

Imagino una sala
insonorizada
con un diseño
que os dejará mudos.

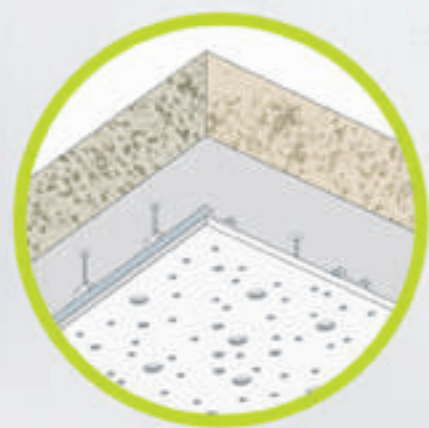
PLADUR® FON
hace realidad
la absorción acústica
y el diseño que
tú imaginas.

Estudio de
acondicionamiento
acústico



Diseño con
diferentes tipos de
perforaciones

Techo curvo



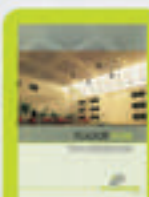
PLADUR® FON une el confort
auditivo y la estética,
en una amplia gama de placas
de yeso laminado con
perforaciones de distintas
geometrías para techos
y trasdosados.



PERFORACIONES
CUADRADAS SOBRE
EL ESCENARIO



PERFORACIONES
ALEATORIAS EN
EL AUDITORIO



Solicita el catálogo de **PLADUR® FON** y más información
en nuestro servicio de atención al cliente.
Teléfono: 902 023 323
e-mail: consultas.pladur@uralita.com
Y en la Web: www.pladur.com

PLADUR®
uralita

Acondicionamiento Acústico

condiciones acústicas a la carta

reportaje

El campo de la acústica, al igual que sucede con otros campos de la ciencia, es pluridisciplinar puesto que engloba, entre otras, materias tan diversas como la acústica de salas, la acústica medioambiental, la acústica industrial, la psicoacústica y la acústica musical.

Sin lugar a dudas, de todas ellas, la disciplina que guarda una relación más directa con el la arquitectura es la acústica de salas, también denominada acústica arquitectónica. Ahora bien, cuando se habla de acústica arquitectónica, es preciso tener presente que ésta engloba dos disciplinas perfectamente diferenciadas, que son complementarias y que, en muchas ocasiones, se confunden. Se trata del acondicionamiento acústico y del aislamiento acústico.

Reportaje escrito por:
Antoni Carrión Isbert
Director Gerente de AUDIOSCAN, S.L.
Profesor Titular de la Universitat
Politécnica de Catalunya

NOTA: A todos aquellos lectores interesados en profundizar en los contenidos del presente artículo, se recomienda la lectura del libro "Diseño Acústico de Espacios Arquitectónicos", del mismo autor, editado por Edicions UPC (ISBN: 84-8301-252-9).

Foto: Knauf AMF



1. Introducción

Por acondicionamiento acústico se entiende la definición del volumen, las formas y los revestimientos de las superficies interiores de un recinto con objeto de conseguir las condiciones acústicas más adecuadas según el tipo de actividad, o actividades, a realizar.

El aislamiento acústico, en cambio, se refiere a la definición de las soluciones constructivas necesarias para conseguir una correcta atenuación en la transmisión de ruido y vibraciones entre espacios diferenciados (normalmente, entre la sala objeto de diseño y el resto de espacios del recinto, o bien, el exterior). Dicho ruido puede proceder de salas contiguas, puede ser debido a la maquinaria de climatización, al conjunto de instalaciones eléctricas y/o hidráulicas, o bien, puede provenir del exterior del recinto (tráfico rodado, tráfico aéreo, ruido de la lluvia...). Las soluciones de aislamiento acústico planteadas tienen que garantizar el cumplimiento del Documento Básico "DB-HR Protección frente al ruido" del Código Técnico de la Edificación (CTE), en aquellos casos que sea de aplicación.

Resulta, pues, evidente que ambas disciplinas guardan una estrecha relación con el correspondiente proyecto de edificación.

Por otra parte, para completar el proyecto acústico de un recinto, es preceptivo estudiar y atenuar el ruido producido por el sistema de climatización, que

llega a la sala a través de las bocas de impulsión y retorno del aire. Ahora bien, en este caso, las posibles acciones a emprender, como por ejemplo la elección de los silenciadores y/o conductos más adecuados, están directamente relacionadas con el proyecto de instalaciones elaborado por la correspondiente ingeniería.

También es necesario definir aquellas soluciones técnicas que permitan garantizar el cumplimiento de la Ordenanza vigente en materia de contaminación sonora en los edificios vecinos. Es lo que se ha convenido en llamar 'proyecto de impacto acústico' y, en la actualidad, constituye un requisito indispensable para obtener la licencia de inicio de actividad.

Finalmente, en el contexto del proyecto de edificación y debido a la necesidad de conjugar aspectos técnicos, funcionales y estéticos, también es preciso tener presente el sistema audiovisual del recinto, ya que del mismo forman parte el sistema de altavoces a utilizar (tipo y ubicación en la sala), las cámaras, proyectores y pantallas, junto con las correspondientes canalizaciones y cableado, así como la cabina (o cabinas) técnica asociada, cuya ubicación y dimensiones conviene prever con suficiente antelación.

2. Acústica versus esoterismo

Hasta finales del siglo XIX, la acústica era considerada una ciencia inexacta y, por consiguiente, no es de extrañar que

continuamente aparecieran explicaciones esotéricas a través de las cuales se pretendían aclarar los "misterios" de esta disciplina. Sirva de ejemplo la vieja creencia completamente errónea de que la acústica de una sala de conciertos mejora con el tiempo, como si se tratase de un buen vino.

Es en 1895 cuando Wallace Clement Sabine, hasta entonces profesor asociado del departamento de Física de la Universidad de Harvard, empezó su trabajo pionero encaminado a la aplicación de la acústica a la arquitectura. Fruto de sus investigaciones empíricas, W.C. Sabine descubrió en 1898 que la reverberación de un recinto es inversamente proporcional a la cantidad de absorción del mismo, lo cual le permitió establecer su célebre ecuación de reverberación, utilizada universalmente desde aquel momento hasta nuestros días, como parámetro primordial para la caracterización acústica de una sala.

La acústica se consolidó como una nueva ciencia a partir de los años 30, con posterioridad a la prematura muerte de Sabine, en 1919, fundamentalmente por el desarrollo de la tecnología de micrófonos, amplificadores y altavoces, y su utilización como herramienta habitual en trabajos de campo.

Posteriormente, con la evolución de los equipos electrónicos de medición, ha sido posible avanzar enormemente en la consecución del objetivo final de la acústica, consistente en relacionar

las valoraciones subjetivas sobre la calidad acústica de una sala con una serie de parámetros objetivos, es decir, físicamente medibles, aunque en la actualidad todavía nos hallamos lejos de conseguir una perfecta correspondencia entre lo subjetivo y lo objetivo.

Además, la mayoría de parámetros pueden ser calculados en la fase de diseño mediante programas informáticos de simulación acústica, lo cual permite, asimismo, llevar a cabo lo que se ha convenido en llamar "auralización". La "auralización" es el proceso a través del cual es posible realizar una escucha, en cualquier punto de un recinto, de un mensaje oral o un pasaje musical, con la particularidad de que ello se lleva a cabo de forma virtual (antes de que dicho recinto se haya construido o remodelado). La mencionada escucha puede efectuarse mediante altavoces o, preferentemente, por medio de auriculares.

Dichos parámetros también pueden ser medidos una vez construido el recinto. En este punto es preciso señalar que, por ejemplo, en el diseño de salas de conciertos de música sinfónica, el margen de valores recomendado para cada parámetro no se ha establecido como fruto de profundos estudios matemáticos, sino que se ha fijado siguiendo un proceso totalmente empírico. Dicho proceso ha consistido en analizar un numeroso conjunto de salas de conciertos de todo el mundo y en determinar los valores de sus parámetros acústicos más representativos. Los valores correspondientes a aquellos recintos considerados unánimemente excelentes, desde un punto de vista acústico, han sido elegidos como patrón para el diseño de nuevas salas.

No obstante lo comentado anteriormente, en nuestro país existen dos tendencias que tienen como característica común la de alejarse sustancialmente de la práctica actualmente vigente. La primera de ellas consiste en simplificar en grado extremo y sin justificación técnica alguna la búsqueda de soluciones acústicas ante un determinado diseño. En el caso del acondicionamiento acústico de una sala, quién no ha escuchado en más de una ocasión que basta colocar sobre ciertas superficies de la sala un panel "acústico" (entendiéndose por tal, un panel de madera o yeso laminado, perforado o ranurado, con fibra de vidrio o lana de roca en su parte posterior), o bien hacer uso de una silla con "resonador acústico" en la parte inferior del asiento (asiento con perforaciones), para que el resultado acústico sea óptimo. En otras situaciones, se piensa que el corcho, las cajas de

huevos o las cortinas pueden resolver por sí solos y de forma totalmente satisfactoria la acústica de una sala. En cuanto al aislamiento acústico, a veces se cree que los problemas planteados se pueden resolver exclusivamente haciendo uso de materiales de gran peso (por ejemplo, el plomo), mientras que otras veces, se considera que el poliestireno expandido (porexpan) es la solución a emplear.

Nada más lejos de la realidad. Ninguna de las opciones así planteadas puede considerarse correcta desde los puntos de vista acústico y económico. En efecto, en el ámbito del acondicionamiento acústico, no existe ningún material considerado como "acústico" (panel o silla con resonador) que, por el hecho de su incorporación, garantice un resultado final óptimo. De hecho, la división entre paneles, o sillas, acústicos y no acústicos carece de sentido. Lo que sí existe es un panel o silla, "acústico" o no, adecuado para un determinado recinto. Por lo que al aislamiento acústico se refiere, las soluciones basadas exclusivamente en la utilización de una gran masa no son, en absoluto, prácticas. Habitualmente, es preferible recurrir a soluciones tipo sándwich, a base de pared ligera de yeso laminado + cavidad de aire (rellena de absorbente acústico) + pared ligera de yeso laminado, ya que permiten conseguir aislamientos elevados gracias a la discontinuidad creada entre ambas paredes. En cuanto al porexpan, conviene indicar que sus características de buen aislante térmico no son, en ningún modo, extrapolables al dominio acústico.

La segunda tendencia, contrapuesta a la anterior y aplicada por determinados autodenominados expertos en acústica, consiste en proponer soluciones sobredimensionadas, tanto en el caso

del acondicionamiento como en el del aislamiento acústico, amparándose en un esoterismo totalmente fuera de lugar y aprovechándose, aunque sea de forma involuntaria, del desconocimiento general que sobre la materia se tiene. Tales soluciones llevan inevitablemente a un dispendio económico desorbitado que, a pesar de las dudas más que justificadas que el correspondiente desembolso genera, nadie se atreve a cuestionar abiertamente, debido tanto a dicho desconocimiento como a la supuestamente contrastada valía profesional de los citados pseudoexpertos acústicos.

En ocasiones, aunque no de forma generalizada, la Propiedad solicita un estudio paralelo con objeto de contrastar las soluciones planteadas y poder actuar en consecuencia. Por otro lado, cabe señalar que los estudios de contraste son una práctica habitual en otros países europeos. Como conclusión de lo anteriormente expuesto, conviene destacar la necesidad de desmitificar la acústica arquitectónica, afirmando que nada tiene que ver con el esoterismo, que es una disciplina basada en unas leyes físicas y que, por tanto, el comportamiento acústico de una sala, desde un punto de vista objetivo, es totalmente predecible.

En el ámbito del acondicionamiento acústico, no existe ningún material considerado como "acústico" que, por el hecho de su incorporación, garantice un resultado final óptimo



3. Situación actual de la enseñanza de la acústica en España en el contexto de las escuelas técnicas de Arquitectura

Por regla general, actualmente en España, la impartición de la materia de acústica en sus diferentes modalidades (arquitectónica, medioambiental, industrial, etc.), dentro de las escuelas técnicas de Arquitectura es prácticamente testimonial. De manera habitual, se imparten conceptos básicos de acústica arquitectónica dentro de asignaturas más generalistas, en un número muy limitado de horas lectivas. A lo sumo, en algunas escuelas existen programas de doctorado donde es posible ampliar los conocimientos sobre la materia, aunque de forma totalmente insuficiente. En algunos casos, este desconocimiento es el causante de una falta de sensibilidad hacia la problemática acústica, mientras que, en otros, da lugar a errores de consideración en el contexto de un proyecto de edificación.

