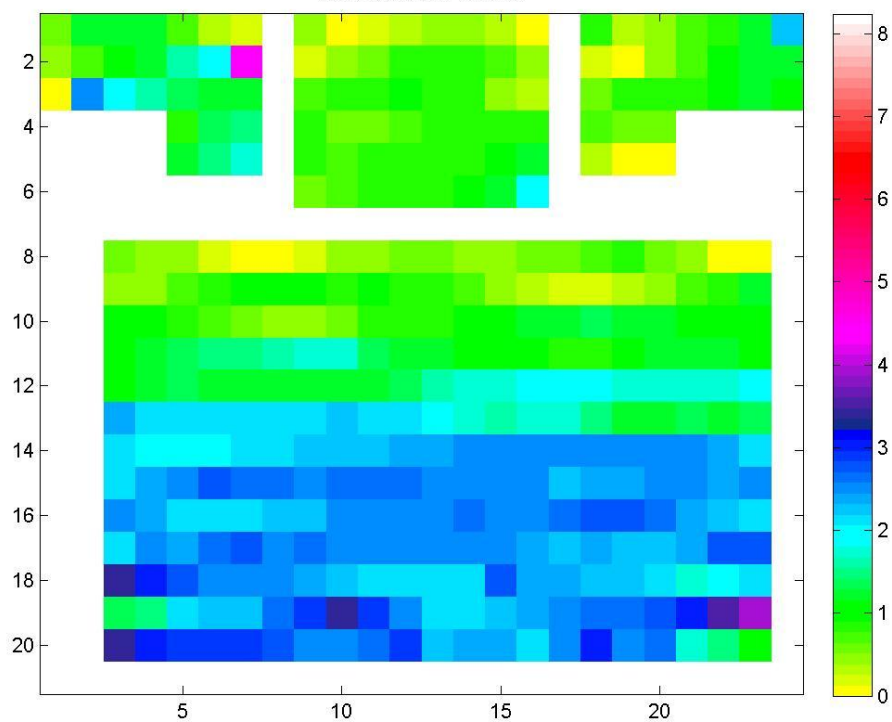




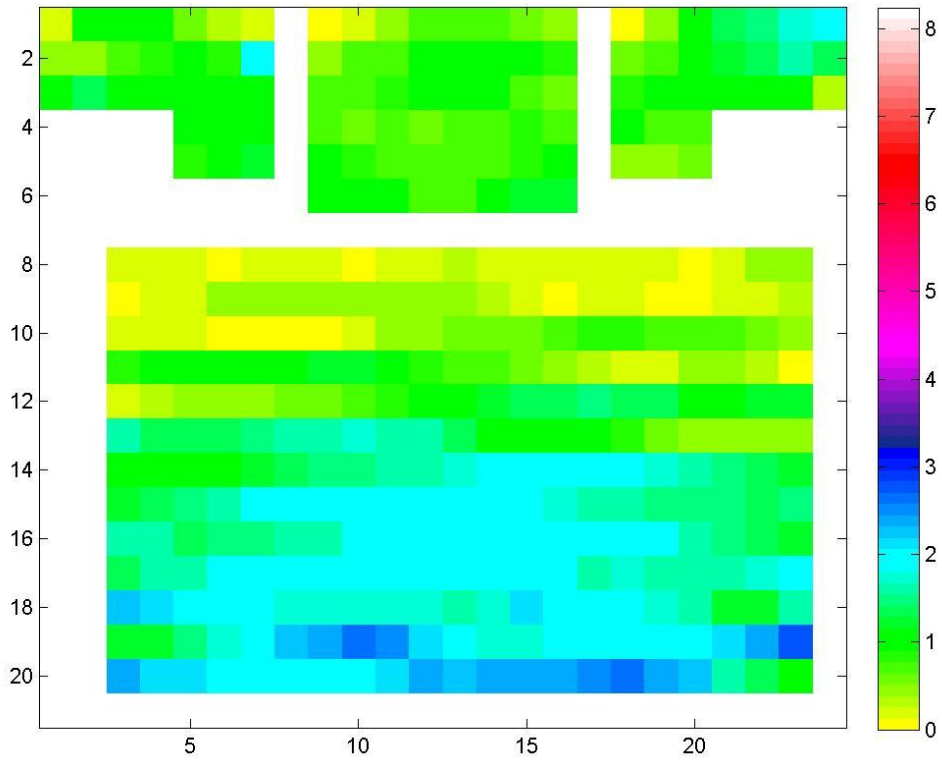
Resultados a F500Hz



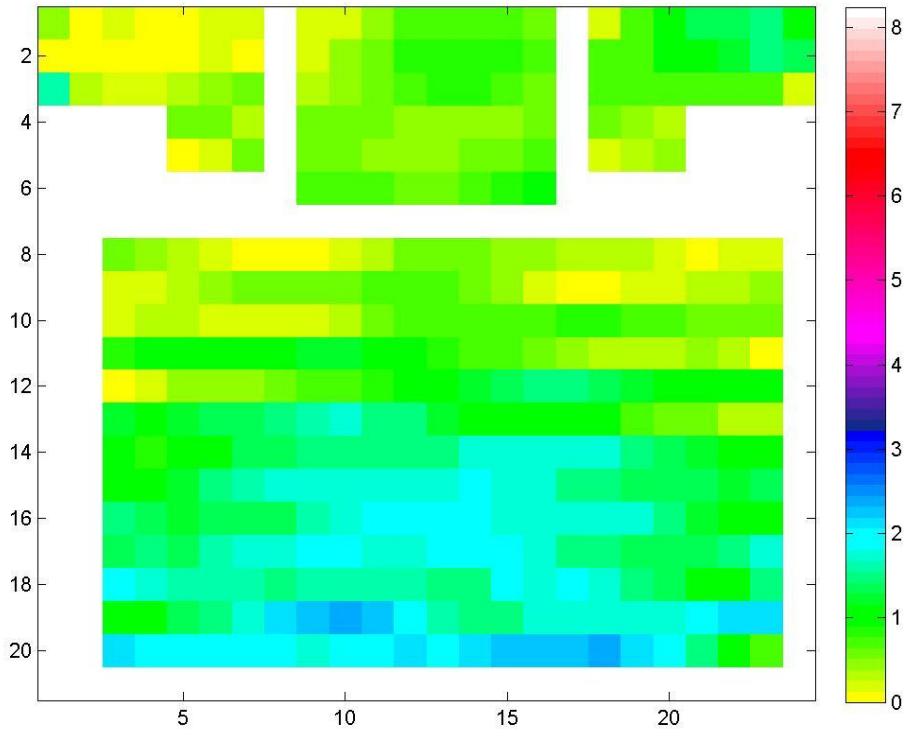
Resultados a F1000Hz

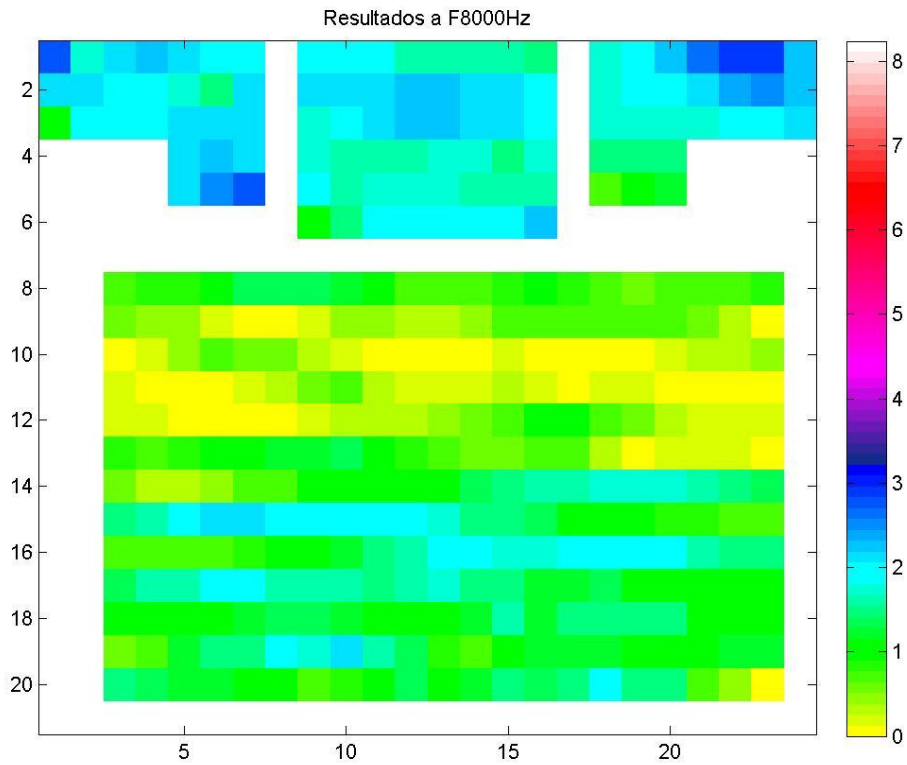


Resultados a F2000Hz



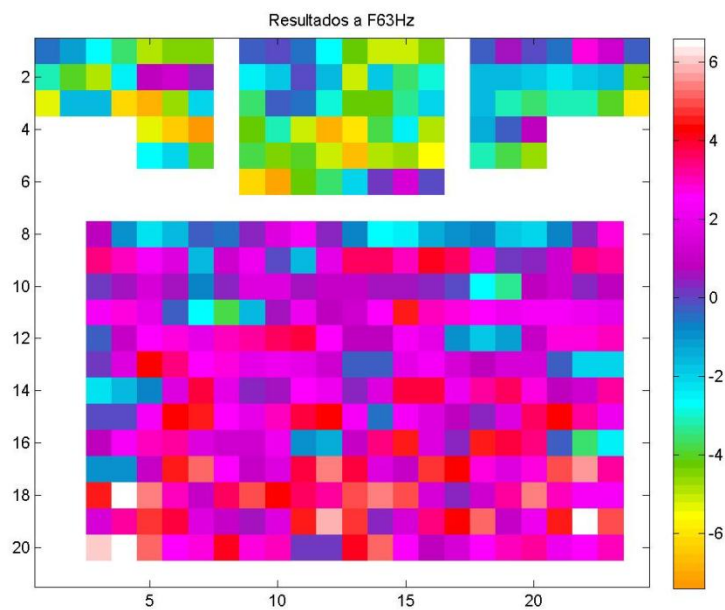
Resultados a F4000Hz

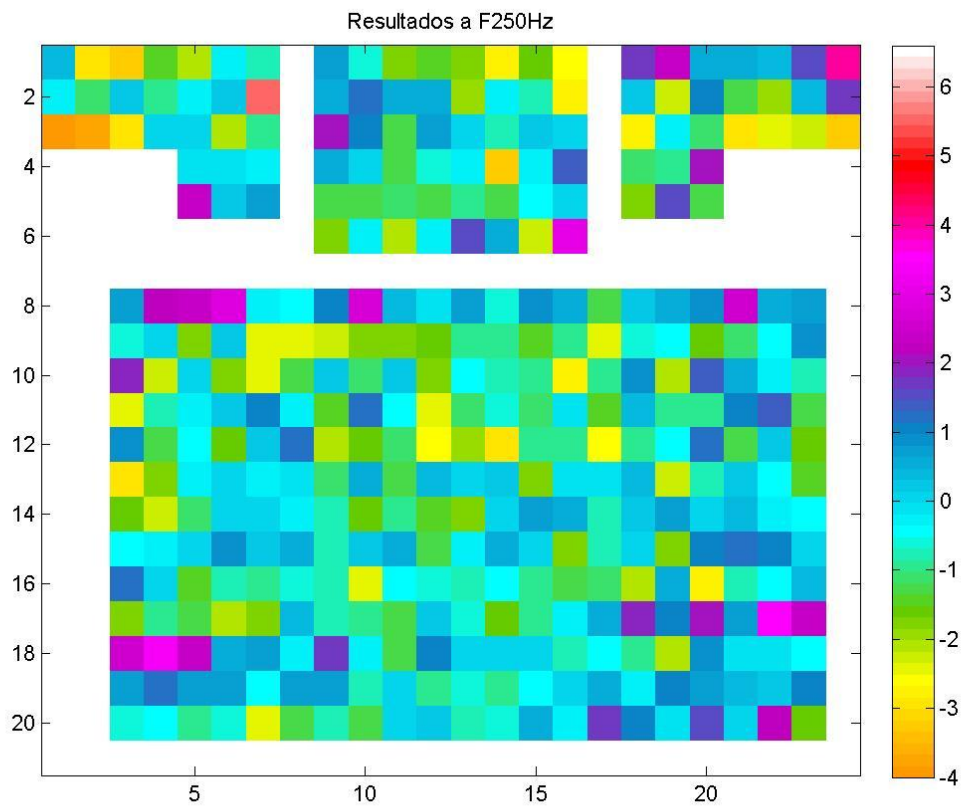
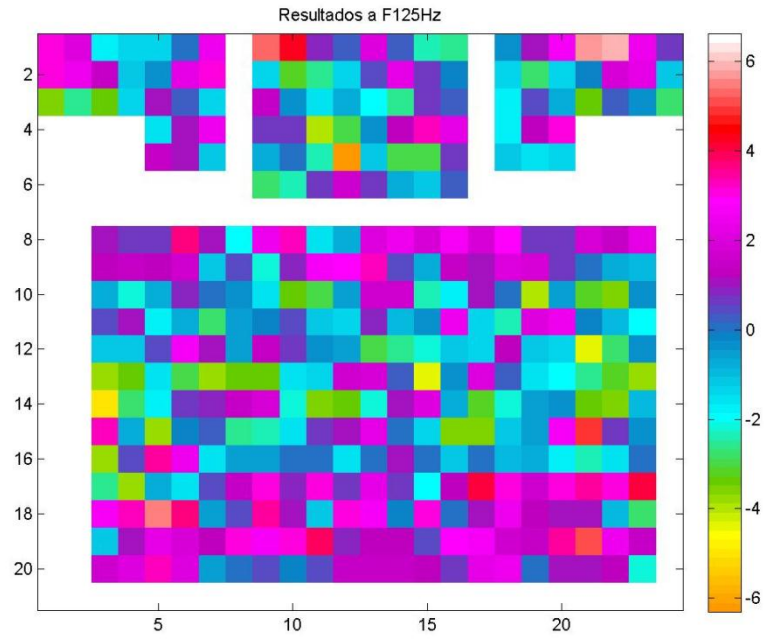


