



Escuela Técnica Superior de
Arquitectura de Sevilla, ETSAS

**“Evaluación del campo sonoro y acondicionamiento acústico
de espacios patrimoniales de planta centralizada:
El caso del oratorio San Felipe Neri”**



Autor: Alejandro Jiménez Gómez

Tutora: Alicia Alonso Carrillo

Grupo TFG-B:

Estructuras de la Edificación - Construcciones Arquitectónicas - Ingeniería del Terreno

Grado en Fundamentos de Arquitectura

Curso 2020/21

Sevilla, Junio 2021

“El ayre impelido del cuerpo sonoro se aparta de él como de un centro, formando lineas ó radios de ayre que se van apartando tanto mas unas de otras quanto mas se van alejando del centro de donde salieron. [...] quando los radios de ayre impelidos del cuerpo sonoro encuentran algun obstáculo á su natural dilatacion, ó chocan con algunos cuerpos [...], ademas de su fuerza directa, adquiere el sonido otra de rechazo ó reflexion capaz de obrar varios efectos, y darle muchísimas modificaciones á qual mas ventajosa. El ramo de la Física, que considera las propiedades de estos diferentes sonidos, se llama Acústica”

(Benito Bails, 1796: 943)

Agradecimientos

A los profesores del tribunal B en la asignatura Trabajo de Fin de Grado, José Carlos Gutiérrez Blanco, Juan José Sendra Salas y Emilio J. Mascort Albea, por sus consejos y apoyo a lo largo de las diferentes etapas del curso.

Al Departamento de Construcciones Arquitectónicas I y a la biblioteca de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Sevilla, por la múltiple bibliografía aportada.

Al personal del Archivo Histórico Municipal de la ciudad de Cádiz, por su buena disposición y ayuda.

Especialmente a mi tutora, Alicia Alonso Carrillo, por su constante implicación y seguimiento, por el tiempo dedicado y, en general, la ayuda prestada, que me ha permitido adquirir conocimientos en la materia más allá del desarrollo del trabajo.

Y a todas las personas que, de un modo u otro, han hecho esto posible.

Índice

Apartado 0. Resumen	3
Apartado 1. Introducción	4
1.1. Oportunidad e interés	4
1.2. Hipótesis y alcance del trabajo	5
1.3. Caso de estudio	6
Apartado 2. Objetivos	8
Apartado 3. Metodología	9
3.1. Metodología	9
3.1. Cronograma	10
Apartado 4. Contexto histórico	11
4.1. Antecedentes de la planta oval	11
4.2. Breve historia de las Cortes	16
4.3. Fundamentos acústicos de la planta oval	20
Apartado 5. Simulación del campo sonoro	24
5.1. Levantamiento de los modelos acústicos	24
5.2. Simulación acústica de los modelos	27
5.2.1 Modelo actual ocupado M0	27
5.2.2 Modelo actual vacío M1	29
5.2.3 Modelo histórico ocupado M2	30

Apartado 6. Evaluación del campo sonoro	33
6.1. Parámetros acústicos simulados	33
6.1.1 Tiempo de reverberación T-30	34
6.1.2 Tiempo de reverberación inicial EDT	34
6.1.3 Definición D-50	34
6.1.4 Claridad C-80	35
6.1.5 Tiempo central T_s	35
6.1.6 Inteligibilidad STI	36
6.2. Análisis de resultados simulados	36
6.2.1 Tiempo de reverberación T-30	37
6.2.2 Tiempo de reverberación inicial EDT	38
6.2.3 Definición D-50	40
6.2.4 Claridad C-80	43
6.2.5 Tiempo central T_s	46
6.2.6 Inteligibilidad STI	48
6.3. Análisis comparativo entre los modelos simulados	50
6.4. Conclusiones	56

Bibliografía	57
---------------------	-----------

1. Bibliografía citada	57
2. Bibliografía consultada	59
3. Trabajos y tesis de referencia	60
4. Catálogo de figuras	60

Anexos

1. Levantamiento del oratorio San Felipe Neri
2. Resultados de la simulación acústica según receptores

Resumen

Durante las últimas décadas, se ha potenciado la recuperación del espacio sonoro de edificios patrimoniales en los que la acústica ha tenido un papel significativo. Los recintos de planta centralizada se convierten en un caso de estudio singular por sus formas y características geométricas. En este trabajo se realiza un análisis sobre las condiciones acústicas del oratorio de San Felipe Neri, templo filipense que acogió las Cortes Españolas en 1811. Su planta oval y su valor como patrimonio histórico lo hacen objeto de estudio, mientras que su actual uso compartido como centro religioso y centro de interpretación justifican la orientación acústica. La metodología se basa en el uso de herramientas informáticas para la simulación de un modelo virtual del citado oratorio a partir de su geometría y materialidad. Se obtienen y analizan los resultados de parámetros acústicos que permiten caracterizar el estado actual, facilitando así futuras propuestas de rehabilitación para su acondicionamiento acústico.

Palabras Clave: Patrimonio Histórico – Acústica – Simulación Virtual – Planta Centralizada

Abstract

In recent decades, heritage buildings where acoustics has (or used to have) a significant role have seen their sound field's restoration developed. Therefore, centralized buildings turn out to be a unique case, given their geometrical shape and characteristics. This thesis analyses the acoustic properties of the oratory of San Felipe Neri, a Philippian temple where Cortes de Cádiz settled in 1811. Its elliptical plan and heritage value make it a study subject, while its current function as both a religious centre and an interpretation centre justify an acoustic approach. The methodology is based on simulation software, using a virtual model of the building with its same geometry and materials. That has led to obtain and analyse acoustic parameters so its current status can now be established. Furthermore, those data should help to improve its acoustic conditioning in future refurbishments.

Key Words: Historic Heritage – Acoustics – Virtual Simulation – Centralized Plan

1. Introducción

1.1. Oportunidad e interés

El oratorio de San Felipe Neri destaca en dos aspectos fundamentales, como son su historia (ha sido lugar de culto, espacio histórico-cultural y sede de las Cortes) y su tipología de planta oval, una de las primeras de Andalucía.

El estudio busca no sólo arrojar algo de luz sobre este edificio que parece olvidado, sino demostrar también qué llevó a las Cortes de Cádiz a elegirlo y cómo de acertados eran sus criterios. Al fin y al cabo, tanto en un oratorio (uso original) como en un salón de cortes, la inteligibilidad del habla y la transmisión del sonido son un aspecto fundamental del diseño, como también son necesarios conocimientos mínimos respecto a las propiedades acústicas de los materiales de cara a la ornamentación y la distribución funcional. En este trabajo se documentarán los conocimientos y consideraciones acústicas del siglo XVIII, en el que se respondía a una necesidad funcional desde la propia planta, desde la tipología.

En la actualidad existe una importante rama de la rehabilitación y el acondicionamiento acústico destinada precisamente a los edificios patrimoniales, de forma que se potencia su conservación al darles una nueva vida, al tiempo que se suplen necesidades de la ciudad con sus nuevas funciones. Un caso singular de esta rama serían los recintos de planta centralizada, y en especial la planta oval, cuyas características geométricas podrían resultar idóneas para actividades centradas en la transmisión del sonido y la inteligibilidad de la palabra, ya sean obras dramáticas, conciertos, reuniones políticas o liturgias, entre otros. Ha sido en estos dos últimos casos en los que se ha desarrollado el oratorio a lo largo de los siglos, por lo que cabe comprobar si la evaluación de su campo sonoro resulta aún adecuada.

Se volverá, por tanto, la vista hacia una forma exaltada por la Ilustración y se contrastará con los conocimientos y las necesidades modernas.

1.2. Hipótesis y alcance del trabajo

Se conoce que la proyección de la voz y, por tanto, la acústica, fue un factor clave en la función del edificio, tanto como oratorio como sede de las Cortes.

Se parte de la hipótesis de que la elección por parte de los parlamentarios de Cádiz no fue un evento fortuito, sino que responde a unas necesidades que sólo éste, por su tipología, parecía poder cumplir con idoneidad. Cabe preguntarse si dichos criterios se mantienen a día de hoy, lo que se deberá comprobar mediante el estudio del campo sonoro.

Dadas las limitaciones temporales y formales intrínsecas de un trabajo de fin grado, el estudio se limitará a las propiedades acústicas del oratorio San Felipe Neri, tratando su contexto histórico y su análisis tipológico como una mera puesta en escena que no aspira a alcanzar la profundidad de los ya numerosos trabajos al respecto.

1.3. Caso de estudio

El edificio a analizar es un oratorio situado en la ciudad de Cádiz, en la calle Santa Inés, número 11 (Referencia catastral: 1866402QA4416F) [Figura 1.1].

Fue construido entre 1685 y 1719 por el arquitecto Blas Díaz de Ceuta [1]. Se trata de una iglesia de planta oval en una época en que esta tipología apenas se había introducido en Andalucía, con bóveda encamionada y disposición simétrica de los siete altares según los ejes [Figura 1.2]. Cuenta, además, con una cripta con planta de cruz que sin embargo escapa a los objetivos del estudio.

El oratorio sufrió los efectos del terremoto (y consiguiente maremoto) de Lisboa en 1755, que produjo el desprendimiento de su cúpula y motivó la reconstrucción de ésta en 1764 por Pedro Gutiérrez de San Martín, también llamado Pedro Luis Afanador [2], cuando aparece la nueva cúpula con estructura de doble casquete. En 1775 se realizó una segunda reforma que afectó principalmente a aspectos decorativos.

Entre el 24 de febrero de 1811 y el 13 de octubre de 1813 funcionó como salón de las Cortes Generales y Extraordinarias, por lo que se realizaron varias reformas dirigidas por el que llegaría a ser Inspector-Arquitecto de las Cortes, Antonio Prat.

En 1912 se colocaron lápidas conmemorativas en la fachada con motivo del primer centenario de las Cortes [3], mientras que entre 2009 y 2012 se realizaron intervenciones bajo el mando de Francisco Torres Martínez para el segundo centenario, a destacar los refuerzos estructurales en galerías y cubierta, así como las reformas en el edificio anexo. Fue a raíz de dicha rehabilitación que el oratorio añadió a su función de culto la de centro de interpretación, aprovechando la cúpula para proyectar imágenes y vídeos relacionados con las Cortes.

Actualmente, en el año 2021, queda bajo la jurisdicción del obispado de Cádiz y Ceuta, y se encuentra cerrado al público debido a la pandemia mundial COVID-19.

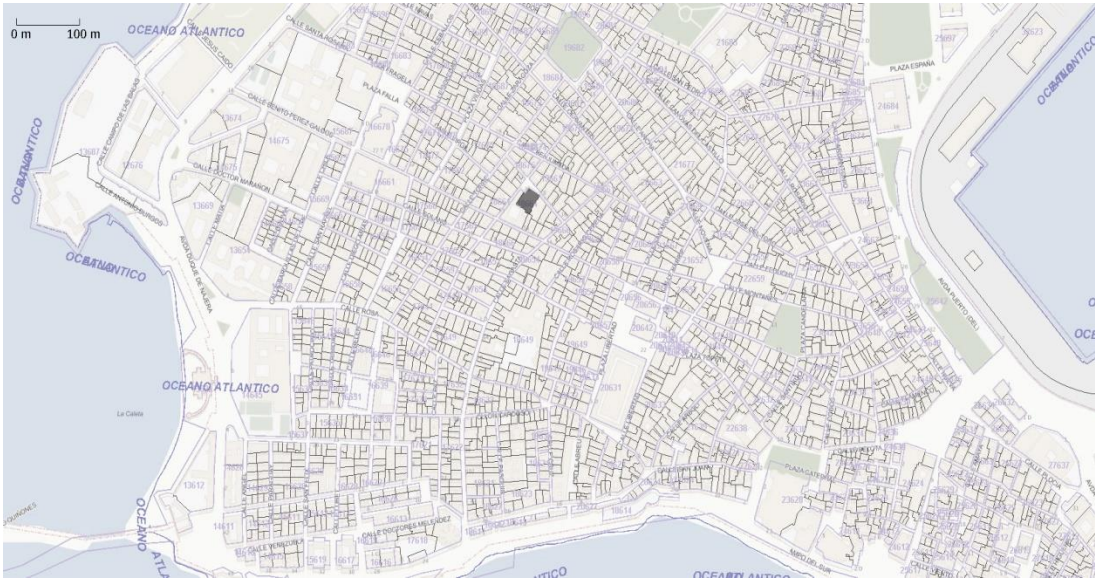


Figura 1.1, ubicación del oratorio San Felipe Neri

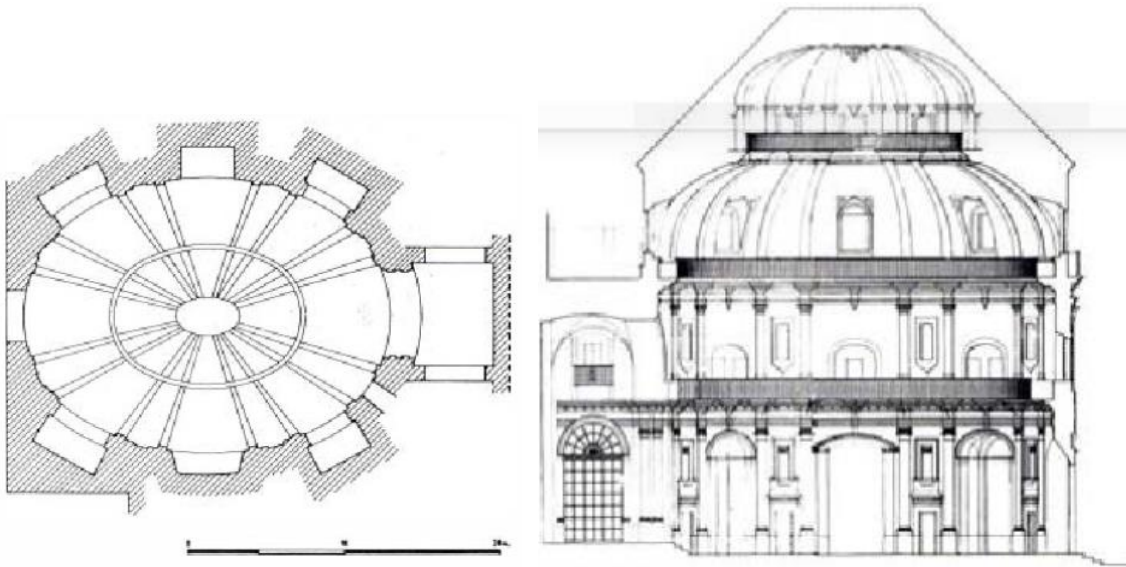


Figura 1.2, planta y sección del oratorio San Felipe Neri

2. Objetivos

Objetivo General: Evaluar el campo sonoro y el comportamiento acústico del oratorio San Felipe Neri, recinto de planta centralizada con destacado valor patrimonial y caracterizado por sus singulares condiciones geométricas

Objetivos Específicos

OE1: Recopilar información significativa de carácter histórico con objeto de contextualizar tanto el caso de estudio como la actividad de las Cortes que se desarrolló en su interior dos siglos atrás.

OE2: Definir e identificar los escenarios más representativos que reproduzcan la actividad llevada a cabo en el caso de estudio.

OE3: Caracterizar acústicamente el espacio interior del edificio seleccionado, mediante la aplicación de programas de simulación virtual sonora.

OE4: Contrastar y evaluar los fundamentos acústicos de la planta oval, accediendo con ello a conclusiones sobre su posible adecuación a actividades modernas.

3. Metodología

3.1. Metodología

El desarrollo del trabajo, buscando cumplir los objetivos ya citados, requiere la aplicación de una metodología organizada, que puede reflejarse en las siguientes fases:

-Estudio de la historia, desarrollo y características geométricas del caso de estudio, de acuerdo a la documentación preexistente al respecto.

-Recolección de documentación respecto al contexto histórico en que se desarrollaron las distintas etapas del caso de estudio, haciendo especial hincapié en su función como sede de las Cortes en el siglo XIX.

-Elaboración de planimetría del edificio y documentación de los materiales que lo componen, tanto a nivel formal como ornamentación, así como otro tipo de información que pueda ser de relevancia acústica.

-Levantamiento del modelo acústico de acuerdo a la planimetría elaborada y a la información documental y gráfica relevante, de forma que los parámetros resultantes se correspondan lo mejor posible con el caso real.

-Simulación virtual que permita caracterizar el comportamiento del campo sonoro en el interior del oratorio, a partir del modelo elaborado y utilizando para ello el software *CATT-Acoustic*.

-Recopilación de los resultados de simulación y contraste de los mismos, comparando con los resultados esperados y/o exigidos para extraer después unas conclusiones de los mismos.

3.2. Cronograma

El curso se organiza en quince semanas, con una presentación intermedia y otra final en las que aunar la información reunida hasta la fecha. Aun partiendo de la base de que se trata de un esfuerzo dinámico en el que los distintos apartados interaccionan entre sí, se ha realizado una organización aproximada con objeto de optimizar el tiempo de trabajo:

- Semanas 1-3: estudio de bibliografía, antecedentes y tipología
- Semanas 3-5: información edificio, levantamiento del modelo
- Semana 6: primera exposición, aunar información**
- Semanas 7 y 8: estudio de bibliografía, parámetros acústicos
- Semanas 9 y 10: simulación acústica y análisis de resultados
- Semanas 11-13: posibles mejoras, contrastar con referencias
- Semana 14: aunar información, conclusiones
- Semana 15: segunda exposición, formato final**

O, exponiéndolo de un modo más gráfico:

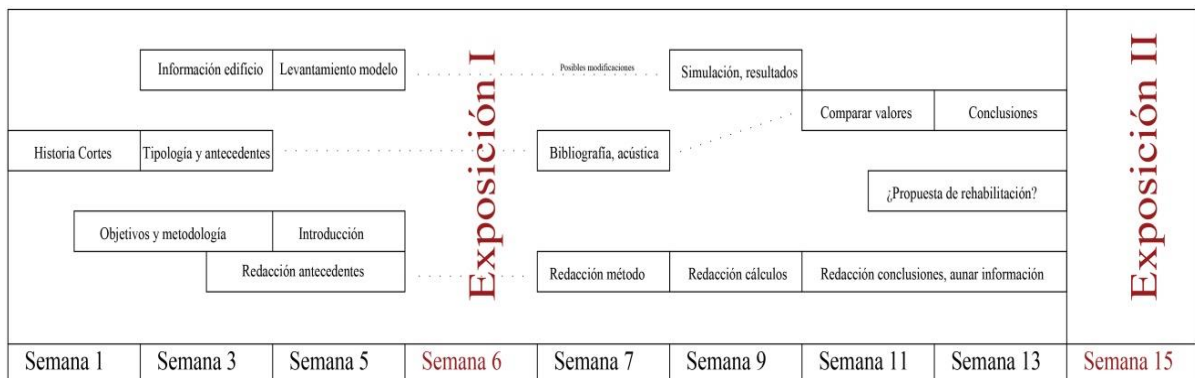


Figura 3.1, cronograma gráfico (elaboración propia)

4. Contexto histórico

4.1. Antecedentes de la planta oval

Algunos autores describen el oratorio como <<una iglesia de planta elíptica, fórmula que aún no había sido introducida en Andalucía>> (Pemán Medina, 1980: 89) [4]. Aunque no del todo cierta, esta afirmación demuestra que la planta oval era una tipología muy poco frecuente a principios del siglo XVII, al menos en lo que al sur de la Península se refiere.

Para comprender mejor el contexto es necesario remontarse al Renacimiento del siglo XVI, cuando la publicación de *Tratados* por parte de Sebastiano Serlio permitió la difusión de esta tipología. Quizá el primer proyecto de planta oval del que se tiene constancia sería el propuesto por Baldassarre Peruzzi para la basílica de San Pedro en Ciudad del Vaticano (1525), donde aparecen capillas laterales con esta tipología [5].

Serlio era discípulo de Peruzzi, y en su primer libro (1545) recoge ya cuatro formas de dibujar un óvalo [6], si bien será su Libro V (1547), dedicado a los templos, el que se convierta en el primer tratado arquitectónico en introducir la planta oval [Figura 4.1].

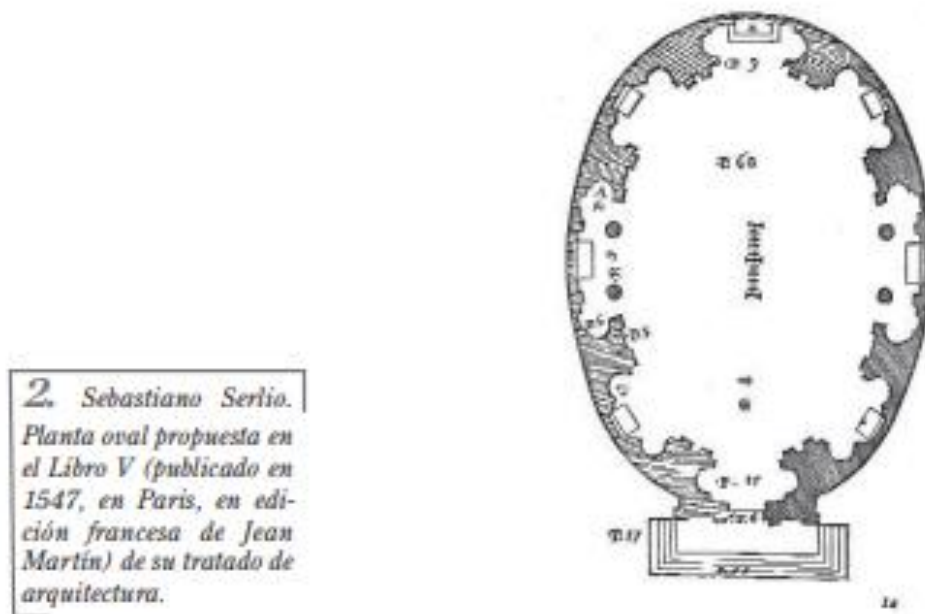


Figura 4.1, planta oval de Serlio

Este concepto se llevará después a la práctica en la capital italiana, desembocando en la construcción de Sant'Andrea (1554), Sant'Anna dei Palafrenieri (1572) y Sant Giacomo degl'Incurabili (1595).

Sant'Andrea in Via Flaminia [Figura 4.2], de Giacomo Barozzi da Vignola, presenta planta rectangular, si bien su tambor y su cúpula sí son ovaladas, respondiendo a la proporción sesquiáltera ($p=1.5$) según señala Gentil [6].

Este mismo arquitecto proyectó también la capilla Sant'Anna dei Palafrenieri [Figura 4.3], en este caso en Ciudad del Vaticano, aunque sería su hijo Giacinto quien terminase la construcción tras su muerte en 1573. En este caso la planta responde a la forma oval de la cúpula, a pesar de que el exterior mantenga la forma rectangular. A destacar la cornisa superior que circunda todo el óvalo y la situación del altar mayor y la puerta de acceso en el eje principal, como se cumple en el caso de estudio.

La iglesia del hospital de Sant Giacomo degl'Incurabili [Figura 4.3] es obra de Francesco da Volterra, aunque Peruzzi ya había intentado el proyecto como veíamos en los dibujos recogidos por Serlio [Figura 4.1] [5]. En ella se corresponden al fin planta interior y exterior, al tiempo que se mantienen la alineación propuesta por Vignola y la cornisa circundante. Innova la relación entre el espacio central y las capillas laterales, dispuestas también en los ejes diagonales del óvalo.

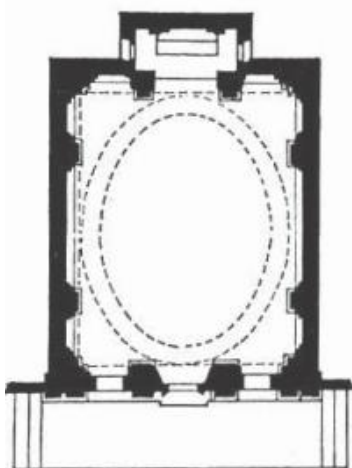


Figura 4.2, planta de Sant'Andrea

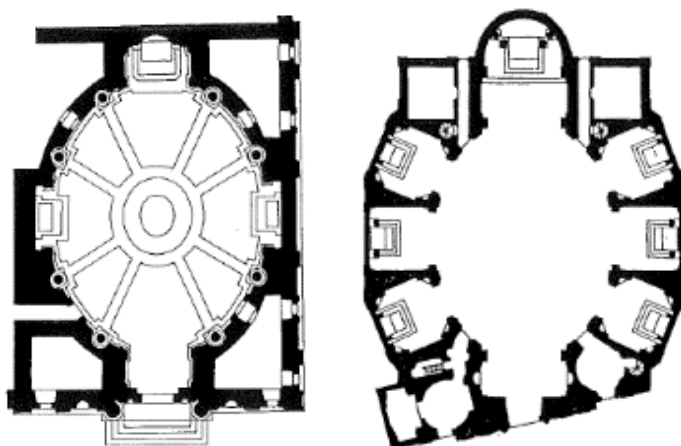


Figura 4.3, plantas de Sant'Anna y de Sant Giacomo degl'Incurabili

Tras estos ejemplos, y con la llegada del Barroco, la tipología de planta oval se multiplica por Europa. Cabe estudiar, no obstante, cómo llegó esa influencia a Andalucía, pues sólo se tradujeron al castellano los libros III y IV de Serlio, aunque las ilustraciones sí encontraban mayor difusión [7]. Si bien se podría señalar el anfiteatro de Itálica como una de las principales referencias, antes hay que mencionar la presencia de Francisco del Castillo, colaborador de Vignola, al que se habría consultado durante las

obras de la sala capitular de la catedral de Sevilla en 1572. Destacar, así mismo, la publicación de *Libro de Arquitectura* (1560), de Hernán Ruiz el joven, donde se proponen técnicas para dibujar óvalos y trasladar así esta figura a las cúpulas y bóvedas.

Fue precisamente Hernán quien proyectó la cúpula pseudo oval de la iglesia de San Nicolás de la Villa en Córdoba (1540-1555), uno de los primeros ejemplos de esta tipología en Andalucía de los que queda constancia [Figura 4.4]. Vemos que se trata de lo que Peruzzi denominaría <<elipse impura>>, formada por un rectángulo (bóveda de cañón) y dos semicírculos (media naranja).

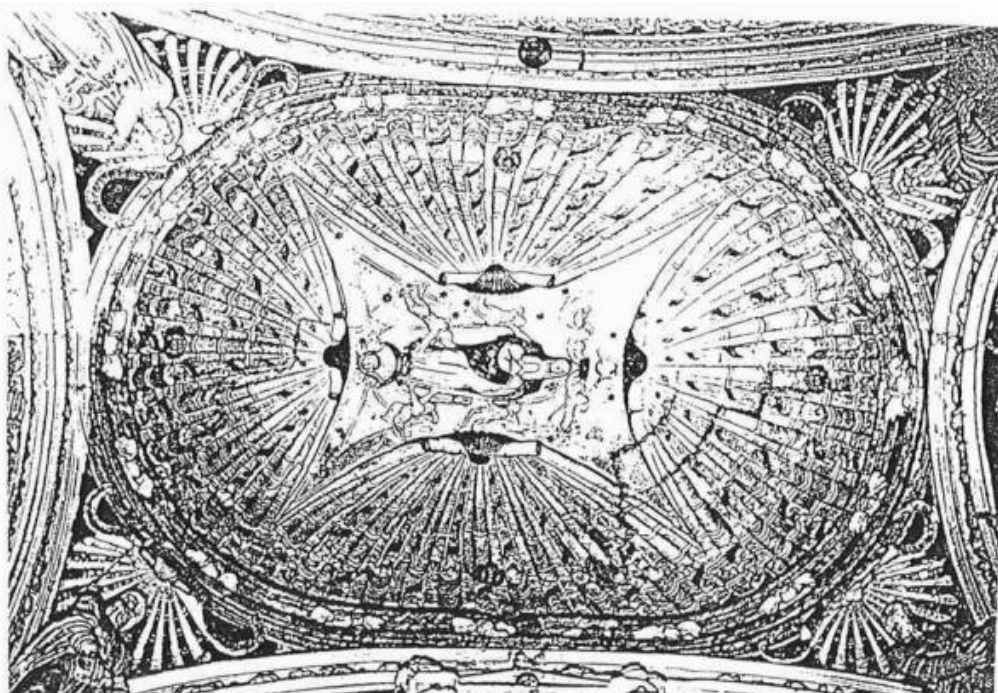


Figura 4.4, cúpula de San Nicolás de la Villa

Se debe volver la vista ahora a la ya citada sala capitular de Sevilla [Figura 4.5], quizá el primer ejemplo andaluz en que la forma oval se traslada también a la planta. Comenzándose el proyecto por parte de Hernán en 1558, la sala se veía muy limitada geoméricamente por el muro preexistente de la catedral y la Sacristía Mayor, lo que podría haber afectado a la decisión de su tipología. Destaca, además, por ser de forma elíptica (no oval), con la proporción sesquiáltera que ya vimos en Sant'Andrea (1554) y que se había convertido en una tradición de la composición española. Tras la muerte del proyectista en 1569, se consultó a Francisco del Castillo para la ejecución de la cúpula de piedra, ya que presentaba dificultades constructivas, terminándose en 1583.

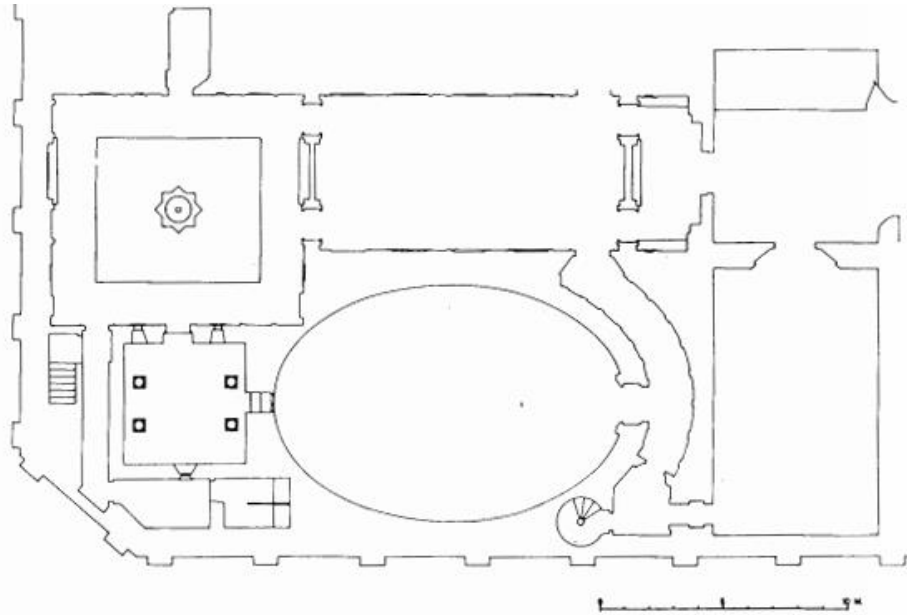


Figura 4.5, sala capitular de la catedral de Sevilla

Parece apropiado resaltar, como último antecedente [Figura 4.6], la iglesia sevillana de San Hermenegildo, construida entre 1616 y 1620 por el arquitecto Pedro Sánchez [7], cuya configuración general puede asemejarse a San Felipe. A destacar también su cúpula encamionada, el mismo sistema que se utilizaría después para reponer la cúpula del oratorio en 1763.

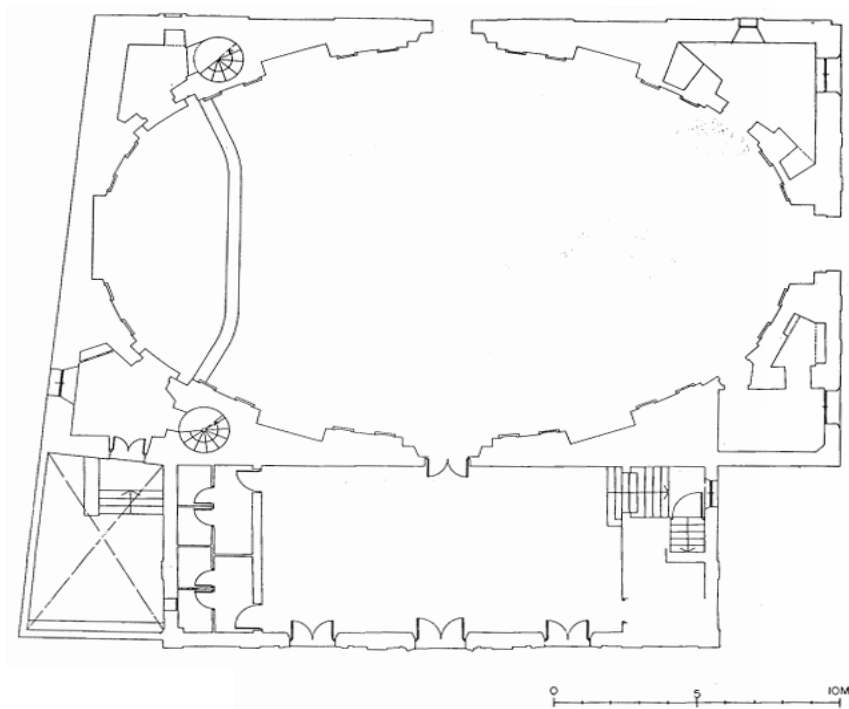


Figura 4.6, iglesia de San Hermenegildo

Aunque podrían enumerarse más ejemplos, tanto a nivel internacional como dentro de Andalucía, parece claro que la aplicación de la tipología oval a edificios de uso religioso era ya bien conocida en el siglo XVII, aunque no tan frecuente como otros tipos de planta centralizada.

Hay que resaltar, en cualquier caso, que los ejemplos mencionados no presentan consideraciones acústicas en su diseño, ya que el caso de uso expreso de la planta oval como solución acústica no llegaría hasta 1636 con el oratorio de Filipinni, precisamente un oratorio de la misma orden filipense que el caso de estudio, encargado a Francesco Borromini [8]. Responden, en cambio, a problemas formales, ya sea la inspiración clásica propia del Renacimiento, la necesidad de resolver tensiones externas y preexistencias en un espacio limitado y/o el deseo de aunar la axialidad requerida por el altar mayor y la tradicional planta centralizada.

4.2. Breve historia de las Cortes

A raíz de la Guerra de Independencia Española (1808-1814) y durante el desarrollo de la misma, se formó en la provincia de Cádiz una asamblea constituyente que pasaría a ser conocida como Cortes de Cádiz. Si bien las connotaciones históricas escapan al objetivo de este trabajo, sí resulta importante describir las que fueron sus distintas sedes y por qué eligieron esos edificios.

El 24 de septiembre de 1810, las Cortes Generales y Extraordinarias (que serán referidas como <<las Cortes>> en futuras menciones) se trasladaron al teatro cómico de Real Isla de León (San Fernando), para la que sería su primera reunión oficial [9].

El teatro, de planta elíptica según los criterios arquitectónicos de la época, se había edificado en 1789. Siendo propiedad de José Delgado Duarte, había abierto al público el 1 de abril de 1804, y ya en agosto de 1810 se había contratado el edificio para el uso de las Cortes. Fueron necesarias ciertas intervenciones para adecuar su nueva funcionalidad, efectuadas por el ingeniero y comisario de caminos Antonio Prat en el mes de septiembre. Así, se iguala el patio al antiguo foso escénico, apareciendo una elipse de 26 y 14 varas (21.73 y 11.7 m, respectivamente), se coloca una barandilla corrida en la elevación a modo de tribuna y se colocan mesas y tribunas para los distintos asistentes [10]. Se habilitan los palcos como tribunas tanto para el cuerpo diplomático como para el público. A destacar la austera decoración, limitándose principalmente a un retrato real, tapicería carmesí y las lámparas y braseros necesarios [Figura 4.7].

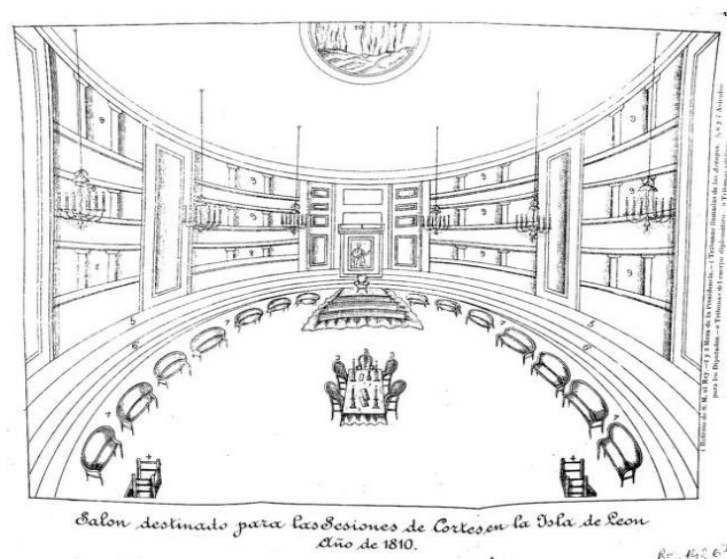


Figura 4.7, intervención en el teatro de Real Isla de León

Ante el desarrollo de la guerra se decidió trasladar las Cortes a Cádiz, para lo que se celebró una sesión secreta el 10 de enero de 1811. Se propuso para ello el oratorio San Felipe Neri, dada su tipología oval, aunque hubo algunos diputados que se opusieron por tratarse de un templo de culto activo [11]. Cabe mencionar la presencia en dicha reunión de varias personalidades de quienes se supone cierto conocimiento de acústica, siguiendo la publicación a finales del siglo XVIII de los *Tratados* de Bails al respecto. Dichos asistentes habrían sido el arquitecto Joaquín Martínez, el comisario de la Inspección General de Caminos José Alonso López, el matemático Mariano José Vallejo y el matemático Juan de Subercase y Krets.