Sería deseable que se incrementase la carga docente de esta materia, no con la intención equivocada de que los arquitectos se conviertan en expertos en acústica (puesto que se trata de una materia de especialidad), sino de que adquieran los conocimientos mínimos imprescindibles para poder dialogar con los especialistas usando una terminología común. Asimismo, ello les permitiría calibrar en cada momento y en su justa medida, las repercusiones a nivel acústico que se puedan derivar de sus planteamientos en la fase inicial de diseño.

Quizás ahora sería un buen momento para llevar a cabo la propuesta anterior, aprovechando la entrada en vigor del Documento Básico "DB-HR Protección

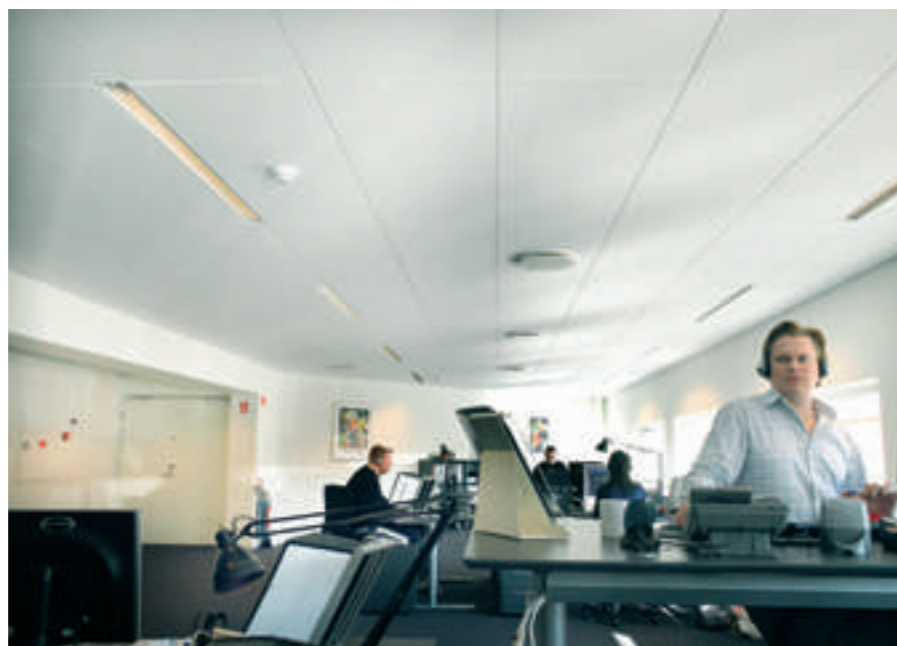


Foto: Rockwool

frente al Ruido" del Código Técnico de la Edificación (CTE), y teniendo presente la creciente sensibilidad hacia la problemática de la contaminación acústica generada por el ruido de tráfico, las discotecas, los bares musicales o la vecindad.

Por otro lado, en el caso de que la citada propuesta prosperase, conviene alertar sobre el riesgo que supondría el no incorporar al equipo de trabajo de un determinado proyecto la figura del consultor acústico, pensando equivocadamente que con el bagaje adquirido ya es suficiente para abordar cualquier problema relacionado con la acústica. Hay que tener presente que cada proyecto presenta sus singularidades y que, por tanto, las soluciones acústicas deben ser elaboradas a medida por un especialista, lógicamente de común acuerdo con el arquitecto responsable del mismo.

4. Equipo de trabajo integrante de un proyecto de edificación

El equipo de trabajo encargado de la elaboración y ejecución de un proyecto de edificación es pluridisciplinar: a la figura del arquitecto (o arquitectos) responsable del proyecto, se le suma la del arquitecto técnico, el estructurista y la ingeniería encargada de elaborar los proyectos de instalaciones (climatización, electricidad, luz, etc.). Ahora bien, para que el equipo sea completo, es imprescindible añadir la figura del consultor acústico y, en el caso de espacios escénicos, la del consultor escénico. El consultor acústico es el encargado de elaborar los proyectos de acondicionamiento y aislamiento acústico y, preferiblemente, también debe responsabilizarse del proyecto del sistema audiovisual, como sucede en multitud de consultorías europeas y norteamericanas. El consultor escénico, figura imprescindible si bien poco conocida en nuestro país, es el responsable de adecuar los espacios y equipamientos de un espacio escénico a las necesidades de su programación. Su tarea se puede dividir en cuatro partes: ayudar a la Propiedad en la definición de la programación adecuada; colaborar con el arquitecto y demás profesionales en la preparación del proyecto; definir las instalaciones y equipamientos escenotécnicos (maquinaria escénica, iluminación espectacular, etc.); ayudar en la coordinación de los trabajos necesarios para la correcta ejecución del proyecto.

Tanto el consultor acústico como, en el caso de espacios escénicos, el consultor escénico, deben estar presentes no sólo en la fase de elaboración del proyecto, sino también en la de ejecución. De lo contrario, no es posible asegurar



Conservatorio del Liceu en Barcelona. Foto: Audioscan

ROCKWOOL®

Cuatro soluciones en un mismo producto



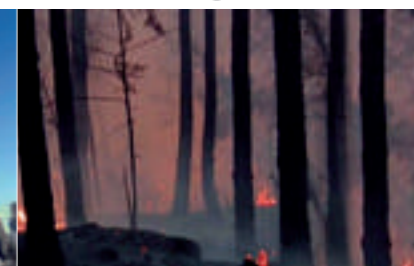
Rockwool, tu aliado para mejorar la eficiencia energética, el confort acústico y la protección contra incendios en los edificios, participa activamente en la reducción del calentamiento global.

frío...

calor...

ruido...

fuego...



WWW.ROCKWOOL.ES

que la implantación de las soluciones propuestas se lleve a cabo de acuerdo con las especificaciones detalladas en los correspondientes proyectos. A veces, sea por desconocimiento de la existencia de dichas figuras, o bien, por una hipotética falta de presupuesto para su contratación al plantearse su incorporación una vez iniciado el proyecto, los proyectos de equipamiento audiovisual y escenotécnico se ponen directamente en manos de empresas distribuidoras y/o instaladoras, desvirtuando su cometido fundamental, que no es otro que implantar las soluciones diseñadas por los referidos consultores.

Por otra parte, en ocasiones, la no inclusión de dichos profesionales desde un buen principio conduce a planteamientos erróneos difícilmente subsanables una vez finalizada la obra, ya sea por motivos constructivos o económicos. Hay que tener presente que, por regla general, los consultores acústico y escénico tienen una experiencia más dilatada en la realización de proyectos relacionados con teatros y auditorios que un arquitecto, a quien se le ha adjudicado un determinado proyecto, por la sencilla razón de que han participado en la elaboración de un mayor número de proyectos de esta índole a lo largo de su trayectoria profesional.

5. Materiales y elementos utilizados en el acondicionamiento acústico de recintos

El éxito en el diseño del acondicionamiento acústico de cualquier tipo de recinto, una vez fijado su volumen y definidas sus formas, radica en primer lugar en la elección de los materiales más adecuados para utilizar como revestimientos del mismo, con objeto de obtener un tiempo de reverberación óptimo.

De forma simplificada, se define el tiempo de reverberación de un recinto cerrado como el tiempo que transcurre (en segundos) desde que el foco emisor de sonido se detiene hasta el momento en que dicho sonido desaparece. Un recinto con un tiempo de reverberación elevado se denomina "vivo" (iglesia, nave industrial, etc.), mientras que si el tiempo de reverberación es bajo recibe el nombre de recinto "apagado" o "sordo" (estudio de grabación, locutorio, etc.).

En general, el tiempo de reverberación más adecuado para un recinto depende tanto de su volumen como de la actividad a la que se haya previsto destinarlo. Por ejemplo, cuando se trata de salas destinadas a la palabra, es conveniente que el valor de tiempo de reverberación sea bajo con objeto de conseguir una buena inteligibilidad, mientras que en el caso de salas de conciertos, es recomendable un valor apreciablemente más elevado, a fin de que la audición musical resulte óptima.

Además, en según qué tipo de espacios, resulta necesario potenciar la aparición de primeras reflexiones útiles (es el caso de teatros y salas de conciertos) y/o conseguir una buena difusión, o dispersión uniforme en múltiples direcciones, del sonido (exclusivamente, en el caso de salas de conciertos).

Antes de definir lo que se entiende por primeras reflexiones útiles, es preciso introducir unos conceptos básicos relativos a la propagación del sonido en un recinto cerrado.

Cuando una fuente sonora situada en un recinto cerrado es activada, genera una onda sonora que se propaga en todas las direcciones. La energía sonora radiada por dicha fuente llega a un oyente ubicado en un punto cualquiera

del recinto de dos formas diferentes: una parte de la energía llega de forma directa (sonido directo), es decir, como si fuente y receptor estuviesen en el espacio libre, mientras que otra parte lo hace de forma indirecta (sonido reflejado), al ir asociada a las sucesivas reflexiones que sufre la onda sonora cuando incide sobre las superficies del recinto.

En un punto cualquiera del recinto, la energía correspondiente al sonido directo depende exclusivamente de la distancia a la fuente sonora, mientras que la energía asociada a cada reflexión depende tanto del camino recorrido por el rayo sonoro como del grado de absorción acústica de los materiales utilizados como revestimientos de sus superficies. Lógicamente, cuanto mayor sea dicha distancia y más absorbentes sean los materiales empleados, menor será la energía asociada al sonido directo y a las sucesivas reflexiones.

Al analizar la evolución temporal del sonido reflejado en un punto cualquiera del recinto objeto de estudio, se observan básicamente dos zonas de características notablemente diferenciadas: una primera zona que engloba todas aquellas reflexiones que llegan inmediatamente después del sonido directo, y que reciben el nombre de primeras reflexiones o reflexiones tempranas (del inglés, "early reflections"), y una segunda formada por reflexiones más tardías que constituyen la denominada cola reverberante. Desde un punto de vista práctico, se suele establecer un límite temporal para la zona de primeras reflexiones de, aproximadamente, 100 ms desde la llegada del sonido directo. La representación gráfica temporal de la llegada de las diversas reflexiones, acompañadas de su nivel energético correspondiente, se denomina ecograma o reflectograma.




URSA AIR Zero




La mejor absorción acústica

Sin revolución no hay evolución. Por eso, URSA lanza al mercado el producto que revolucionará las instalaciones de conductos: URSA AIR Zero, el panel de lana mineral con tejido interior negro que aporta el rendimiento acústico más competitivo del mercado.

 ZERO en ruidos, máxima absorción acústica del mercado


El panel acústico más absorbente del mercado, porque reduce a niveles imperceptibles el ruido propagado a través del conducto.

Informe ensayo absorción acústica APPLUS 09/100423-678

 ZERO en pérdidas térmicas, máxima eficiencia energética


Reducción de las pérdidas energéticas. Resistencia térmica en concordancia con las exigencias del RITE.

Certificado AENOR 020/003082

 ZERO en suciedad, máxima higiene


Su superficie es más lisa y resistente que la de otros productos del mercado, lo que evita la acumulación de partículas de suciedad y permite la limpieza del interior de los conductos por cepillado sin problemas de erosión de la superficie.

Informe de ensayo AMBIENTCARE 28/A-00579


 ZERO en proliferación bacteriana, máxima higiene

El panel URSA AIR Zero no contiene ningún elemento orgánico alimento de bacterias, y contiene sustancias que eliminan los posibles brotes.