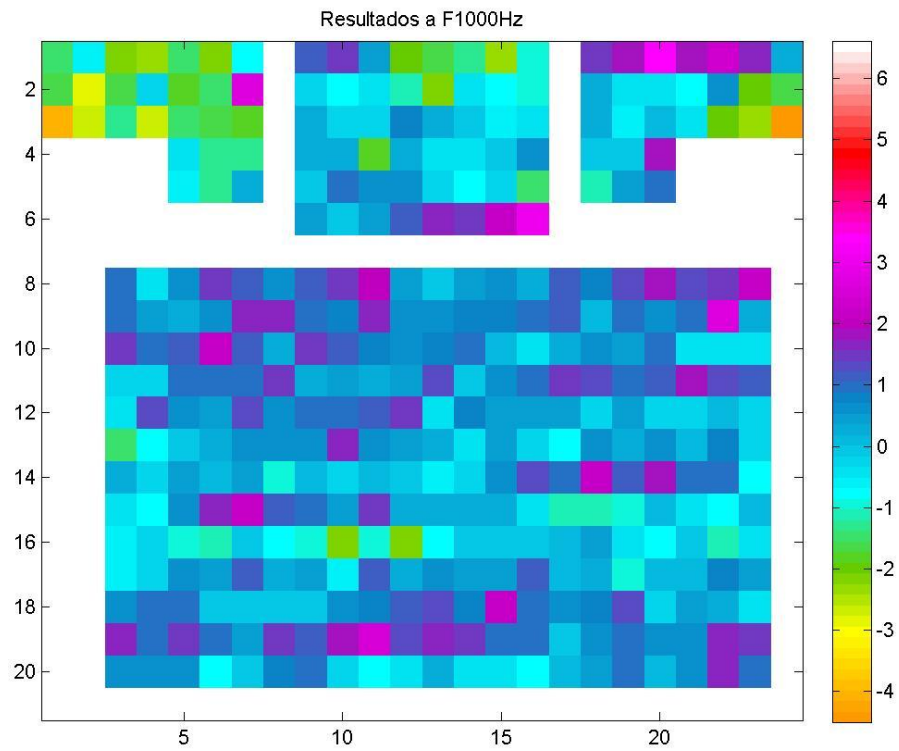
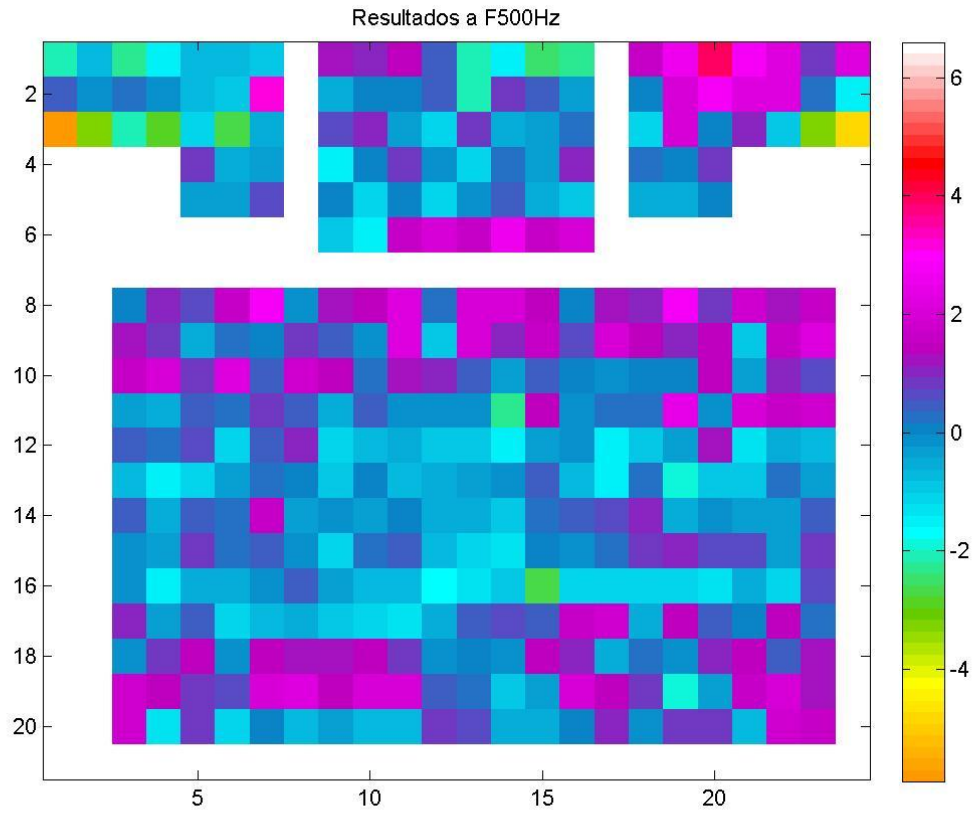


11.3. Comparación C80(dB)

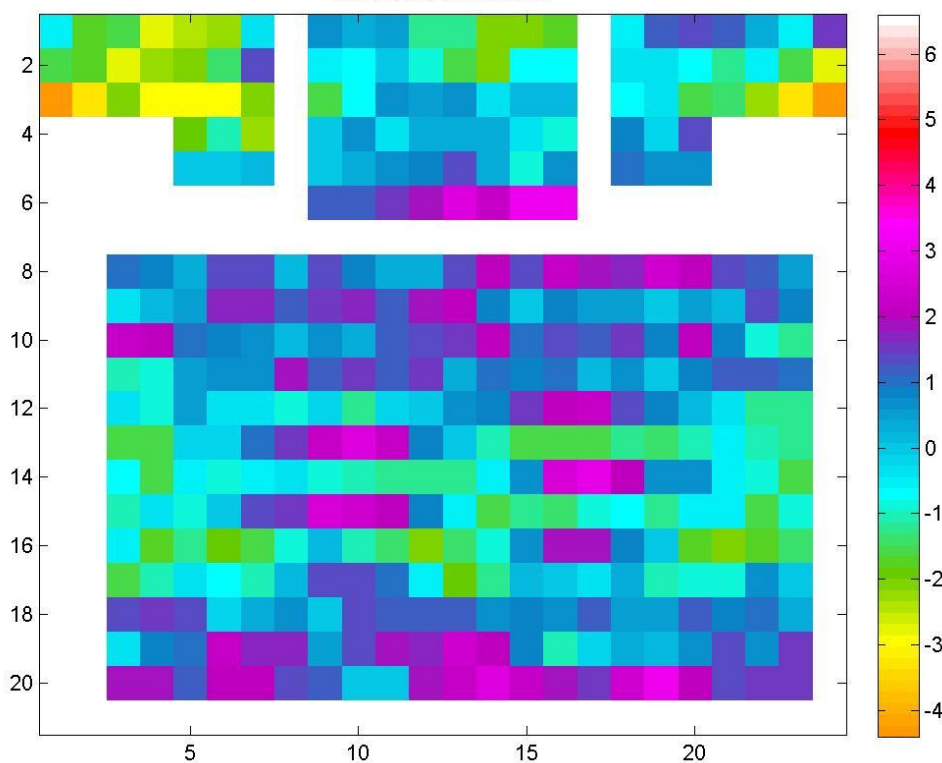
11.3.1. C80(dB) winMLS - C80(dB) para simulación con 196 rayos.



