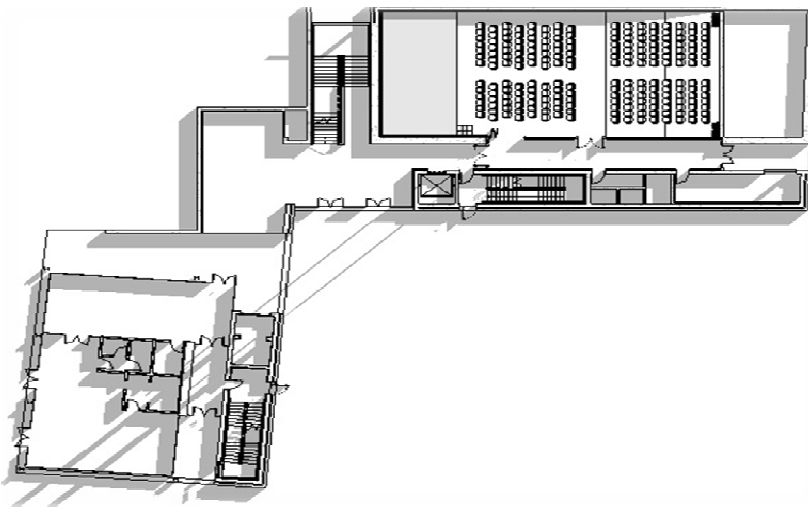


Edificio objeto de estudio

✓ Características del edificio:

El edificio se sitúa en la ciudad de Valencia, en pleno centro histórico, frente a la plaza de la Merced, teniendo como fachada norte la Calle de las Calabazas y fachada oeste la Calle Mallorquins.

El edificio se destina a uso cultural constando de un sótano, tres plantas cubiertas y una cuarta al aire libre. Se compone de varios almacenes, un taller, cuatro salas de exposición interiores y otra exterior, una sala multiusos, una tienda y una cafetería, todo ello comunicado por tres bloques de comunicación vertical.



Este edificio es de nueva construcción, siendo todos sus muros de hormigón armado de entre 60 y 20 cm de espesor. Los forjados se componen de losas alveolares prefabricadas que junto con la capa de compresión forman espesores de 30 cm.

En cuanto a los acabados los muros son de hormigón visto, el suelo de hormigón de alta durabilidad sobre mortero radiante, y falsos techos desmontables de placas de escayola suspendidas de tirantes metálicos. También cabe destacar la existencia de grandes ventanales para la iluminación interior.

✓ Características del entorno:

✦ Cercano a dos grandes ejes viarios

La Avenida Barón de Cárcer y la Avenida María Cristina son dos de las arterias principales del centro de la ciudad donde se concentra mucho tráfico a cualquier hora del día.

- ✦ Frente a una plaza

La fachada este linda con la Plaza de la Merced, lo que le proporciona una buena fuente de luz natural, pero también la posibilidad de crear reflexiones de sonido poco agradables.

- ✦ Índice de ruido día= 65-70 dBA

Acudiendo a la web del Ayuntamiento de Valencia se obtiene el mapa de ruido. El lugar más desfavorable se sitúa en la Calle de las Calabazas, obteniéndose un índice de ruido día de entre 65 y 70 dBA.



Conceptos previos

- Diferencia entre dB y dBA

Los dBA son un tipo de decibelios que se miden empleando un filtro de ponderación con el que se atenúan los sonidos de frecuencias bajas, se mantienen los sonidos de frecuencias cercanas a los 1000 Hz y se aumentan los sonidos comprendidos entre 2000 y 4000 Hz, simulando de esta manera la sensación de molestia que nosotros percibimos.

En acústica arquitectónica las frecuencias más utilizadas son las comprendidas entre 125 y 4000 Hz, por lo tanto con la ponderación de la escala A quedarán:

- Diferencia entre aislamiento y acondicionamiento acústico.

Aislar consiste en disminuir la energía transmitida entre locales.

Acondicionar consiste en disminuir la energía reflejada.

Acondicionamiento:

- **Materiales porosos:** lanas minerales, fibras, moquetas, cortinas...

Mayor grosor → Mayor absorción

Mayor grosor → Más frecuencias bajas absorbidas

Separación de 10 a 30 cm del elemento base → Absorción similar con menor aislamiento

Densidad poco determinante

Recomendable actuar en techos y pared del fondo.

- **Materiales absorbentes (resonadores):**

Estos materiales extraen energía del campo acústico de una determinada banda de frecuencias, generalmente por debajo de 500Hz.

Resonadores de membrana: placa de material flexible y no poroso colocada a cierta distancia del elemento base, que transforma la onda sonora en energía dinámica y produce pérdidas debidas a la deformación y a la fricción.

Resonador múltiple de cavidad o de Helmholtz: panel de madera, cartón yeso, ladrillo o chapa, con perforaciones, separado a cierta distancia del elemento base. Las pérdidas de energía se producen cuando la onda sonora hace vibrar las partículas de aire de las perforaciones.

En general, para los resonadores, instalando un material poroso en la cámara de aire se aumenta el rango de frecuencias tratadas, generándose así un sistema acústico mixto.

Material poroso → Frecuencias altas

Resonador → Frecuencias bajas

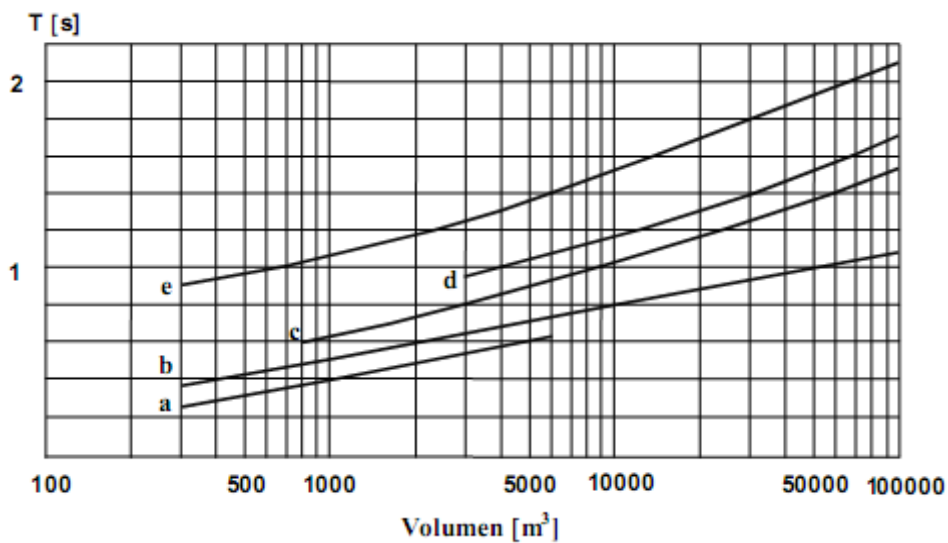


Figura 4.2. Tiempo de reverberación óptimo en función del volumen de una sala (según L. L. Beranek). (a) Estudios de radiodifusión para voz. (b) Salas de conferencias. (c) Estudios de radiodifusión para música. (d) Salas de conciertos. (e) Iglesias.

Aislamiento acústico:

Al incidir una onda sonora en un elemento separador, éste transmite una cierta energía al local contiguo, mientras que otra parte es absorbida por el mismo, caracterizando al material con un determinado coeficiente de transmisión.

Se pueden distinguir dos tipos de comportamientos según el material:

Un material poroso (lana mineral) transmite la mayoría del sonido incidente, mientras que uno más consistente (hormigón) apenas transmite sonido.

Por tanto, para aislar un recinto es necesaria la utilización de materiales con bajos coeficientes de transmisión, pero esto implica también una gran reflexión dentro del recinto, provocando un aumento del nivel sonoro tanto dentro como fuera del recinto. Ésta situación se soluciona colocando materiales absorbentes porosos en el interior, consiguiendo una disminución de las ondas reflejadas y por tanto del nivel sonoro interior y exterior.

Objetivos de calidad acústica para áreas urbanizadas existentes				
Tipo de Area Acústica		Niveles de recepción externos		
		L_d	L_e	L_n
E	Suelo de uso sanitario, docente y cultural	45	45	35
A	Suelo uso residencial	55	55	45
D	Suelo uso terciario	65	65	55
B	Suelo de uso industrial	70	70	60

Uso	Local	Niveles de recepción internos		
		L_d	L_t	L_n
Sanitario	Zonas comunes	50	50	40
	Estancias	45	45	30
	Dormitorios	30	30	25
Residencial	Piezas habitables	40	40	30
	Pasillos, cocina, aseos	45	45	35
	Zonas comunes	50	50	40
Docente	Aulas	40	40	30
	Salas de lectura	35	35	30
Cultural	Salas de concierto	30	30	30
	Bibliotecas	35	35	35
	Museos, exposiciones	40	40	40

- **Tiempo de reverberación**

Es el tiempo transcurrido desde que el emisor deja de emitir el sonido hasta que el nivel de presión sonora desciende 60 dB. Si este tiempo es alto lo que se producen son solapes de los sonidos reflejados y los directos, lo que genera una mala inteligibilidad y un deficiente confort acústico.

Debido al empleo de materiales de acabado con alto poder reflectante y escasa absorción, como hormigón, vidrio, terrazo... las actuaciones de acondicionamiento acústico tratan de incrementar la absorción de las superficies con el recubrimiento de materiales absorbentes con altos índices de absorción.

- **Exigencias del CTE**

El CTE establece valores límite de tiempos de reverberación en locales con futuros usos de: aulas, salas de conferencias, comedores y restaurantes.