Informe AITEX 2009 AN8644

 ZERO en dificultades de instalación, mejor manipulación del panel

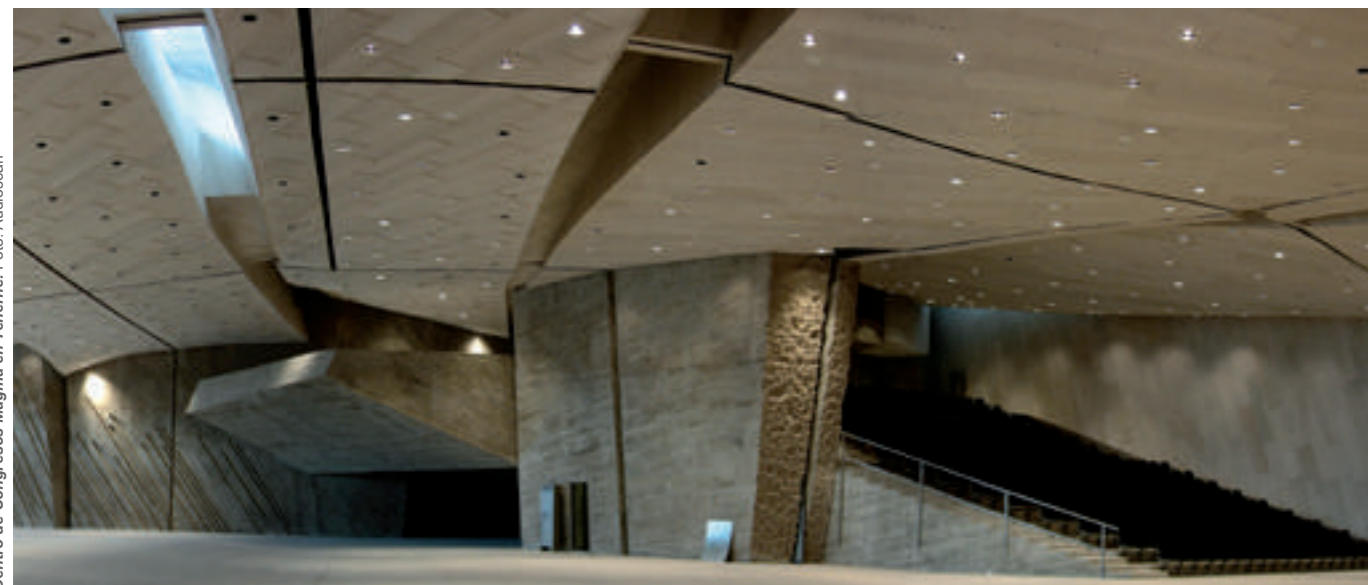
El panel URSA AIR Zero se corta más fácilmente, de manera que la construcción de conductos y toda la instalación resultan más sencillas, rápidas y cómodas.

 ZERO en combustibilidad, altas prestaciones al fuego

Reacción al fuego B s1 d0.

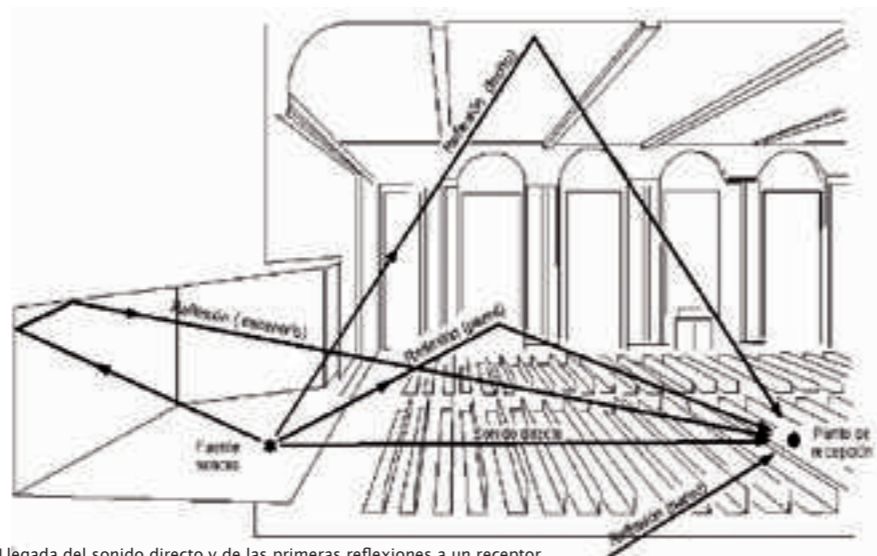
Certificado AENOR 020/003082

Y además, el sistema de machihembrado está rebordeado.



Centro de Congresos Magma en Tenerife. Foto: Audioscan

En general, las primeras reflexiones presentan un nivel energético mayor que las correspondientes a la cola reverberante. Además, por el hecho de depender directamente de las formas geométricas de la sala, son específicas de cada punto y, por tanto, determinan las características acústicas propias del mismo, juntamente con el sonido directo. En cambio, la cola reverberante está formada por las reflexiones tardías. Debido a que la densidad temporal de reflexiones en un punto cualquiera de un recinto cerrado aumenta de forma cuadrática con el tiempo, existe una gran concentración de dichas reflexiones tardías en cualquier punto de recepción y, además, sus características son prácticamente iguales con independencia del punto considerado.



Llegada del sonido directo y de las primeras reflexiones a un receptor

Se entiende por primeras reflexiones útiles, todas aquellas reflexiones que llegan a un oyente dentro de los primeros 50 ms desde la llegada del sonido directo. Dichas reflexiones son integradas por el oído humano y, en consecuencia, su percepción no es diferenciada respecto al sonido directo. Cuando el sonido emitido es un mensaje oral, tales reflexiones contribuyen a mejorar la inteligibilidad o comprensión del mensaje y, al mismo tiempo, producen un aumento de sonoridad (o sensación de amplitud del sonido).

Por el contrario, la aparición en un punto de escucha de una reflexión de nivel elevado con un retardo superior a los 50 ms es totalmente contraproducente para la obtención de una buena inteligibilidad de la palabra, ya que es percibida como una repetición del sonido directo (suceso discreto). En tal caso, dicha reflexión se denomina eco. El retardo de 50 ms equivale a una diferencia de caminos entre el sonido directo y la reflexión de, aproximadamente, 17 m.

A continuación se describen los diferentes tipos de materiales y elementos utilizados habitualmente en el acondicionamiento acústico de recintos, así como sus características básicas. Cada uno de ellos produce principalmente uno de los siguientes efectos sobre la energía sonora:

- Absorción del sonido: debida mayoritariamente a la presencia en el recinto de materiales absorbentes, de elementos absorbentes selectivos (resonadores acústicos), del público y de las sillas.
- Reflexión del sonido: debida a la existencia de elementos reflectores utilizados para la generación de primeras reflexiones útiles hacia la zona del público.
- Difusión del sonido: debida a la presencia de elementos difusores utilizados para dispersar la energía sonora asociada a la onda incidente.

En un recinto cualquiera, la reducción de la energía asociada a las ondas sonoras, cuando se propagan a través del aire y cuando son reflejadas por sus superficies límite, es determinante en la calidad acústica final del mismo

5.1. Absorción del sonido

En un recinto cualquiera, la reducción de la energía asociada a las ondas sonoras, cuando se propagan a través del aire y cuando son reflejadas por sus superficies límite, es determinante en la calidad acústica final del mismo.

Básicamente, dicha reducción de energía es debida, en orden de mayor a menor importancia, a una absorción producida por:

- El público y las sillas.
- Los materiales absorbentes y/o los absorbentes selectivos (resonadores acústicos), expresamente colocados sobre determinadas zonas a modo de revestimiento del recinto.
- Todas aquellas superficies límite de la sala susceptibles de entrar en vibración (como, por ejemplo, puertas, ventanas y paredes separadoras ligeras).
- El aire.
- Los materiales rígidos y no porosos utilizados en la construcción de las paredes, techo y suelo del recinto (como, por ejemplo, el hormigón).

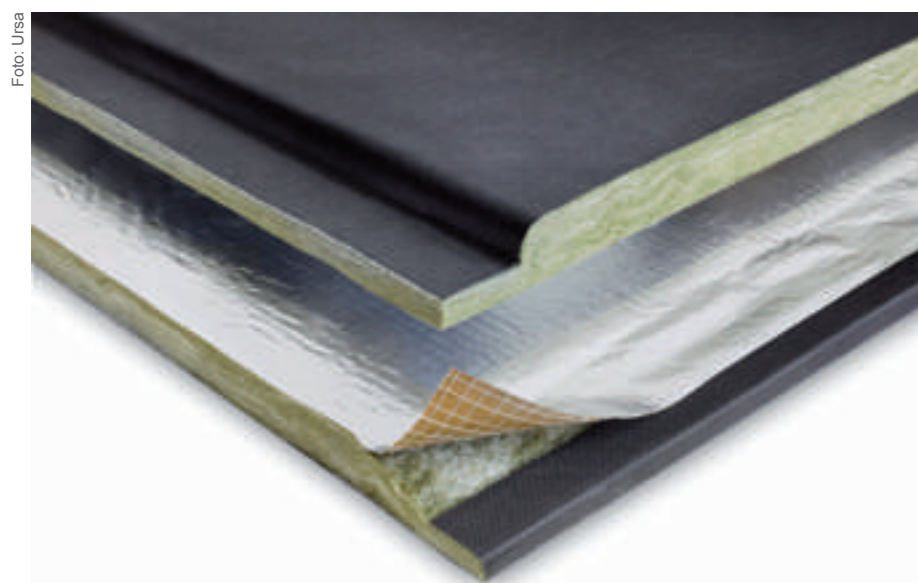


Foto: Ursa

902 440 460 www.knauf.es

KNAUF

PLACA CEMENTICIA KNAUF



Aquapanel Outdoor. Resistentes a la humedad y la climatología.

Antes de exponer las diferentes características de absorción de los elementos absorbentes más representativos, es preciso seguir la recomendación de tipo práctico expuesta a continuación. Las características de absorción de los materiales absorbentes y de los resonadores acústicos dependen no sólo de sus propiedades físicas, sino también en gran parte de un sinfín de condicionantes y de detalles constructivos, que varían sustancialmente de uno a otro caso, y que no se pueden representar mediante una expresión matemática.

Es por ello que, para realizar cualquier diseño acústico, resulta imprescindible disponer de los coeficientes de absorción acústica α obtenidos mediante ensayo de laboratorio, siguiendo un procedimiento homologado (norma UNE-EN ISO 354, año 2004). Dichos coeficientes deben ser solicitados, en cada caso, al correspondiente proveedor, que tendrá que acreditar su validez mediante el pertinente certificado oficial.

El coeficiente de absorción acústica α se utiliza para representar el grado de absorción del sonido de un material cualquiera, y se define como la relación entre la energía absorbida por dicho material y la energía incidente sobre el mismo. Sus valores están comprendidos entre 0 (correspondiente a un material totalmente reflectante) y 1 (caso de absorción total). El valor de α está directamente relacionado con las propiedades físicas del material y varía con la frecuencia.

5.1.1. Absorción del público y las sillas

El grado de reverberación asociado a un recinto cualquiera viene principalmente determinado por la absorción producida por el público y las sillas existentes, así como por los materiales absorbentes utilizados como revestimientos de sus superficies.

Por lo que se refiere a la absorción producida por el público, ésta se debe principalmente al tipo de ropa utilizada y a su grado de porosidad. Debido a que la ropa no suele ser muy gruesa, la absorción a bajas frecuencias (sonidos graves) es relativamente pequeña, mientras que aumenta a frecuencias medias y altas (sonidos agudos). Por otra parte, el hecho de que la vestimenta difiera entre individuo e individuo hace que sólo sea posible disponer de valores promedio de absorción. Dichos valores suelen variar en función del autor que los proporciona y, además, pueden sufrir alteraciones con el paso del tiempo debido a cambios en la moda dominante.

Ahora bien, si se considera la disposición habitual del público en salas destinadas a actos o espectáculos públicos (como, por ejemplo, salas de conferencias, teatros, salas de conciertos, etc.), en las que las personas se hallan siempre sentadas de forma agrupada, se suele hacer uso de dos conjuntos de coeficientes de absorción α en función de la frecuencia: los correspondientes a las sillas ocupadas y los asociados a las sillas vacías. Ello es debido a que las sillas, por sí mismas, presentan una absorción destacada que

hay que tener siempre en cuenta, según se acaba de comentar.

Normalmente, se distingue entre tres tipos de sillas, en función del grado de tapizado incorporado. Se trata de:

- Sillas con un alto porcentaje de superficie tapizada.
- Sillas con un porcentaje medio de superficie tapizada.
- Sillas con un bajo porcentaje de superficie tapizada.

En general, las primeras suelen utilizarse en salas donde se pretende conseguir un elevado grado de absorción acústica y, por consiguiente, un tiempo de reverberación relativamente bajo (es el caso, por ejemplo, de los cines y las salas de conferencias), mientras que las últimas van asociadas a aquellas salas consideradas como "vivas", donde el tiempo de reverberación es más elevado (caso, por ejemplo, de las salas de conciertos). Las intermedias se reservan para las denominadas salas multifuncionales.

De todas formas, con independencia del tipo de sala considerada, existe un objetivo común a todas ellas consistente en conseguir la máxima invariancia del tiempo de reverberación en función del grado de ocupación de la sala. Ello significa que, especialmente en aquellas salas donde la única absorción significativa es la producida por las sillas, los coeficientes de absorción de las mismas, vacías y ocupadas, deben diferir entre sí lo menos posible.

5.1.2. Materiales absorbentes

La absorción que sufren las ondas sonoras cuando inciden sobre los distintos materiales absorbentes utilizados, como revestimientos de las superficies límite del recinto, así como su dependencia con la frecuencia, varía considerablemente de un material a otro. En consecuencia, la correcta elección de los mismos permitirá obtener en cada caso la absorción más adecuada en todas las frecuencias de interés (graves, medios y agudos).