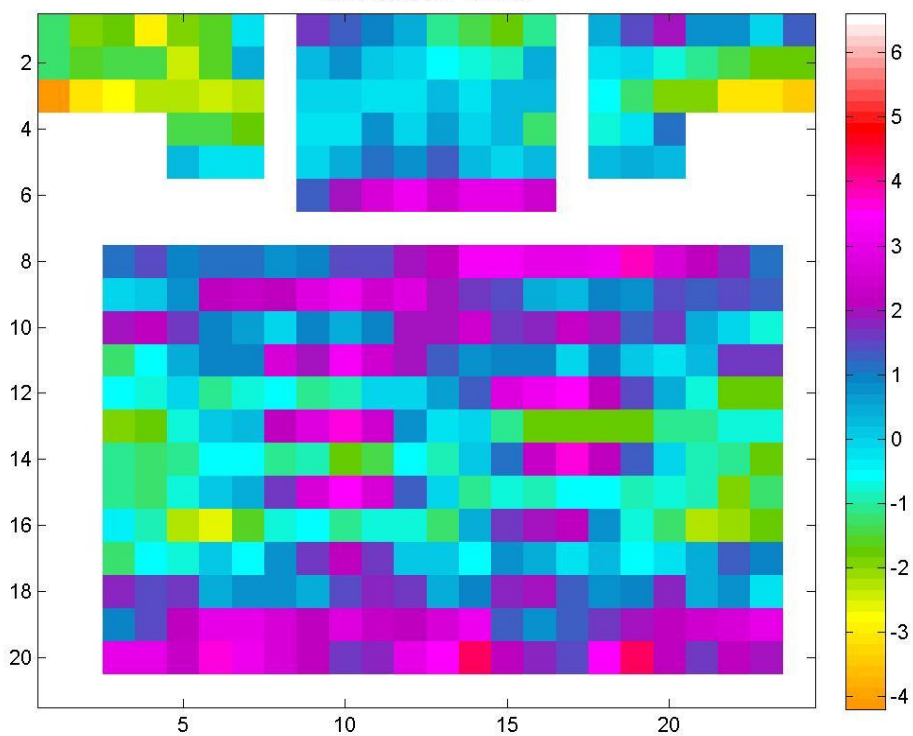


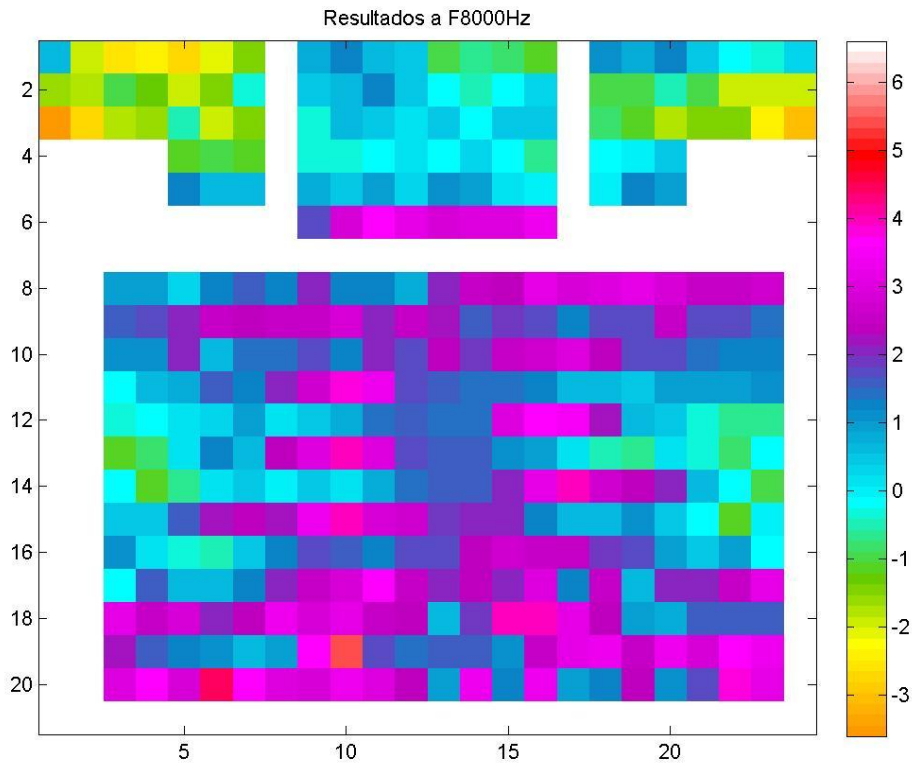


Resultados a F2000Hz

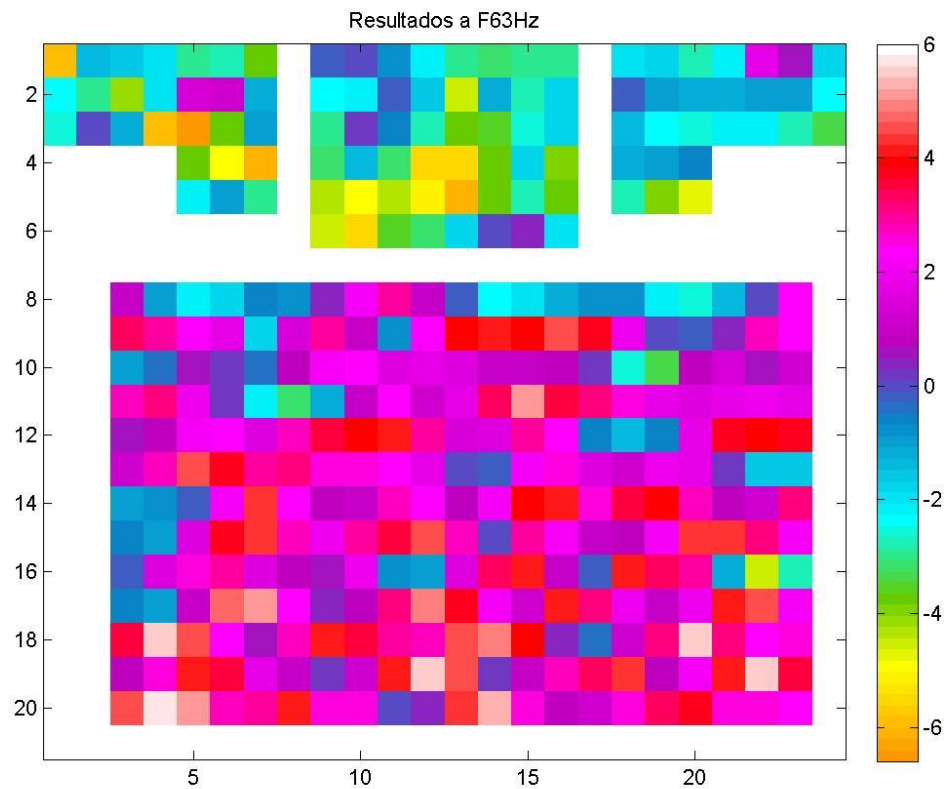


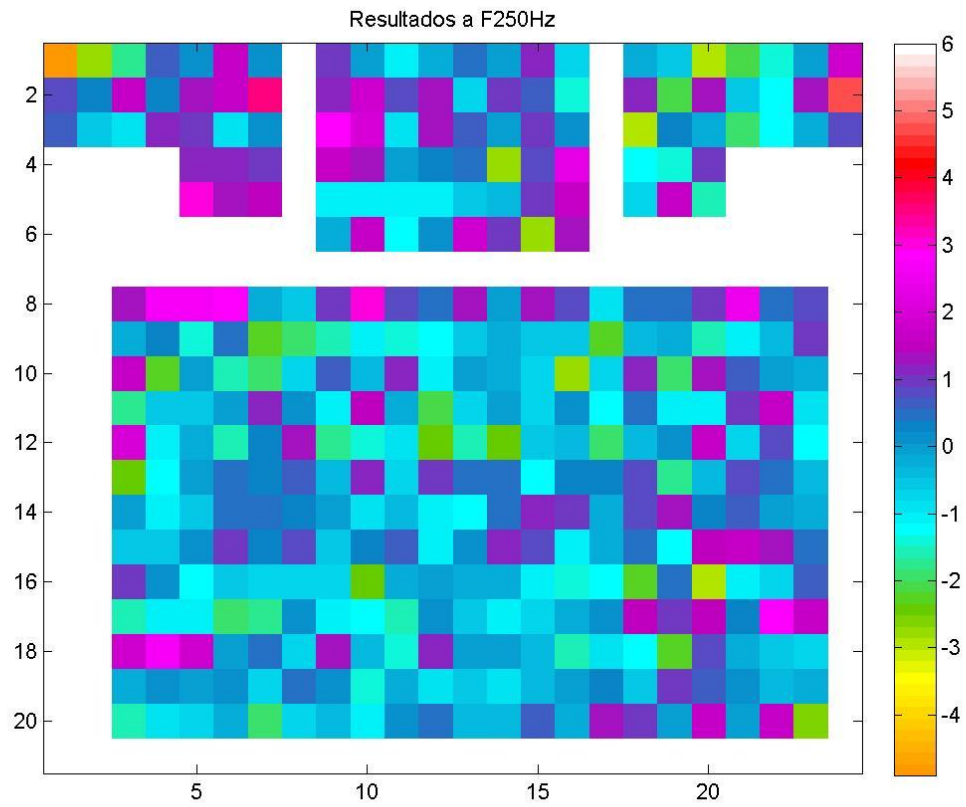
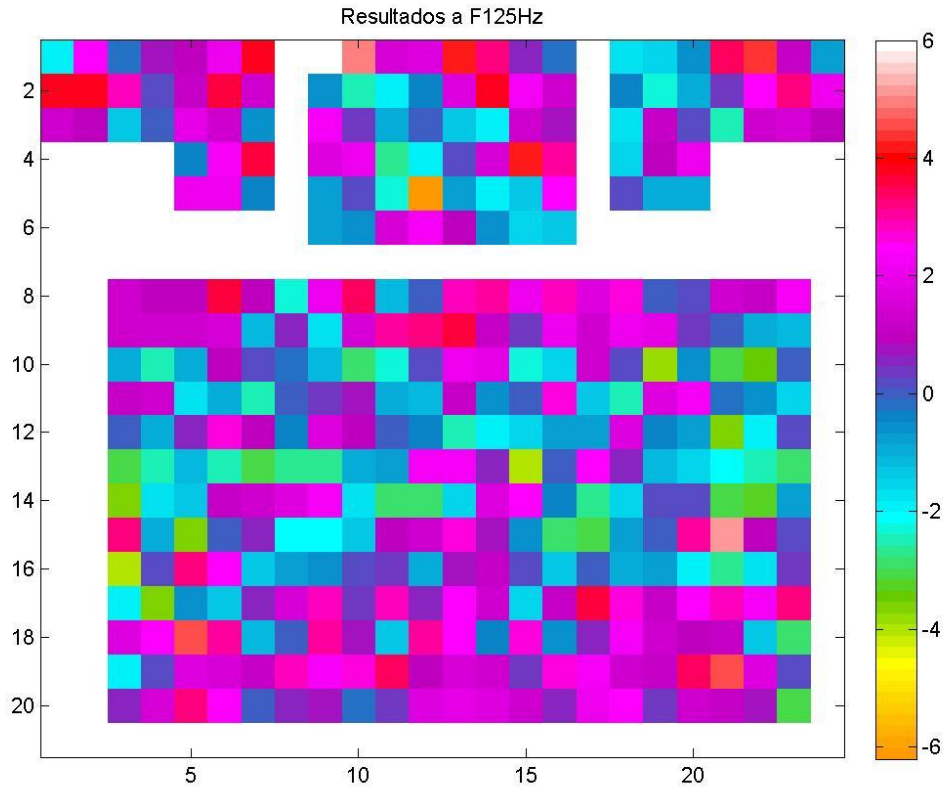
Resultados a F4000Hz