Estos valores límite se establecen por media de los valores obtenidos en las frecuencias de 500, 1000 y 2000 Hz.

Exigencias del CTE	
Locales	Tr
Aulas	Tr<0,7 s local vacío y volumen < 350m ³
Salas de conferencias	Tr<0,7 s local vacío y volumen < 250m ³
	Tr<0,5 s incluidas butacas y 250 m ³ < volumen < 350m ³
Restaurantes y comedores	Tr<0,9 s

El CTE indica tiempos para volúmenes inferiores a 350 m³, puesto que un local mayor necesita un estudio acústico específico. En nuestro caso los recintos superan con creces este valor por tanto se recurre a las fichas facilitadas por el Código Técnico de la Edificación para su cálculo. Dichas fichas se adjuntan en formato .xls y se presenta un resumen de ellas en un anexo a este documento.

- **Tipos de ruido**

- **Ruido aéreo:** Las ondas acústicas existentes en un espacio inciden en un elemento separador, que entrara en vibración forzada y se convertirá en emisor secundario transmitiendo el sonido al recinto contiguo.
- **Ruido de impacto:** Aparece como consecuencia de golpes en un forjado, el cual debido a su rigidez, transmite rápidamente y con elevada intensidad las vibraciones al local inferior y a los adyacentes.
- **Ruido de instalaciones:** es el generado por las distintas instalaciones de fontanería, climatización, ascensores...

- **Términos**

- **Aislamiento acústico bruto (D)**

Este índice refleja el aislamiento de un elemento constructivo, estableciendo relación entre los niveles de presión acústica de los recintos separados por la partición ($D = L_1 - L_2$ [dB]).

- **Índice de reducción sonora (R)**

Corresponde al aislamiento acústico de un elemento medido en laboratorio, según norma UNE. Está basado en el aislamiento bruto con un corrector.

- **Diferencia de niveles estandarizada (D_{nT})**

Parámetro basado en el aislamiento bruto con un término corrector dependiente del tiempo de reverberación.

- **Índices ponderados (X_w)**

Reflejan de modo global el aislamiento de un elemento, identificándose con el subíndice w.

- **Términos correctores**

C: cuando en el sonido incidente predominan las frecuencias medias.

C_{tr} : para el ruido derivado del tráfico.

- **Valores expresados en decibelios A (dBA)**

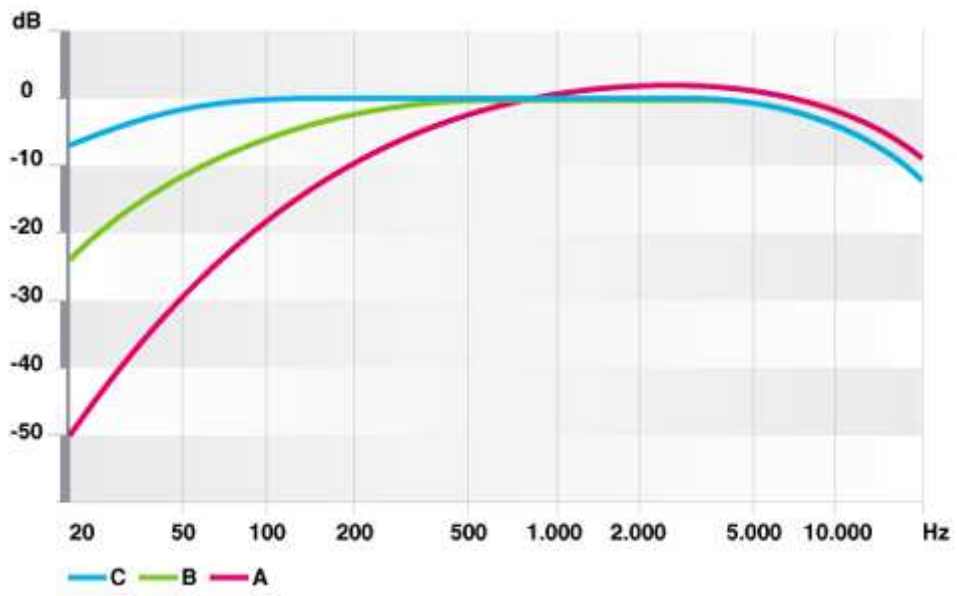
Valor que resulta de aplicar a los índices anteriores el filtro de ponderación correspondiente, para adecuarlos tanto a la Norma Básica de la Edificación como al Código Técnico de la Edificación, colocando el subíndice A.

Curvas de ponderación A, B y C

Tabla A.6 Valores de la curva de ponderación A

Frecuencia Hz	100	125	160	200	250	315	400	500	630
Curva de ponderación dBA	-19,1	-16,1	-13,4	-10,9	-8,6	-6,6	-4,8	-3,2	-1,9

Frecuencia Hz	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000
Curva de ponderación dBA	-0,8	0	0,6	1,0	1,2	1,3	1,2	1,0	0,5



Curvas de ponderación acústica

- Comportamiento acústico de elementos constructivos

Tabique simple

Dado que la transmisión de sonido se produce por la vibración del elemento separador, cuanto más pesada sea la partición más se opondrá al movimiento. Por tanto la masa juega un importante papel ya que al duplicar el espesor (o densidad) se incrementa el aislamiento de la partición en 6dB.

El aislamiento acústico de un elemento constructivo se puede obtener a partir de las formulas derivadas de ensayos en laboratorio y que definen la Ley de masas experimental, tomando como datos la masa por unidad de superficie del elemento. Tales formulas son:

Para $m \geq 150 \text{ Kg/m}^2$: $R_A = 36,5 \log m - 41,5 \text{ (dBA)}$

Para $m \leq 150 \text{ Kg/m}^2$: $R_A = 16,6 \log m + 2 \text{ (dBA)}$

Limitaciones:

Se necesita duplicar la masa por unidad de superficie para aumentar el aislamiento en 6 dBA:

- El aislamiento crece despacio.
- Se necesita mucha masa o espesor para conseguir buenos aislamientos.

El comportamiento es más complejo que el reflejado en las Ley de masas, que solo se cumplen:

- Hasta que se alcanzan los 45dBA de aislamiento.
- En un intervalo de frecuencias, conocido como zona de masa controlada, determinado por la frecuencia de resonancia y la frecuencia critica:
 - o Frecuencia de resonancia: es con la que vibra de forma natural una partición cuando recibe una onda sonora. Produce un desplazamiento del tabique perpendicular a su superficie, denominado efecto tambor. A esta frecuencia la energía transmitida es considerable ya que la superficie de radiación es elevada. Esta frecuencia suele ser baja e interesa que sea lo más baja posible. Para que disminuya esta frecuencia es necesario incrementar el espesor y las dimensiones del panel. En las placas de yeso

laminado la frecuencia de resonancia se sitúa entre los 100 y los 150 Hz y para los materiales húmedos de obra se sitúa por debajo de 100 Hz, fuera del rango que nos afecta.

- Frecuencia crítica o de coincidencia: es la cual tiene su longitud de onda idéntica a la longitud de onda de flexión del tabique. Para esta frecuencia el aislamiento del tabique es mínimo. La frecuencia crítica depende de la clase de material y del espesor. Incrementando el espesor se disminuye la frecuencia crítica. Por este motivo interesan espesores pequeños para una frecuencia crítica muy elevada. Por otro lado cuanto más flexible sea el material más alta será esta frecuencia (el yeso laminado cumple estos requisitos). Para materiales de obra como el ladrillo y el hormigón esta frecuencia se sitúa entre los 100 y los 250 Hz, que disminuyen a medida que aumentamos el espesor. En cambio para el yeso laminado se sitúa entre los 2700 y los 3100 Hz, suponiendo una ventaja ya que no depende del número de placas colocadas.

Tabique doble

Como ya sabemos en los tabiques simples, al duplicar el espesor se incrementa el aislamiento en 6 dB, pero si colocamos dos tabiques de igual espesor separados cierta distancia, cabría esperar que aislaran el doble que uno solo, cosa que no sucede, debido a la ligazón del sistema constructivo y a las uniones o contactos físicos que pudieran producirse. Lo que es seguro es que aislará más que un tabique de espesor doble ya que cambia más veces de material en su camino.

Los dos elementos de este sistema no se comportan de forma independiente debido a varios factores:

- Factores condicionantes de la pérdida de aislamiento de un tabique doble

Para conseguir un buen aislamiento del conjunto es necesario un buen desacoplamiento entre sus elementos, siendo perjudiciales los siguientes tipos:

- Acoplamiento debido a las frecuencias críticas de resonancia individuales de cada tabique

Si las frecuencias críticas y de resonancia de cada parte coinciden, el aislamiento del conjunto será mínimo. Para resolver este problema se deben conseguir frecuencias críticas y de resonancia diferentes para cada parte, para que la falta de aislamiento de una parte la compense la otra. De

esta manera se deben disponer diferentes espesores si se trata del mismo material o de diferente densidad.

Una buena opción podría ser la combinación de elementos de obra húmeda (ladrillo, hormigón) y de elementos flexibles (yeso laminado).

○ Acoplamiento debido a las ondas estacionarias que se generan en la cámara

Las ondas sonoras que se reflejan en las superficies interiores de la cavidad inducen a la aparición de ondas estacionarias que incrementan la energía sonora de la cavidad y producen una caída en el aislamiento del sistema constructivo.

Rellorando la cámara con materiales absorbentes **porosos** se evita la aparición de las ondas estacionarias ya que absorben la energía reflejada.

