
TRABAJO FINAL GRADO

Rehabilitación y adecuación acústica del Teatro “El Siglo” de Carlet



AUTOR:

JAVIER GISBERT GARCIA

TUTORES ACADÉMICOS:

IGNACIO GUILLÉN GUILLAMÓN (Departamento de Física Aplicada)

SALVADORA REIG GARCIA SAN PEDRO (Departamento de Física Aplicada)



UNIVERSITAT
POLITÀCNICA
DE VALÈNCIA



ESCOLA TÈCNICA SUPERIOR
ENGINYERIA
D'EDIFICACIÓ

Resumen

El siguiente Trabajo Fin de Grado presenta un planteamiento experimental puesto que, a partir de la actual situación del Teatro “El Siglo” en ruinas y con los planos originales se ha realizado una rehabilitación y acondicionamiento del edificio en los accesos, escaleras, asientos, palcos, cafetería y escenario; una distribución de materiales y un aislamiento respecto del exterior y del edificio adyacente.

El estudio hecho ha tenido como objeto dar unos resultados al cumplimiento de parámetros acústicos y normativa actual para una posible futura puesta en marcha del teatro. Para ello se han utilizado programas informáticos tanto de dibujo asistido como de simulación acústica, además de los conocidos Word y Excel.

En primer lugar se trabajaron los planos originales, modificándolos según indica la normativa vigente; con el teatro adaptado se pasó al diseño de la concha de escena y del techo, distribuyendo los materiales para el acondicionamiento acústico. Luego se determinó el tiempo de reverberación según los materiales colocados y se realizó la simulación virtual para obtener los resultados de varios parámetros acústicos.

Por último se trabajó sobre el procedimiento de aislamiento del teatro, centrándose más sobre la única medianera del edificio.

The next Final Project presents an experimental approach since, from the present situation of the Theatre "El Siglo" in ruins and with the original blueprints has been performed rehabilitation and acoustic preparation of building entrances, stairs, seats, boxes, coffee shop and scene; a distribution of materials and isolation from the outside and the adjacent building.

The study has been made as a result object to compliance with current legislation and acoustic parameters for possible future launch of theater. To this end, the computer programs were have been used acoustic simulation and assisted drawing besides the known Word and Excel.

Firstly the original blueprints were modified as indicated by the regulations; with the theater adapted the next step was the design of the shell scene and the roof, distributing materials for acoustic preparation. Then the reverberation time was determined according to the materials placed and virtual simulation was performed to obtain the results of several acoustic parameters.

Finally we worked on the isolation procedure theater, focusing more on the single dividing the building.

Palabras clave:

- Acondicionamiento acústico, aislamiento, rehabilitación, simulación acústica y tiempo de reverberación.
- Acoustic preparation, isolation, rehabilitation, acoustic simulation, reverberation time.

Agradecimientos

Para llevar a cabo el presente Trabajo Final de Grado, he contado con la ayuda de mi tutor Ignacio Guillén Guillamón, durante todo el proceso de estudio y del Ayuntamiento de Carlet, tanto de la alcaldesa M^a Angeles Crespo Martínez como del personal de la Oficina Técnica, facilitándome planos, documentación e imágenes relacionadas con el Teatro “El Siglo” y su rehabilitación parcial.

Acrónimos utilizados

TFG: Trabajo Final de Grado

CAD: Computer Aided Design / Diseño Asistido por Ordenador

CTE: Código Técnico de la Edificación

DB-HR: Documento Básico - Protección frente al Ruido

BR: Bass Ratio (calidez)

TR: Tiempo de Reverberación

ETSA: Escuela Técnica Superior Acústica

DXF: Drawing Exchange Format

EDT: Early Decay Time

Índice contenido

Resumen	1
Agradecimientos.....	3
Acrónimos utilizados	4
Índice contenido	5
Índice imágenes	7
Índice tablas.....	9
Capítulo 1.....	10
Descripción edificio.	10
1 Introducción histórica.....	10
2 Usos en la época.....	15
3 Descripción estado de la época.....	16
4 Descripción estado actual.....	18
Capítulo 2.....	21
Intervención.....	21
1 Objeto.....	21
2 Que se ha hecho.	22
Capítulo 3.....	28
Acondicionamiento acústico	28
1 Estudio geométrico.....	28

2	Distribución de materiales.....	31
3	Calculo tiempo de reverberación	33
4	Simulación	50
5	Análisis de resultados	66
6	Acondicionamiento del elemento común	70
	Capítulo 4.....	74
	Aislamiento.....	74
1	Planteamiento	74
2	Calculo herramienta CTE DB-HR	79
	Capítulo 5.....	83
	Conclusiones.....	83
	Anexos	85
1	Planos originales.....	85
2	Planos modificados.....	85
3	Cálculos de tiempo de reverberación.....	85
4	Calculo Herramienta CTE DB-HR.....	85
	Bibliografía.....	86

Índice imágenes

Imagen 1.Exterior original Teatro El Siglo	11
Imagen 2.Interior original Teatro el Siglo	12
Imagen 3.Vista fachada	13
Imagen 4.Interior durante una función	15
Imagen 5.Cartel de la época	15
Imagen 6.Cubierta reformada	18
Imagen 7.Interior actual	18
Imagen 8.Cubierta antigua	18
Imagen 9.Vista exterior sin y reformada	19
Imagen 10.Sectorización Teatro El Siglo.....	23
Imagen 11.Ejemplo reflexión especular	28
Imagen 12.Estudio geométrico tornavoz y techo.....	29
Imagen 13.Estudio geométrico concha escenario.....	30
Imagen 14.Tabla tipo calculo TR.....	34
Imagen 15.Tabla excel calculo TR para música	35
Imagen 16.Tabla calculo parámetros uso música aforo lleno	36
Imagen 17.Tabla calculo parámetros uso palabra aforo lleno	37
Imagen 18.Curva tonal comparativa sala ocupada	38
Imagen 19.Tabla calculo parámetros uso música aforo vacío.....	39
Imagen 20.Tabla calculo parámetros uso palabra aforo vacío.....	40
Imagen 21.Curva tonal comparativa sala vacía.	41
Imagen 22.Tabla calculo parámetros uso música aforo medio.....	42
Imagen 23.Tabla calculo parámetros uso palabra aforo medio.....	43
Imagen 24.Curva tonal comparativa sala con aforo medio.....	44

Imagen 25.Modelo dxf para simulación	50
Imagen 26.Generación de fuente, receptor y rayos.....	51
Imagen 27.Comprobación rayos en simulación	52
Imagen 28.Primeros resultados con Simulación Acústica	53
Imagen 29.Malla de receptores en platea y anfiteatro	55
Imagen 30.Posiciones estudiadas en platea.....	56
Imagen 31.Ecograma punto 2	56
Imagen 32.Tabla excel acondicionamiento vestíbulo 1.	71
Imagen 33.Tabla excel acondicionamiento vestíbulo 2.	72
Imagen 34.Tabla excel acondicionamiento vestíbulo 3.	73
Imagen 35.Vestíbulos estudiados.....	73
Imagen 36.Detalle constructivo trasdosado interior.....	76
Imagen 37. Dobles carpinterías y vestíbulos.	77
Imagen 38.Detalle doble carpintería de escenario.	78
Imagen 39.Situación de cerramientos.....	80
Imagen 40.Extracto ficha justificativa. (Ver anexo).....	82

Índice tablas

Tabla 1.Distribución original superficies	17
Tabla 2.Resumen casos estudiados de cálculo del TR.....	45
Tabla 3.Resumen calculo parámetros primer orden.....	45

Capítulo 1.

Descripción edificio.

1 Introducción histórica.

Carlet es un pueblo situado en la Ribera Alta, con una superficie actual de 45.6Km² muy seguramente ampliados desde los primeros datos de información sobre el pueblo, fechados estos en 1238. El primer teatro construido en Carlet tuvo fecha de 1840, y estaba situado en lo que actualmente son unas escuelas públicas.

Referente al teatro del presente TFG, Teatro El Siglo, se puede decir (tal como se conocía en la época) que el solar donde sita fue adquirido por un grupo de carletenses, teniendo una superficie de 15052 palmos cuadrados pertenecientes a un campo de 3 hanegadas y 12 brazas, en el término de Carlet, partida de San Roque.

El precio de venta de dicho solar a este grupo de propietarios fue de 10000 reales (unas 2500 pesetas) pagadas en monedas de oro y plata. La escritura se formalizo a fecha de 3 de Agosto de 1886 ante el notario Don Francisco Garcia Maestre.

El Siglo se construyó a partir de una sociedad de 20 vecinos, cada cual con su palco correspondiente (equivalente a una acción). Debido a temas hereditarios cada acción o palco se fue dividiendo en 6 partes, correspondientes a las 6 sillas de cada palco; se sabe que en la época

llegaron a existir las medias sillas o cuartos de silla. Cada propietario tenía una tarjeta con la que podía obtener tantas entradas como sillas o partes de estas tuviese.

El teatro pertenece a los de segunda clase, acomodándose en su interior alrededor de 550 personas (dato acorde para la población del momento). La construcción se inició hacia el año 1886 con las características siguientes:

Exterior.

- Fachada desarrollada en dos cuerpos de arcadas espaciadas.
- Amplio friso donde estaba el nombre “Teatro Del Siglo”.
- Frontón ondulado.
- Dos pilastras rematadas con florones idénticos a los del colegio San Pio V de Valencia.



Imagen 1. Exterior original Teatro El Siglo

Interior.

- Amplio patio de butacas o platea.
- Dos niveles de palcos, con capacidad de 6 personas en cada palco.
- Forma de herradura.
- Un tercer nivel a ambos lados y al fondo un gallinero o anfiteatro.

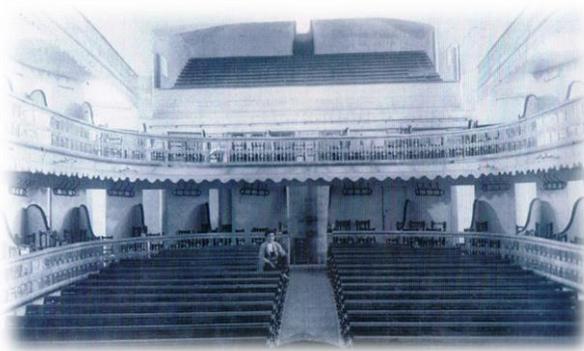


Imagen 2. Interior original Teatro el Siglo

El 1 de Enero de 1886 tres representantes de dicha sociedad propietaria, Bernat Casp, Miquel Bello y Joaquim Machí, comunicaron al ayuntamiento la finalización de las obras. Siendo el 20 del mismo mes la fecha en que el arquitecto responsable, Antoni Ferrer, emitía el informe favorable de las instalaciones, capacidad, medidas de seguridad y evacuación del teatro. Tras esto, el 29 de Enero el alcalde, Serafín Hernandis, notificó a los propietarios el permiso de apertura, siendo esta el 2 de Febrero de 1889.

A pesar de la ausencia de documentos escritos, se sabe que en los años 20 se modificó el frontón ondulado debido a la construcción de una cabina de proyección; la ventada redonda pasó a ser rectangular arcada. (Figura 3)



Imagen 3. Vista fachada

El Pla General de Ordenación Urbana de 1980 y el Plan Especial de Protección del Barrio Antiguo de 1982, catalogan el Teatro El Siglo como monumento histórico-artístico de interés local con categoría de nivel superior (actualmente se mantiene dicha consideración). En 1981 se clausura por orden gubernativa.

En los años 90 las acciones siguen siendo del pueblo, aunque una empresa inmobiliaria empieza a comprarlas haciéndose pronto con la mayoría de ellas. No obstante el 25 de Junio de 1992, durante un pleno el Ayuntamiento acuerda comprar el Teatro El Siglo por 56.400.000 de pesetas.

La idea original de quienes iniciaron la construcción fue realizar a pequeña escala el Teatro de la Princesa (Valencia). El resultado fue este teatro realizado con ladrillos, cañas y adobe, materiales pobres que acentúan la construcción simple de la época. La estructura del edificio responde a la esquemática de teatro romántico surgido en Italia y desarrollado en Europa durante el siglo XIX, caracterizándose por el patio de butacas en herradura y la jerarquización del espacio.

2 Usos en la época.

Los artistas más famosos a nivel nacional fueron ovacionados en Carlet, eran gente de teatro, zarzuelas, del mundo de la música, transformistas, etc. Además de estos, El Siglo también vivió espectáculos de artistas municipales; desde su inauguración en febrero de 1889 hasta la última fecha sabida (12 de mayo de 1912) se representaron alrededor de 519 funciones, siendo mucho más tarde su cierre definitivo.

A continuación, se detallan algunas de las funciones de la época, de variada tipología.

Año 1889_2 de Febrero_ Otelo (drama en 4 actos).

Año 1896_28 de Junio_Lucifer (zarzuela).

Año 1899_5 de Noviembre_Actuación de una compañía de gimnasia.

Año 1908_24 de Diciembre_La danza serpentina.

Año 1912_12 de Mayo_La casta Susana (opereta en 3 actos y entremés lírico Felipe II).



Imagen 5. Cartel de la época



Imagen 4. Interior durante una función

3 Descripción estado de la época.

En primer lugar cabe explicar la composición de la fachada, formada por dos cuerpos horizontales de arcadas, en el superior ventanas y en el inferior puertas. Estos dos niveles se separan por un arquitrabe continuo. Encima del nivel superior está el nombre del teatro en un amplio friso. Como remate superior de la fachada está el frontón curvilíneo; a modo de limitadores laterales encontramos dos pilastras cantoneras coronadas por florones idénticos a los del colegio San Pio V de Valencia.

Interiormente se puede decir que por la entrada accedemos al vestíbulo dividido en dos partes, una que comunica con la taquilla y la zona del conserje, tanto en planta baja como en la primera. Por la otra parte se accede al bar, a la platea, palcos y escaleras a los niveles superiores.

La forma del teatro es de herradura en todos los niveles, en la planta baja está el patio de butacas y ligeramente más elevados los palcos de planta baja, en total unos 18 palcos, además de dos de proscenio. Una vez en el segundo nivel del teatro podemos acceder a los 19 palcos de esta planta, a través del pasillo que los comunica entre sí y con el gallinero. Por este mismo pasillo se toman unas escaleras que dan acceso al tercer nivel, de la misma tipología que los inferiores pero sin separaciones ni sillas, siendo bancos continuos. El techo de la sala es arqueado, favoreciendo así la acústica de cualquier punto del teatro.

Por último la tercera zona a describir es la del escenario y camerinos. La boca del escenario está compuesta de escayola y decorada con una balaustrada de madera; el escenario tiene forma convexa con un espacio para el apuntador en su base. Tras el escenario están los camerinos y encima de estos el almacén.

Cabe destacar el uso de iluminación modernista como última sustitución de las lámparas de gas. En cuanto a los muebles, solo se puede decir que de la platea solo se conserva una fila de asientos y no es la original, aunque de la zona del gallinero y el tercer nivel si se conservan los bancos.

Distribución del espacio	Sup. (m ²)
Escenario y vestidores	186m ²
Patio de butacas	150 m ²
Palcos planta baja	72 m ²
Palcos primer piso y gallinero	90 m ²
Tercer piso	30 m ²
Vestíbulo y accesos	230 m ²
Servicios	80 m ²
Superficie total	838 m ²

Tabla 1. Distribución original superficies

4 Descripción estado actual.

Hoy en día el estado del teatro es totalmente penoso y de un grado de deterioro elevado, tanto por la dejadez de los propietarios como por la falta de reparaciones. Las partes peor conservadas son la cubierta, las particiones interiores, los revestimientos, la decoración y por supuesto el mobiliario.

Tan solo se ha reformado la cubierta por el avanzado estado de destroza debido a las filtraciones por lluvia; causando estas también el deterioro del entramado de madera de la platea, los palcos, los elementos ornamentales de escayola, lámparas, etc. (Figuras 6, 7 y 8)



Imagen 8. Cubierta antigua



Imagen 6. Cubierta reformada



Imagen 7. Interior actual

Fuente: Ayuntamiento de Carlet

En los años 90 se redactó un anteproyecto de reforma por parte de la Generalitat, el cual implicaba la conservación de la forma arquitectónica que caracteriza El Siglo, los detalles y decoración propia de la época (adaptándolo a la legislación vigente).



Imagen 9. Vista exterior sin y reformada

Fuente: Avuntamiento de Carlet

A pesar de que dicho anteproyecto no se ha llevado a cabo por completo, si se ha trabajado sobre el estado de la envoltura del teatro, siendo estos unos muros de carga de mampostería bastante bien conservados, aunque se han tapado agujeros, pintado y mejorado las puertas y ventanas; se ejecutara un recalce y un zuncho perimetral para reforzar dichos muros. (Figuras 9 y 10)

Debido a la situación actual de la sociedad carletina, los diferentes grupos y asociaciones musicales, la posible futura rehabilitación y puesta en marcha del Teatro El Siglo solo serían efectiva con una completa unanimidad en su objetivo. El cual puede tener muchas opciones, desde su original idea de teatro hasta albergar la documentación histórica municipal, eclesiástica y demás de los pueblos de la Ribera; aunque otra idea muy posible es:

“La primera fase de las obras permitirá consolidar un edificio que en el futuro se convertirá en un gran centro cultural”; tal como cita el diario Las Provincias el 21-01-2012

Lo único que está claro y se debe respetar, es que sea cual sea su futuro se debe tener muy en cuenta la necesidad de su restauración manteniendo su estructura arquitectónica original.

Capítulo 2.

Intervención.

1 Objeto.

El presente TFG tiene como objetivo principal llevar a cabo la rehabilitación interior y la adecuación acústica del Teatro “El Siglo” de forma virtual, pero sin dejar de buscar soluciones constructivas que pudiesen acometerse en una futura realidad.

2 Que se ha hecho.

En primer lugar cabe decir que debido al estado actual del teatro se tomó la decisión de no realizar las mediciones acústicas con el instrumental específico, puesto que en ninguna posición del edificio serian de utilidad los resultados; esto acentuó que una de las ideas iniciales fuese la rehabilitación interior completa.

Para la rehabilitación interior del teatro se usaron los planos cedidos por el Ayuntamiento de Carlet, los cuales se modificaron y adaptaron a la normativa actual. Después se hizo la elección de los materiales que revestirían el interior del nuevo teatro para su adecuación acústica; con estos materiales escogidos se obtuvo el tiempo de reverberación y se trabajó hasta adaptarlo a la exigencia.

A continuación con los materiales definitivos, se pasó a realizar la simulación virtual del modelado del teatro (tanto para palabra como para música), con el programa “Simulación Acústica” instalado en los ordenadores de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura.

Por otra parte con ayuda de la “Herramienta de cálculo del CTE DB-HR” y en base a varios datos, se estudió el aislamiento de la única medianera existente (pared trasera del escenario).

En los siguientes capítulos se detallaran los pasos seguidos.

El Teatro “El Siglo” como todos los demás de similar planta, se pueden dividir en tres espacios o volúmenes a modo de cajas con diferentes usos, se utilizara esto para la explicación de la intervención realizada.

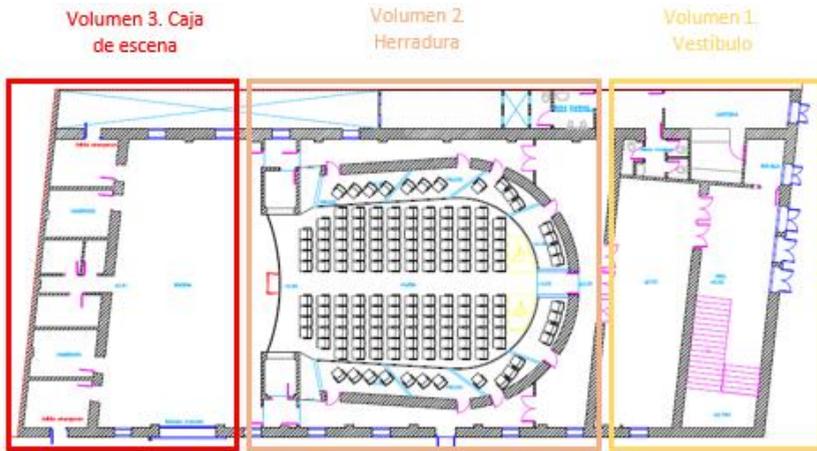


Imagen 10. Sectorización Teatro El Siglo

Concretamente para nuestro teatro, los tres espacios a intervenir han sido los siguientes:

- Volumen 1: vestíbulo, caja escalera, taquilla y cafetería.
- Volumen 2: platea, palcos y gallinero.
- Volumen 3: caja de escena, estancias posteriores.

En primer lugar se debe describir el **estado original** de los volúmenes para comprender las modificaciones hechas.

- Volumen 1.

Esta primera caja estaba separada en dos, mediante un muro de carga de mampostería (el cual no se ha tocado). En la primera parte encontramos una escalera de acceso a los niveles 1 y 2 (zona de entreplanta y cabina de proyección), además de la taquilla. Ya en la segunda parte del vestíbulo, estaban las escaleras de acceso a palcos de nivel 1 y 2 y al gallinero, además de la cafetería. Bajo la zanca de escalera se encuentra el acceso a varios almacenes.

- Volumen 2.

En esta zona del teatro se encuentran la platea, los palcos de nivel 0, 1 y 2 y los aseos de nivel 0 y 1.

- Volumen 3.

Aquí se sitúan la caja de escena, algunos almacenes y los camerinos.

La principal razón por la que se ha planteado la rehabilitación real (aunque no se ha hecho por completo) es que el teatro está en un avanzado estado de deterioro y se pretende mantener en pie el máximo tiempo posible.

En el presente TFG la rehabilitación sugerida se realiza de forma virtual y conforme a la normativa vigente (Código Técnico de la Edificación Documento Básico-Seguridad de Uso y Accesibilidad y Reglamento general de policía de espectáculos públicos y actividades recreativas), así pues quedan las siguientes **modificaciones**:

- Volumen 1.

En este primer espacio del teatro, la modificación más importante fue con las escaleras de acceso a niveles superiores. Las existentes no cumplían en absoluto la normativa citada, además de su pobre estado actual. Se decidió eliminar la caja de escalera de la primera parte del vestíbulo y colocar en su lugar la nueva escalera de acceso a niveles superiores, se accedería por una misma caja de escalera a ambos lados superiores del teatro.

La cafetería original también se cambió de posición, decidiendo ampliar su posibilidad de uso a cuando el teatro estuviese también cerrado. Paso a colocarse al lado de las taquillas, y se buscó la solución en que compartiese aseos con el nivel 0 del teatro. La nueva posición de la cafetería mejora mucho los problemas que puedan surgir de ruido exterior respecto a la zona de butacas.

En el nivel 1 del teatro, el acceso a los palcos del lado derecho se realizaba a través de un pasillo bajo el anfiteatro, evitando así tener que hacer caja de escalera encima de las taquillas. Además, esto posibilita el acceso al anfiteatro desde nivel 1.

El paso de este volumen al volumen 2 en el nivel 2, se caracteriza por el uso de doble carpintería formando un vestíbulo de entrada que regule las exigencias.

En todo el vestíbulo se ha realizado un trasdosado interior, para mejorar el aislamiento respecto a ruido aéreo de la calle (detallado en Aislamiento).

Además, cabe destacar que todo el vestíbulo y el pasillo bajo gallinero de acceso a palcos se ha realizado lo más absorbente posible.

- Volumen 2.

La modificación más relevante de este espacio ha sido la distribución de los asientos, tanto de platea como de los palcos y el nuevo “gallinero”. Según el Reglamento de Policía, se ha establecido la nueva anchura de los pasillos y la separación entre butacas de distintas filas.

La nueva platea tiene 162 butacas con un solo pasillo central más 4m² para minusválidos.

En los palcos laterales de nivel 0, se ha respetado el ancho de los cerramientos con los pasillos de comunicación pero se han unido varios palcos originales creando otros más grandes. De los 16 palcos originales, solo se han podido formar 8 nuevos. Así pues en los nuevos palcos de nivel 0 hay 30 butacas. Los pasillos laterales de acceso a los palcos han sido compartimentados con puertas consiguiendo así doble carpintería y haciéndolos, tanto con techo como paredes y suelo, lo más absorbente posible.

Para el nivel 1, los palcos se han modificado pasando de 19 originales a 6 nuevos palcos separados más 12 butacas sin separación justo enfrente del escenario. Directamente por detrás de dichas butacas se accede por ambos lados a las gradas del anfiteatro, habiendo en su nueva distribución 52 asientos. Además de la modificación de los palcos, se han cambiado los aseos colocando doble carpintería que forma un vestíbulo

de entrada a estos; y se han hecho absorbentes los pasillos laterales de acceso a palcos.

Ya en el nivel 2, las butacas se han colocado en un mismo palco a lo largo del lateral del teatro. Cabe decir que los palcos de proscenio se han dejado sin modificar, aunque su uso se ha eliminado.

Otro cambio bastante relevante ha sido el tapiado de las ventanas laterales que daban iluminación a los pasillos de acceso a palcos, en todos los niveles.

- Volumen 3.

En este último espacio del teatro, se debe hacer una diferenciación importante en la zona de escenario. El estudio que se hará más adelante sobre el acondicionamiento acústico, deberá tratar el uso de palabra o el uso de música.

Para un uso solamente de palabra, el escenario (a nivel acústico) es como si no existiese; aunque para uso de música se ha tenido que diseñar una concha de escena con sus laterales para poder tener reflexiones acústicas coherentes.

Según normativa se ha tenido que colocar salidas de emergencia a ambos lados del escenario, usando los almacenes originales se ha conseguido un vestíbulo y la doble carpintería.

Tras el escenario se han mantenido los camerinos y almacenes originales, con las escaleras de acceso a estancias de nivel 1.

En el lateral del escenario recayente a la fachada con calle se ha abierto una puerta de entrada de material, con característica de doble carpintería (se detalla en Aislamiento)

Capítulo 3.

Acondicionamiento acústico

1 Estudio geométrico

En primer lugar para realizar un buen acondicionamiento del teatro se ha tenido que diseñar la concha de escenario, sus laterales y el nuevo techo del resto de la sala teatral. Este diseño se ha hecho en base a las leyes de la reflexión especular de la acústica geométrica.

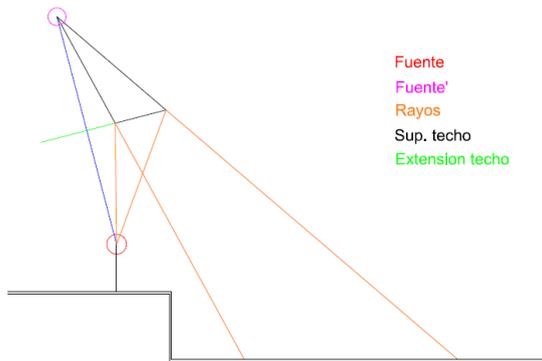


Imagen 11. Ejemplo reflexión especular

Tomando como focos dos puntos colocados, uno en el interior del escenario como el “foco música” y el otro en la boca de escenario como “foco palabra”, (prácticamente en el medio) se trabajan sobre el diseño geométrico del teatro.