A pesar de la polémica generada, el traslado al oratorio consiguió mayoría de votos, por lo que se encargó el reconocimiento del edificio al Director de la Real Academia de San Carlos de Valencia Joaquín Martínez. Sería nuevamente Antonio Prat quien dirigiera las obras de habilitación en el nuevo emplazamiento, por las que accedería al cargo de Inspector-Arquitecto de las Cortes. Se destaca la habilidad de Prat para habilitar el espacio sin alterar su aspecto original, limitándose principalmente a retirar adornos, cubrir los altares con telas de damasco y llevar las mesas, tribunas, lámparas y el retrato del rey desde el teatro. Sí se realizó un refuerzo de la primera galería mediante pies derechos, ya que ésta iba a destinarse como tribuna pública. Las dos galerías superiores, consideradas menos seguras por su barandaje de madera y a fin de reducir el aforo, se dejaron vacías. La puerta principal de la iglesia se dejó cerrada (acceso mediante el edificio anexo), y frente al altar mayor se ubicó el dosel con el cuerpo diplomático [Figura 4.8], por lo que se vuelve a acentuar el eje mayor de la planta elíptica.



Figura 4.8, reconstrucción de las Cortes de 1812 en el oratorio San Felipe Neri en 1911

Las obras finalizaron el 12 de febrero de 1811 [9], y el 24 de febrero se retomó la actividad de las Cortes ya en el oratorio. Fue allí, en San Felipe Neri, donde se promulgó la Constitución el 19 de marzo de 1812.

Ante una epidemia de fiebre amarilla en la capital, se fija el 13 de octubre de 1813 para el retorno de las Cortes a San Fernando. Aunque al principio se había mantenido arrendado el teatro (previendo imprevistos así), el 3 de octubre de 1812 habían devuelto las llaves a sus propietarios y asegurado por contrato que quedaba en el mismo estado en que lo encontrasen en 1810. Finalizado el contrato y ante desavenencias con los propietarios se resolvió buscar una nueva sede temporal, ya que la meta final era el traslado a Madrid. El edificio escogido fue la iglesia del Carmen, con una planta de cruz latina que poco se asemejaba a los casos anteriores.

Se plantean varias sedes posibles en Madrid. Un jefe político de Madrid encargado de buscar el edificio óptimo propone el 13 de julio el convento San Felipe Neri de Madrid, un edificio de finales del siglo XVI y derribado en el siglo XIX [12]. Nuevamente hubo polémica por tratarse de un edificio de carácter religioso. Otras propuestas fueron el Museo de Pinturas del Prado, el salón del banco San Carlos o San Felipe El Real (descartado por problemas acústicos).

La decisión se va prolongando hasta que finalmente se escoge el convento Doña María de Aragón, con lo que en octubre de 1813 comienzan las obras para habilitarla. Mientras se terminaban las obras, entre el 5 de enero de 1814 y el 29 de abril se alojan en el teatro de Los Caños del Peral [Figura 4.9].

Doña María era un edificio de planta oval [Figura 4.10], al igual que el oratorio y el teatro, construido en el siglo XVI como capilla. Las Cortes permanecerían allí hasta que se disolvieran el 10 de mayo de 1814. Cabe mencionar, no obstante, que las Cortes volvieron a estar en vigor entre 1820 y 1823, reuniéndose de nuevo en Doña María de Aragón [Figura 4.11].

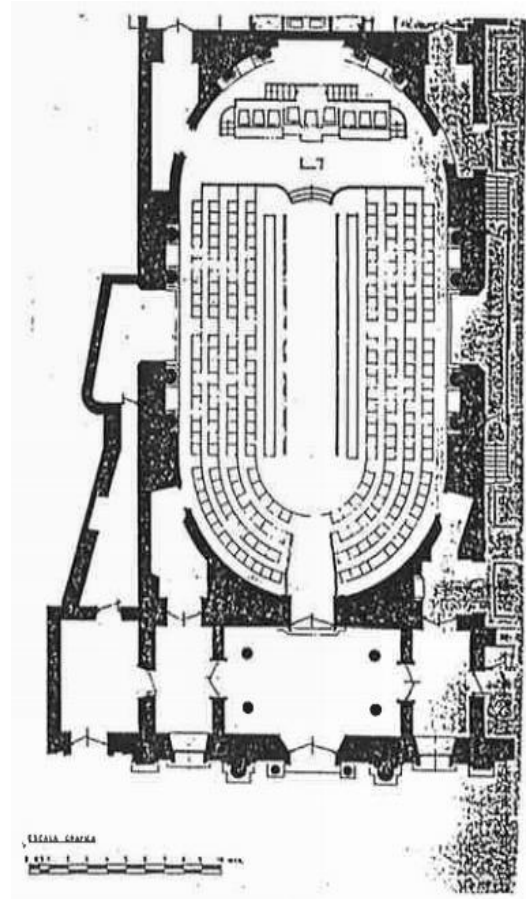
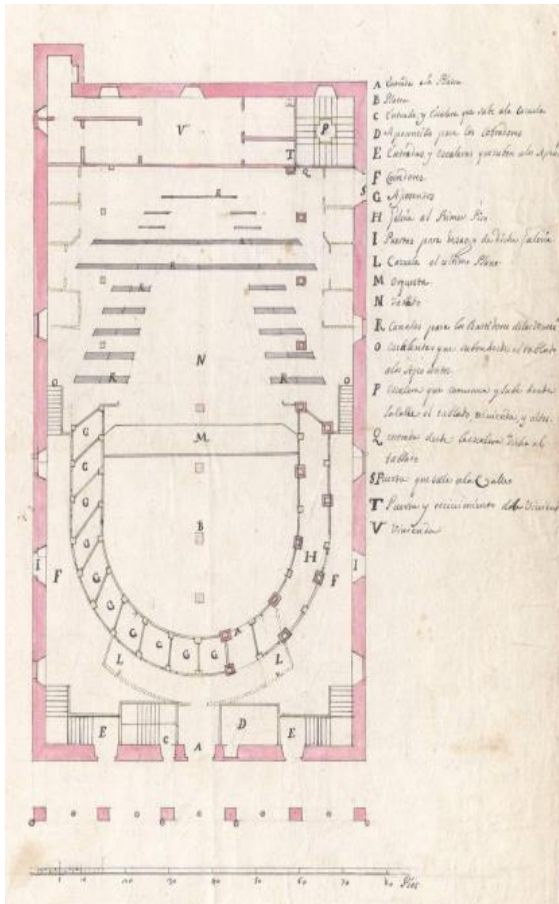


Figura 4.9, planta del teatro Los Caños del Peral

Figura 4.10, actual Palacio del Senado (originalmente Doña María de Aragón)

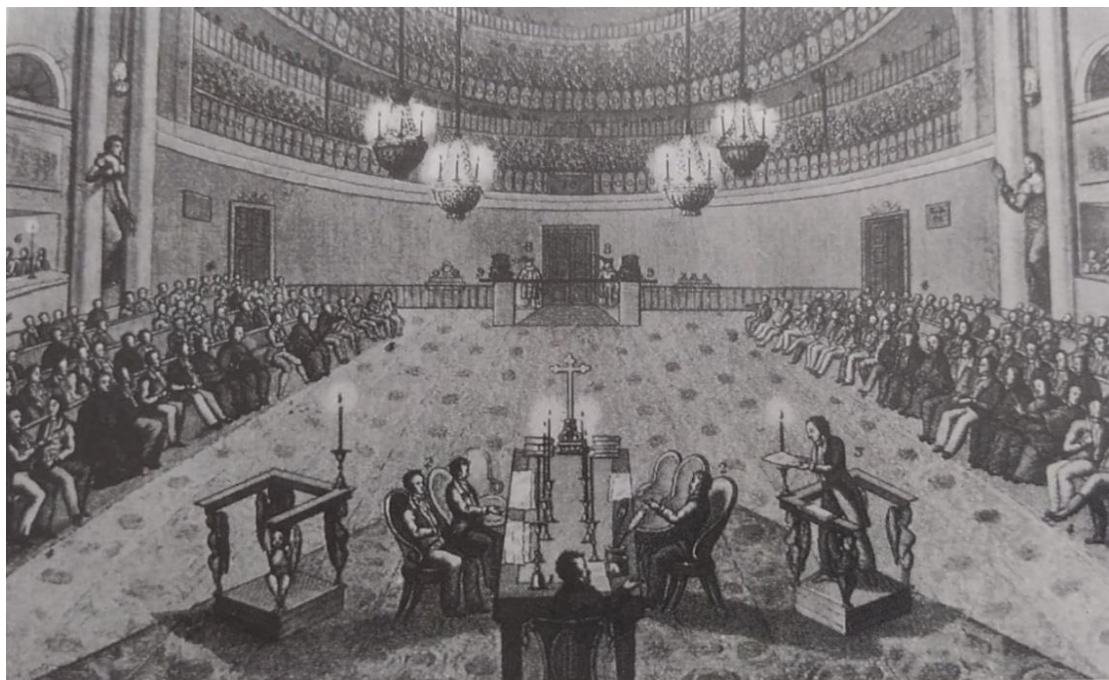


Figura 4.11, sesión de noche en Doña María de Aragón, estampa de las Cortes de 1821.

4.2. Fundamentos acústicos de la planta oval

Para analizar mejor el caso de estudio es necesario previamente comprender los conocimientos acústicos de la época, como también los fundamentos físicos relativos a la geometría del edificio. Para ello se valorarán los criterios que se aplicaron conscientemente en las actuaciones sobre este espacio patrimonial, considerando por tanto las propiedades inherentes de su tipología, geometría y materiales.

Se ha demostrado en múltiples estudios [13] que las primeras basílicas funcionaban especialmente bien acústicamente, dadas sus proporciones y sus techos bajos, los cuales estaban habitualmente conformados por casetones de madera.

Posteriormente se sustituyen las cubiertas por bóvedas de piedra, reflectantes y focalizadoras, derivando en un aumento del número de paños ciegos y el consiguiente incremento en tamaño y volumen de los edificios, lo que conlleva un declive acústico.

Esta evolución encuentra su máximo exponente en las catedrales góticas, en las que la principal preocupación desde un punto de vista acústico no habría sido la inteligibilidad del habla, sino la reverberación y la sonoridad de la música, justificando así la monumentalidad y gran escala del espacio, así como el empleo de materiales pétreos, más allá de otras intenciones arquitectónicas y religiosas que escapan al tema acústico. Cabe mencionar, no obstante, el efecto favorable de las vidrieras como agentes difusores del sonido. El empleo de capillas radiales y deambulatorios, en cambio, sería otro paso atrás en relación a la nave única romana, lo que se trataría de solucionar posteriormente con la aparición de capillas laterales [14].

En el siglo XVI, con el concilio de Trento (1545-1563), se recupera la importancia de la calidad acústica y de la predicación por medio de la palabra, dando pie a una evolución de la arquitectura religiosa basada en la racionalidad. Tres órdenes que muestran preocupación por esto son los franciscanos, los filipenses y los jesuitas.

De estos últimos existen evidencias de que consideraban la planta oval <<muy adecuada, proporcionada y adaptada a las necesidades de la compañía, porque [...] es la más adecuada para la predicación: está libre de obstáculos, devuelve su palabra al predicador de una manera clara>> [15]. Era, de hecho, un miembro de los jesuitas, Mario Bettinni, quien en 1642 presentó dos soluciones para un auditorio oval, en una de las cuales aparecía una sección vertical con dos elipses que compartían un foco [16].

No obstante, el primer diseño oval por motivos acústicos se atribuye a Francesco Borromini en su diseño del refectorio de Santa María in Vallicella (Roma, 1639), sede original de los filipenses desde 1575 y primer oratorio de los mismos. Efectivamente, esta orden creía en la importancia de la palabra y parecía centrarse en labores educativas [17], de ahí que sus templos recibieran el nombre de oratorios y respondiesen a criterios acústicos, como el efecto focalizador de la planta oval.

Para entender mejor la repetición tipológica sería conveniente mencionar los estudios del jesuita Athanasius Kircher, que defendía que cualquier rayo sonoro originado en el foco de una elipse pasa por el otro foco, o la iglesia del Hospital de los Incurabili de Venecia (1565), de planta pseudo-oval y famosa por la calidad de su campo sonoro.

Es en este contexto, en 1685, el año en que la orden filipense funda el Oratorio San Felipe Neri de Cádiz, siguiendo los criterios de su orden respecto a la planta oval, con las ventajas acústicas de ser una nave única de reducidas dimensiones y con capillas laterales que anulan la posibilidad de paños ciegos. Aúna además, aunque quizá en menor grado que otros ejemplos de época, la mejora de las condiciones acústicas derivadas de la ornamentación barroca, como son las molduras y retablos, que ayudan a la difusión de sonidos agudos, mientras que las ya mencionadas capillas laterales contribuyen a una mejor propagación de los sonidos graves.

Posteriormente, en el siglo XVIII, la política de la Ilustración fomentaba el uso de teatros y espacios de debate, con el consiguiente interés acústico. Así, a partir de 1760 se comienza a redefinir la tipología del teatro según criterios físicos que buscaban mejorar la calidad del campo sonoro en los espacios [18]. En 1782, el arquitecto francés Pierre Patte publica un ensayo sobre la arquitectura de los teatros [33], donde analiza los escritos más importantes de la materia y en el que se explica, mediante desarrollo textual, secciones y planos, cómo diseñar correctamente una sala de teatro, evitando el uso de pilares que tapen la vista en los palcos, sustituyendo los techos planos por esferoides huecos, revistiendo carpinterías y huyendo de los resaltos y <<ángulos viciosos>>. Patte se convierte, con sus dibujos, en uno de los grandes defensores de la planta elíptica y el techo cóncavo, algo que transmitiría a estudios posteriores [Figura 4.11].

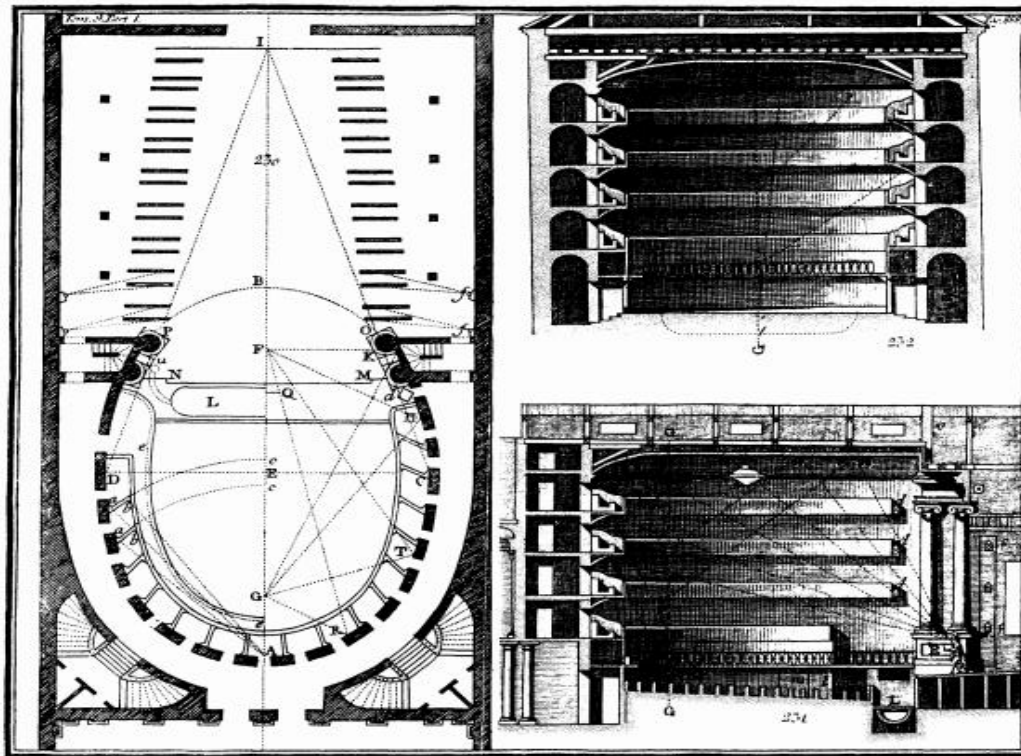


Figura 4.12, planta y secciones de la tipología defendida por Patte y Bails

Estos estudios llegan a España de la mano del matemático y arquitecto Benito Bails, quien en 1796 publica el noveno tomo de *Elementos de Matemática*, dedicado a la arquitectura civil y donde, al igual que Patte, da indicaciones tipológicas para edificar teatros con consideraciones acústicas y visuales [19]. Toma de Pierre la defensa de la planta oval y cubierta cóncava, afirmando que el cuerpo sonoro de la voz humana es de forma elíptica y en dirección abajo-arriba, de lo que se extrae la importancia de la planta y de los palcos superiores. Así mismo, explica cómo el eco depende del tiempo de reflexión, y por tanto de la distancia, de igual modo que recomienda una separación no mayor a 84 pies castellanos (23.40 m aproximadamente) entre la fuente sonora y los espectadores, de forma que se reciba el sonido con claridad. Entre otros aspectos, hace mención a la elasticidad de la madera frente a la piedra y a la capacidad absorbente de la lana, advierte sobre los problemas generados por huecos y aporta recomendaciones respecto al revestimiento de asientos y muros. Manteniendo la propuesta de planta oval, defiende la proporción 4/3 (84 pies, 63 pies), así como el interés de ubicar la escena en uno de los focos.

Este tratado tuvo a su vez gran influencia en las Cortes, pues ya se ha comentado previamente que eran varios los diputados con conocimientos físicos y/o arquitectónicos. Este hecho queda reflejado en la sesión secreta del 13 de diciembre de 1820, cuando los diputados Vargas Ponce y el ya mencionado Subercase expusieron su

respuesta ante las propuestas de los arquitectos Antonio Prat, Antonio López y Juan Antonio Cuervo para mejorar acústicamente el convento de Doña María de Aragón [11].

Los arquitectos comparan las dimensiones del espacio (93 pies de largo y 51 de ancho, o, traduciéndolo al sistema métrico, unos 25.91 m y 14.21 m, respectivamente) con los 84 pies considerados como máximos y señalan que la planta, aunque de forma geométrica oval, no responde a criterios acústicos en su diseño. Proponen dividir la sala en dos mesetas que eleven al Presidente, probablemente considerado el foco sonoro, respecto a los demás asientos, así como cerrar las tribunas centrales, tabicar puertas y sustituir balaustres por superficies lisas, de forma que <<la voz tenga dónde reflejar>>. También se explica la necesidad de colocar pies derechos que refuercen el techo de la tribuna, aun siendo conscientes de que eso afecta a la visibilidad de los asistentes.

La respuesta de los dos diputados demuestra su igual conocimiento de acústica, pues plantea acercar los asientos para que los diputados queden entre sí a unos 60 o 70 pies, elevar los mismos unos 1.8 m, acercándolos al techo, y cubrir el espacio con una bóveda que focalice el sonido hacia las galerías. Del mismo modo, se habla de eliminar estatuas, columnas, relieves y arañas, haciendo referencia expresa a la dispersión de ondas sonoras que provocan. Por último, se sugiere la posibilidad de generar un tornavoz a partir de una porción de paraboloides de revolución de 10 pies de largo.

Todas estas consideraciones y conocimientos permiten deducir y determinan que tanto los filipenses que ordenaron su edificación, como las Cortes que eligieron y adaptaron el oratorio San Felipe Neri, lo hicieron basándose en el deseo de mejorar el campo sonoro en su interior, con mayor o menor conocimiento al respecto en función de la época.

5. Simulación del campo sonoro

Cabe recordar que el principal objetivo del trabajo es analizar el comportamiento del campo sonoro en el oratorio San Felipe Neri. Para ello se han establecido tres escenarios diferentes, de forma que sea posible valorar las condiciones sonoras del edificio en distintas situaciones y épocas, a partir de la evaluación de parámetros acústicos. Finalmente se realizará, en el siguiente apartado, un estudio comparativo entre los resultados de los modelos, de forma que sea posible determinar el impacto e influencia acústica de las diversas variaciones introducidas, como son la decoración y la audiencia.

5.1. Levantamiento de los modelos acústicos

En los últimos actos realizados en el edificio, ya fuesen de carácter religioso [Figura 5.1] o cultural, el público se acomodaba en sillas o bancos de madera dispuestos en dos bloques frente al altar mayor, donde se encontraba la fuente sonora o interlocutor. En las galerías superiores se encontrarían también oyentes ocasionales, lo que justifica la situación de receptores también en esos puntos, si bien quedan lo bastante repartidos como para no considerar su comportamiento acústico.

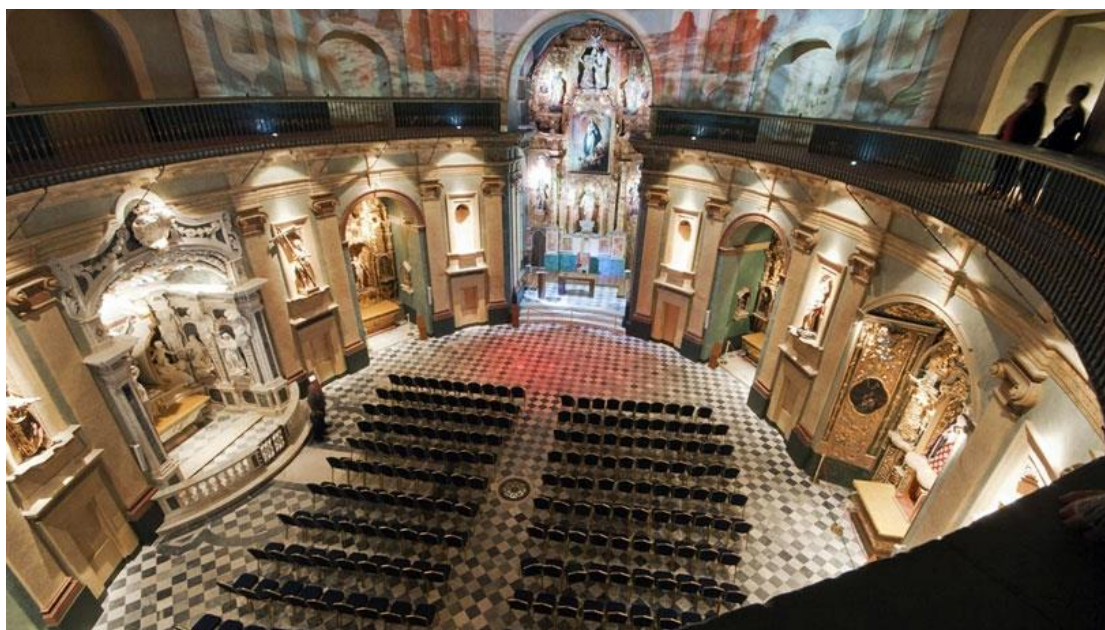


Figura 5.1, ceremonia realizada en julio de 2014

Con estas consideraciones, a partir de la visualización de imágenes y comparando los diferentes cambios sufridos por el oratorio a lo largo del tiempo, se levanta un modelo 3D del interior con el software de diseño *SkethUp*, donde se catalogan y dividen las diferentes superficies encontradas en función de su materialidad [tabla 1] e irregularidad [tabla 2].

A resaltar la imposibilidad de acceder al recinto, lo que acrecienta la importancia de la bibliografía ya mencionada sobre el edificio, así como otras imágenes de la web que se recogen en el apartado <<bibliografía consultada>>. De igual modo, trabajos similares realizados en centros religiosos, como es el caso de la catedral de Sevilla [26], contribuyen a entender la materialidad del espacio.

Nombre en CAT	Leyenda de colores	Material	Superficie	Frecuencia (Hz)					
				125	250	500	1 k	2 k	4 k
Ventana fachada	●	Single pane of glass > 4mm [20]	A	0.10	0.07	0.04	0.03	0.02	0.02
Vidrio ventana	●								
Ventana altar	●								
Madera policromada	●	Retablo de madera [21]	C	0.12	0.12	0.15	0.15	0.18	0.18
Madera puerta	●	Solid wooden door [20]	A	0.14	0.10	0.06	0.08	0.10	0.10
Madera bancos (desocupado)	●	Wooden pews [21]	B	0.10	0.15	0.18	0.20	0.20	0.20
Madera bancos	●	Audience on timber seats (2/m ²) [20]	B	0.24	0.40	0.78	0.98	0.96	0.87
Mesa altar	●	Upholstered pew [21]	B	0.30	0.32	0.27	0.30	0.33	0.33
Madera retablo	●	Baroque Woodcarving [23]	C	0.31	0.29	0.24	0.23	0.25	0.30
Madera dorada	●								
Mármol retablo	●	Marble tile [20]	C	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02
Mármol tabica	●	Marble tile [20]	A	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02
Solería planta alta	●								
Solería planta baja	●								
Metal barandilla	●	Empty metal chair [22]	C	0.07	0.00	0.14	0.00	0.14	0.14
Yeso pedestal	●	Painted plaster surface [20]	B	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
Yeso muro	●		A						
Yeso techo	●	Plaste on solid backing [20]	A	0.03	0.03	0.02	0.03	0.04	0.05
Yeso forjado	●		B						
Yeso cúpula	●	Plasterboard ceiling on battens with large air-space [20]	A	0.20	0.15	0.10	0.08	0.04	0.02

Tabla 1, coeficientes de absorción acústica de las superficies encontradas en el modelo M0

Superficie	Tipo	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz
Lisa	A	0.12	0.13	0.14	0.15	0.16	0.17
Irregularidad leve	B	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45
Irregular	C	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80

Tabla 2, coeficientes de dispersión asociados a las diferentes superficies, fuente [24]

Queda, por tanto, situar la fuente y los receptores acústicos según las observaciones mencionadas [Figura 5.2], anotando sus coordenadas de posición en la tabla 3.

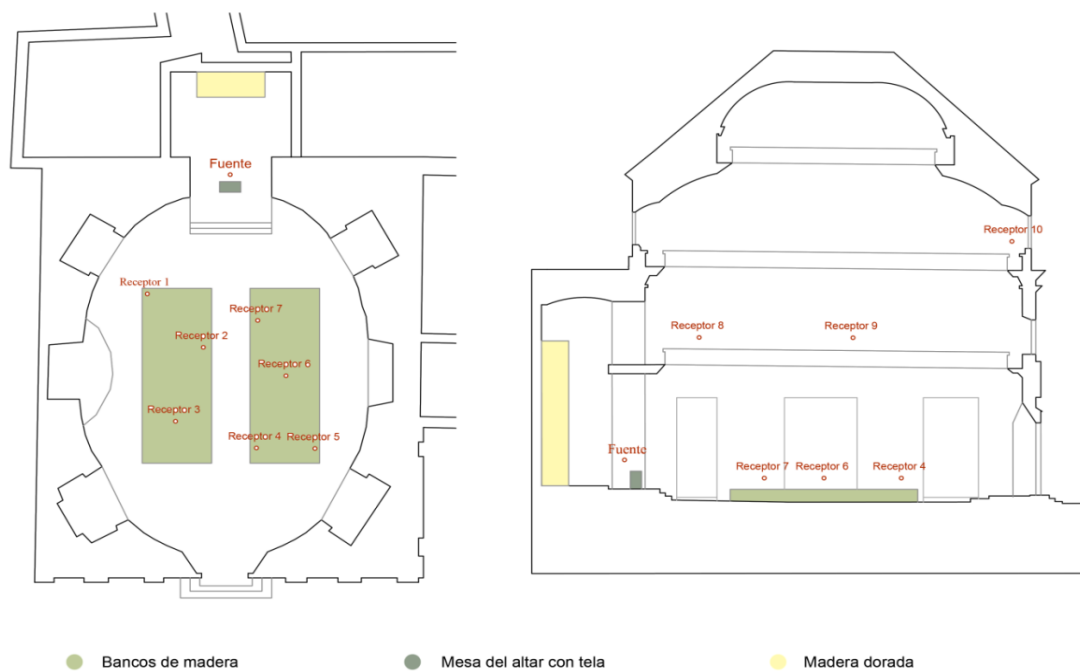


Figura 5.2, posición de receptores y fuente sonora en los modelos M0 y M1, en planta y sección

	x	y	z
Fuente	0	22	1.8
Receptor 1	-4	15	1.2
Receptor 2	-1.5	12	1.2
Receptor 3	-2.5	8	1.2
Receptor 4	1.2	6.5	1.2
Receptor 5	4.2	6.5	1.2
Receptor 6	2.5	10.5	1.2
Receptor 7	1.2	13.5	1.2
Receptor 8	5	18	8.5
Receptor 9	-6.5	10	8.5
Receptor 10	0	2	14

Tabla 3, coordenadas de los receptores y de la fuente sonora

5.2. Simulación acústica de los modelos

Una vez levantado el modelo en *Sketch-Up*, y manteniendo fija la posición de fuente y receptores para permitir una apropiada comparación, se definen los tres modelos o casos de estudio, que aparecen resumidos en la tabla 4 y de cuyo desarrollo se encargará este apartado.

Modelo	Año	Ocupado
M0	2020	Sí
M1	2020	No
M2	1812	Sí

Tabla 4, resumen de los modelos simulados

5.2.1 Simulación del modelo actual ocupado M0

El primer modelo acústico, en adelante denominado M0, reproduce el escenario y disposición que ha presentado el oratorio San Felipe en sus últimos años, previos al cierre mencionado por la emergencia sanitaria. Se corresponde en materiales con el levantamiento original ya descrito por la tabla 1.

Quedaría exportar el modelo generado [Figuras 5.3 y 5.4] al software de simulación del campo sonoro *CATT-Acoustic*, cuyos resultados se analizarán en el apartado 6.

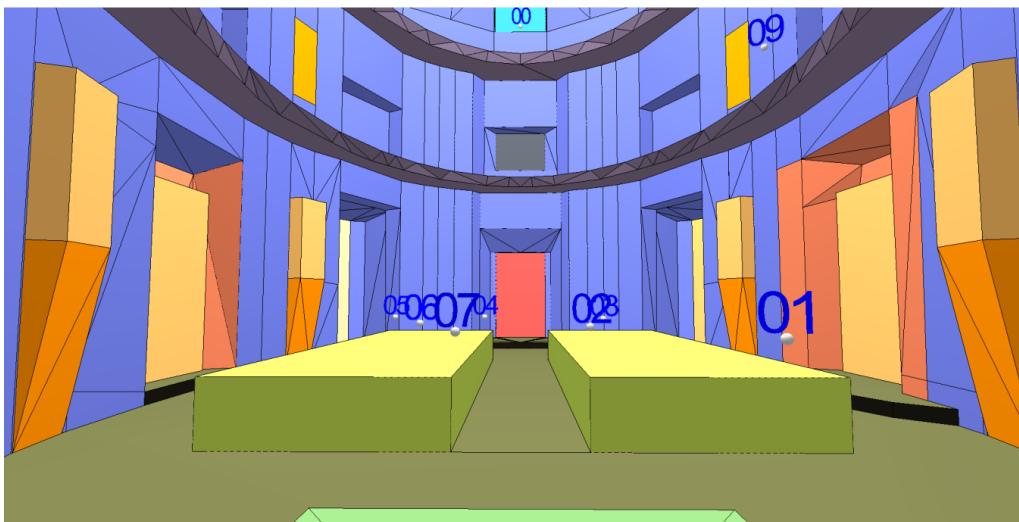


Figura 5.3, vista del modelo desde la posición de la fuente, indicando receptores.

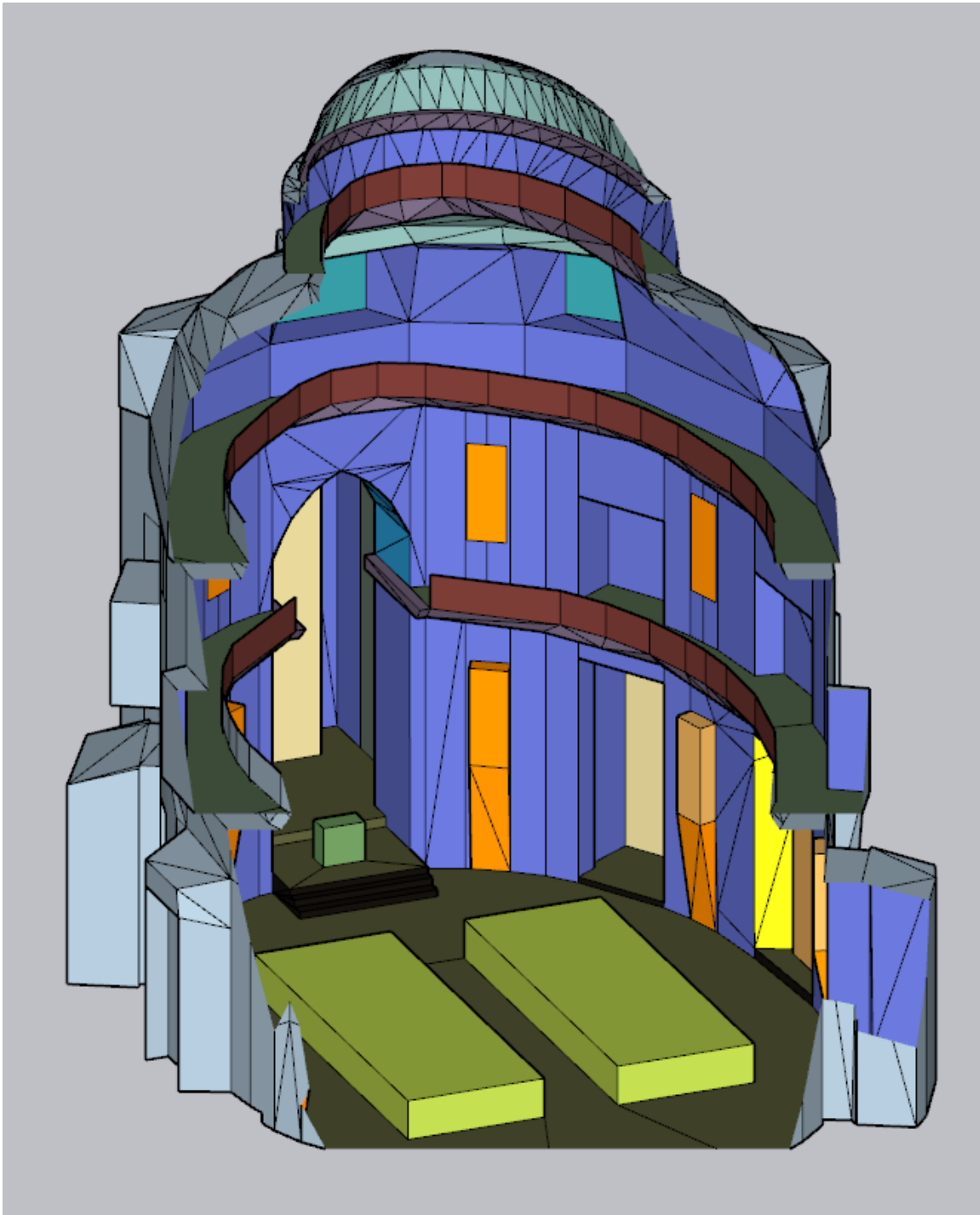


Figura 5.4, vista del modelo del oratorio, con leyenda de colores según tabla 1

5.2.2 Simulación del modelo actual vacío M1

El segundo caso, denominado M1, busca simular la situación del oratorio si estuviese vacío, de forma que se pueda estudiar cómo la presencia de público afecta a los diferentes parámetros del campo sonoro.

Respecto al levantamiento del modelo original, la única variación en el valor del coeficiente de absorción en la zona de bancos debido a la ausencia de espectadores, lo que se refleja en la tabla 5.

Nombre en CAT	Leyenda de colores	Material	Superficie	Frecuencia (Hz)					
				125	250	500	1 k	2 k	4 k
Ventana fachada	●	Single pane of glass > 4mm [20]	A	0.10	0.07	0.04	0.03	0.02	0.02
Vidrio ventana	●								
Ventana altar	●								
Madera policromada	●	Retablo de madera [21]	C	0.12	0.12	0.15	0.15	0.18	0.18
Madera puerta	●	Solid wooden door [20]	A	0.14	0.10	0.06	0.08	0.10	0.10
Madera bancos (desocupado)	●	Wooden pews [21]	B	0.10	0.15	0.18	0.20	0.20	0.20
Madera bancos	●	Audience on timber seats (2/m ²) [20]	B	0.24	0.40	0.78	0.98	0.96	0.87
Mesa altar	●	Upholstered pew [21]	B	0.30	0.32	0.27	0.30	0.33	0.33
Madera retablo	●	Baroque Woodcarving [23]	C	0.31	0.29	0.24	0.23	0.25	0.30
Madera dorada	●								
Mármol retablo	●	Marble tile [20]	C	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02
Mármol tabica	●	Marble tile [20]	A	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02
Solería planta alta	●								
Solería planta baja	●								
Metal barandilla	●	Empty metal chair [22]	C	0.07	0.00	0.14	0.00	0.14	0.14
Yeso pedestal	●	Painted plaster surface [20]	B	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
Yeso muro	●		A						
Yeso techo	●	Plaste on solid backing [20]	A	0.03	0.03	0.02	0.03	0.04	0.05
Yeso forjado	●		B						
Yeso cúpula	●	Plasterboard ceiling on battens with large air-space [20]	A	0.20	0.15	0.10	0.08	0.04	0.02

Tabla 5, coeficientes de absorción acústica de las superficies encontradas en el modelo M1

5.2.3 Simulación del modelo histórico ocupado M2

Por último, en el modelo M2 se busca simular la realidad del edificio en época de las Cortes (1812), con las modificaciones realizadas a cargo de Antonio Prat. Esto requerirá introducir alteraciones formales en el modelo levantado, si bien la posición de la fuente y los receptores, así como gran número de los materiales descritos permanecerán inmutables. Se procede a describir las modificaciones.