Además colocando una membrana plástica de alta densidad y baja rigidez entre las hojas del material absorbente se mejora el comportamiento acústico.

El material que debe evitarse en este caso es la espuma rígida inyectada.

○ Acoplamiento debido a la resonancia del doble tabique

Los tabiques dobles también poseen su propia frecuencia de resonancia y al igual que con los simples, esta frecuencia interesa que se sitúe lo más baja posible (menor de 90 Hz). La forma de conseguir esta disminución es aumentando la masa de los elementos y dando mayor espesor a la cámara (4-5 cm).

○ Acoplamiento debido a las uniones rígidas entre los elementos

Con la aparición de conexiones rígidas entre los tabiques se forman puentes acústicos que prácticamente anulan el aislamiento producido por el sistema constructivo, debido a que el movimiento de uno de ellos se transmite al otro de forma directa. Debido a esta razón se han de evitar las conexiones físicas entre los elementos, resultando fundamental la limpieza del mortero en las cámaras.

Una práctica constructiva recomendable es la construcción no simultánea de las dos partes y que la colocación del material poroso vaya siempre por encima de la realización de la segunda parte.

En el caso de trasdosados de cartón yeso es aconsejable evitar la unión rígida de los elementos.

Tabique mixto

Mediante la instalación de trasdosados se consigue una mejora en el aislamiento de un sistema constructivo:

- **Comportamiento de los trasdosados**

La utilización de tabiques mixtos consigue que no se acoplen las frecuencias críticas de los dos elementos, resultando muy eficaz acústicamente. Por este motivo y por la facilidad de ejecución, es frecuente recurrir a este método para reforzar una partición ejecutada con anterioridad.

Los materiales utilizados para este sistema son el yeso laminado en placas y la lana de roca.

La frecuencia crítica de las placas de cartón-yeso de 13 mm se sitúa entre los 2700 y los 3100 Hz lo que compensa la falta de aislamiento en el entorno de la frecuencia crítica del tabique de fábrica.

Por otra parte al unir varias placas, la frecuencia crítica no disminuye, como cabría esperar, y se sigue manteniendo en el intervalo anterior.

El incremento del aislamiento que se consigue con un trasdosado no es siempre el mismo. Es dependiente del elemento base, ya que cuanto menos aisle éste, más aislará el trasdosado.

También el incremento de aislamiento del trasdosado aumenta a medida que incrementamos el espesor del elemento absorbente y el número de placas de yeso laminado.

Existen tres formas de colocación:

- Trasdoso directo: colocando pelladas de pasta de agarre.
- Trasdoso semidirecto: aplicado sobre el elemento base empleando perfiles de sujeción.
- Trasdoso autoportante: se coloca en una estructura separada del elemento base. Es el tipo que genera mejores resultados de incremento de aislamiento.

Tabiquería seca (cartón yeso)

Estas particiones están constituidas por elementos de yeso laminado entre los que se coloca material absorbente poroso. Una ventaja de este sistema es su bajo peso y espesor a pesar de los cuales consigue unos altos niveles de aislamiento.

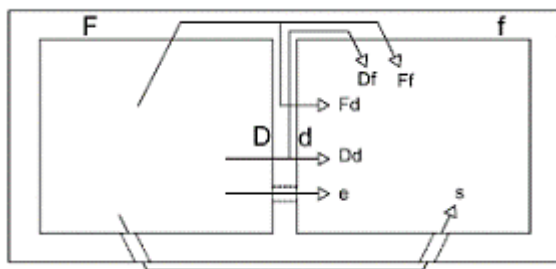
Se pueden minimizar las transmisiones colocando una estructura autoportante alternada evitando las conexiones rígidas. Además la cámara originada entre las placas puede rellenarse con material absorbente y mejorar sus propiedades.

El aislamiento que proporciona una solución se incrementa a medida que acoplamos mayor número de placas y aumentamos el espesor del material absorbente.

- **Problemas en obra**

El análisis y medición de una partición por los fabricantes, suele realizarse en laboratorio donde los resultados difieren de los que se han de realizar en obra. El resultado de aislamiento obtenido en laboratorio es el óptimo para una partición: solo con transmisión directa, con una perfecta ejecución y sin defectos constructivos.

Transmisiones indirectas: son las que se producen por la vibración de elementos constructivos comunes a los locales y que no son objeto de estudio. Éstos son forjados y tabiques laterales.



Defectos constructivos y puentes acústicos: son factores que alteran de forma significativa los valores obtenidos en laboratorio:

- Puentes de mortero en dobles tabiques.
- Sellados insuficientes en los encuentros de particiones y en los elementos de carpintería.
- No instalación de material absorbente en toda la cámara.
- Pérdidas de masa en particiones a causa de la ejecución de rozas sin macizar, empotramiento de cajas eléctricas, interruptores, etc.

Los ensayos realizados muestran que cuanto mayor sea el aislamiento pretendido por una partición, más atentos hemos de estar a posibles fallos, pues la pérdida de aislamiento será mayor. Por ellos ha de asegurarse la estanqueidad sellando todas las fisuras o aberturas.

En el caso de que en la partición se sitúen puertas, el aislamiento viene condicionado por el de la puerta. El aislamiento del conjunto será como mucho de unos 10 dB superior al de la puerta. En este caso es de máxima importancia un buen sellado entre los componentes, utilizando burletes densos y pesados.

- **Soluciones constructivas habituales**

- Tabicón de ladrillo hueco doble : DnAT = 35 dBA
- Doble tabique de ladrillo hueco simple con cámara de 4 cm y lana mineral de 70 Kg/m³ DnAT = 42 dBA
- Doble tabicón de ladrillo hueco doble formando cámara de 4cm y lana mineral de 70 Kg/m³ : DnAT = 48 dBA
- Sistema constructivo de ladrillo hueco doble y bloque cerámico (especial divisiones) formando cámara de 4cm y lana mineral de 70 Kg/m³ : DnAT = 48 dBA

Éstos resultados muestran que las anteriores soluciones no son válidas para las divisiones entre distintos propietarios.

- **Recomendaciones**

A continuación indicamos algunas recomendaciones de actuación con el fin de minimizar las pérdidas de aislamiento en las particiones derivadas de una mala ejecución.

- Realizar un correcto macizado de las rozas para instalaciones.
- Colocación correcta de las cajas eléctricas:
 - o No poner una frente a otra en un mismo tabique. Dejar una distancia de al menos 50 cm.
 - o Recubrir las cajas de material elástico para que no tengan contacto directo con la fábrica.
- Estudiar la posición de las salas de maquinas y cajas de ascensores dentro de la distribución del edificio, ya que sería inadecuada al lindar con zonas sensibles al ruido.
- Procurar que los tabiques lleguen hasta el forjado superior, aunque exista falso techo.
- Las tuberías y conductos que dan servicio a varias salas próximas, han de situarse en los pasillos, dando servicio individual a cada sala. No deben cruzar tabiques medianeros entre distintos locales. Cuando haya que atravesar particiones se colocará material flexible y macizará de modo correcto.

- En el caso de la realización no prevista de paso de instalaciones en forjados, se forrará de material elástico y se macizará correctamente.

- **Ruido de instalaciones**

Son los ocasionados por las instalaciones de fontanería, climatización, ascensores, etc.

Salas de maquinas:

- Actuaciones en cerramientos:

Se pretende conseguir una sala que se independice lo máximo posible del resto, minimizando las transmisiones de ruido aéreo y las de ruido estructural.

- **Techo**

Aplicación de enfoscado no menor de 15 mm.

Colocación de falso techo compuesto por:

- Colocar fijación elástica con amortiguador entre falso techo y forjado.
- Utilizar perfiles metálicos.
- Colocación entre perfiles de paneles de material absorbente (lana mineral 60-100 mm espesor y 70Kg/m^3)
- Colocación de doble placa de yeso laminado de 15 mm cada una con una lamina plástica entre ellas.
- Colocación recomendada de lana mineral de 40-60 mm de espesor con velo acústico como elemento visto, para mejorar la absorción.

- **Tabiques**

Aplicación de enfoscado no menor de 15 mm.

Instalación de perfilería metálica.

Creación de cámara de 50mm rellena de lana mineral.

Colocación de doble placa de yeso laminado de 13 mm cada una, con membrana plástica intermedia, atornilladas a la perfilería.

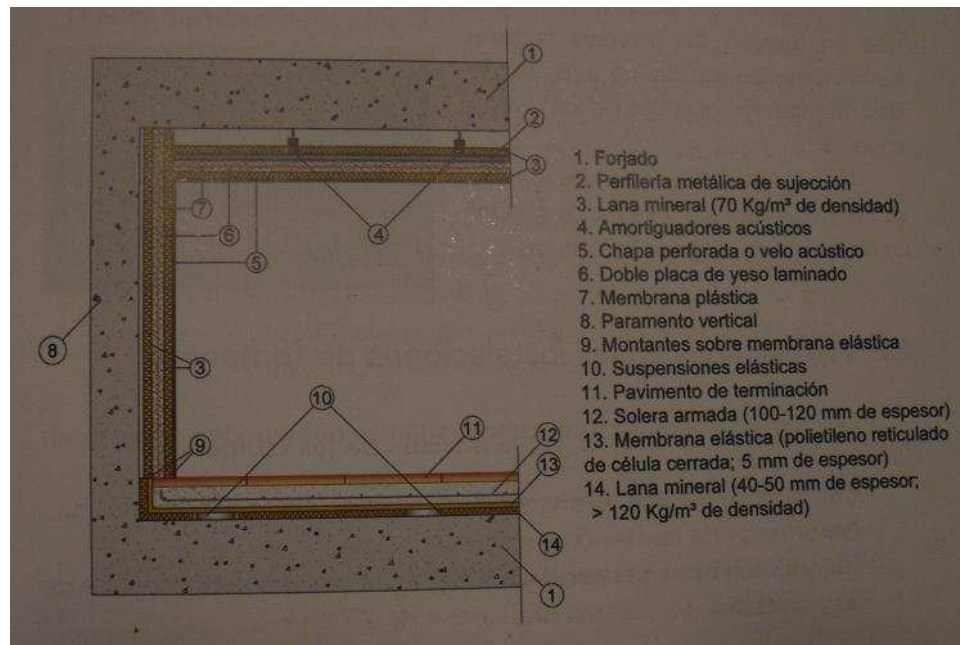
Colocación recomendada de lana mineral de 40-60 mm de espesor protegida con velo acústico y chapa metálica reforzada de 0.8 mm de espesor y perforada en un 30% como elemento visto, para mejorar la absorción.