Por una parte, usando el “foco palabra” y la ley de reflexión especular se prediseña el tornavoz y el techo de la sala teatral para obtener el campo de recepción para palabra. Una vez se obtiene la zona que abarcan los rayos con dicho tornavoz, se estudia de qué forma ofrece mejor campo de recepción, hasta obtener el diseño final tanto del tornavoz como del techo.

Como punto característico, se ha tenido que tener en cuenta que el diseño del nuevo techo no obstruyese la visión a los espectadores del anfiteatro ni la posible proyección desde la cabina superior.

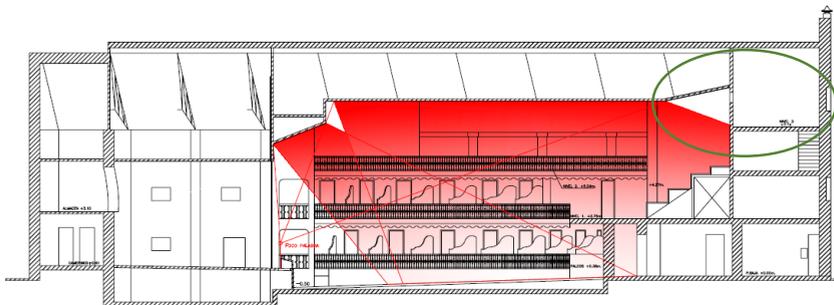


Imagen 12. Estudio geométrico tornavoz y techo

○ Cabina proyección

Por otra parte, con el “foco música” ya en el medio del escenario y usando el prediseño de la concha se realiza mediante la reflexión especular el trazado de los rayos reflejados y el campo de recepción originado en la sala teatral.

En este caso la reflexión de la concha se estudia tanto la del techo como la de su pared posterior. Con el campo de recepción inicial se comprueba el barrido de reflexiones en la sala y se modifica la inclinación hasta conseguir una extensión de dicho barrido considerable.

Como característica del estudio geométrico para música, cabe decir que se ha dado la misma inclinación a la parte superior de la concha y al tornavoz, consiguiendo así una “única” superficie casi continua que evita dejar espacios sin reflexión.

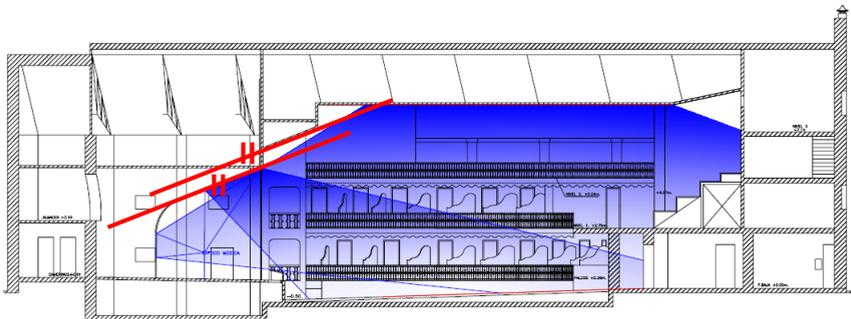


Imagen 13. Estudio geométrico concha escenario

 Inclinación concha

Así pues de esta forma se ha conseguido una concha de escena, un tornavoz y un techo que con ambas posibilidades de uso del teatro (palabra y música) ofrecen a cualquier espectador, la recepción del sonido emitido en el escenario.

2 Distribución de materiales

Tal como se ha indicado en el apartado anterior, los elementos principales de reflexión del teatro ya han sido diseñados para su buen efecto.

A partir de dicho diseño, se debe de saber que estos elementos deben ser preferiblemente reflectantes, y es por esto por lo que a continuación se realiza una distribución de materiales por zonas del teatro que queda de la siguiente forma:

- Escenario.
 - Concha: madera solida de 5cm de espesor.
 - Laterales: contrachapado de madera de 0.3cm de espesor con cavidad de aire en el dorso.
 - Tarima: parqué sobre rastreles.

- Nivel 0, 1 y 2
 - Suelo: linóleo de 0.65cm.
 - Laterales (paredes posteriores de palcos): madera solida sobre rastreles con cámara de lana de roca de alta densidad.
 - Antepecho de palcos: muro de ladrillo con enlucido de yeso.
 - Espectadores: sillas con bajo porcentaje de superficie tapizada.

- Gallinero.
 - Laterales: madera solida sobre rastreles con cámara de lana de roca de alta densidad.
 - Pared posterior: madera solida sobre rastreles con cámara de lana de roca de alta densidad.
 - Espectadores: sillas con bajo porcentaje de superficie tapizada.

- Otros.
 - Boca escenario: apertura de escenario
 - Techo: contrachapado de madera de 0.3cm de espesor con cavidad de aire en el dorso.

La distribución se ha realizado tomando los materiales de una base de datos facilitada en la asignatura “Área de Intensificación, Acústica”. Esta organización de materiales se ha llevado a cabo teniendo en cuenta ciertos aspectos.

El nuevo techo, la concha de escena y sus laterales y la tarima del escenario debían ser reflectantes para facilitar la llegada del sonido tanto en modo palabra como música a todos los espectadores. De la misma forma los laterales (paredes posteriores de los palcos) también se han diseñado reflectantes.

La absorción de la sala teatral se consigue básicamente con las butacas a pesar de tener baja superficie tapizada.

3 Cálculo tiempo de reverberación

Coetáneo con la distribución de materiales es el cálculo de los parámetros de calidad de 1^{er} orden; esto se debe a que de la misma base de datos, junto al tipo de material se obtiene los coeficientes de absorción para las frecuencias en bandas de octava. Los parámetros a estudiar son los siguientes:

- Tiempo de reverberación, $T_{r \text{ mid}} \approx 1$

Es aquel espacio temporal que hay desde que la fuente deja de emitir el sonido y la energía acústica en la sala cae 60dB. Para poder dar un valor numérico a este parámetro se utiliza la siguiente fórmula:

$$T_{r \text{ mid}} = \frac{T_{r \text{ 500}} + T_{r \text{ 1000}}}{2}$$

- Calidez, $BR \approx 1.2$

Con este parámetro se mide los sonidos graves de la sala, dando a esta calidez y sensación de recogimiento durante las actuaciones.

$$BR = \frac{T_{r \text{ 125}} + T_{r \text{ 250}}}{T_{r \text{ 500}} + T_{r \text{ 1000}}}$$

- Brillo, $Br > 0.87$

Este otro parámetro permite medir los sonidos agudos de las salas, dando a estos una brillantez y claridad acústica en su audición.

$$Br = \frac{T_{r \text{ 2000}} + T_{r \text{ 4000}}}{T_{r \text{ 500}} + T_{r \text{ 1000}}}$$

NOTA: valores exigibles en el teatro “El Siglo”, según sus características.

Los valores que se utilizan en dichas fórmulas se obtienen según los materiales elegidos, sus coeficientes de absorción, la superficie de cada zona y el volumen de la sala.

El primer paso para el estudio del cálculo del tiempo de reverberación es determinar el volumen de la caja teatral, tanto incluyendo caja de escena como no. A continuación, se obtiene la medición de las superficies que se van a materializar y se configura una tabla excel con las siguientes características.

- Superficies (m^2)
- Volumen (m^3)
- Materiales
- Coeficientes de absorción

TEATRO EL SIGLO								
VOLUMEN (m^3)								
Superficie (m^2)	Zona	Material	125 Hz	250Hz	500Hz	1000Hz	2000Hz	4000Hz
ABSORCIÓN TEATRO			0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
			T_r (125Hz)	T_r (250Hz)	T_r (500Hz)	T_r (1000Hz)	T_r (2000Hz)	T_r (4000Hz)

Imagen 14. Tabla tipo calculo TR

Según se ha explicado en el apartado anterior, con la ayuda de una base de datos obtenemos los materiales que queremos colocar y sus coeficientes de absorción para las frecuencias en bandas de octava (125, 250, 500, 1000, 2000 y 4000 Hz).

A través de varios cálculos obtenemos los valores que cada material nos da para tiempo de reverberación (s) en cada frecuencia.

- **Primer cálculo:** $\Sigma(\alpha_{\text{material}} * \text{Sup. Material})$, de cada material y en cada frecuencia.
- **Segundo calculo:** formula de Sabine

$$Tr = (0.162 * \text{Volumen}) / \Sigma(\alpha_{\text{material}} * \text{Sup. Material})$$

TEATRO EL SIGLO								
VOLUMEN (m3)		1191,76						
Superficie (m2)	Zona	Material	125 Hz	250Hz	500Hz	1000Hz	2000Hz	4000Hz
86,28	Publico nivel 0	Sillas ocupadas con bajo porcentaje de superficie tapizada	0,56	0,68	0,79	0,83	0,86	0,86
29,75	Suelo nivel 0	Linoleo (0,65 cm)	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03
107,02	Laterales nivel 0	Madera sólida, sobre rastreles, camara de lana de roca de alta densidad	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
31,43	Barandilla nivel 0	Ladrillo, muro con enlucido de yeso	0,013	0,015	0,02	0,028	0,04	0,05
27,58	Suelo nivel 1	Linoleo (0,65 cm)	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03
50,79	Palcos nivel 1	Sillas ocupadas con bajo porcentaje de superficie tapizada	0,56	0,68	0,79	0,83	0,86	0,86
56	Laterales nivel 1	Madera sólida, sobre rastreles, camara de lana de roca de alta densidad	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
19,76	Barandilla nivel 1	Ladrillo, muro con enlucido de yeso	0,013	0,015	0,02	0,028	0,04	0,05
40,76	Palcos nivel 2	Sillas ocupadas con bajo porcentaje de superficie tapizada	0,56	0,68	0,79	0,83	0,86	0,86
36	Suelo nivel 2	Linoleo (0,65 cm)	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03
103,34	Laterales nivel 2	Madera sólida, sobre rastreles, camara de lana de roca de alta densidad	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
10,64	Barandilla nivel 2	Ladrillo, muro con enlucido de yeso	0,013	0,015	0,02	0,028	0,04	0,05
35,8	Lateral gallinero	Madera sólida, sobre rastreles, camara de lana de roca de alta densidad	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
32,7	Fondo gallinero	Madera sólida, sobre rastreles, camara de lana de roca de alta densidad	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
21,4	Publico gallinero	Sillas ocupadas con bajo porcentaje de superficie tapizada	0,56	0,68	0,79	0,83	0,86	0,86
41,7	Boca escenario	Abertura de escenario	0,1	0,4	0,5	0,4	0,6	0,3
244,9	Techo	Contrachapado de madera de 3 mm con cavidad de aire en el dorso	0,11	0,21	0,1	0,05	0,03	0,02
38,8	Laterales esc.	Contrachapado de madera de 3 mm con cavidad de aire en el dorso	0,11	0,21	0,1	0,05	0,03	0,02
61,2	Concha esc.	Madera sólida, 5 cm de espesor	0,01	0,05	0,05	0,04	0,04	0,04
57,4	Tarima esc.	Parquet sobre rastreles	0,05	0,03	0,06	0,09	0,1	0,1
ABSORCIÓN TEATRO			163,85	221,72	218,63	219,13	224,09	224,38
			1,178	0,871	0,883	0,881	0,862	0,860

En base a estos tiempos de reverberación obtenidos en cada frecuencia

Imagen 15. Tabla excel calculo TR para música

y usando las formulas del $T_{r \text{ mid}}$, BR y Br antes nombradas, se obtendrán los valores que con esta distribucion de materiales el Teatro “El Siglo” ofrece para los parámetros de calidad acústica de primer orden.

En el presente proyecto se ha estudiado el cálculo de los parámetros indicados para las dos situaciones en que se considera se puede usar el teatro, para música o para palabra; además de la ocupación de este, es decir lleno, vacío o medio aforo.

Para poder clasificar los valores de los parámetros que se han obtenido del teatro, haremos referencia al libro “ABC de la acústica arquitectónica” de Higiní Arau, donde según el valor de calidez, brillo y tiempo de reverberación nuestro edificio se califica con un factor de mérito.

Además de tener en cuenta que por las características del Teatro “El Siglo”, se han predeterminado unos valores aproximados a cumplir.

A continuación se detallan los casos de cálculo (ver anexo 2):

- Caso 1. Uso música y palabra con aforo lleno.

TEATRO EL SIGLO								
VOLUMEN (m3)		1191,76						
Superficie (m2)	Zona	Material	125 Hz	250Hz	500Hz	1000Hz	2000Hz	4000Hz
86,28	Publico nivel 0	Sillas ocupadas con bajo porcentaje de superficie tapizada	0,56	0,68	0,79	0,83	0,86	0,86
29,25	Suelo nivel 0	Linóleo (0,65 cm)	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03
107,02	Laterales nivel 0	Madera sólida, sobre rastreles, camara de lana de roca de alta densidad	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
31,43	Barandilla nivel 0	Ladrillo, muro con enlucido de yeso	0,013	0,015	0,02	0,028	0,04	0,05
27,58	Suelo nivel 1	Linóleo (0,65 cm)	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03
50,79	Palcos nivel 1	Sillas ocupadas con bajo porcentaje de superficie tapizada	0,56	0,68	0,79	0,83	0,86	0,86
56	Laterales nivel 1	Madera sólida, sobre rastreles, camara de lana de roca de alta densidad	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
19,76	Barandilla nivel 1	Ladrillo, muro con enlucido de yeso	0,013	0,015	0,02	0,028	0,04	0,05
40,76	Palcos nivel 2	Sillas ocupadas con bajo porcentaje de superficie tapizada	0,56	0,68	0,79	0,83	0,86	0,86
36	Suelo nivel 2	Linóleo (0,65 cm)	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03
103,34	Laterales nivel 2	Madera sólida, sobre rastreles, camara de lana de roca de alta densidad	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
10,64	Barandilla nivel 2	Ladrillo, muro con enlucido de yeso	0,013	0,015	0,02	0,028	0,04	0,05
35,8	Lateral gallinero	Madera sólida, sobre rastreles, camara de lana de roca de alta densidad	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
32,7	Fondo gallinero	Madera sólida, sobre rastreles, camara de lana de roca de alta densidad	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
21,4	Publico gallinero	Sillas ocupadas con bajo porcentaje de superficie tapizada	0,56	0,68	0,79	0,83	0,86	0,86
41,7	Boca escenario	Abertura de escenario	0,3	0,4	0,5	0,6	0,6	0,5
244,9	Techo	Contrachapado de madera de 3 mm con cavidad de aire en el dorso	0,11	0,21	0,1	0,05	0,03	0,02
38,8	Laterales esc.	Contrachapado de madera de 3 mm con cavidad de aire en el dorso	0,11	0,21	0,1	0,05	0,03	0,02
61,2	Corcha esc.	Madera sólida, 5 cm de espesor	0,01	0,05	0,05	0,04	0,04	0,04
57,4	Tarima esc.	Parquet sobre rastreles	0,05	0,03	0,06	0,09	0,1	0,1
ABSORCIÓN TEATRO			163,85	221,72	219,63	219,13	224,09	224,38
			Tr (125Hz)	Tr (250Hz)	Tr (500Hz)	Tr (1000Hz)	Tr (2000Hz)	Tr (4000Hz)
			1,178	0,871	0,883	0,881	0,862	0,860
$T_{total} = 1$	$T_{-0,65}$	$T_{rmed} = (T \cdot 500 + T \cdot 1000) / 2$	0,88					
$BR = 1,2$	BR (bass ratio)	$BR = (T \cdot 125 + T \cdot 250) / (T \cdot 500 + T \cdot 1000)$	1,16					
$Br > 0,87$	Br (brillo)	$Br = (T \cdot 2000 + T \cdot 4000) / (T \cdot 500 + T \cdot 1000)$	0,98					

Imagen 16. Tabla calculo parámetros uso música aforo lleno

Tras varias combinaciones de materiales y aplicar los cálculos correspondientes, obtenemos que para el Teatro “El Siglo” los valores de los parámetros son los siguientes.

- $T_{r\text{ mid}}=0.88$
- $BR=1.16$
- $Br=0.98$

Exceptuando el $T_{r\text{ mid}}$, ya que esta lo más ajustado posible a las exigencias para este caso, puesto que por la elección de materiales y el volumen de la sala no se puede aumentar más. Por otra parte la sala ofrece una calidez y un brillo dentro de los valores exigidos.

TEATRO EL SIGLO								
VOLUMEN (m3)		1044,56						
Superficie (m2)	Zona	Material	125 Hz	250Hz	500Hz	1000Hz	2000Hz	4000Hz
86,28	Publico nivel 0	Sillas ocupadas con bajo porcentaje de superficie tapizada	0,56	0,68	0,79	0,83	0,86	0,86
29,75	Suelo nivel 0	Líndoleo (0,65 cm)	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03
107,02	Laterales nivel 0	Madera sólida, sobre rastreles, cámara de lana de roca de alta densidad	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
31,43	Barandilla nivel 0	Ladrillo, muro con enlucido de yeso	0,013	0,015	0,02	0,028	0,04	0,05
27,58	Suelo nivel 1	Líndoleo (0,65 cm)	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03
50,79	Palcos nivel 1	Sillas ocupadas con bajo porcentaje de superficie tapizada	0,56	0,68	0,79	0,83	0,86	0,86
56	Laterales nivel 1	Madera sólida, sobre rastreles, cámara de lana de roca de alta densidad	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
19,76	Barandilla nivel 1	Ladrillo, muro con enlucido de yeso	0,013	0,015	0,02	0,028	0,04	0,05
40,76	Palcos nivel 2	Sillas ocupadas con bajo porcentaje de superficie tapizada	0,56	0,68	0,79	0,83	0,86	0,86
36	Suelo nivel 2	Líndoleo (0,65 cm)	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03
103,34	Laterales nivel 2	Madera sólida, sobre rastreles, cámara de lana de roca de alta densidad	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
10,64	Barandilla nivel 2	Ladrillo, muro con enlucido de yeso	0,013	0,015	0,02	0,028	0,04	0,05
35,8	Lateral gallinero	Madera sólida, sobre rastreles, cámara de lana de roca de alta densidad	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
32,7	Fondo gallinero	Madera sólida, sobre rastreles, cámara de lana de roca de alta densidad	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
21,4	Publico gallinero	Sillas ocupadas con bajo porcentaje de superficie tapizada	0,56	0,68	0,79	0,83	0,86	0,86
41,7	Boca escenario	Abertura de escenario	0,3	0,4	0,5	0,6	0,6	0,5
244,9	Techo	Contrachapado de madera de 3 mm con cavidad de aire en el dorso	0,11	0,21	0,1	0,05	0,03	0,02
ABSORCIÓN TEATRO			116,10	208,79	206,25	209,57	218,74	209,67
			$T_r(125\text{Hz})$	$T_r(250\text{Hz})$	$T_r(500\text{Hz})$	$T_r(1000\text{Hz})$	$T_r(2000\text{Hz})$	$T_r(4000\text{Hz})$
			1,084	0,810	0,813	0,807	0,788	0,807
$T_{r\text{ medio}}=1$	$T_{r\text{ medio}}$	$T_{r\text{ mid}} = (T_r(500)+T_r(1000))/2$	0,83					
$BR=1,2$	BR (bajo ratio)	$BR = (T_r(125)+T_r(250))/(T_r(500)+T_r(1000))$	1,17					
$Br>0,87$	Br (brillo)	$Br = (T_r(2000)+T_r(4000))/(T_r(500)+T_r(1000))$	0,98					

Imagen 17.Tabla calculo parámetros uso palabra aforo lleno

Para el uso de palabra la primera característica a mencionar es que el volumen (m^3) de cálculo disminuye respecto al de uso para música, ya que se excluye la caja de escena.

La distribución de materiales es idéntica que en uso para música aunque se elimina de la tabla excel las zonas del escenario. Así pues, los valores de parámetros quedan de la siguiente forma:

- $T_{r\text{ mid}}=0.81$
- $BR=1.17$
- $Br=0.98$

En esta situación el $T_{r\text{ mid}}$ disminuye una diferencia casi despreciable y la calidez de la sala aumenta también muy poco, manteniéndose en el mismo valor y aceptable el brillo.

En base a los valores de tiempo de reverberación en cada frecuencia y para cada uso se obtiene la siguiente comparativa de curva tonal.

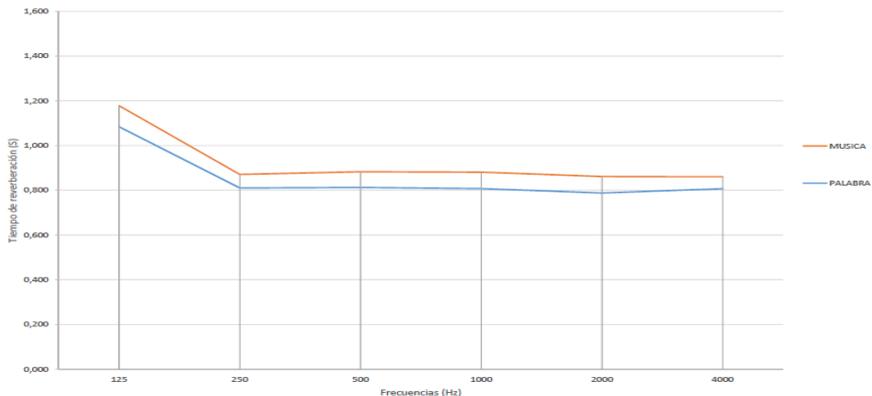


Imagen 18. Curva tonal comparativa sala ocupada

Se observa un gran paralelismo entre ambos usos de la sala y como el tiempo de reverberación en frecuencias bajas o graves disminuye hasta las frecuencias medias donde es estacionario y a partir de la frecuencia de 1000Hz hacia las altas o agudas sigue descendiendo, aunque con un ligero pico final.

- Caso 2. Uso música y palabra con aforo vacío.

		TEATRO EL SIGLO						
VOLUMEN (m ³)		1191,76						
Superficie (m ²)	Zona	Material	125 Hz	250Hz	500Hz	1000Hz	2000Hz	4000Hz
86,28	Público nivel 0	Sillas vacías con bajo porcentaje de superficie tapizada	0,35	0,45	0,57	0,61	0,59	0,55
29,75	Suelo nivel 0	Ladrillo (0,65 cm)	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01
107,02	Laterales nivel 0	Madera sólida, sobre rastreles, cámara de lana de roca de alta densidad	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
31,43	Barandilla nivel 0	Ladrillo, muro con enlucido de yeso	0,013	0,015	0,02	0,028	0,04	0,05
27,58	Suelo nivel 1	Ladrillo (0,65 cm)	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01
50,79	Palcos nivel 1	Sillas vacías con bajo porcentaje de superficie tapizada	0,35	0,45	0,57	0,61	0,59	0,55
5,6	Laterales nivel 1	Madera sólida, sobre rastreles, cámara de lana de roca de alta densidad	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
19,76	Barandilla nivel 1	Ladrillo, muro con enlucido de yeso	0,013	0,015	0,02	0,028	0,04	0,05
40,76	Palcos nivel 2	Sillas vacías con bajo porcentaje de superficie tapizada	0,35	0,45	0,57	0,61	0,59	0,55
16	Suelo nivel 2	Ladrillo (0,65 cm)	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01
103,34	Laterales nivel 2	Madera sólida, sobre rastreles, cámara de lana de roca de alta densidad	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
10,64	Barandilla nivel 2	Ladrillo, muro con enlucido de yeso	0,013	0,015	0,02	0,028	0,04	0,05
35,8	Lateral gallinero	Madera sólida, sobre rastreles, cámara de lana de roca de alta densidad	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
32,7	Fondo gallinero	Madera sólida, sobre rastreles, cámara de lana de roca de alta densidad	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
21,4	Público gallinero	Sillas vacías con bajo porcentaje de superficie tapizada	0,35	0,45	0,57	0,61	0,59	0,55
41,7	Boca escenario	Abertura de escenario	0,3	0,4	0,5	0,6	0,6	0,5
244,9	Techo	Contrachapado de madera de 3 mm con cavidad de aire en el dorso	0,11	0,21	0,1	0,05	0,03	0,02
38,8	Laterales esc.	Contrachapado de madera de 3 mm con cavidad de aire en el dorso	0,11	0,21	0,1	0,05	0,03	0,02
61,2	Concha esc.	Madera sólida, 5 cm de espesor	0,01	0,05	0,05	0,04	0,04	0,04
57,4	Tarima esc.	Parqué sobre rastreles	0,05	0,01	0,06	0,09	0,1	0,2
ABSORCIÓN TEATRO			122,03	175,90	174,80	175,30	170,30	162,63
			$T_r(125Hz)$	$T_r(250Hz)$	$T_r(500Hz)$	$T_r(1000Hz)$	$T_r(2000Hz)$	$T_r(4000Hz)$
			1,582	1,098	1,104	1,101	1,134	1,187
T_{total}^{-1}	T_{total}	$T_{mid} = (T_r500 + T_r1000)/2$	1,10					
BR=1,2	BR (bass ratio)	$BR = (T_r125 + T_r250)/(T_r500 + T_r1000)$	1,21					
Br =0,87	Br (brillo)	$Br = (T_r2000 + T_r4000)/(T_r500 + T_r1000)$	1,05					

Imagen 19. Tabla cálculo parámetros uso música aforo vacío

En el siguiente caso, para poder materializar el aforo del teatro como vacío, de la base de datos de materiales se tomaron las sillas vacías con bajo porcentaje de superficie tapizada. Esto modificaba los coeficientes de absorción (reduciéndolos) y por tanto los cálculos de los tiempos de reverberación y los valores de los parámetros a cumplir.