En las diversas fuentes bibliográficas [9] [10] se describe la actuación sobre el edificio, a destacar la ampliación del número de asientos, acompañando a los bancos ya existentes con sillas tapizadas, y la presencia de tejidos colgados que contribuyen en gran medida a mejorar las condiciones acústicas. Así, recordamos que el suelo de mármol quedaba cubierto por alfombras, que los altares y retablos se cubrían con telas y que aparecía un dosel en el altar mayor junto con un lienzo que también contribuiría a la absorción del sonido. Se genera una nueva barra en la puerta de acceso, presumiblemente cubierta con telas de la misma forma que se cubren los balaustres de la primera tribuna, con lo que pasaría a ser relevante de cara a la simulación. Volviendo a la Figura 4.8 es posible hacerse una idea más clara del escenario a simular:



Figura 4.8, reconstrucción de las Cortes de 1812 en el oratorio San Felipe Neri en 1911

Conviene mencionar así mismo la aparición en el modelo de pies derechos de madera y estatuas de bronce, cuya aportación al comportamiento acústico sería mínima, pero que ayudan a aproximar con mayor detalle la realidad de la época. Todo esto se reflejará en la tabla 6 y en las figuras 5.5, 5.6 y 5.7.

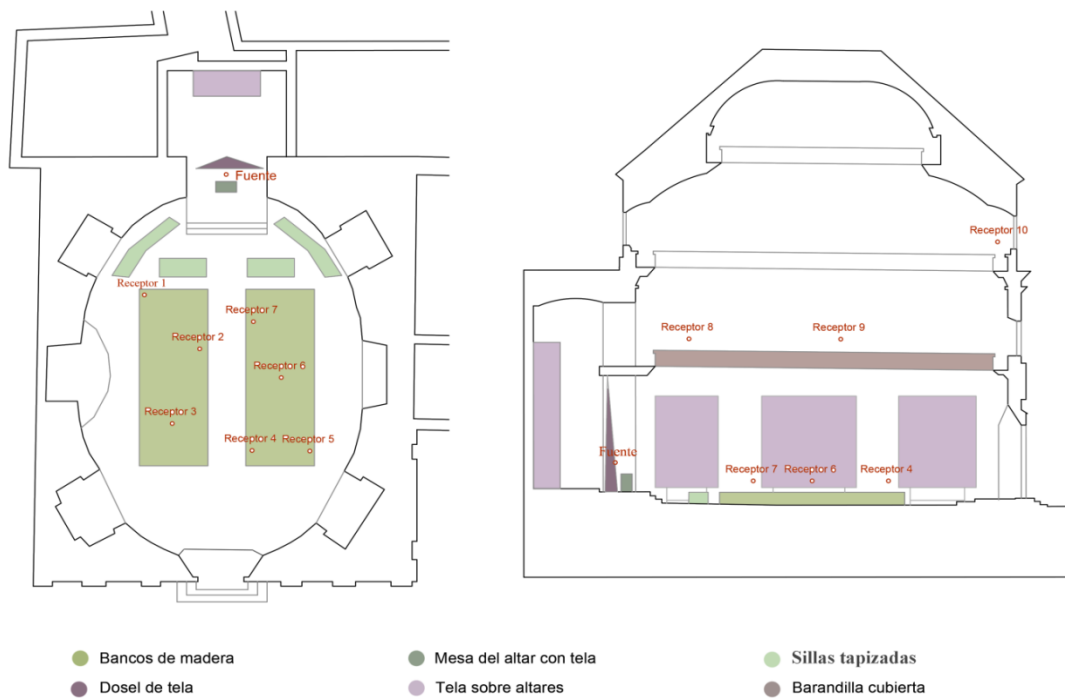


Figura 5.5, posición de receptores y fuente sonora en el modelo M2, planta y sección

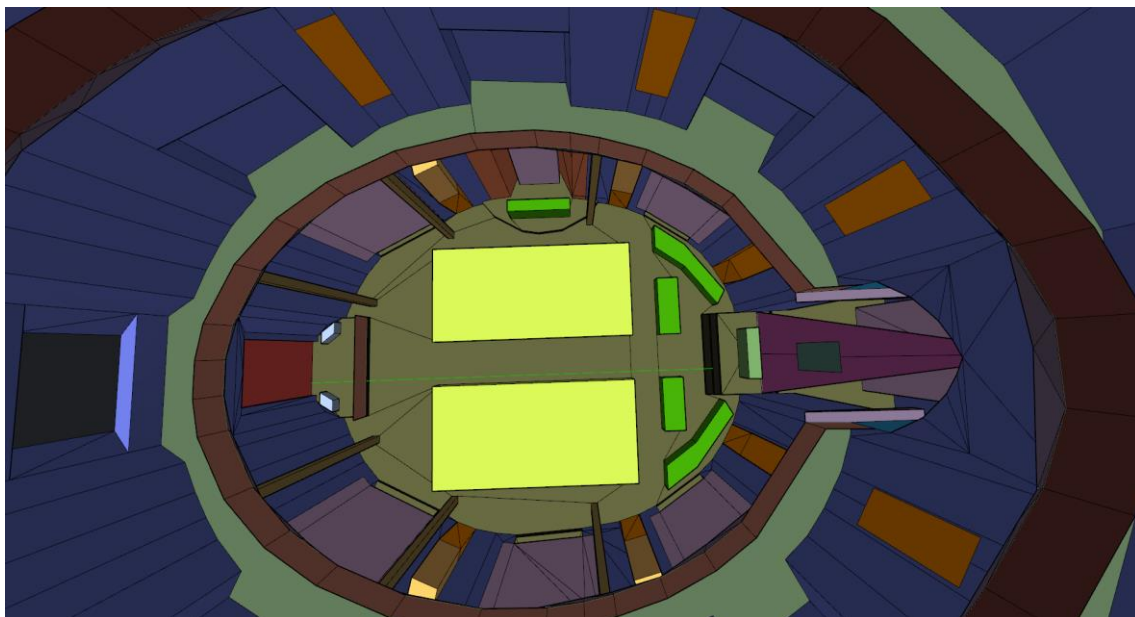


Figura 5.6, vista interior del modelo M2, vista desde las tribunas superiores, con leyenda de colores según tabla 6

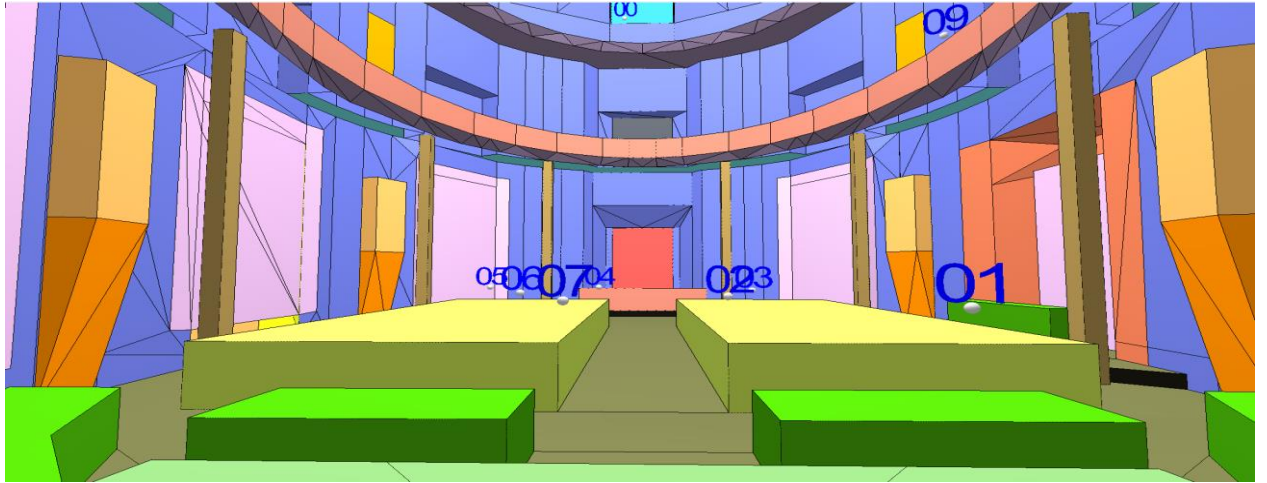


Figura 5.7, vista interior del modelo M2 desde la posición de la fuente, indicando receptores

Nombre en CAT	Leyenda de colores	Material	Superficie	Frecuencia (Hz)					
				125	250	500	1 k	2 k	4 k
Ventana fachada	●	Single pane of glass > 4mm [20]	A	0.10	0.07	0.04	0.03	0.02	0.02
Vidrio ventana	●								
Ventana altar	●								
Madera policromada	●	Retablo de madera [21]	C	0.12	0.12	0.15	0.15	0.18	0.18
Madera puerta	●	Solid wooden door [20]	A	0.14	0.10	0.06	0.08	0.10	0.10
Pies derecho	●		B						
Madera bancos (desocupado)	●	Wooden pews [21]	B	0.10	0.15	0.18	0.20	0.20	0.20
Madera bancos	●	Audience on timber seats (2/m ²) [20]	B	0.24	0.40	0.78	0.98	0.96	0.87
Mesa altar	●	Upholstered pew [21]	B	0.30	0.32	0.27	0.30	0.33	0.33
Sillas	●								
Madera retablo	●	Baroque Woodcarving [23]	C	0.31	0.29	0.24	0.23	0.25	0.30
Madera dorada	●								
Mármol retablo	●	Marble tile [20]	C	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02
Mármol tabica	●	Marble tile [20]	A	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02
Solería planta alta	●								
Alfombra planta baja	●	9.5 mm wool pile on concrete [20]	A	0.09	0.08	0.21	0.26	0.27	0.37
Metal barandilla	●	Empty metal chair [22]	C	0.07	0.00	0.14	0.00	0.14	0.14
Yeso pedestal	●	Painted plaster surface [20]	B	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
Yeso muro	●		A						
Yeso techo	●	Plaste on solid backing [20]	A	0.03	0.03	0.02	0.03	0.04	0.05
Yeso forjado	●		B						
Yeso cúpula	●	Plasterboard ceiling on battens with large air-space [20]	A	0.20	0.15	0.10	0.08	0.04	0.02
Cuadro	●	Muslim covered cotton felt [22]	A	0.15	0.45	0.70	0.85	0.95	0.85
Barandilla tela	●	Light velour [20]	A	0.04	0.05	0.11	0.18	0.30	0.35
Dosel	●		B						
Tela altares	●	Medium velour, hung straight [20]	A	0.05	0.07	0.13	0.22	0.32	0.35
Bronce leones	●	Steel decking [22]	C	0.13	0.09	0.08	0.09	0.11	0.11

Tabla 6, coeficientes de absorción acústica de las superficies encontradas en el modelo M2

6. Evaluación del campo sonoro

Una vez generados y exportados los tres modelos acústicos en el software de simulación *CATT-Acoustic*, se asignan las correspondientes características y propiedades de los materiales a partir de las tablas de los coeficientes de absorción y dispersión. De igual modo se incluyen las coordenadas que determinan la posición de receptores y fuentes sonoras, y se procede a simular el campo sonoro en estos espacios. Se utilizarán para ello cerca de 20000 rayos sonoros, con un tiempo de truncado de 5 s.

6.1. Parámetros acústicos simulados

Los parámetros acústicos a analizar son los considerados por la norma UNE-EN ISO 3382-1 [24], donde también se establecen criterios para su medición, comparación y tratamiento de resultados, y se recomienda la utilización de bandas de octava entre 125 Hz y 4k Hz, banda de frecuencias que se repetirá en todo el estudio. No se hace referencia explícita, no obstante, a parámetros como el índice de transmisión de la palabra, y resulta necesario recurrir al libro *Diseño acústico de espacios arquitectónicos* [25] para profundizar en el desarrollo de los parámetros. En base a esto, se ha preferido recoger los parámetros medidos en la tabla 7, y se pasará a continuación a describirlos en mayor detalle.

Parámetro	Unidades	Valor óptimo		JND
		Sala ocupada	Sala vacía	
Tiempo de reverberación T-30	s	Top = $f \cdot u \cdot i \cdot V$		5%
Tiempo de caída inicial EDT	s	2.2		5%
Definición D-50	%	50%	30% / 70%	5
Claridad C-80	dB	-5 / 5	-2 / 4	1.5
Tiempo central Ts	ms	60 / 80		10
Índice de transmisión de la palabra STI	-	30 / 44 pobre, 45 / 59 aceptable		-
Índice rápido de transmisión de la palabra RASTI	-	30 / 44 pobre, 45 / 59 aceptable		-

Tabla 7, parámetros acústicos simulados, con sus valores óptimos y unidades de JND

6.1.1 Tiempo de reverberación T-30

El tiempo de reverberación sería la <<duración requerida para que la densidad de la energía acústica media en un recinto decrezca en 60 dB una vez que la emisión de la fuente ha cesado>> [24]. En este caso se opta por un rango de 30 dB (T30), y, como cabe esperar, se expresará los valores en s.

Existen múltiples estudios que buscan aproximar el tiempo de reverberación óptimo para un espacio. En este caso se utiliza el de Pérez Miñana [27], una síntesis de varios autores que tiene la ventaja de variar en función de la frecuencia.

La fórmula sería $T_{op} = f * u * i * v$, donde u sería una constante a la que se asigna el valor 0.075 por tratarse de una sala destinada al uso de la palabra, i se mantiene en 1 ante la inexistencia de apoyo electro-acústico y v corresponde al volumen de la sala, en este caso 5168 m³ de acuerdo al propio programa de simulación. Será la variable f la que haga al valor óptimo variar con la frecuencia, como refleja la tabla 8:

	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Palabra	1.3	1.15	1.	0.9	0.9	0.9

Tabla 8, valor de la variable f (Fórmula de Pérez Miñana) para las distintas frecuencias, en el caso de la voz humana.

6.1.2 Tiempo de reverberación inicial EDT

El tiempo de reverberación inicial, más conocido como tiempo de caída inicial o Early Decay Time (EDT), se traduce como <<seis veces el tiempo que transcurre desde que el foco emisor deja de radiar hasta que el nivel de presión sonora cae 10 dB>> [25].

Al igual que el tiempo de reverberación, se mide en segundos y depende de la frecuencia, aunque se suele estudiar entre 500 Hz y 1k Hz, con un valor óptimo de 2.2 s para la media de éstas según Gade [28].

6.1.3 Definición D-50

La definición o D-50 es <<la relación entre la energía que llega al oyente dentro de los primeros 50 ms desde la llegada del sonido directo (...) y la energía total recibida por el mismo >> [25]. Se mide, por tanto, en porcentaje, y será más alto cuanto mejor la inteligibilidad y sonoridad en ese punto.

De acuerdo a la norma UNE [24], el valor típico para una sala vacía oscilaría entre 30% y 70%. Arau [29] permite concretizar más para el caso de una sala ocupada, donde se esperaría una definición del 50%. Aunque el modelo estudiado M1 se corresponde con una sala vacía, se ha comparado también con el valor óptimo 50% por facilitar la lectura gráfica y por tratarse de un valor medio entre los extremos.

6.1.4 Claridad musical C-80

La claridad musical (C-80) puede definirse como << la relación entre la energía sonora que llega al oyente durante los primeros 80 ms desde la llegada del sonido directo y la que le llega después de los primeros 80 ms >> [25]. Se expresa en escala logarítmica y, por tanto, en dB.

Es un parámetro que está más orientado a la música que a la palabra, pues el intervalo fijado es aquel en que el oído humano integra las reflexiones como sonido directo. Aunque habría sido más acertado medir un intervalo de 50 ms que se adaptase a la voz humana, el programa de simulación no admite esa posibilidad, por lo que debe aproximarse como C-80.

El intervalo óptimo de claridad depende de si la sala se encuentra ocupada, en cuyo caso estaría entre -2 dB y 4 dB según Arau [29], o vacía, entre -5 y 5 dB de acuerdo a la norma UNE [24]. Teniéndose ambos casos en la simulación (M0 y M1), se han representado los valores inferiores de ambos intervalos, pues en ningún caso se superan los máximos.

6.1.5 Tiempo central T_s

El tiempo central (T_s), se mide en ms, y se define como <<el momento de primer orden del área situada bajo la curva de decaimiento energético>> [25].

Sirve para indicar la nitidez con que se recibe el sonido, pues ésta será mayor cuanto más bajo sea el valor T_s .

Para la voz humana se consideran valores óptimos si el tiempo central se sitúa entre 60 ms y 80 ms, como se explica en el trabajo de Clara Vacas de acuerdo a lo impartido en la ETSA de Sevilla [30]. En las gráficas se expondrá el valor máximo, 80 ms.

6.1.6 Inteligibilidad STI

Queda por calcular la inteligibilidad de la palabra, pues la correcta interpretación del mensaje es quizá el factor más importante en una sala destinada a la palabra. Para ello se ha utilizado el índice de transmisión de la palabra (STI), que modula la inteligibilidad entre 0 (nula) y 1.

Como indica Carrión, <<el STI se calcula a partir de la reducción de los diferentes índices de modulación “m” de la voz debida a la existencia de reverberación y de ruido de fondo en una sala>> [25]. Aunque es adimensional, se mostrará en % tanto en las gráficas como en las tablas de resultados, de forma que pueda compararse con los intervalos estandarizados, en los que más de 75 sería excelente, más de 60 buena, 45 aceptable y 30 pobre, mientras que todo lo que quede por debajo de ese valor se considera mala o incluso ininteligible. Cabe mencionar que esta clasificación corresponde a la utilizada por Bjor [31] y muestra discrepancias con la de Carrión [25], donde la inteligibilidad excelente no se alcanzaría hasta el 88%.

Existe una versión simplificada del cálculo STI llamada RASTI o Rapid Speech Transmission Index, en que se reduce considerablemente el número de frecuencias de modulación. No obstante, se comprueba que los resultados simulados de este parámetro son muy similares a los de STI, por lo que se incluirán en el anexo 2.

6.2. Análisis de resultados simulados

Salvo el índice de transmisión de la palabra, el resto de parámetros simulados varían en función de la frecuencia y de la posición del receptor. Para su estudio analítico resulta conveniente tenerlos en base a una sola variable, lo que lleva, salvo casos concretos que se mencionarán a continuación, a la creación de dos gráficas por parámetro. La primera gráfica reúne los valores medios de los diez receptores y expone su evolución con a la banda de frecuencias. La segunda muestra el valor medio del parámetro en las dos octavas más comunes para los usos del local, 500 Hz y 1 kHz, y trabaja con la variación respecto a la posición de los receptores. En este último caso, se considera más ilustrativo ordenar los receptores según su distancia a la fuente sonora como se indica en la tabla 9, por lo que será esta distancia la que aparezca representada en el eje horizontal de las gráficas.

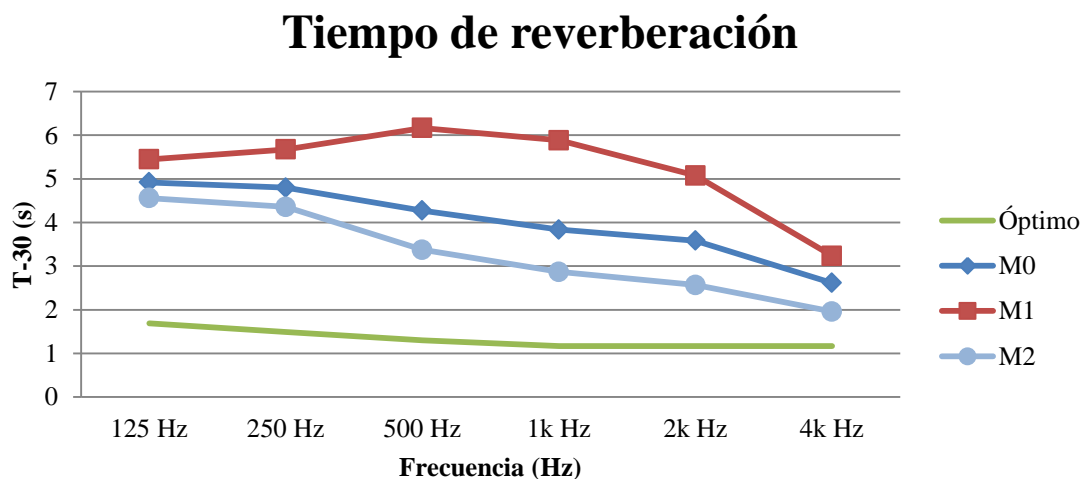
Receptores	Receptor 1	Receptor 2	Receptor 3	Receptor 4	Receptor 5	Receptor 6	Receptor 7	Receptor 8	Receptor 9	Receptor 10
Distancia a la fuente (m)	8,08	10,13	14,23	15,56	16,07	11,78	8,61	9,27	15,2	23,43

Receptores ordenados	Receptor 1	Receptor 7	Receptor 8	Receptor 2	Receptor 6	Receptor 3	Receptor 9	Receptor 4	Receptor 5	Receptor 10
Distancia a la fuente (m)	8,08	8,61	9,27	10,13	11,78	14,23	15,2	15,56	16,07	23,43

Tabla 9, distancia geométrica entre la fuente sonora y los receptores de la simulación acústica

6.2.1 Tiempo de reverberación T-30

Para el caso del tiempo de reverberación T-30, el valor óptimo dado por Pérez Miñana viene en función de la frecuencia, y se comprueba que la variación entre receptores en una misma octava es mínima (tabla 11), por lo que la representación se limita a la gráfica 1, con su correspondiente tabla 10.



Gráfica 1, tiempo de reverberación en función de la frecuencia. Valores óptimos por Pérez Miñana [27]

T-30 (s)	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1k Hz	2k Hz	4k Hz	Media
M0	4,92	4,80	4,28	3,84	3,58	2,62	4,01
M1	5,45	5,67	6,17	5,88	5,08	3,24	3,15
M2	4,56	4,36	3,38	2,87	2,57	1,96	1,97
Óptimo	1,69	1,49	1,30	1,17	1,17	1,17	1,33

Tabla 10, tiempo de reverberación medido en la banda de frecuencias, valor medio de los receptores

Se comprueba que la reverberación en los tres modelos es muy superior a lo deseable, en parte debido al volumen, pero especialmente por la presencia de materiales pétreos reflectantes. El efecto de los materiales se demuestra al comparar el caso del oratorio desocupado M1 con el oratorio en época de las Cortes, provisto de decoración absorbente, M2. Cabe preguntarse, no obstante, si un mayor empleo de tejidos y

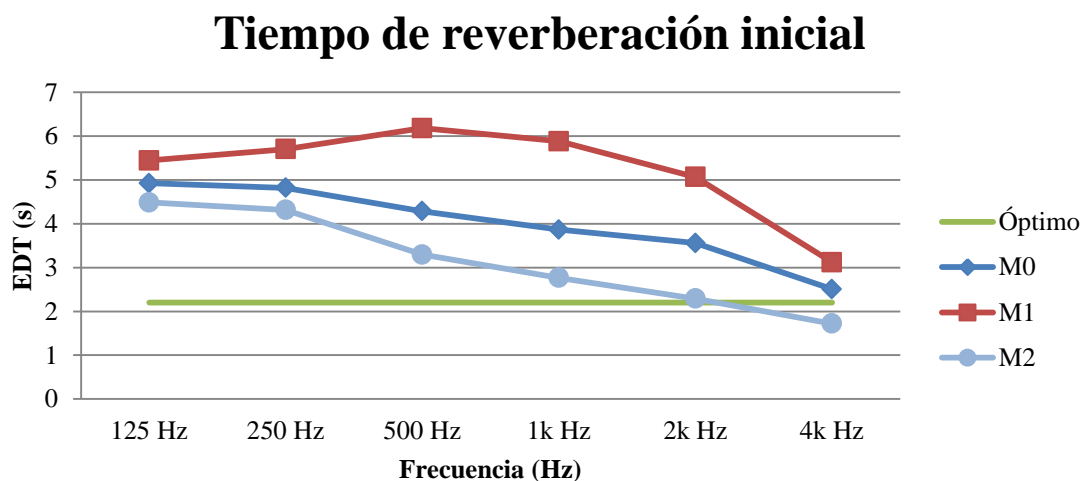
elementos de absorción acústica permitirían realmente suplir este déficit acústico, ya que ni la altura del oratorio ni su geometría pueden variarse sin una remodelación completa.

T-30 (s)	Receptor 1	Receptor 2	Receptor 3	Receptor 4	Receptor 5	Receptor 6	Receptor 7	Receptor 8	Receptor 9	Receptor 10	Media	
M0	4,08	4,18	4,12	4,08	4,08	4,17	4,16	3,89	3,93	3,90	4,06	
M1	6,05	6,04	6,04	6,05	6,07	6,05	6,05	5,99	5,96	5,96	6,02	
M2	3,18	3,16	3,18	3,11	3,19	3,16	3,15	3,06	3,06	3,04	3,13	
											Óptimo	1,23

Tabla 11, tiempo de reverberación medido entre los receptores para frecuencias entre 500 Hz y 1k Hz. Valor óptimo por Pérez Miñana para la media de frecuencias 500 Hz – 1k Hz

6.2.2 Tiempo de reverberación inicial EDT

El tiempo de reverberación inicial EDT muestra unos resultados muy similares (gráfica 2 y tabla 12), aunque en este caso sí se ha considerado apropiado exponer también la variación respecto a la posición de los receptores, como se refleja en la gráfica 3 y la tabla 13, ya que se trata de un valor subjetivo, a diferencia del T-30.

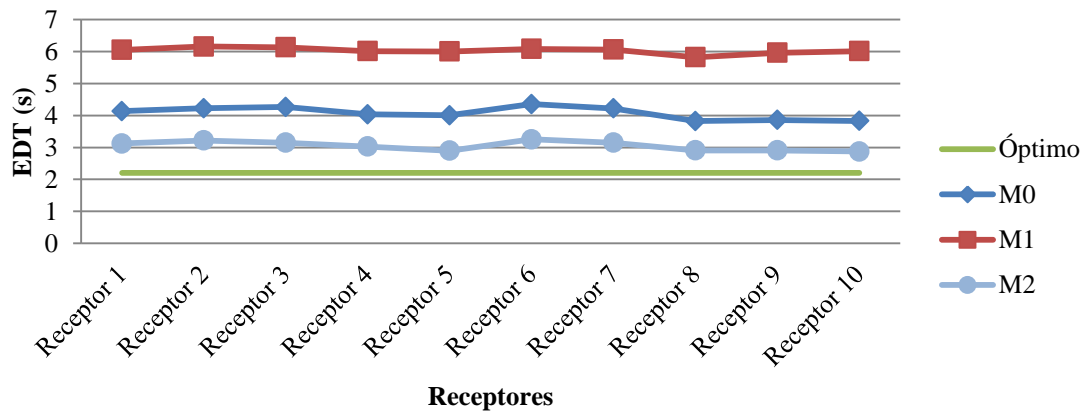


Gráfica 2, tiempo de reverberación inicial en función de la frecuencia. Valor óptimo de acuerdo con Gade [28]

EDT (s)	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1k Hz	2k Hz	4k Hz	Media	
M0	4,92	4,82	4,29	3,86	3,56	2,51	3,99	
M1	5,45	5,70	6,18	5,88	5,07	3,12	3,14	
M2	4,49	4,31	3,29	2,77	2,29	1,72	1,89	
							Óptimo	2,20

Tabla 12, tiempo de reverberación inicial medido en la banda de frecuencias, valor medio de los receptores

Tiempo de reverberación inicial



Gráfica 3, tiempo de reverberación inicial medido entre los receptores para frecuencias entre 500 Hz y 1k Hz. Valor óptimo de acuerdo con Gade [28]

EDT (s)	Receptor 1	Receptor 2	Receptor 3	Receptor 4	Receptor 5	Receptor 6	Receptor 7	Receptor 8	Receptor 9	Receptor 10	Media
M0	4,14	4,23	4,27	4,04	4,01	4,36	4,22	3,83	3,86	3,83	4,08
M1	6,06	6,16	6,14	6,02	6,01	6,09	6,07	5,82	5,96	6,02	6,03
M2	3,13	3,22	3,15	3,03	2,90	3,26	3,15	2,91	2,91	2,87	3,05
Óptimo											2,20

Tabla 13, tiempo de reverberación inicial medido entre los receptores para frecuencias entre 500 Hz y 1k Hz

En la gráfica 2 se comprueba que, para frecuencias altas, el modelo M2 sí coincide con el valor óptimo de 2.2 s propuesto por Gade [24], mientras que el modelo de la actualidad M0 se acerca considerablemente. Cabe recordar, no obstante, que el estudio de EDT resulta más fiable para las octavas de 500 Hz y 1000 Hz, por lo que debemos fijarnos en la gráfica 3. En esta gráfica, si se observa el caso M0, destaca el hecho de que receptores situados a una distancia muy similar de la fuente sonora, como son el receptor 1 y el 7 o el 4 y el 9, tienen sin embargo valores de EDT extremos, quedando 1 y 9 más cercanos al valor óptimo. Si se revisa la figura 5.2 se comprueba que el punto común entre 1 y 9 o entre 4 y 7 es su posición en planta respecto a los paramentos verticales, lo que tiene sentido desde un punto de vista acústico. Esto también se verifica al comprobar cómo estas relaciones varían en M1 y, especialmente, en M2, ya que se introducen nuevos materiales que alteran el comportamiento de las paredes y bancos.

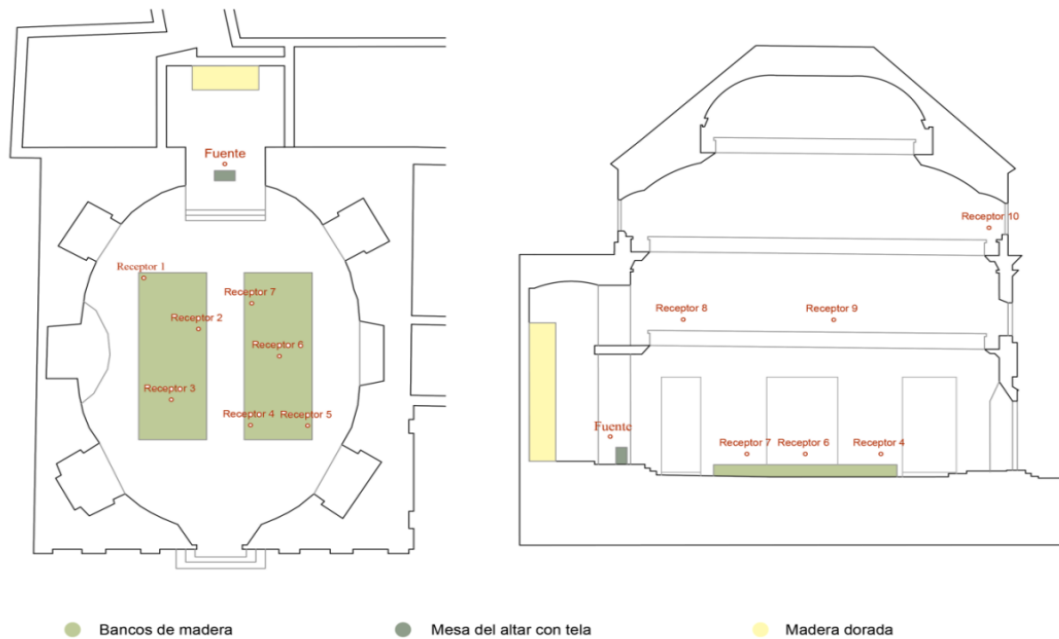
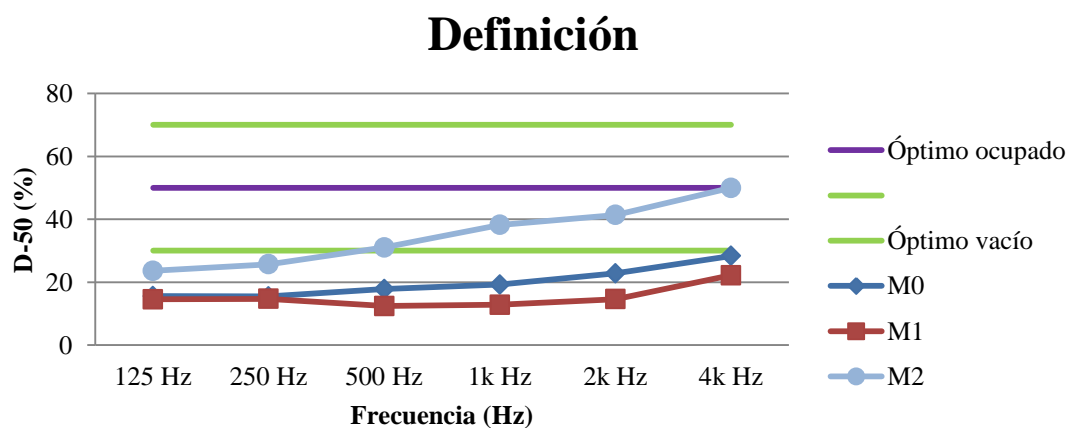


Figura 5.2, posición de receptores y fuente sonora en los modelos M0 y M1, en planta y sección

6.2.3 Definición D-50

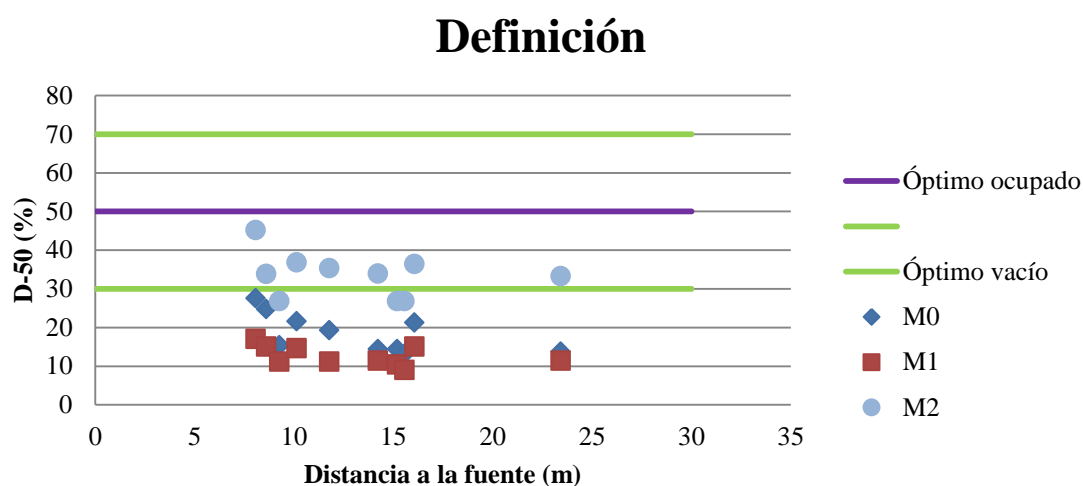
El valor óptimo de la definición D-50 depende, como se ha mencionado previamente, de la ocupación de la sala: para el caso del oratorio vacío, M1, aparece una franja aceptable, mientras que de M0 y M2, los modelos que consideran la presencia de público, se espera una aproximación a la línea que marca el 50%. Esto se refleja en las gráficas 4 y 5, que muestran el valor medio en frecuencia y la variación respecto a la distancia, respectivamente, así como en sus tablas correspondientes.



Gráfica 4, definición en función de la frecuencia. Valores óptimos para vacío y ocupado según Arau [29]

D-50 (%)	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1k Hz	2k Hz	4k Hz	Media	Óptimo
M0	15,59	15,46	17,83	19,24	22,79	28,35	19,88	50,00
M1	14,56	14,72	12,40	12,85	14,61	22,21	9,14	30 / 70
M2	23,62	25,68	31,02	38,21	41,35	49,97	20,99	50,00

Tabla 14, definición medida en la banda de frecuencias, valor medio de los receptores



Gráfica 5, definición en función de la distancia a la fuente sonora. Valores óptimos según Arau [29]

D-50 (%)	Receptor 1	Receptor 2	Receptor 3	Receptor 4	Receptor 5	Receptor 6	Receptor 7	Receptor 8	Receptor 9	Receptor 10	Media	
M0	27,55	21,60	14,40	13,15	21,25	19,25	24,70	15,40	14,35	13,70	18,54	
M1	17,00	14,65	11,40	9,00	15,05	11,15	15,05	11,15	10,40	11,40	12,63	
M2	45,20	36,85	33,95	26,80	36,40	35,30	33,85	26,85	26,85	33,25	33,53	
											Óptimo	50,00

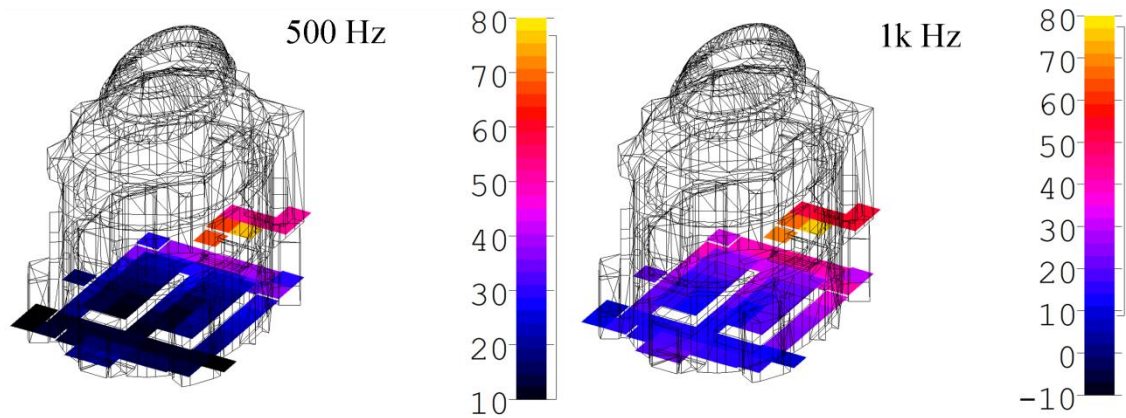
Tabla 15, definición medida entre los receptores para frecuencias entre 500 Hz y 1k Hz

El modelo M2 referente a la situación en época de las Cortes demuestra una vez más en la gráfica 4 su mejor comportamiento acústico, al presentar una definición dentro del margen óptimo para salas ocupadas [29] a partir de 500 Hz, coincidiendo con la frecuencia más común según los usos del local. Así mismo, llama la atención cómo el modelo de la sala vacía M1 se aleja de la banda óptima [29] para las frecuencias más comunes, 500 Hz y 1k Hz, en vez de mejorar acústicamente con el incremento de frecuencia. Esto se debe probablemente al efecto del gran volumen de aire en el oratorio vacío.