○ **Suelo**

Losa de hormigón armado de 10-12 cm de espesor

Instalación de sistema de amortiguamiento mixto: combinando lana mineral 40-50 mm espesor con soportes puntuales elásticos metálicos.

Colocación de una lamina de 5mm de polietileno reticulado entre la losa y el sistema de aislamiento



- Actuaciones en maquinaria:

- Colocación de amortiguadores que impidan una unión rígida entre los equipos vibratorios y la estructura.
- Utilización de juntas elásticas en la unión de la maquinaria con las conducciones que la acometen.
- Realización de cálculos adecuados para la instalación de dispositivos silenciadores en caso de aberturas al exterior.
- Toda conducción ha de estar recubierta de material elástico.

Instalaciones de fontanería:

Posibles causas de ruido:

- Cambios de sección y curvaturas.
- Fenómenos de cavitación y golpe de ariete.
- Flujo turbulento en la circulación del agua.

Actuaciones:

- Colocación de piezas especiales para que los cambios de sección se produzca de forma gradual.
- Evitar la aparición de turbulencias en flujos de agua con la utilización de conductos con adecuadas características.
- Intentar conseguir un flujo laminar del agua.

- Según el CTE

Existen varios tipos de recintos en edificación:

Recintos protegidos: salón, habitación...

Recintos habitables: baño, pasillo, cocina...

		Aislamiento acústico a ruido aéreo entre recintos colindantes horizontal o verticalmente	Aislamiento acústico a ruido de impactos entre recintos colindantes horizontalmente, verticalmente, o que comparten una arista
Recintos Protegidos	Cualquier otro recinto de otra unidad de uso diferente	$D_{nTA} > 50$ dBA	$L'_{nTw} < 65$ dB
	Zona común	$D_{nTA} > 50$ dBA (1) Si comparten puertas y ventanas (R _A puerta o ventana > 30 dBA y R _A muro > 54 dBA)	$L'_{nTw} < 65$ dB (No aplicable entre recinto protegido y una escalera en una zona común)
	Recinto de instalaciones o de actividad	$D_{nTA} > 55$ dBA	$L'_{nTw} < 60$ dB
	Ruido exterior	Tabla 2.1 $D_{2m,nT,Atr} \geq (30 - 47)$ dBA En función del tipo de ruido que predomine, el L _d y el tipo de edificio	
Recintos Habitables	Cualquier otro recinto habitable, recinto de instalaciones o de actividad	$D_{nTA} > 45$ dBA	
	Zona común	$D_{nTA} > 45$ dBA (1) Si comparten puertas y ventanas. (R _A puerta o ventana > 20 dBA y R _A muro > 50 dBA)	
Medianerías	Entre recintos protegidos y habitables de edificios distintos colindantes	$D_{2m,nT,Atr} > 40$ dBA (Cada uno de los cerramientos de la medianería)	
Tabiquería		$R_A > 33$ dBA	

Recinto protegido	↔	Cualquier otro recinto de otra unidad de uso	$D_{nT,A} > 50 \text{ dBA}$
Recinto protegido	↔	Zona común	$D_{nT,A} > 50 \text{ dBA}$
Recinto protegido	↔	Recinto de instalaciones o de actividad	$D_{nT,A} > 55 \text{ dBA}$
Recinto habitable	↔	Zona común	$D_{nT,A} > 45 \text{ dBA}$
Recinto habitable	↔	Cualquier otro recinto habitable, de instalaciones o de actividad	$D_{nT,A} > 45 \text{ dBA}$
Tabiquería			$R_A > 33 \text{ dBA}$
Medianería entre recintos protegidos y/o habitables (cada uno de los cerramientos)			$D_{2m,nT,Atr} > 40 \text{ dBA}$
Ruido exterior (en función del tipo de ruido que predomine, el Ld y el tipo de edificio)			$D_{2m,nT,Atr} > (30-47) \text{ dBA}$

- **Particiones**

De los datos aportados por el CTE se desprende que las particiones tradicionales no son suficientes para aportar el aislamiento requerido para particiones separadoras de propietarios distintos. También el CTE proporciona soluciones de obra húmeda, seca y mixta que cumplen los requisitos.

- **Forjados**

Ruido de impacto

Debido a la alta rigidez de los elementos constructivos empleados en obra, la excitación inducida por un impacto en el forjado, da lugar a que se transmita rápidamente y con gran intensidad por los tabiques y forjados. Por este motivo y para cumplir con las exigencias del CTE es casi indispensable la colocación de suelos flotantes. Ésta actuación se dirige a eliminar la unión rígida entre la losa y el forjado mediante la colocación de materiales elásticos.

La reducción del nivel de ruido de impacto en este tipo de suelos depende en gran medida de:

- El material elástico utilizado y su espesor (a mayor espesor, mayor aislamiento)

- La densidad superficial de la losa flotante (un aumento de dicha densidad incrementa su eficacia)

En edificación residencial se recomienda la utilización de:

- Lana mineral (20-30mm de espesor y densidad $> 120 \text{ Kg/m}^3$)
- Polietileno reticulado(5-20 mm de espesor)

La losa ha de poseer un espesor mayor de 5 cm sin contar el acabado y estar armada.

Durante la construcción han de tenerse en cuenta las siguientes precauciones:

- Evitar discontinuidades en la colocación del aislante.
- Colocación correcta del elemento elástico sobre los pilares y tabiques.
- Evitar el contacto del elemento flotante con los demás elementos.
- Limpiar totalmente el forjado antes de la colocación del aislante.
- Colocar una lámina plástica de unos 0,3 mm por encima del elemento aislante para protegerlo del mortero del elemento flotante.
- Se han de seleccionar materiales durables pues no abra posibilidad de sustituirlos si se estropean.
- No se ha de cargar la losa durante las 3 primeras semanas.
- Las canalizaciones que atraviesen el forjado se deben forrar con materiales flexibles.

Ruido aéreo

Existen tres tipos de actuaciones para intentar controlar los niveles de ruido aéreo y de impacto:

- Colocación de revestimientos blandos: no tiene repercusiones en el ruido aéreo y apenas sobre el ruido de impacto porque solo reducen en parte la energía suministrada al forjado.
- Instalación de suelos flotantes: reducen de manera notable el nivel de ruido de impacto amortiguando la energía vibratoria y también incrementa el aislamiento a ruido aéreo por la formación de doble capa.
- Colocación de falso techo: ejerce gran influencia en el incremento del aislamiento a ruido aéreo por su sistema constructivo doble y también reduce de forma moderada el nivel de ruido de impacto.

Mediante la combinación de suelo flotante y falso techo con unión elástica al forjado se podría decir que se consiguen un elemento de tres capas, que genera altos aislamientos tanto a ruido aéreo como a ruido de impacto. Se puede mejorar la capacidad aislante del sistema colocando entre el forjado y el falso techo una capa de material absorbente poroso.

- **Fachadas**

Las fachadas no son elementos simples, sino que se componen de parte ciega y huecos, por tanto su aislamiento dependerá de:

- El aislamiento y área de sus componentes. El aislamiento total dependerá en gran parte del elemento más débil, en este caso la carpintería, teniendo que prestar gran atención a esta, ya que como máximo será de 10 dB superior al de la carpintería.
- La estanqueidad en el encuentro entre componentes. Las fisuras originadas por sellados deficientes anulan los aislamientos conseguidos.

El CTE establece según el porcentaje de huecos, los valores mínimos que ha de cumplir la carpintería y la parte ciega.

En cuanto a los acristalamientos de las carpinterías hay que mencionar que existen tres clases:

- Vidrio monolítico: vidrios con espesores inferiores a 15mm cuyo comportamiento es similar al de un tabique simple.
- Vidrio laminado: constituido por dos o tres hojas de vidrio con finas laminas plásticas (butinilo polivinílico) intermedias
- Doble acristalamiento: consiste en separar los vidrios por una cámara de aire. Si los vidrios tienen distinto espesor, el acristalamiento se comportará mejor.

• **Recomendaciones**

- Sellar correctamente los encuentros entre carpintería y elementos de obra.
- Prestar especial atención a las cajas de persianas, colocando paneles de espesores elevados o trasdosarle una lamina de material denso (1-2 mm acero), incluso colocando en el interior del registro una capa de materia absorbente.
- Evitar en todo momento el contacto directo del vidrio y la carpintería mediante perfiles elásticos continuos.