Puesto que la absorción se reducía el $T_{r \text{ mid}}$ aumento su valor pero sin sobrepasar demasiado el exigible para nuestro teatro y sus condiciones. La calidez (BR) se ajustaba mucho a lo exigido y el brillo (Br) seguía cumpliendo los valores predeterminados. Siendo estos los siguientes:

- $T_{r \text{ mid}}=1.10$
- $BR=1.21$
- $Br=1.05$

TEATRO EL SIGLO								
VOLUMEN (m ³)		1044,56						
Superficie (m ²)	Zona	Material	125 Hz	250Hz	500Hz	1000Hz	2000Hz	4000Hz
86,28	Publico nivel 0	Sillas vacias con bajo porcentaje de superficie tapizada	0,31	0,45	0,57	0,61	0,59	0,55
29,75	Suelo nivel 0	Linóleo (0,65 cm)	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03
107,02	Laterales nivel 0	Madera solida, sobre rastreles, camara de lana de roca de alta densidad	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
31,43	Barandilla nivel 0	Ladrillo, muro con enlucido de yeso	0,013	0,015	0,02	0,028	0,04	0,05
27,58	Suelo nivel 1	Linóleo (0,65 cm)	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03
50,79	Palcos nivel 1	Sillas vacias con bajo porcentaje de superficie tapizada	0,35	0,45	0,57	0,61	0,59	0,55
56	Laterales nivel 1	Madera solida, sobre rastreles, camara de lana de roca de alta densidad	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
19,76	Barandilla nivel 1	Ladrillo, muro con enlucido de yeso	0,013	0,015	0,02	0,028	0,04	0,05
40,76	Palcos nivel 2	Sillas vacias con bajo porcentaje de superficie tapizada	0,35	0,45	0,57	0,61	0,59	0,55
36	Suelo nivel 2	Linóleo (0,65 cm)	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03
103,34	Laterales nivel 2	Madera solida, sobre rastreles, camara de lana de roca de alta densidad	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
10,64	Barandilla nivel 2	Ladrillo, muro con enlucido de yeso	0,013	0,015	0,02	0,028	0,04	0,05
35,8	Lateral gallinero	Madera solida, sobre rastreles, camara de lana de roca de alta densidad	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
32,7	Fondo gallinero	Madera solida, sobre rastreles, camara de lana de roca de alta densidad	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
21,4	Publico gallinero	Sillas vacias con bajo porcentaje de superficie tapizada	0,35	0,45	0,57	0,61	0,59	0,55
41,7	Roca escenario	Abertura de escenario	0,3	0,4	0,5	0,6	0,6	0,5
244,9	Techo	Contrachapado de madera de 3 mm con cavidad de aire en el dorso	0,11	0,21	0,1	0,05	0,03	0,02
ABSORCIÓN TEATRO			114,27	162,97	164,42	165,74	160,95	147,91
			Br (125Hz)	Tr (250Hz)	Tr (500Hz)	Tr (1000Hz)	Tr (2000Hz)	Tr (4000Hz)
			1,481	1,038	1,029	1,021	1,051	1,144
$T_{r \text{ mid}}=1$	$T_{r \text{ abs}}$	$T_{r \text{ mid}} = (T_{r500}+T_{r1000})/2$	1,033					
$BR=1,2$	BR (bass ratio)	$BR = (T_{r125}+T_{r250})/(T_{r500}+T_{r1000})$	1,23					
$Br > 0,87$	Br (brillo)	$Br = (T_{r2000}+T_{r4000})/(T_{r500}+T_{r1000})$	1,07					

Imagen 20. Tabla calculo parámetros uso palabra aforo vacío

Para el uso de palabra en teatro vacío, se elimina del cálculo las zonas del escenario. Los valores obtenidos aumentan respecto a la sala ocupada aunque en menor medida debido a la disminución del volumen. Así pues los valores obtenidos quedan de la siguiente forma:

- $T_{r \text{ mid}}=1.03$
- $BR=1.23$
- $Br=1.07$

En base a los valores de tiempo de reverberación en cada frecuencia y para cada uso se obtiene la siguiente comparativa de curva tonal.

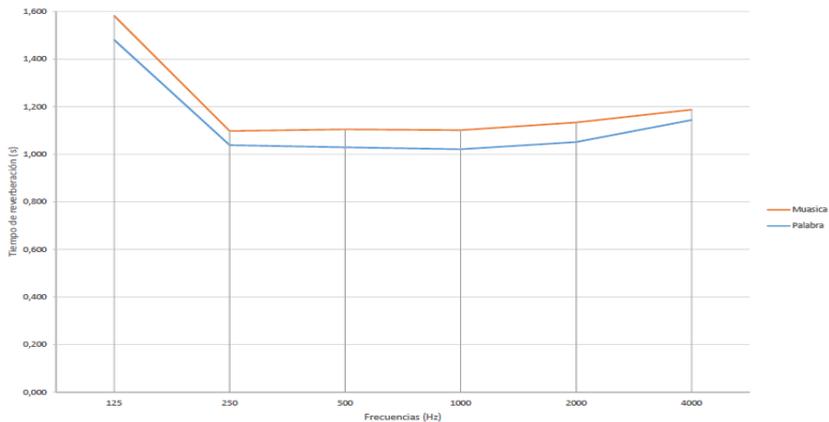


Imagen 21. Curva tonal comparativa sala vacía.

En la curva tonal de comparación entre ambos usos para la sala vacía, observamos como las curvas tonales presentan cierta divergencia apreciable a partir de las frecuencias medias inclusive. Habiéndose antes en las bajas o graves dibujado una caída del tiempo de reverberación, y posteriormente en las agudas, el gráfico se alza apenas 0.2s.

- Caso 3. Uso música y palabra con aforo medio.

Para el caso de aforo teatral, debido a la ausencia de material concreto en la base de datos utilizada, se ha determinado colocar en la zona de platea y palcos nivel 0 las sillas ocupadas y en los palcos de nivel 1, 2 y el gallinero las sillas vacías, con bajo porcentaje de superficie tapizada en ambos casos.

TEATRO EL SIGLO								
VOLUMEN (m3)		1191,76						
Superficie (m2)	Zona	Material	125 Hz	250Hz	500Hz	1000Hz	2000Hz	4000Hz
86,28	Publico nivel 0	Sillas ocupadas con bajo porcentaje de superficie tapizada	0,54	0,68	0,79	0,83	0,86	0,86
29,75	Suelo nivel 0	Lindileo (0,65 cm)	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03
107,02	Laterales nivel 0	Madera sólida, sobre rastreles, cámara de lana de roca de alta densidad	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
31,43	Barandilla nivel 0	Ladrillo, muro con enlucido de yeso	0,013	0,015	0,02	0,028	0,04	0,05
27,58	Suelo nivel 1	Lindileo (0,65 cm)	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03
50,79	Palcos nivel 1	Sillas vacías con bajo porcentaje de superficie tapizada	0,35	0,45	0,57	0,61	0,59	0,55
56	Laterales nivel 1	Madera sólida, sobre rastreles, cámara de lana de roca de alta densidad	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
19,76	Barandilla nivel 1	Ladrillo, muro con enlucido de yeso	0,013	0,015	0,02	0,028	0,04	0,05
40,76	Palcos nivel 2	Sillas vacías con bajo porcentaje de superficie tapizada	0,35	0,45	0,57	0,61	0,59	0,55
36	Suelo nivel 2	Lindileo (0,65 cm)	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03
103,34	Laterales nivel 2	Madera sólida, sobre rastreles, cámara de lana de roca de alta densidad	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
10,64	Barandilla nivel 2	Ladrillo, muro con enlucido de yeso	0,013	0,015	0,02	0,028	0,04	0,05
35,8	Lateral gallinero	Madera sólida, sobre rastreles, cámara de lana de roca de alta densidad	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
32,7	Fondo gallinero	Madera sólida, sobre rastreles, cámara de lana de roca de alta densidad	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
21,4	Publico gallinero	Sillas vacías con bajo porcentaje de superficie tapizada	0,35	0,45	0,57	0,61	0,59	0,55
41,7	Boca escenario	Abertura de escenario	0,3	0,4	0,5	0,6	0,6	0,5
244,9	Techo	Contrachapado de madera de 3 mm con cavidad de aire en el dorso	0,11	0,21	0,1	0,05	0,03	0,02
38,8	Laterales esc.	Contrachapado de madera de 3 mm con cavidad de aire en el dorso	0,11	0,21	0,1	0,05	0,03	0,02
61,2	Concha esc.	Madera sólida, 5 cm de espesor	0,01	0,05	0,05	0,04	0,04	0,04
57,4	Tarima esc.	Panqué sobre rastreles	0,05	0,03	0,06	0,09	0,1	0,2
ABSORCIÓN TEATRO			140,13	195,75	193,79	194,28	193,68	189,36
			Tr(125Hz)	Tr(250Hz)	Tr(500Hz)	Tr(1000Hz)	Tr(2000Hz)	Tr(4000Hz)
			1,378	0,986	0,996	0,994	0,997	1,020
$T_{r,med}=1$	$T_{r,med}$	$Tr_{mid} = (Tr_{500}+Tr_{1000})/2$	1,00					
$BR=1,2$	BR (bass ratio)	$BR = (Tr_{125}+Tr_{250})/(Tr_{500}+Tr_{1000})$	1,19					
$Br > 0,87$	Br (brillo)	$Br = (Tr_{2000}+Tr_{4000})/(Tr_{500}+Tr_{1000})$	1,01					

Imagen 22. Tabla calculo parámetros uso música aforo medio

Así pues los valores obtenidos con esta modificación son prácticamente muy semejantes a los anteriores, con algunas variaciones casi despreciables, por tanto los valores quedan de la siguiente forma:

- $T_{r,med} = 1.00$
- $BR = 1.19$
- $Br = 1.01$

Se puede ver como el $T_{r \text{ mid}}$ se ajusta exactamente al valor que determinamos en un principio para nuestro Teatro, reduciéndose respecto al anterior caso puesto que se elimina absorción pero no totalmente; la calidez (BR) sigue entre los valores exigibles y evidentemente entre los de la sala llena y la sala vacía; y por último el brillo (Br) de la sala sigue por encima de 0.87, manteniéndose en lo exigido.

TEATRO EL SIGLO								
VOLUMEN (m3)		1044,50						
Superficie (m2)	Zona	Material	125 Hz	250Hz	500Hz	1000Hz	2000Hz	4000Hz
86,28	Publico nivel 0	Sillas ocupadas con bajo porcentaje de superficie tapizada	0,56	0,68	0,79	0,83	0,86	0,86
29,75	Suelo nivel 0	Límiteo (0,65 cm)	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
107,02	Laterales nivel 0	Madera sólida, sobre rastreles, camara de lana de roca de alta densidad	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
31,43	Barandilla nivel 0	Ladrillo, muro con enlucido de yeso	0,013	0,015	0,02	0,028	0,04	0,05
27,58	Suelo nivel 1	Límiteo (0,65 cm)	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
50,79	Palcos nivel 1	Sillas vacías con bajo porcentaje de superficie tapizada	0,35	0,45	0,57	0,61	0,59	0,55
56	Laterales nivel 1	Madera sólida, sobre rastreles, camara de lana de roca de alta densidad	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
19,76	Barandilla nivel 1	Ladrillo, muro con enlucido de yeso	0,013	0,015	0,02	0,028	0,04	0,05
40,76	Palcos nivel 2	Sillas vacías con bajo porcentaje de superficie tapizada	0,35	0,45	0,57	0,61	0,59	0,55
36	Suelo nivel 2	Límiteo (0,65 cm)	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
103,34	Laterales nivel 2	Madera sólida, sobre rastreles, camara de lana de roca de alta densidad	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
10,64	Barandilla nivel 2	Ladrillo, muro con enlucido de yeso	0,013	0,015	0,02	0,028	0,04	0,05
35,8	Lateral gallinero	Madera sólida, sobre rastreles, camara de lana de roca de alta densidad	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02
32,7	Fondo gallinero	Madera sólida, sobre rastreles, camara de lana de roca de alta densidad	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
21,4	Publico gallinero	Sillas vacías con bajo porcentaje de superficie tapizada	0,35	0,45	0,57	0,61	0,59	0,55
41,7	Boca escenario	Abertura de escenario	0,1	0,4	0,5	0,6	0,4	0,5
244,9	Techo	Contrachapado de madera de 3 mm con cavidad de aire en el dorso	0,11	0,21	0,1	0,05	0,01	0,02
ABSORCIÓN TEATRO			132,38	182,82	183,40	184,72	184,25	174,66
			1,278	0,926	0,923	0,916	0,918	0,969
T_{total}^{-1}	T_{total}	$T_{\text{r mid}} = (T_{1500} + T_{1000})/2$	0,92					
BR=1,2	BR (bass ratio)	$BR = (T_{125} + T_{250}) / (T_{1500} + T_{1000})$	1,20					
Br > 0,87	Br (brillo)	$Br = (T_{2000} + T_{4000}) / (T_{1500} + T_{1000})$	1,03					

Imagen 23. Tabla calculo parámetros uso palabra aforo medio

En esta situación como en los demás casos de uso palabra, se ha eliminado el volumen de la caja de escenario así pues obtenemos un $T_{r \text{ mid}}$ menor por ausencia de superficie reflectante, aunque muy aproximado a los exigible. Por otra parte la calidez (BR) y el brillo (Br) aumentan muy escasamente, indicando que en la sala se recibirán algo mejor los sonidos.

De esta forma los valores de los parámetros estudiados serán los siguientes:

- $T_{r \text{ mid}}=0.92$
- $BR=1.20$
- $Br=1.03$

En base a los valores de tiempo de reverberación en cada frecuencia y para cada uso se obtiene la siguiente comparativa de curva tonal.

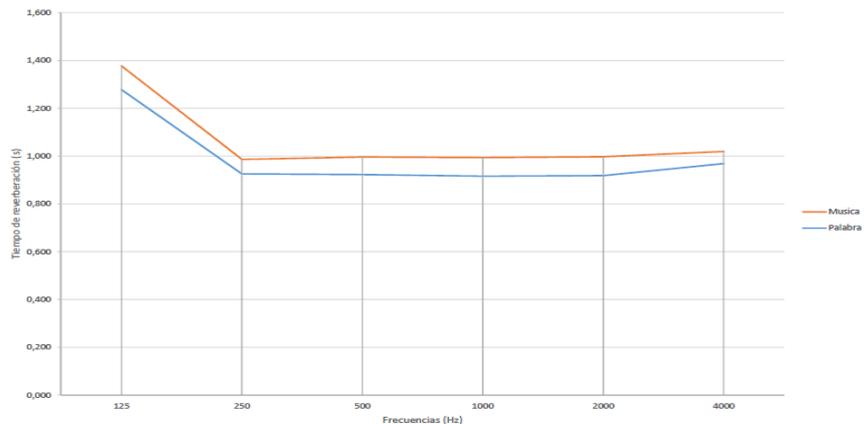


Imagen 24. Curva tonal comparativa sala con aforo medio

En este caso la curva tonal comparativa tiene algo más de paralelismo y presenta el mismo patrón que en los anteriores casos. En frecuencias bajas o sonidos graves se produce un descenso del tiempo de reverberación, con el siguiente periodo estacionario en las frecuencias medias, para ya en las altas o en sonidos agudos producir un pico muy poco importante de apenas 0.1s, despreciable para el oído humano.

A modo de englobar los resultados del cálculo de tiempo de reverberación y parámetros de primer orden obtenidos para el Teatro “El Siglo”, se puede hacer lo siguiente:

Casos estudiados	125 Hz	250Hz	500Hz	1000Hz	2000Hz	4000Hz
Sala ocupada, uso música	1.178	0.871	0.883	0.881	0.862	0.860
Sala ocupada, uso palabra	1.084	0.810	0.813	0.807	0.788	0.807
Sala vacía, uso música	1.582	1.098	1.104	1.101	1.134	1.187
Sala vacía, uso palabra	1.481	1.038	1.029	1.021	1.051	1.144
Sala aforo medio, uso música	1.378	0.986	0.996	0.994	0.997	1.020
Sala aforo medio, uso palabra	1.278	0.926	0.923	0.916	0.918	0.969

Tabla 2. Resumen casos estudiados de cálculo del TR

Parámetros de 1 ^{er} orden	$T_{r\ mid}$	Calidez (BR)	Brillo (Br)
Sala ocupada, uso música	0.88	1.16	0.98
Sala ocupada, uso palabra	0.81	1.17	0.98
Sala vacía, uso música	1.10	1.21	1.05
Sala vacía, uso palabra	1.03	1.23	1.07
Sala aforo medio, uso música	1.00	1.19	1.01
Sala aforo medio, uso palabra	0.92	1.20	1.03

Tabla 3. Resumen calculo parámetros primer orden.

Tal como se decía al inicio del apartado, en el libro “ABC de la acústica arquitectónica” de Higiní Arau se determinan las siguientes condiciones a cumplir para los parámetros de primer orden, siendo los siguientes:

- Tiempo de reverberación.

$$M_{T_{\text{mid}}} = \begin{cases} 0 & \text{para } T_{\text{mid}} \leq 0.9T_{\text{opt}} - 0.5 \\ 1 - (1.8T_{\text{opt}} - 2T_{\text{mid}}) & \text{para } 0.9T_{\text{opt}} - 0.5 < T_{\text{mid}} < 0.9T_{\text{opt}} \\ 1 & \text{para } 0.9T_{\text{opt}} \leq T_{\text{mid}} \leq T_{\text{opt}} \\ 1 - 2(T_{\text{mid}} - T_{\text{opt}}) & \text{para } T_{\text{opt}} < T_{\text{mid}} < T_{\text{opt}} + 0.5 \\ 0 & \text{para } T_{\text{mid}} \geq T_{\text{opt}} + 0.5 \end{cases}$$

Por las características del teatro se estableció como $T_{\text{opt}} = 1$, así pues para los dos casos más relevantes, de sala ocupada y sala vacía, el factor de mérito ($M_{T_{\text{mid}}}$) queda de la siguiente forma.

Sala ocupada, uso música $T_{r \text{ mid}} = 0.88$ ----- $M_{T_{\text{mid}}} = 0.96$

Sala ocupada, uso palabra $T_{r \text{ mid}} = 0.81$ ----- $M_{T_{\text{mid}}} = 0.82$

Sala vacía, uso música $T_{r \text{ mid}} = 1.10$ ----- $M_{T_{\text{mid}}} = 0.8$

Sala vacía, uso palabra $T_{r \text{ mid}} = 1.03$ ----- $M_{T_{\text{mid}}} = 0.94$

Por tanto, según las exigencias establecidas y en base a los **resultados** obtenidos, nuestro teatro se consideraría de nivel alto en cuanto a calidad de su tiempo de reverberación, debido a la cercanía del factor mérito a 1.

- Calidez (BR)

$M_{\text{calidez-música}}$	{	0	para $I_{\text{calidez}} \leq 0.85$
		$4I_{\text{calidez}} - 3.4$	para $0.85 < I_{\text{calidez}} < 1.1$
		1	para $1.1 \leq I_{\text{calidez}} \leq 1.3$
		$6.2 - 4I_{\text{calidez}}$	para $1.3 < I_{\text{calidez}} < 1.55$
		0	para $I_{\text{calidez}} \geq 1.55$

En base a los criterios establecidos, tanto por las características del teatro como por las exigencias a cumplir según el “ABC de la acústica arquitectónica” de Higiní Arau, obtenemos lo siguiente.

Sala ocupada, uso música _____ $I_{\text{calidez}} = 1.16$ ----- $M_{\text{calidez-música}} = 1$

Sala vacía, uso música _____ $I_{\text{calidez}} = 1.21$ ----- $M_{\text{calidez-música}} = 1$

Por tanto, según las exigencias establecidas y en base a los **resultados** obtenidos, nuestro teatro se consideraría de nivel alto y muy aceptable en cuanto a calidez en la recepción del sonido emitido en su interior para el uso de música.

Para el uso de palabra los criterios establecidos eran iguales que en el anterior uso aunque las exigencias determinadas por el libro de referencia usado variaban un poco.

$$M_{\text{calidez-palabra}} = \begin{cases} 0 & \text{para } I_{\text{calidez}} \leq 0.65 \\ 4I_{\text{calidez}} - 2.6 & \text{para } 0.65 < I_{\text{calidez}} < 0.9 \\ 1 & \text{para } 0.9 \leq I_{\text{calidez}} \leq 1.3 \\ 6.2 - 4I_{\text{calidez}} & \text{para } 1.3 < I_{\text{calidez}} < 1.55 \\ 0 & \text{para } I_{\text{calidez}} \geq 1.55 \end{cases}$$

Sala ocupada, uso palabra _____ $I_{\text{calidez}} = 1.17$ ----- $I_{\text{calidez}} = 1$

Sala vacía, uso palabra _____ $I_{\text{calidez}} = 1.23$ ----- $I_{\text{calidez}} = 1$

A pesar de las variaciones en los criterios preestablecidos, nuestro teatro se consideraría de nivel alto y muy aceptable en cuanto a calidez en la recepción del sonido emitido en su interior para el uso de palabra.

- Brillo (Br)

M_{brillo}	{	0	para $I_{\text{brillo}} \leq 0.45$
		$2.86I_{\text{brillo}} - 1.29$	para $0.45 < I_{\text{brillo}} < 0.8$
		1	para $0.8 \leq I_{\text{brillo}} \leq 1$
		$3.857 - 2.86I_{\text{brillo}}$	para $1 < I_{\text{brillo}} < 1.35$
		0	para $I_{\text{brillo}} \geq 1.35$

El parámetro de brillo nos indicara si el sonido emitido es claro y rico en frecuencias altas, en base a los cálculos realizados los resultados a tratar con las exigencias establecidas son los siguientes.

Sala ocupada, uso música _____ $I_{\text{brillo}} = 0.98$ ----- $M_{\text{brillo}} = 1$

Sala ocupada, uso palabra _____ $I_{\text{brillo}} = 0.98$ ----- $M_{\text{brillo}} = 1$

Sala vacía, uso música _____ $I_{\text{brillo}} = 1.05$ ----- $M_{\text{brillo}} = 0.854$

Sala vacía, uso palabra _____ $I_{\text{brillo}} = 1.07$ ----- $M_{\text{brillo}} = 0.796$

Para el parámetro brillo, se observa que según los criterios establecidos el teatro es de nivel alto justo con el aforo completo y muy aproximado a 1 cuando está vacío.

Una vez se han analizado los resultados se puede decir que el Teatro “El Siglo” está bastante bien acondicionado para cumplir satisfactoriamente los criterios y exigencias establecidos.

4 Simulación

Una vez se ha realizado el cálculo del tiempo de reverberación con la distribución de materiales determinada y el cumplimiento de los parámetros de primer orden exigidos, se procede a realizar la simulación virtual para tener una idea visual de como respondería la sala teatral al diseño anteriormente detallado, para ciertos parámetros. Este proceso se lleva a cabo con el programa “Simulación acústica” instalado en los ordenadores de la ETSA.

Para iniciar el proceso de simulación se debe realizar un modelo 3D de la sala teatral en AutoCAD, utilizando 3DCaras y agrupando cada una de ellas según la zona y el material que se vaya a utilizar; una vez hecho se debe guardar en DXF para poder usarlo en Simulación Acústica.

En el presente TFG el modelo 3D con el que trabajamos es el siguiente.

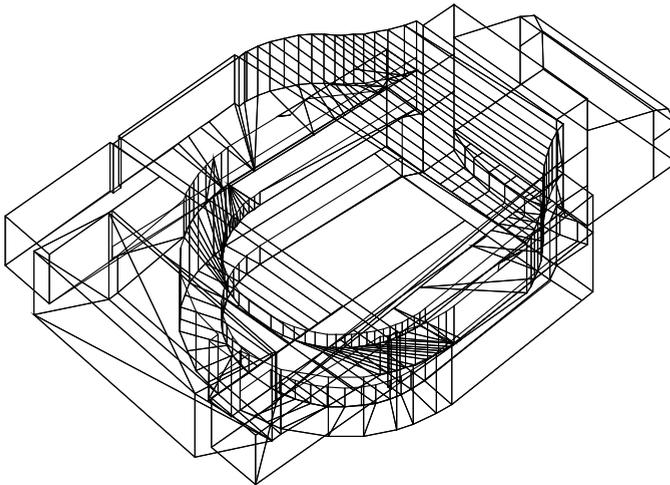


Imagen 25. Modelo dxf para simulación

Con el modelo 3D abierto, el primer paso es materializar cada grupo de 3DCaras a partir de una base de datos que contiene la mayor parte de materiales existentes a usar en acústica. Aun así en este caso se añadieron los que se han usado para poder tener la misma descripción del material.

Con los materiales asignados, el programa nos permite colocar la **fente sonora** y el **receptor principal** para iniciar el cálculo de rayos del sonido emitido en dichas condiciones.

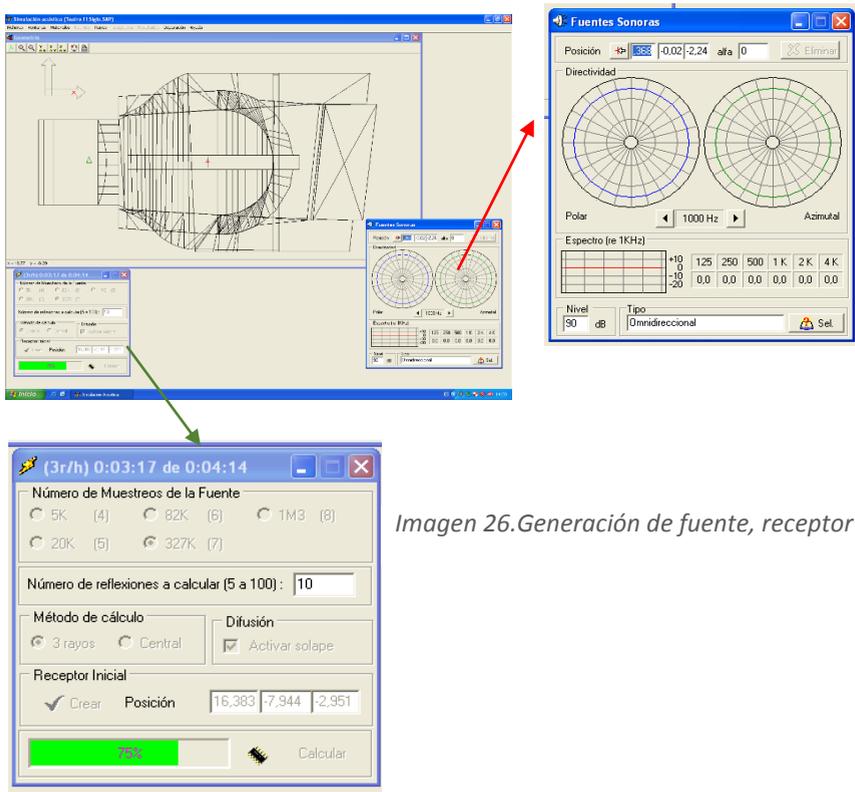


Imagen 26. Generación de fuente, receptor y rayos

Una vez se ha realizado el cálculo automático, se debe comprobar que ningún rayo generado se sale de la sala teatral (esto no ayudara a saber que tenemos el modelado 3D correcto). En este caso la creación de rayos no dio ningún problema.

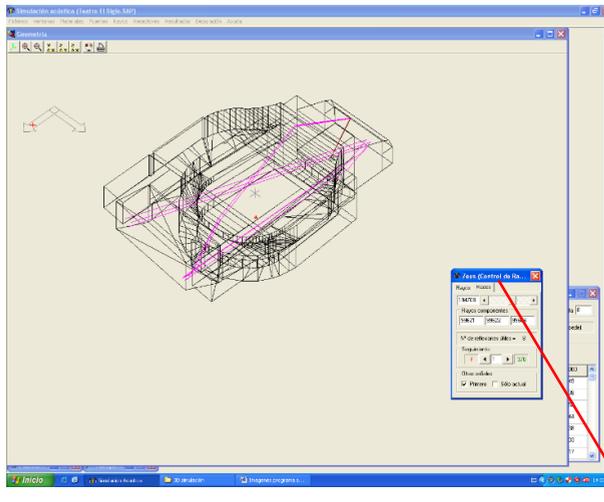


Imagen 27. Comprobación rayos en simulación



A partir de la creación de la fuente sonora, el receptor y los rayos generados se obtiene el ecograma siguiente para el receptor central, con varios **parámetros**.

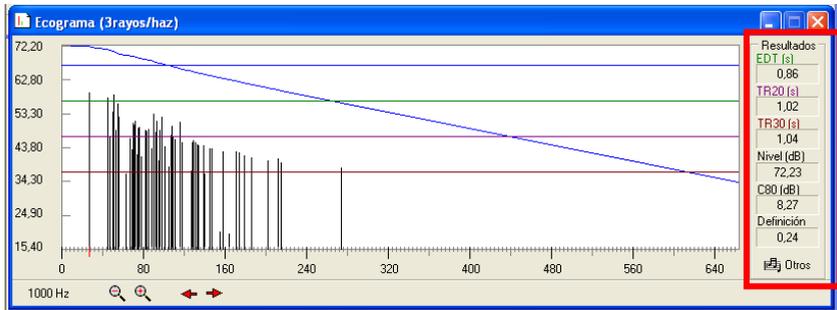


Imagen 28. Primeros resultados con Simulación Acústica

Se deduce del ecograma que no hay ninguna diferencia de 80ms entre ningún valor de dB, por tanto no hay eco en la sala teatral para la posición de dicho receptor.