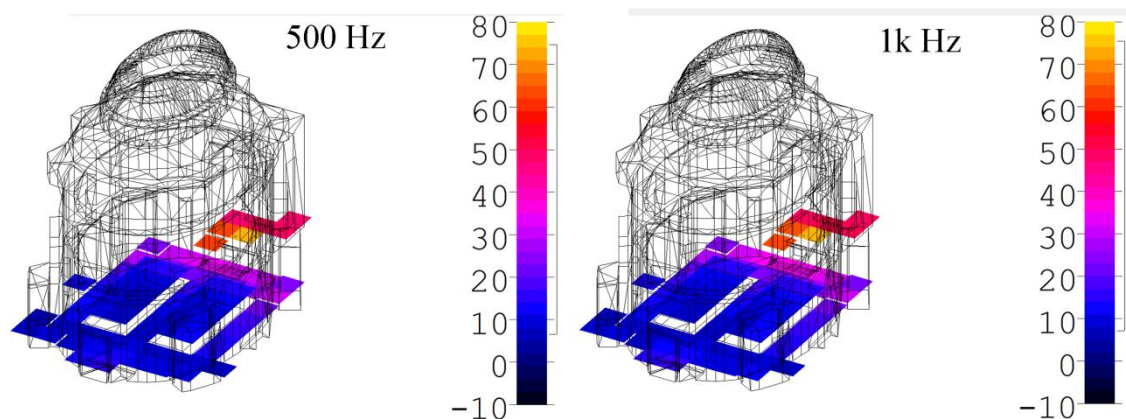
En la gráfica 5 queda patente cómo la definición se va perdiendo a medida que el receptor se aleja de la fuente sonora. Dos casos singulares rompen esta relación aparentemente lineal, como son el receptor 8 y el receptor 9, ambos situados en el piso

superior y por tanto con influencia del forjado, además de quedar más cerca de los muros.

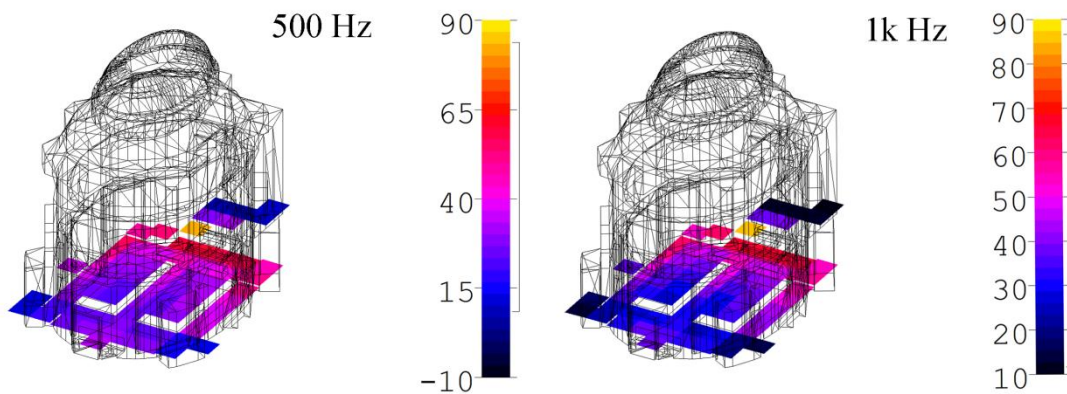
Para acceder a un análisis espacial más profundo es necesario estudiar la definición en toda la superficie de planta, para lo que se realiza un mapeado tridimensional de D-50 en el suelo de planta baja y en los bloques de bancos, situando análisis a 1 m de altura para que coincida con la posición de los espectadores. Las figuras 6.1, 6.2 y 6.3 muestran dicho análisis en los tres modelos estudiados, para las dos frecuencias más comunes de 500 Hz y 1000 Hz.



Figur 6.1, gradiente de definición en superficie para las 500 Hz y 1k Hz en el modelo M0



Figur 6.2, gradiente de definición en superficie para las 500 Hz y 1k Hz en el modelo M1



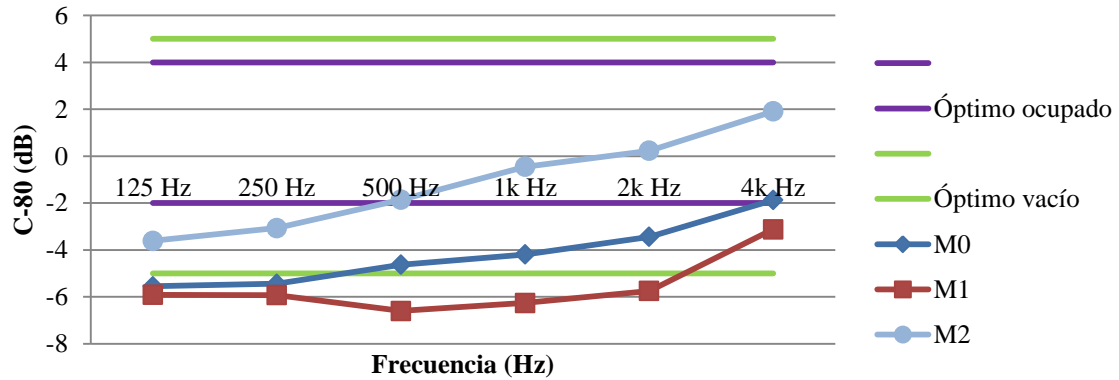
Figur 6.3, gradiente de definición en superficie para las 500 Hz y 1k Hz en el modelo M2

En los modelos referentes al estado actual, M0 y M1, se observa cómo la definición se mantiene alta en el espacio reducido del altar mayor, tras la fuente sonora, pero decae rápidamente ante el gran volumen del oratorio. En el modelo que simula la intervención de las Cortes, M2, los materiales absorbentes permiten que la definición se mantenga cerca del valor óptimo del 50% hasta el primer tercio de la planta, mientras que el dosel colocado tras la fuente sonora impide que el sonido llegue al altar mayor. Cabe mencionar, así mismo, cómo la definición es mayor en la zona de los bancos que queda junto a los muros que en el centro, probablemente debido a los tejidos colgados.

6.2.4 Claridad musical C-80

Al igual que en el parámetro anterior, el valor óptimo de la claridad C-80 viene en función de si la sala está vacío (modelo M1) u ocupada (casos M0 y M2), motivo por el que aparecen dos franjas diferentes en las gráficas 6 y 7. Se mantiene, en cualquier caso, el orden preestablecido de visualización.

Claridad del sonido

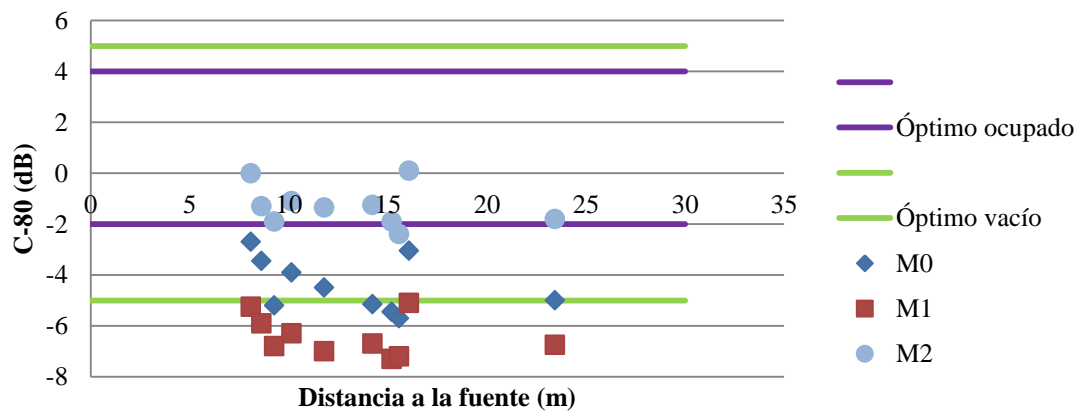


Gráfica 6, claridad en función de la frecuencia. Valores óptimos para sala ocupada según Arau [29], para sala vacía por UNE [24]

C-80 (dB)	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1k Hz	2k Hz	4k Hz	Media	Óptimo
M0	-5,55	-5,44	-4,63	-4,19	-3,44	-1,87	-4,19	-2,00
M1	-5,91	-5,93	-6,60	-6,26	-5,75	-3,12	-3,36	-5,00
M2	-3,61	-3,07	-1,86	-0,45	0,23	1,91	-0,69	-2,00

Tabla 16, claridad del sonido medida en la banda de frecuencias, valor medio de los receptores

Claridad del sonido



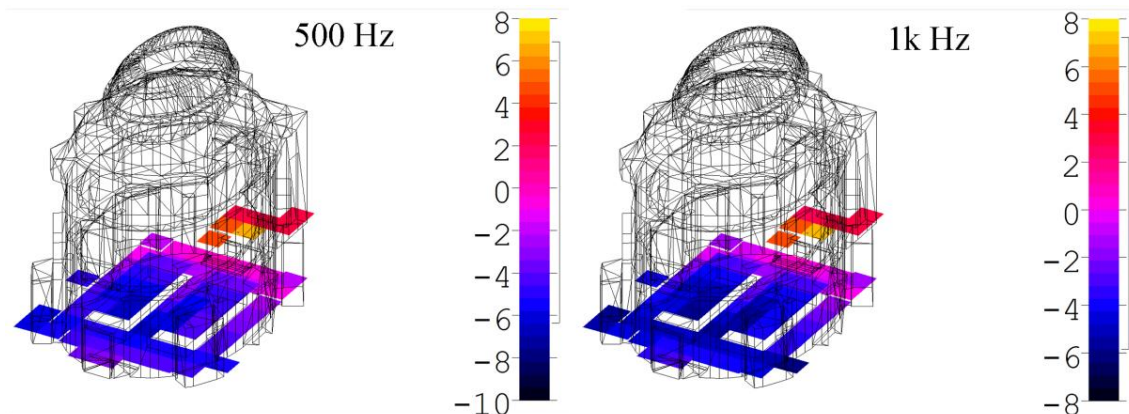
Gráfica 7, claridad en función de la distancia a la fuente sonora. Valores óptimos para sala ocupada según Arau [29], para sala vacía por UNE [24]

C-80 (dB)	Receptor 1	Receptor 2	Receptor 3	Receptor 4	Receptor 5	Receptor 6	Receptor 7	Receptor 8	Receptor 9	Receptor 10	Media	Óptimo
M0	-2,70	-3,90	-5,15	-5,70	-3,05	-4,50	-3,45	-5,20	-5,45	-5,00	-4,41	-2,00
M1	-5,25	-6,30	-6,70	-7,20	-5,10	-7,00	-5,90	-6,80	-7,30	-6,75	-6,43	-5,00
M2	0,00	-1,10	-1,25	-2,40	0,10	-1,35	-1,30	-1,90	-1,90	-1,80	-1,29	-2,00

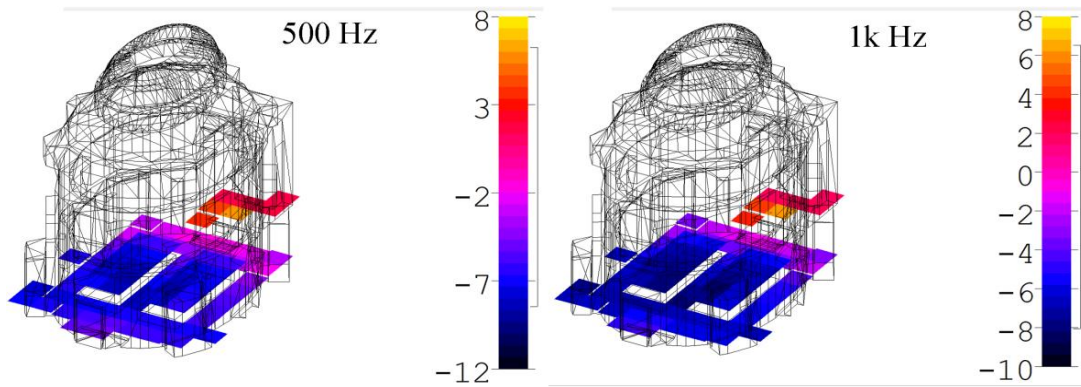
Tabla 17, claridad medida entre los receptores para frecuencias entre 500 Hz y 1k Hz

La claridad C-80 tiene un comportamiento muy parecido a la definición en la gráfica 6, donde sólo el modelo M2 alcanza la franja óptima para sala ocupada [29] a partir de 500 Hz, aunque en este caso el modelo de sala vacía M1 sí llega al umbral óptimo correspondiente [24] para frecuencias lo bastante altas.

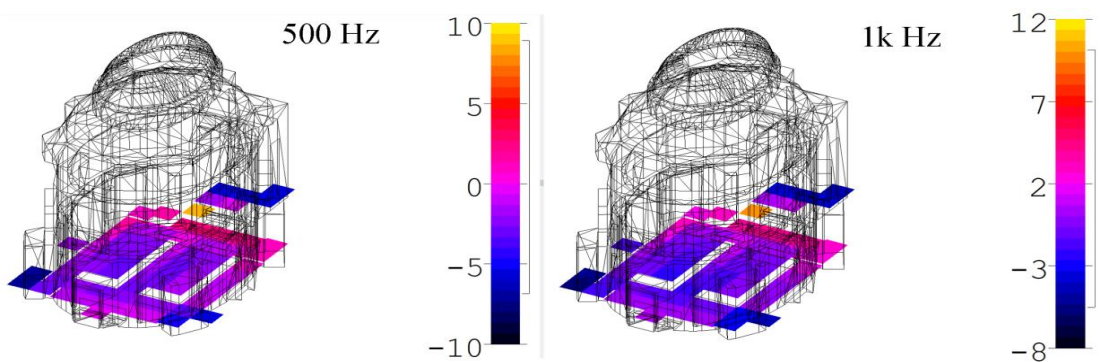
La evolución de la claridad respecto a la distancia que se aprecia en la gráfica 7 también responde a lo esperado y se asemeja a la curva dibujada por la definición, una vez se consideran, de nuevo, las excepciones de los receptores 8 y 9. Destaca, no obstante, el valor encontrado en el receptor 5 para los tres modelos, cuya claridad se aproxima a la del receptor 1 y llega a superarla en M1, a pesar de encontrarse mucho más lejos de la fuente sonora. Para estudiar esta irregularidad se recurre de nuevo al mapeado en superficie, volviendo a situar la lectura a 1 m sobre el suelo y trabajando con las frecuencias más comunes, 500 Hz y 1000 Hz, como se muestra en las figuras 6.4, 6.5 y 6.6.



Figur 6.4, gradiente de claridad en superficie para las 500 Hz y 1k Hz en el modelo M0



Figur 6.5, gradiente de claridad en superficie para las 500 Hz y 1k Hz en el modelo M1



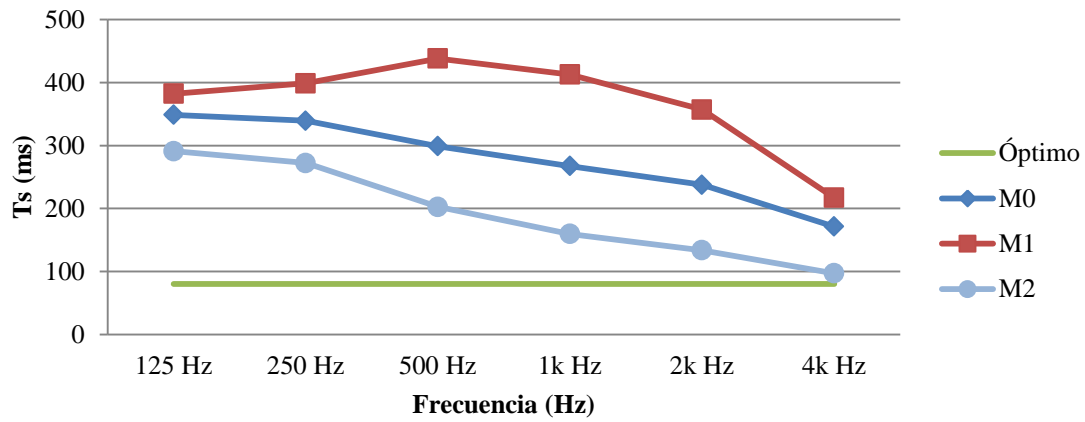
Figur 6.6, gradiente de claridad en superficie para las 500 Hz y 1k Hz en el modelo M2

Lo primero que se percibe es el mismo efecto que se ha comentado en el análisis de D-50, la forma en que los valores van decayendo con la distancia a la fuente al enfrentar un espacio diáfano, de modo que cuando alcanza la posición de los bancos quedan ya fuera de la franja óptima. En este parámetro se evidencia más la mejora acústica en la cercanía a los paramentos verticales respecto al pasillo central, no sólo en el modelo M2 sino también con los muros desnudos de M0 y M1. Se estima que los valores encontrados en el receptor 5, que se sitúa en la esquina inferior derecha, responden precisamente al encuentro de dos paramentos, así como a la cercanía de la capilla lateral.

6.2.5 Tiempo central T_s

El tiempo central T_s mide la nitidez, y cabe esperar que sea el más afectado por los diferentes cambios de materialidad encontrados entre los tres modelos. Si bien esto se comprobará con mayor exactitud en el siguiente apartado, tanto la gráfica 8 con el valor medio en función de la frecuencia como la gráfica 9 respecto a la distancia enfatizan esta realidad.

Tiempo central

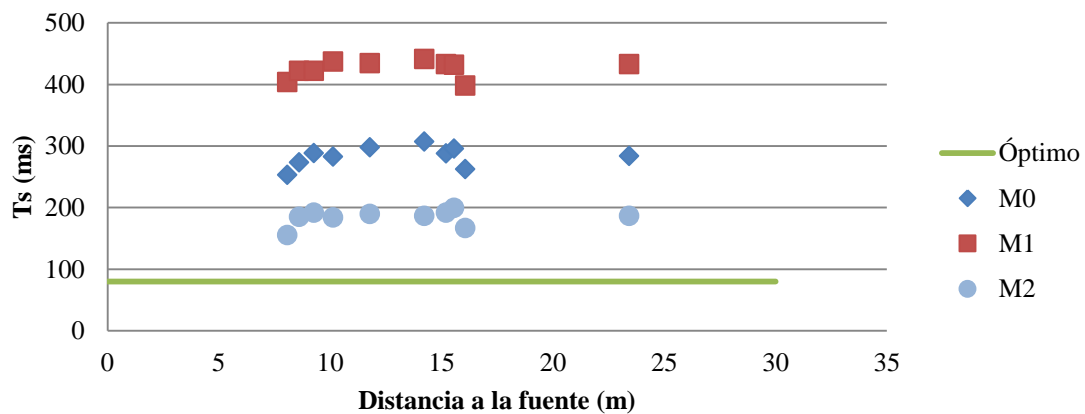


Gráfica 8, tiempo central en función de la frecuencia. Valor óptimo según ETSA de Sevilla [30]

Ts (ms)	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1k Hz	2k Hz	4k Hz	Media
M0	348,85	339,37	298,94	267,36	237,55	171,36	277,24
M1	382,19	398,78	438,09	412,81	357,10	217,17	220,61
M2	291,00	272,23	202,47	159,62	133,70	97,21	115,62
Óptimo							80,00

Tabla 18, tiempo central medido en la banda de frecuencias, valor medio de los receptores

Tiempo central



Gráfica 9, tiempo central en función de la distancia a la fuente sonora. Valor óptimo según ETSA de Sevilla [30]

T _s (ms)	Receptor 1	Receptor 2	Receptor 3	Receptor 4	Receptor 5	Receptor 6	Receptor 7	Receptor 8	Receptor 9	Receptor 10	Media
M0	253,10	282,65	306,90	295,75	262,55	297,60	273,00	288,30	287,80	283,85	283,15
M1	403,45	436,85	441,00	431,90	397,80	434,35	421,75	421,70	432,85	432,85	425,45
M2	155,15	183,90	186,15	199,55	166,65	189,65	184,75	191,35	191,35	186,45	183,50
											Óptimo 80,00

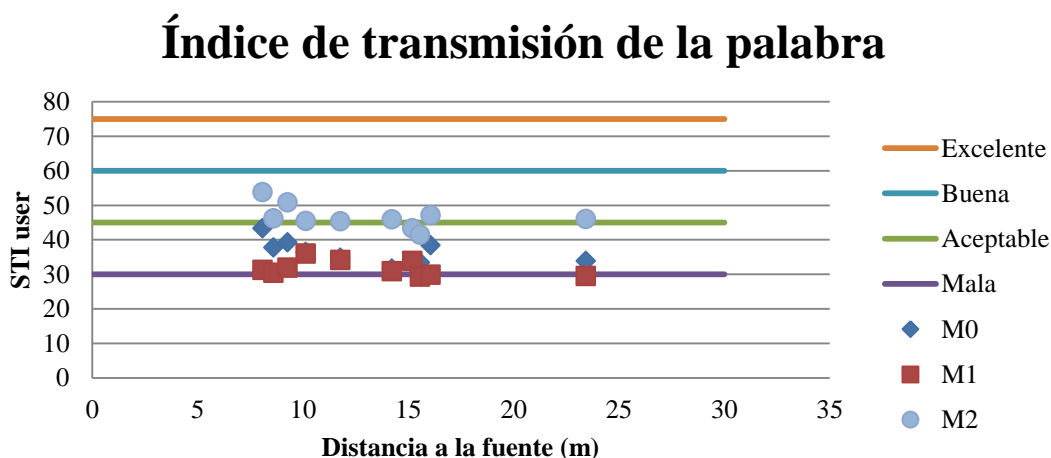
Tabla 19, tiempo central medido entre los receptores para frecuencias entre 500 Hz y 1k Hz

Cabe recordar que el valor óptimo del tiempo central [30] se situaba entre 60 y 80 ms, mientras que ninguno de los tres modelos logra alcanzar el límite superior de 80 ms. El modelo con más decoración y elementos absorbentes, M2, aún duplica el valor exigible para frecuencias de 1k Hz, como indica la gráfica 8, y tan sólo se aproxima a los 80 ms para frecuencias muy altas que no pueden esperarse en un uso normal de la sala.

Con la gráfica 9 se comprueba que una mayor cercanía a la fuente tampoco sirve para paliar la diferencia, pues las variaciones son mínimas en los tres modelos. Ante la aparente imposibilidad de alcanzar una mejora notable en la nitidez, y aunque esto podría en parte deberse a la geometría del local, cabe preguntarse si los valores óptimos tomados como referencia son apropiados para el caso de estudio, y si el propio parámetro T_s resulta fiable de cara al análisis.

6.2.6 Inteligibilidad STI

El índice de transmisión de la palabra STI, parámetro que se utiliza para medir la inteligibilidad, viene dado en función de la posición de los receptores, ya que se calcula a partir de las bandas de frecuencia. Es por ello que sólo se incluyen la gráfica 10 con los receptores y su tabla 20 asociada.



Gráfica 10, índice de transmisión de la palabra en función de la distancia a la fuente sonora. Comparado con la escala que utiliza Bjor [31]

STI	Receptor 1	Receptor 2	Receptor 3	Receptor 4	Receptor 5	Receptor 6	Receptor 7	Receptor 8	Receptor 9	Receptor 10	Media
M0	43,30	36,50	31,60	33,40	38,40	34,80	37,80	39,20	33,00	33,90	36,19
M1	31,30	36,00	30,90	29,30	29,90	34,10	30,40	31,90	33,90	29,50	31,72
M2	53,80	45,50	45,90	41,50	47,10	45,40	46,20	50,80	43,30	46,00	46,55
											Aceptable 45,00

Tabla 20, índice de transmisión de la palabra medido entre los receptores. Comparados con el mínimo aceptable según BJOR [31]

El índice rápido de transmisión de la palabra RASTI, como ya se ha comentado anteriormente, presenta variaciones mínimas respecto al STI, por lo que sus resultados se omitirán en este apartado.

En la gráfica 10 se comprueba que sólo el modelo M2, con las mejoras acústicas derivadas de la decoración, alcanza una inteligibilidad considerada aceptable [31]. El decaimiento respecto a la distancia es de igual modo evidente, siendo los receptores 1 y 8 los más cercanos a la fuente sonora y los que mayores valores presentan en M0 y M2, los modelos que consideran ocupación. Los receptores cuya inteligibilidad se aleja más del valor óptimo son el 3, el 4 y el 9. Obviando el receptor 9 por ubicarse a una mayor distancia, el peor comportamiento de los receptores 3 y 4 se justificaría porque se encuentran alejados de los paramentos verticales. Cabe también mencionar que el receptor 10, aun encontrándose más alejado de la fuente sonora que el 9, presenta mayor valor STI, quizá por situarse, al igual que la fuente, en el eje principal del óvalo.

6.3. Análisis comparativo entre los modelos simulados

Para desarrollar el estudio comparativo entre los tres modelos acústicos se recurrirá al umbral de diferencia o Just Noticeable Difference (JND), definido como <<el cambio perceptible más pequeño susceptible de ser percibido por el oyente>> [26].

La norma UNE-EN ISO 3382-1[24] determina las siguientes unidades para los parámetros medidos:

- 10 ms para el tiempo central T_s
- 0.05 para definición D-50
- 1 dB para claridad C-80
- 5% para tiempo de reverberación T30
- 5% para tiempo de reverberación inicial EDT

Cabe mencionar, no obstante, que Matellotta [32] recomienda 1.5 dB como unidad para la claridad C-80 en espacios con gran reverberación, como ha demostrado ser el caso. Es por ello que en este trabajo se considera, por tanto, el uso de los valores aportados por Matellotta para los parámetros mencionados.

Pasando, pues, a la representación gráfica, se realizarán tres comparaciones:

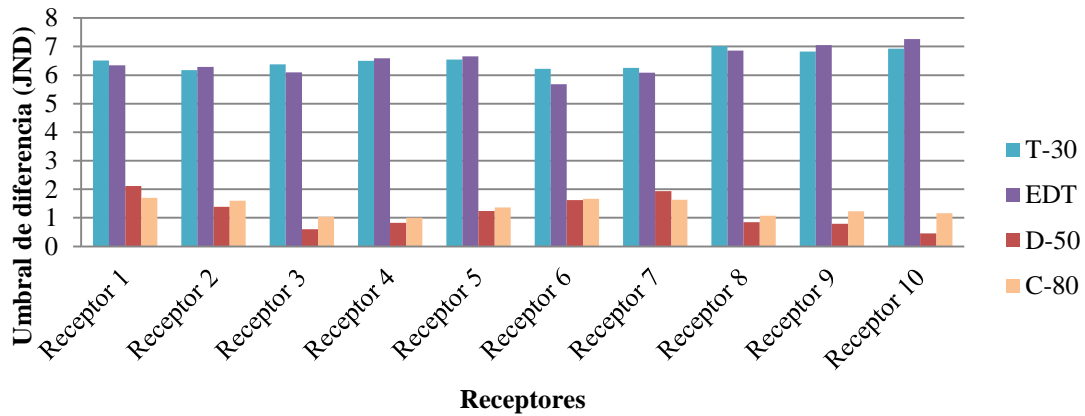
- Modelos M0 y M1, que se limitan al estado actual del oratorio y permiten comprobar los efectos de la ocupación el edificio en el campo sonoro.
- Modelos M0 y M2, de forma que se compare el estado actual con la reforma en época de las Cortes, contrastando así los efectos del aumento de decoración.
- Modelos M1 y M2, enfrentando los dos casos extremos en cuanto a absorción acústica, al estar el primero vacío y el segundo ocupado y con gran número de tejidos decorativos.

Se mostrarán primero las tres comparaciones mencionadas, listando en ellas todos los parámetros acústicos para cada receptor, y seguidamente se estudiará cada parámetro en mayor profundidad al exponer sus variaciones en cada receptor y modelo.

Se ha comprobado anteriormente que el tiempo central era el parámetro que más se alejaba de las condiciones óptimas, así como el que más variaba entre los tres modelos. Esto induce una gran diferencia en unidades JND que dificulta la lectura del resto de

parámetros, por lo que en los análisis comparativos se omitirá T_s y se centrará la vista en los otros valores.

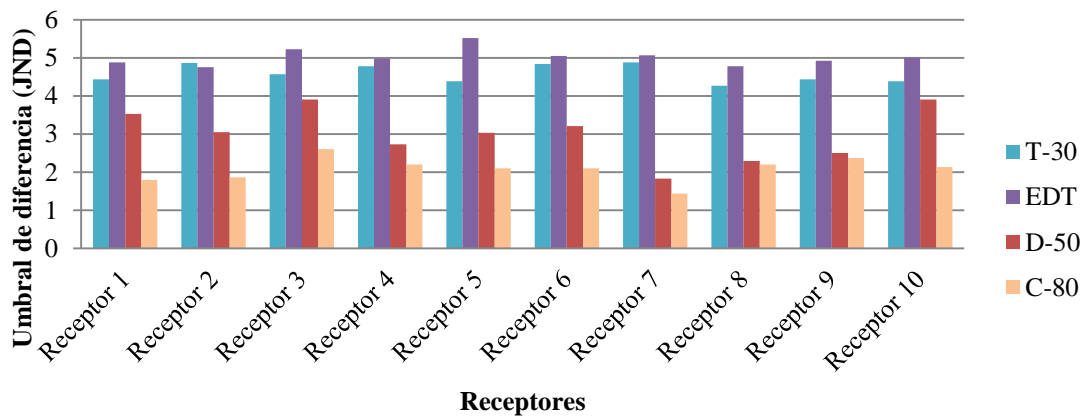
M0-M1



Gráfica 11, umbral de diferencia de los parámetros acústicos en los distintos receptores, para el caso M0-M1, sin T_s ,

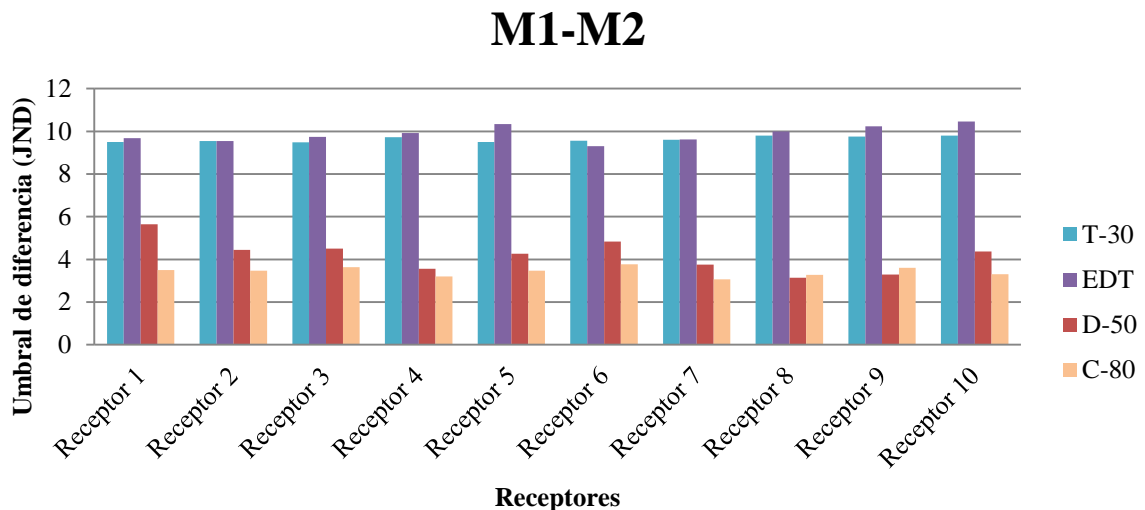
Se comprueba con la gráfica 11 que la ocupación de la sala no tiene un gran impacto en la definición ni en la claridad del sonido. Sí afecta al tiempo de reverberación y al tiempo de reverberación inicial, cuyos valores son, como ya se vio en el apartado anterior, muy similares entre sí.

M0-M2



Gráfica 12, umbral de diferencia de los parámetros acústicos en los distintos receptores, para el caso M0-M2

La gráfica 12 corrobora el efecto beneficioso de los tejidos y los materiales con absorción acústica sobre el campo sonoro. Se verifica una mejora en todos los parámetros, superando los 4 JND en reverberación para todos los parámetros (T-30 objetiva y EDT subjetiva), con una media de 3 JND en el caso de la definición D-50 y 2 JND para la claridad C-80. Los dos receptores que más acusan el cambio son el 3 y el 6, ambos situados a una distancia considerable de la fuente sonora y sin ningún paramento vertical cercano.

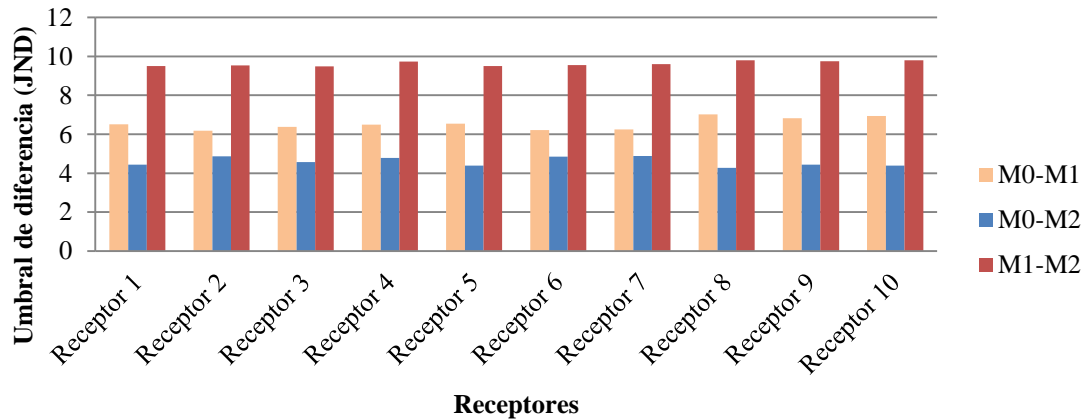


Gráfica 13, umbral de diferencia de los parámetros acústicos en los distintos receptores, para el caso M1-M2

En la gráfica 13 se comparan los dos modelos extremos, el M1 desocupado y con la decoración actual y el M2 con la actuación de las Cortes sobre el oratorio. Ya se ha demostrado el efecto beneficioso tanto de la decoración introducida como de la presencia de público, por lo que el umbral de diferencia entre los parámetros M1 y M2 se resume en la suma aritmética de los valores JND de las dos comparativas anteriores, M0-M1 y M0-M2.

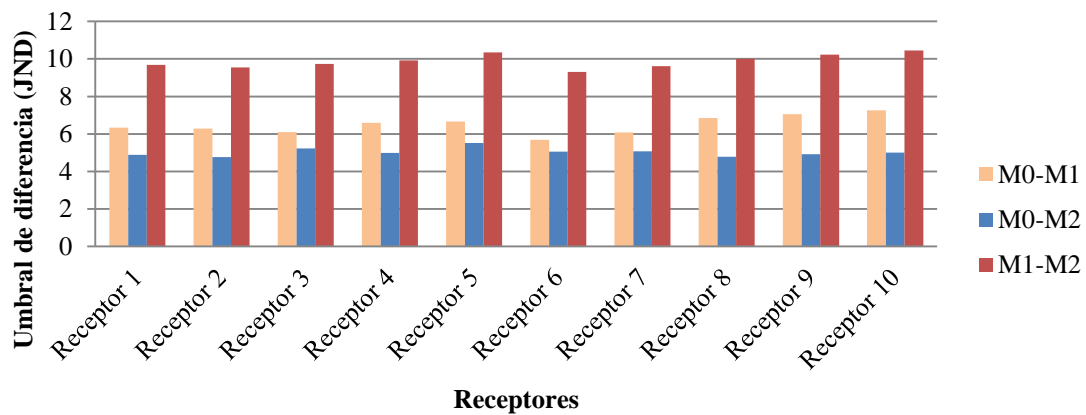
Una vez analizados los resultados globales de los tres análisis comparativos, se continúa con un estudio pormenorizado de cada uno de los parámetros.