Según se ha comentado anteriormente, existen dos tipos genéricos de elementos específicamente diseñados para producir una determinada absorción: los denominados simplemente materiales absorbentes, descritos a continuación, y los llamados absorbentes selectivos o resonadores acústicos, expuestos posteriormente.



CaixaForum de Madrid. Foto: Audioscan



Heradesign

para la buena arquitectura

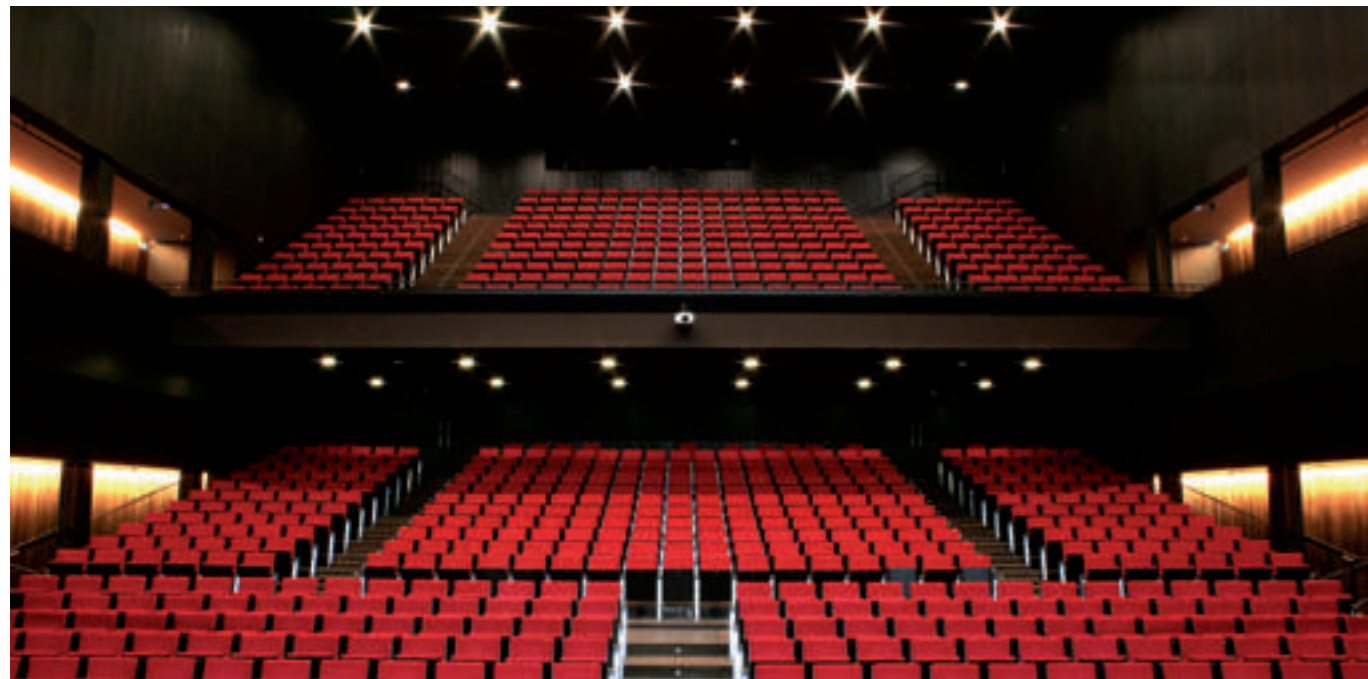
Arquitectura de techos moderna y natural

Soluciones creativas hechas de las materias primas naturales madera y magnesita se encargan de obtener los mejores valores para la bioconstrucción y combinan el confort con una excelente eficacia acústica. En la imagen: diseño de techos con placas decorativas Heradesign® como simbiosis entre funcionalidad, naturaleza y diseño.

Descubra el universo de los sistemas para techo con viruta de madera ligada con magnesita de Heradesign.

Heradesign España S.L.
Tel. +34 (0)985/167352
acusticos@heradesign.es

www.heradesign.es



Teatro Kursaal en Maastricht. Foto: Audioscan

Los materiales absorbentes se utilizan generalmente para conseguir uno de los siguientes objetivos:

– Obtención del tiempo de reverberación más adecuado en función de la actividad (o actividades) a la cual se haya previsto destinar el espacio objeto de diseño.

– Prevención o eliminación de ecos.

– Reducción del nivel sonoro en espacios ruidosos (restaurantes, fábricas, estaciones, etc.).

Estos materiales presentan un gran número de canales, a través de los cuales la onda sonora puede penetrar. La disipación de energía en forma de calor se produce cuando la onda entra en contacto con las paredes de dichos canales. Cuanto mayor sea el número de canales, mayor será la absorción producida.

El mencionado mecanismo de absorción de sonido es propio de todos los materiales porosos, siempre y cuando dichos poros sean accesibles desde el exterior. Normalmente, tales materiales están formados por sustancias fibrosas o granulares a las que se les confiere un grado suficiente de compacidad a través de un proceso de prensa o tejeduría. Los materiales absorbentes comerciales de este tipo se manufacturan básicamente a partir de:

- Lana de vidrio.
- Lana mineral.
- Espuma a base de resina de melamina.
- Espuma de poliuretano.

Seguidamente se indica cómo varía la absorción acústica de los materiales absorbentes, en función de sus características físicas y del sistema de montaje empleado:

– Dependencia de la absorción con el espesor del material: a mayor espesor, mayor absorción, especialmente de los sonidos graves y medios. Una forma sencilla de justificar el aumento de absorción con el espesor consiste en tener presente que el camino recorrido por la onda sonora en el interior del material de mayor grosor, es también mayor y, por tanto, tiene lugar una mayor disipación de energía sonora en forma de calor.

– Dependencia de la absorción con la porosidad del material: a mayor porosidad, mayor absorción. Este efecto era de esperar, ya que la penetración de la onda sonora incidente es mayor a medida que se incrementa el grado de porosidad.

– Dependencia de la absorción con la densidad del material: si la densidad del material es baja, existen pocas pérdidas por fricción y, en consecuencia, la absorción es pequeña. A medida que

la densidad va aumentando, se produce un incremento progresivo de absorción, hasta llegar a un valor límite, a partir del cual la absorción disminuye debido a que existe una menor penetración de la onda sonora en el material, es decir, una mayor reflexión de energía. Desde un punto de vista práctico, es aconsejable que los materiales absorbentes utilizados en el acondicionamiento acústico de recintos tengan una densidad situada entre, aproximadamente, 40 y 70 kg/m³, no debiéndose superar los 100 kg/m³.

– Dependencia de la absorción con la distancia del material a la pared rígida: si se pretenden obtener coeficientes de absorción elevados a bajas frecuencias, no es imprescindible hacer uso de materiales muy gruesos. Basta con utilizar un material con un espesor medio y colocarlo a una cierta distancia de la pared rígida. Cuanto mayor sea dicha distancia, menor será la frecuencia a la que la absorción será máxima. Por lo tanto, para aumentar la absorción a bajas frecuencias (sonidos graves), es preciso incrementar la separación entre el material y la pared. De todas formas, dicha mejora de absorción se ve contrarrestada por una disminución a frecuencias más elevadas (medios y agudos). Por otro lado, en la práctica, se recomienda colocar el material en forma de zigzag con objeto de tener una distancia variable entre el mismo y la pared y, de esta forma, suavizar las irregularidades del coeficiente de absorción. Es el caso de las cortinas con un elevado porcentaje de fruncido (del orden del 180%).

En aquellos recintos donde no existe suficiente superficie disponible para

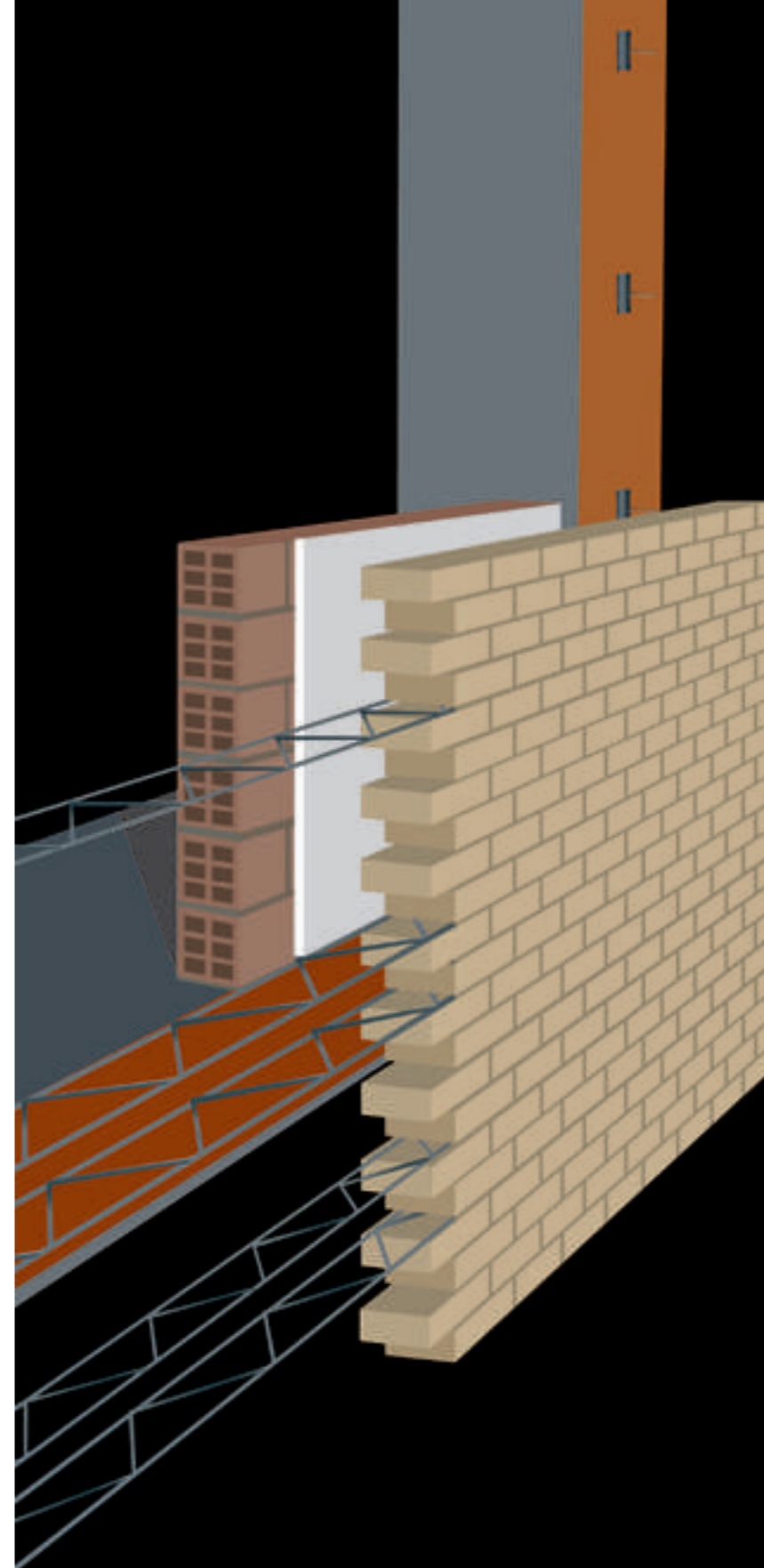
Los materiales absorbentes se utilizan generalmente para obtener el tiempo de reverberación más adecuado, prevenir o eliminar ecos y/o reducir el nivel sonoro en espacios ruidosos

RE.INVENTA EL LADRILLO CARA VISTA

Fachada Ventilada y Autoportante

LAS VENTAJAS DE UN SISTEMA CONSTRUCTIVO INNOVADOR Y MODERNO

- Estabilidad y resistencia garantizadas por cálculo
- Se evitan los puentes térmicos
- Mejoran las condiciones para cualquier grado de impermeabilidad (hasta grado 5)
- Permite construir la fachada ventilada más económica del mercado



STRUCTURA

innovación elemental

www.estructura.es



Centro para Desconectados "Arco Iris" OVIEDO
ARQUITECTO: Antonio Muxika & Marije Berntzen
PROMOTOR: HINDEMA

50 Viviendas VPO en
Magalona MADRID
ARQUITECTO: D. Andrés Peña
CONSTRUCTORA: TECNOSA

86 viviendas en El Berzal
GETAFE (MADRID)
ARQUITECTO: Carlos Expósito
CONSTRUCTORA: CMS

Colegio Mendizábal DfB. Los Arenales, El César (GUADALAJARA)
ARQUITECTO: Alberto Martín de Lucio
(Martín de Lucio Arquitectos)
CONSTRUCTORA: Tumbal Proyectos y Obras, S.L.

el montaje de la cantidad de material absorbente necesaria, o bien, donde es imprescindible aumentar la superficie de absorción más allá de la estrictamente asociada a las superficies límite, se suele recurrir a la utilización de materiales absorbentes suspendidos del techo. Dichos materiales se suelen utilizar en espacios de dimensiones medias o grandes, como por ejemplo comedores, talleres, fábricas y polideportivos.