Con la misma referencia que en el apartado 3 del presente capítulo, el libro “ABC de la acústica arquitectónica” de Higinio Arau, los valores obtenidos en dicha posición se pueden calificar de la siguiente forma:

$T_{R20mid} \approx T_{R30mid} = 1.025 \text{ s}$ ----- $M_{Tmid} = 0.96 \approx 1$, por tanto se consideraría nivel muy bueno y aceptable de tiempo de reverberación.

Calidez = 1.15 ----- $M_{calidez} = 1$, el factor mérito conseguido es correcto para la calidez del sonido.

Brillo = 0.91 ----- $M_{brillo} = 1$, de la misma forma el factor mérito es aceptable para el teatro.

EDT = 0.86 ----- $M_{EDT} = 0.91$, aproximadamente el factor mérito es aceptable tal como en los otros parámetros.

$$M_{EDT\text{-teatros}} \begin{cases} 0 & \text{para } EDT_{mid} \leq 0.35 T_{mid} \\ 4(EDT_{mid} / T_{mid}) - 1.4 & \text{para } 0.35 T_{mid} < EDT_{mid} \leq 0.6 T_{mid} \\ 1 & \text{para } 0.6 T_{mid} < EDT_{mid} \leq 0.75 T_{mid} \\ 1.75 - (EDT_{mid} / T_{mid}) & \text{para } EDT_{mid} > 0.75 T_{mid} \end{cases}$$

La claridad C80 en teatros según la referencia que se está siguiendo, debe ser mayor a 6dB, en nuestro caso obtenemos una C80= 8.27 dB, por tanto para este parámetro el teatro cumple la exigencia y se puede considerar correcto.

A partir de esta observación se puede decir que el sonido recibido en el receptor central cumple correctamente unos parámetros exigidos para el Teatro “El Siglo”.

Una vez comentado la recepción central de sonido en el punto central se deben posicionar varios receptores en diferentes zonas del teatro, esto se consigue con mallas de receptores.

En el programa de simulación la malla de receptores nos dará los resultados visuales más detallados. Se pueden colocar tantas mallas como se quiera, en este caso hemos elegido la zona de platea y el anfiteatro. Colocando la malla a la altura acorde con la cabeza de un espectador sentado.

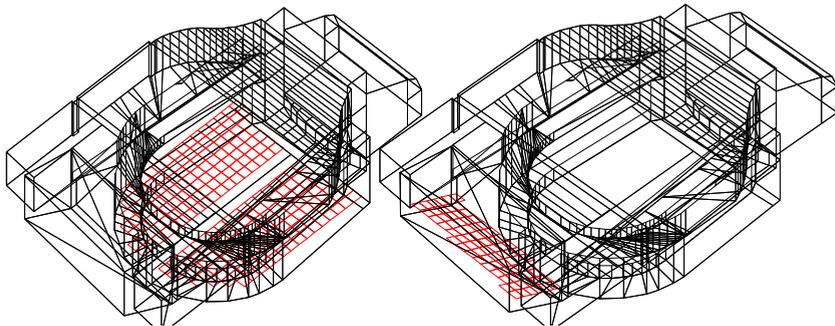


Imagen 29. Malla de receptores en platea y anfiteatro

Una vez se han establecido las mallas de receptores se deben de obtener los ecogramas en diferentes posiciones de estas. Para la malla de platea al ser simétrica solo se ha estudiado uno de los lados en 6 diferentes posiciones, siendo las siguientes:

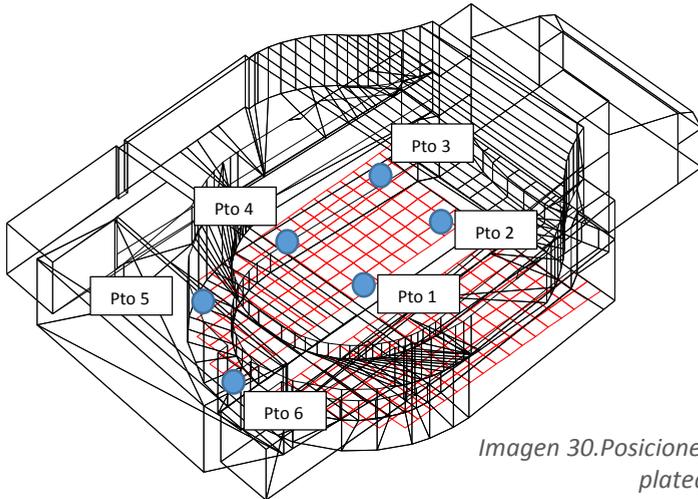


Imagen 30. Posiciones estudiadas en platea

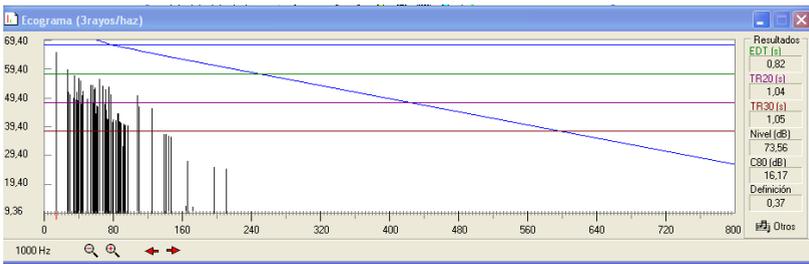


Imagen 31. Ecograma punto 2

Puesto que el primer punto estudiado (Pto 1) coincide prácticamente con el receptor central antes comentado, vamos a detallar los parámetros obtenidos en el Pto 2.

En primer lugar se debe decir que se sigue utilizando como referencia en parámetros exigidos los explicados en el libro “ABC de la acústica arquitectónica” de Higini Arau.

Así pues tenemos lo siguiente:

En primer lugar cabe decir que no se produce ningún eco, puesto que no hay diferencia de 80 ms entre ningún nivel de dB.

$T_{R20mid} \approx T_{R30mid} = 1.045 \text{ s}$ ----- $M_{Tmid} = 0.91 \approx 1$, por tanto se consideraría un nivel muy bueno y aceptable de tiempo de reverberación.

$EDT = 0.82$ ----- $M_{EDT} = 0.96$, aproximadamente el factor mérito es 1, por tanto es correcto.

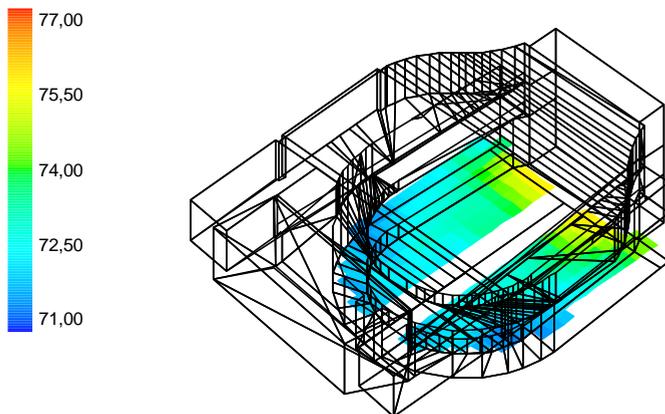
Claridad $C80 = 16.17 \text{ dB}$ ----- $M_{C80} = 1$, se cumple lo exigido y el teatro obtiene las condiciones a cumplir.

De esta misma forma se han obtenido los ecogramas y los valores de estos parámetros en el resto de puntos situados, tanto en la malla de platea como en la del anfiteatro.

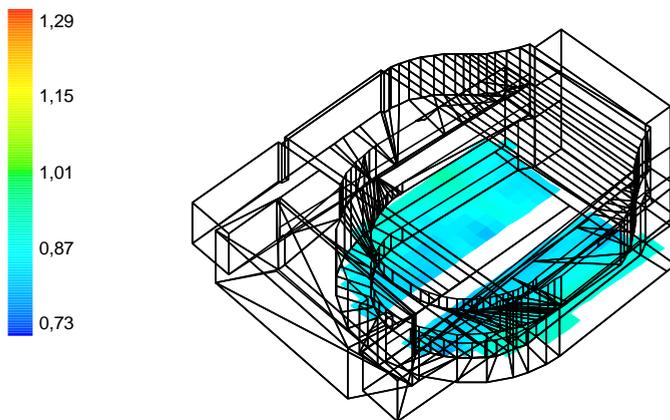
A continuación se muestran las imágenes de la simulación del modelo para la frecuencia de 1000Hz, tanto en palabra como en música y en platea y anfiteatro, para los parámetros siguientes: Claridad C80, EDT, Niveles (dB) y TR30.

Zona de platea para uso de palabra.

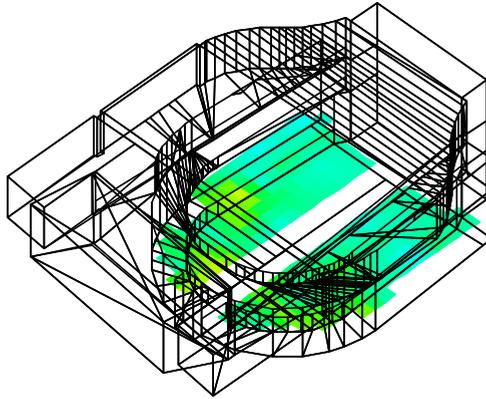
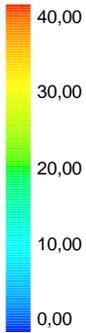
Nivel 1000 Hz



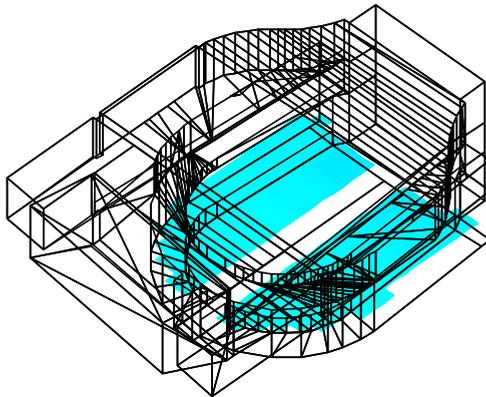
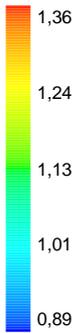
EDT 1000 Hz



Claridad 1000 Hz

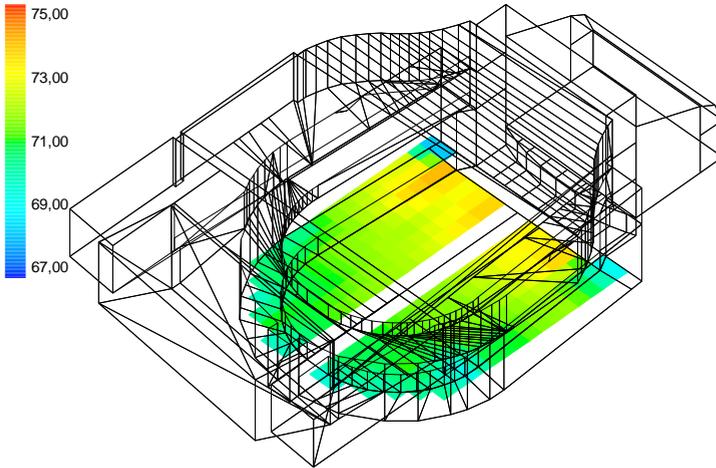


TR30 1000 Hz

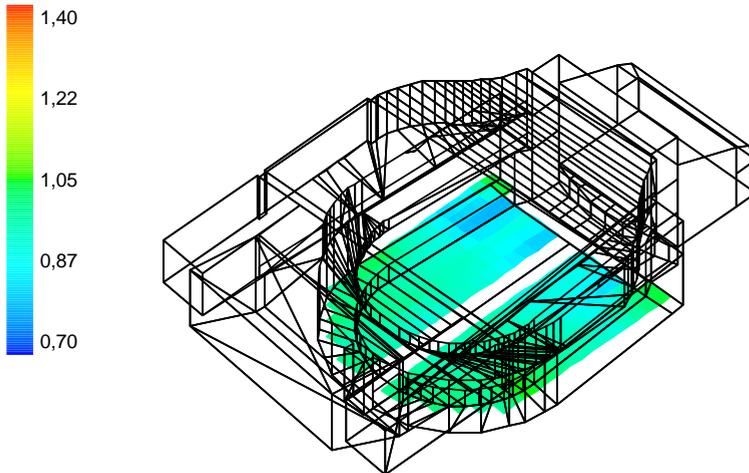


Zona de platea para uso de música.

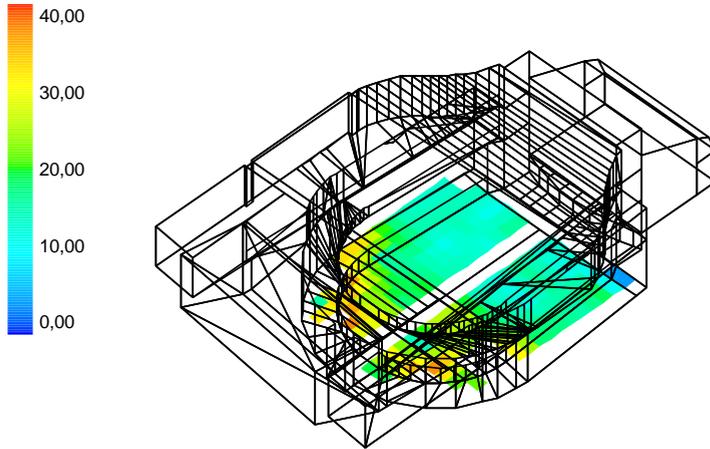
Nivel 1000 Hz



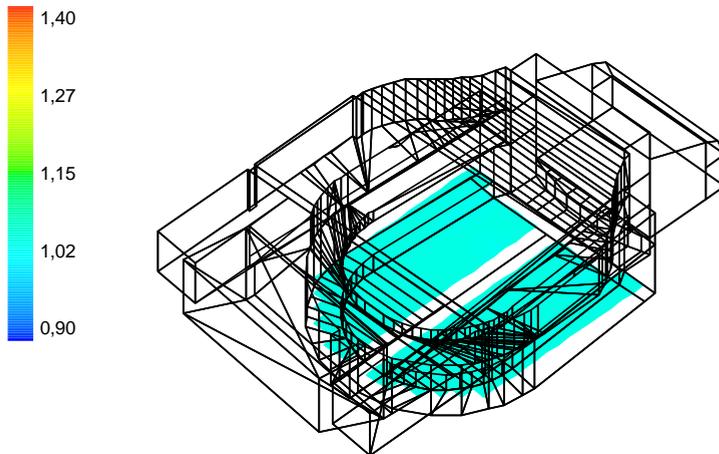
EDT 1000 Hz



Claridad 1000 Hz

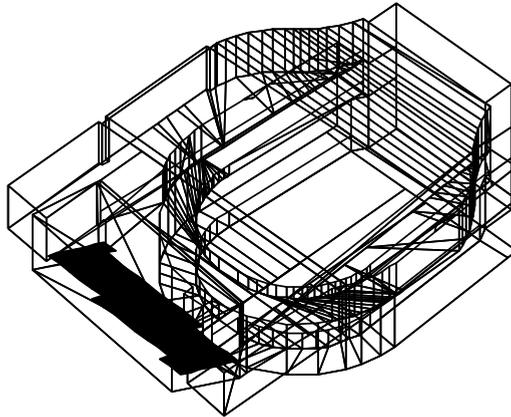


TR30 1000 Hz

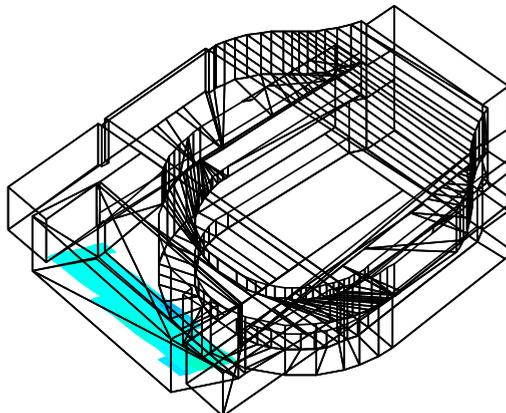
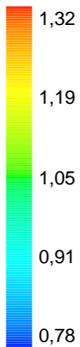


Zona de anfiteatro para uso de palabra.

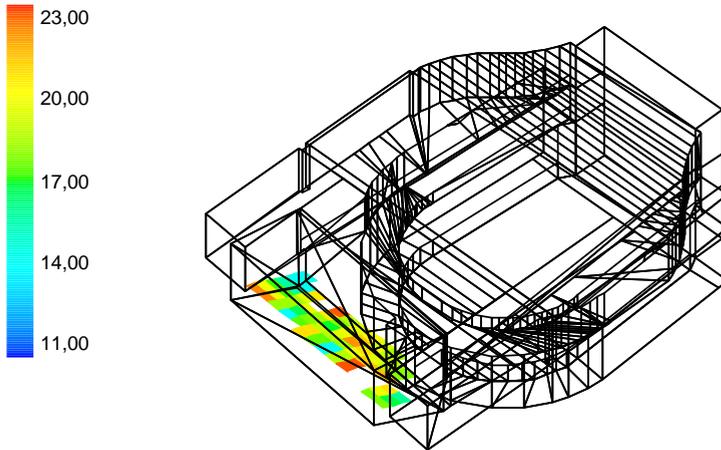
Nivel 1000 Hz



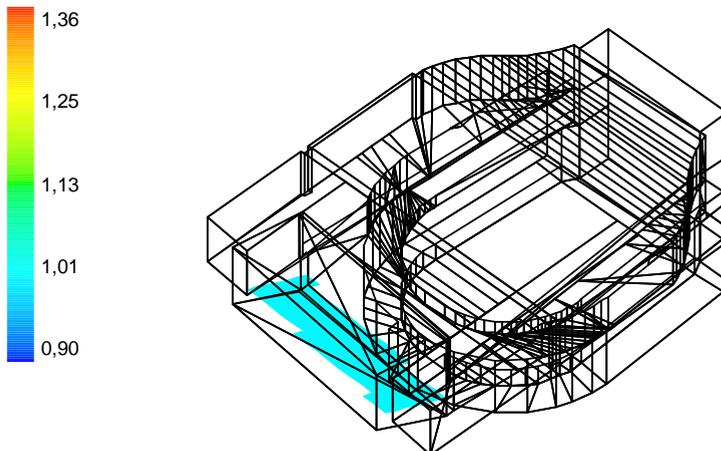
EDT 1000 Hz



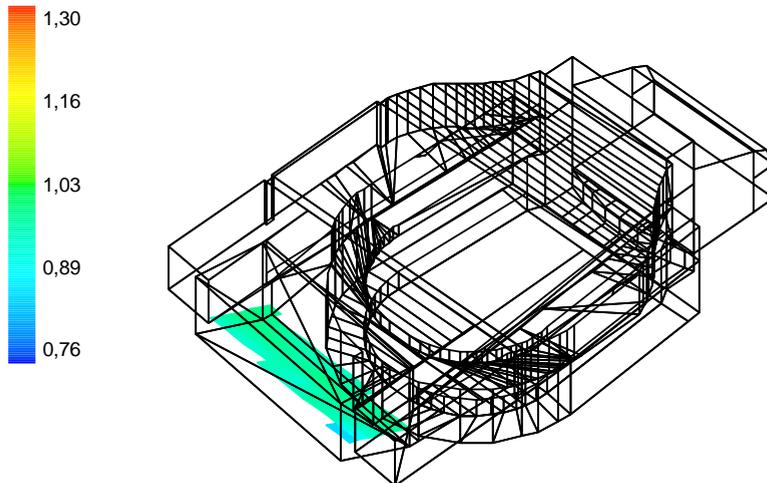
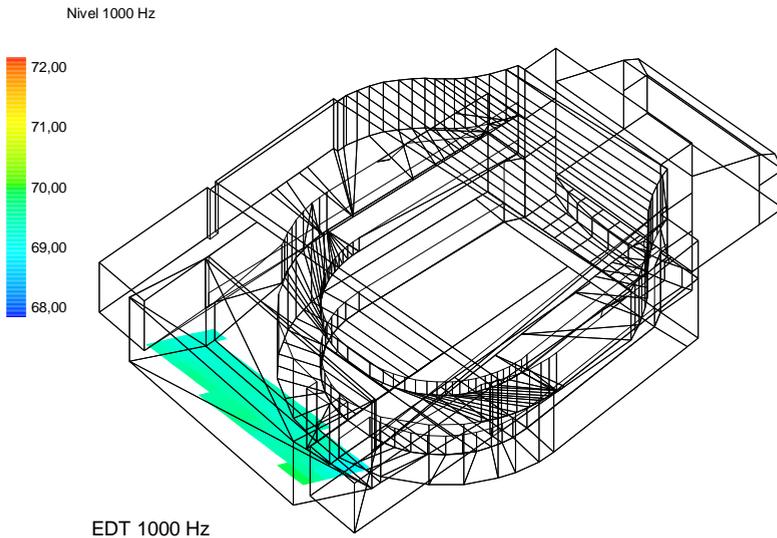
Claridad 1000 Hz

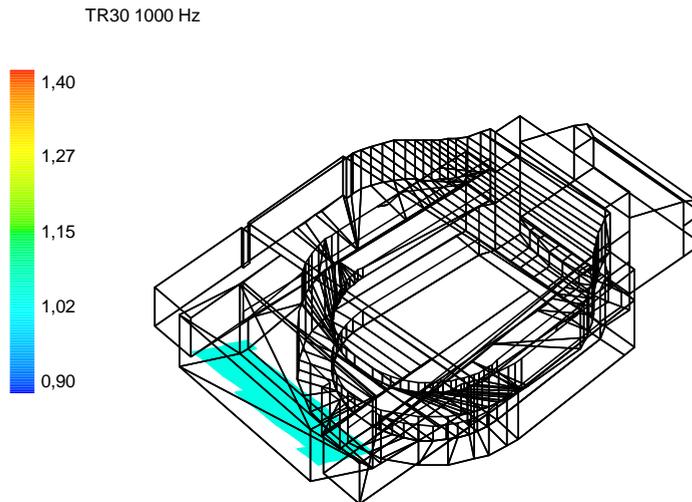
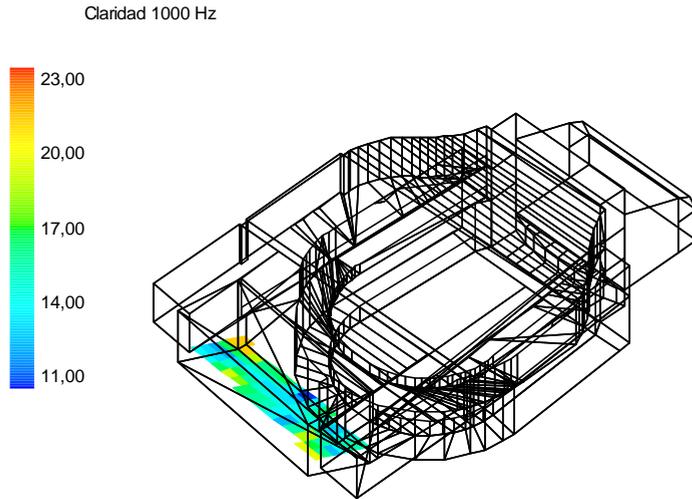


TR30 1000 Hz



Zona anfiteatro para uso música.





5 Análisis de resultados

Cuando el uso del teatro es para palabra, en la simulación el modelo está exento de la caja de escena y de los parámetros obtenidos por el programa con visual de la distribución de sus valores se puede decir lo siguiente:

Para nivel (dB) en 1000Hz en la zona de platea se observa como el valor de dB disminuye en cuanto se aleja el barrido de la boca de escenario o fuente sonora, siendo el intervalo de 75dB a 71dB. Para frecuencias bajas (125Hz) los valores pueden llegar a 77dB, aunque ya en 250Hz los valores mínimos aumentan.

Por otra parte en el anfiteatro, los niveles obtenidos son menores a 68dB (fuera de rango en la imagen) a partir de la frecuencia de 250Hz hasta las altas.

Para el parámetro EDT en 1000Hz en platea se observa como el valor está alrededor a 0.85, no sobrepasando 0.9 en casi ninguna zona del barrido. Tan solo en frecuencias bajas (125Hz) los valores alcanzan el 1.29, pero a partir de 250Hz los valores se asemejan disminuyendo muy poco hasta casi 0.70.

De igual forma ocurre lo mismo en la zona del anfiteatro, tan solo en la frecuencia baja los valores de EDT son de 1.32 y ya en las otras se igualan hasta alcanzar aproximadamente valores alrededor de 0.8.

En la zona de platea para la claridad C80 en 1000Hz, los niveles obtenidos son de alrededor a 20dB, por tanto mayores a lo exigido así que se entiende que la sala presentara un sonido muy claro. A diferencia de los

demás parámetros, en este, para la frecuencia baja de 125Hz, la diferencia de valores no es casi apreciable.

En este caso ocurre como en el parámetro EDT, los valores obtenidos de claridad C80 en anfiteatro son muy parecidos a los de platea, estando entre 18 y 23dB; además de que en ninguna frecuencia hay variaciones excesivas de estos resultados.

Para el TR30 a 1000Hz el valor obtenido en la platea es casi 1s, muy ajustado a lo predeterminado para el teatro. En la frecuencia baja de 125Hz los valores de Tr30 son superiores al intervalo establecido, aunque a partir de la frecuencia de 250Hz el Tr disminuye hasta 1s y empieza a caer hasta casi 0.9s en frecuencias altas.

En la zona de anfiteatro los valores obtenidos son prácticamente iguales que en platea, se mantienen en torno a 1s en todas las frecuencias exceptuando la frecuencia baja de 125Hz donde el Tr es superior al límite establecido en el programa de 1.36s.

Para el uso de música en el teatro, la simulación se realiza con el modelo completo, es decir con caja de escena incluida y de los parámetros obtenidos por el programa con distribución de sus valores se puede decir lo siguiente:

Para nivel (dB) en frecuencia de 1000Hz en los receptores de platea los valores obtenidos están alrededor de 71 y 73dB, aumentando conforme se aleja el barrido del escenario. Exceptuando la frecuencia de 125Hz donde los valores son más elevados (límite de intervalo, 75dB), en el resto de frecuencias los resultados se asemejan mucho entre ellas.

En cuanto a los receptores de anfiteatro, el nivel (dB) esta entorno a los 70dB; en la frecuencia baja de 125Hz la diferencia es de 2dB máximo y en 4000Hz disminuye hasta casi los 68dB.

En cuanto al parámetro EDT de la zona de platea en 1000Hz los valores representados por la simulación son de entorno a 0.85-0.90, disminuyendo con el aumento de la frecuencia, siendo solo en la de 125Hz los valores de casi 1.40.