Tiempo de reverberación



Gráfica 14, umbral de diferencia para el tiempo de reverberación entre M0-M2, M1-M2 y M0-M1

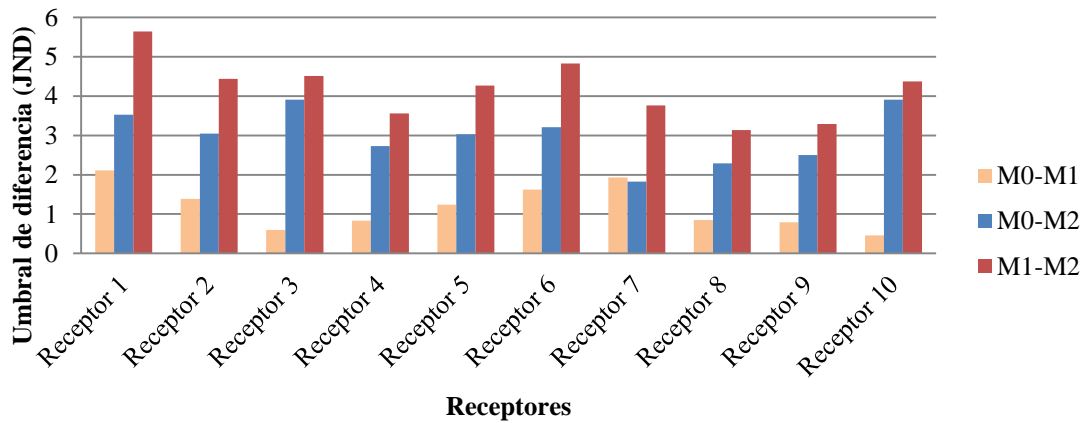
Tiempo de reverberación inicial



Gráfica 15, umbral de diferencia para el tiempo de reverberación inicial entre M0-M2, M1-M2 y M0-M1.

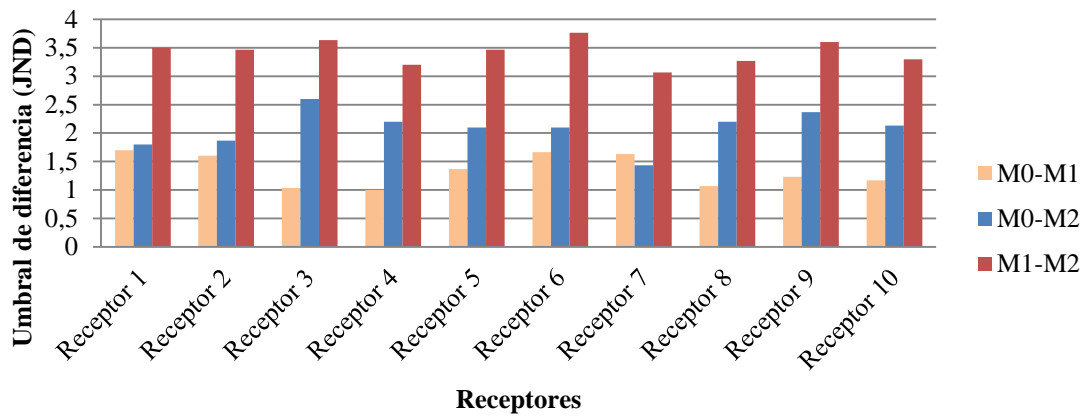
En las gráficas 14 y 15 se comprueba que las variaciones en el tiempo de reverberación debidas a la ocupación del local, así como las introducidas por la decoración, son uniformes en todo el recinto, sin mostrar alteraciones notables entre unos receptores y otros.

Definición



Gráfica 16, umbral de diferencia para la definición en las comparaciones M0-M2, M1-M2 y M0-M1.

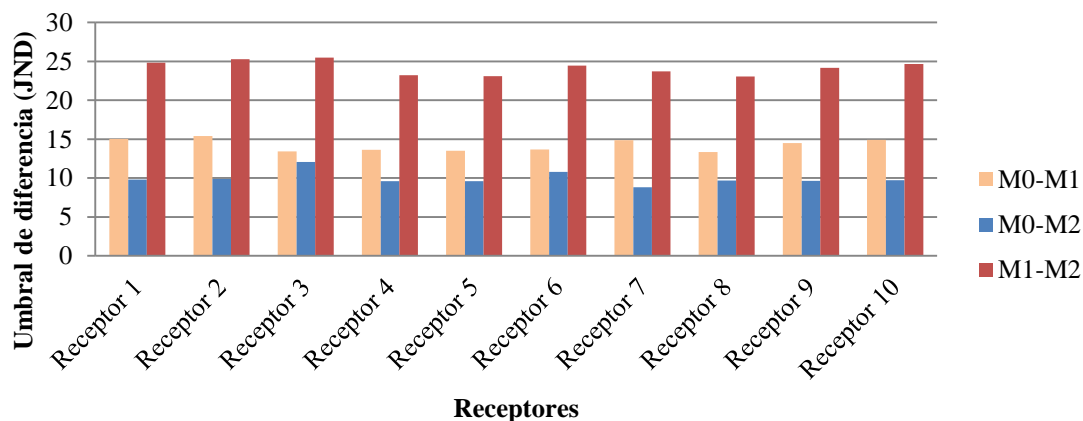
Claridad del sonido



Gráfica 17, umbral de diferencia para la claridad del sonido en las comparaciones M0-M2, M1-M2 y M0-M1.

Las gráficas 16 y 17 vuelven a demostrar que la ocupación del local tiene un efecto mínimo en la definición y la claridad del sonido, mientras que la decoración sí introduce un efecto notable en ambos parámetros. Cabe resaltar que en este caso las mejoras son heterogéneas, los efectos de la ocupación y la decoración dependen de la posición de los receptores respecto a la fuente sonora y a sus alrededores.

Tiempo central



Gráfica 18, umbral de diferencia para el tiempo central en las comparaciones M0-M2, M1-M2 y M0-M1.

Ya se ha mencionado que el tiempo central es el parámetro más alejado del valor óptimo, por lo que una mejora de casi 25 JND en el campo sonoro al combinar ocupación y materiales con absorción acústica es digna de consideración de cara a futuras intervenciones, aunque ya se ha comprobado que no basta para alcanzar las condiciones ideales. Pormenorizando en el estudio de los diferentes receptores se comprueba que las variaciones respecto a la posición son mínimas, por lo que es seguro afirmar que en el modelo M2 se ha alcanzado una mejora uniforme para toda la estancia.

6.4. Conclusiones

Han quedado probados los conocimientos acústicos del arquitecto de las Cortes Antonio Prat y del resto de responsables de la actuación realizada en el oratorio San Felipe Neri en 1811. Los diferentes estudios de época consultados se corresponden en gran medida con los conocimientos actuales, y el modelo acústico en que se recrean las condiciones de esa época, M2, es el que más se acerca a los valores óptimos en la simulación. No obstante, los resultados de la simulación distan mucho de ser ideales.

Dado que en diversos parámetros acústicos no existe un deterioro de los resultados a medida que la distancia fuente-receptor aumenta, se puede afirmar la relativa uniformidad de valores encontrada en los diferentes receptores, lo cual podría considerarse un logro de la tipología oval, probablemente justificado por la reflexión en torno a los focos de la elipse que describía Patte [33], aunque este fenómeno concreto requeriría otro estudio en el que se colocase la fuente sonora en uno de los “focos” del óvalo.

La reverberación y la nitidez medidas en los tres modelos, en cambio, no alcanzan las condiciones adecuadas para el uso asignado (transmisión de la palabra). Aunque las mejoras introducidas por ocupación y decoración en el modelo M2 constituyen, como ya se ha comentado, una mejoría notable, permitiendo incluso que parámetros como la claridad del sonido alcancen valores óptimos, tanto T-30 como D-50 siguen quedando lejos de lo esperado, ya se deba a la geometría del local, a su volumen o a la presencia de mármoles y yesos reflectantes que la decoración textil no alcanza a cubrir del todo.

La inteligibilidad de la palabra (STI) muestra por su parte buenos resultados una vez que se aplica un mínimo de decoración y con la ocupación pertinente, al igual que la claridad y la definición del sonido, por lo que el oratorio podría funcionar como tal si tan sólo se resolviesen los problemas de reverberación mencionados. Idealmente se acotaría el espacio, alterando así su geometría y volumen, al tiempo que se acerca los receptores a la fuente, si bien esto presenta grandes dificultades al tratarse de un edificio patrimonial protegido. Las posibles soluciones deberán, en consecuencia, centrarse en la distribución fuente-receptor y en añadir decoración textil u otras medidas de acondicionamiento pasivo, en una actuación que recordaría, de hecho, a la efectuada en 1811.

Bibliografía

1. Bibliografía citada

[1] RODRÍGUEZ LIÑÁN, C. (Enero-Marzo 2011). *Inspección mediante técnicas no destructivas de un edificio histórico: oratorio San Felipe Neri (Cádiz)*. Informes de la Construcción, Vol. 63, 521, pp. 13-22.

[2] Andalucía Información. (Agosto de 2009). La cripta de San Felipe Neri [en línea] <https://andaluciainformacion.es/andalucia/74198/la-cripta-de-san-felipe-neri> [capturado: 12 de marzo de 2021]

[3] BUTRÓN PRIDA, G. (Enero 2011). *El Oratorio de San Felipe Neri*. Andalucía en la historia, 31, pp. 48-52.

[4] PEMÁN MEDINA, M. (1980). *La Iglesia de San Felipe Neri, la arquitectura del templo y su significación a la luz de nuevos datos*. Boletín del museo de Cádiz, 2, pp. 29-100.

[5] CUEVAS DEL BARRIO, J. (2007). *La evolución de las iglesias de planta ovalada. Hipótesis para la planta de San Carlo alle Quattro Fontane*. Boletín de arte, 28, pp. 105-126

[6] GENTIL BALDRICH, J. M. (1994). *Planta oval y traza elíptica en la arquitectura: Consideraciones geométricas y un ejemplo español*. Valladolid.

[7] JIMÉNEZ MARTÍN, A. (1981). *Antecedentes formales del oratorio San Felipe Neri, Cádiz*. Boletín del museo de Cádiz, 4, pp. 113-206.

[8] HOWARD, D. y MORETTI, L. (2009). *Sound and space in Renaissance Venice: architecture, music, acoustics*. Yale University Press.

[9] RUIZ JIMÉNEZ, M. (Agosto de 2003). *Los salones de Cortes entre 1810 y 1814*. Cuadernos de Ilustración y Romanticismo, 11, pp. 99-119.

[10] GAUTIER, E. (1896). *Cortes Generales y extraordinarias, 24 de Septiembre de 1810*. Cádiz, Talleres Tipográficos de Manuel Álvarez.

[11] GENTIL BALDRICH, J. M. (1989). *La tipología arquitectónica de las salas parlamentarias doceañistas: una hipótesis de origen y significación*. Sevilla: Parlamento de Andalucía

- [12] MESONERO ROMANOS, R. (1861) *El Antiguo Madrid, paseos histórico-anecdóticos por las calles y casas de esta Villa*. Madrid: Establecimiento tipográfico de Don F. de P. Mellado
- [13] SENDRA SALAS, J. J. y NAVARRO CASAS, J. (1998) *Análisis acústico de los tipos eclesiales*. Universidad de Sevilla, Instituto Universitario de Ciencias de la Construcción.
- [14] SENDRA SALAS, J. J. y NAVARRO CASAS, J. (1997) *La evolución de las condiciones acústicas en las iglesias: del Paleocristiano al Tardobarroco*. Universidad de Sevilla, Instituto Universitario de Ciencias de la Construcción.
- [15] MOISY, P. (1963) VALLERY-RADOT, Jean. *Le recueil de plans d'édifices de la Compagnie de Jésus conservé à la Bibliothèque Nationale de Paris, suivi de l'inventaire du Recueil de Quimper" par... et de l'" Inventaire des plans des Archives romaines de la Compagnie*. Roma: Edmond Lamalle SI.
- [16] HOWARD, D. y MORETTI, L. (2009) *Sound and Space in Renaissance Venice: architecture, music, acoustics*. Londres: Yale University Press.
- [17] CASTAÑEDA GARCÍA, R. (2015) *Ilustración y educación. La congregación del Oratorio de San Felipe Neri en Nueva España (siglo XVIII)*. Universidad Nacional Autónoma de México.
- [18] NAVASCUÉS PALACIO, P. (1983) *Estudio Crítico de la Arquitectura Civil de Benito Bails*. Murcia: Colegio Oficial de Aparejadores y Arquitectos Técnicos de Murcia.
- [19] BAILS, B. (1796) *Elementos de matemática, Tomo IX, Parte I*. Madrid: Imprenta de la Viuda de D. Joaquín Ibarra.
- [20] COX, T. J. y D'ANTONIO, P. (2004) *Acoustic absorbers and diffusers: theory, design and application*. Londres, Spon Press
- [21] ALONSO, A., SENDRA, J., SUÁREZ, R. y ZAMARREÑO, T. (Octubre de 2013) *Acoustic evaluation of the cathedral of Seville as a concert hall and proposals for improving the acoustic quality perceived by listeners*. Institute of Architecture and Building Science, University of Seville
- [22] Acoustic Project Bureau (2003). Web absorption data eng [en línea] <http://www.akustik.ua> [capturado: 21 de abril de 2021]
- [23] DESARNAULDS, V. y CARVALHO, C. (Enero de 2002) *Sound absorption of 18th-century baroque woodcarving in churches*. Proceeding of the Inter-Noise 2002

[24] UNE-EN-ISO 3382-1:2010: Acústica, Medición de parámetros acústicos en recintos, Parte 1: Salas de espectáculos. Asociación Española de Certificación y Normalización

[25] CARRIÓN ISBERT, A. (1998) *Diseño acústico de espacios arquitectónicos*. Barcelona: Edicions UPC

[26] ALONSO CARRILLO, A. (2016). *El sonido de las catedrales de Sevilla y Granada: acústica y recuperación patrimonial*. Barcelona: Full Color Printcolor S.L.

[27] PÉREZ MIÑANA, J. (1969). *Compendio Práctico de Acústica*. Barcelona: Labor

[28] GADE, A. C. (2014). *Acoustics in Halls for Speech and Music*. In *Springer handbook of acoustics* (pp. 317-366). Springer, New York

[29] ARAU, H. (1999). *ABC de la Acústica Arquitectónica*. Barcelona CEAC, pp. 190

[30] VACAS CABRERA, C. (Junio 2019). *Acústica de salas alternativas de teatro en el centro histórico de Sevilla*. Universidad de Sevilla

[31] BJOR, O. H. (2004). *Measure Speech Intelligibility with a Sound Level Meter*. *Sound and Vibration*, 38 (10), pp. 10-15

[32] MARTELLOTTA, F. (2010). *The just noticeable difference of center time and clarity index in large reverberant spaces*. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 128 (2), pp. 654-663

[33] PATTE, P. (1782) *Essai sur l'architecture théâtrale, ou, De l'ordonnance la plus avantageuse à une salle de spectacles, relativement aux principes de l'optique & de l'acoustique: Avec un examen des principaux théâtres de l'Europe, & une analyse des écrits les plus importants sur cette matiere*. Número 57. Chez Moutard.

2. Bibliografía consultada

Interior del oratorio y materiales: GONZÁLEZ PÉREZ, E. (2005). El oratorio San Felipe de Cádiz. [en línea] <http://www.lahornacina.com/dossiercadiz.htm> [capturado: 25 de octubre de 2020]

Sección interior San Felipe: ÁLVAREZ, J. A. Oratorio San Felipe Neri. [en línea] <https://i.pinimg.com/originals/73/93/e3/7393e399d5f4fada08702df89937ecfa.jpg> [capturado: 25 de octubre de 2020]

3. Trabajos y tesis de referencia

VACAS CABRERA, C. (Junio 2019). *Acústica de salas alternativas de teatro en el centro histórico de Sevilla*. Universidad de Sevilla

ALONSO CARRILLO, A. (2016). *El sonido de las catedrales de Sevilla y Granada: acústica y recuperación patrimonial*. Barcelona: Full Color Printcolor S.L.

4. Catálogo de figuras

Figura 0 [Portada] Fotografía propia de la maqueta de la ciudad de Cádiz, de 1779, elaborada en madera y marfil. Situada en el museo de las Cortes de Cádiz [editada mediante el software *Photoshop*]

Figura 1.1 Sede Electrónica del Catastro (Gobierno de España) [en línea] <https://www1.sedecatastro.gob.es/Cartografia/mapa.aspx?buscar=S> [capturado: 25 de octubre de 2020] [editada mediante el software *Photoshop*]

Figura 1.2 SIERRA ALONSO, A. y SIERRA ALONSO, L. (2004). *Cádiz (2a. ed)*. Madrid: Sílex ediciones S.L.

Figura 3.1 Elaboración propia, a partir del software de dibujo asistido *AutoCAD*

Figura 4.1 y Figura 4.2 CUEVAS DEL BARRIO, J. (2007). *La evolución de las iglesias de planta ovalada. Hipótesis para la planta de San Carlo alle Quattro Fontane*. Boletín de arte, 28

Figura 4.3 JIMÉNEZ MARTÍN, A. (1981). *Antecedentes formales del oratorio San Felipe Neri, Cádiz*. Boletín del museo de Cádiz, 4, pp. 113-206.

Figura 4.4 GENTIL BALDRICH, J. M. (1004). *Planta oval y traza elíptica en la arquitectura: Consideraciones geométricas y un ejemplo español*. Valladolid.

Figura 4.5 y Figura 4.6 JIMÉNEZ MARTÍN, A. (1981). *Antecedentes formales del oratorio San Felipe Neri, Cádiz*. Boletín del museo de Cádiz, 4, pp. 113-206.

Figura 4.7 GAUTIER, E. (1896). *Cortes Generales y extraordinarias, 24 de Septiembre de 1810*. Cádiz, Talleres Tipográficos de Manuel Álvarez.

Figura 4.8 Diario de Cádiz, efemérides (febrero de 2011). 1911 La ciudad recuerda el traslado de las Cortes a Cádiz. [en línea] https://www.diariodecadiz.es/efemerides/ciudad-recuerda-traslado-Cortes-Cadiz_0_454754555.html [capturado: 31 de marzo de 2021]

Figura 4.9 SUGRANYES FOLETTI, S. (2011) *La colección de dibujos Rabaglio: un ejemplo de la actividad de dos maestros emigrantes italianos en España, (1737-1760)*. Universidad Complutense de Madrid.

Figura 4.10 GENTIL BALDRICH, J. M. (1989). *La tipología arquitectónica de las salas parlamentarias doceañistas: una hipótesis de origen y significación*. Sevilla: Parlamento de Andalucía

Figura 4.11 GENTIL BALDRICH, J. M. (1997). *Noticia de Antonio Prat, arquitecto del Salón de Cortes de 1813*. Boletín de la Real Academia de Bellas Artes de San Fernando, Núm. 85, 461-503. Segundo Semestre de 1997

Figura 4.12 BAILS, B. (1796) *Elementos de matemática, Tomo IX, Parte I*. Madrid: Imprenta de la Viuda de D. Joaquín Ibarra.

Figura 5.1 RIOL, G. (Julio de 2014). Misa en latín en el Oratorio de San Felipe. Onda Cádiz Digital [en línea] <http://ocadizdigital.es/noticia/semana-santa/misa-en-lat%C3%ADn-en-el-oratorio-de-san-felipe> [capturado: 12 de marzo de 2021]

Figura 5.2 y 5.5 Elaboración propia, a partir del software de dibujo asistido *AutoCAD*

Figura 5.3, 5.4, 5.6 y 5.7 Elaboración propia, a partir del software de diseño *SketchUp*

Figura 6.1, 6.2, 6.3, 6.4, 6.5 y 6.6 Elaboración propia, a partir del software de simulación del campo sonoro *CATT-Acoustic*.

Figura A.1 SIERRA ALONSO, A. y SIERRA ALONSO, L. (2004). *Cádiz (2a. ed)*. Madrid: Sílex ediciones S.L.

Figura A.2 Interior del oratorio y materiales: GONZÁLEZ PÉREZ, E. (2005). El oratorio San Felipe de Cádiz. [en línea] <http://www.lahornacina.com/dossiercadiz.htm> [capturado: 25 de octubre de 2020]

Figuras A.3 y A.4 Elaboración propia, a partir del software de dibujo asistido *AutoCAD*

Figura A.5 Elaboración propia, a partir del software de diseño *SketchUp*

Anexo I. Levantamiento del oratorio San Felipe Neri

Neri

Ante la imposibilidad de visitar el edificio para realizar medidas in situ, y careciendo de una planimetría completa del edificio, el modelo acústico se ha levantado a partir de la documentación existente (Figuras A.1 y A.2), así como de las nociones de geometría y simetría que se derivan de la tipología del edificio.

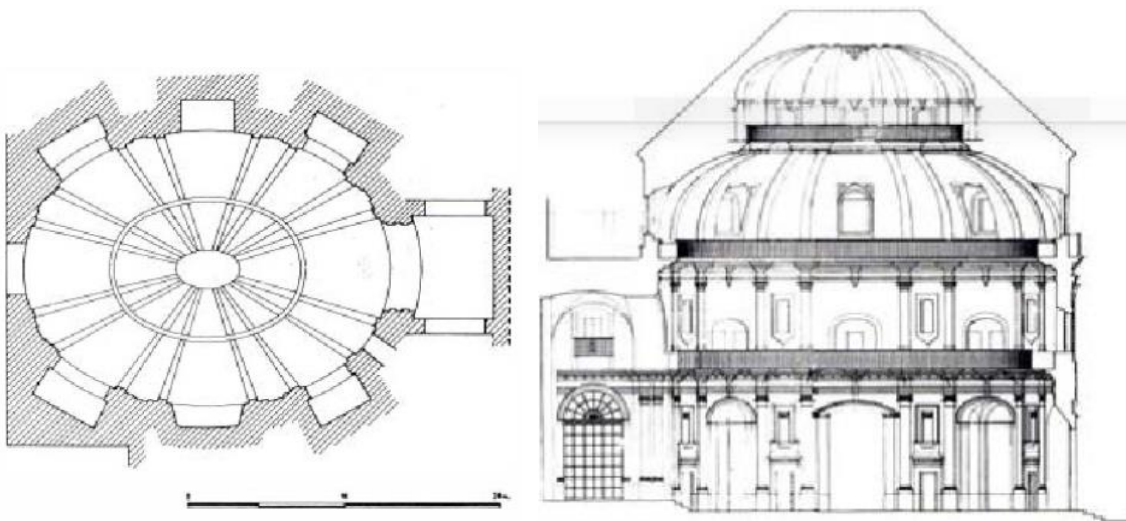


Figura A.1, planta y sección del oratorio San Felipe Neri

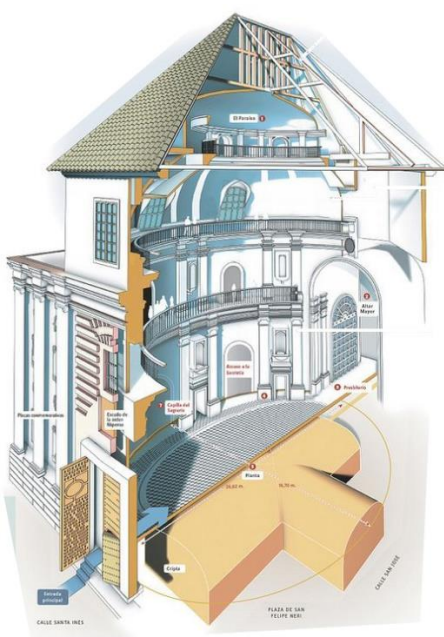
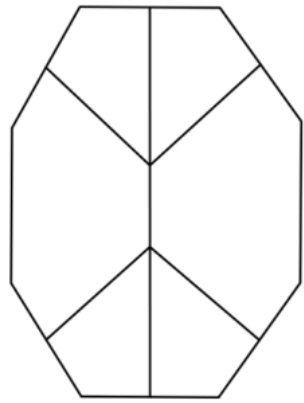
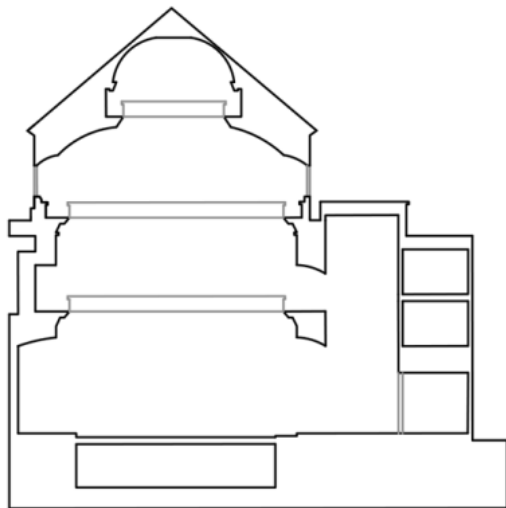
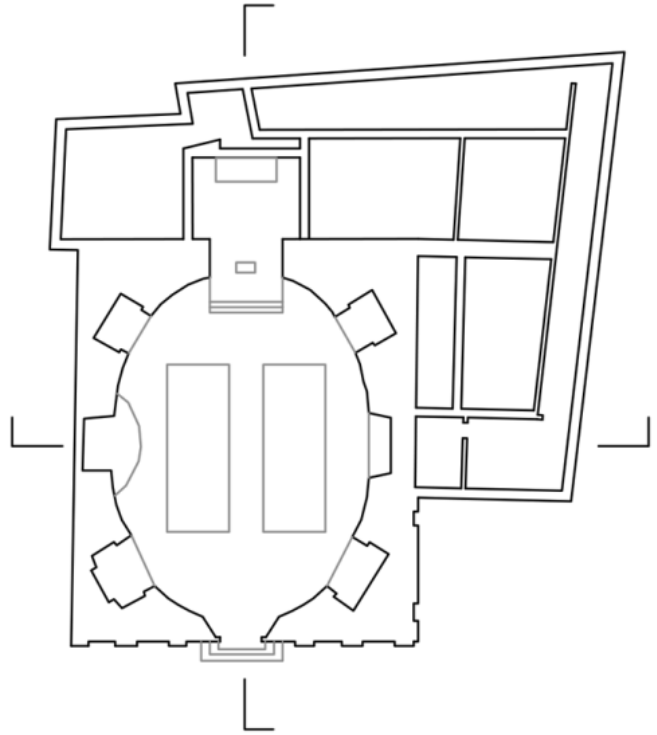


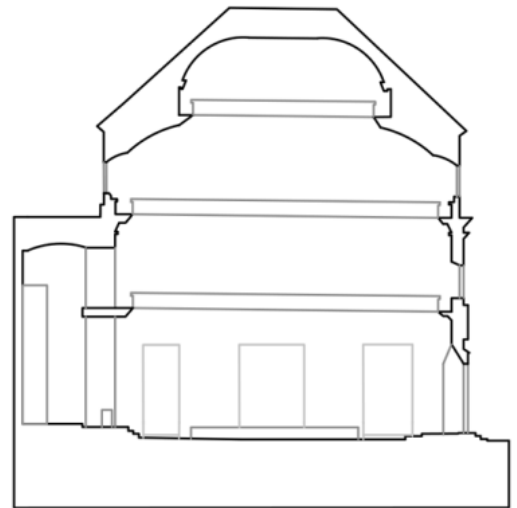
Figura A.2, sección tridimensional del oratorio San Felipe Neri



Cubierta



Sección A-A'



Sección B-B'

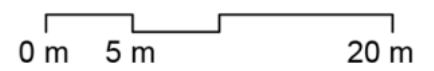


Figura A.3. levantamiento en plantas y secciones del oratorio San Felipe Neri

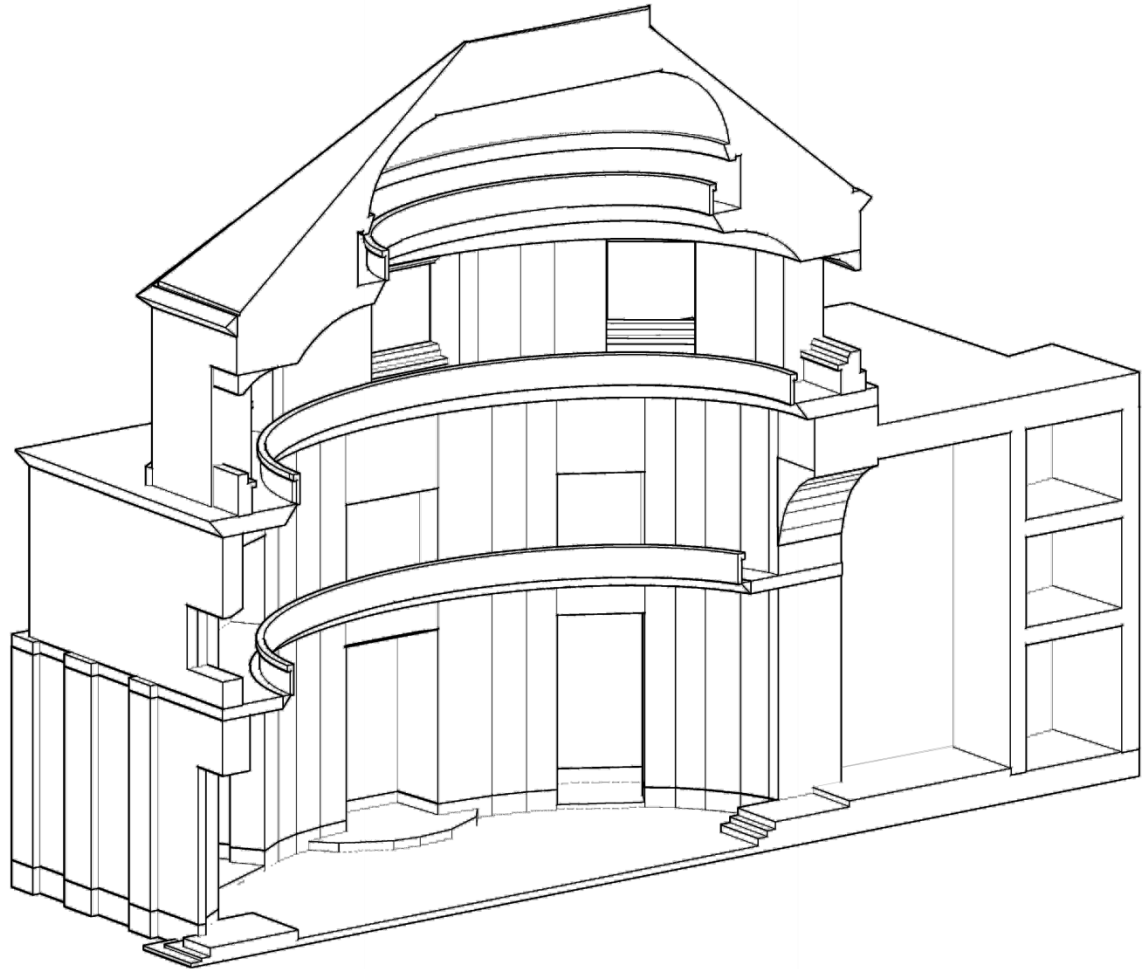


Figura A.4, levantamiento tridimensional del oratorio San Felipe Neri

Una vez generada la planimetría con el software de dibujo asistido *AutoCAD*, el modelo tridimensional se exporta al software *SketchUp*, donde se realizan los últimos retoques para ajustar más el modelo al caso real, se limita el levantamiento a la superficie interior del oratorio en que se estudiará el campo sonoro y se asignan los diferentes materiales como ya se explicó en el apartado 5. Un modelo acústico muy parecido al final, basado en la simetría del espacio, puede observarse en la figura A.5.

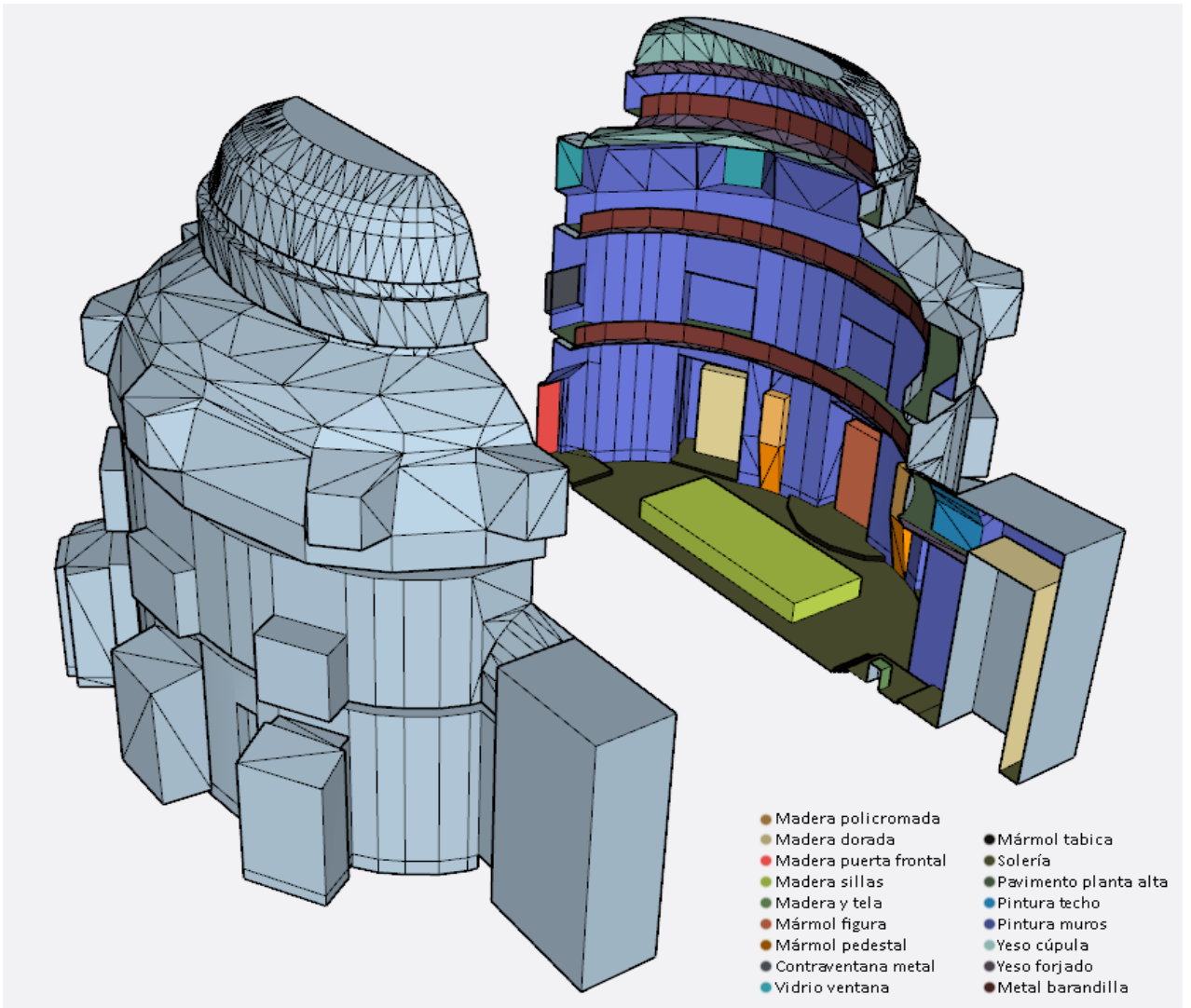
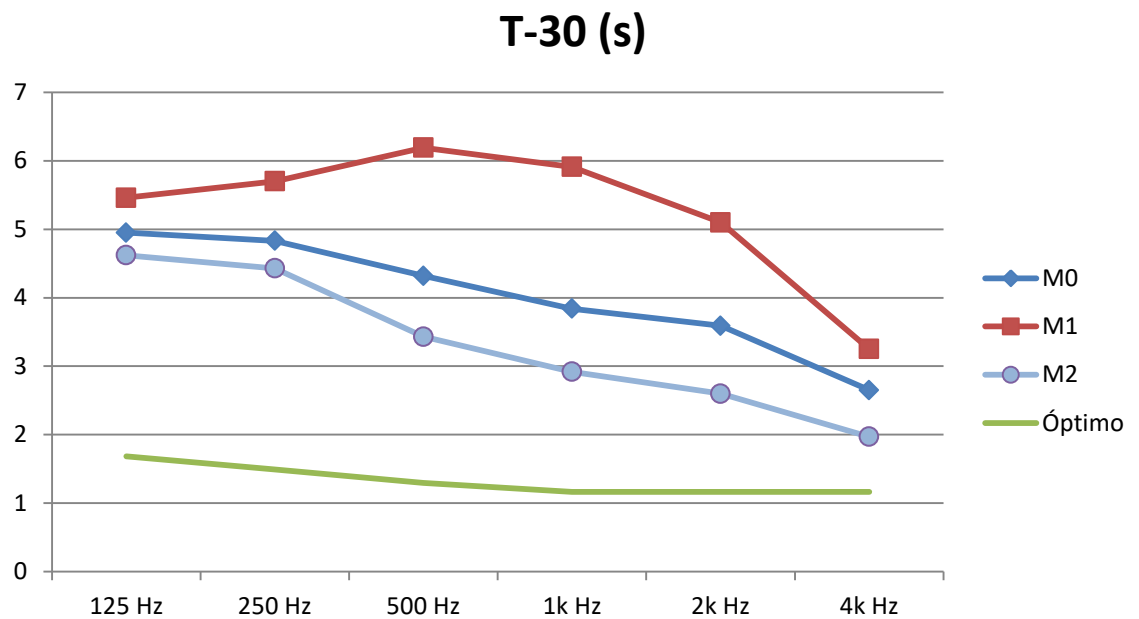


Figura A.5, sección del modelo acústico del oratorio San Felipe Neri

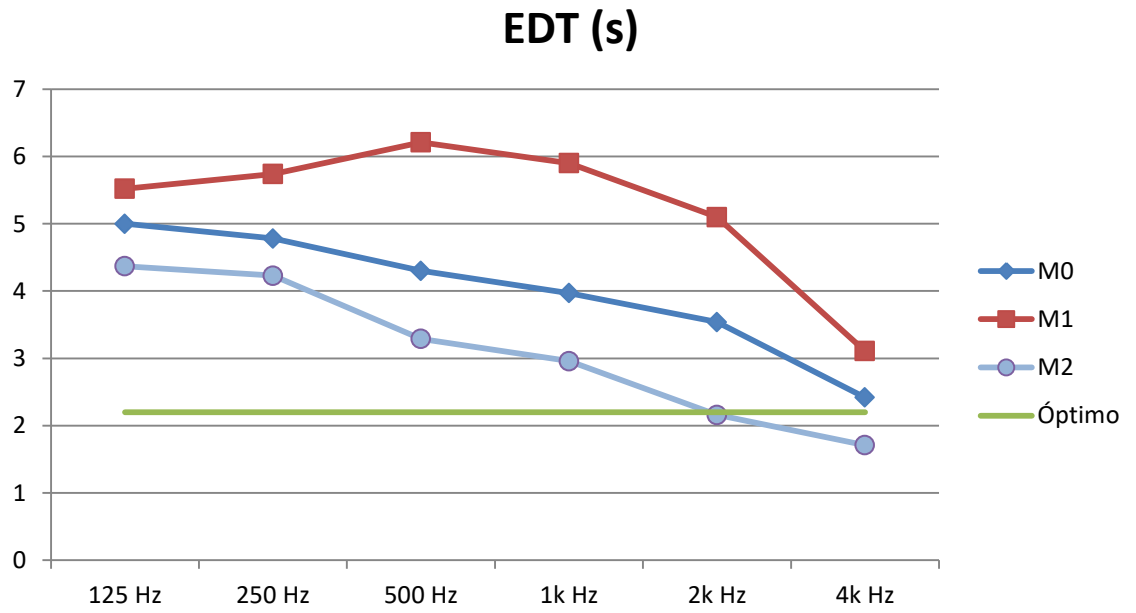
Anexo II. Resultados de la simulación acústica según receptores

Se adjuntarán en el siguiente anexo los resultados pormenorizados en cada receptor, así como otras gráficas que se omitieron en el trabajo por considerarse menos ilustrativas y por la necesidad de ceñirse a una extensión predeterminada.