- **La ordenación del espacio acústico**

Debido a que todos los edificios conviven en un entorno conjuntamente, es imprescindible tener en cuenta y por éste orden, los siguientes aspectos:

- Ordenación del territorio.
- Disposición de los edificios.
- Distribución del espacio interior.

Cuando alguno de estos puntos no se ha tenido en cuenta, la habitabilidad se ve comprometida y los costes se elevan notablemente.

En nuestro caso, respecto a la ordenación del territorio, haremos una pequeña reseña. El lugar donde se sitúa el edificio es en el centro de la ciudad, casco antiguo, cercano a una plaza. Aunque la plaza no está en un lugar de tráfico excesivo, se podría mejorar su acústica si la deprimimos, es decir, bajar su cota de suelo y colocando los bancos al lado de los muros que marcan dicho desnivel. De esta manera se evita que el ruido contamine la plaza.

Por otra parte la disposición de los edificios ocupa un papel importante, ya que las fachadas reflejan entre un 80 y un 90 % de la energía acústica que reciben. Debido a esto, en las calles con forma de U (edificios a ambos lados) los niveles sonoros son relativamente altos.

El ángulo de visión de la vía también influye siendo mayor cuanto más paralela a la calle este la fachada.

La forma y colocación del edificio en sí puede ser decisiva, ya que se pueden mejorar o empeorar en gran medida las condiciones acústicas en el interior, debido a la creación de zonas protegidas o zonas de reflexión múltiple respectivamente.

La distribución del espacio interior es de notable importancia, ya que se pueden prever unos pasillos, a modo de espacios de atenuación, entre la fachada y la parte interior del edificio que queremos proteger.

Una variante de este sistema es la colocación de barandillas opacas al ruido y un techo acústico con absorción alrededor de 0,9.

También se deben situar las zonas menos nobles como cocinas, aseos y pasillos en las áreas más afectadas por el ruido.

Objetivos

- Analizar el edificio objeto de estudio.
- Determinar las condiciones acústicas para el desarrollo de las diferentes actividades.
- Proponer soluciones que satisfagan dichas condiciones.
- Evaluar la eficacia de las medidas adoptadas.

Identificación de recintos

- Unidad de uso:
Se procede a identificar las unidades de uso que según el DB HR son partes de un edificio que se destinan a un uso específico, y cuyos usuarios están vinculados entre sí, en este caso por formar parte de un grupo o colectivo que realiza la misma actividad. Se considera una unidad de uso la Sala Multiusos junto con el corredor y los aseos anexos.
- División en recintos:
Para la división de recintos es necesaria una separación física (tabiquería, carpintería...) por ello se ha modificado la planta original, añadiendo una partición autoportante y una puerta para separar la entrada principal de esta unidad de uso.



- Valores de aislamiento:

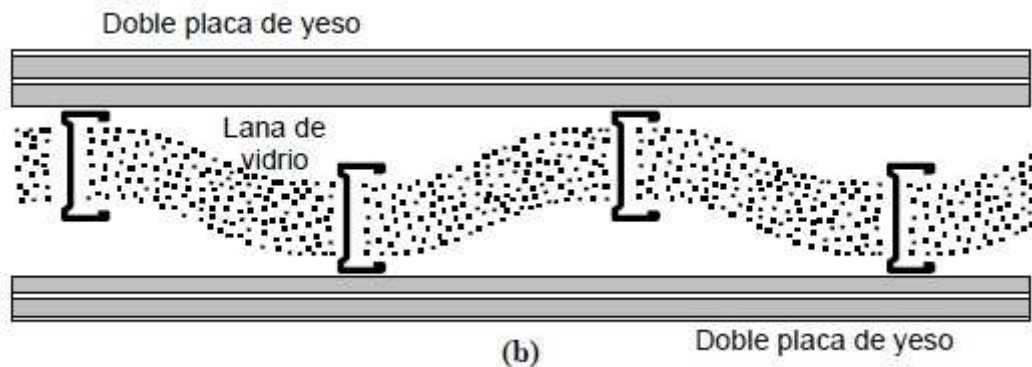
A continuación se procede a establecer los valores mínimos de aislamiento y a realizar los cálculos con ayuda de las fichas del CTE.



Modificaciones

- Separación salas-pasillo:

Era necesaria la separación física de cada recinto con el adyacente. Por ello se instalan tabiquerías autoportantes con doble placa de cartón-yeso y aislamiento en el núcleo. Colocando los perfiles metálicos a tresbolillo se consigue una gran mejora del aislamiento.



- Trasdosados:

Se han colocado trasdosados autoportantes con doble placa de cartón-yeso con el fin de alojar posibles instalaciones, separados de los muros de hormigón para evitar transmisiones.

- Barandillas:

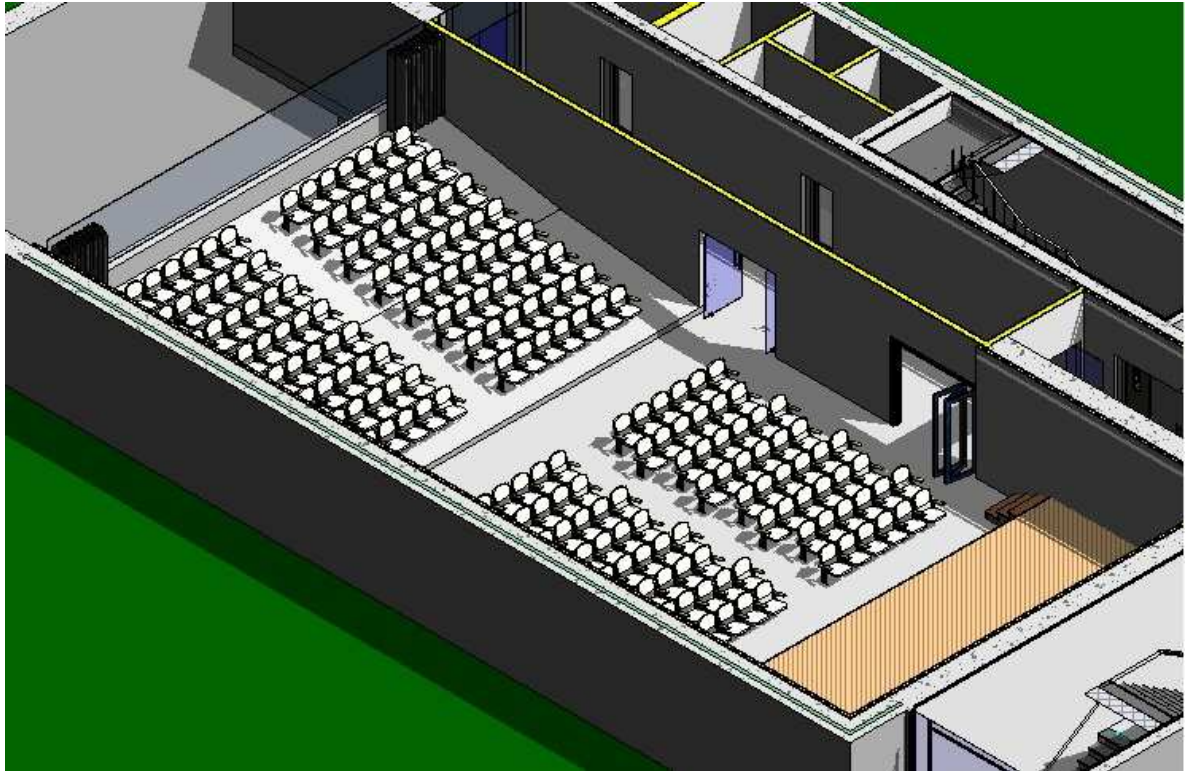
En las salas de exposición de planta segunda se han colocado barandillas en la zona volada sobre las salas inferiores. Esto significa que las salas superior e inferior pertenecen a la misma unidad de uso y mismo recinto. Se estudio la posibilidad de colocar una cristalera de suelo a techo pero era prácticamente inviable al no existir vidrios que alcancen un aislamiento de 50 dBA.

- Tarima de sala multiusos:

Se ha instalado una tarima en la sala multiusos para facilitar la visión y audición a las personas que acudan a los diferentes actos.

- Formación de graderío

Para conseguir una buena visión y audición desde las butacas, se optó previamente por elevar la mitad más cercana al fondo, dejando plana la parte más cercana a la tarima. Se pudo observar que aun así no se conseguían buenas visuales, por lo que se decidió elevar la parte más cercana a la tarima. De este modo y colocando los asientos a tresbolillo se consigue que casi la totalidad del público vea y escuche perfectamente.



- Falsos techos:

Se sustituyen los falsos techos de escayola registrables por unos paneles perforados con núcleo de lana de roca. De esta manera se consigue adecuar el tiempo de reverberación en todos los recintos. Se adjunta catalogo ROCKFON.

- Cortinas:

En la sala multiusos dado que la pared del fondo es una cristalera se propone instalar una cortina gruesa para ayudar a adecuar el tiempo de reverberación y para oscurecer la sala en caso de ser necesario.