Para este parámetro estudiado en el anfiteatro, el valor aumenta un poco hasta alrededor de 1. Aumentando más aun para la frecuencia de 125Hz donde alcanza el 1.3 y cabe decir que para los 4000Hz el valor aumenta también casi hasta 1.2.

La claridad C80 del teatro en la zona de platea y en la frecuencia de 1000Hz está entre 20 y 30dB, manteniéndose dicho intervalo en todas las frecuencias, tanto bajas como altas. Dando a entender que el sonido tendrá una recepción bastante clara y uniforme en toda la zona estudiada.

Los valores de C80 en anfiteatro se mantienen entorno a 14-18dB en todas las frecuencias. No son valores tan altos como en platea pero se puede decir que el sonido que llega al anfiteatro también tiene una claridad notable.

Para el parámetro TR30 a 1000Hz para los receptores de platea los resultados son muy parecidos al teatro en uso para palabra, están alrededor de 1s, exceptuando la frecuencia de 125Hz donde casi aumenta el valor en medio segundo y la frecuencia de 4000Hz donde disminuye hasta casi 0.8s.

En la zona de anfiteatro el valor aproximado del TR30 es de 1s, excepto en la frecuencia de 125Hz donde este valor aumenta hasta casi 1.4s.

6 Acondicionamiento del elemento común

Una vez se ha estudiado el interior de la sala teatral (volumen 2), se ha tenido que trabajar en el volumen 1 del teatro, es decir la zona de vestíbulo y escaleras.

Esta parte del teatro no es menos importante ya que se debe conseguir un nivel de absorción considerable para evitar la entrada del sonido exterior al volumen 2. En esta zona las partes a tratar son las paredes, el techo, el suelo y las zancas de escalera.

De la misma forma que en el apartado 3 de este capítulo, para el estudio del acondicionamiento del vestíbulo se ha utilizado la tabla excel con los materiales y sus coeficientes de absorción, el volumen del vestíbulo y la superficie de los elementos a materializar.

Por otra parte, en este caso hay que añadir un cálculo para determinar el cumplimiento en Sabine/m³ del vestíbulo, siendo la exigencia de ser mayor a 0.2 Sabine/m³.

Esta condición se regula según el CTE en su capítulo 2, apartado 2.2, donde se cita: *“Para limitar el ruido reverberante en las zonas comunes los elementos constructivos, los acabados superficiales y los revestimientos que delimitan una zona común de un edificio de uso residencial público, docente y hospitalario colindante con recintos protegidos con los que comparten puertas, tendrán la absorción acústica suficiente de tal manera que el área de absorción acústica equivalente, A, sea al menos 0,2 m² por cada metro cúbico del volumen del recinto.”*

A pesar de que nuestro teatro tiene un uso diferente, entendemos este valor como exigible en este caso.

Para las características que ofrece el vestíbulo que tiene el teatro “El Siglo” y poder cumplir la condición indicada se ha tenido que colocar, tras varios intentos, solamente material absorbente en el techo.

Por otra parte, los demás materiales se han tenido que elegir muy poco absorbentes, tales como linóleo para suelo y escaleras; y madera sobre rastreles con cámara de aire de lana de roca de alta densidad para las paredes.

Aun con la mayoría de materiales reflectantes y siendo el objetivo conseguir una zona absorbente, se ha llegado al siguiente resultado tal como se muestra en la tabla excel con la que se ha estudiado el acondicionamiento.

TEATRO EL SIGLO (vestibulo 1)								
VOLUMEN (m ³)	385,42							
Superficie (m ²)	Zona	Material	125 Hz	250Hz	500Hz	1000Hz	2000Hz	4000Hz
27,41	Zancas escalera	linóleo (0,65 cm)	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03
70,4	Suelo vestibulo	Linóleo (0,65 cm)	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03
243,89	Paredes vestibulo	Madera solida, sobre rastreles, camara de lana de roca de alta densidad	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
100	Techo vestibulo	Hierakusti F 25 mm a110mm del techo con 110 mm de lana mineral +0,2 m de PE entre placa y lana	0,35	0,88	0,96	0,85	0,92	0,92
ABSORCIÓN TEATRO			93,42	91,42	99,42	89,40	98,81	99,81
			α_{125}	α_{250}	α_{500}	α_{1000}	α_{2000}	α_{4000}
			0,668	0,683	0,628	0,698	0,632	0,628
			$A_{500}/V =$	$A_{1000}/V =$	$A_{2000}/V =$	0,25 > 0,2 Sabine/m³		
			0,26	0,23	0,26			

Imagen 32. Tabla excel acondicionamiento vestibulo 1.

Es decir se cumple la exigencia de Sabine/m³ y la condición de absorción de la zona común.

El cálculo para el cumplimiento de la exigencia es el siguiente:

$$\frac{\left(\frac{A_{500}}{V} + \frac{A_{1000}}{V} + \frac{A_{2000}}{V}\right)}{3} > 0.2 \text{ Sabine/m}^3, \text{ donde: } A_{500} = \text{coef. absorción 500Hz}$$

A_{1000} = coef. absorción 1000Hz
 A_{2000} = coef. absorción 2000Hz
 V = volumen vestibulo

Estos resultado son para el vestíbulo 1, a parte de este se pueden diferenciar dos más, el vestíbulo 2 se sitúa inmediatamente después del anterior. Este no contiene escaleras, tan solo hace de transición entre la recepción principal y el vestíbulo de distribución.

Esta zona sin ningún elemento se ha mantenido en el teatro ya que era donde en su origen se situaban las escaleras, y al no eliminar ningún paramento de la estructura se ha quedado como zona de paso vacía.

En el vestíbulo 2 se ha buscado aumentar un poco más la absorción conseguida en el anterior para asegurar que no entre el sonido exterior.

TEATRO EL SIGLO (vestibulo 2)								
VOLUMEN (m3)		130,2						
Superficie (m2)	Zona	Material	125 Hz	250Hz	500Hz	1000Hz	2000Hz	4000Hz
51,7	Suelo	Lindleo (0,65 cm)	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,03
64,5	Paredes no absorbentes	Madera solida, sobre rastreles, camara de lana de roca de alta densidad	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
20,6	Paredes absorbentes	Topakustik 13/3 M perforacion 12%+ 20 mm cámara (sin lana de roca)	0,38	0,76	0,52	0,64	0,6	0,57
51,7	Techo vestibulo	Hierakustik F 25 mm a110mm del techo con 110 mm de lana mineral +0,2 mm de PE entre placa y lana	0,9	0,88	0,96	0,85	0,92	0,92
ABSORCIÓN TEATRO			55,52	62,31	61,51	56,81	62,25	62,15
			0,380	0,338	0,343	0,359	0,339	0,339

$A_{000}/V =$	0,47	0,47	>0,2 Sabine/m³
$A_{1000}/V =$	0,45		
$A_{2000}/V =$	0,48		

Imagen 33. Tabla excel acondicionamiento vestíbulo 2.

En este caso las paredes se han separado en dos tipos, las de menor superficie se han colocado absorbentes junto al techo y las de más longitud y el suelo se han mantenido reflectantes (no había necesidad de hacerlas absorbentes).

Por último, se ha estudiado la absorción en el vestíbulo 3 que hace de distribuidor de palcos. En este caso se pretendía aumentar más aun la absorción así que se han revestido todas las paredes y el techo con material absorbente, quedando tal que así:

TEATRO EL SIGLO (vestibulo 3)								
VOLUMEN (m3)		130,2						
Superficie (m2)	Zona	Material	125 Hz	250Hz	500Hz	1000Hz	2000Hz	4000Hz
32,82	Suelo	Moqueta de goma de 5 mm	0,04	0,04	0,08	0,12	0,13	0,1
94,3	Paredes absorbentes	Topakustik 13/3 M perforacion 12%+ 20 mm cámara (sin lana de roca)	0,38	0,76	0,52	0,64	0,6	0,57
32,82	Techo vestibulo	Herakustik F 25 mm a110mm del techo con 110 mm de lana mineral +0,2 mm de PE entre placa y lana	0,9	0,88	0,96	0,85	0,92	0,92
ABSORCIÓN TEATRO			66,68	101,86	83,17	92,19	91,04	87,23
			0,316	0,207	0,254	0,229	0,212	0,242

$A_{125}/V =$	0,64
$A_{1000}/V =$	0,71
$A_{1000}/V =$	0,70
	0,68 >0,2 Sabine/m ³

Imagen 34. Tabla excel acondicionamiento vestibulo 3.

De esta forma se observa como se ha aumentado la absorción de los vestíbulos conforme se acercaban a la zona de público, para así evitar la entrada de sonido del exterior e ir reduciendo aquel que los vestíbulos anteriores no hayan absorbido.

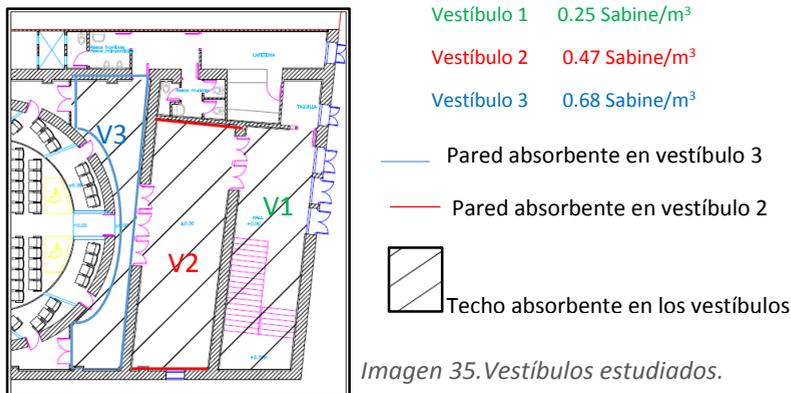


Imagen 35. Vestibulos estudiados.

Capítulo 4.

Aislamiento

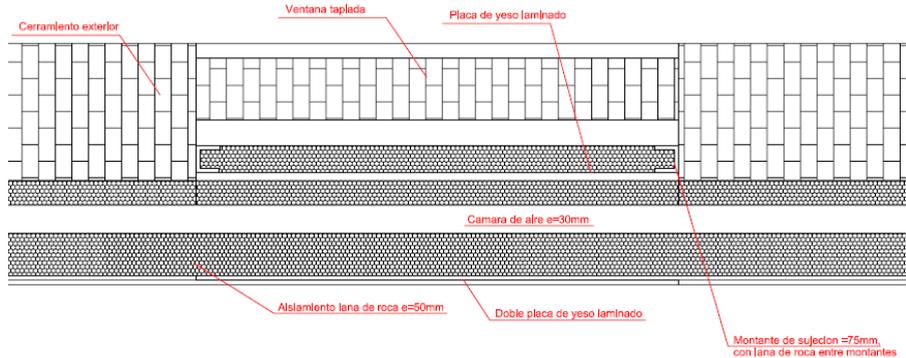
1 Planteamiento

A continuación cabe destacar el aislamiento estudiado para conseguir unas buenas características del teatro. En base a su estado original, con aislamiento exterior nulo, se han realizado varias modificaciones que aumentan esta característica.

- Tapiado de ventanas.

Todas las ventanas laterales que daban acceso de luz exterior a los pasillos laterales de distribución de palcos en nivel 0 y 1; las ventanas del nivel 2 que daban luz directamente a los palcos; ventanas que iluminaban la caja de escenario.

Estas han sido todas las ventanas que se han eliminado, puesto que se considera importante para conseguir un buen aislamiento acústico de la sala teatral respecto al ruido aéreo del exterior. En el vestíbulo 2 se ha dejado la ventana lateral ya que el nivel de absorción de dicha zona es suficiente para eliminar el ruido exterior que pueda entrar.



- Trasdosado.

En todo el teatro se ha determinado colocar un doble trasdosado encintado de placas de yeso laminado con interior de lana de roca, con el que se consigue aumentar en 3dB el aislamiento acústico de los cerramientos.

En cada capa las placas de yeso están encintadas entre si y colocadas respecto de la otra capa de placas al tresbolillo, sin usar ninguna lámina intermedia de unión.

Este trasdosado se regula según investigaciones en el laboratorio de la ETSA, concretamente en el estudio “Aislamiento acústico de particiones ligeras multicapa, estudio del material absorbente y sistema de montaje.

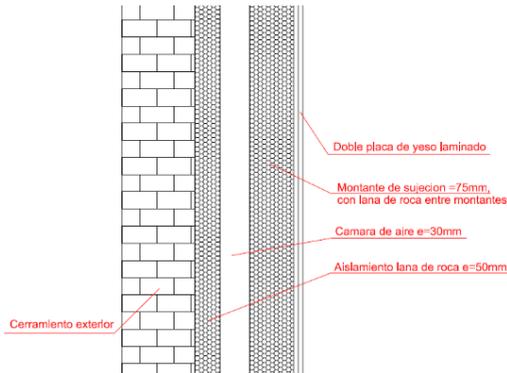


Imagen 36. Detalle constructivo trasdoso interior

- Doble puertas con vestíbulo.

La idea de esta modificación sigue el mismo objetivo que las anteriores, evitar o reducir al máximo posible la entrada de sonido exterior a la sala teatral.

Las puertas de separación que se han colocado tienen una R_A mínima de 30dBA, tanto las de vestíbulos como las de pasillos, y con el uso de doble carpintería se consigue el mismo efecto que si se hubiesen usado puertas más aislantes y por lo tanto más caras.

Cabe decir que la creación de vestíbulos entre dos puertas es simplemente porque hay espacio suficiente para realizarlo, puesto que como se comentara luego hay zonas donde no se dispone de este espacio y se utiliza un método diferente pero manteniendo la idea de doble carpintería.

En planta baja se observa como las puertas de separación del vestíbulo 3 y las de palcos realizan la función de doble carpintería. De la misma forma se trabaja en nivel 1, donde además se realiza un vestíbulo antes del acceso a servicios. Ya en el nivel 2 antes de acceder al único palco lateral nos encontramos con la doble carpintería con vestíbulo intermedio.

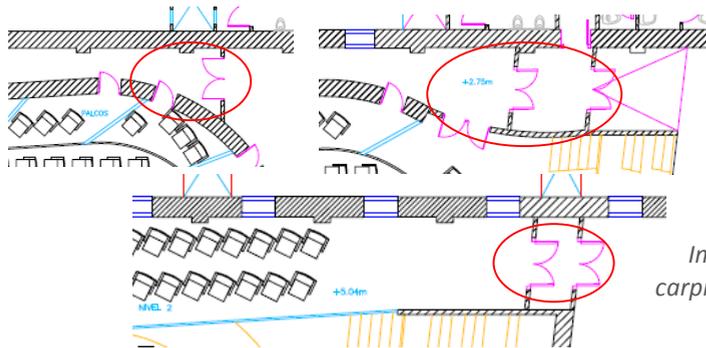


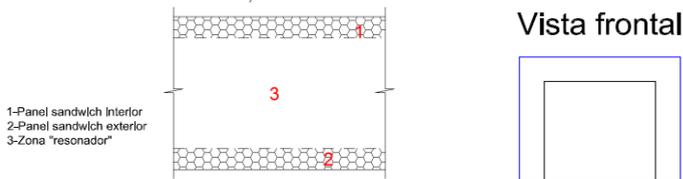
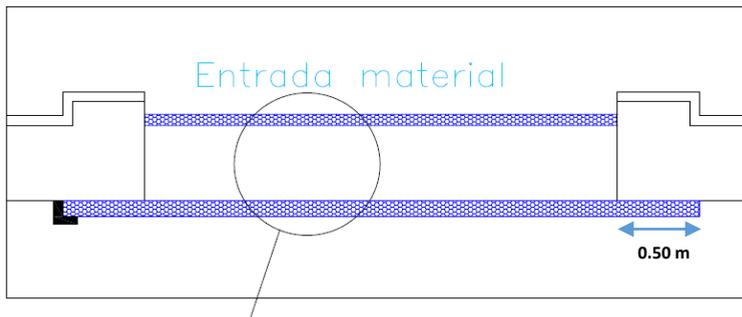
Imagen 37. Dobles carpinterías y vestíbulos.

- Puerta de escenario.

Se ha abierto una entrada de material en el lado izquierdo del escenario que accede directamente a este. Concretamente la puerta es corredera, de doble hoja (hoja interior-cerramiento-hoja exterior); las hojas son panel sandwich con aislamiento de lana de roca en su interior de 100mm de espesor separadas entre sí la distancia equivalente al espesor del muro de cerramiento (actúa como resonador).

Cada hoja sandwich tiene en su parte exterior la chapa metálica ordinaria, pero en su interior para ayudar al efecto resonador las chapas están agujereadas. La colocación de esta doble carpintería se basa en que no hay espacio físico para poder tener dos puertas con su vestíbulo correspondiente. Este sistema aporta un nivel de aislamiento similar al sistema de dobles puertas de acceso a la sala.

Detalle sección



Imaqen 38. Detalle doble carpintería de escenario.

2 Cálculo herramienta CTE DB-HR

El siguiente y último apartado trata del estudio acústico de la única medianera del Teatro “El Siglo”, situada tras el escenario. El cálculo del aislamiento acústico de dicho cerramiento se ha realizado con la Herramienta informática del CTE DB-HR.

Esta Herramienta está compuesta por varios casos según la posición de los recintos, tanto interiores como exteriores. Para el presente TFG la medianera a estudiar no tiene un caso particular ni concreto, el que más se ajusta a ella es “Recintos adyacentes con 2 aristas en común (hueco ascensor)”, suponiendo que la caja de escena es el hueco del ascensor y la vivienda adherida es el otro recinto adyacente, y ambas tienen dos aristas en común.

En primer lugar se debe obtener la masa del cerramiento en cuestión, debido a su composición de mampostería de ladrillo macizo, este cálculo se realiza según la Ley de masas indicada en el CTE.

Según el CTE el R_A de un cerramiento, en base a la Ley de masa se rige por las dos opciones siguientes:

- $m \leq 150 \text{ kg/m}^2$ $R_A = 16,6 * \log \text{ masa} + 5$ [dBA]
- $m \geq 150 \text{ kg/m}^2$ $R_A = 36,5 * \log \text{ masa} - 38,5$ [dBA]

Tomando como dato característico de un cerramiento de ladrillo macizo su peso de 1800 Kg/m^3 , y de cada cerramiento del teatro su espesor, se obtienen los índices de aislamiento R_A de cada uno de estos.

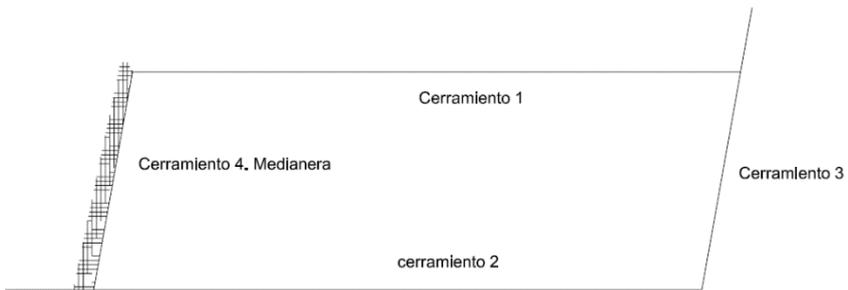


Imagen 39. Situación de cerramientos.

Cerramiento 1 = Cerramiento 3.

Espesor = 0.54m

Masa = 972 Kg/m² ≥ 150 Kg/m², por tanto:

$$R_A = 36.5 * \log 972 - 38.5 = 70.54 \text{ dBA}$$

Cerramiento 2

Espesor = 0.47m

Masa = 846 Kg/m² ≥ 150 Kg/m², por tanto:

$$R_A = 36.5 * \log 846 - 38.5 = 68.34 \text{ dBA}$$

Cerramiento 4. Medianera

Espesor = 0.25m

Masa = 450 Kg/m² ≥ 150 Kg/m², por tanto:

$$R_A = 36.5 * \log 450 - 38.5 = 58.34 \text{ dBA}$$

Una vez se ha obtenido el índice de aislamiento R_A de cada cerramiento se pasa a trabajar sobre la Herramienta del CTE DB-HR. Esto se hace con un archivo excel preparado para colocar los datos precisos del cerramiento y demás características, tomando como referencia una base de datos establecida.

En primer lugar se deben de introducir los elementos que no existen en la base de datos, “Mis Elementos” y “Mis revestimientos”, para poder cogerlos desde la ficha justificativa. Estos datos nuevos serán:

- Cerramiento 1: fachada, muro de carga de mampostería de ladrillo macizo. Masa =972 Kg/m²; R_A = 70 dBA; Fuente: Calculo con la Ley de masas, según CTE.
- Cerramiento 2: fachada, muro de carga de mampostería de ladrillo macizo. Masa =846 Kg/m²; R_A = 68 dBA; Fuente: Calculo con la Ley de masas, según CTE.
- Cerramiento 3: fachada, muro de carga de mampostería de ladrillo macizo. Masa =972 Kg/m²; R_A = 70 dBA; Fuente: Calculo con la Ley de masas, según CTE.
- Cerramiento 4: medianera, muro de carga de mampostería de ladrillo macizo. Masa =972 Kg/m²; R_A = 70 dBA; Fuente: Calculo con la Ley de masas, según CTE.
- Revestimiento: trasdosado de doble placa de yeso laminado, en el muro de carga de mampostería de ladrillo macizo. ΔR_A = 10dB; Fuente: Aislamiento acústico de particiones ligeras multicapa, estudio material absorbente y sistema de montaje. Investigación laboratorios ETSA.

Con todos los datos insertados se pasa a completar la ficha justificativa del cálculo de aislamiento a ruido aéreo entre recintos interiores.

El primer campo a rellenar es el relativo al elemento separador, donde se coloca la superficie en m², el elemento de la base de datos y el trasdosado correspondiente.

A continuación se pasa al elemento emisor, caja de escena. Se elige el tipo de recinto como de actividad o de instalaciones, se introducen los tipos de elementos y el revestimiento de la base de datos para las 3 fachadas y la medianera. Además se debe de determinar la superficie y longitud de lindes de flancos para cada una. Se realiza el mismo proceso con el recinto receptor, excepto los revestimientos que se dejan sin especificar.

Una vez se han descrito los recintos se pasa a determinar las uniones entre los elementos constructivos. En este caso no coincide exactamente ninguna unión de la base de datos con la realidad del Teatro “El Siglo”, así pues se han tenido que elegir aquellas que se ajustaban más.

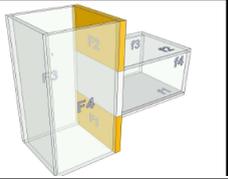
Una vez se han introducido los datos y características de cada elemento constructivo, se puede ver que cumple con el requisito exigido de 55 dBA de aislamiento acústico.



Documento Básico HR Protección frente al ruido

Ficha justificativa del cálculo de aislamiento a ruido aéreo entre recintos interiores.
Caso: Recintos adyacentes con 2 aristas comunes. (hueco de ascensor).

Proyecto	TRABAJO FINAL GRADO EN INGENIERIA DE LA EDIFICACIÓN			
Autor	JAVIER GISBERT GARCIA			
Fecha	20/06/2014			
Referencia	REHABILITACIÓN Y ADECUACIÓN ACÚSTICA TEATRO EL SIGLO			



Transmisión del ascensor al recinto 2				
Aislamiento acústico a ruido aéreo	D_{nt,A} (dBA)	Cálculo	Requisito	CUMPLE
		57	55	

Imagen 40.Extracto ficha justificativa. (Ver anexo)

Capítulo 5.

Conclusiones

A partir del presente TFG realizado se ha podido entender y demostrar el comportamiento que el Teatro “El Siglo” mostraría ante una rehabilitación y adecuación acústica como la indicada.

En este estudio se ha trabajado el nuevo acondicionamiento que debería realizarse, dejando claro que el estado original no tendría cabida en la normativa vigente. Según el estado actual y los planos, se pueden encontrar incumplimientos en accesos, escaleras, anchuras de paso, etc.

Gracias al nuevo acondicionamiento, se aprovecha mejor el espacio de los vestíbulos, con la reforma del vestíbulo 1 (dándole mayor altura) y con la creación del acceso bajo anfiteatro al primer nivel, además, se distribuyen mejor los asientos, se da mayor amplitud a los palcos aun unificando varios en uno mismo y, también se rediseña la situación de la cafetería y servicios que pueden funcionar ajenos al teatro.

Por la parte que concierne al acondicionamiento acústico, con todas las modificaciones constructivas realizadas, los materiales colocados y el diseño de la concha de escena y del techo, se llega a unos resultados de tiempo de reverberación, calidez, brillo y demás parámetros acústicos muy adecuados.

En general el Teatro “El Siglo” presenta unas características aceptables y correctas acústicamente, que dan calidez al sonido recibido y claridad en su audición, tanto por la reverberación como por el brillo.

Más concretamente en las zonas más comunes, platea y anfiteatro, se puede decir que en los puntos estudiados de recepción sonora los parámetros cumplen con lo exigido, tanto por lo predeterminado para esta situación como por lo estipulado en fuentes bibliográficas.

El tiempo de reverberación del teatro es adecuado para las dimensiones de la sala, la calidez conseguida para la sala indica la suavidad del sonido en ella, el brillo que la sala muestra nos permitirá conseguir sonidos claros y la absorción que se consigue en los vestíbulos es la correcta para evitar intrusión de sonido exterior en la sala teatral.

Por tanto, se desprende del estudio realizado que esta posible rehabilitación del Teatro “El Siglo” daría buenos resultados acústicos, aunque cabe decir que seguro hay muchas más alternativas.

Anexos

- 1 Planos originales
- 2 Planos modificados
- 3 Cálculos de tiempo de reverberación.
- 4 Calculo Herramienta CTE DB-HR.

Bibliografía

Trullenque Esteve, R. (2010). *Dues mirades diacròniques*. Valencia: Publicaciones de la Universidad de Valencia.

Tapia, S. (1991). *Carlet: Relatos de la tierra y sus gentes. Noche de teatro*. Carlet: Aula d'Estudis Carletins.

Carrión Isbert, A. (1998). *Diseño acústico de teatros*. En *Diseño acústico de espacios arquitectónicos*. (pp.181-187). Barcelona: Ediciones UPC.