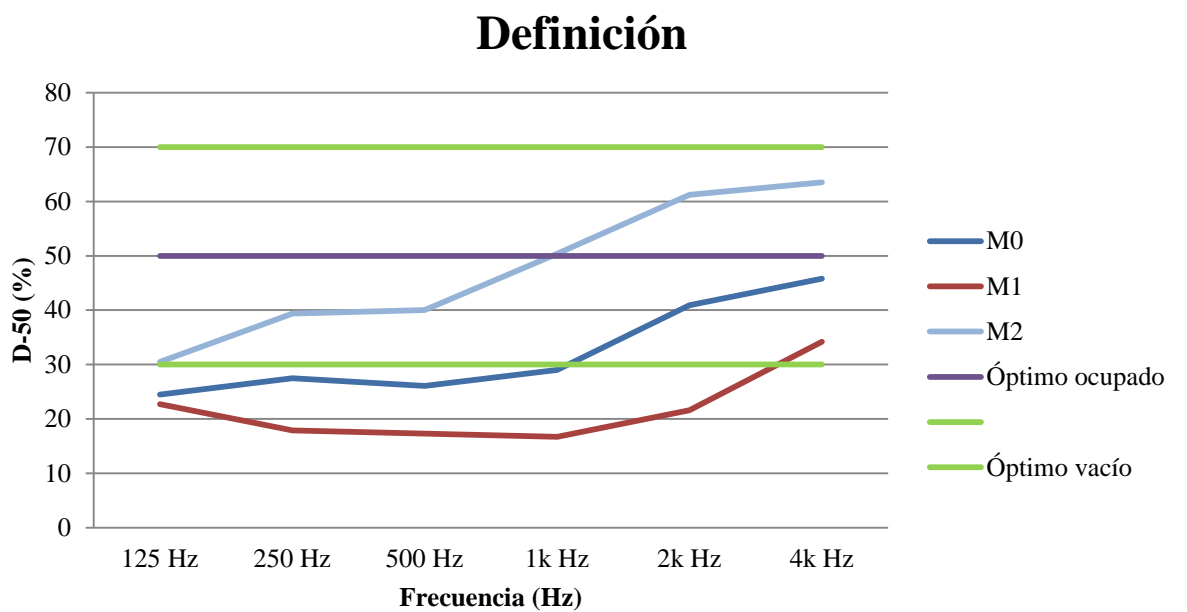
Receptor 1



Gráfica A1, que relaciona la reverberación con la frecuencia para caso del receptor 1

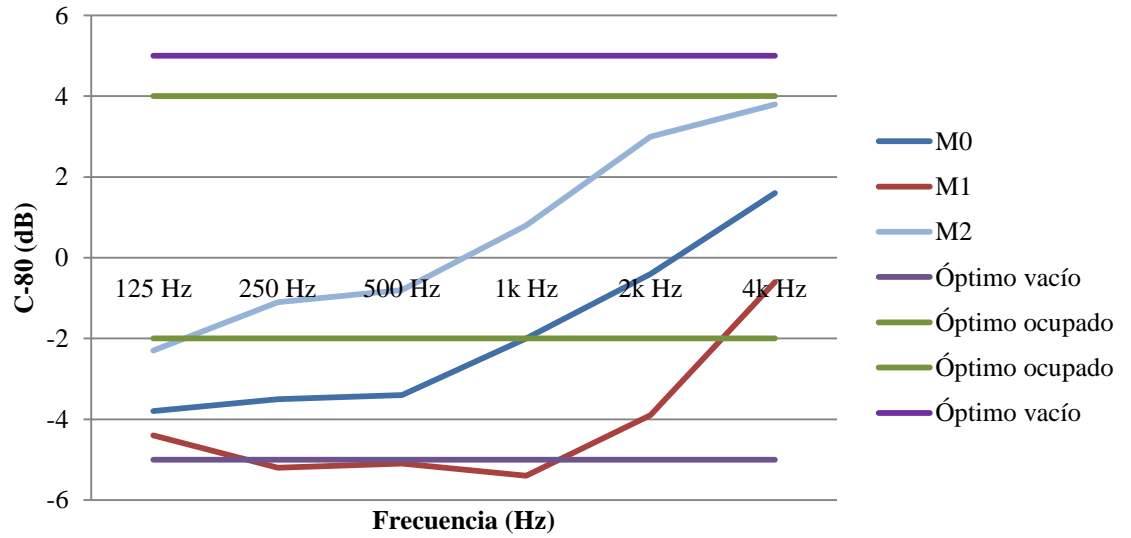


Gráfica A2, que relaciona la reverberación inicial con la frecuencia para caso del receptor 1



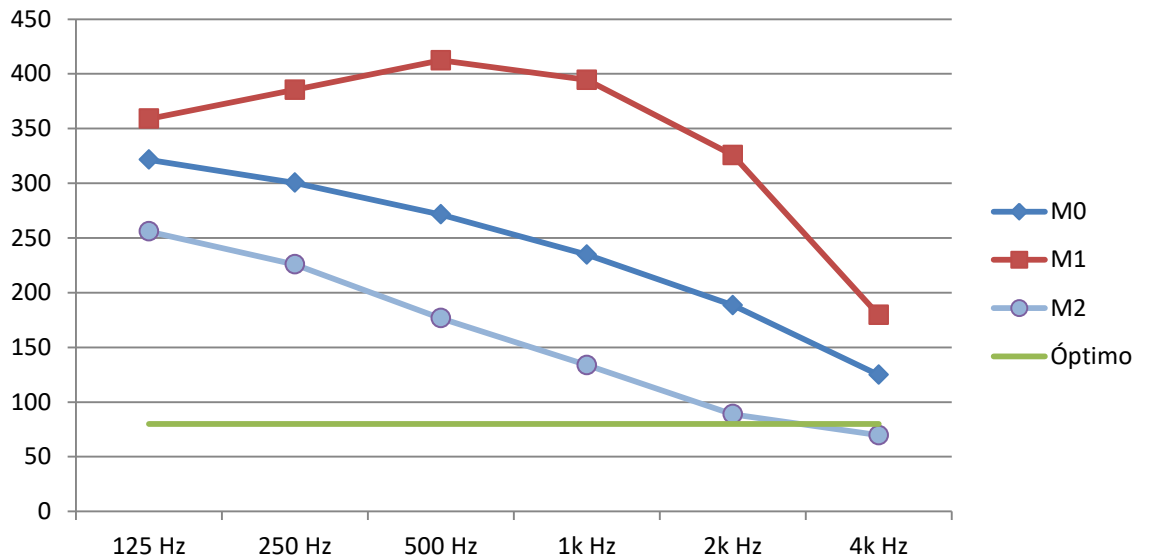
Gráfica que A3, relaciona la definición con la frecuencia para caso del receptor 1

Claridad del sonido



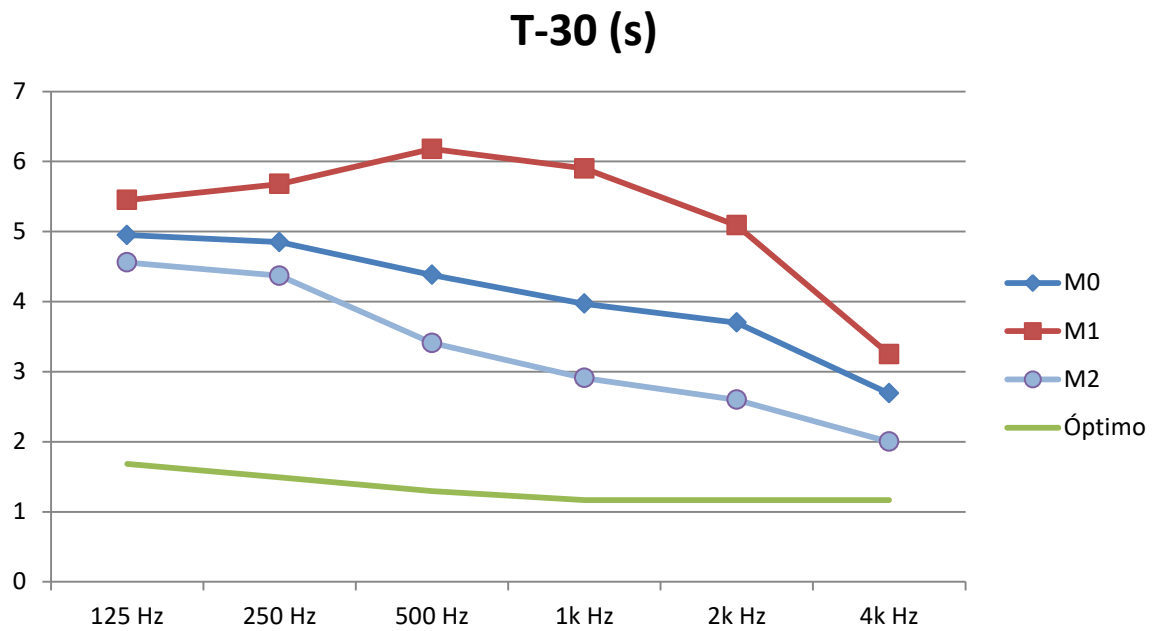
Gráfica A4, que relaciona la claridad del sonido con la frecuencia para caso del receptor 1

Ts (ms)

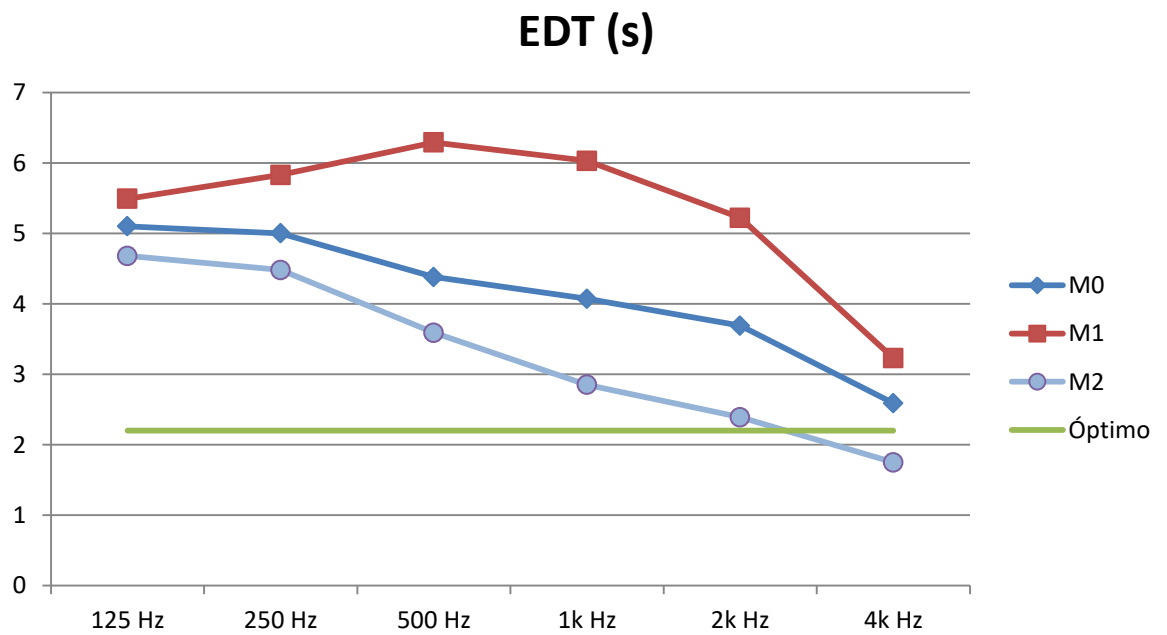


Gráfica A5, que relaciona el tiempo central con la frecuencia para caso del receptor 1

Receptor 2

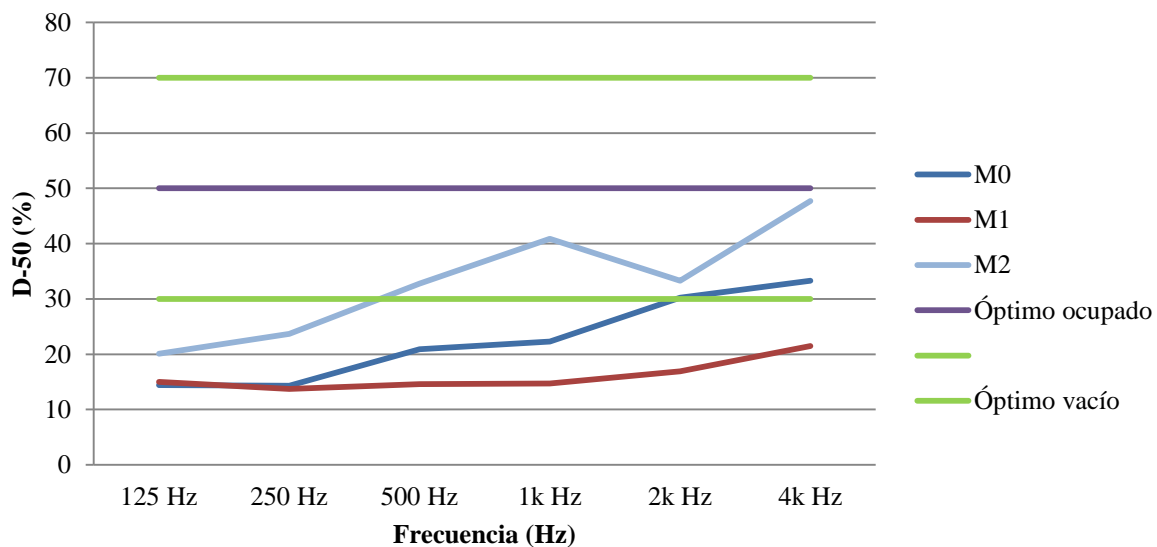


Gráfica A6, que relaciona la reverberación con la frecuencia para caso del receptor 2



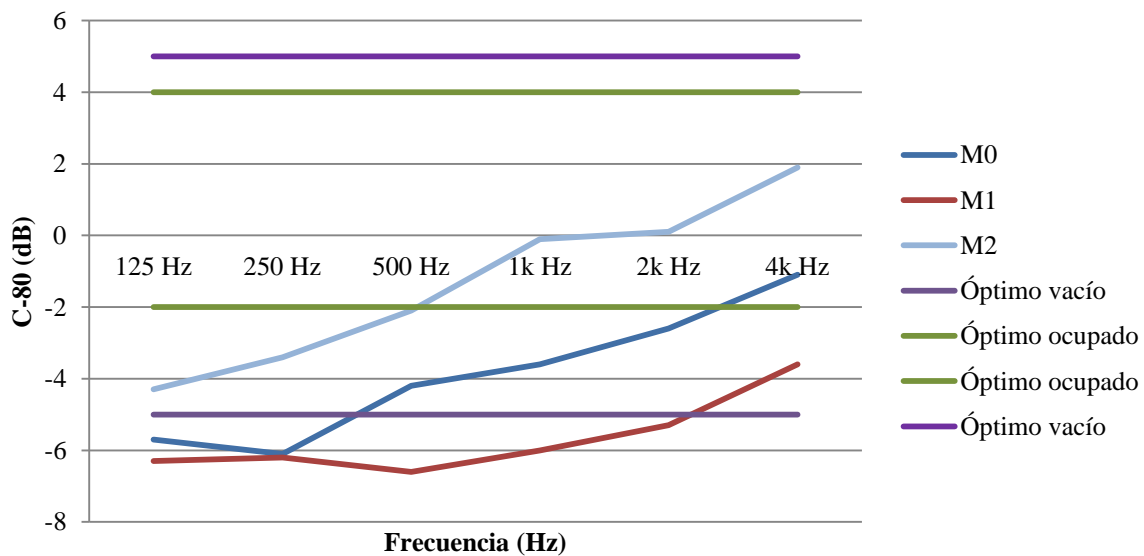
Gráfica A7, que relaciona la reverberación inicial con la frecuencia para caso del receptor 2

Definición

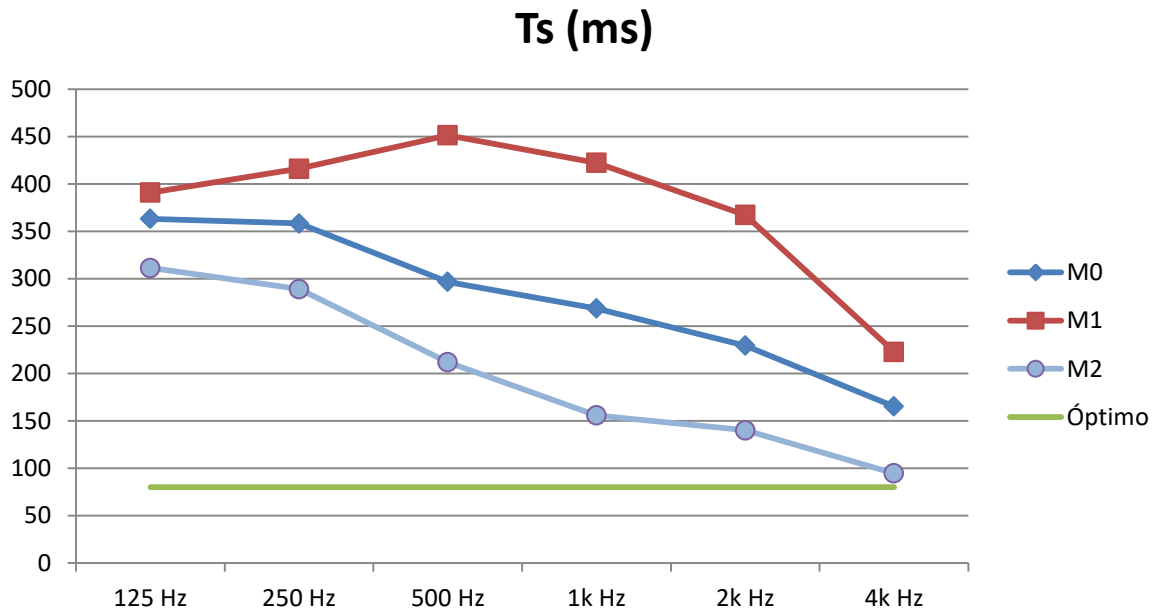


Gráfica A8, que relaciona la definición con la frecuencia para caso del receptor 2

Claridad del sonido

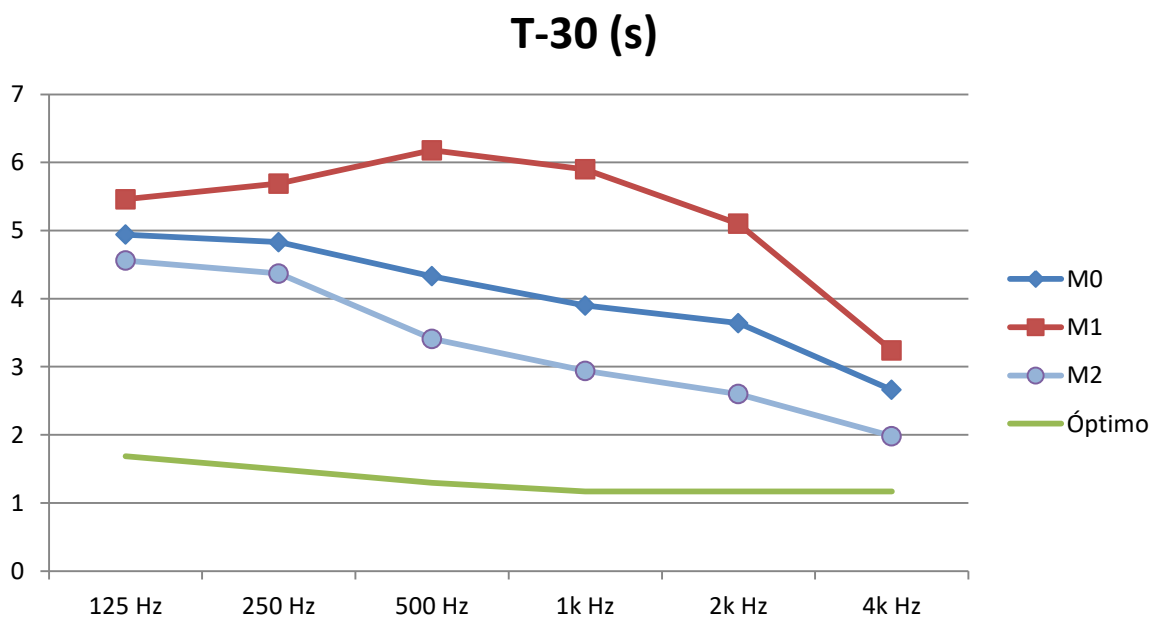


Gráfica A9, que relaciona la claridad del sonido con la frecuencia para caso del receptor 2

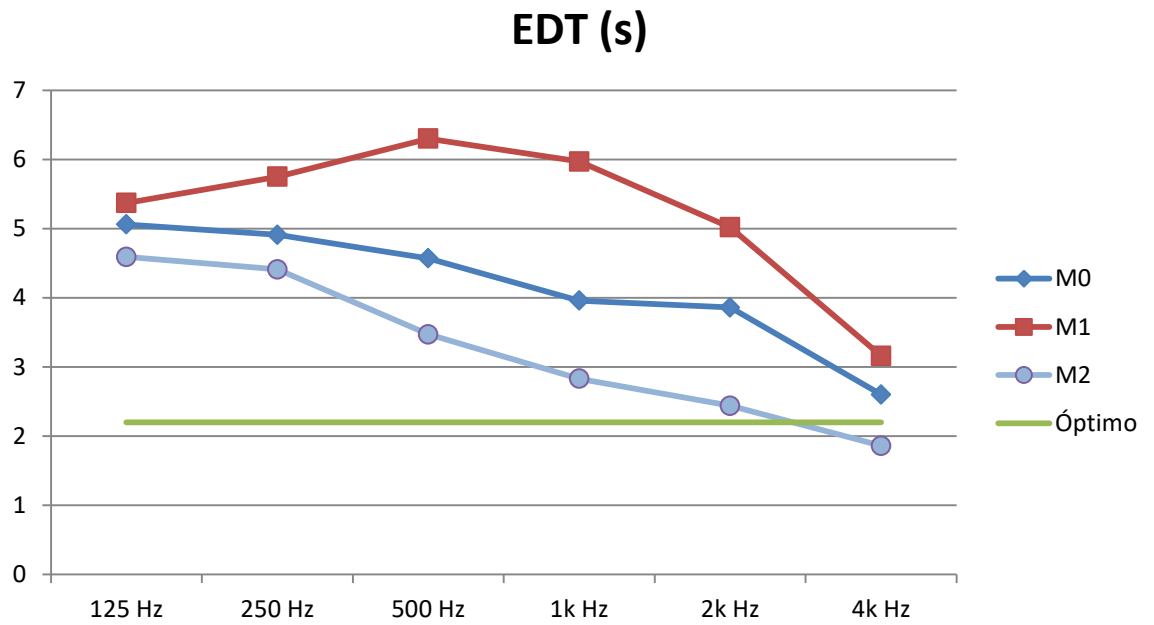


Gráfica A10, que relaciona el tiempo central con la frecuencia para caso del receptor 2

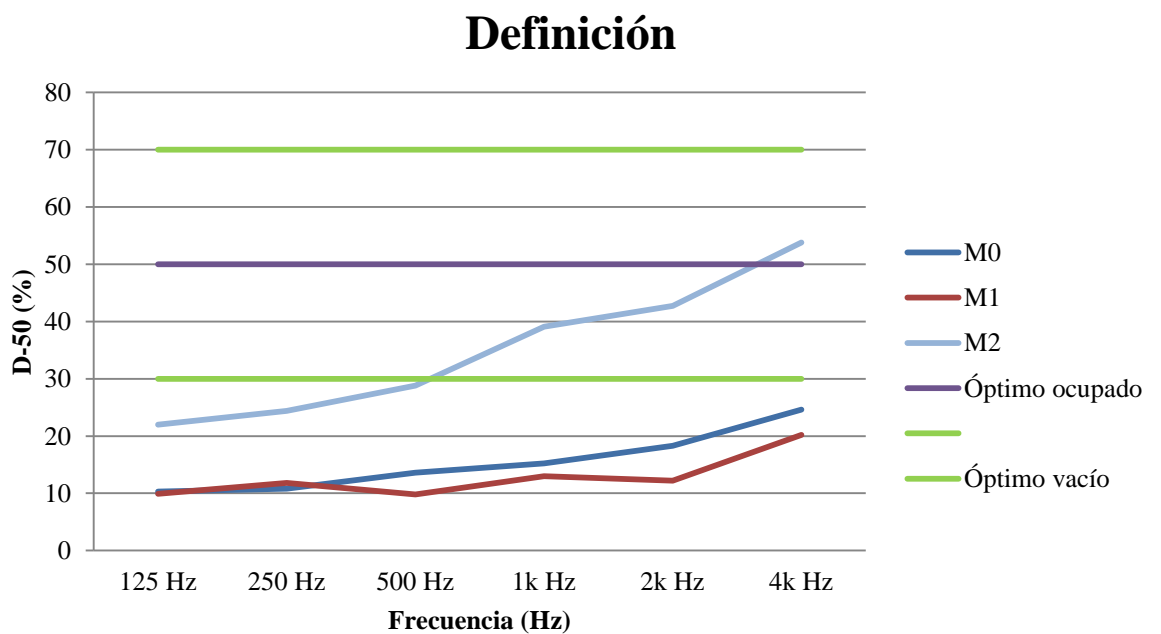
Receptor 3



Gráfica A11, que relaciona la reverberación con la frecuencia para caso del receptor 3

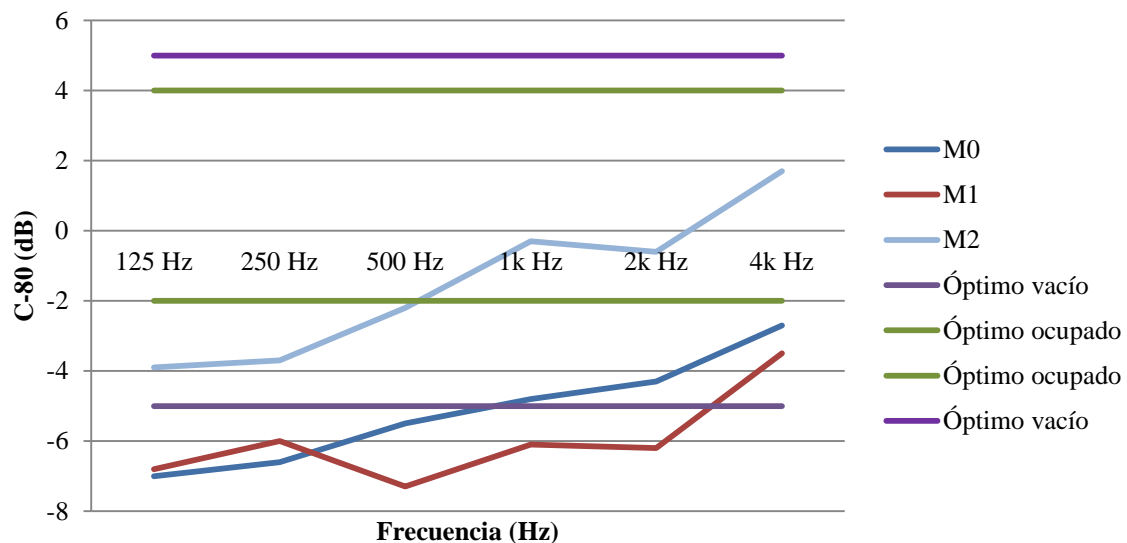


Gráfica A12, que relaciona la reverberación inicial con la frecuencia para caso del receptor 3



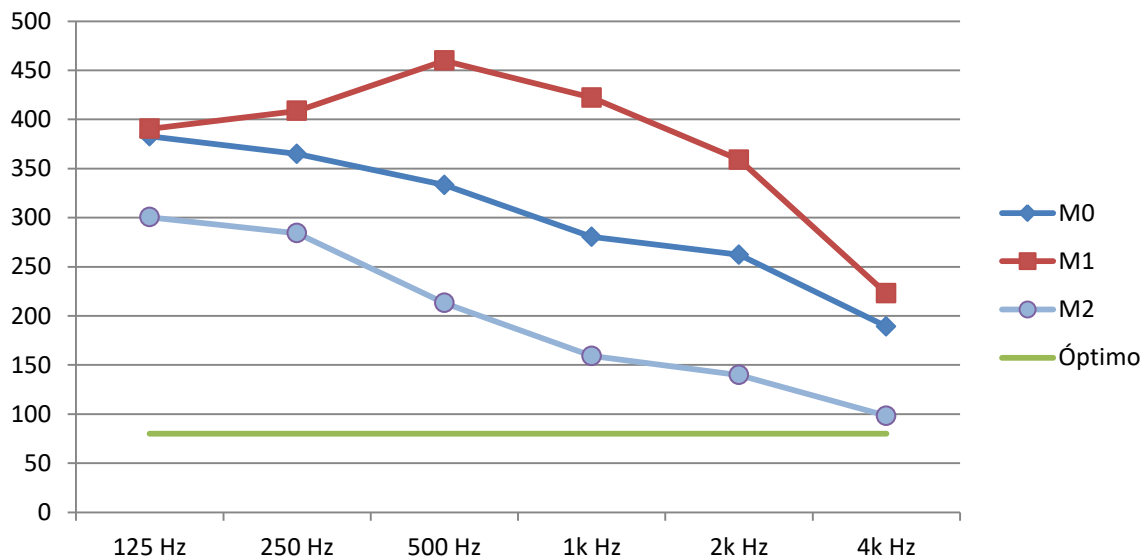
Gráfica A13, que relaciona la definición con la frecuencia para caso del receptor 3

Claridad del sonido



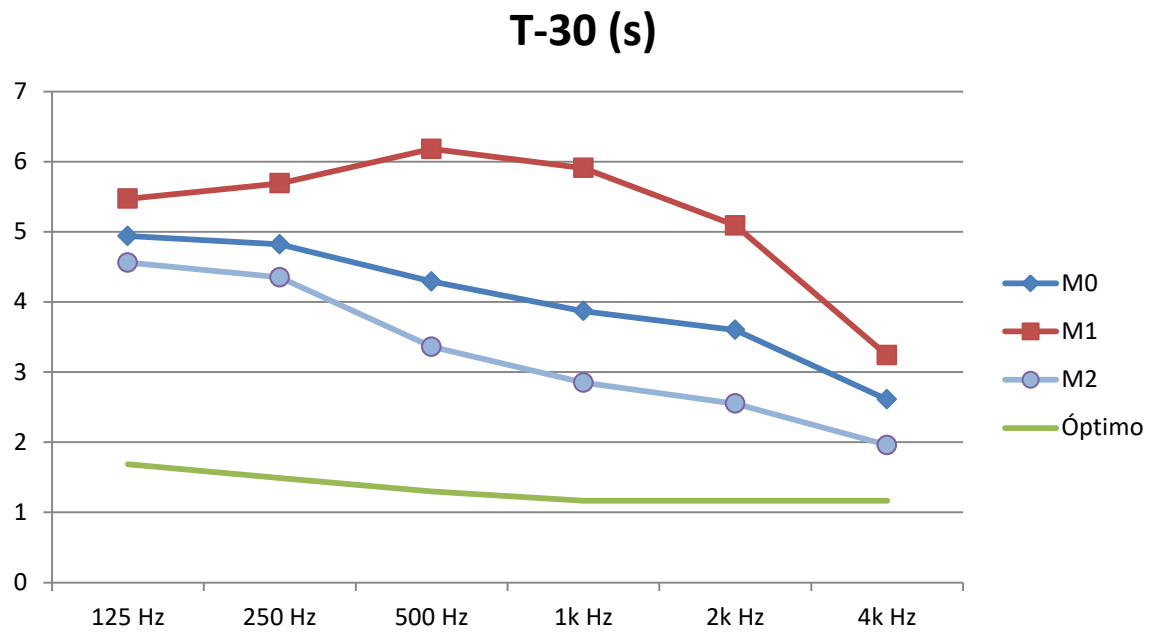
Gráfica A14, que relaciona la claridad del sonido con la frecuencia para caso del receptor 3

Ts (ms)

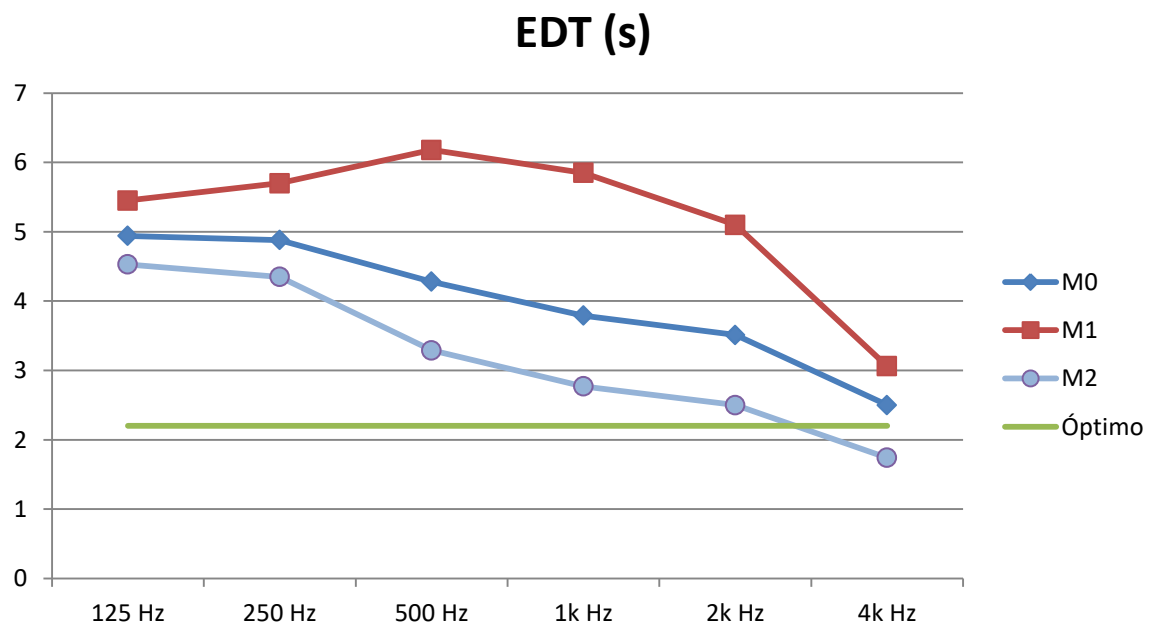


Gráfica A15, que relaciona el tiempo central con la frecuencia para caso del receptor 3

Receptor 4

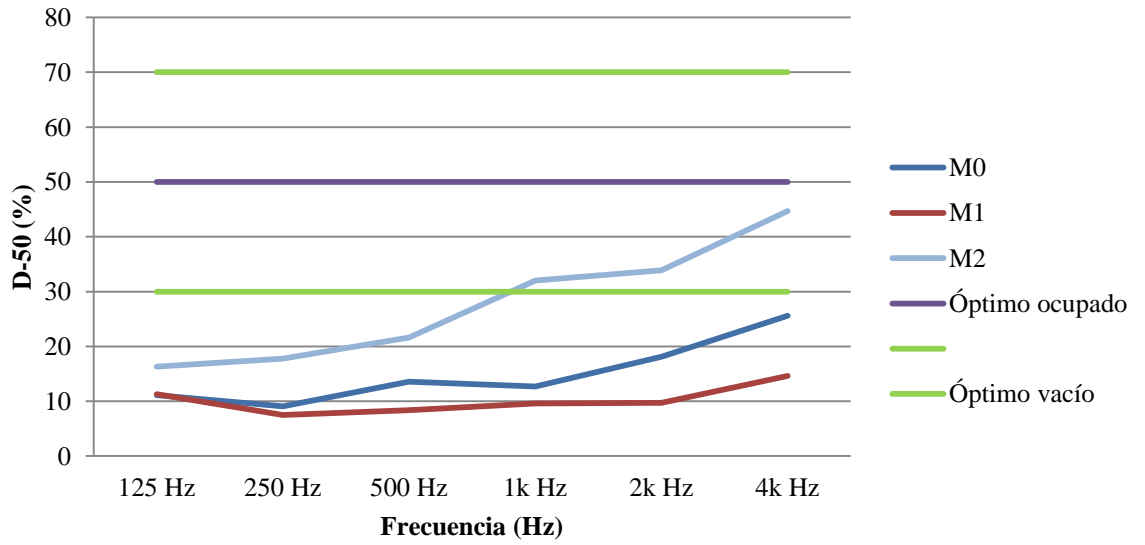


Gráfica A16, que relaciona la reverberación con la frecuencia para caso del receptor 4