5.1.3. Protección de los materiales absorbentes

En muchas ocasiones, resulta conveniente cubrir los materiales absorbentes por la cara expuesta al recinto. Los principales motivos se hallan entre los siguientes:

- En el curso del tiempo, algunos materiales desprenden partículas que pueden llegar a contaminar el aire de la sala.
- Si los materiales están al alcance del público, existe el peligro de que puedan resultar dañados.
- El arquitecto habitualmente desea ocultarlos por razones eminentemente estéticas.

A continuación se indican los recubrimientos más comúnmente utilizados:

- Velo acústicamente transparente.
- Placa rígida de mortero poroso a base de gránulos de mármol, de piedras naturales, o de cuarzo pigmentado.
- Placa de viruta de madera fina aglomerada con magnésita o cemento.



Centro de Congresos Magma en Tenerife. Foto: Audioscan

También se utilizan muy a menudo los siguientes recubrimientos, dando lugar a los denominados absorbentes selectivos o resonadores acústicos:

- Lámina de plástico o de papel.
- Panel perforado o ranurado de madera, chapa metálica o yeso laminado.
- Ladrillo perforado o ranurado.
- Listones de madera dispuestos en paralelo.

5.1.4. Elementos absorbentes selectivos (resonadores acústicos)

Por regla general, los materiales absorbentes de espesor estándar se montan directamente sobre una pared rígida, y es por ello que presentan una pobre absorción a bajas frecuencias. Al

separarlos de la pared, se produce una notable mejora de la absorción a dichas frecuencias.

De todas formas, si se pretende obtener una gran absorción a frecuencias bajas con objeto de reducir sustancialmente los valores del tiempo de reverberación, es preciso hacer uso de absorbentes selectivos o resonadores acústicos. Se trata de elementos que presentan una curva de absorción con un valor máximo a una determinada frecuencia. Dicha frecuencia recibe el nombre de frecuencia de resonancia, y depende de las características tanto físicas como geométricas del resonador.

Los resonadores pueden utilizarse de forma independiente, o bien como complemento a los materiales absorbentes. Básicamente, existen los siguientes tipos de resonadores:

- de membrana o diafragmático.
- simple de cavidad (Helmholtz).
- múltiple de cavidad (Helmholtz) a base de paneles perforados o ranurados.
- múltiple de cavidad (Helmholtz) a base de listones.
- a) Resonador de membrana o diafragmático

Está formado por un panel de un material no poroso y flexible, como por ejemplo la madera, montado a una cierta distancia de una pared rígida con objeto de dejar una cavidad cerrada de aire entre ambas superficies.

Cuando una onda sonora incide sobre el panel, éste entra en vibración como respuesta a la excitación producida.



Auditori y Palau de Congressos de Girona. Foto: Audioscan

audioscan

ingeniería acústica y audiovisual

diseño acústico de recintos

aislamiento acústico

impacto acústico de actividades

acústica industrial y medioambiental

diseño de sistemas audiovisuales

C/ Balmes, 319, 3º B - 08006 Barcelona - Tel. +34 932 023 211 - info@audioscan.es

www.audioscan.es

Dicha vibración, cuya amplitud depende principalmente de la frecuencia del sonido, provoca una cierta deformación del material y la consiguiente pérdida de una parte de la energía sonora incidente, que se disipa en forma de calor. Por otra parte, aunque también produce una pequeña radiación, a efectos prácticos resulta ser totalmente inaudible.

Habitualmente, la cavidad de aire se rellena parcial o totalmente con un material absorbente, del tipo lana de vidrio o lana de roca, con objeto de aumentar la absorción de forma sustancial.

Por otra parte, anteriormente se ha comentado que los materiales absorbentes se recubren a menudo con un revestimiento protector, con lo cual se convierten en resonadores. Uno de los recubrimientos habituales es la lámina de plástico o de papel, y el tipo de resonador creado es lógicamente de membrana. Es el caso, por ejemplo, de un material absorbente formado por un panel rígido de lana de vidrio aglomerada con resinas termoendurecibles, recubierto en una de sus caras por una película elástica acústicamente transparente. Si en lugar de recubrirlo con una película elástica se protege con una película de PVC, o bien con un complejo de papel Kraft aluminio, el material se convierte en un resonador de membrana.

Ambos recubrimientos ofrecen las siguientes ventajas:

- Constituyen una barrera eficaz contra el vapor de agua.
- Tienen un elevado poder de reflexión de la luz.
- No precisan de recubrimiento adicional.

Finalmente, cabe comentar que todo lo expuesto anteriormente sirve para desmentir la falsa creencia popular de que los paneles delgados de madera utilizados como revestimientos de paredes, o bien, los falsos techos a base de yeso laminado delgado, son favorables para la buena acústica de una sala debido al efecto de "amplificación" del sonido que producen cuando entran en "resonancia".

b) Resonador simple de cavidad (Helmholtz)

Está formado por una cavidad cerrada de aire conectada a la sala a través de una abertura o cuello estrecho. El comportamiento de este tipo de resonador es muy selectivo, es decir, presenta una absorción muy elevada a

la frecuencia de resonancia, decreciendo bruscamente en cuanto la frecuencia considerada se aparta de aquélla. Con objeto de suavizar la curva de absorción anterior es preciso rellenar la cavidad de aire con material absorbente, tipo lana de vidrio o lana de roca. De esta forma, se consigue una absorción útil en un margen más amplio de frecuencias, si bien con una absorción claramente inferior a la frecuencia de resonancia.

El uso de un resonador individual no es habitual en la práctica, ya que la superficie ocupada por el mismo en una sala (coincidente con la sección transversal de la abertura) es extremadamente pequeña. Más bien, se suele utilizar una agrupación de resonadores contiguos.

Lógicamente, a igualdad de dimensiones y formas, la frecuencia de resonancia de todos ellos es la misma, puesto que no existe ningún tipo de conexión entre las diversas cavidades. En cambio, la absorción del conjunto es significativamente mayor debido a que la superficie ocupada por el mismo también lo es.

c) Resonador múltiple de cavidad (Helmholtz) a base de paneles perforados o ranurados

Está formado por un panel de un material no poroso y rígido, en el que se han practicado una serie de perforaciones circulares o ranuras, montado a una cierta distancia de una pared rígida a fin de dejar una cavidad cerrada de aire entre ambas superficies.

En la práctica, dos de los tipos de resonadores múltiples de cavidad más utilizados son aquellos que disponen de un panel con perforaciones circulares y los que presentan un panel con ranuras.

Por otra parte, debido al efecto de acoplamiento entre los diferentes orificios, este tipo de resonador es menos selectivo que el resonador simple, es decir, la curva de absorción en función de la frecuencia es más amplia.

En general, cuando se utiliza un resonador múltiple de cavidad, tanto si el panel está perforado como si está ranurado, resulta aconsejable rellenar la cavidad de aire existente con un material absorbente, tipo lana de vidrio o lana de roca. De esta forma, se obtiene un mayor grado de absorción a todas las frecuencias.

Analizado bajo otro punto de vista, la existencia de un panel perforado o ranurado delante de un material absorbente puede ser considerada como una forma de protección de dicho material.

Obviamente, dicha protección produce un efecto negativo, ya que conlleva una pérdida de absorción a altas frecuencias (agudos) en relación con la propia del material absorbente. Sin embargo, con la creación del sistema resonante se consigue un determinado incremento de absorción a la frecuencia de resonancia (habitualmente se trata de una frecuencia baja o media) en comparación con la del material sin protección.



Gran Teatre del Liceu en Barcelona. Foto: Audioscan

by getzner
sylomer®

Edificios
libres de vibraciones



La mayoría de los problemas de ruido y vibración estructural se pueden solucionar con **Sylomer**.

Sylomer es un poliuretano especial que responde a estos requisitos y se utiliza en numerosas aplicaciones en la ingeniería civil e industrial. En la mayoría de estas aplicaciones, se emplea como intercapa similar a un resorte.

Las características de este resorte pueden adecuarse a las exigencias de la aplicación o al método de construcción, mediante la elección apropiada del tipo de **Sylomer**, de su grosor y de la superficie de apoyo.

Es un material microcelular, por lo tanto no es necesario perfilar o dejar espacios libres para su expansión, como sucede con los elastómeros compactos.

La curva de deformación por carga es degresiva, de baja deformación, se trata de un material con una gran capacidad de absorción de las vibraciones y una mínima amplificación de la resonancia.

Lleva más de 3 décadas aplicándose. Mediciones reales sobre aplicaciones existentes, indican que no se producen cambios relevantes en el comportamiento dinámico del mismo. Además es un material rápido de colocar y pegar, es resistente a aceites, ácidos diluidos y bases, y mantiene su elasticidad a bajas temperaturas.

Todos los materiales **Sylomer** son validados con un test dinámico previo envío, y además los siguientes institutos han dado fe de sus excelentes propiedades antivibratorias: Universidad técnica de **Munich**, Instituto federal de Viena, el Instituto federal de Fraunhofer de **Stuttgart** y la CSTB de Grenoble Francia.



Apoyo todo superficie



Apoyo bajo zapatas



Apoyo bajo zapatas corridas



Polígono zona A parcela 35
E-20.159 ASTEASU (Gipuzkoa) Spain
Tel.: + 34 943 69 61 02
Fax: + 34 943 69 62 19
e-mail: ventas@amcsa.es
www.mecanocaucho.com

Los paneles perforados o ranurados integrantes de los resonadores múltiples de cavidad suelen ser de alguno de los siguientes materiales:

- madera.
- yeso laminado.
- chapa metálica.
- ladrillo.

Finalmente, conviene tener presente que los paneles utilizados como parte integrante de los resonadores múltiples de cavidad sólo podrán ser pintados en el caso de que exista la certeza absoluta de que las perforaciones o ranuras no resultarán obstruidas. De lo contrario, el grado de absorción se verá fuertemente reducido.

d) Resonador múltiple de cavidad (Helmholtz) a base de listones

Está formado por un conjunto de listones del mismo espesor, equiespaciados y montados a una cierta distancia de una pared rígida con objeto de dejar interpuesta una cavidad cerrada de aire.

El comportamiento de este tipo de resonador es totalmente equivalente al del resonador múltiple a base de paneles, en cuanto a las características de absorción con y sin material absorbente en la cavidad: al rellenar parcial o totalmente la cavidad de aire con un material absorbente, la absorción aumenta a todas las frecuencias.

5.2. Reflexión del sonido

El diseño específico de elementos reflectores en una sala posibilita la aparición de primeras reflexiones útiles en la zona de público. Dichos elementos están constituidos por materiales lisos, no porosos y totalmente rígidos, capaces de reflejar la mayor parte de la energía sonora que incide sobre ellos.

Ahora bien, no todas las salas precisan de este tipo de reflexiones. De hecho, sólo resultan ser necesarias, y en ocasiones imprescindibles, en salas destinadas a la palabra (teatros y salas de conferencias sin sistema de sonorización) y a la música no amplificada (salas de conciertos).

En primer lugar, al hablar de reflexiones útiles, es preciso distinguir precisamente entre salas destinadas a la palabra y salas de conciertos.

En el primer caso, se entiende por reflexiones útiles todas aquellas que llegan al receptor dentro de los primeros 50 ms desde la llegada del sonido directo. Dichas reflexiones, al ser integradas por el oído humano junto



Foto: Armstrong

con el sonido directo, contribuyen a mejorar la inteligibilidad de la palabra y a incrementar la sonoridad en el punto considerado. Se trata de las denominadas primeras reflexiones útiles, según se ha comentado con anterioridad.

En el caso de salas de conciertos, la definición anterior sigue siendo válida, con la salvedad de que el intervalo temporal se amplía hasta los 80 ms.

En la práctica, cualquier superficie de una sala es susceptible de generar reflexiones más o menos intensas, en función del grado de absorción que presente. La única superficie que teóricamente no generaría reflexiones sería aquella que estuviese provista de un revestimiento ideal totalmente absorbente a todas las frecuencias ($\alpha = 1$).