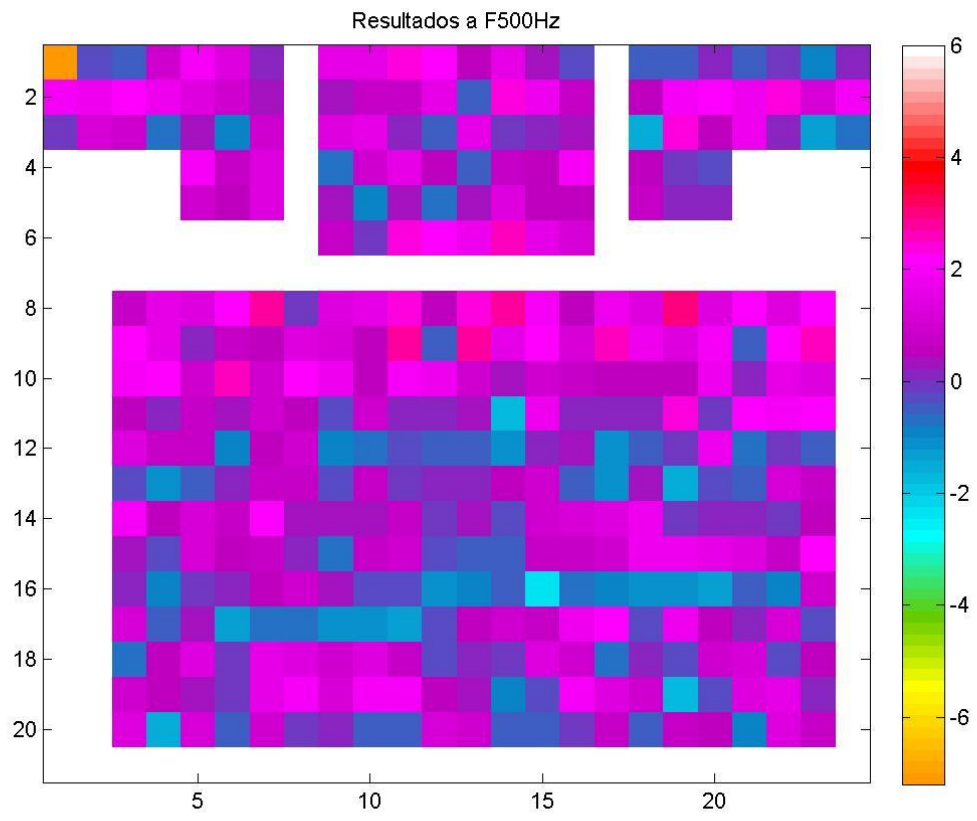


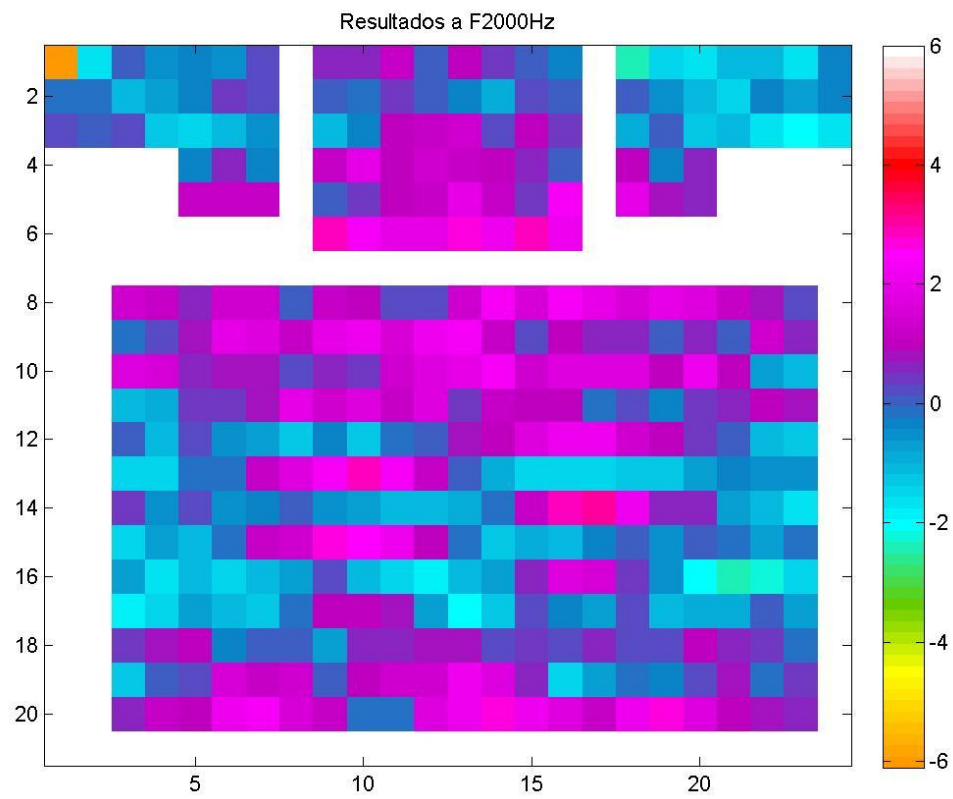
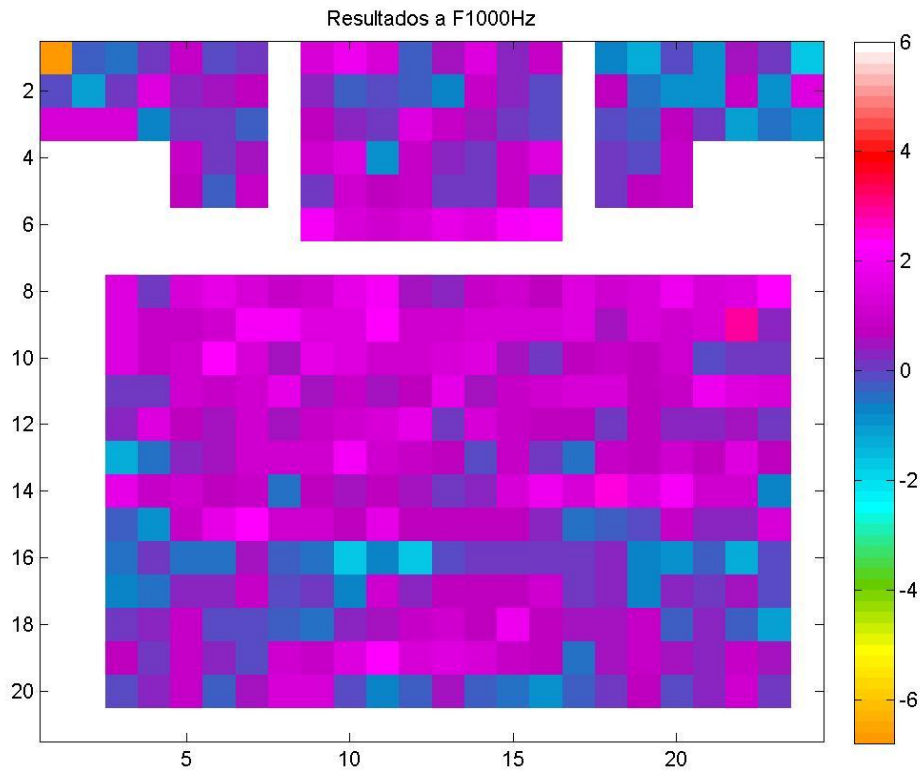


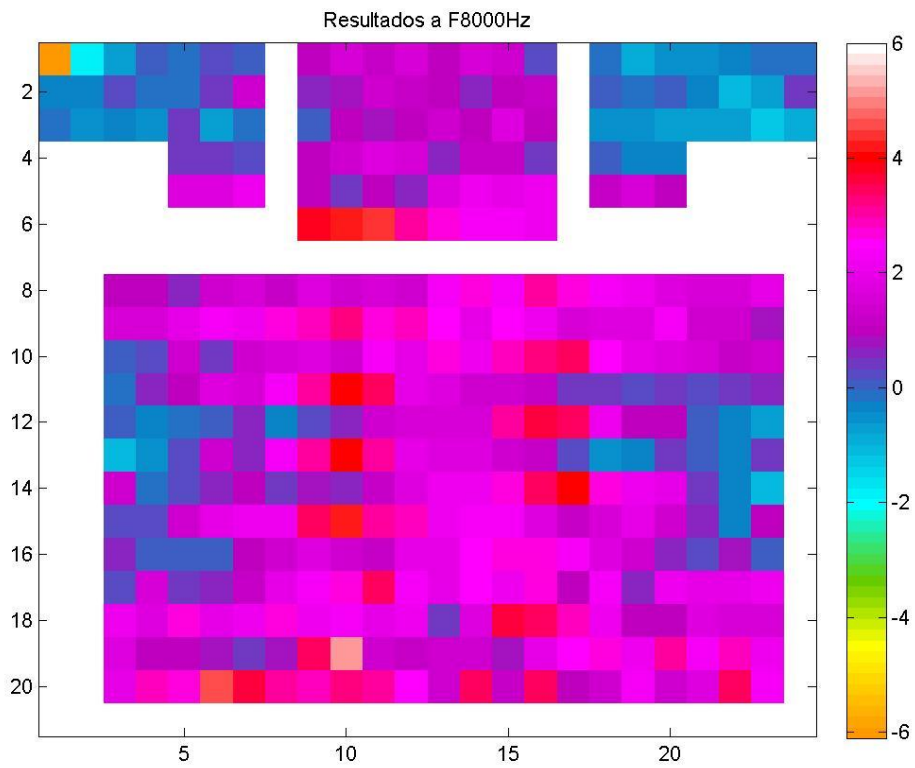
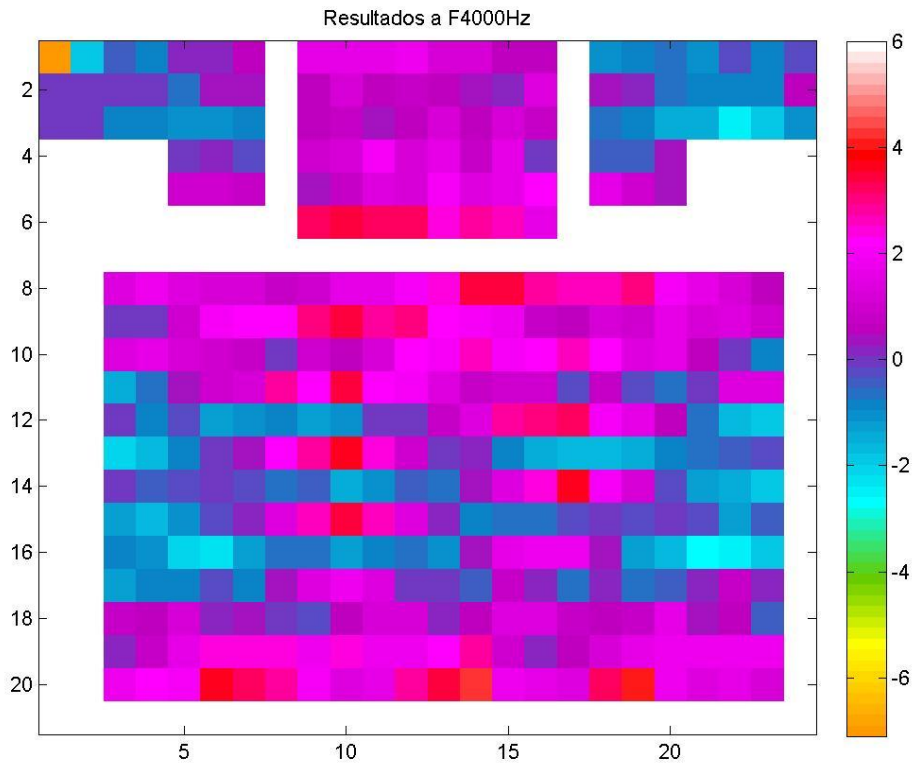
11.3.2. C80(dB) winMLS - C80(dB) para simulación con 707 rayos.



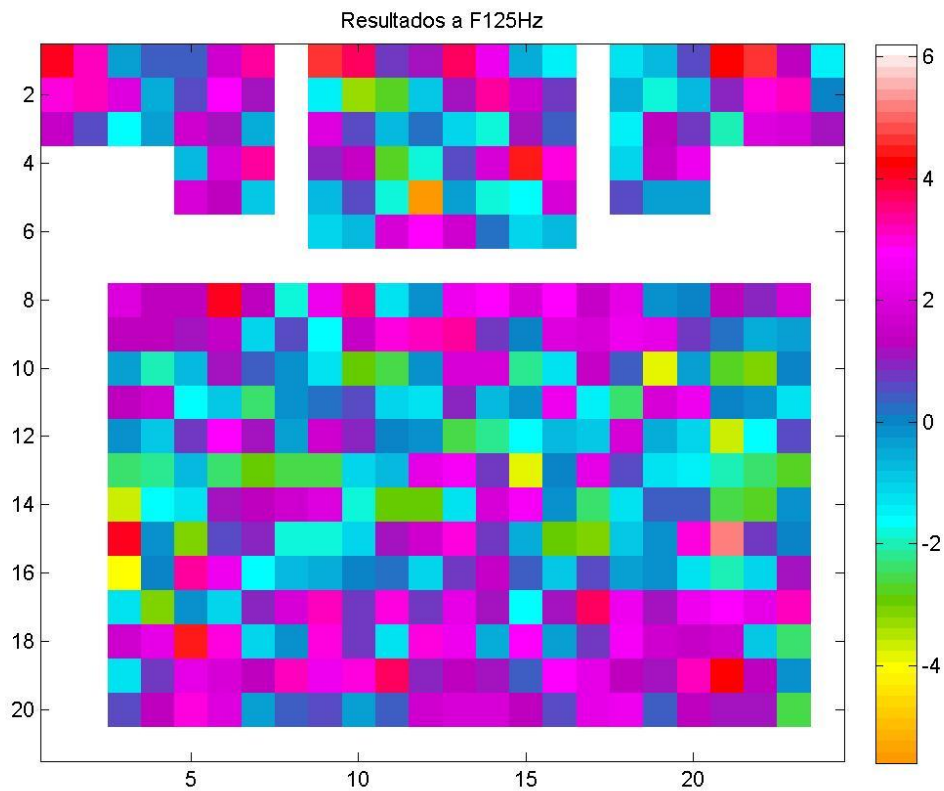
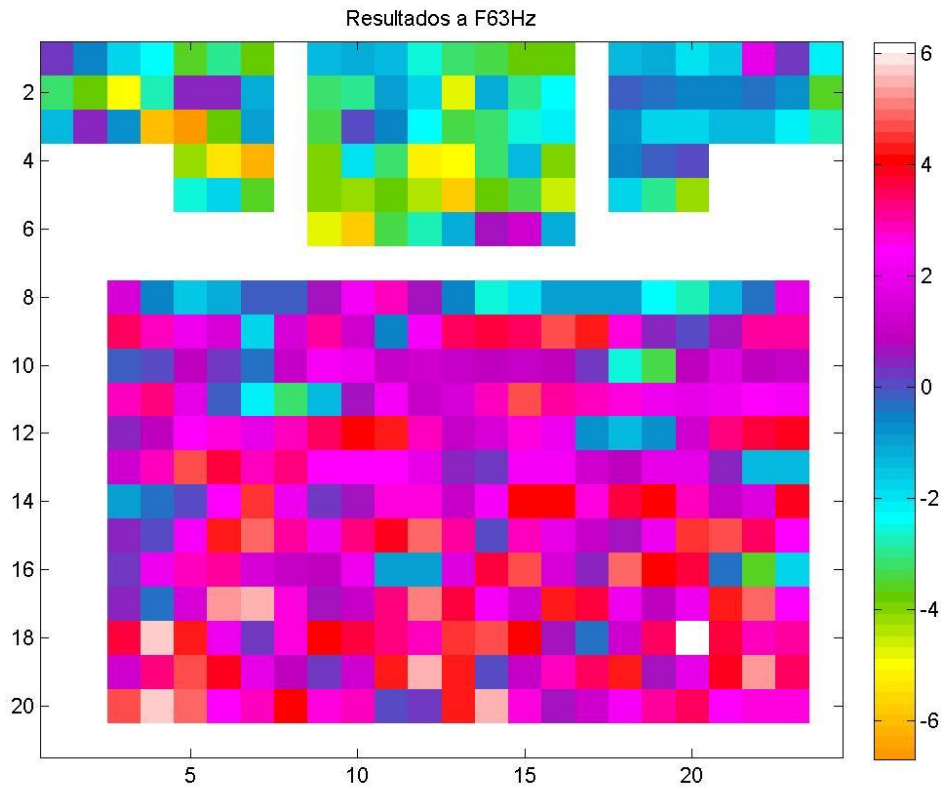