- Butacas :

Se propone la colocación de las siguientes butacas:



Butaca de auditorio

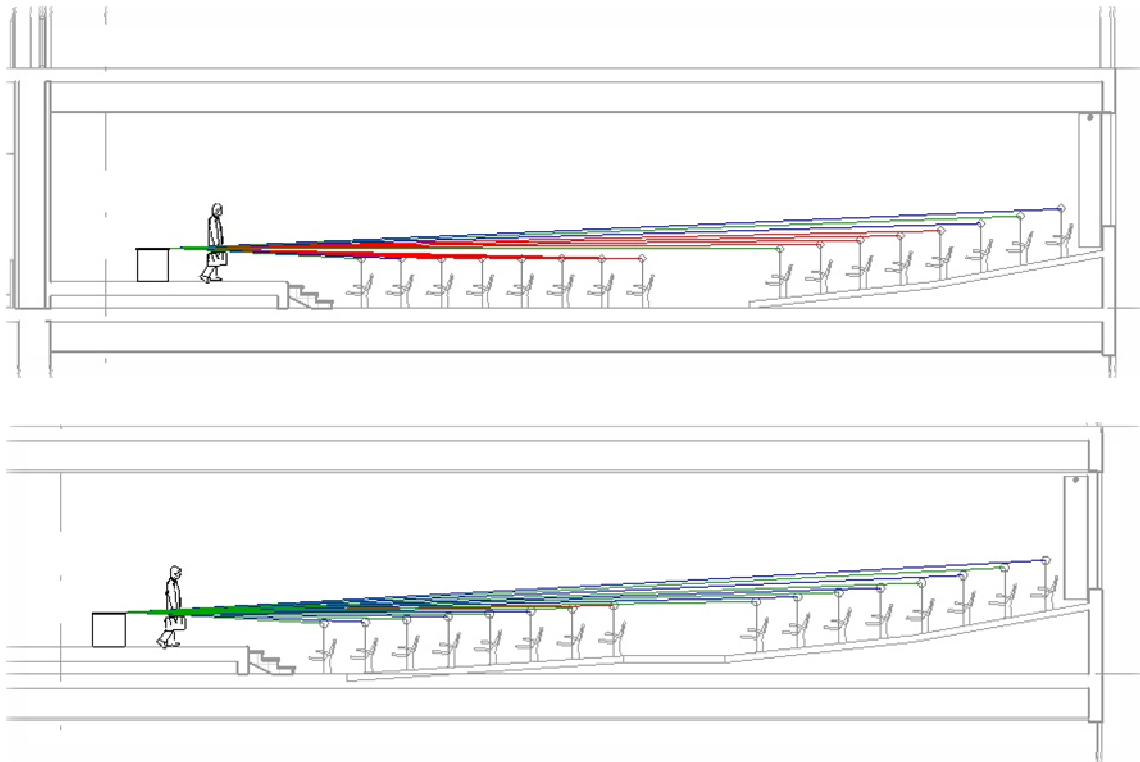
13113 SENSÓ

- Butaca de alto nivel de DISEÑO y gran CONFORT.
- Asiento de plegado AUTOMÁTICO mediante doble resorte.
- Colchonetas CAMBIABLES producidas en semi-integral form y tapizadas en tela o piel natural.
- Sistema de seguridad ANTIFUEGO TS System.
- Certificada en ensayos ACÚSTICOS por APPLUS.
- Resonador acústico HELMHOLTZ opcional (el resonador HELMHOLTZ es un sistema idóneo para obtener una mejora considerable de las condiciones acústicas de las butacas. Consta de una cámara en la parte inferior del asiento rellena de unos materiales testados para un óptimo comportamiento acústico y capaces de aumentar la absorción sonora en diferentes rangos de frecuencias).

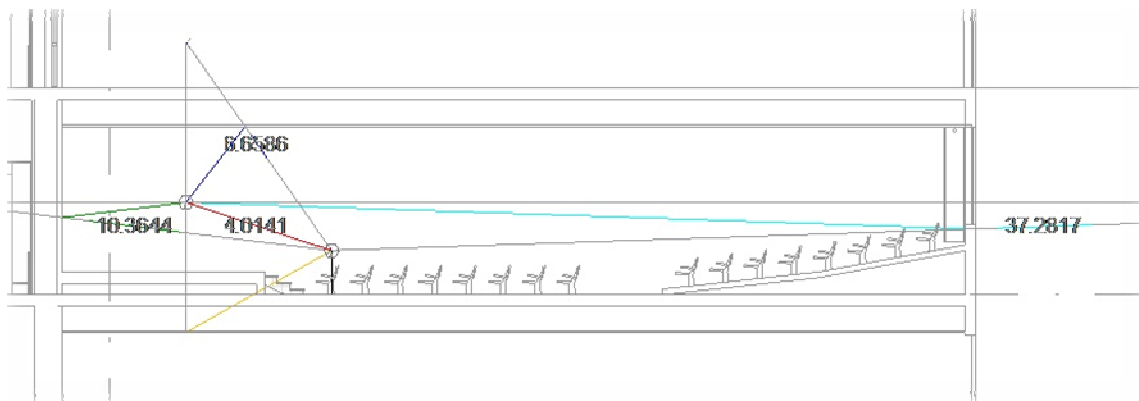
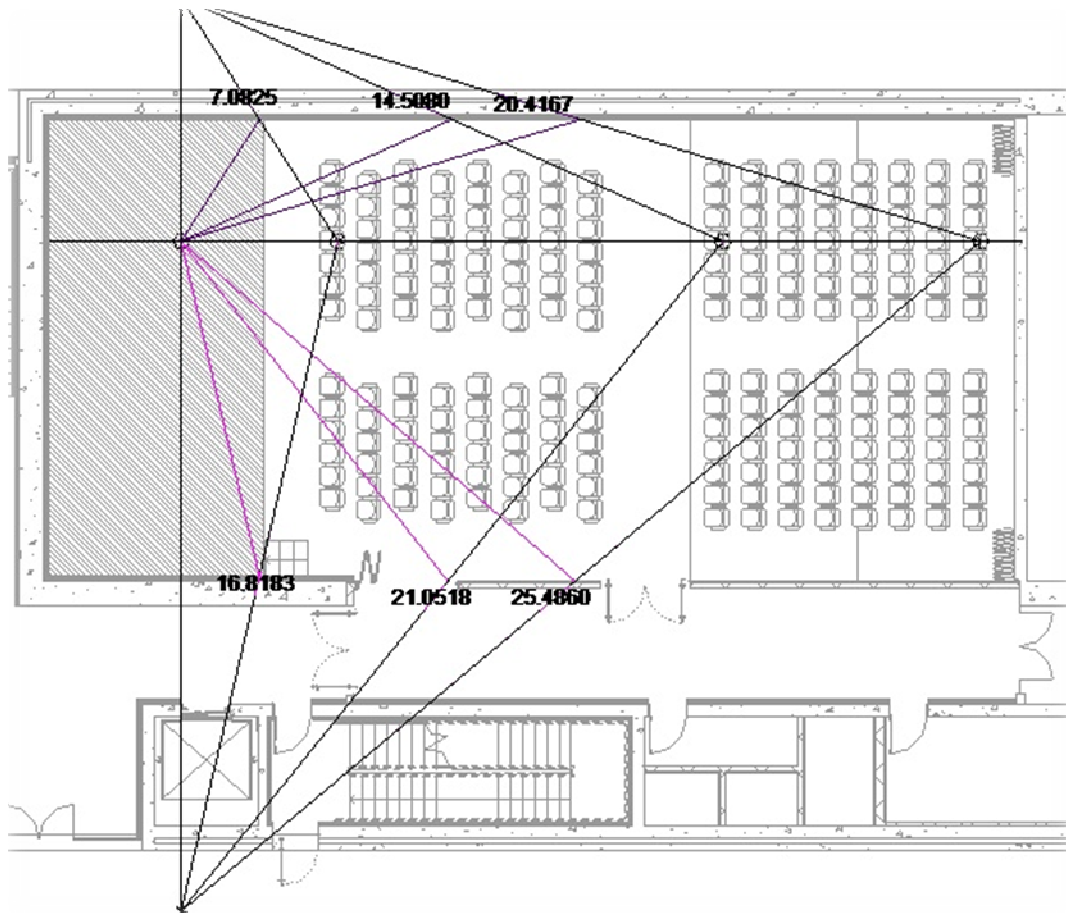
Estudio de visuales

Como ya hemos comentado anteriormente el estudio de visuales tuvo dos fases:

Primero se optó por elevar solamente la mitad trasera, comprobándose que no era lo más idóneo. A continuación se elevó también la primera mitad obteniéndose un mejor resultado.