Recuperado de

<https://docs.google.com/file/d/0B2EyibDmkclzcDBWeXJjdUZoV0U/edit?pli=1>

Arau, H. (1999). *Acondicionamiento acústico de salas*. En *ABC de la acústica arquitectónica*. (pp. 261-166). Barcelona: CEAC

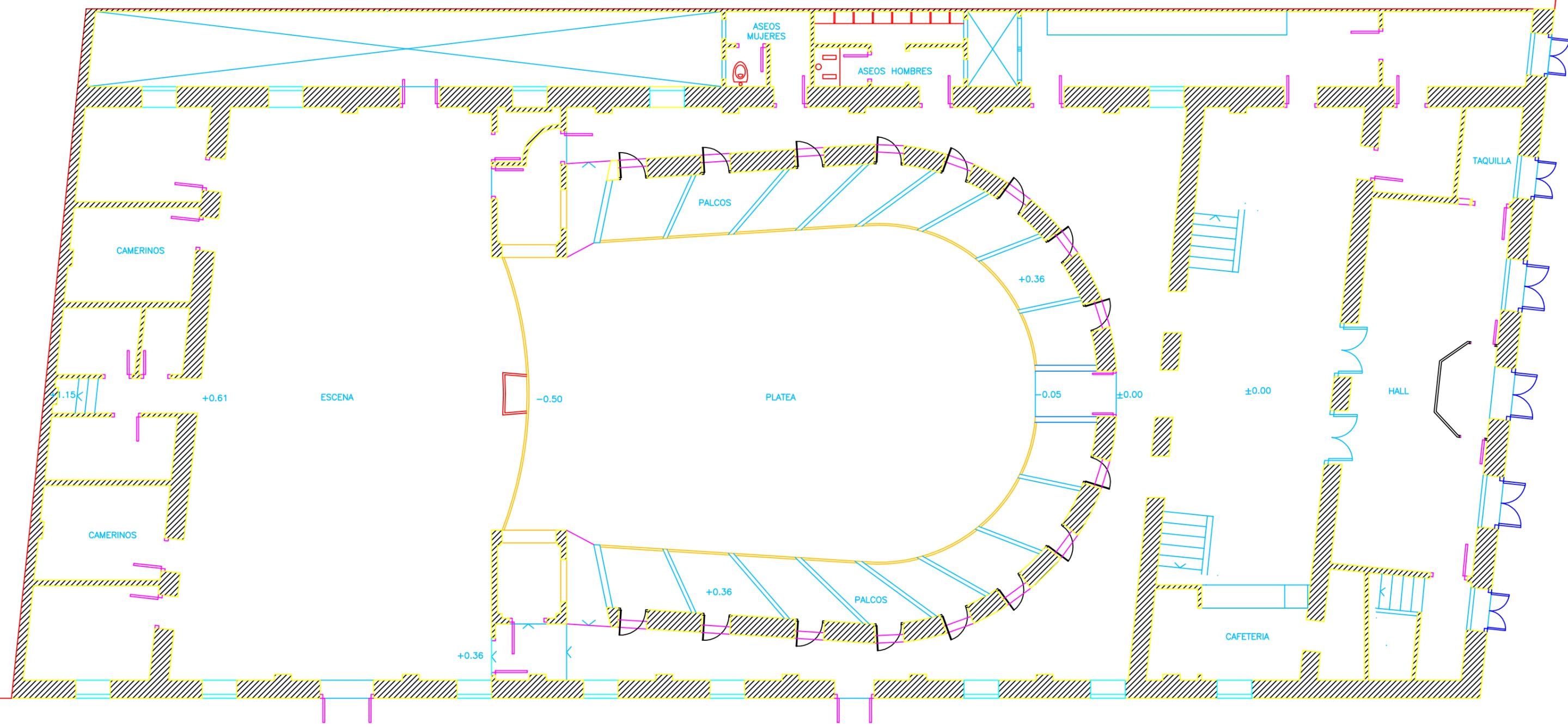
Barba Sevillano, A. y Giménez Pérez, A. (2011). *El teatro principal de valencia. Acústica y arquitectura escénica*. Valencia: Novedad Editorial.

Ministerio d Fomento. (2011). *Código Técnico de la Edificación Documento Básico - Protección frente al ruido*.

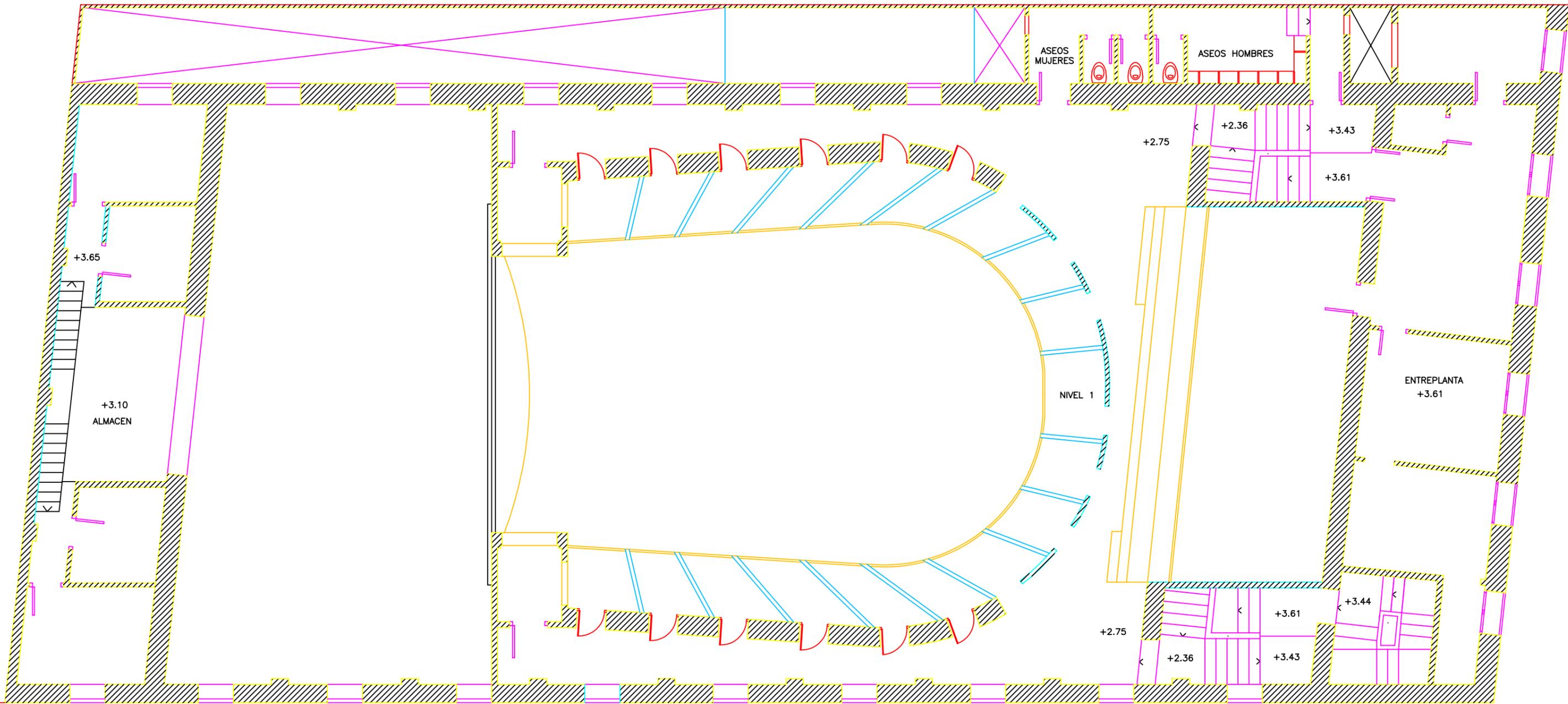
Sinisterra Ortí, J. (2003). *Aislamiento acústico de particiones ligeras multicapa. Estudio del material absorbente y del sistema de montaje*.

Tesis doctoral. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.

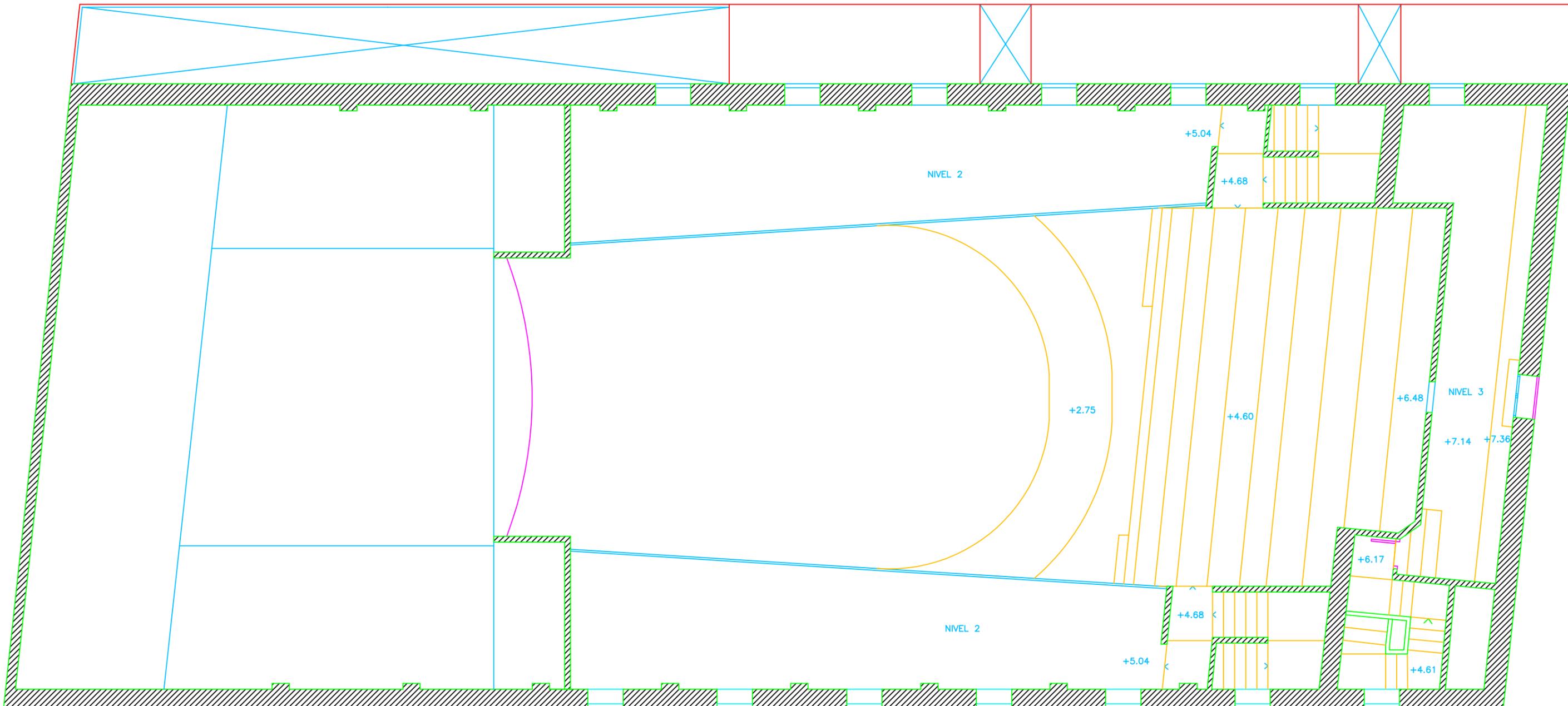
1. Planos originales



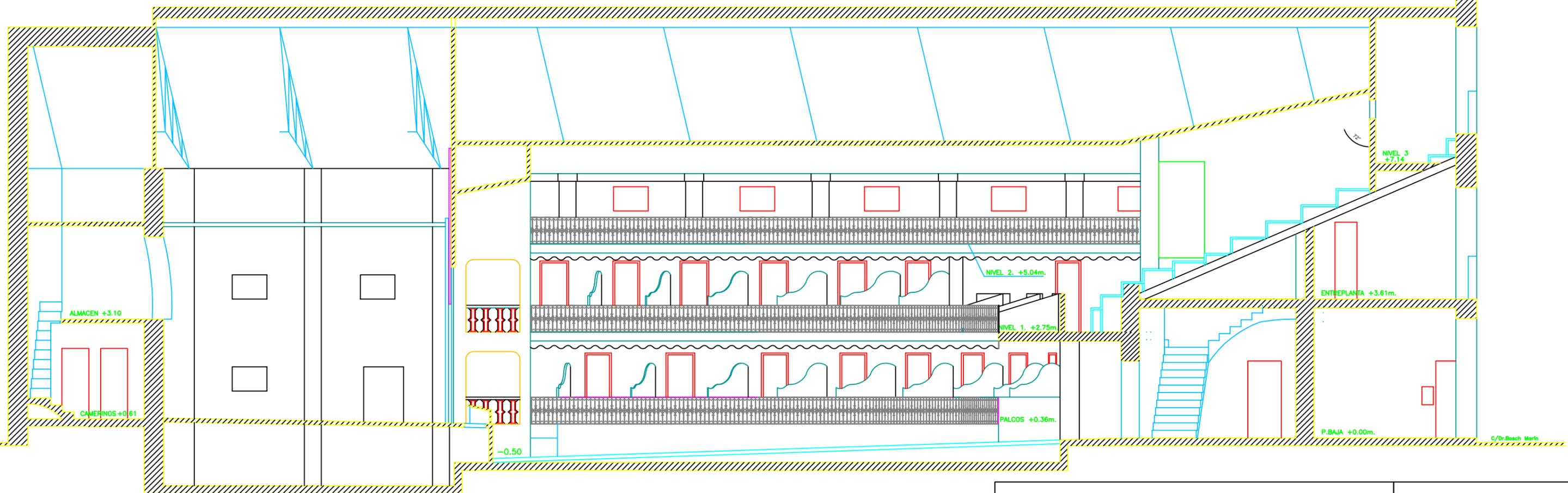
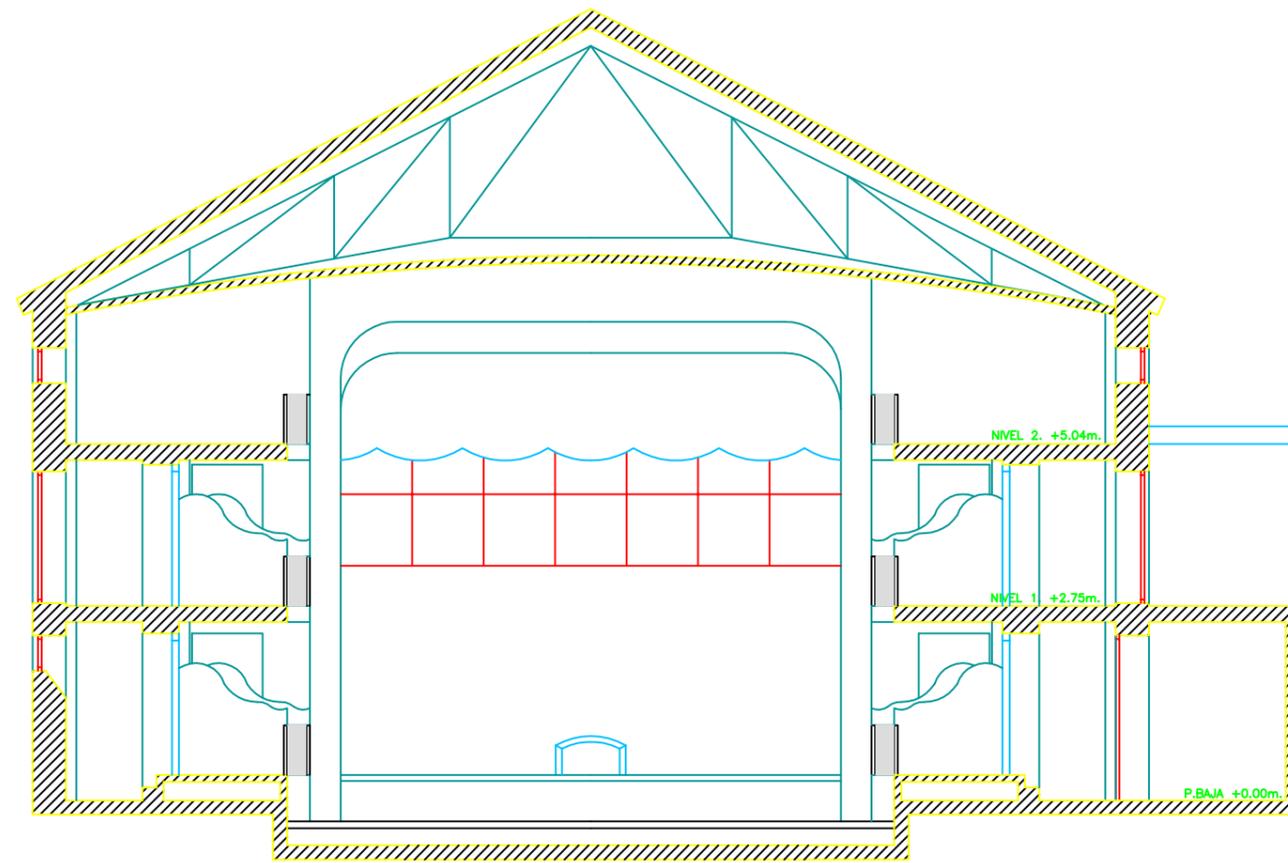
Trabajo Final de Grado curso 2013/2014	
Rehabilitación y adecuación acustica del Teatro "El Siglo" de Carlet	E: 1/100
Plano 1: Planta Baja	



Trabajo Final de Grado curso 2013/2014		E: 1/100
Rehabilitación y adecuación acustica del Teatro "El Siglo" de Carlet		
Plano 2: Planta Primera		



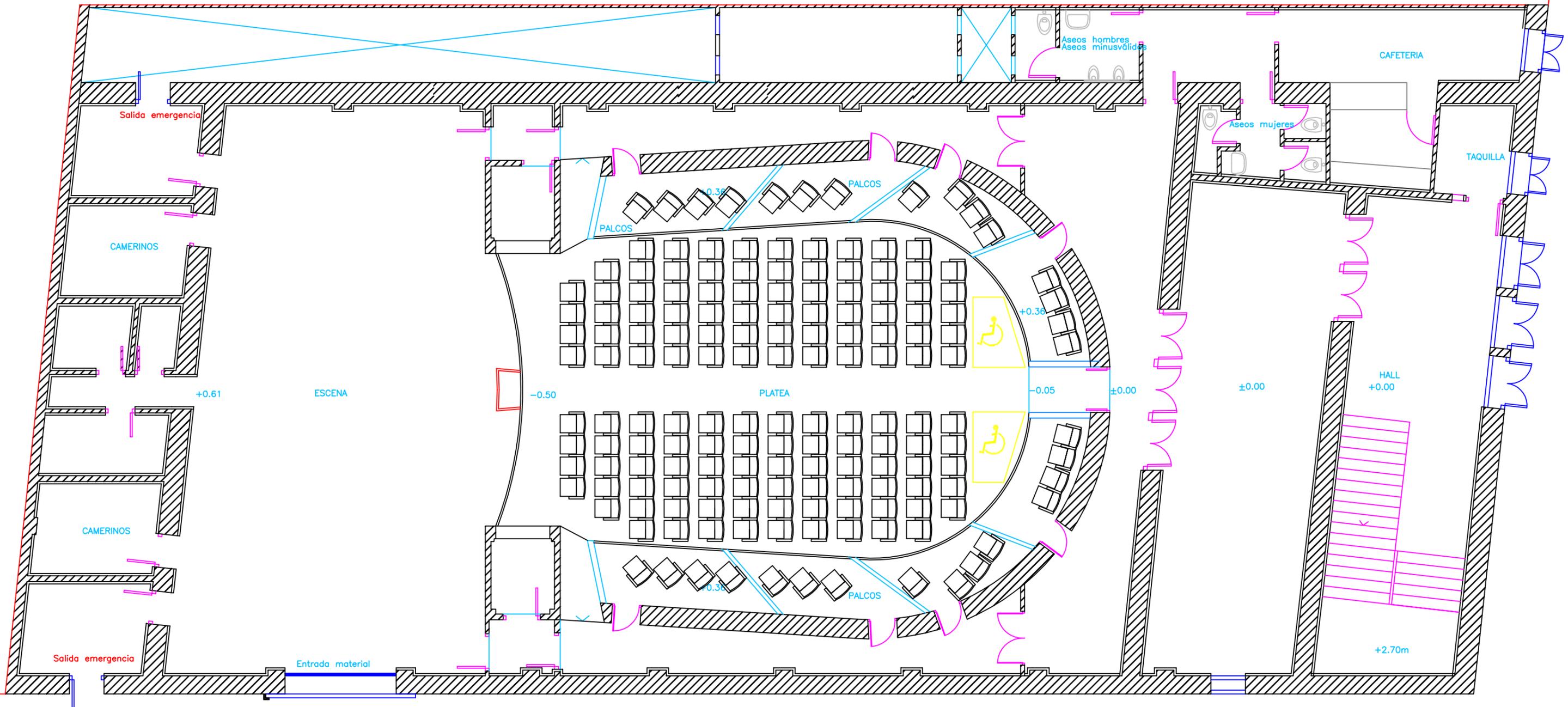
<p>Trabajo Final de Grado curso 2013/2014</p>	<p>E: 1/100</p>
<p>Rehabilitación y adecuación acustica del Teatro "El Siglo" de Carlet</p>	
<p>Plano 3: Planta Segunda</p>	



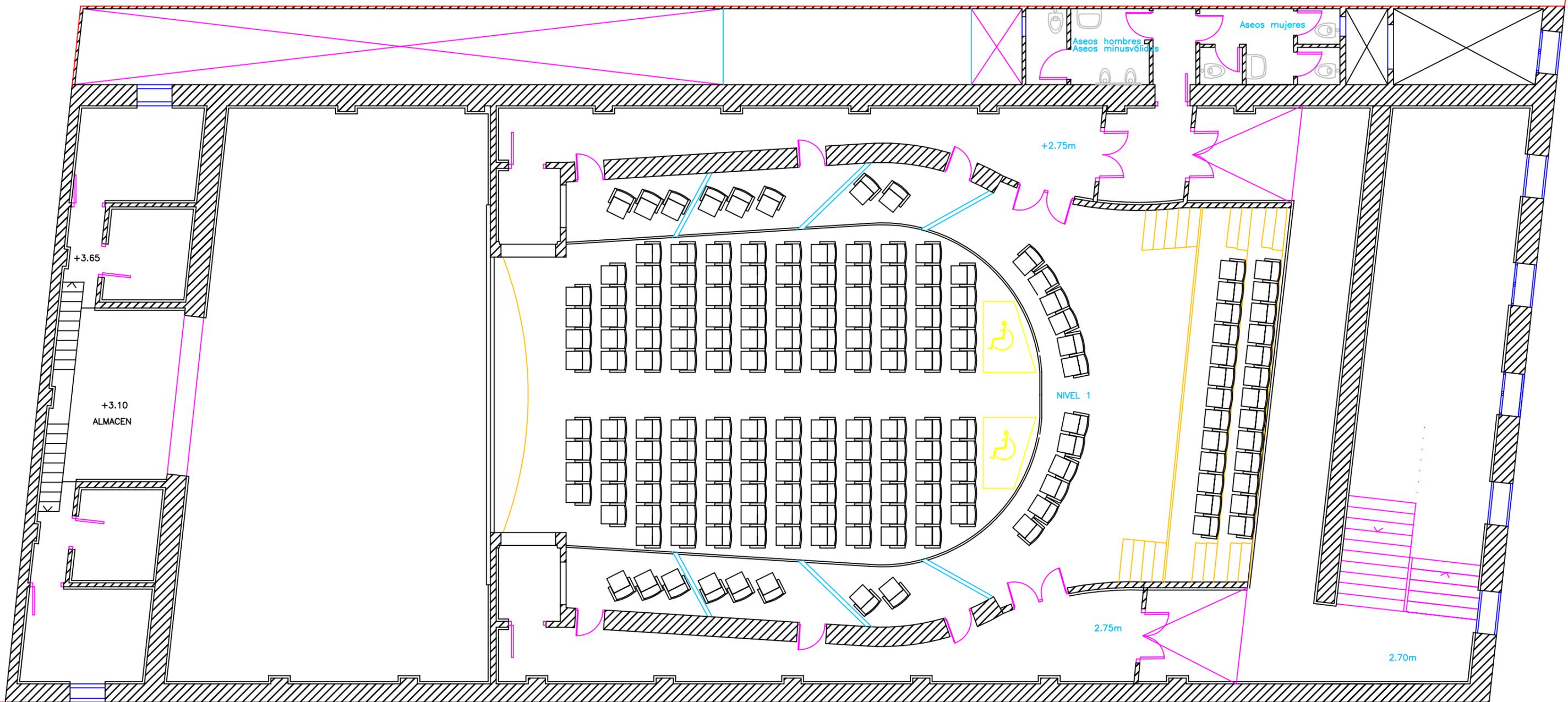
Trabajo Final de Grado curso 2013/2014
 Rehabilitación y adecuación acustica del
 Teatro "El Siglo" de Carlet
 Plano 4: Secciones

E: 1/100

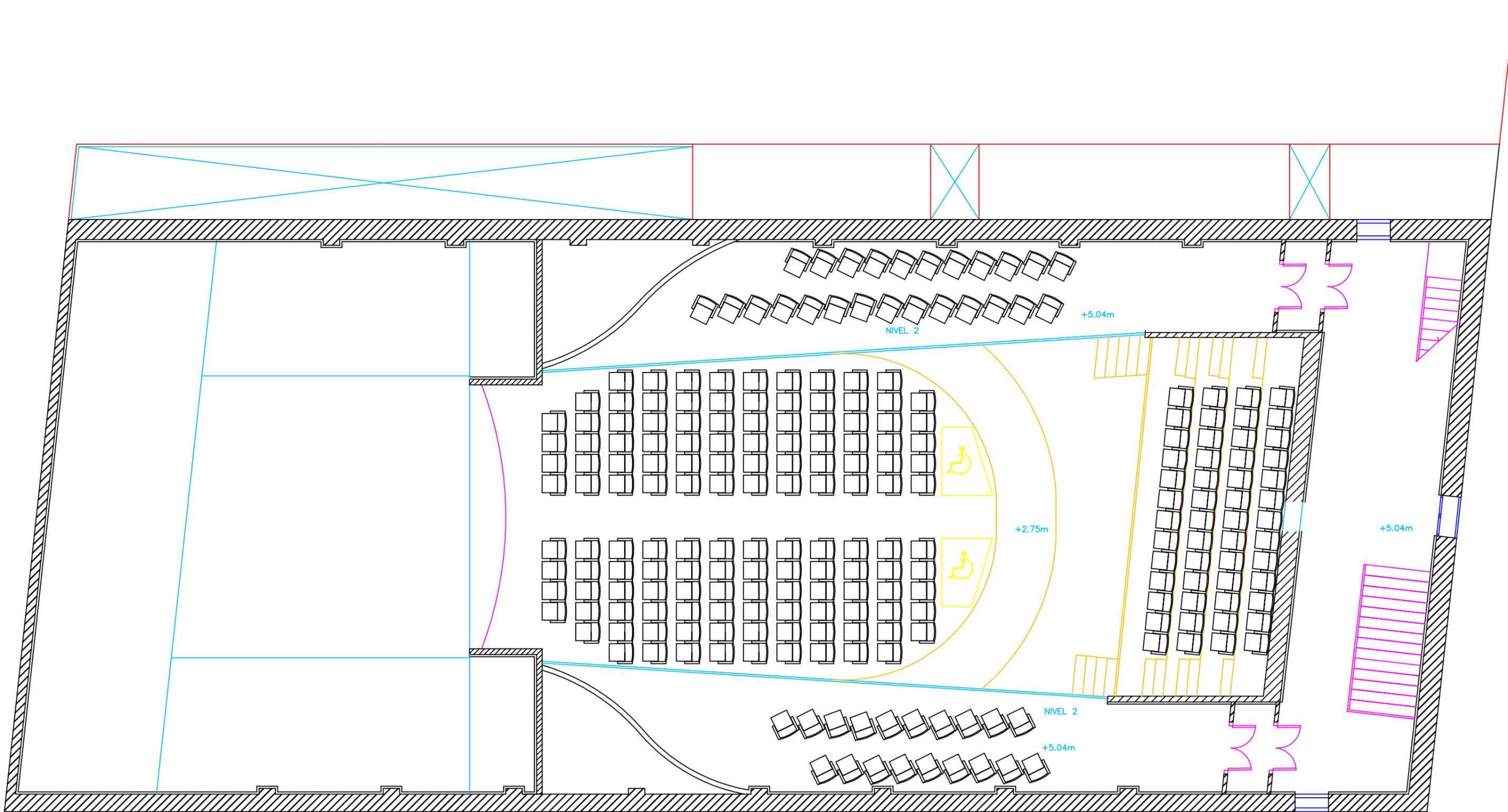
2. Planos modificados



<p>Trabajo Final de Grado curso 2013/2014</p>	<p>E: 1/100</p>
<p>Rehabilitación y adecuación acustica del Teatro "El Siglo" de Carlet</p>	
<p>Plano 1: Planta Baja</p>	