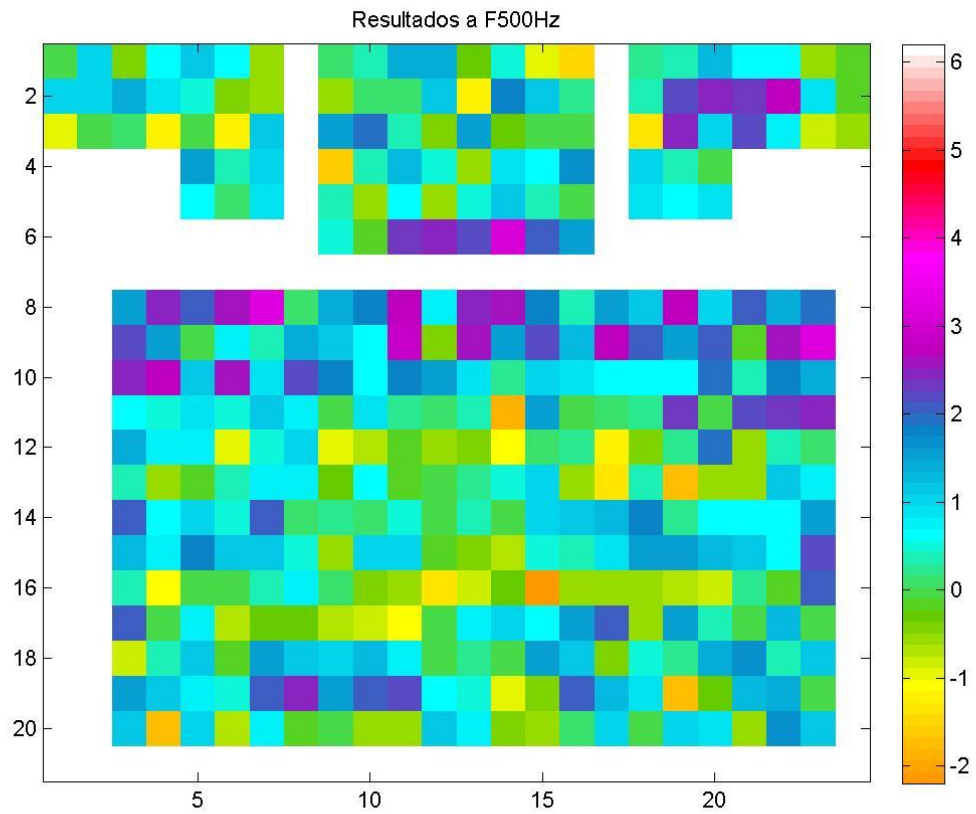
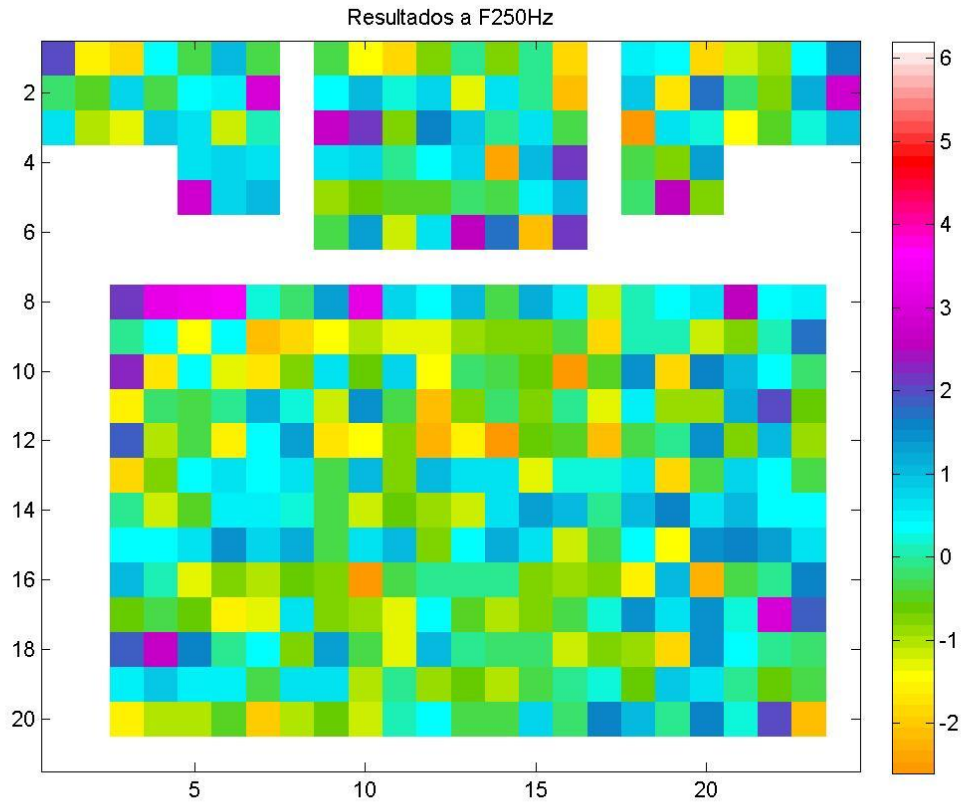