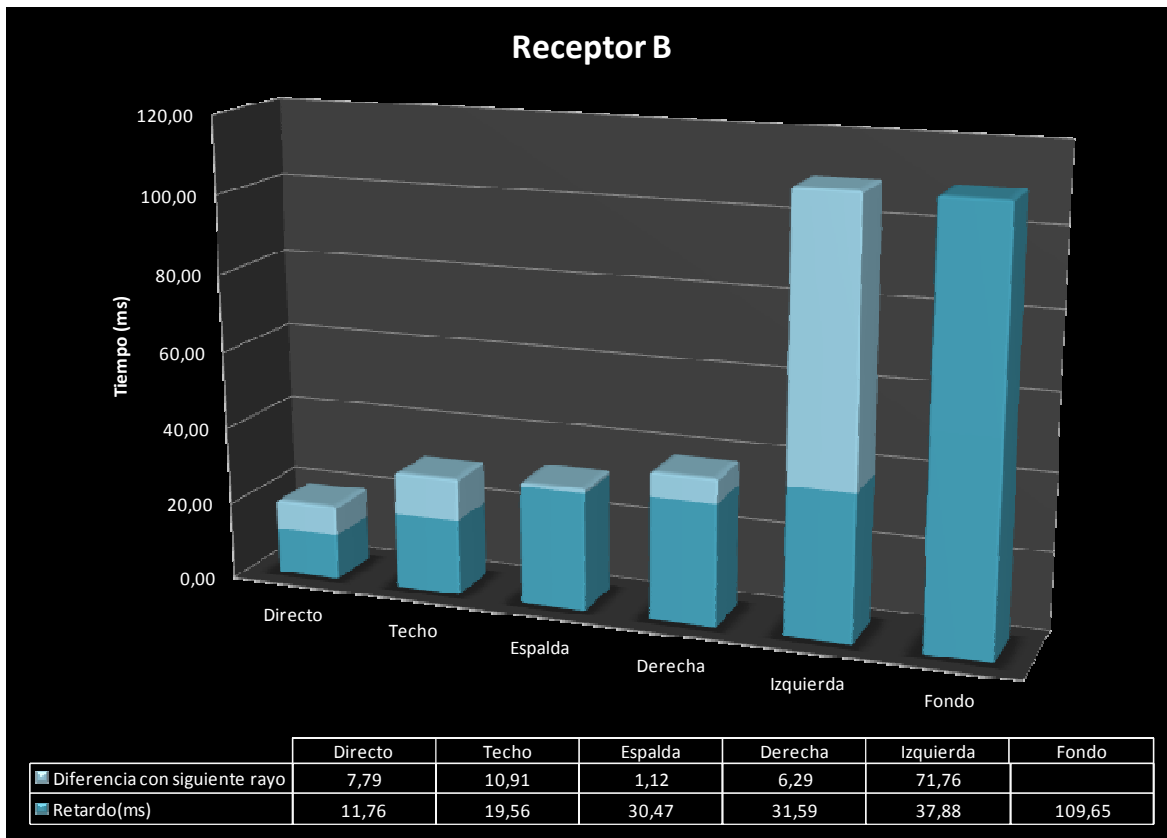
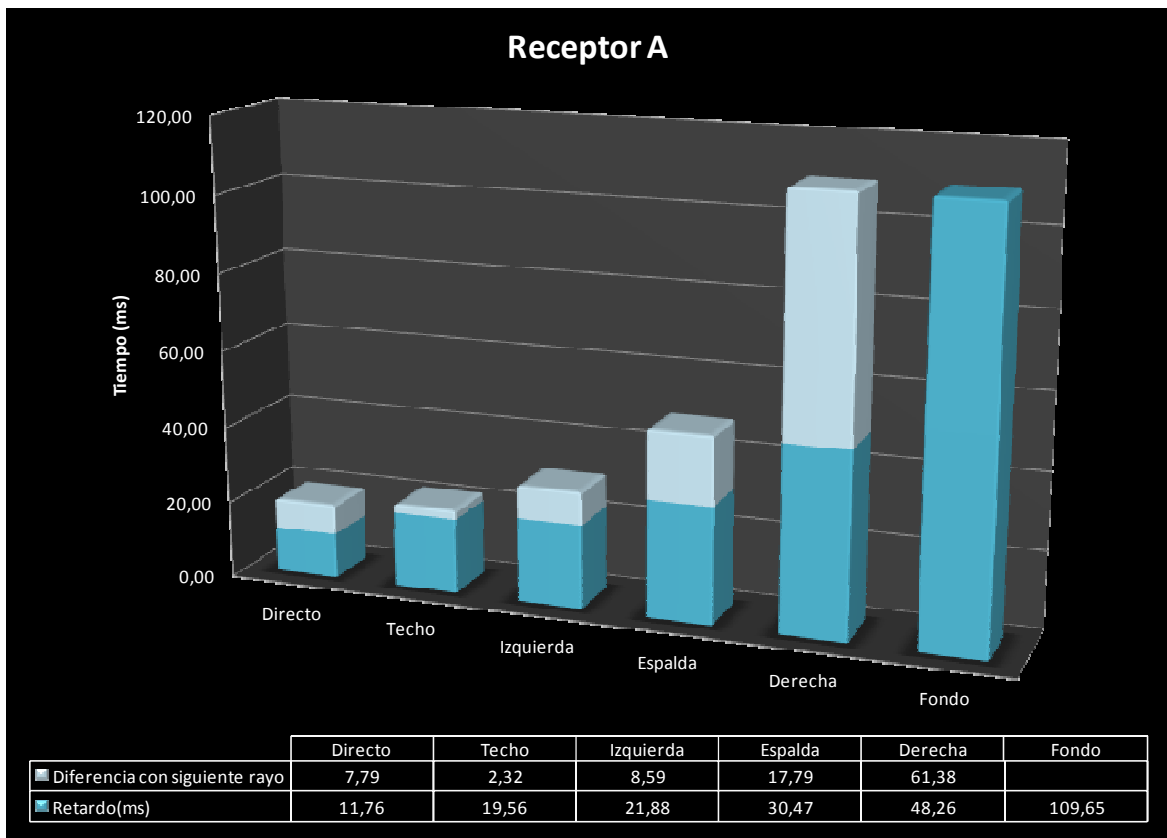


Estudio de reflexiones

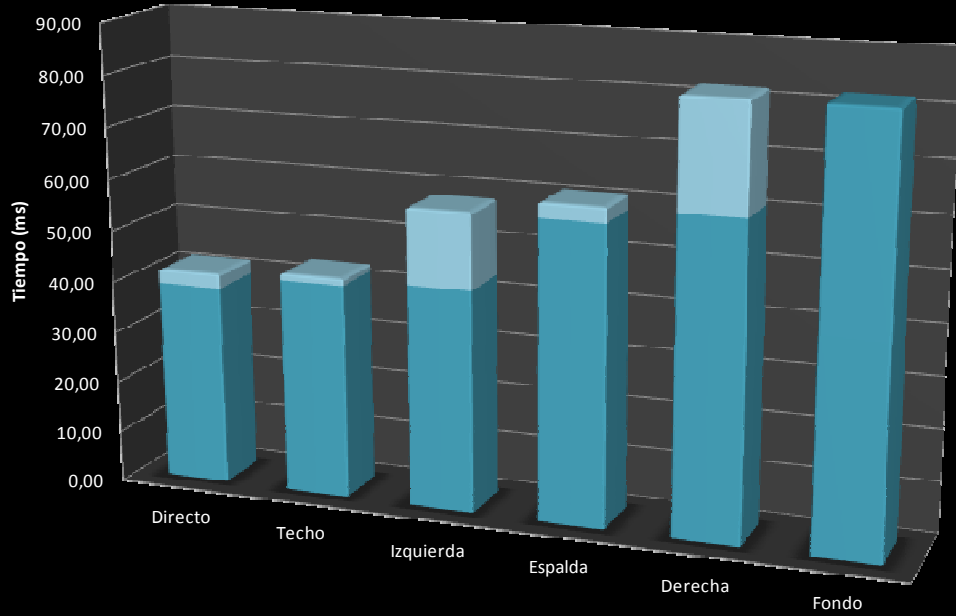


Al realizar el estudio de las reflexiones se observó que el suelo no produciría eco y que la reflexión con la pared del fondo se vería casi totalmente disipada gracias a la interposición de butacas y la cortina.