<p>Trabajo Final de Grado curso 2013/2014</p>	<p>E: 1/100</p>
<p>Rehabilitación y adecuación acustica del Teatro "El Siglo" de Carlet</p>	
<p>Plano 2: Planta Primera</p>	

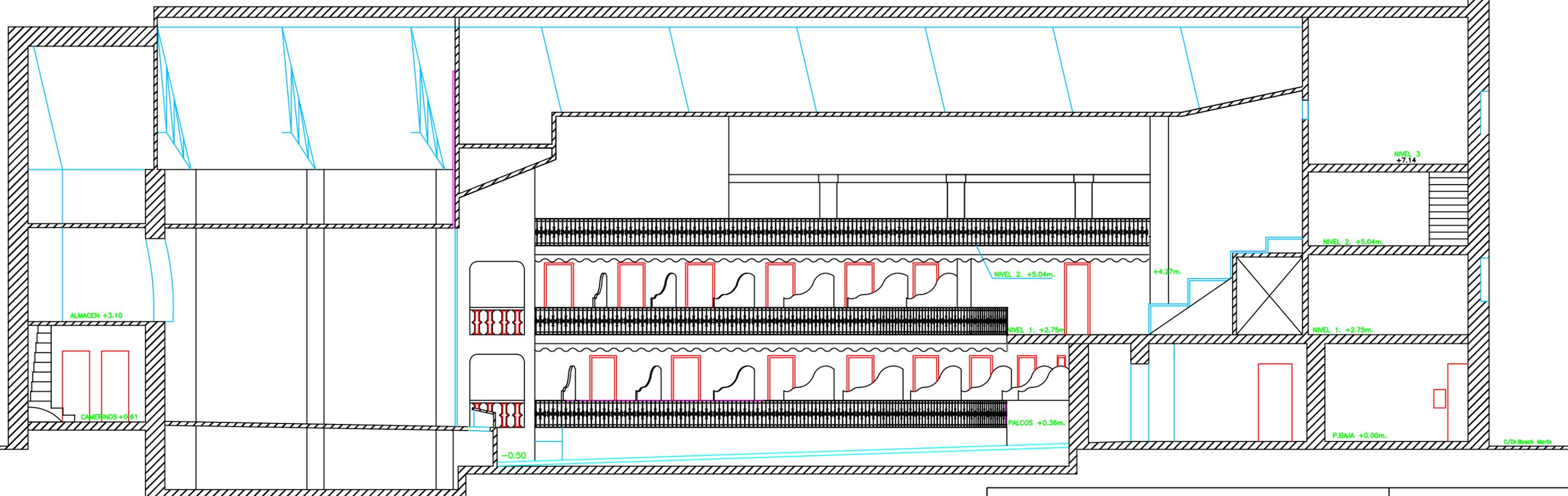
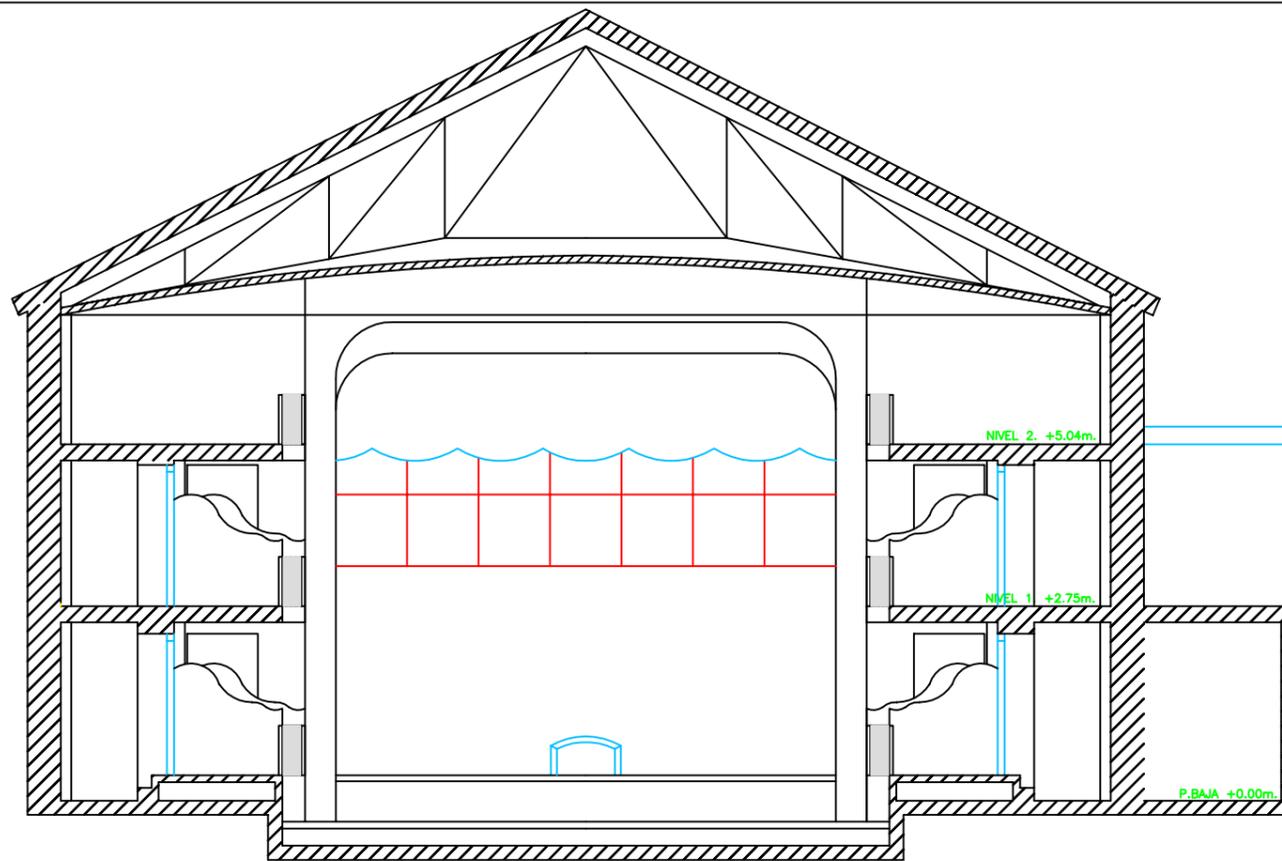


Trabajo Final de Grado curso 2013/2014

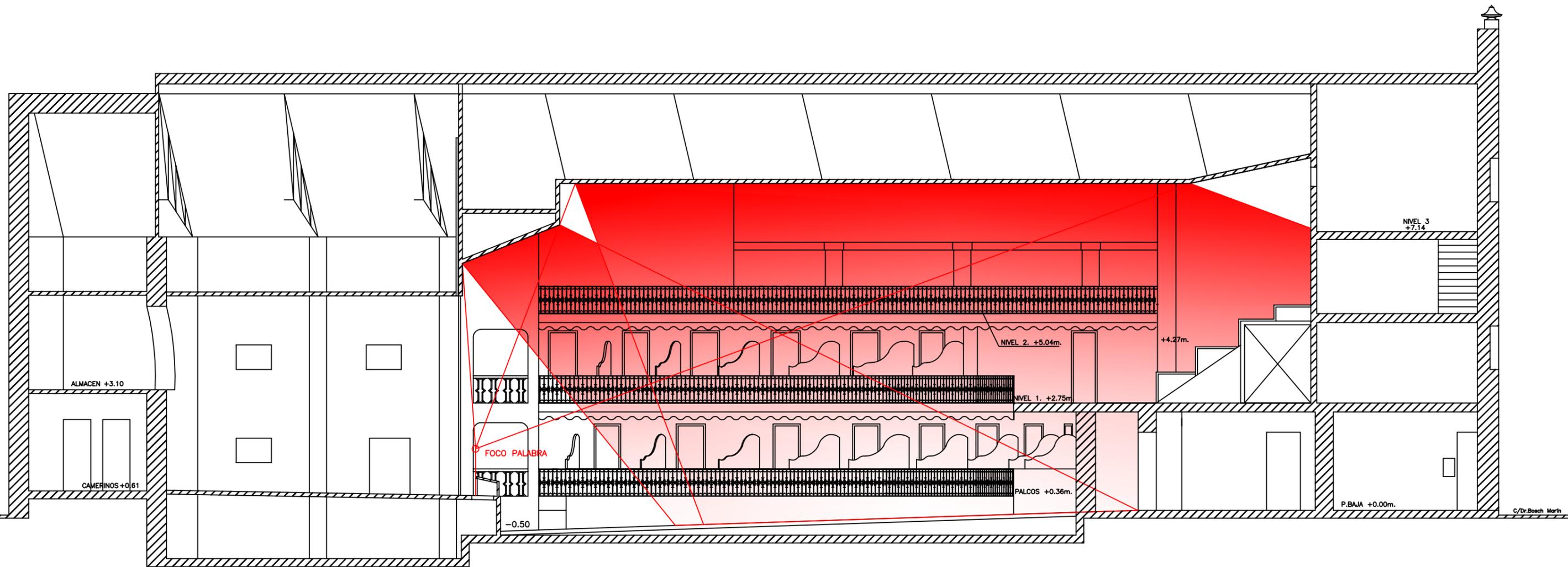
Rehabilitación y adecuación acustica del
Teatro "El Siglo" de Carlet

Plano 3: Planta Segunda

E: 1/100



Trabajo Final de Grado curso 2013/2014		E: 1/100
Rehabilitación y adecuación acustica del Teatro "El Siglo" de Carlet		
Plano 4: Secciones		

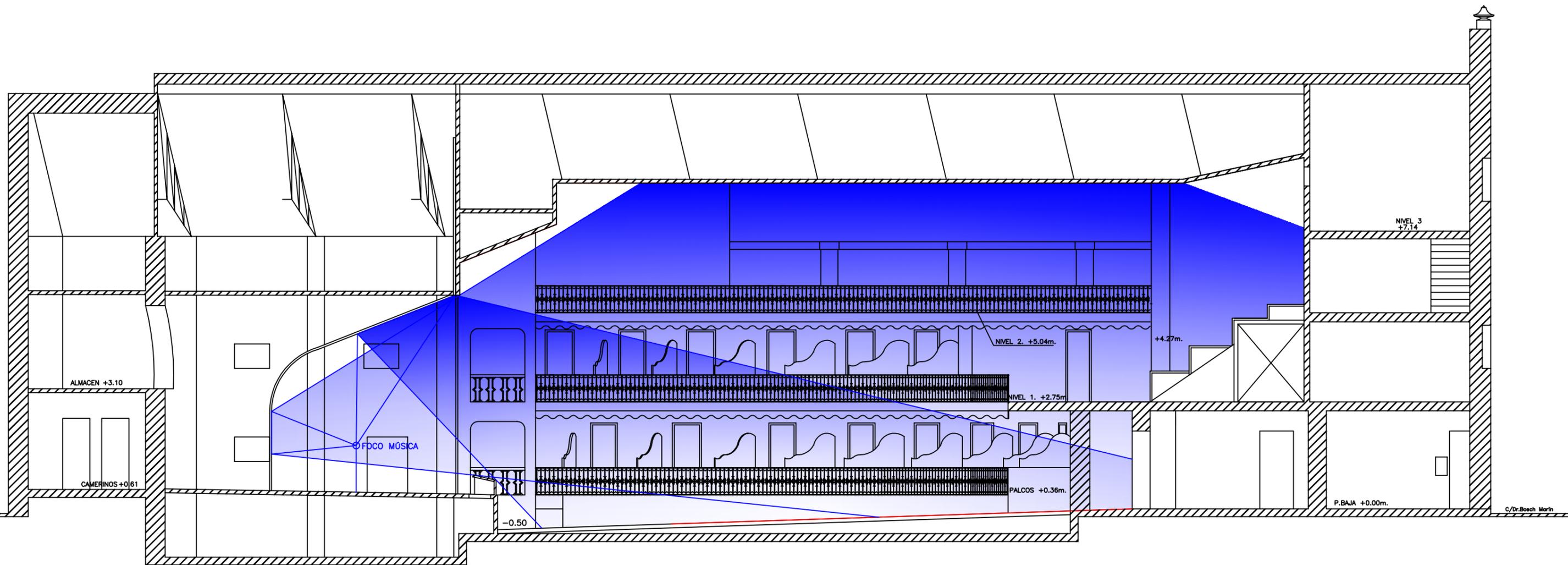


Trabajo Final de Grado curso 2013/2014

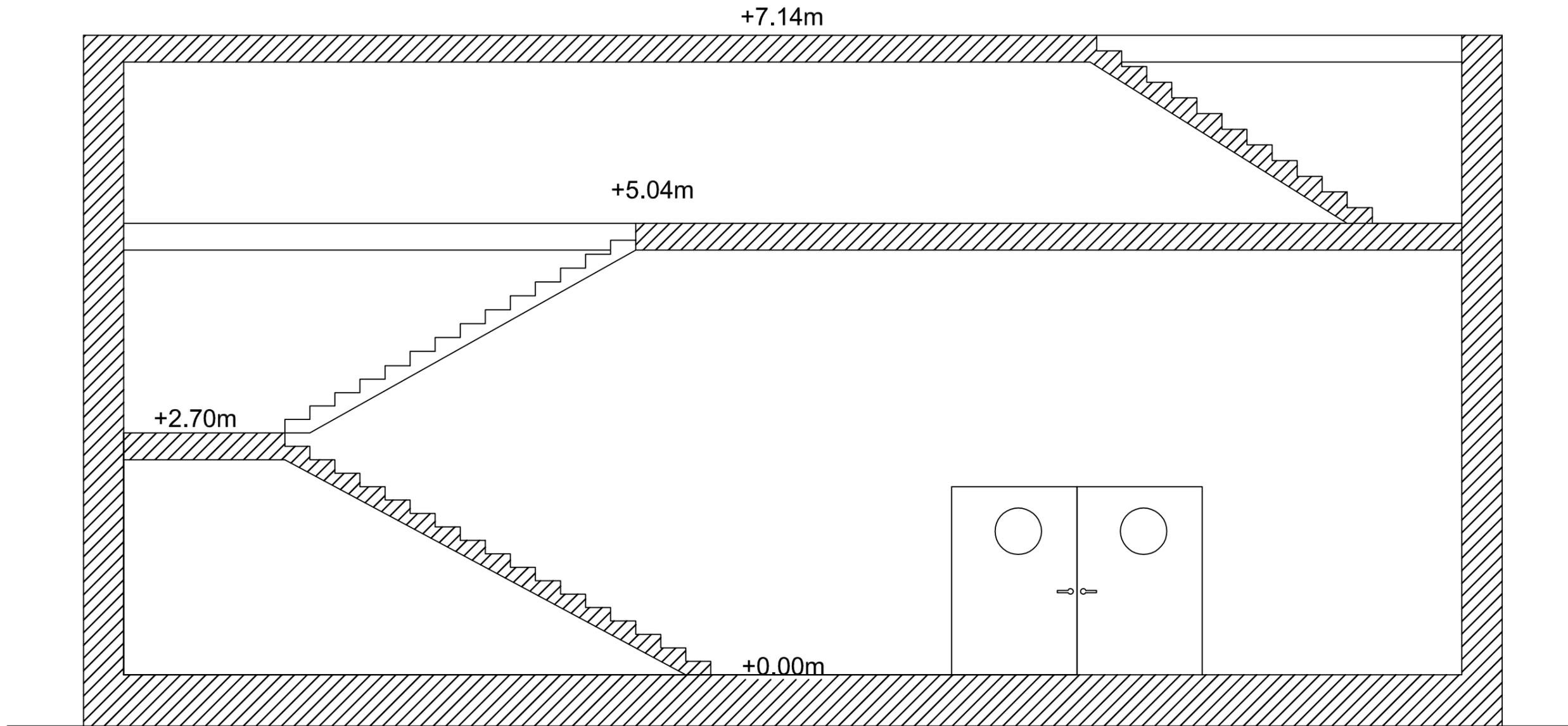
Rehabilitación y adecuación acustica del
Teatro "El Siglo" de Carlet

Plano 5: Foco palabra

E: 1/100



<p>Trabajo Final de Grado curso 2013/2014</p>	<p>E: 1/100</p>
<p>Rehabilitación y adecuación acustica del Teatro "El Siglo" de Carlet</p>	
<p>Plano 6: Foco música</p>	



Trabajo Final de Grado curso 2013/2014

Rehabilitación y adecuación acustica del
Teatro "El Siglo" de Carlet

Plano 7: Sección escaleras (vestibulo 1)

E: 1/50

3. Calculo tiempo de reverberación

Teatro ocupado

TEATRO EL SIGLO

VOLUMEN (m3) 1191,76

Superficie (m2)	Zona	Material	125 Hz	250Hz	500Hz	1000Hz	2000Hz	4000Hz
86,28	Publico nivel 0	Sillas ocupadas con bajo porcentaje de superficie tapizada	0,56	0,68	0,79	0,83	0,86	0,86
29,75	Suelo nivel 0	Linóleo (0,65 cm)	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03
107,02	Laterales nivel 0	Madera solida, sobre rastreles, camara de lana de roca de alta densidad	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
31,43	Barandilla nivel 0	Ladrillo, muro con enlucido de yeso	0,013	0,015	0,02	0,028	0,04	0,05
27,58	Suelo nivel 1	Linóleo (0,65 cm)	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03
50,79	Palcos nivel 1	Sillas ocupadas con bajo porcentaje de superficie tapizada	0,56	0,68	0,79	0,83	0,86	0,86
56	Laterales nivel 1	Madera solida, sobre rastreles, camara de lana de roca de alta densidad	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
19,76	Barandilla nivel 1	Ladrillo, muro con enlucido de yeso	0,013	0,015	0,02	0,028	0,04	0,05
40,76	Palcos nivel 2	Sillas ocupadas con bajo porcentaje de superficie tapizada	0,56	0,68	0,79	0,83	0,86	0,86
36	Suelo nivel 2	Linóleo (0,65 cm)	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03
103,34	Laterales nivel 2	Madera solida, sobre rastreles, camara de lana de roca de alta densidad	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
10,64	Barandilla nivel 2	Ladrillo, muro con enlucido de yeso	0,013	0,015	0,02	0,028	0,04	0,05
35,8	Lateral gallinero	Madera solida, sobre rastreles, camara de lana de roca de alta densidad	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
32,7	Fondo gallinero	Madera solida, sobre rastreles, camara de lana de roca de alta densidad	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
21,4	Publico gallinero	Sillas ocupadas con bajo porcentaje de superficie tapizada	0,56	0,68	0,79	0,83	0,86	0,86
41,7	Boca escenario	Abertura de escenario	0,3	0,4	0,5	0,6	0,6	0,5
244,9	Techo	Contrachapado de madera de 3 mm con cavidad de aire en el dorso	0,11	0,21	0,1	0,05	0,03	0,02
38,8	Laterales esc.	Contrachapado de madera de 3 mm con cavidad de aire en el dorso	0,11	0,21	0,1	0,05	0,03	0,02
61,2	Concha esc.	Madera sólida, 5 cm de espesor	0,01	0,05	0,05	0,04	0,04	0,04
57,4	Tarima esc.	Parqué sobre rastreles	0,05	0,03	0,06	0,09	0,1	0,2
ABSORCIÓN TEATRO			163,85	221,72	218,63	219,13	224,09	224,38
			Tr (125Hz)	Tr (250Hz)	Tr (500Hz)	Tr (1000Hz)	Tr (2000Hz)	Tr (4000Hz)
			1,178	0,871	0,883	0,881	0,862	0,860

$T_{r \text{ mid}} \approx 1$	$T_{r \text{ mid}}$	$T_{r \text{ mid}} = (Tr500+Tr1000)/2$	0,88
BR=1,2	BR (bass ratio)	$BR = (Tr125+Tr250)/(Tr500+Tr1000)$	1,16
Br >0,87	Br (brillo)	$Br = (Tr2000+Tr4000)/(Tr500+Tr1000)$	0,98

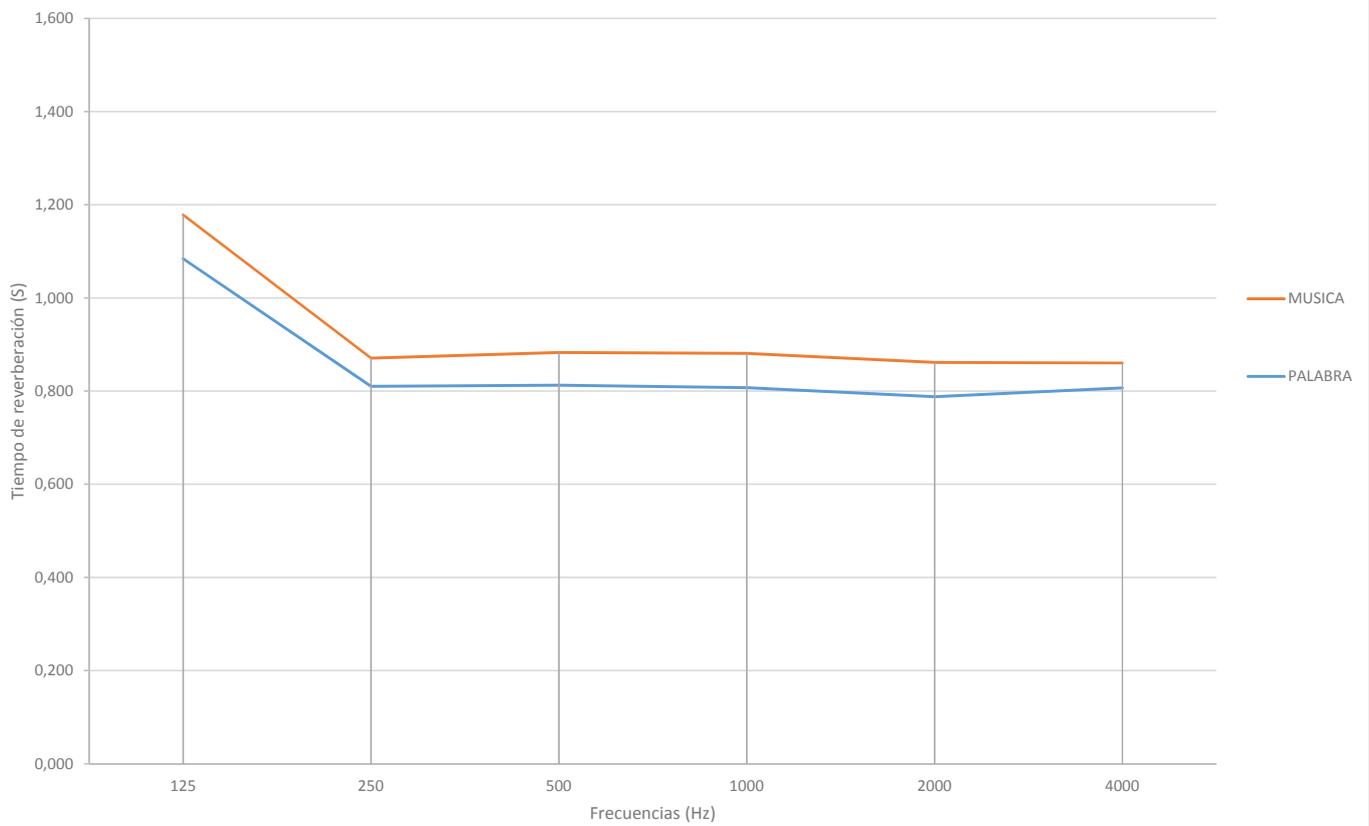
TEATRO EL SIGLO

VOLUMEN (m3) 1044,56

Superficie (m2)	Zona	Material	125 Hz	250Hz	500Hz	1000Hz	2000Hz	4000Hz
86,28	Publico nivel 0	Sillas ocupadas con bajo porcentaje de superficie tapizada	0,56	0,68	0,79	0,83	0,86	0,86
29,75	Suelo nivel 0	Linóleo (0,65 cm)	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03
107,02	Laterales nivel 0	Madera solida, sobre rastreles, camara de lana de roca de alta densidad	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
31,43	Barandilla nivel 0	Ladrillo, muro con enlucido de yeso	0,013	0,015	0,02	0,028	0,04	0,05
27,58	Suelo nivel 1	Linóleo (0,65 cm)	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03
50,79	Palcos nivel 1	Sillas ocupadas con bajo porcentaje de superficie tapizada	0,56	0,68	0,79	0,83	0,86	0,86
56	Laterales nivel 1	Madera solida, sobre rastreles, camara de lana de roca de alta densidad	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
19,76	Barandilla nivel 1	Ladrillo, muro con enlucido de yeso	0,013	0,015	0,02	0,028	0,04	0,05
40,76	Palcos nivel 2	Sillas ocupadas con bajo porcentaje de superficie tapizada	0,56	0,68	0,79	0,83	0,86	0,86
36	Suelo nivel 2	Linóleo (0,65 cm)	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03
103,34	Laterales nivel 2	Madera solida, sobre rastreles, camara de lana de roca de alta densidad	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
10,64	Barandilla nivel 2	Ladrillo, muro con enlucido de yeso	0,013	0,015	0,02	0,028	0,04	0,05
35,8	Lateral gallinero	Madera solida, sobre rastreles, camara de lana de roca de alta densidad	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
32,7	Fondo gallinero	Madera solida, sobre rastreles, camara de lana de roca de alta densidad	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
21,4	Publico gallinero	Sillas ocupadas con bajo porcentaje de superficie tapizada	0,56	0,68	0,79	0,83	0,86	0,86
41,7	Boca escenario	Abertura de escenario	0,3	0,4	0,5	0,6	0,6	0,5
244,9	Techo	Contrachapado de madera de 3 mm con cavidad de aire en el dorso	0,11	0,21	0,1	0,05	0,03	0,02
ABSORCIÓN TEATRO			156,10	208,79	208,25	209,57	214,74	209,67
			1,084	0,810	0,813	0,807	0,788	0,807

$T_{r\ mid} \approx 1$	$T_{r\ mid}$	$T_{r\ mid} = (Tr500+Tr1000)/2$	0,81
$BR \approx 1,2$	BR (bass ratio)	$BR = (Tr125+Tr250)/(Tr500+Tr1000)$	1,17
$Br > 0,87$	Br (brillo)	$Br = (Tr2000+Tr4000)/(Tr500+Tr1000)$	0,98