Ahora bien, de todas las superficies existentes en un recinto, tan sólo algunas de ellas están específicamente diseñadas para generar primeras reflexiones útiles hacia la zona de público, es decir, para actuar como elementos reflectores del sonido. El resto de superficies, con independencia de si se trata de superficies absorbentes o reflectantes, únicamente contribuyen a la obtención del tiempo de reverberación deseado en cada caso. Incluso en aquellos casos en que la forma y/o la ubicación de las superficies poco absorbentes sean incorrectas, puede ocurrir que aparezcan ecos, totalmente contraproducentes desde un punto de vista acústico.

Una de las condiciones básicas para que un elemento se comporte como un reflector de sonido, es que su superficie sea lisa. Por lo tanto, se puede pensar que un elemento plano y liso se comportará como un buen reflector. Ello es cierto, siempre y cuando sus dimensiones no sean demasiado grandes, ya que en tal caso, pueden tener lugar las siguientes anomalías, habitualmente asociadas a teatros y salas de conciertos:

- Coloración del sonido: realce o atenuación manifiesta de las frecuencias que componen su espectro como resultado de la combinación entre el sonido directo y el sonido reflejado por dichas superficies.

- Desplazamiento de la fuente sonora: el sonido parece proceder de la superficie reflectante en lugar de provenir del escenario, es decir, tiene lugar un efecto de falsa localización de la fuente sonora.

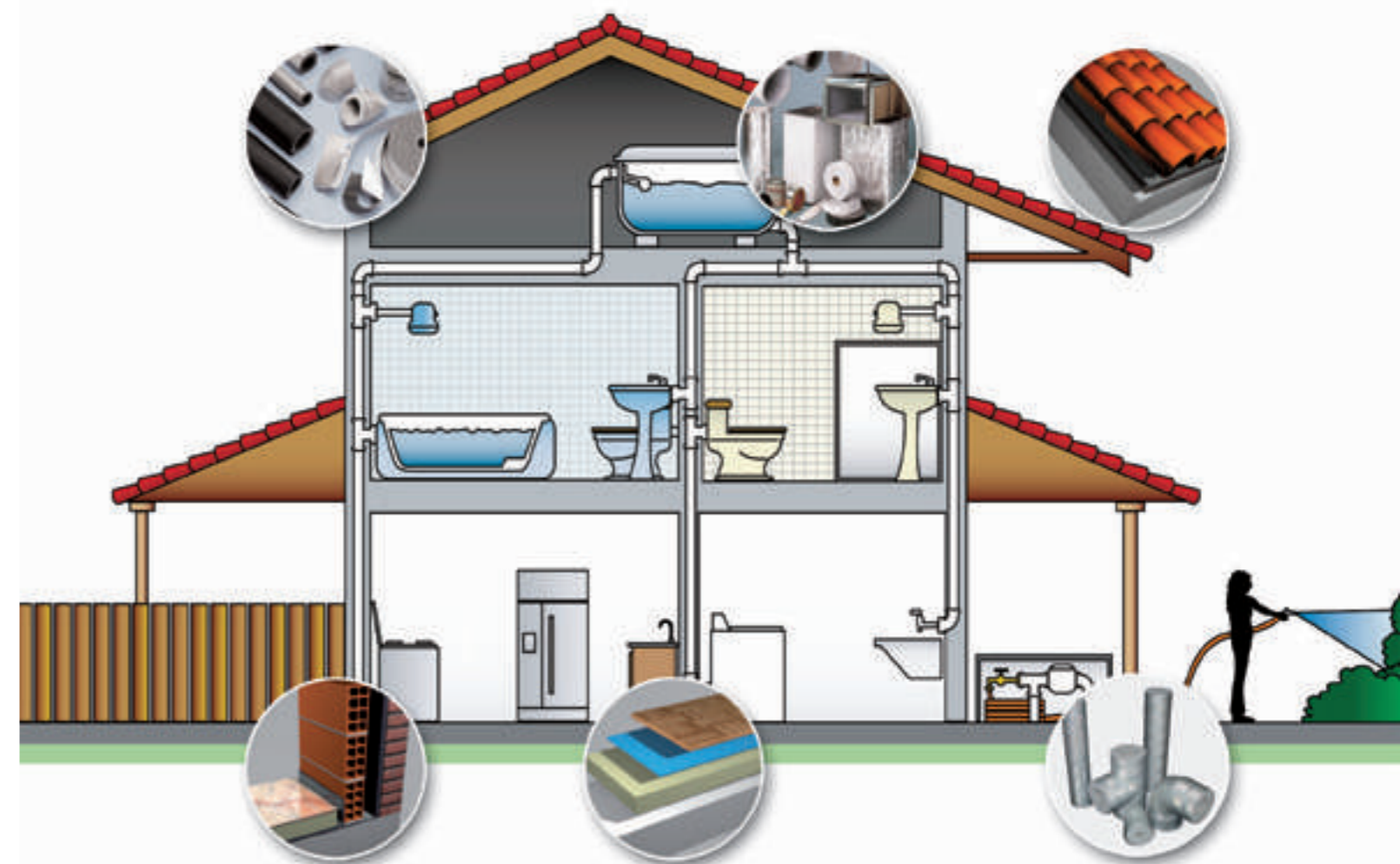
El riesgo de la aparición de estos defectos potenciales puede ser minimizado si se disminuye el nivel de sonido reflejado. Ello se puede conseguir dando una forma convexa al elemento o elementos reflectores.

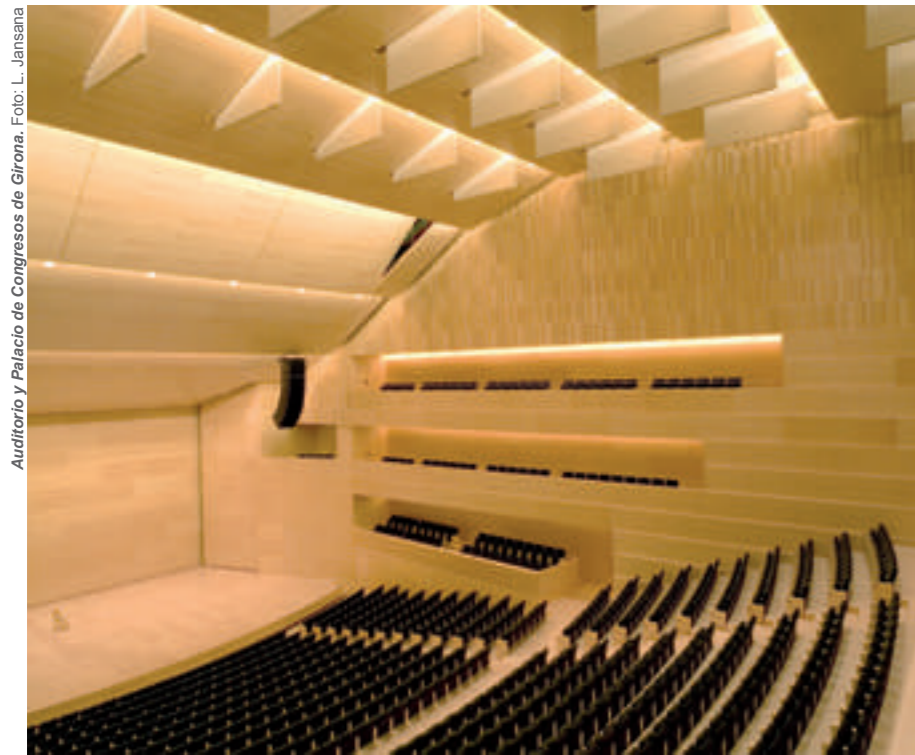
Los reflectores de perfil convexo dispersan el sonido en mayor proporción que los reflectores planos, es decir, abarcan una mayor zona de cobertura, si bien en cada punto de dicha zona el nivel de sonido reflejado es menor. En la práctica, para que un reflector convexo



foaminfunction

Aislantes que protegen cada rincón del hogar





cumpla su función de manera óptima, es preciso que su radio de curvatura sea mayor que 5 m. Para radios menores, el elemento deja de actuar como reflector y tiende a comportarse como un difusor del sonido.

Desde un punto de vista geométrico, la dirección del sonido reflejado sobre una superficie curva coincide con la dirección de la reflexión especular sobre el plano tangente al punto de reflexión. Ello es equivalente a decir que el ángulo de incidencia y el de reflexión son iguales, con respecto a la dirección del radio de curvatura.

Por contra, la existencia de superficies cóncavas da lugar a un efecto de focalización del sonido reflejado, es decir, a una concentración del mismo en una zona más reducida, si bien con un nivel mucho más elevado. Es el denominado "sonido focalizado". A menudo, ocurre que la energía asociada a dicho sonido es incluso superior a la correspondiente al sonido directo.

De todas maneras, no todas las superficies cóncavas son susceptibles de crear focalizaciones. En efecto, las superficies con un elevado grado de concavidad y suficientemente separadas del escenario actúan normalmente como dispersoras o difusoras del sonido. La regla para saber si una superficie cóncava crea difusión del sonido en

lugar de producir focalizaciones es muy simple: cuando ni la fuente sonora ni el receptor están situados dentro de la esfera creada a partir de la prolongación de la mencionada superficie, entonces tiene lugar dicha dispersión.

Finalmente, cabe señalar que en la práctica, tanto los reflectores planos bien dimensionados como los convexos funcionan correctamente a frecuencias medias y altas (medios y agudos), resultando poco eficaces a bajas frecuencias (graves).

5.3. Difusión del sonido

La difusión del sonido en una sala se consigue mediante la colocación de elementos expresamente diseñados para dispersar, de forma uniforme y en múltiples direcciones, la energía sonora que incide sobre los mismos.

La necesidad de disponer de una óptima difusión del sonido es exclusiva de las salas de conciertos, aunque existen determinados tipos de difusores que también son ampliamente utilizados en estudios de grabación.

La existencia de difusión de sonido en las salas de conciertos significa que la energía asociada a la cola reverberante llega a los oídos de los espectadores por un igual desde todas las direcciones del espacio. Ello contribuye a crear un

sonido altamente envolvente y, por lo tanto, a aumentar el grado de impresión espacial existente. Cuanto mayor sea el grado de impresión espacial, mejor será la valoración subjetiva de la calidad acústica del recinto en cuestión.

En ocasiones, la difusión también es utilizada para eliminar alguna de las anomalías que pueden aparecer, tanto en recintos destinados a la palabra como en salas de conciertos. Dichas anomalías puede ser en forma de coloraciones, ecos o focalizaciones del sonido.

Comparando los efectos producidos por un material absorbente, un elemento reflector y un elemento difusor, resulta que:

- En el caso del material absorbente, la energía reflejada es mínima.
- En el caso del elemento reflector, la energía reflejada es mucho mayor y está concentrada alrededor de la dirección de la reflexión especular.
- En el caso del elemento difusor, la energía reflejada es elevada y está repartida de forma uniforme en todas las direcciones de reflexión.

Si bien cualquier superficie produce un cierto grado de difusión, la existencia de ornamentación, irregularidades y relieves en una sala provoca un notable incremento de la difusión en la misma. Es el caso de las salas de conciertos clásicas, repletas de molduras decorativas, estatuas y techos artesonados. Es por ello que actualmente existen diferentes tipos de difusores contruidos a base de superficies irregulares, de acuerdo con secuencias matemáticas previamente fijadas. De todas formas, hay que tener presente que solamente existe una óptima difusión en un margen de frecuencias determinado y que dicho margen depende de las dimensiones del difusor.

Seguidamente se exponen los tipos más representativos de elementos difusores específicamente diseñados para crear difusión del sonido en una sala.

5.3.1. Difusores policilíndricos

Los difusores policilíndricos consisten en un conjunto de superficies lisas de forma convexa dispuestas secuencialmente y con un radio de curvatura inferior a, aproximadamente, 5 m. Habitualmente, el material empleado para su construcción suele ser la madera.

Al reducir el radio de curvatura por debajo de los 5 m, la zona de cobertura

aumenta de tal manera que el sonido reflejado ya no puede ser concentrado sobre la zona de público. El reflector se convierte en difusor.

5.3.2. Difusores de Schroeder

Aparte de las superficies irregulares y de los difusores policilíndricos, existen una serie de elementos que, en ocasiones, se colocan por delante de las superficies límite de la sala (paredes o techo) y que están específicamente diseñados para actuar como superficies difusoras de sonido, en un margen de frecuencias determinado. Todos ellos tienen su origen en la denominada teoría de los números, desarrollada por el prestigioso investigador alemán Manfred R. Schroeder. Los difusores de Schroeder se denominan genéricamente RPG ("Reflection Phase Grating"). El elemento básico empleado en la construcción de los RPG utilizados en salas de conciertos es la madera. Los tipos de difusores RPG más relevantes son los siguientes:

- Difusores QRD ("Quadratic-Residue Diffusor").
- Difusores MLS ("Maximum Length Sequence").