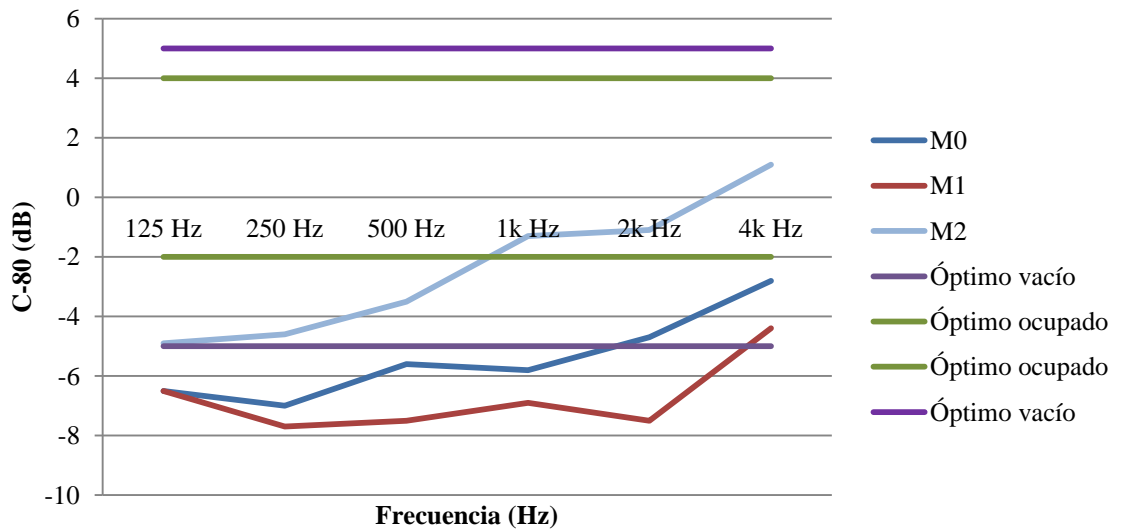
Gráfica A17, que relaciona la reverberación inicial con la frecuencia para caso del receptor 4

Definición

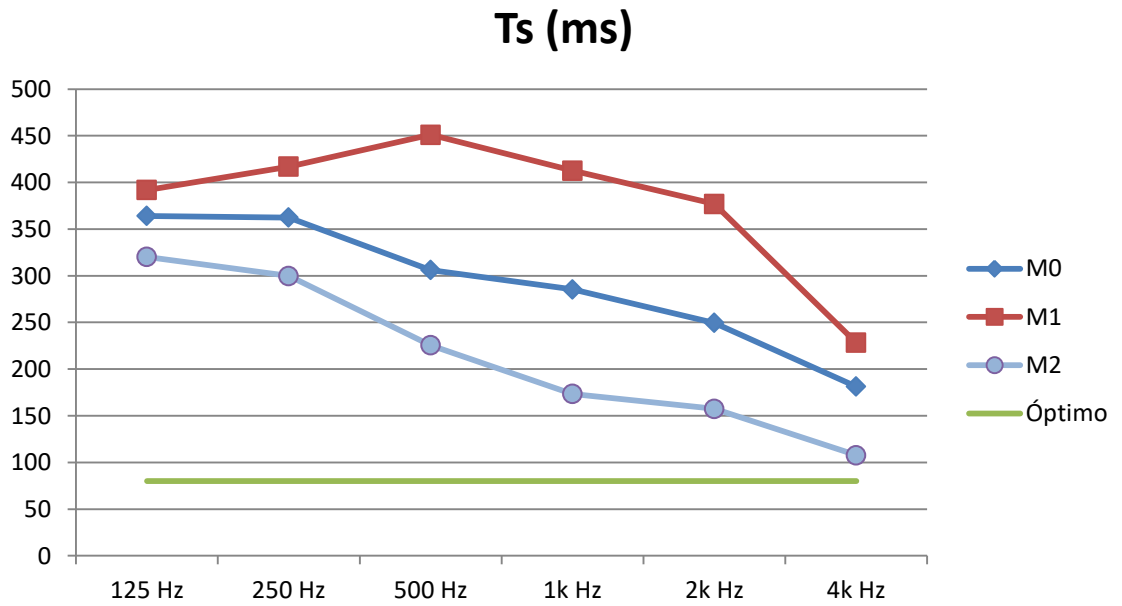


GráficaA18, que relaciona la definición con la frecuencia para caso del receptor 4

Claridad del sonido

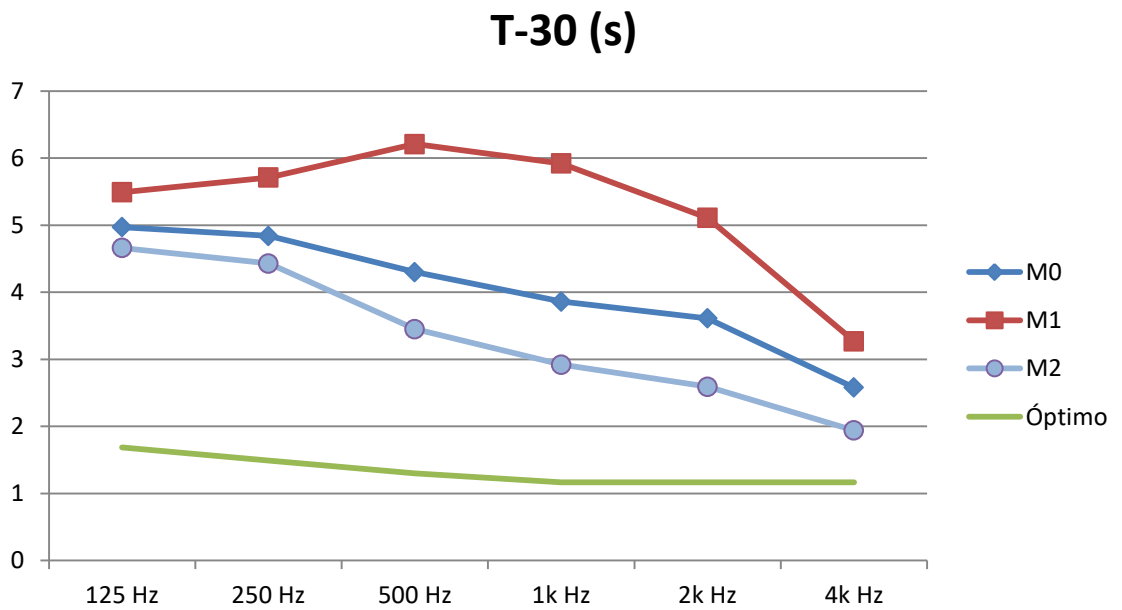


GráficaA19, que relaciona la claridad del sonido con la frecuencia para caso del receptor 4

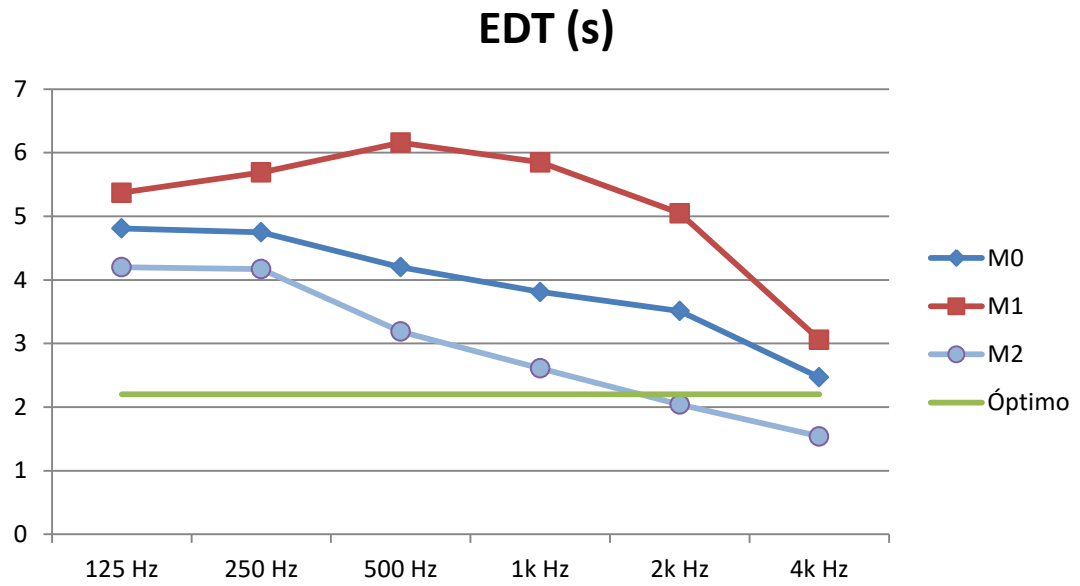


Gráfica A20, que relaciona el tiempo central con la frecuencia para caso del receptor 4

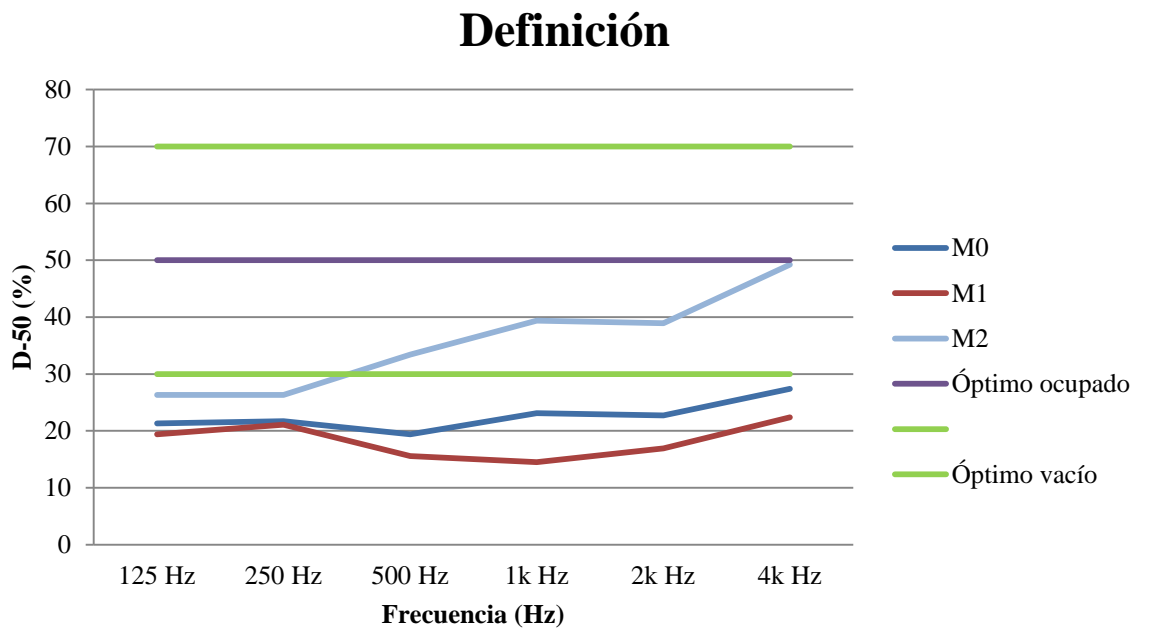
Receptor 5



Gráfica A21, que relaciona la reverberación con la frecuencia para caso del receptor 5

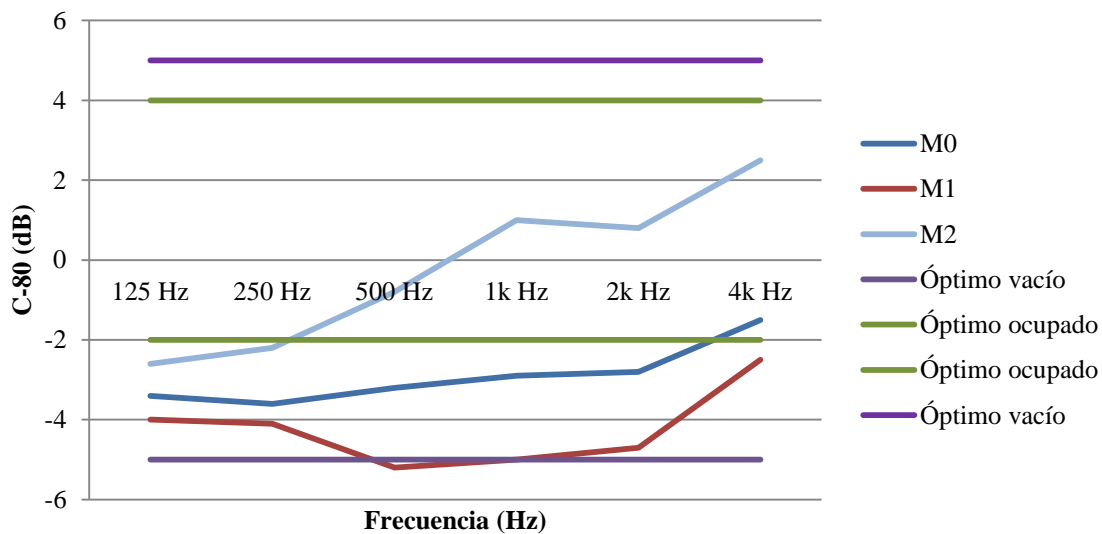


Gráfica A22, que relaciona la reverberación inicial con la frecuencia para caso del receptor 5



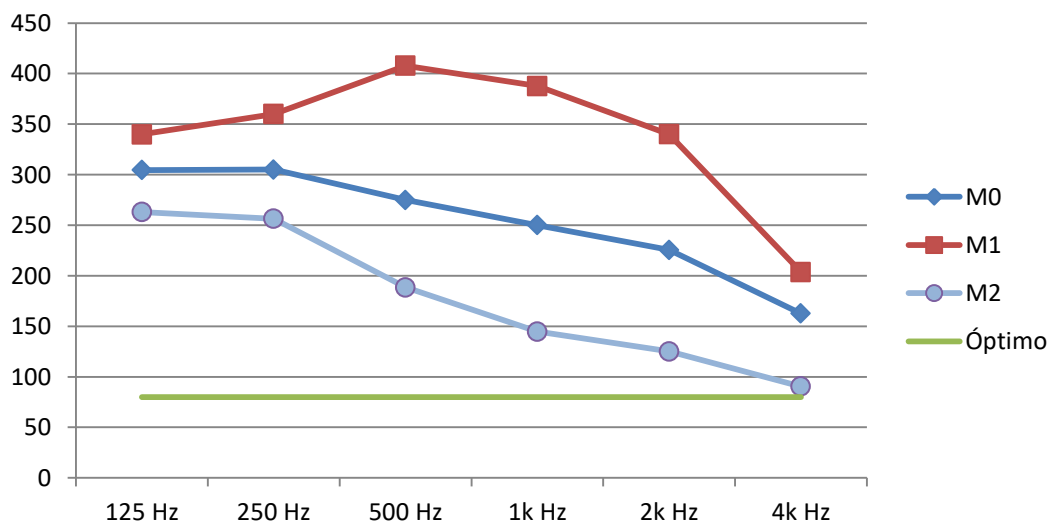
Gráfica A23, que relaciona la definición con la frecuencia para caso del receptor 5

Claridad del sonido



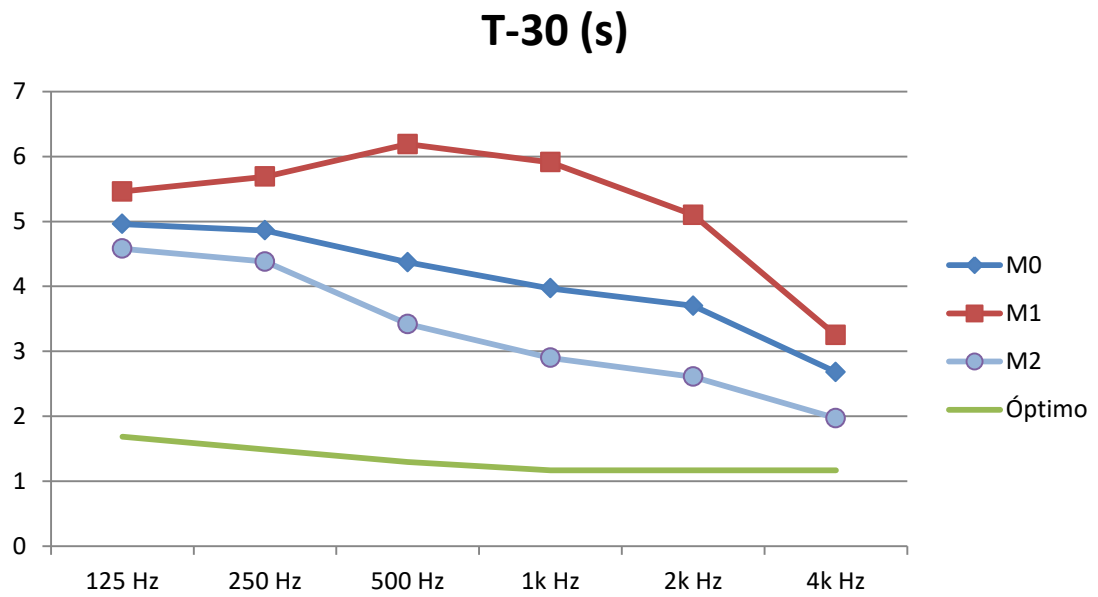
Gráfica A24, que relaciona la claridad del sonido con la frecuencia para caso del receptor 5

Ts (ms)

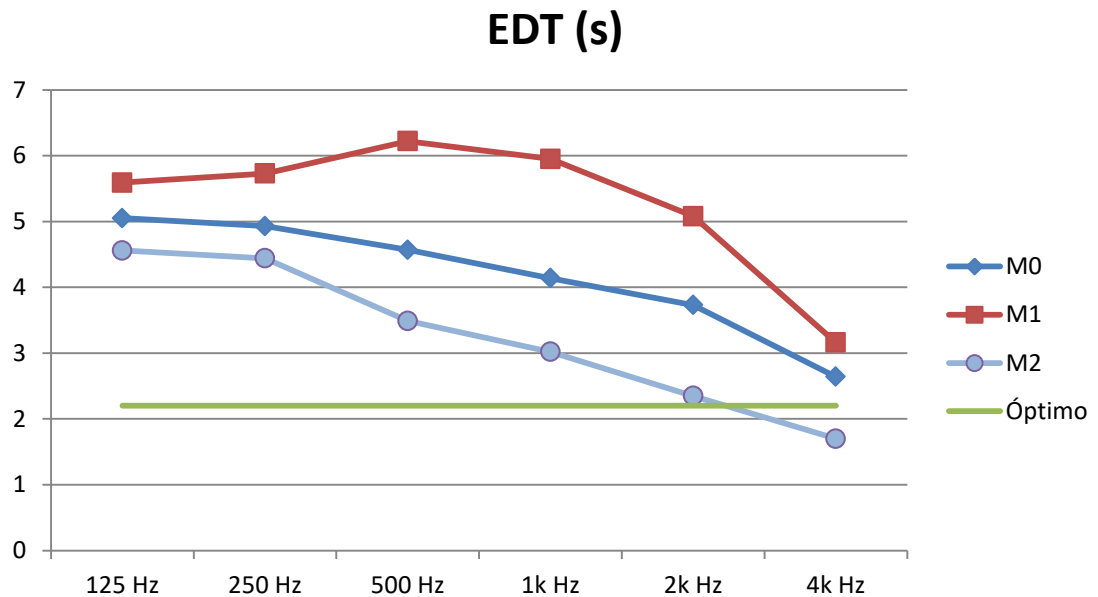


Gráfica A25, que relaciona el tiempo central con la frecuencia para caso del receptor 5

Receptor 6

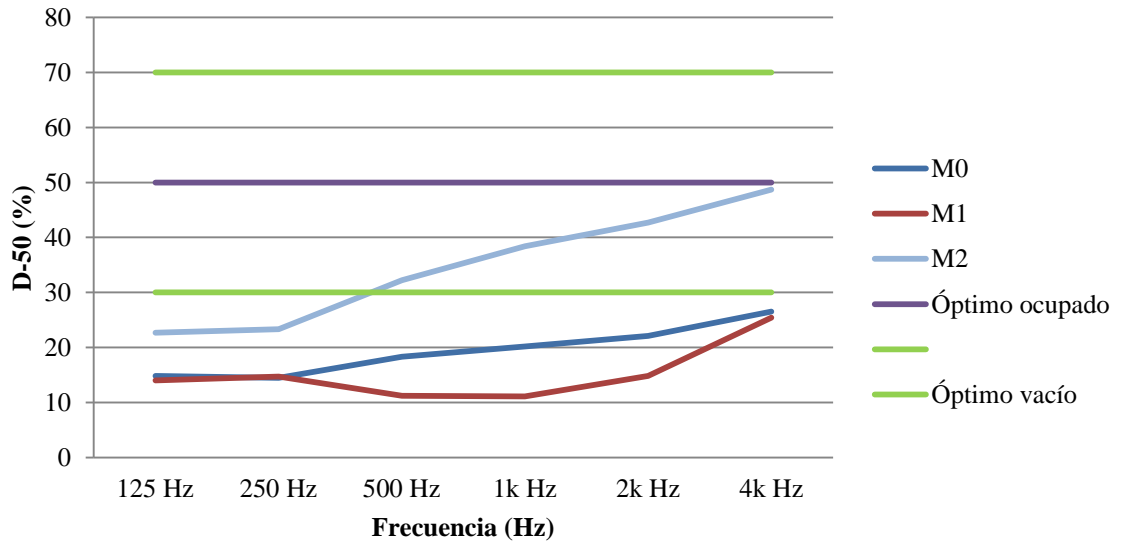


Gráfica A26, que relaciona la reverberación con la frecuencia para caso del receptor 6



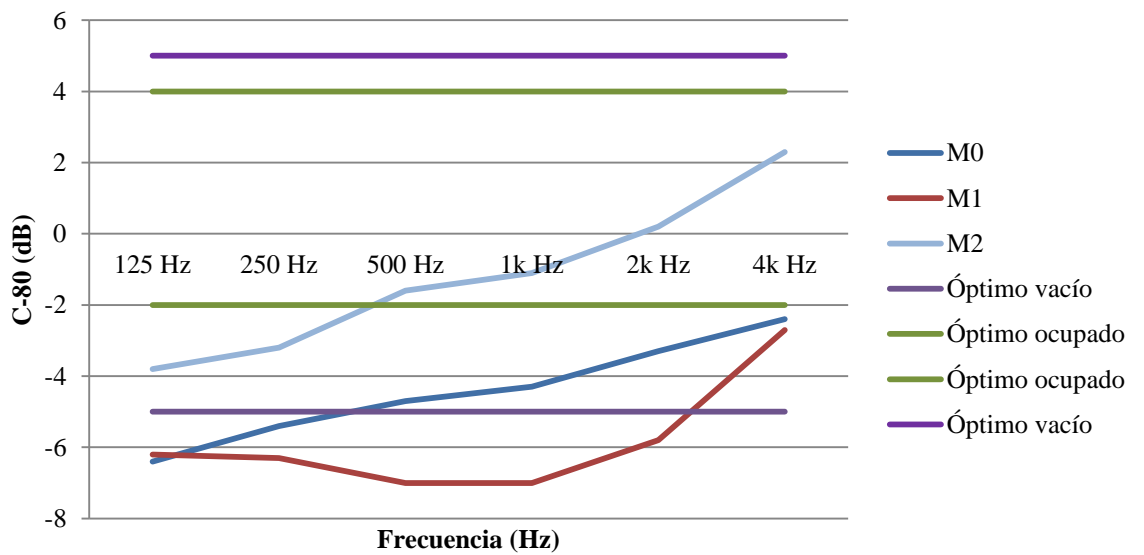
Gráfica A27, que relaciona la reverberación inicial con la frecuencia para caso del receptor 6

Definición

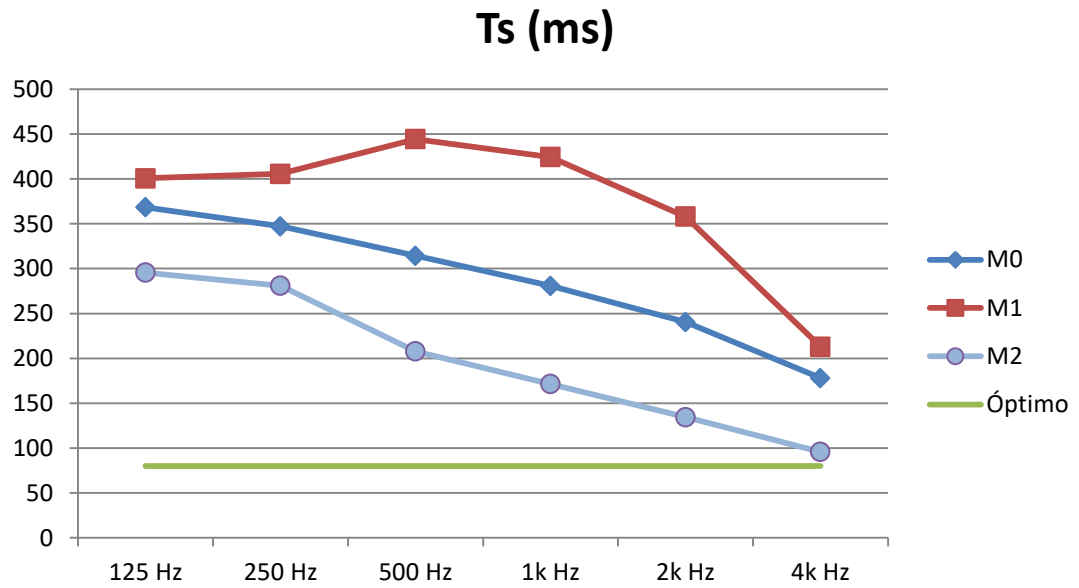


Gráfica A28, que relaciona la definición con la frecuencia para caso del receptor 6

Claridad del sonido

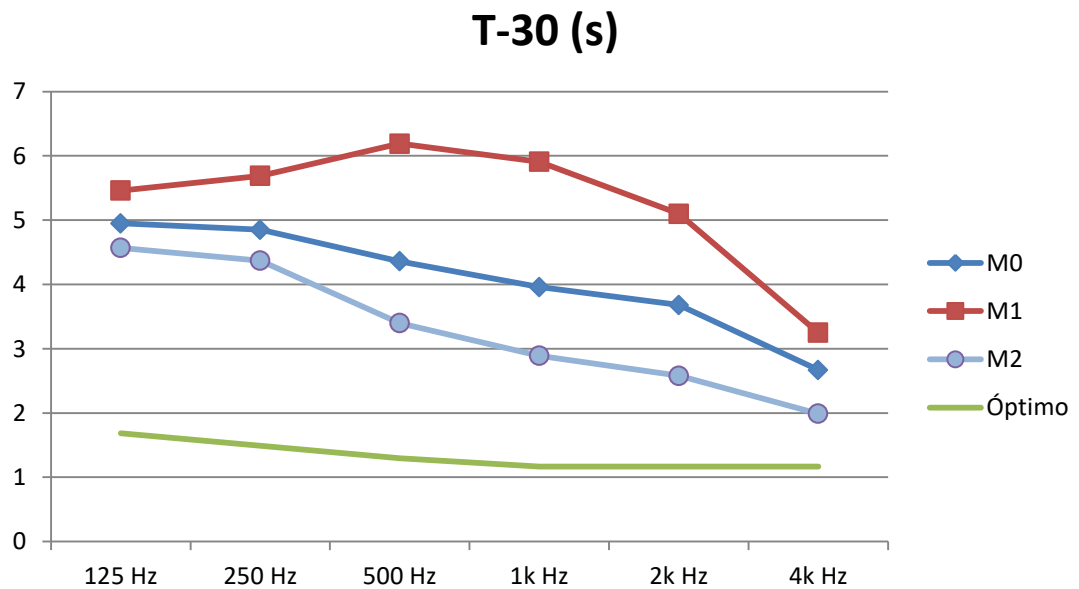


Gráfica A29, que relaciona la claridad del sonido con la frecuencia para caso del receptor 6

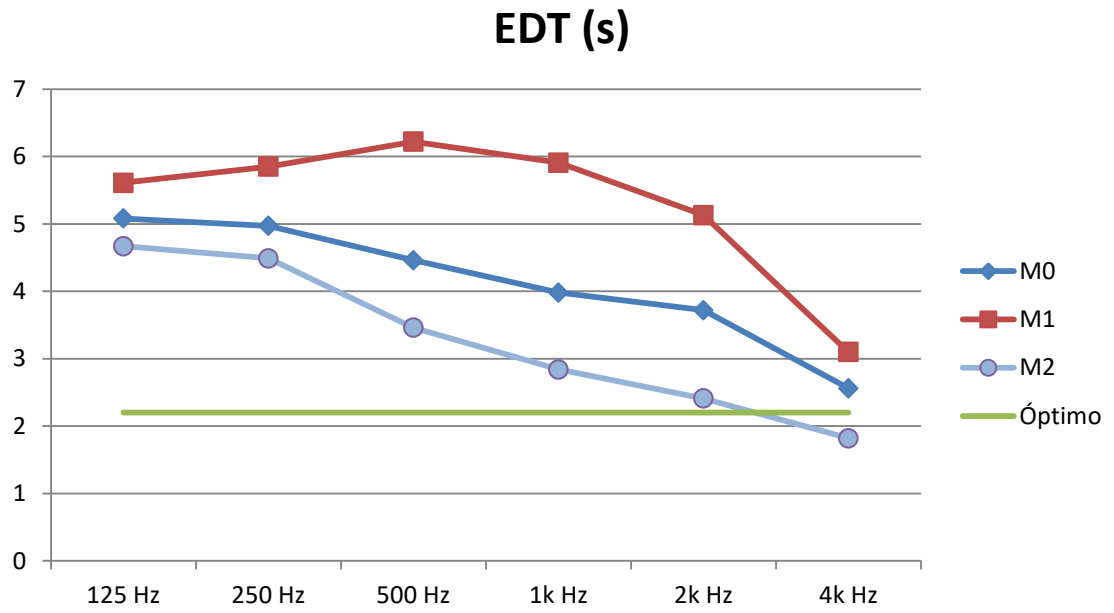


Gráfica A30, que relaciona el tiempo central con la frecuencia para caso del receptor 6

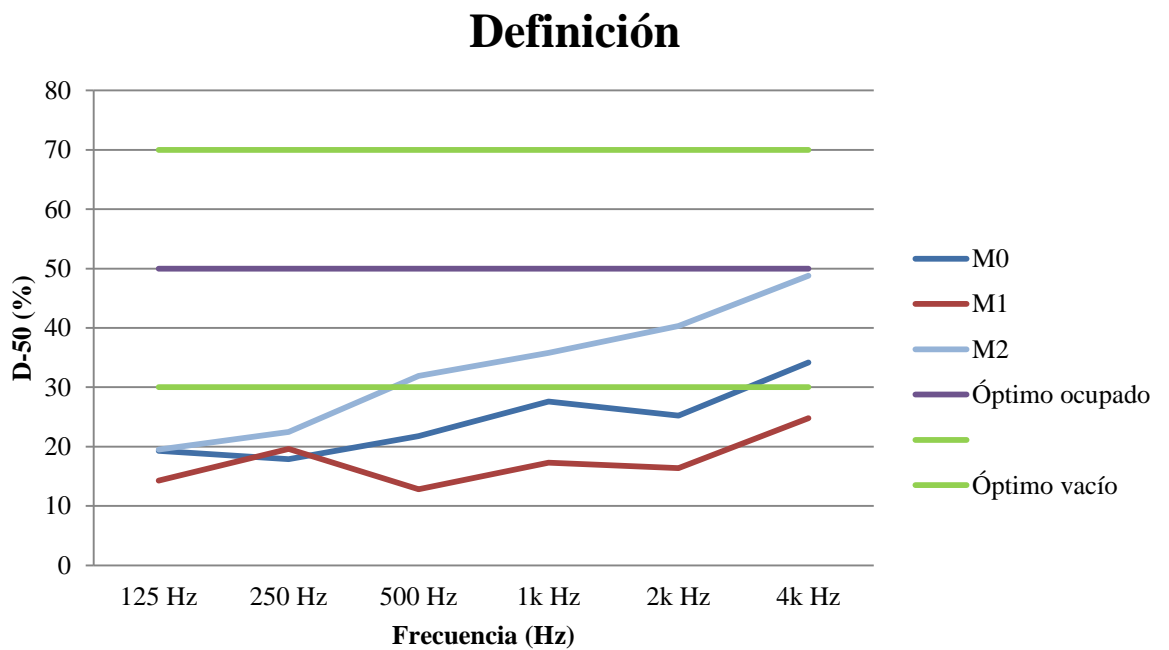
Receptor 7



Gráfica A31, que relaciona la reverberación con la frecuencia para caso del receptor 7

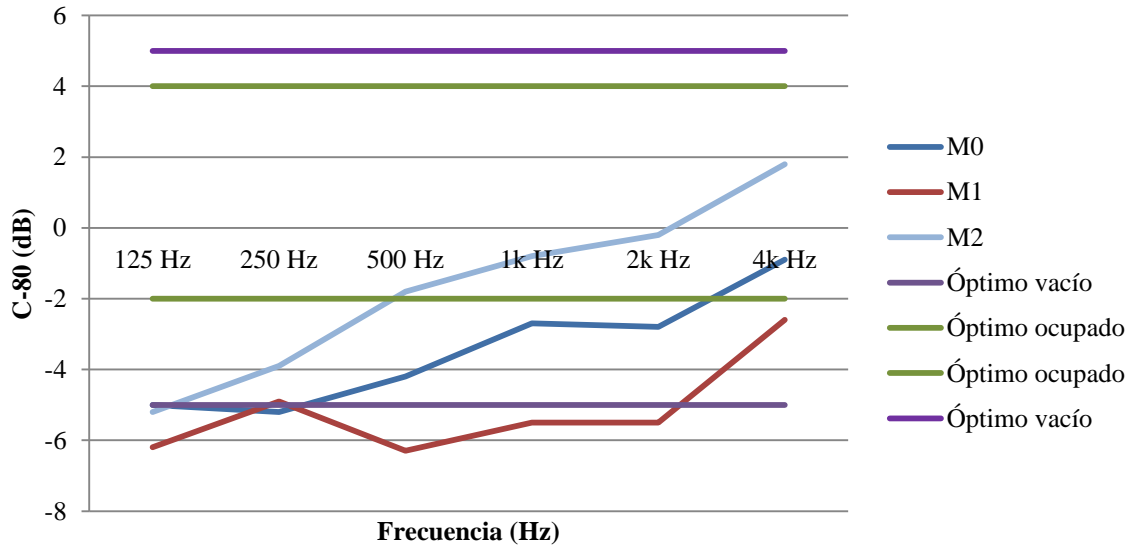


Gráfica A32, que relaciona la reverberación inicial con la frecuencia para caso del receptor 7



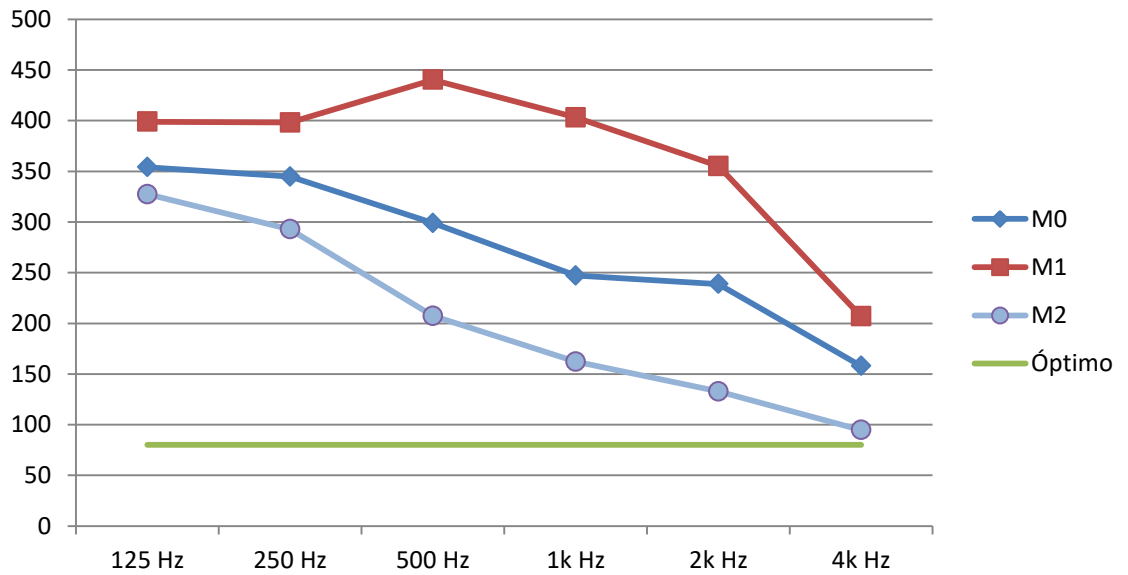
Gráfica A33, que relaciona la definición con la frecuencia para caso del receptor 7