CURVA TONAL TEATRO "EL SIGLO" OCUPADO



Teatro aforo medio

TEATRO EL SIGLO

VOLUMEN (m3) 1191,76

Superficie (m2)	Zona	Material	125 Hz	250Hz	500Hz	1000Hz	2000Hz	4000Hz
86,28	Publico nivel 0	Sillas ocupadas con bajo porcentaje de superficie tapizada	0,56	0,68	0,79	0,83	0,86	0,86
29,75	Suelo nivel 0	Linóleo (0,65 cm)	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03
107,02	Laterales nivel 0	Madera solida, sobre rastreles, camara de lana de roca de alta densidad	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
31,43	Barandilla nivel 0	Ladrillo, muro con enlucido de yeso	0,013	0,015	0,02	0,028	0,04	0,05
27,58	Suelo nivel 1	Linóleo (0,65 cm)	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03
50,79	Palcos nivel 1	Sillas vacias con bajo porcentaje de superficie tapizada	0,35	0,45	0,57	0,61	0,59	0,55
56	Laterales nivel 1	Madera solida, sobre rastreles, camara de lana de roca de alta densidad	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
19,76	Barandilla nivel 1	Ladrillo, muro con enlucido de yeso	0,013	0,015	0,02	0,028	0,04	0,05
40,76	Palcos nivel 2	Sillas vacias con bajo porcentaje de superficie tapizada	0,35	0,45	0,57	0,61	0,59	0,55
36	Suelo nivel 2	Linóleo (0,65 cm)	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03
103,34	Laterales nivel 2	Madera solida, sobre rastreles, camara de lana de roca de alta densidad	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
10,64	Barandilla nivel 2	Ladrillo, muro con enlucido de yeso	0,013	0,015	0,02	0,028	0,04	0,05
35,8	Lateral gallinero	Madera solida, sobre rastreles, camara de lana de roca de alta densidad	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
32,7	Fondo gallinero	Madera solida, sobre rastreles, camara de lana de roca de alta densidad	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
21,4	Publico gallinero	Sillas vacias con bajo porcentaje de superficie tapizada	0,35	0,45	0,57	0,61	0,59	0,55
41,7	Boca escenario	Abertura de escenario	0,3	0,4	0,5	0,6	0,6	0,5
244,9	Techo	Contrachapado de madera de 3 mm con cavidad de aire en el dorso	0,11	0,21	0,1	0,05	0,03	0,02
38,8	Laterales esc.	Contrachapado de madera de 3 mm con cavidad de aire en el dorso	0,11	0,21	0,1	0,05	0,03	0,02
61,2	Concha esc.	Madera sólida, 5 cm de espesor	0,01	0,05	0,05	0,04	0,04	0,04
57,4	Tarima esc.	Parqué sobre rastreles	0,05	0,03	0,06	0,09	0,1	0,2
ABSORCIÓN TEATRO			140,13	195,75	193,79	194,28	193,60	189,36
			Tr (125Hz)	Tr (250Hz)	Tr (500Hz)	Tr (1000Hz)	Tr (2000Hz)	Tr (4000Hz)
			1,378	0,986	0,996	0,994	0,997	1,020

$T_{r \text{ mid}} \approx 1$	$T_{r \text{ mid}}$	$T_{r \text{ mid}} = (Tr500+Tr1000)/2$	1,00
BR=1,2	BR (bass ratio)	$BR = (Tr125+Tr250)/(Tr500+Tr1000)$	1,19
Br >0,87	Br (brillo)	$Br = (Tr2000+Tr4000)/(Tr500+Tr1000)$	1,01

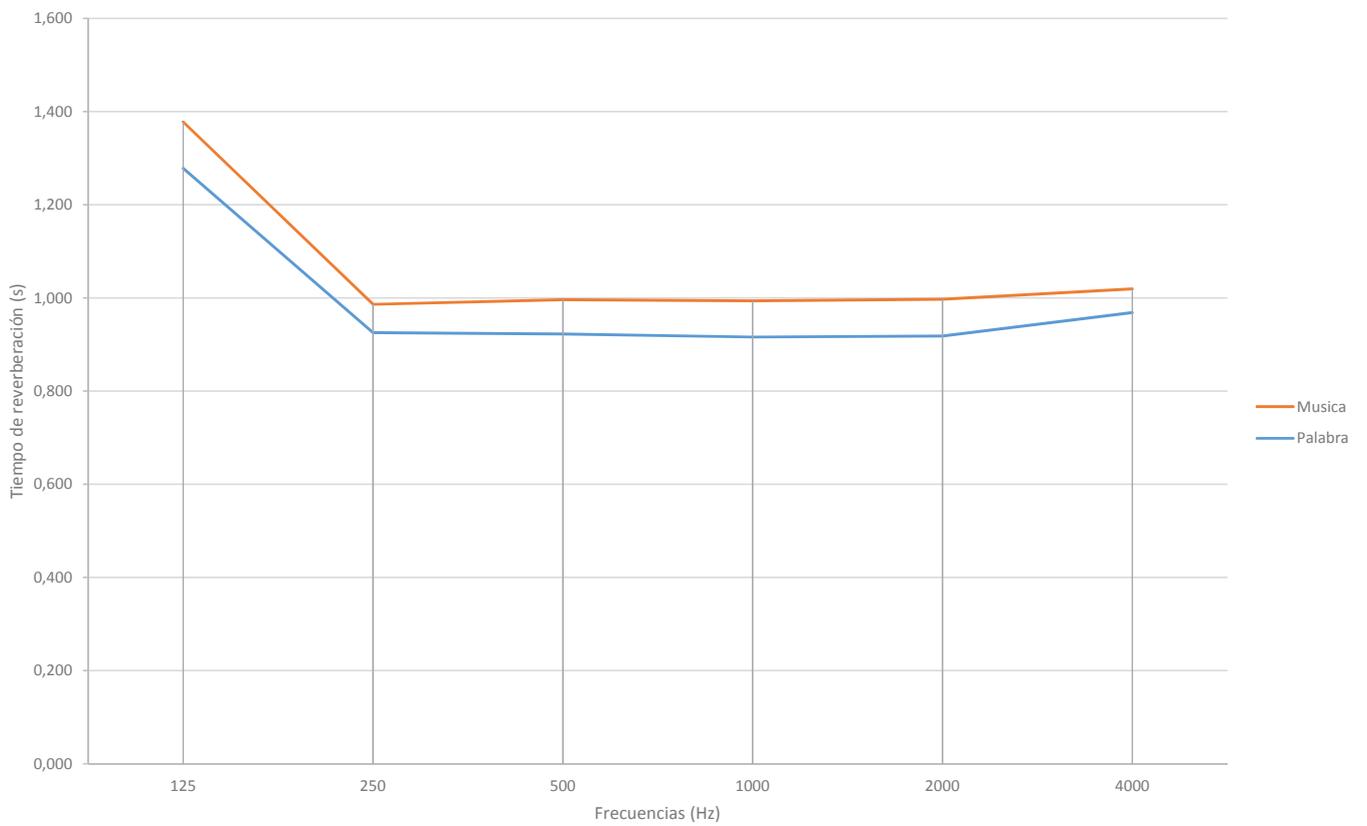
TEATRO EL SIGLO

VOLUMEN (m3) 1044,56

Superficie (m2)	Zona	Material	125 Hz	250Hz	500Hz	1000Hz	2000Hz	4000Hz
86,28	Publico nivel 0	Sillas ocupadas con bajo porcentaje de superficie tapizada	0,56	0,68	0,79	0,83	0,86	0,86
29,75	Suelo nivel 0	Linóleo (0,65 cm)	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03
107,02	Laterales nivel 0	Madera solida, sobre rastreles, camara de lana de roca de alta densidad	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
31,43	Barandilla nivel 0	Ladrillo, muro con enlucido de yeso	0,013	0,015	0,02	0,028	0,04	0,05
27,58	Suelo nivel 1	Linóleo (0,65 cm)	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03
50,79	Palcos nivel 1	Sillas vacias con bajo porcentaje de superficie tapizada	0,35	0,45	0,57	0,61	0,59	0,55
56	Laterales nivel 1	Madera solida, sobre rastreles, camara de lana de roca de alta densidad	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
19,76	Barandilla nivel 1	Ladrillo, muro con enlucido de yeso	0,013	0,015	0,02	0,028	0,04	0,05
40,76	Palcos nivel 2	Sillas vacias con bajo porcentaje de superficie tapizada	0,35	0,45	0,57	0,61	0,59	0,55
36	Suelo nivel 2	Linóleo (0,65 cm)	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03
103,34	Laterales nivel 2	Madera solida, sobre rastreles, camara de lana de roca de alta densidad	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
10,64	Barandilla nivel 2	Ladrillo, muro con enlucido de yeso	0,013	0,015	0,02	0,028	0,04	0,05
35,8	Lateral gallinero	Madera solida, sobre rastreles, camara de lana de roca de alta densidad	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
32,7	Fondo gallinero	Madera solida, sobre rastreles, camara de lana de roca de alta densidad	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
21,4	Publico gallinero	Sillas vacias con bajo porcentaje de superficie tapizada	0,35	0,45	0,57	0,61	0,59	0,55
41,7	Boca escenario	Abertura de escenario	0,3	0,4	0,5	0,6	0,6	0,5
244,9	Techo	Contrachapado de madera de 3 mm con cavidad de aire en el dorso	0,11	0,21	0,1	0,05	0,03	0,02
ABSORCIÓN TEATRO			132,38	182,82	183,40	184,72	184,25	174,66
			1,278	0,926	0,923	0,916	0,918	0,969

$T_{r, mid} \approx 1$	$T_{r, mid}$	$T_{r, mid} = (Tr500+Tr1000)/2$	0,92
$BR \approx 1,2$	BR (bass ratio)	$BR = (Tr125+Tr250)/(Tr500+Tr1000)$	1,20
$Br > 0,87$	Br (brillo)	$Br = (Tr2000+Tr4000)/(Tr500+Tr1000)$	1,03

CURVA TONAL TEATRO "EL SIGLO" MEDIO VACIO



Teatro vacío

TEATRO EL SIGLO

VOLUMEN (m3) 1191,76

Superficie (m2)	Zona	Material	125 Hz	250Hz	500Hz	1000Hz	2000Hz	4000Hz
86,28	Publico nivel 0	Sillas vacias con bajo porcentaje de superficie tapizada	0,35	0,45	0,57	0,61	0,59	0,55
29,75	Suelo nivel 0	Linóleo (0,65 cm)	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03
107,02	Laterales nivel 0	Madera solida, sobre rastreles, camara de lana de roca de alta densidad	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
31,43	Barandilla nivel 0	Ladrillo, muro con enlucido de yeso	0,013	0,015	0,02	0,028	0,04	0,05
27,58	Suelo nivel 1	Linóleo (0,65 cm)	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03
50,79	Palcos nivel 1	Sillas vacias con bajo porcentaje de superficie tapizada	0,35	0,45	0,57	0,61	0,59	0,55
56	Laterales nivel 1	Madera solida, sobre rastreles, camara de lana de roca de alta densidad	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
19,76	Barandilla nivel 1	Ladrillo, muro con enlucido de yeso	0,013	0,015	0,02	0,028	0,04	0,05
40,76	Palcos nivel 2	Sillas vacias con bajo porcentaje de superficie tapizada	0,35	0,45	0,57	0,61	0,59	0,55
36	Suelo nivel 2	Linóleo (0,65 cm)	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03
103,34	Laterales nivel 2	Madera solida, sobre rastreles, camara de lana de roca de alta densidad	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
10,64	Barandilla nivel 2	Ladrillo, muro con enlucido de yeso	0,013	0,015	0,02	0,028	0,04	0,05
35,8	Lateral gallinero	Madera solida, sobre rastreles, camara de lana de roca de alta densidad	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
32,7	Fondo gallinero	Madera solida, sobre rastreles, camara de lana de roca de alta densidad	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
21,4	Publico gallinero	Sillas vacias con bajo porcentaje de superficie tapizada	0,35	0,45	0,57	0,61	0,59	0,55
41,7	Boca escenario	Abertura de escenario	0,3	0,4	0,5	0,6	0,6	0,5
244,9	Techo	Contrachapado de madera de 3 mm con cavidad de aire en el dorso	0,11	0,21	0,1	0,05	0,03	0,02
38,8	Laterales esc.	Contrachapado de madera de 3 mm con cavidad de aire en el dorso	0,11	0,21	0,1	0,05	0,03	0,02
61,2	Concha esc.	Madera sólida, 5 cm de espesor	0,01	0,05	0,05	0,04	0,04	0,04
57,4	Tarima esc.	Parqué sobre rastreles	0,05	0,03	0,06	0,09	0,1	0,2
ABSORCIÓN TEATRO			122,02	175,90	174,80	175,30	170,30	162,62
			Tr (125Hz)	Tr (250Hz)	Tr (500Hz)	Tr (1000Hz)	Tr (2000Hz)	Tr (4000Hz)
			1,582	1,098	1,104	1,101	1,134	1,187

$T_{r \text{ mid}} \approx 1$	$T_{r \text{ mid}}$	$T_{r \text{ mid}} = (Tr500+Tr1000)/2$	1,10
BR=1,2	BR (bass ratio)	$BR = (Tr125+Tr250)/(Tr500+Tr1000)$	1,21
Br >0,87	Br (brillo)	$Br = (Tr2000+Tr4000)/(Tr500+Tr1000)$	1,05

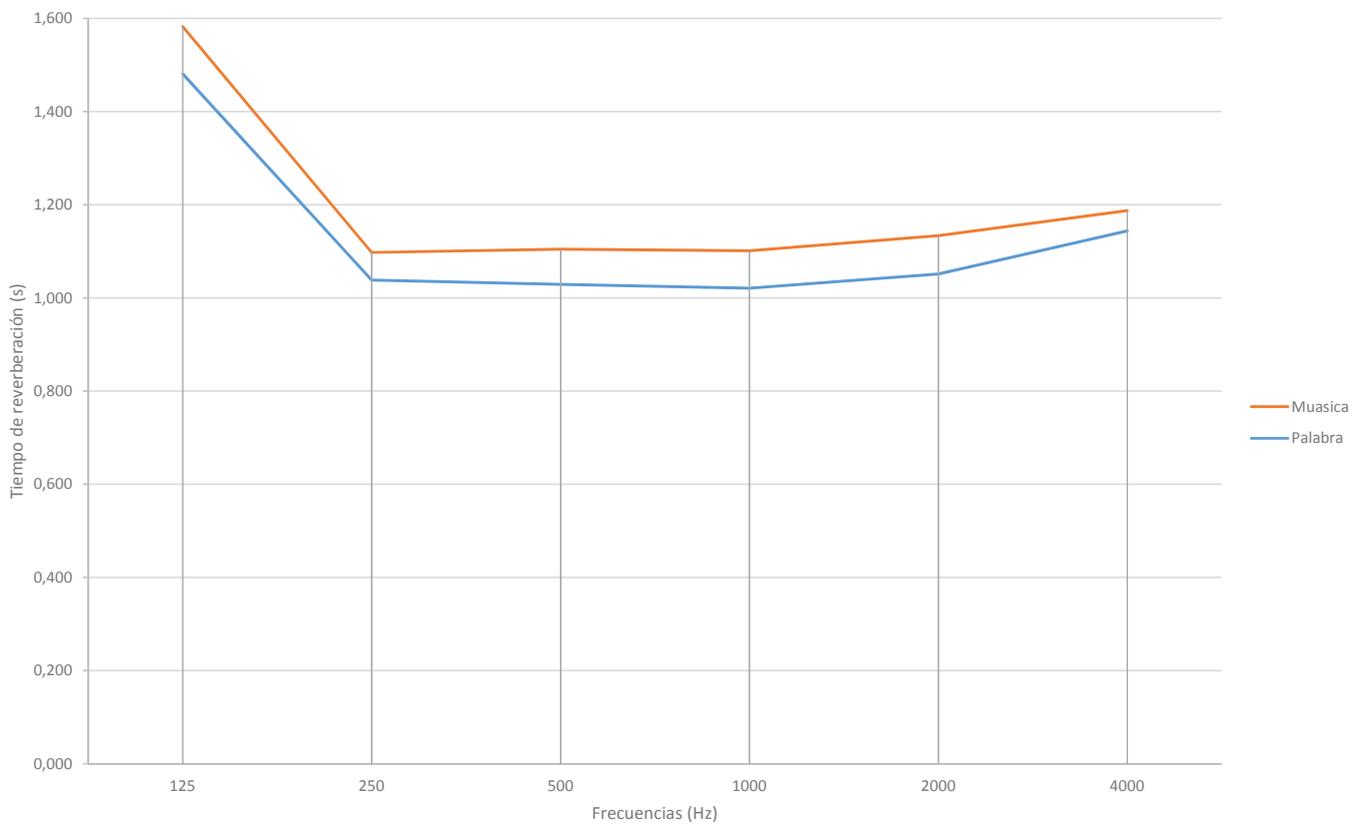
TEATRO EL SIGLO

VOLUMEN (m3) 1044,56

Superficie (m2)	Zona	Material	125 Hz	250Hz	500Hz	1000Hz	2000Hz	4000Hz
86,28	Publico nivel 0	Sillas vacias con bajo porcentaje de superficie tapizada	0,35	0,45	0,57	0,61	0,59	0,55
29,75	Suelo nivel 0	Linóleo (0,65 cm)	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03
107,02	Laterales nivel 0	Madera solida, sobre rastreles, camara de lana de roca de alta densidad	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
31,43	Barandilla nivel 0	Ladrillo, muro con enlucido de yeso	0,013	0,015	0,02	0,028	0,04	0,05
27,58	Suelo nivel 1	Linóleo (0,65 cm)	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03
50,79	Palcos nivel 1	Sillas vacias con bajo porcentaje de superficie tapizada	0,35	0,45	0,57	0,61	0,59	0,55
56	Laterales nivel 1	Madera solida, sobre rastreles, camara de lana de roca de alta densidad	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
19,76	Barandilla nivel 1	Ladrillo, muro con enlucido de yeso	0,013	0,015	0,02	0,028	0,04	0,05
40,76	Palcos nivel 2	Sillas vacias con bajo porcentaje de superficie tapizada	0,35	0,45	0,57	0,61	0,59	0,55
36	Suelo nivel 2	Linóleo (0,65 cm)	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03
103,34	Laterales nivel 2	Madera solida, sobre rastreles, camara de lana de roca de alta densidad	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
10,64	Barandilla nivel 2	Ladrillo, muro con enlucido de yeso	0,013	0,015	0,02	0,028	0,04	0,05
35,8	Lateral gallinero	Madera solida, sobre rastreles, camara de lana de roca de alta densidad	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
32,7	Fondo gallinero	Madera solida, sobre rastreles, camara de lana de roca de alta densidad	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
21,4	Publico gallinero	Sillas vacias con bajo porcentaje de superficie tapizada	0,35	0,45	0,57	0,61	0,59	0,55
41,7	Boca escenario	Abertura de escenario	0,3	0,4	0,5	0,6	0,6	0,5
244,9	Techo	Contrachapado de madera de 3 mm con cavidad de aire en el dorso	0,11	0,21	0,1	0,05	0,03	0,02
ABSORCIÓN TEATRO			114,27	162,97	164,42	165,74	160,95	147,91
			1,481	1,038	1,029	1,021	1,051	1,144

$T_{r, mid} \approx 1$	$T_{r, mid}$	$T_{r, mid} = (Tr500+Tr1000)/2$	1,03
$BR \approx 1,2$	BR (bass ratio)	$BR = (Tr125+Tr250)/(Tr500+Tr1000)$	1,23
$Br > 0,87$	Br (brillo)	$Br = (Tr2000+Tr4000)/(Tr500+Tr1000)$	1,07

CURVA TONAL TEATRO "EL SIGLO" VACIO



Vestibulos

TEATRO EL SIGLO (vestibulo 1)

VOLUMEN (m3) 385,42

Superficie (m2)	Zona	Material	125 Hz	250Hz	500Hz	1000Hz	2000Hz	4000Hz
27,41	Zancas escalera	Linóleo (0,65 cm)	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03
70,4	Suelo vestibulo	Linóleo (0,65 cm)	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03
243,89	Paredes vestibulo	Madera solida, sobre rastreles, camara de lana de roca de alta densidad	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
100	Techo vestibulo	Herakustik F 25 mm a110mm del techo con 110 mm de lana mineral +0,2 m de PE entre placa y lana	0,9	0,88	0,96	0,85	0,92	0,92
ABSORCIÓN TEATRO			93,42	91,42	99,42	89,40	98,83	99,81
			Tr (125Hz)	Tr (250Hz)	Tr (500Hz)	Tr (1000Hz)	Tr (2000Hz)	Tr (4000Hz)
			0,668	0,683	0,628	0,698	0,632	0,626

$A_{500}/V =$	0,26		
$A_{1000}/V =$	0,23	0,25	>0,2 Sabine/m³
$A_{2000}/V =$	0,26		

TEATRO EL SIGLO (vestibulo 2)

VOLUMEN (m3) 130,2

Superficie (m2)	Zona	Material	125 Hz	250Hz	500Hz	1000Hz	2000Hz	4000Hz
51,7	Suelo	Linóleo (0,65 cm)	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03
64,5	Paredes no absorbentes	Madera solida, sobre rastreles, camara de lana de roca de alta densidad	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
20,6	Paredes absorbentes	Topakustik 13/3 M perforacion 12%+ 20 mm cámara (sin lana de roca)	0,38	0,76	0,52	0,64	0,6	0,57
51,7	Techo vestibulo	Herakustik F 25 mm a110mm del techo con 110 mm de lana mineral +0,2 mm de PE entre placa y lana	0,9	0,88	0,96	0,85	0,92	0,92
ABSORCIÓN TEATRO			55,52	62,31	61,51	58,81	62,25	62,15
			Tr (125Hz)	Tr (250Hz)	Tr (500Hz)	Tr (1000Hz)	Tr (2000Hz)	Tr (4000Hz)
			0,380	0,338	0,343	0,359	0,339	0,339

$A_{500}/V =$	0,47	
$A_{1000}/V =$	0,45	0,47
$A_{2000}/V =$	0,48	>0,2 Sabine/m³

TEATRO EL SIGLO (vestibulo 3)

VOLUMEN (m3) 130,2

Superficie (m2)	Zona	Material	125 Hz	250Hz	500Hz	1000Hz	2000Hz	4000Hz
32,82	Suelo	Moqueta de goma de 5 mm	0,04	0,04	0,08	0,12	0,13	0,1
94,3	Paredes absorbentes	Topakustik 13/3 M perforacion 12%+ 20 mm cámara (sin lana de roca)	0,38	0,76	0,52	0,64	0,6	0,57
32,82	Techo vestibulo	Herakustik F 25 mm a110mm del techo con 110 mm de lana mineral +0,2 mm de PE entre placa y lana	0,9	0,88	0,96	0,85	0,92	0,92
ABSORCIÓN TEATRO			66,68	101,86	83,17	92,19	91,04	87,23
			Tr (125Hz)	Tr (250Hz)	Tr (500Hz)	Tr (1000Hz)	Tr (2000Hz)	Tr (4000Hz)
			0,316	0,207	0,254	0,229	0,232	0,242

$A_{500}/V =$	0,64		
$A_{1000}/V =$	0,71	0,68	>0,2 Sabine/m³
$A_{2000}/V =$	0,70		

4. Calculo Herramienta CTE DB-HR

Documento Básico HR Protección frente al ruido

Ficha justificativa del cálculo de aislamiento a ruido aéreo entre recintos interiores.
Caso: Recintos adyacentes con 2 aristas comunes. (hueco de ascensor).

Proyecto	TRABAJO FINAL GRADO EN INGENIERIA DE LA EDIFICACIÓN	
Autor	JAVIER GISBERT GARCIA	
Fecha	20/06/2014	
Referencia	REHABILITACIÓN Y ADECUACIÓN ACÚSTICA TEATRO EL SIGLO	

Características técnicas del ascensor							
Tipo de recinto como emisor	-						
Soluciones Constructivas							
Sección Separador	Muro de carga de mampostería. Ladrillo macizo						
Sección Flanco F1	Muro de carga de mampostería. Ladrillo macizo						
Sección Flanco F2	Muro de carga de mampostería. Ladrillo macizo						
Sección Flanco F3	Muro de carga de mampostería. Ladrillo macizo						
Sección Flanco F4	Muro de carga de mampostería. Ladrillo macizo						
Parámetros Acústicos							
	S_i (m ²)	l_i (m)	m'_i (kg/m ²)	R_A (dBA)	ΔR_A (dBA)	ΔL_w (dB)	
Sección Separador	144,5665	-	450	58	10	-	-
Sección Flanco F1	144,5665	14,95	450	58	10	-	-
Sección Flanco F2	144,5665	14,95	450	58	10	-	-
Sección Flanco F3	256,7319	6,87	846	68	8	-	-
Sección Flanco F4	256,7319	6,87	972	70	8	-	-

Características técnicas del recinto 2							
Tipo de Recinto	Protegido			Volumen	47,25 m ³		
Soluciones Constructivas							
Sección Separador	Muro de carga de mampostería. Ladrillo macizo						
Suelo f1	U_BH 250 mm						
Techo f2	U_BH 250 mm						
Pared f3	Muro de carga de mampostería. Ladrillo macizo						
Pared f4	Muro de carga de mampostería. Ladrillo macizo						
Parámetros Acústicos							
	S_i (m ²)	l_i (m)	m'_i (kg/m ²)	R_A (dBA)	ΔR_A (dBA)	ΔL_w (dB)	
Sección Separador	144,5665	-	450	58	0	-	-
Suelo f1	15,75	3,5	332	53	0	-	-
Techo f2	15,75	3,5	332	53	0	-	-
Pared f3	13,5	3	846	68	0	-	-
Pared f4	13,5	3	972	70	0	-	-

Huecos en el separador y vías de transmisión aérea directa o indirecta			
Ventanas, puertas y lucernarios	superficie	S (m ²)	0
	índice de reducción	R_A (dBA)	0
Vías de transmisión aérea	transmisión directa	$D_{n,e,A}$ (dBA)	0
	transmisión indirecta	$D_{n,s,A}$ (dBA)	0

Documento Básico HR Protección frente al ruido

Ficha justificativa del cálculo de aislamiento a ruido aéreo y de impactos entre recintos interiores.
Caso: Recintos adyacentes con 2 aristas comunes. (hueco de ascensor).

Tipos de uniones e índices de reducción vibracional				
Encuentro	Tipo de unión	K_{Ff}	K_{Fd}	K_{Df}
separador - suelo	Unión en T de doble hoja y elementos homogéneos (orientación 8)	5,80	3,94	5,80
separador - techo	Unión en T de doble hoja y elementos homogéneos (orientación 8)	5,80	3,94	5,80
separador - pared	Unión rígida en T de elementos homogéneos (orientación 1)	2,26	6,13	6,13
separador - pared	Unión rígida en T de elementos homogéneos (orientación 2)	1,62	6,34	6,34

Transmisión del ascensor al recinto 2				→
		Cálculo	Requisito	
Aislamiento acústico a ruido aéreo	$D_{nT,A}$ (dBA)	57	55	CUMPLE