6. Diseño acústico de recintos

El diseño acústico debe ser incorporado en todos aquellos proyectos de edificación relativos a espacios de concurrencia pública o privada con un grado habitual de ocupación medio o elevado. Es el caso, por ejemplo, de restaurantes, comedores escolares, bibliotecas, fábricas, estaciones de ferrocarril, aeropuertos, espacios de uso deportivo, aulas, salas de conferencias, cines y, por supuesto, teatros, salas de conciertos y espacios multifuncionales.

6.1. Objetivos acústicos a cumplir

En general, los objetivos acústicos básicos a cumplir son los siguientes:

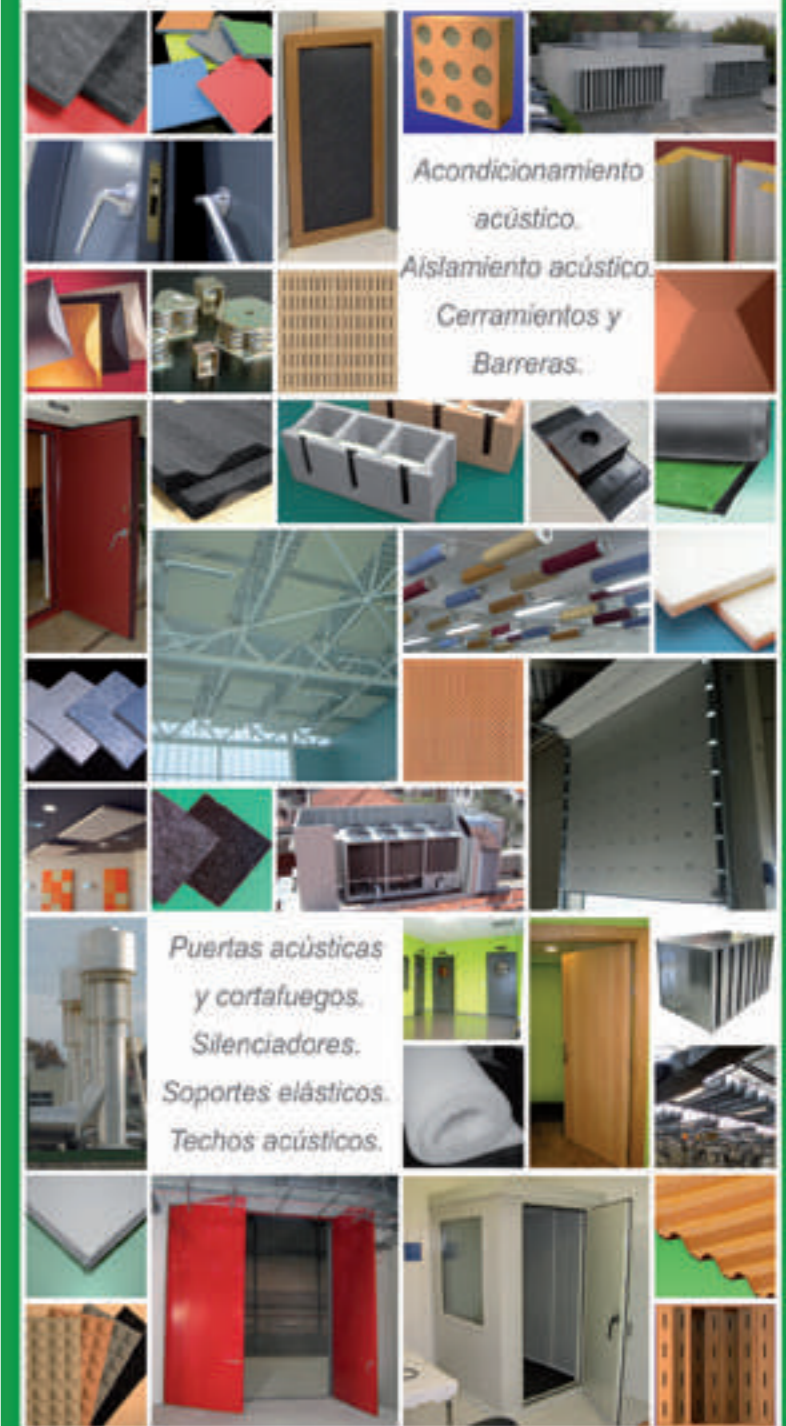
- Garantizar la existencia de confort acústico.
- Asegurar una correcta inteligibilidad de la palabra.
- En el caso de teatros y salas de conciertos, conseguir, además, una sonoridad suficientemente elevada (sonoridad = grado de amplificación producido por la sala).
- Exclusivamente en el caso de salas de conciertos, conseguir una elevada impresión espacial del sonido (impresión espacial = sensación de sonido envolvente).

El hecho de que exista confort acústico significa que el campo sonoro existente no generará ninguna molestia significativa a las personas o espectadores presentes en el recinto considerado. Además, la existencia de confort acústico es indicativa de que el grado de inteligibilidad será más bien alto, aunque no supone una garantía absoluta de que sea óptimo. La obtención de una correcta inteligibilidad de la palabra es imprescindible en todos aquellos recintos donde la comprensión del mensaje oral sea de capital importancia (teatros, salas de conferencias, aulas, etc.), pero también necesaria en espacios de pública concurrencia como, por ejemplo, bares y restaurantes, al menos entre interlocutores próximos.

Para conseguir un adecuado confort acústico, a la vez que una correcta inteligibilidad de la palabra, es preciso que:

Productos acústicos

La gama más amplia de materiales para solución y tratamiento de todos los problemas de ruido.



Soluciones profesionales


Acústica Integral

Insonorización

902 160 585

www.acusticaintegral.com

Barcelona | Bilbao | Madrid | Valencia

– El ruido de fondo existente en la sala sea suficientemente bajo (se considera ruido de fondo todo aquel ruido que se percibe en una sala cuando en la misma no se realiza ninguna actividad. Dicho ruido puede ser el producido por el sistema de climatización, por las demás instalaciones eléctricas y/o hidráulicas, o bien, el ruido proveniente del exterior del recinto).

– El nivel de campo reverberante sea, igualmente, suficientemente bajo (la zona de campo reverberante es aquella donde predomina el sonido reflejado, y a ella pertenecen todos los puntos situados a una distancia de la fuente sonora superior a la denominada distancia crítica D_c).

– No existan ecos, ni focalizaciones del sonido, ni eco flotante (repetición múltiple, en un breve intervalo de tiempo, de un sonido generado por una fuente sonora, y aparece cuando ésta se sitúa entre dos superficies paralelas, lisas y muy reflectantes).

Según se acaba de comentar, uno de los requisitos básicos para conseguir un buen confort acústico y una correcta inteligibilidad de la palabra es que el nivel de campo reverberante sea suficientemente bajo.

Si el espacio objeto de estudio está escasa o nulamente tratado con materiales absorbentes (espacio excesivamente “vivo”), el nivel de campo reverberante resultará muy alto, ya que el tiempo de reverberación del mismo será demasiado elevado. Ello significa que la distancia crítica D_c será pequeña. Por lo tanto, a poco que uno se aleje de la fuente sonora, se hallará dentro de la zona de campo reverberante donde la inteligibilidad de la palabra no es buena.

Esta situación se puede producir, por ejemplo, en un restaurante sin ningún tipo de tratamiento acústico. En tal caso, es probable que incluso una persona (receptor) sentada en la misma mesa que otra persona que esté hablando (emisor), se encuentre en la zona de campo reverberante de esta última. De hecho, hay que tener presente que el nivel de campo reverberante existente no sólo se deberá al emisor en cuestión, sino a todas las personas de otras mesas que estén hablando simultáneamente. En esta situación, la dificultad de comprensión hará que el emisor hable más fuerte. Dicha reacción será adoptada por todos los emisores, con lo cual el nivel total de campo reverberante todavía aumentará más, incluso en mayor proporción que el sonido directo debido al emisor en cuestión. El efecto resultante de todo ello será una pérdida adicional de confort acústico, además de una posible irritación de las cuerdas vocales por el hecho de tener que elevar excesivamente el tono de voz. Dicho fenómeno, lamentablemente tan frecuente hoy en día, recibe el nombre de efecto “cocktail party”.

Al tratar acústicamente y de forma adecuada el espacio en cuestión, se producirá una disminución del tiempo de reverberación y, por consiguiente, una disminución del nivel de campo reverberante y un aumento de la distancia crítica D_c (más puntos dentro de la zona de campo directo). Lógicamente, todo ello redundará en beneficio del confort acústico y de la inteligibilidad de la palabra.

Ahora bien, debido a la relación directa entre nivel de campo reverberante y tiempo de reverberación, el objetivo a cumplir desde un punto de vista cuantitativo se fija siempre sobre

este último parámetro. Con objeto de conseguir que, en cada espacio tipo considerado, exista un nivel de campo reverberante suficientemente bajo, es necesario que el valor promediado del tiempo de reverberación a frecuencias medias (RT_{mid}), considerando un elevado grado de ocupación del mismo, se halle dentro de unos márgenes prefijados.

En concreto, el valor de RT_{mid} recomendado para recintos de uso deportivo con volúmenes situados entre 1.000 m^3 y 100.000 m^3 se sitúa entre 1 s y 3 s.

En el caso de salas de conferencias/aulas, el valor de RT_{mid} recomendado, considerando volúmenes situados entre 100 m^3 y 10.000 m^3 , se halla entre 0,7 s y 1 s.

Por otro lado, es conveniente que la variación de dicho valor con el grado de ocupación de la sala sea lo menor posible, con objeto de independizar al máximo sus características acústicas del número de personas presentes en cada caso.

A igualdad de volumen, los valores de RT_{mid} recomendados para salas de conferencias/aulas son algo inferiores a los correspondientes a recintos deportivos. Ello se debe a que el grado de inteligibilidad de la palabra deseable en una sala de conferencias o en un aula es superior al correspondiente a un espacio de uso deportivo, y dicho grado de inteligibilidad aumenta a medida que el tiempo de reverberación obtenido es menor.

En cuanto al resto de espacios (excluyendo los teatros y salas de conciertos), no es posible dar un único valor de RT_{mid} para cada volumen. Como norma a seguir, se recomienda utilizar el criterio

Conservatorio del Liceu en Barcelona. Foto: Audioscan



correspondiente a salas de conferencias/aulas para aquellos espacios donde la inteligibilidad sea de capital importancia, y el asociado a espacios de uso deportivo cuando sea suficiente un grado de inteligibilidad aceptable.

Por otra parte, hay que tener presente el posible uso de algunos de dichos espacios como recintos multifuncionales (por ejemplo, un polideportivo usado como espacio para conciertos de rock). En dichos casos, a nos ser que se planteen soluciones basadas en la

acústica variable, es necesario fijar como objetivo un valor de RT_{mid} intermedio, en función de las actividades previstas.

En el caso de teatros, considerando volúmenes entre 100 m^3 y 10.000 m^3 , el valor de RT_{mid} recomendado para la sala ocupada está comprendido, aproximadamente, entre 0,7 s y 1,2 s.

El diseño de teatros con valores de RT_{mid} claramente fuera del margen anterior resulta totalmente desaconsejable. Si dicho valor es demasiado elevado

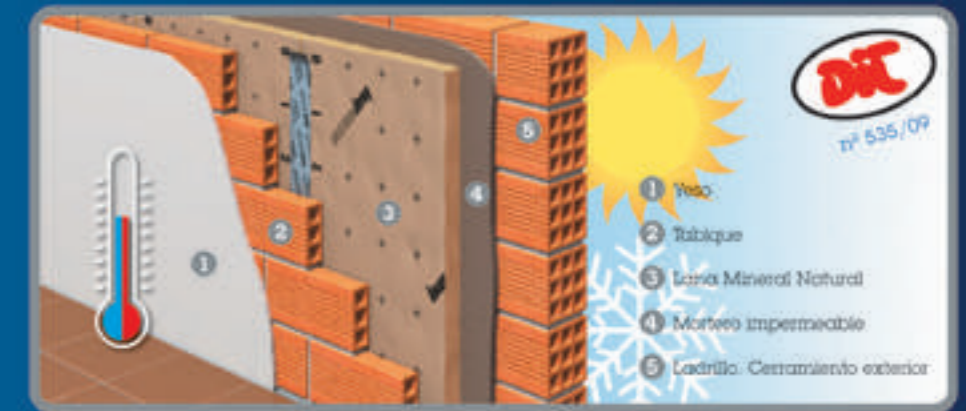
($RT_{mid} \geq 1,5$ s), la sala resultará excesivamente “viva” para su utilización como teatro y, en cambio, probablemente adecuada para actividades musicales. Por contra, un RT_{mid} inferior a 0,5 s dará lugar a salas excesivamente “secas”, con la consiguiente falta de confort acústico y de nivel sonoro, en especial en los puntos más alejados del escenario, a pesar de que la inteligibilidad será con toda probabilidad correcta.