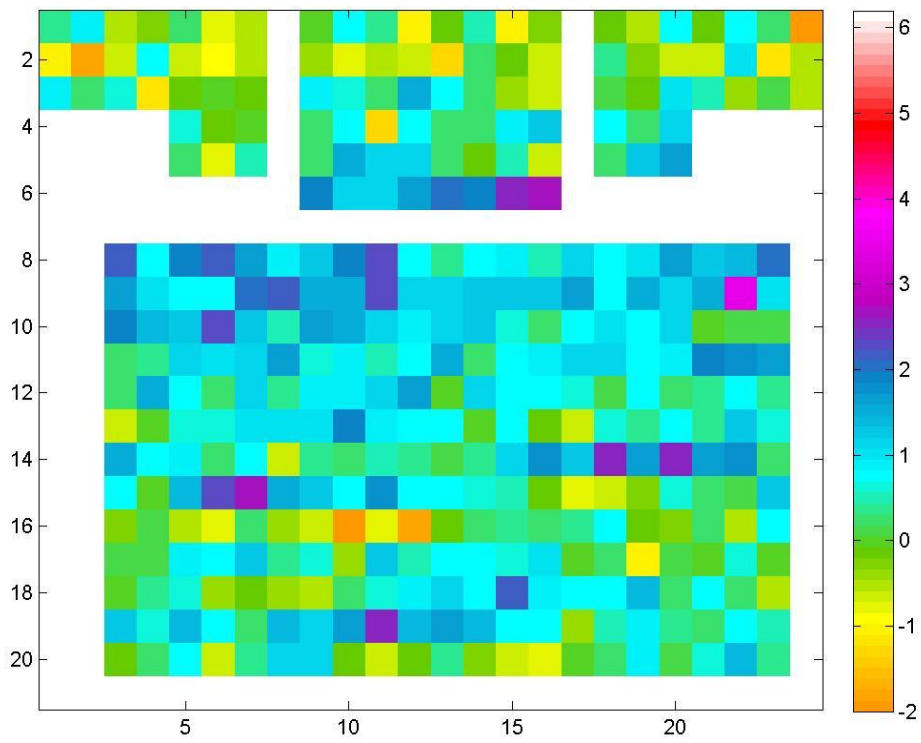


11.3.3. C80(dB) winMLS - C80(dB) para simulación con 1401 rayos.

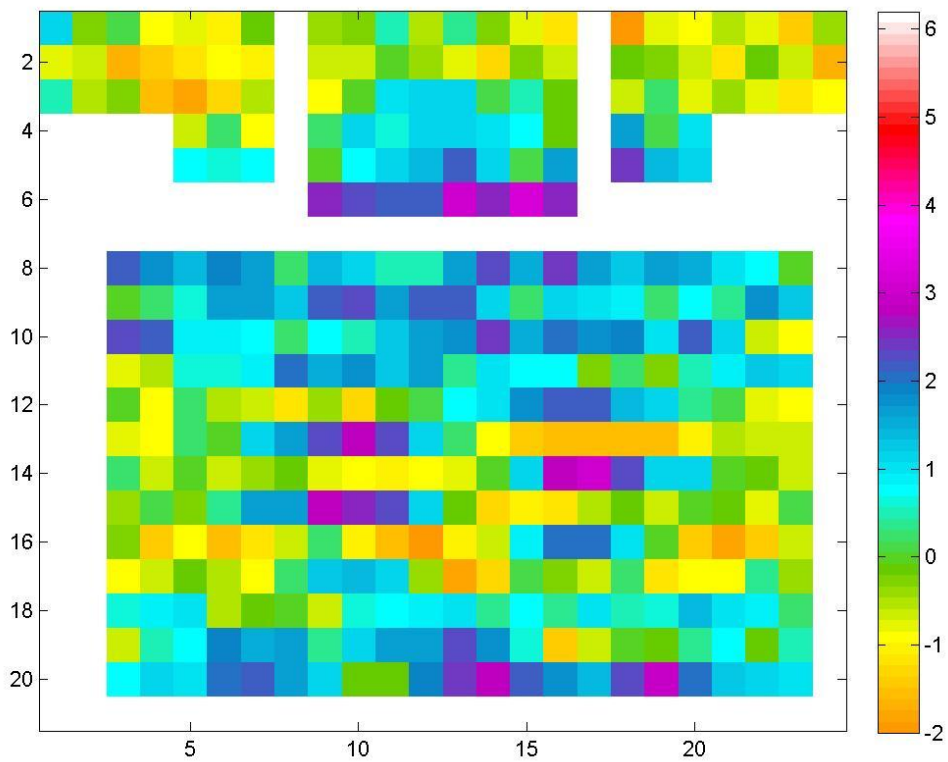




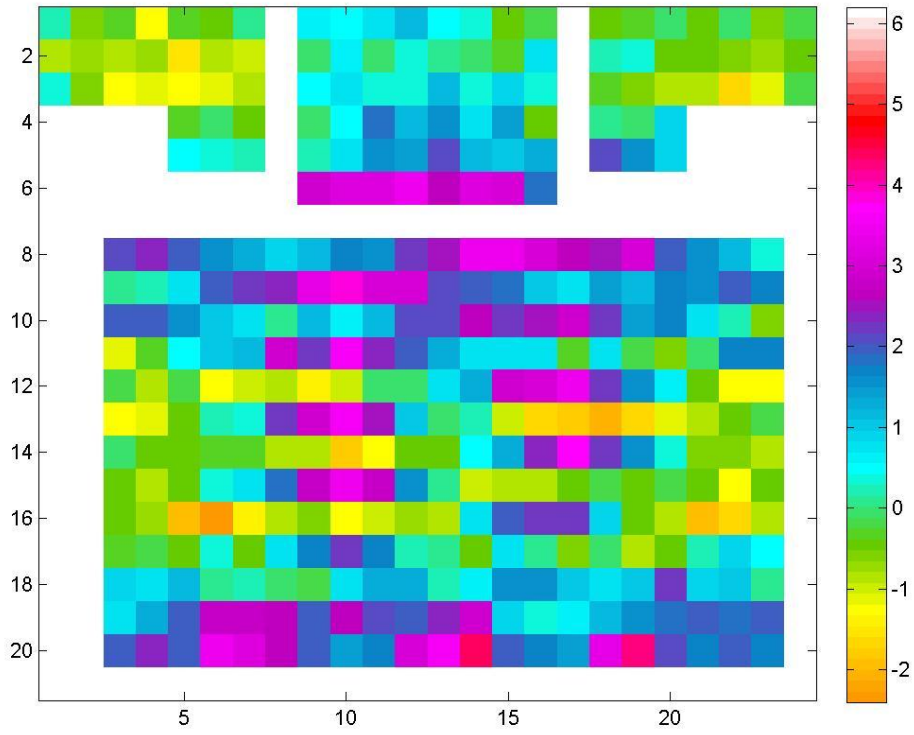
Resultados a F1000Hz



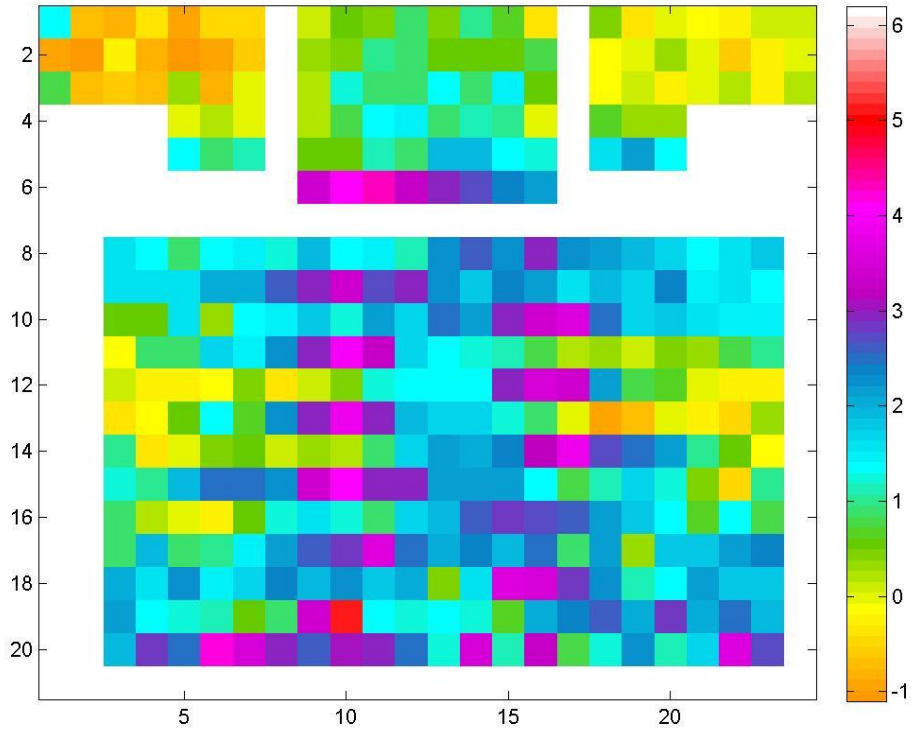
Resultados a F2000Hz



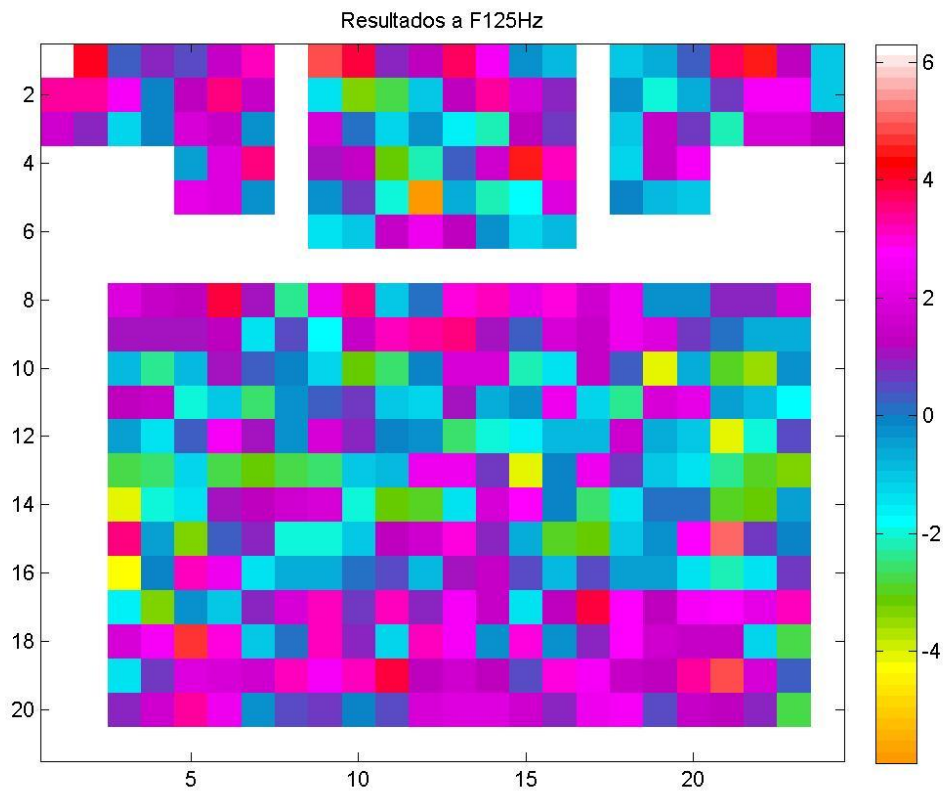
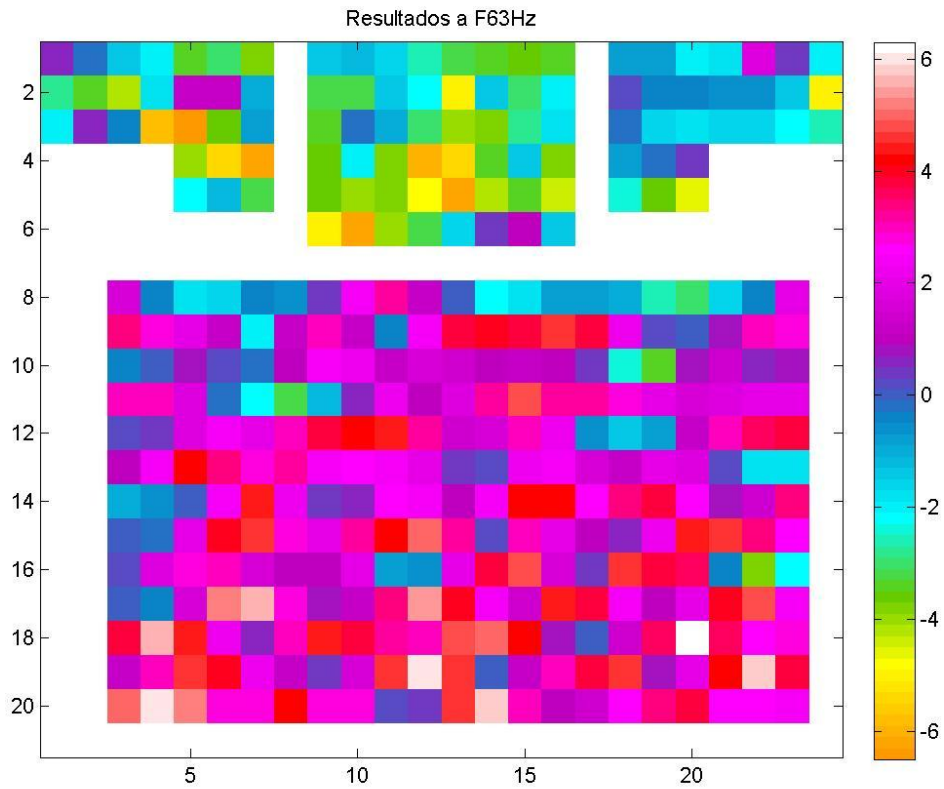
Resultados a F4000Hz

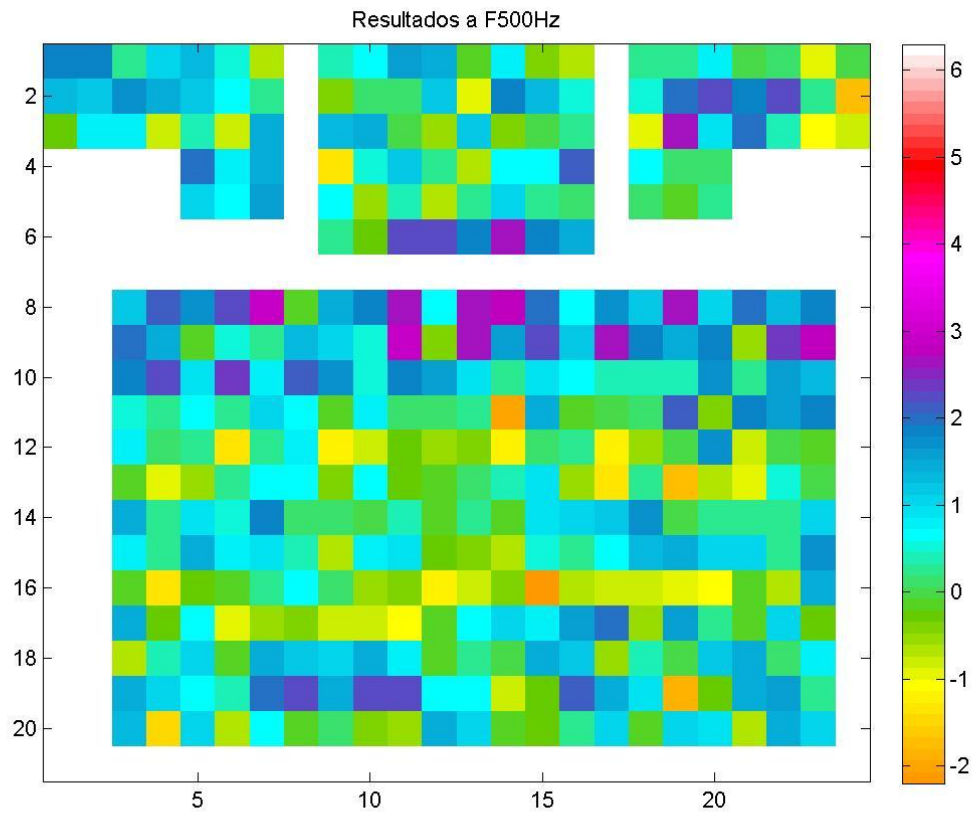
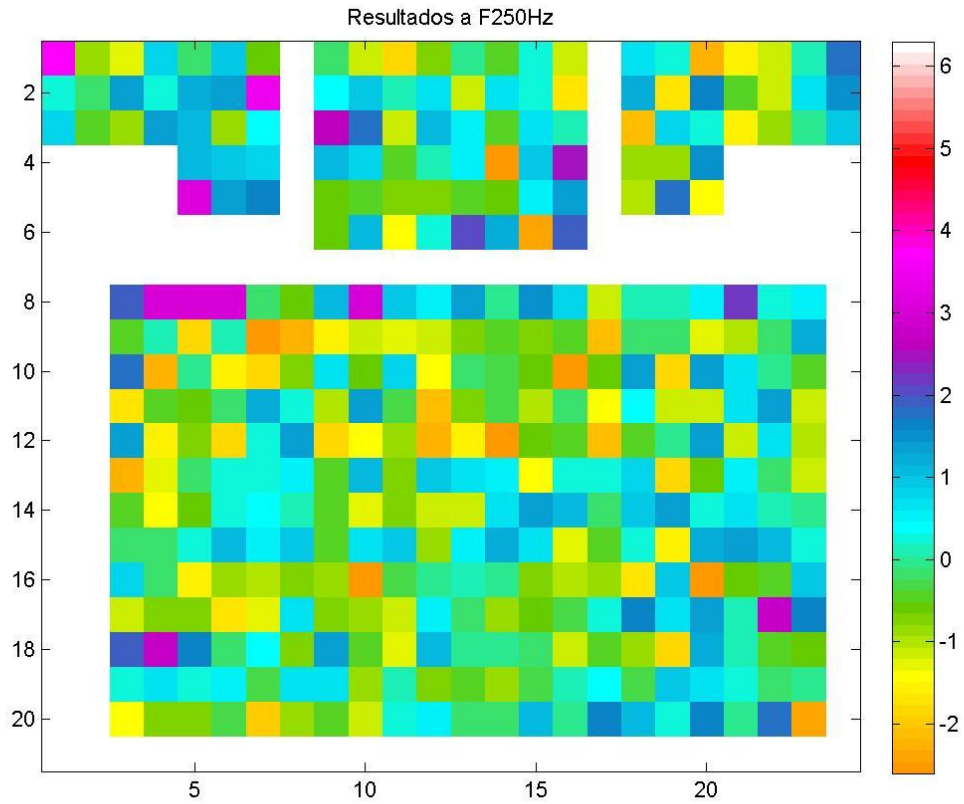