Tiempo de rayo directo y primera reflexión

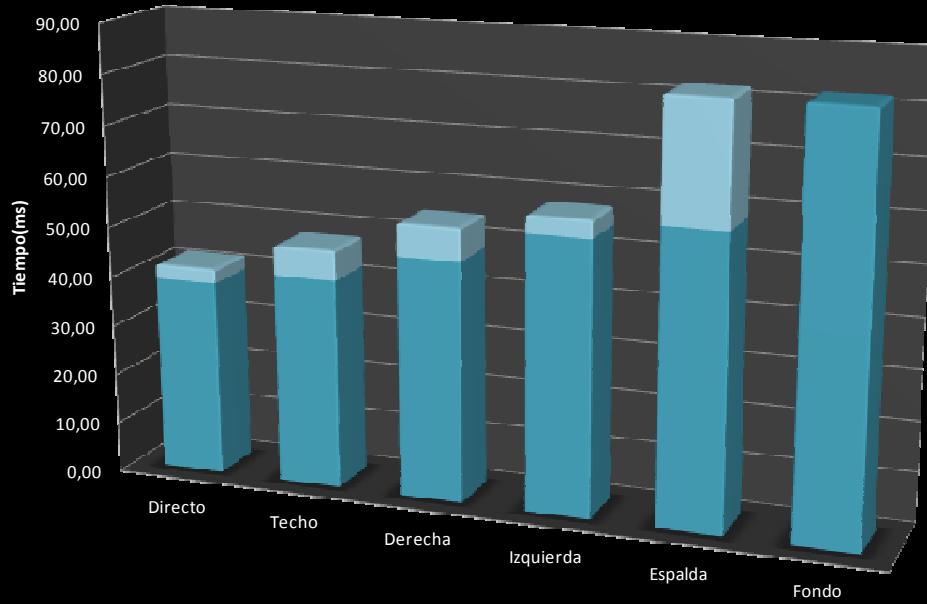


Receptor C



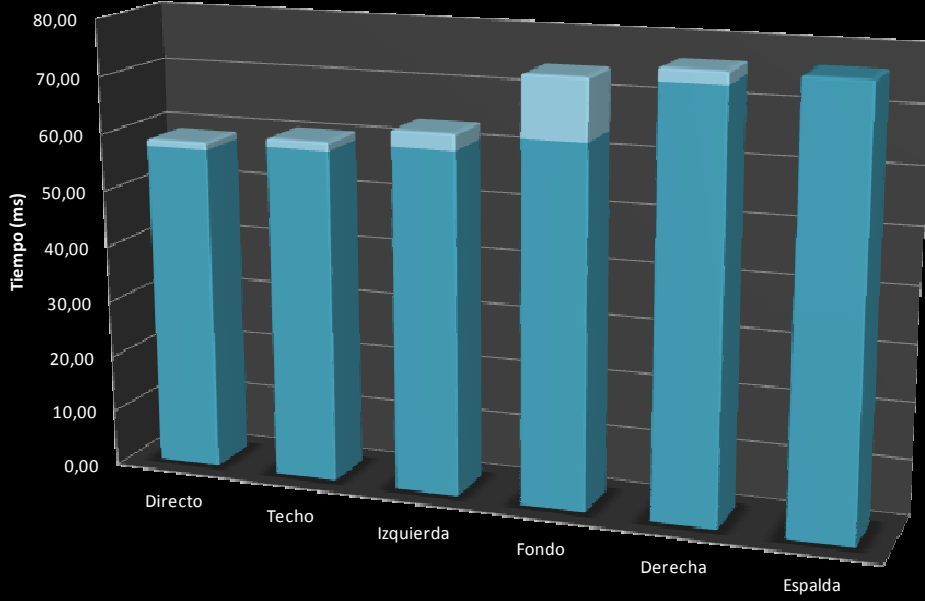
	Directo	Techo	Izquierda	Espalda	Derecha	Fondo
Diferencia con siguiente rayo	2,82	1,38	14,79	2,97	21,06	
Retardo(ms)	38,97	41,79	43,18	57,97	60,94	82,00

Receptor D



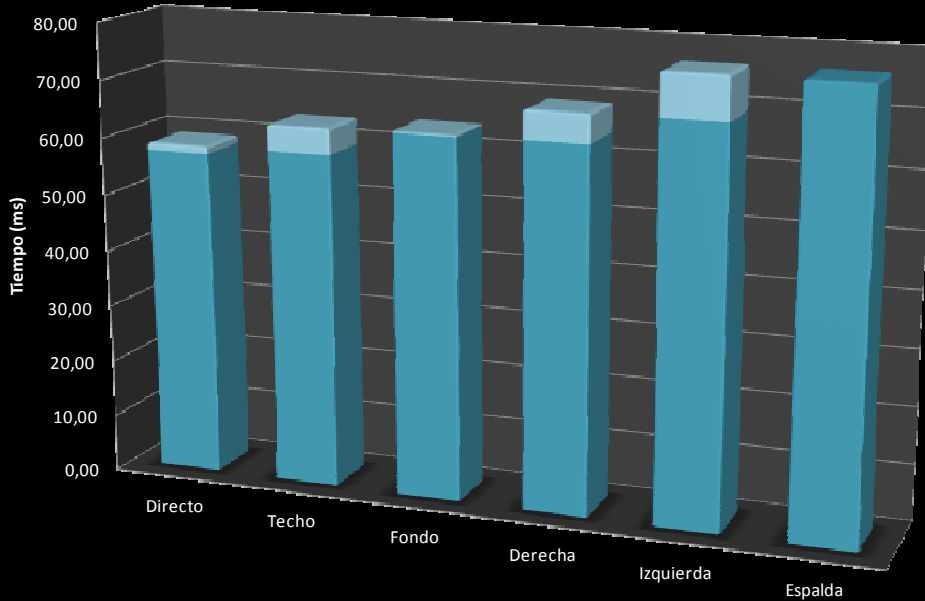
	Directo	Techo	Derecha	Izquierda	Espalda	Fondo
Diferencia con siguiente rayo	2,82	5,94	6,62	3,62	24,03	
Retardo(ms)	38,97	41,79	47,74	54,35	57,97	82,00

Receptor E



	Directo	Techo	Izquierda	Fondo	Derecha	Espalda
Diferencia con siguiente rayo	1,38	1,65	3,00	10,74	2,29	
Retardo(ms)	57,38	58,76	60,41	63,41	74,15	76,44

Receptor F



	Directo	Techo	Fondo	Derecha	Izquierda	Espalda
Diferencia con siguiente rayo	1,38	4,65	0,35	5,09	7,59	
Retardo(ms)	57,38	58,76	63,41	63,76	68,85	76,44

Aislamiento

Situación Elemento	Descripcion Elemento	Referencia CET	Aislamiento estimado Opción Simplificada (dBA)	Aislamiento Método General	Aislamiento requerido	Cumple
Fachada Norte (Calle)	Muro HA 20cm Aislamiento 10 cm Muro HA 30 cm Trasdosado autoportante	F 13.9	56	43	32	Cumple
Fachada (Patio) Este	Muro HA 30cm Trasdosado autoportante Cristalera fija aislante	F 13.4 4.3.2.1	56 32	43	32	Cumple
Particion Oeste (Escalera)	Muro HA 20cm Aislamiento 10 cm Muro HA 30 cm Trasdosado autoportante	P 1.25 + TR1	60 + 0	72	50	Cumple
Particion Sur (Corredor)	Doble placa yeso Aislamiento 5cm Placa de yeso Camara aire 1 cm Aislamiento 5cm Doble placa yeso	P4.5	55	50	50	Cumple
Techo (Planta 1) Suelo (Sótano)	Falso Techo Rockfon Placa alveolar 25cm Capa compresión 5cm Aislam. ruido impacto Lamina impermeable Mortero Radiante Terrazo	T 01 + 3.18.3 + S 01	7 + 57 + 4	67	50	Cumple

Reverberación

Para el cálculo de la reverberación se han utilizado las fichas facilitadas por el CTE y en el caso de la cafetería se han obtenido los siguientes resultados:

Cálculo del tiempo de reverberación y absorción acústica. Método general				
Datos de Entrada y Cálculos				
Volumen del Recinto		Resultado		
Volumen V, (m ³)	336,02	Área equivalente A (m ²)	34,86	Resultado Cálculo T60 (s)
Tipo de recinto	Restaurantes y Comedores vacíos	Tiempo de Reverberación T (s)	1,93	Requisito CTE T60 (s)
				1,93 ≤ 0,9 NO CUMPLE
Paramentos				Muebles fijos absorbentes
REF	Paramentos	$\alpha_{0,1}$	S _i (m ²)	$\alpha_{0,1} \cdot S_i$
1	T3.h PES 16 [p=3] + C [p150]	0,15	90,46	13,6
2	AA.24 Terrazo	0,02	90,46	1,8
3	AA.26 Vidrio	0,01	152,5	6,1
4	AA.9 Placa de yeso laminado (PYL)	0,05	57,73	3,5
5	AA.12 Madera y paneles de madera	0,03	387	0,3
6	A.0.0	-	0	-
				Muebles
				A _{0,2,3}
1				
2				
3				
4				
5				
6				

Cálculo del tiempo de reverberación y absorción acústica. Método general				
Datos de Entrada y Cálculos				
Volumen del Recinto		Resultado		
Volumen V, (m ³)	336,02	Área equivalente A (m ²)	33,60	Resultado Cálculo T60 (s)
Tipo de recinto	Restaurantes y Comedores vacíos	Tiempo de Reverberación T (s)	0,98	Requisito CTE T60 (s)
				0,98 ≤ 0,9 CUMPLE
Paramentos				Muebles fijos absorbentes
REF	Paramentos	$\alpha_{0,1}$	S _i (m ²)	$\alpha_{0,1} \cdot S_i$
1	T3.01 Rockfon	0,99	90,46	72,4
2	AA.24 Terrazo	0,02	90,46	1,8
3	AA.26 Vidrio	0,01	152,5	6,1
4	AA.9 Placa de yeso laminado (PYL)	0,05	57,73	3,5
5	AA.12 Madera y paneles de madera	0,03	387	0,3
6	A.0.0	-	0	-
				Muebles
				A _{0,2,3}
1				
2				
3				
4				
5				
6				

Se puede apreciar la gran influencia que tiene la instalación de un buen techo acústico, pues el tiempo de reverberación se reduce a la mitad.

Conclusiones

Tras el estudio se ha observado:

- ✓ Proyecto original basado en el diseño, no en la funcionalidad.
- ✓ Necesidad de materiales y revestimientos para un buen confort.

Durante la fase de concepción de este proyecto la prioridad fue el diseño. No se tuvieron en cuenta las necesidades funcionales del edificio, que sugerían un tratamiento especial de algunas superficies para un buen confort acústico.

Tampoco se consideraron las necesidades técnicas, ya que por ejemplo es necesaria la colocación de trasdosados para el paso de instalaciones o para instalación de luminarias.

- ✓ Gran importancia del techo acústico.
Si tomamos como ejemplo la cafetería, se observa que tan solo con la colocación del techo acústico se reduce el tiempo de reverberación a aproximadamente la mitad, teniendo en cuenta que los demás revestimientos son acristalamientos y hormigón, cuyo índice de absorción es mínimo.

Normativa

Código Técnico de la Edificación

- ✓ Documento básico HR Protección frente al ruido
- ✓ Guía de aplicación del DB HR
- ✓ Catálogo de elementos constructivos del CTE
- ✓ Documento Básico SUA Seguridad de utilización y accesibilidad

Bibliografía

- Rodríguez Rodríguez, Francisco Javier; de la Puente Crespo, Javier. *Guía acústica de la construcción*. Cie Inversiones Editoriales Dossat 2000 S.L (2006)
- Querol Noguera Josep M. *Aislamiento acústico en la edificación: Proyecto, cálculo, control técnico y administrativo*. Silva editorial.
- David Egan M. *Architectural Acoustics*. J. Ross Publishing (2007).

Anexos