Finalmente, en el caso de salas de conciertos, considerando

Máxima eficiencia energética

Con Lana Mineral Natural

Más sostenible y ecológico



Sistema integral de aislamiento térmico Gecol-Knauf Insulation con contribución a la impermeabilización

- Excelente conductividad térmica y protección acústica.
- Instalación garantizada por una red de Empresas Instaladoras Autorizadas.

www.knaufinsulation.es
Tel.: 93 379 65 08
www.gecol.es
Tel.: 902 41 41 20

Juntos para mejorar sistemas

GECOL
la mejor opción

KNAUF INSULATION
Life is hard, do it better together!





NUESTRA EXPERIENCIA A SU SERVICIO

SISTEMAS INNOVADORES PARA LA COLOCACIÓN DE CERÁMICA Y PIEDRA NATURAL

En Schlüter®-Systems sabemos que la cualificación profesional es importante para resolver con éxito la ejecución de un proyecto.

Por ello, estamos apostando por la formación teórica y práctica dirigida al profesional del sector de la cerámica, que unida a nuestros avances en el desarrollo de soluciones constructivas nos mantienen líderes en el mercado.

Compartimos nuestra experiencia y conocimiento para crecer y mejorar juntos.

Más información en: formacion@schluter.es



PERFILES CON INNOVACIONES

www.schluter.es



Auditorio y Palacio de Congresos de Girona. Foto: Audioscan

Si el espacio objeto de estudio está escasa o nulamente tratado con materiales absorbentes, el nivel de campo reverberante resultará muy alto, ya que el tiempo de reverberación del mismo será demasiado elevado.

volúmenes entre, aproximadamente, 10.000 m³ y 30.000 m³, el valor de RT_{mid} correspondiente a una sala ocupada destinada a un amplio repertorio de música sinfónica debe estar comprendido entre 1,8 s y 2,0 s.

Para música de cámara, el valor óptimo en condiciones de plena ocupación se halla entre 1,3 s y 1,7 s, mientras que para un teatro de ópera (sala ocupada) se encuentra entre 1,2 s y 1,6 s.

6.2. Criterios generales de diseño en relación con el tiempo de reverberación

A continuación se exponen los criterios generales de diseño de diferentes espacios tipo en relación con el tiempo de reverberación.

6.2.1. Restaurantes, comedores escolares, bibliotecas, fábricas, estaciones de ferrocarril, aeropuertos, espacios de uso deportivo, aulas y salas de conferencias

Una vez conocido o fijado el volumen del espacio en cuestión, es preciso definir las superficies que deberán ser tratadas acústicamente y los materiales absorbentes a utilizar, a fin de que el tiempo de reverberación medio RT_{mid} en condiciones de ocupación elevada, se halle dentro de los márgenes anteriormente establecidos. En principio, con independencia de la tipología considerada, las superficies óptimas a tratar son el techo (o falso techo) y las partes superiores de las paredes.

En el caso de que el valor calculado de RT_{mid} (el proceso de cálculo se puede consultar en el libro referenciado al inicio del artículo) esté situado dentro de los márgenes preestablecidos, el proceso de elección de materiales habrá finalizado. En caso contrario, habrá que introducir las modificaciones oportunas hasta lograr el objetivo planteado. Si el valor de RT_{mid} es demasiado alto, habrá que cambiar uno o varios de los materiales propuestos, por otros más absorbentes.

Otra posibilidad consiste en tratar más superficies de las inicialmente previstas. Si, por contra, dicho valor está por debajo del recomendado, entonces habrá que actuar en sentido contrario, es decir, será preciso utilizar materiales con una absorción menor o, alternativamente, disminuir el número de superficies tratadas.

6.2.2. Teatros

Desde un punto de vista práctico, la relación entre el volumen (V) y el número de asientos (N) de un teatro debe hallarse entre 4 y 6, es decir, es preciso disponer de 4 m³ a 6 m³ por asiento.

Por otra parte, para conseguir unas condiciones acústicas óptimas en los teatros de proscenio, es conveniente no sobrepasar la cifra de las 1.500 localidades. En tal caso, el volumen óptimo se halla entre 6.000 m³ y 9.000 m³ y el tiempo de reverberación medio RT_{mid} recomendado para la sala ocupada se sitúa entre 1,1 s y 1,2 s.

Para un teatro de capacidad media (en torno a las 500 localidades), el volumen adecuado se encuentra entre 2.000 m³ y 3.000 m³, mientras que el RT_{mid} para la sala ocupada está situado en torno a 1 s.

Por otra parte, los volúmenes habituales asociados a teatros son sustancialmente menores que los correspondientes a salas de conciertos. Por lo tanto, a la hora de diseñar un teatro no es necesario pensar en un techo elevado, como sucede cuando se plantea el diseño de una sala de conciertos.

6.2.3. Salas de conciertos

La mayor parte de las salas de conciertos de música sinfónica más prestigiosas del mundo tienen un volumen situado entre los 10.000 m³ y los 30.000 m³, con una media del orden de 20.000 m³. En cuanto a su capacidad, oscila entre las 1.000 y las 3.700 localidades, con una media del orden de 2.300 asientos.

Con objeto de garantizar la obtención de una sonoridad correcta, es preceptivo que la superficie ocupada por el público sea lo menor posible. Por razones de confort, en la mayoría de salas construidas en las últimas tres décadas, la relación entre la superficie ocupada por el público y el número de asientos es del orden de 0,5, es decir, 0,5 m² por asiento.

AREXPAN

ARCILLA EXPANDIDA

LIGERA

AISLANTE TÉRMICO AISLANTE ACÚSTICO

Cubiertas inclinadas
Rehabilitación

EL ÁRIDO DEL PARAÍSO

ARCILLAS REFRACTARIAS S.A. - ARCIRESA

**GIL DE JAZ, 15
33004 OVIEDO**

**TELÉFONOS:
+34 985 244 584**

**FAX:
+34 985 257 957**

**APARTADO:
748
33080 OVIEDO**

**E-MAIL:
arciresa@arciresa.es**

Una vez fijado el aforo de la sala y la superficie ocupada por las sillas, orquesta y coro, se debe calcular el volumen necesario para que el tiempo de reverberación medio RT_{mid} de la sala ocupada esté situado entre 1,8 s y 2 s. Desde un punto de vista práctico, para que ello se cumpla, debe ocurrir que la relación entre dicho volumen (V) y el número de asientos (N) se halle entre 8 y 10. Es preciso, pues, reservar de 8 m³ a 10 m³ por asiento.

Al contrario de lo que se creía antiguamente, una vez fijada la superficie ocupada por las sillas, la modificación del número de las mismas no altera significativamente las características acústicas de la sala.

6.2.4. Salas multifuncionales

Si bien es cierto que la utilización de un mismo recinto para diferentes tipos de representaciones tuvo su inicio hace ya varios siglos, no es hasta hace relativamente pocos años que se tiene conciencia de la necesidad de diseñar espacios donde sea posible celebrar actos de índole diversa a plena satisfacción de sus usuarios.

El hecho de conseguir un cierto grado de versatilidad se está convirtiendo en un objetivo básico a cumplir, ya que la existencia de un recinto para un solo uso es un lujo únicamente asumible en casos excepcionales



Conservatorio del Liceu en Barcelona. Foto: Audioscan

El hecho de conseguir un cierto grado de versatilidad se está convirtiendo en un objetivo básico a cumplir, ya que la existencia de un recinto para un solo uso es un lujo únicamente asumible en casos excepcionales. Sirva de ejemplo el montaje de una concha acústica en el escenario de un teatro, cada vez que se celebra un concierto de música sinfónica, con objeto de garantizar unas condiciones acústicas óptimas para los músicos, o bien, el cubrimiento del foso de orquesta a fin de aprovechar el espacio superior para aumentar el aforo cuando la representación no exige la presencia de músicos en el mismo.

Ahora bien, generalmente, ninguno de estos cambios supone una modificación sustancial de las características acústicas del recinto. Desde este punto de vista, la idoneidad de una sala para diferentes usos sólo es posible a través de una acústica variable. Tomando dicha hipótesis como punto de partida, conviene tener presente que para percibir subjetivamente cualquier cambio físico, éste debe ser apreciable. Por ejemplo, la colocación de pequeñas superficies de material absorbente, o la modificación de la inclinación de pequeños paneles reflectantes, no produce ningún efecto significativo. En la práctica, la

manera de constatar si el cambio físico propuesto resulta notorio es a través del conocimiento de los valores del tiempo de reverberación, antes y después de la introducción de la pertinente modificación. En consecuencia, el tiempo de reverberación resulta ser el parámetro más relevante, aunque no único, que se debe tener en cuenta cuando se trabaja con acústica variable.

Por otra parte, el diseño acústico más complejo basado en una acústica variable es el de una sala multifuncional pensada para su utilización como teatro y, alternativamente, como sala de conciertos de música sinfónica. Ello es debido a que ambos usos exigen unas condiciones acústicas opuestas en cuanto a los valores de los tiempos de reverberación óptimos. En efecto, en la utilización como teatro, el tiempo de reverberación RT_{mid} debe ser del orden de 1 s, mientras que para música sinfónica tiene que estar situado alrededor de 2 s. La obtención de un tiempo de reverberación bajo incide favorablemente en el grado de inteligibilidad de la palabra pero, en cambio, no es beneficioso para la música, puesto que la sala resulta excesivamente apagada. Por contra, la disponibilidad de un tiempo de reverberación alto provoca un aumento de la viveza de la sala, a la

vez que una disminución apreciable de la inteligibilidad de la palabra.

La mencionada complejidad en el diseño se debe, además, a que existen una serie de criterios de diseño específicos para cada uso. Por ejemplo, en la utilización como teatro, interesa disponer de una gran cantidad de energía asociada a las primeras reflexiones útiles en comparación con la correspondiente a las reflexiones tardías (cola reverberante), con independencia de la dirección de donde provengan. Sin embargo, en el uso como sala de conciertos, tal relación debe ser menor y, además, las primeras reflexiones deben proceder preferentemente de las paredes laterales con objeto de incrementar la impresión espacial del sonido.

Otro ejemplo de dicha disparidad de criterios lo constituye la difusión de sonido: mientras que en la utilización como sala de conciertos es extremadamente importante disponer de un elevado grado de difusión del sonido, en el uso como teatro la difusión es totalmente irrelevante. En general, se puede afirmar que si mediante una acústica variable es posible hacer un diseño correcto para ambos casos, la sala funcionará de forma igualmente

correcta para cualquier otro uso, ya que los condicionantes acústicos son intermedios. Los diferentes métodos para conseguir una acústica variable están basados en la utilización, o bien, de elementos físicos variables, o bien, de sistemas electrónicos. El objetivo básico perseguido en ambos casos consiste en la modificación adecuada del tiempo de reverberación en función del uso previsto en cada ocasión.

7. Comentario final

El proyecto acústico es, hoy por hoy, pieza clave en el contexto de un proyecto de edificación, ya que permite garantizar un resultado acústico final óptimo sin necesidad de recurrir a la improvisación, ni de tener que emprender acciones correctivas una vez finalizada la obra, con el consiguiente dispendio económico y de tiempo que ello conlleva.

Es de esperar que el grado de concienciación hacia la problemática acústica siga en aumento y que, en un futuro próximo, el consultor acústico pase a formar parte de forma natural del equipo integrante de un proyecto de edificación ya desde sus primeras etapas de gestación.



Palacio de Congresos y Auditorio de Girona. Foto: Audioscan



Más de diez años protegiendo tu entorno

Cuando busques las soluciones de calidad más innovadoras en Impermeabilización y Aislamiento Acústico, confía tu proyecto a un equipo de auténticos especialistas.



ATARTEC Impermeabilización de Cubiertas



SILENFOIL Aislamiento Acústico

Descubre nuestra nueva herramienta para Diseño de Proyectos en www.atarfiledificacion.com

Ctra. de Córdoba, Km 429. Complejo El Rey, E-18230 Atarfe, Granada, Spain.