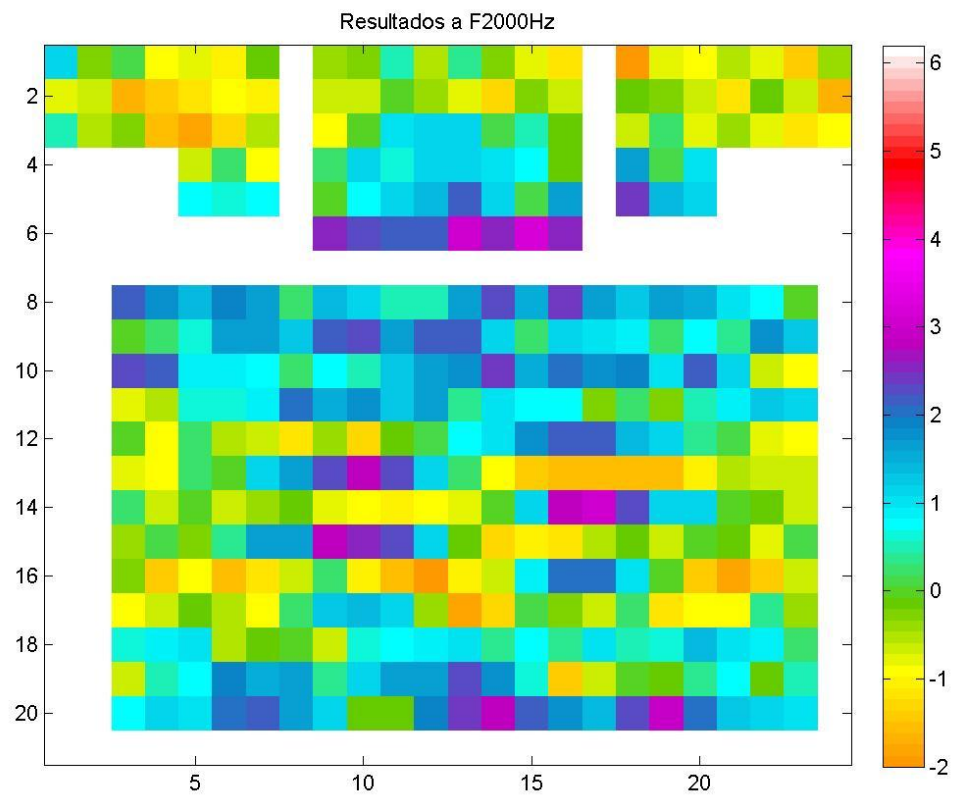
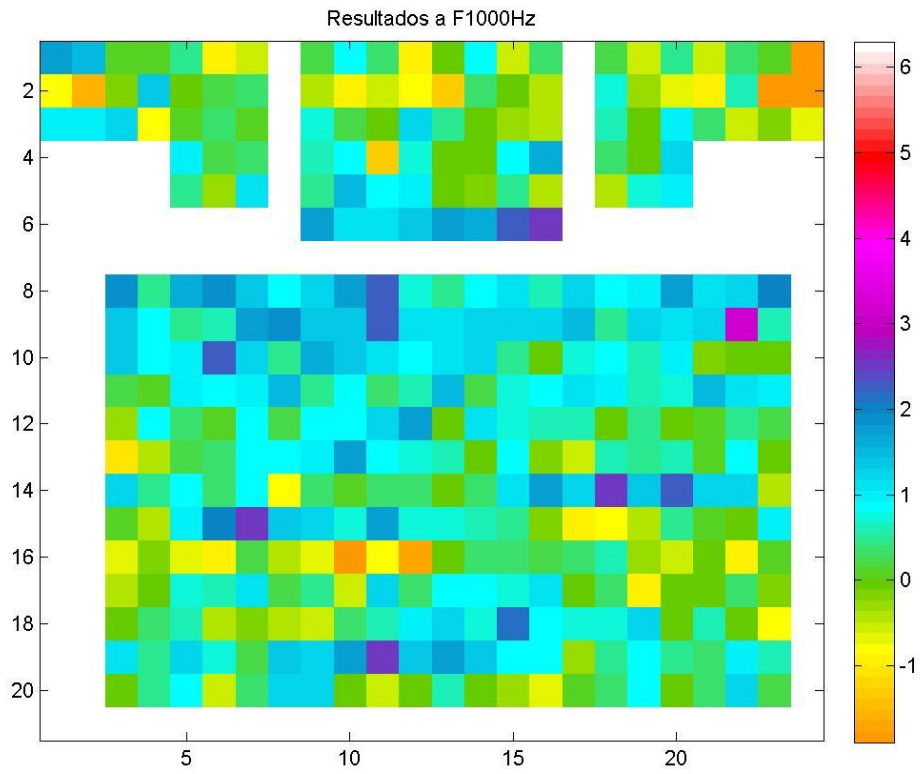
Resultados a F8000Hz



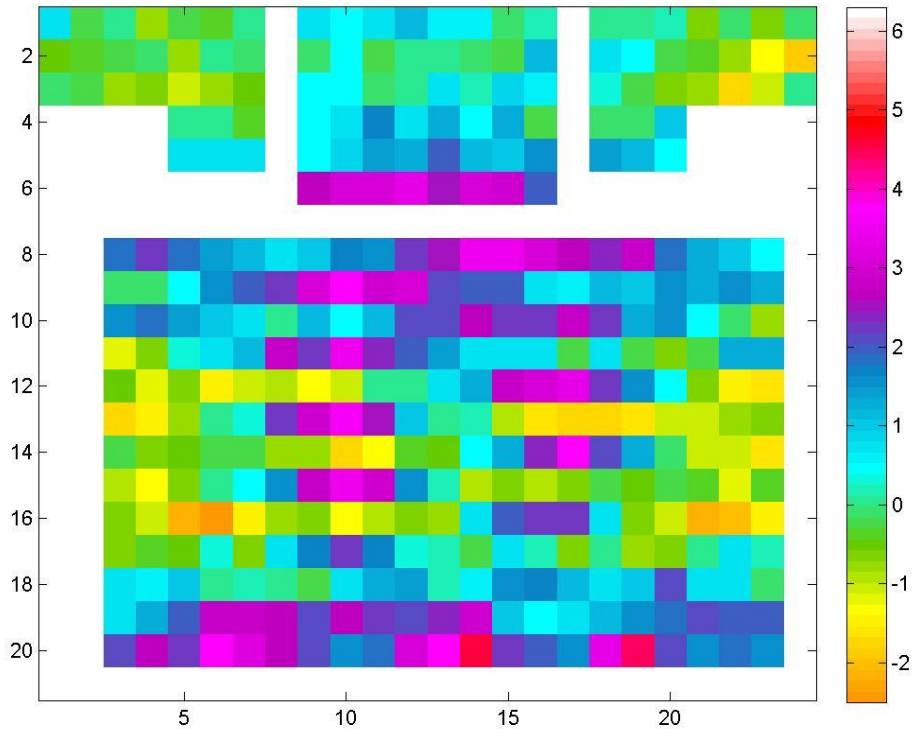
11.3.4. C80(dB) winMLS - C80(dB) para simulación con 3019 rayos.



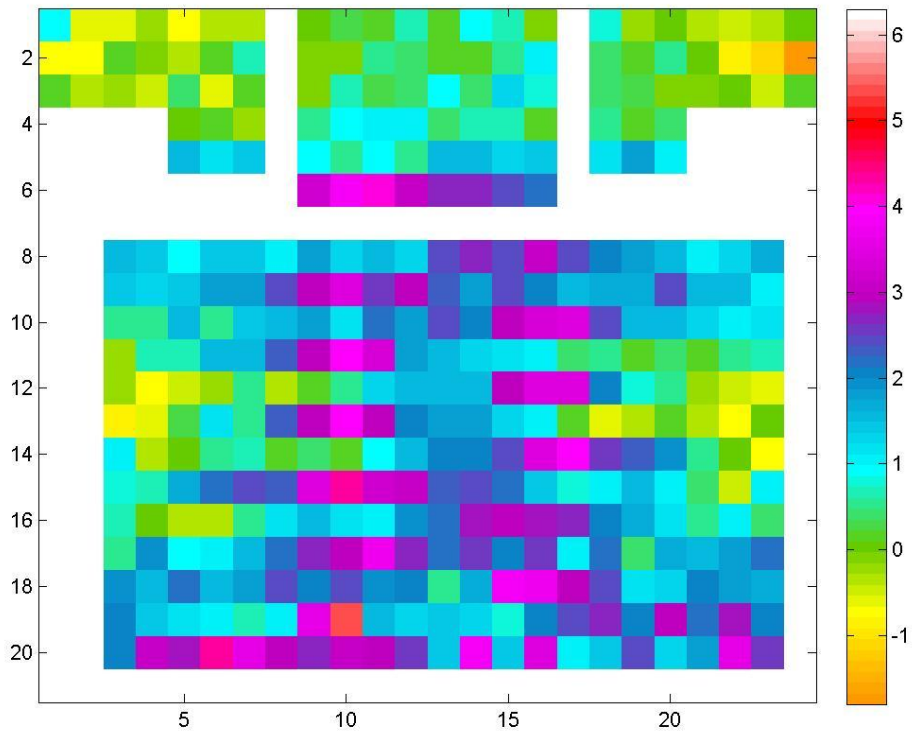




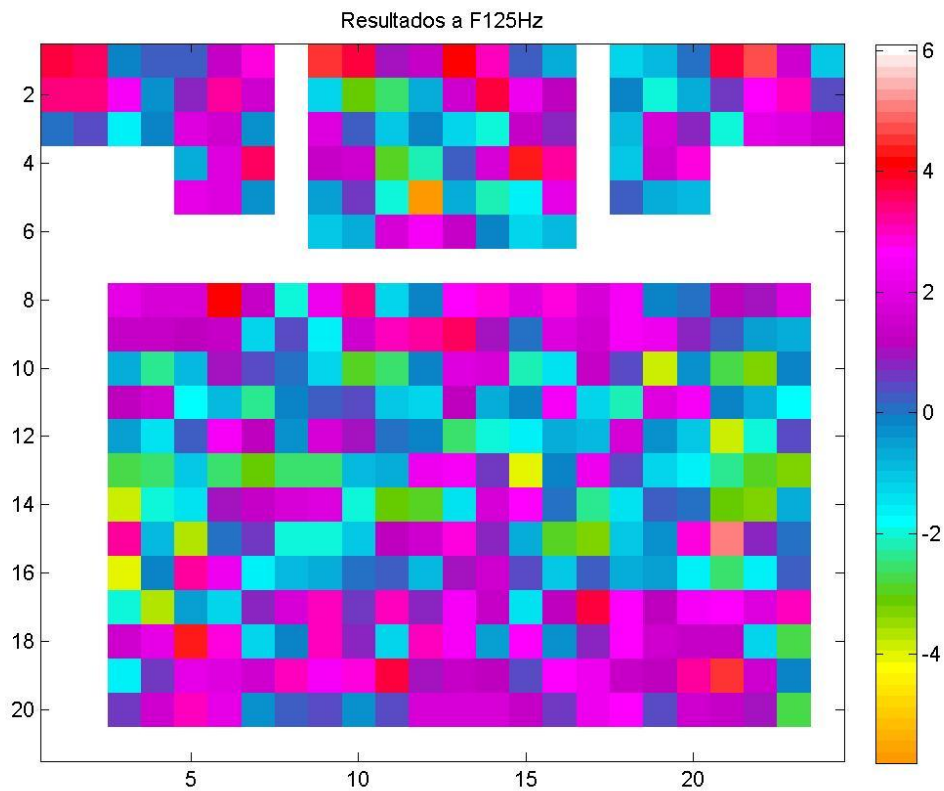
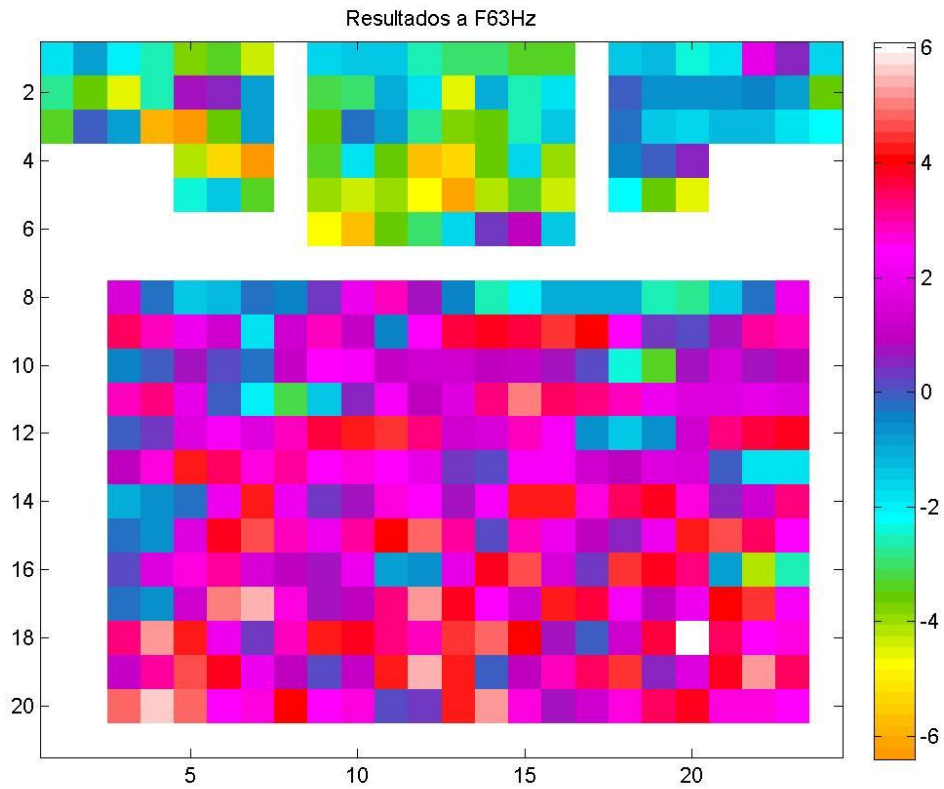
Resultados a F4000Hz