Claridad del sonido



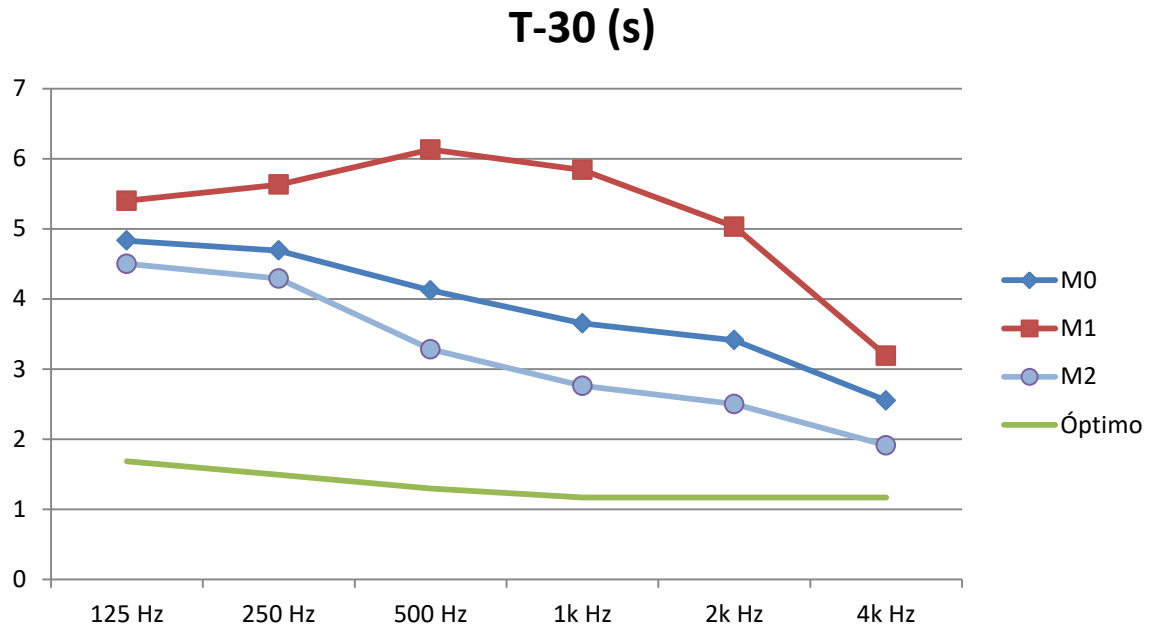
Gráfica A34, que relaciona la claridad del sonido con la frecuencia para caso del receptor 7

Ts (ms)

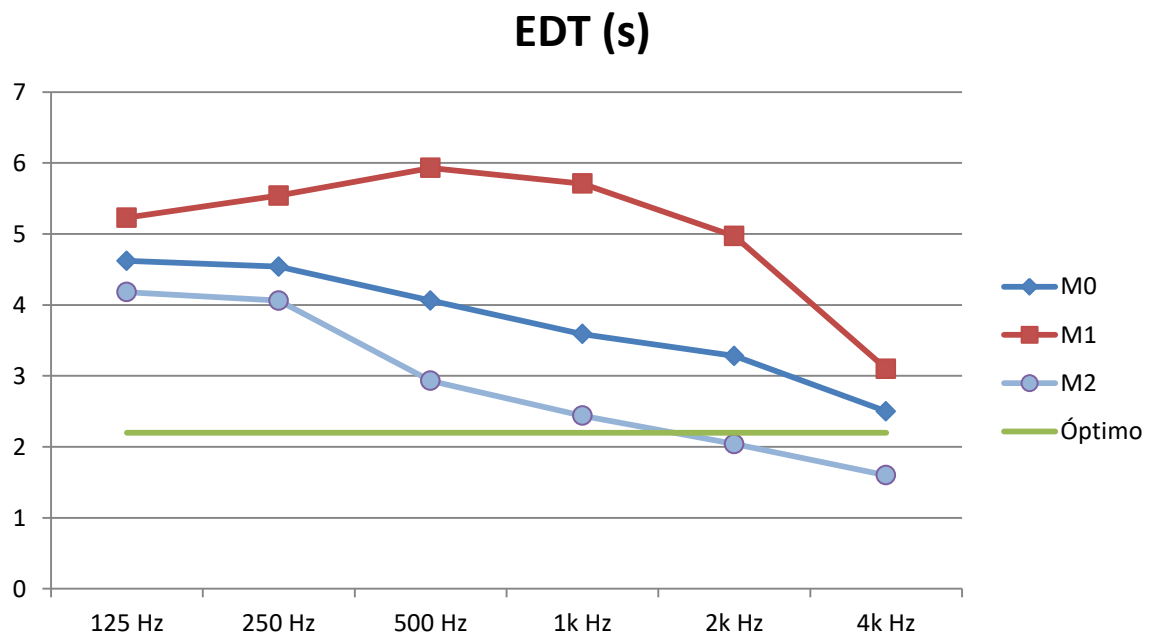


Gráfica A35, que relaciona el tiempo central con la frecuencia para caso del receptor 7

Receptor 8

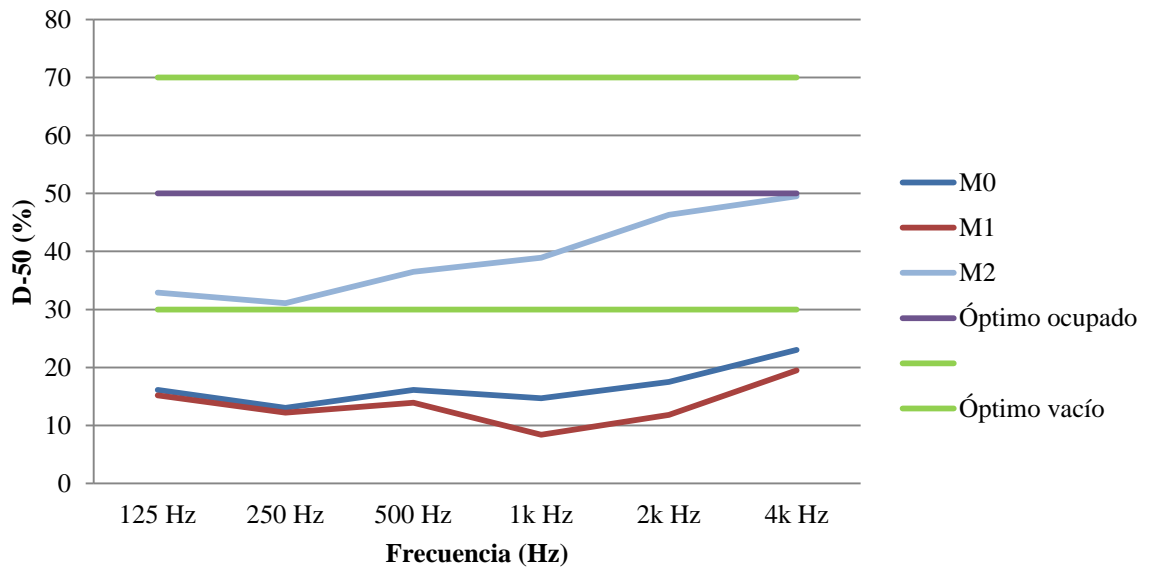


Gráfica A36, que relaciona la reverberación con la frecuencia para caso del receptor 8



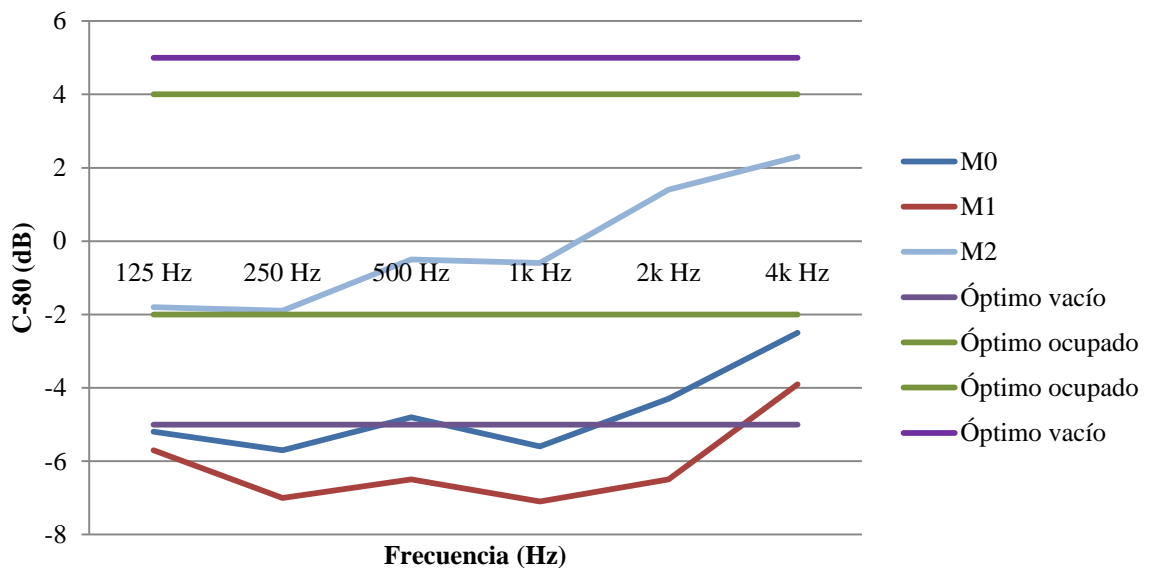
Gráfica A37, que relaciona la reverberación inicial con la frecuencia para caso del receptor 8

Definición

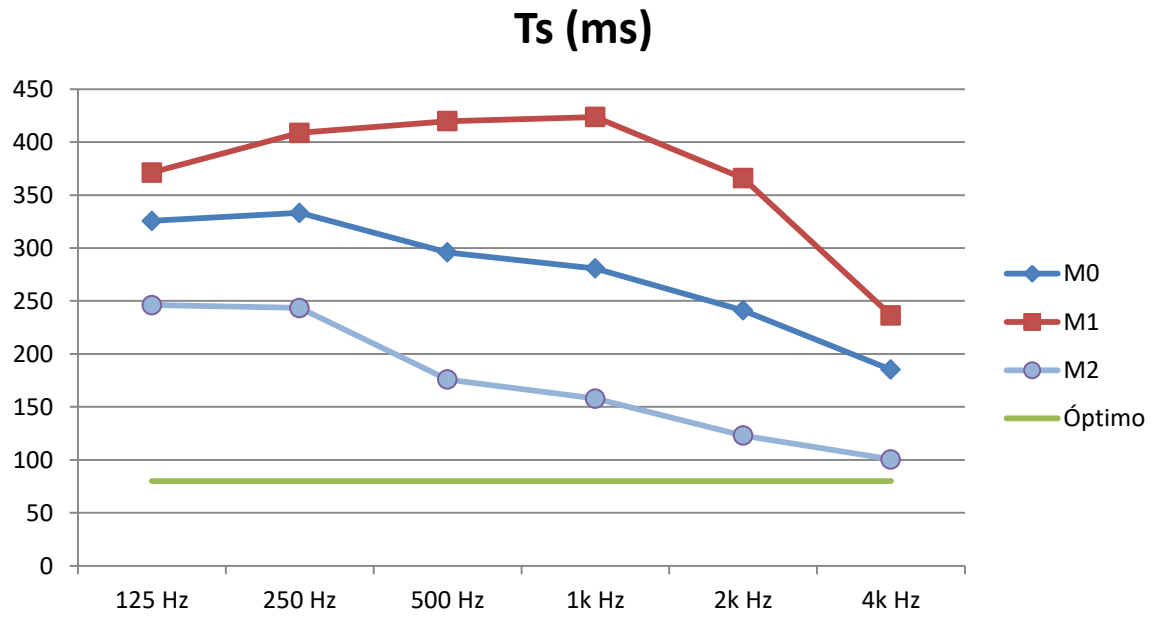


Gráfica A38, que relaciona la definición con la frecuencia para caso del receptor 8

Claridad del sonido

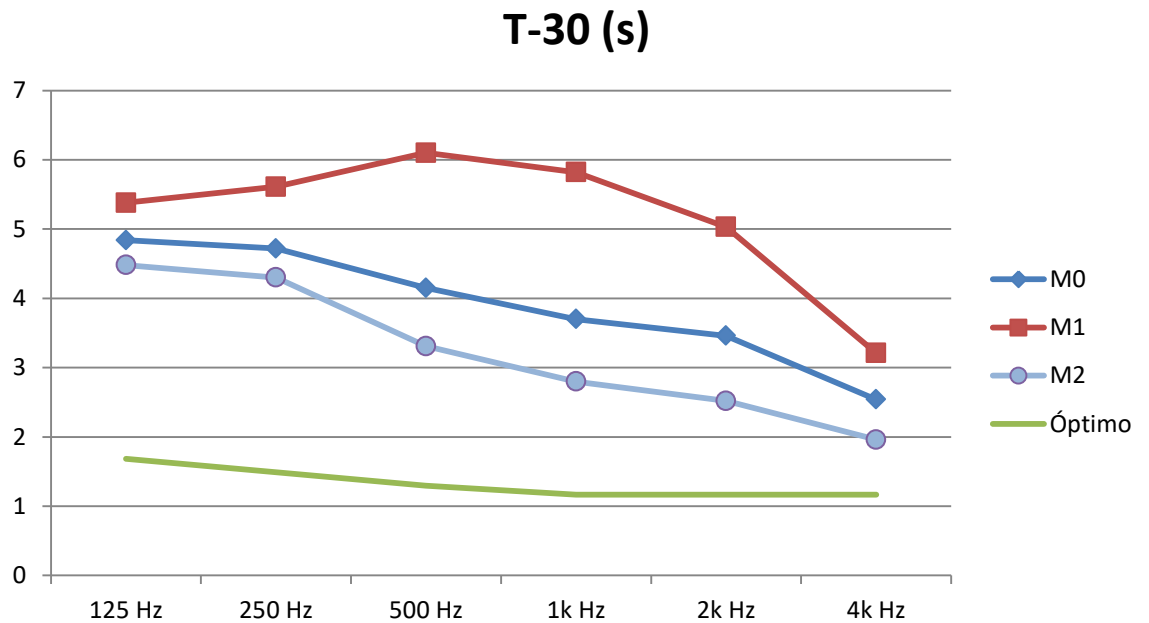


Gráfica A39, que relaciona la claridad del sonido con la frecuencia para caso del receptor 8

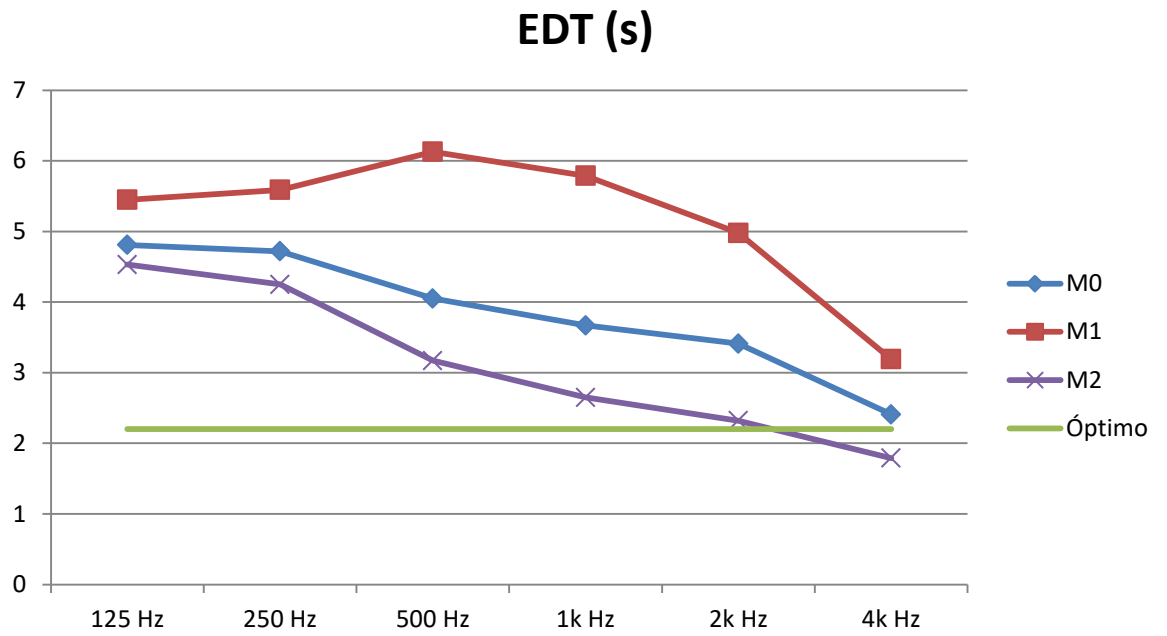


Gráfica A40, que relaciona el tiempo central con la frecuencia para caso del receptor 8

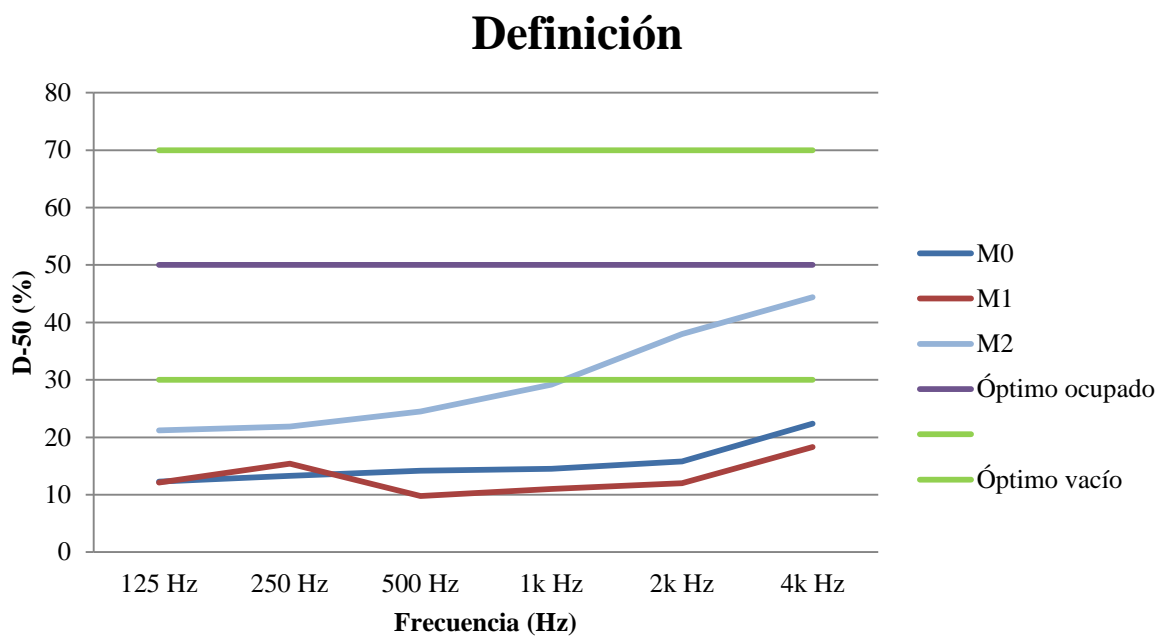
Receptor 9



GráficaA41, que relaciona la reverberación con la frecuencia para caso del receptor 9

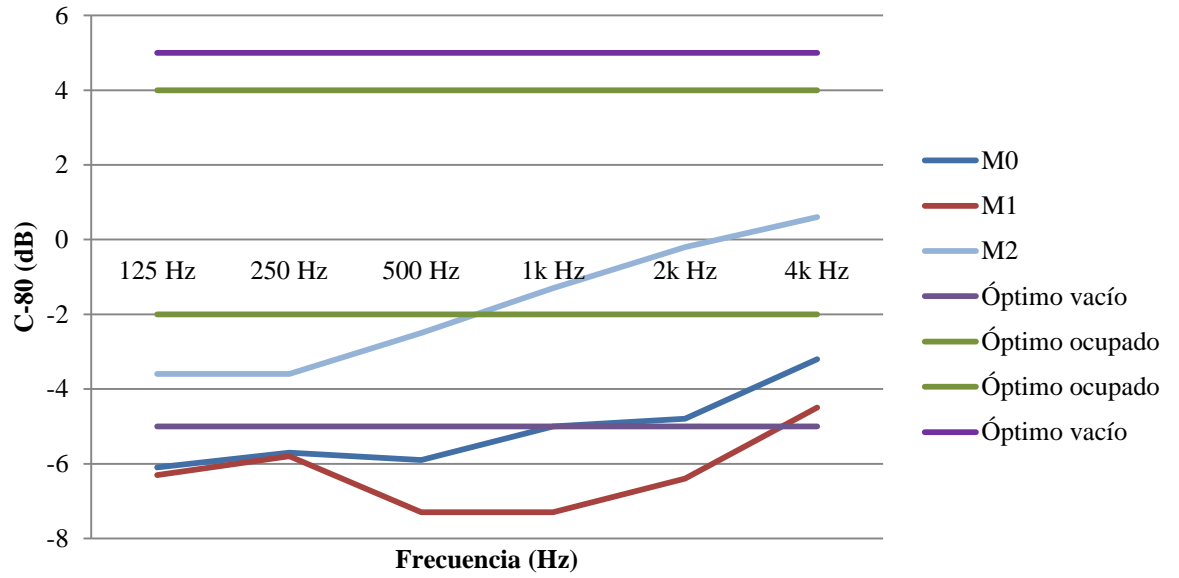


Gráfica A42, que relaciona la reverberación inicial con la frecuencia para caso del receptor 9



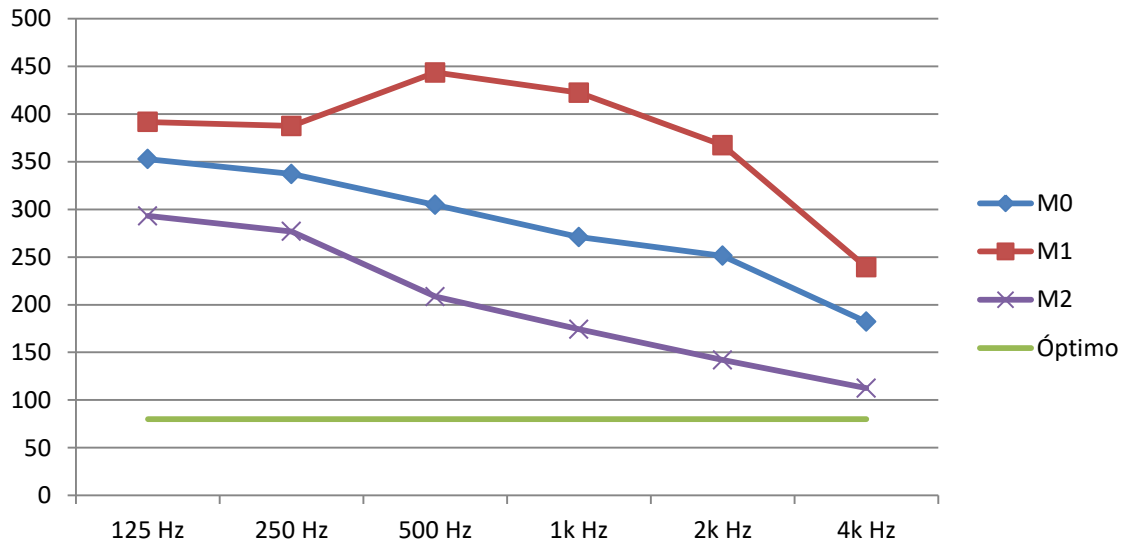
GráficaA43 que relaciona la definición con la frecuencia para caso del receptor 9

Claridad del sonido



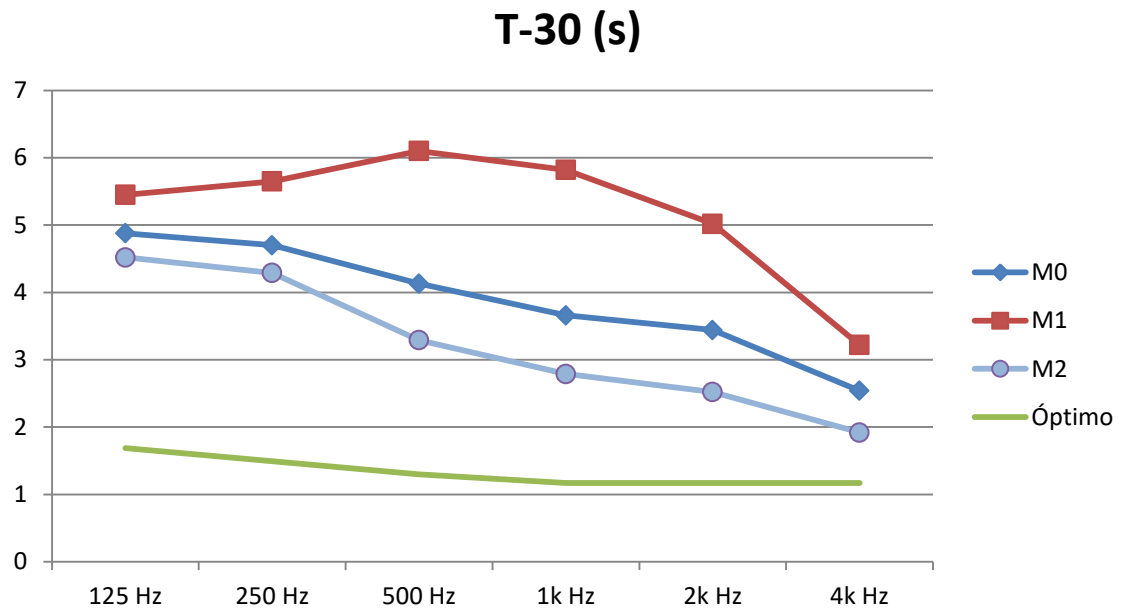
Gráfica A44, que relaciona la claridad del sonido con la frecuencia para caso del receptor 9

Ts (ms)

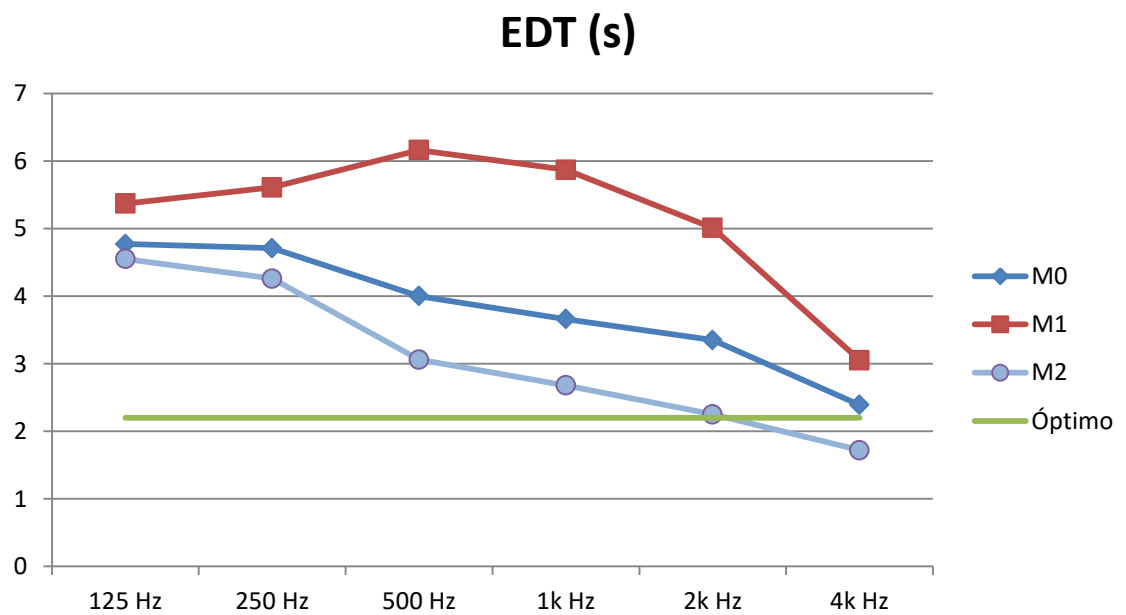


Gráfica A45, que relaciona el tiempo central con la frecuencia para caso del receptor 9

Receptor 10

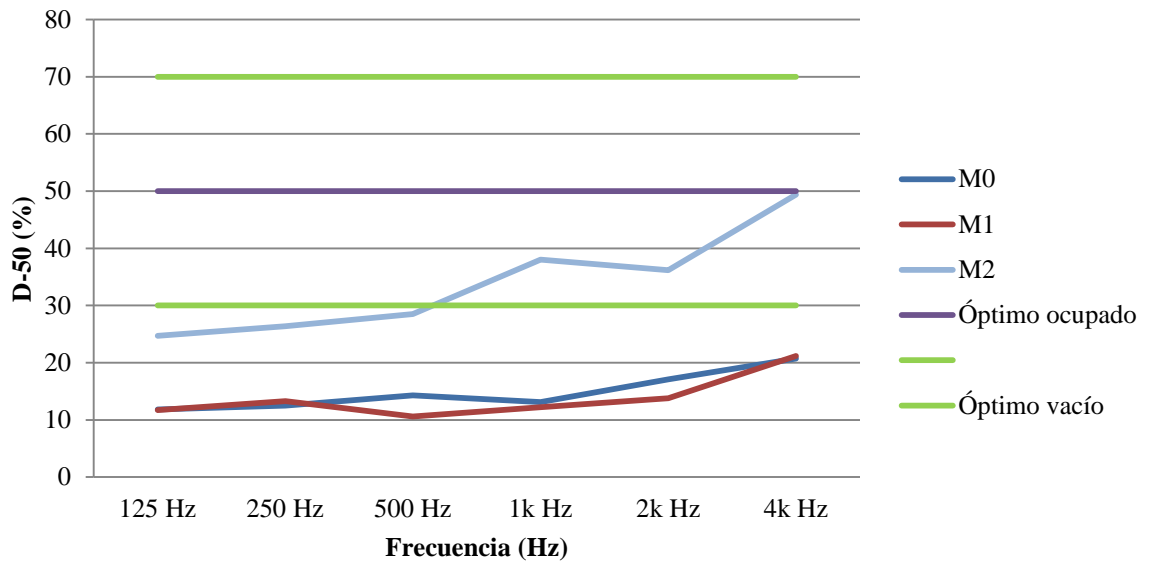


Gráfica A46, que relaciona la reverberación con la frecuencia para caso del receptor 10



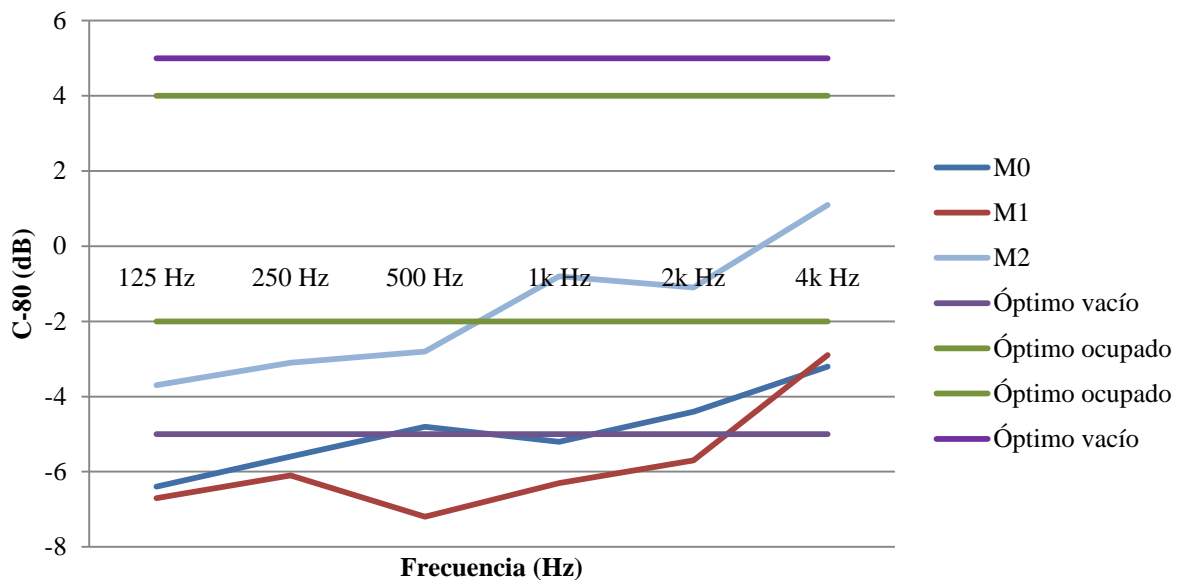
Gráfica A47, que relaciona la reverberación inicial con la frecuencia para caso del receptor 10

Definición

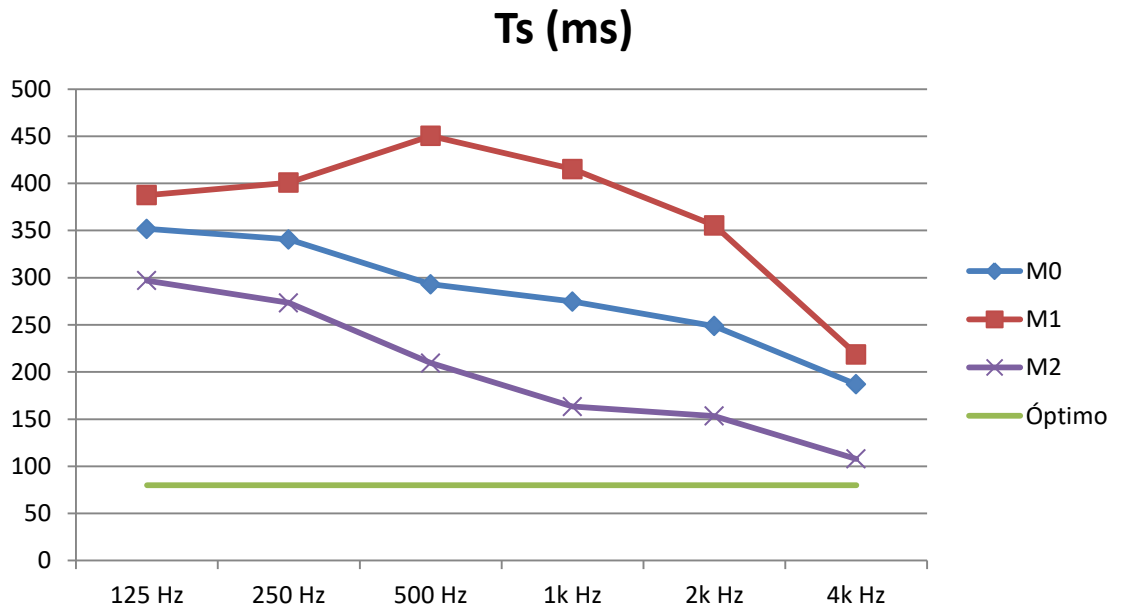


Gráfica A48, que relaciona la definición con la frecuencia para caso del receptor 10

Claridad del sonido

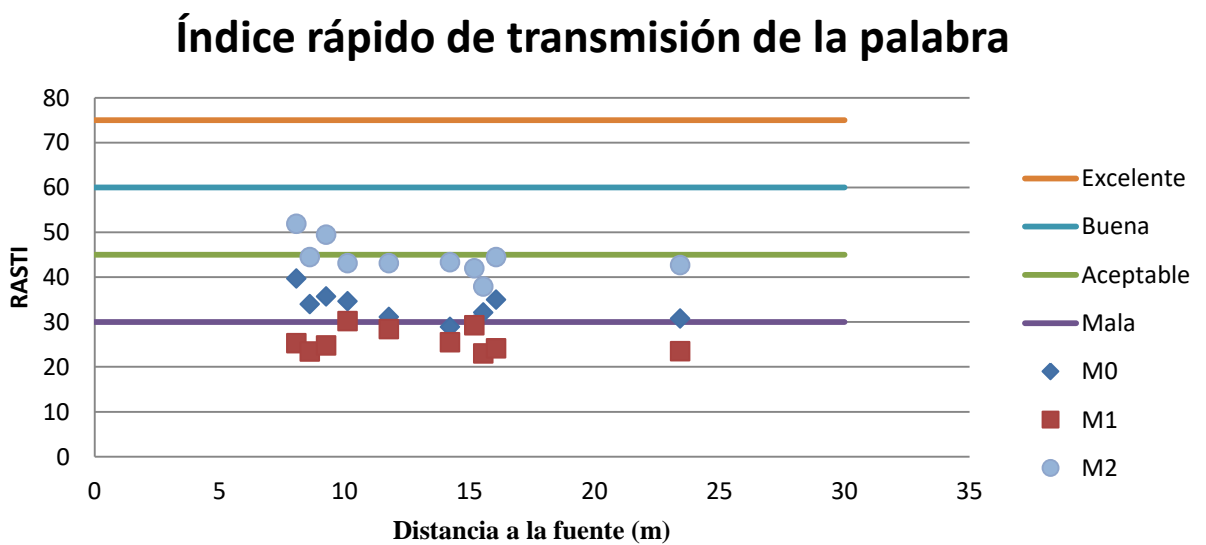


Gráfica A49, que relaciona la claridad del sonido con la frecuencia para caso del receptor 10



Gráfica A50, que relaciona el tiempo central con la frecuencia para caso del receptor 10

Una vez analizados los diez receptores con sus diferentes parámetros acústicos, resta añadir la gráfica referente a los valores de inteligibilidad RASTI, omitidos en el trabajo por su similitud con STI.



Gráfica A51, que relaciona el índice rápido de transmisión de la palabra con la distancia a la fuente sonora