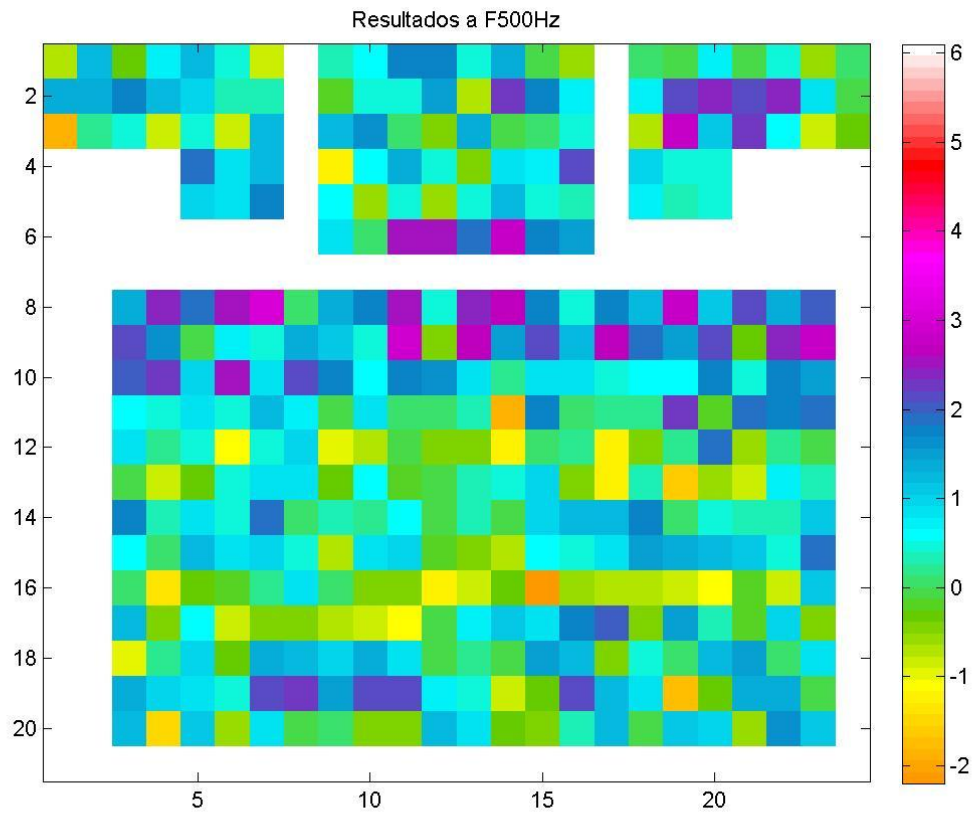
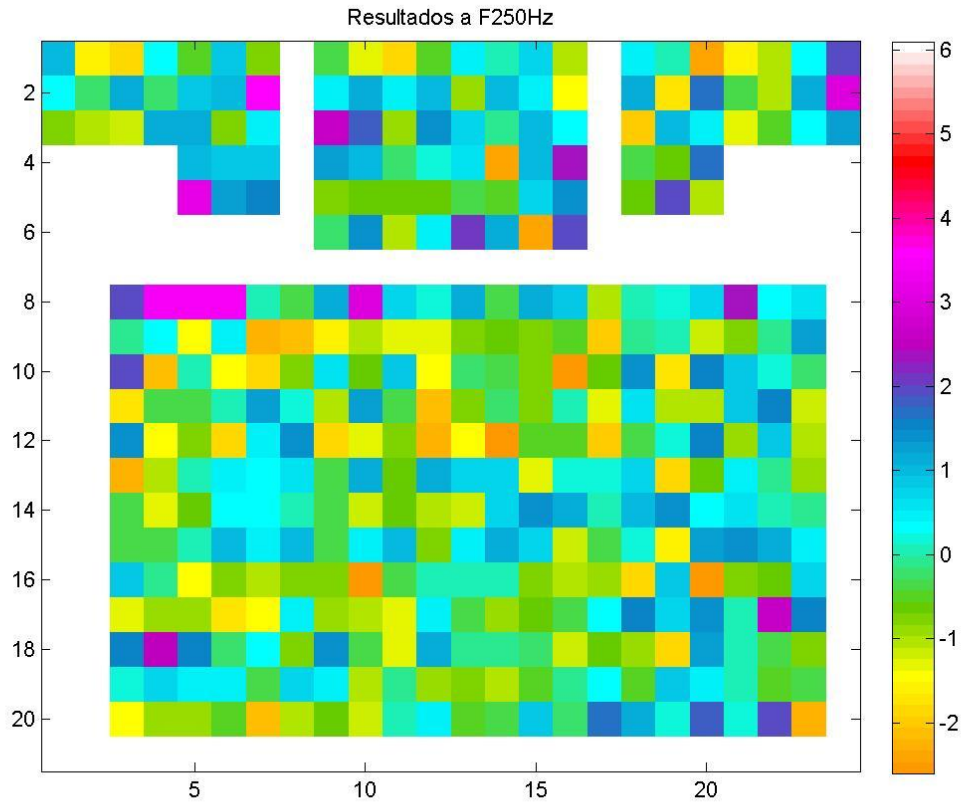


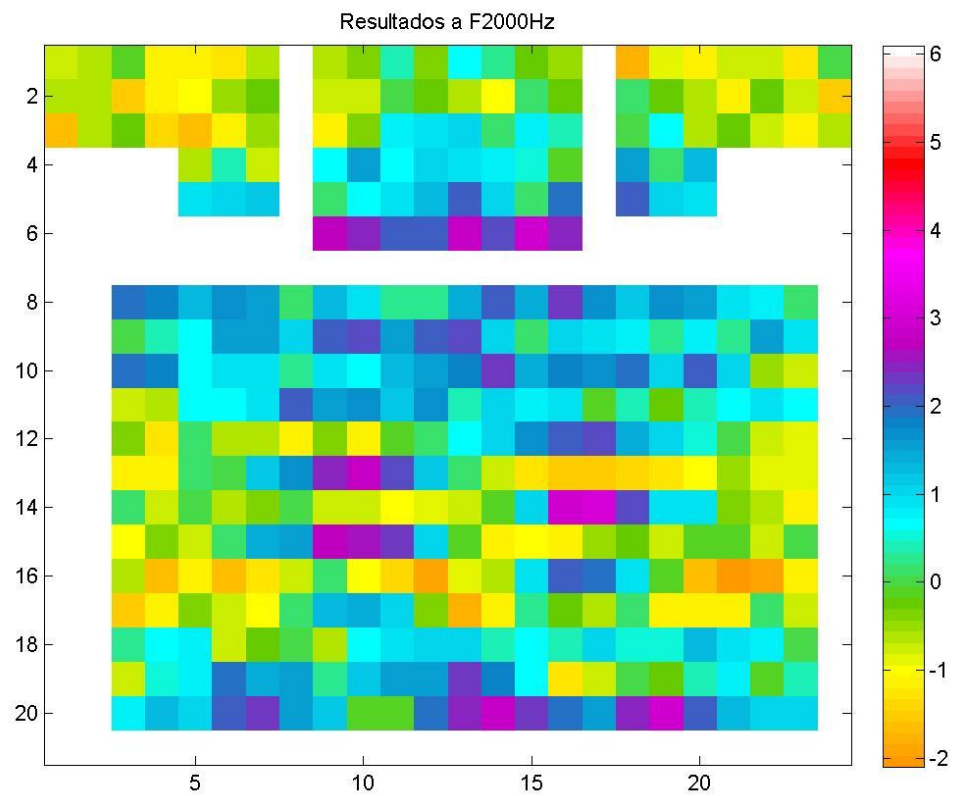
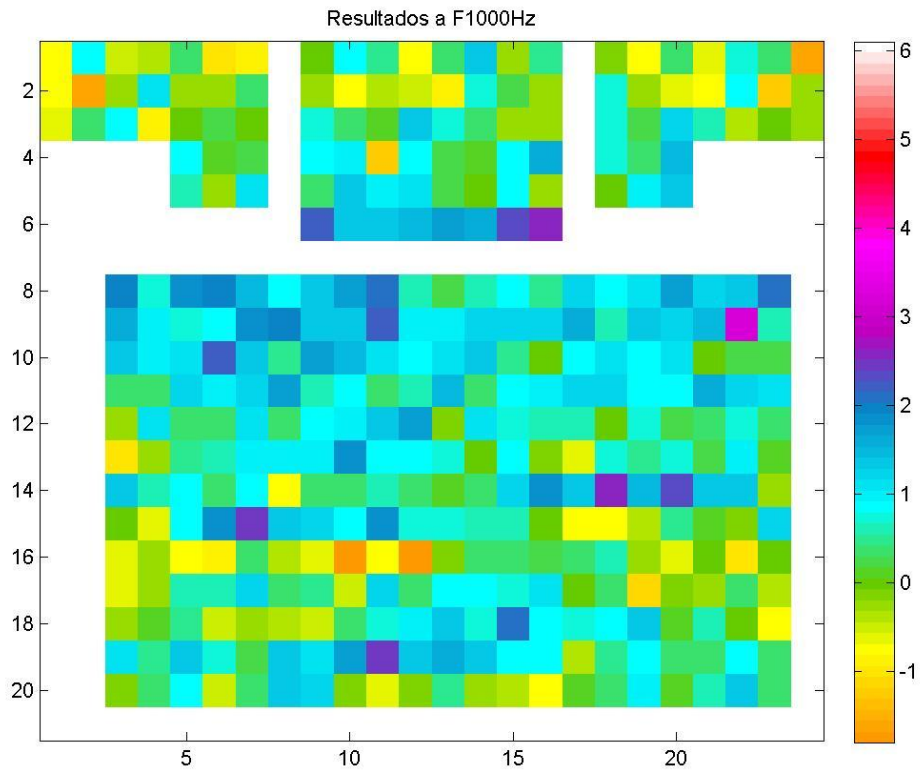
Resultados a F8000Hz



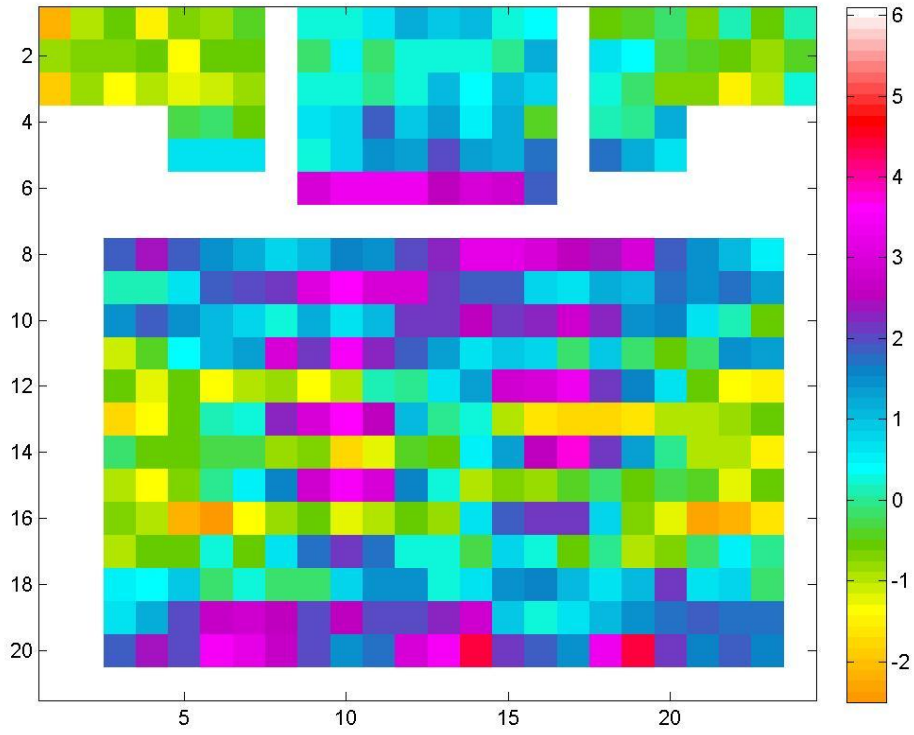
11.3.5. C80(dB) winMLS - C80(dB) para simulación con 5542 rayos.







Resultados a F4000Hz



Resultados a F8000Hz

