

1

INFORME ESPECIAL



Acústica

en la Construcción



Teatro Colsubsidio Roberto Arias Pérez

PRESENTACIÓN

El estudio de los fenómenos acústicos en las edificaciones parece estar a la orden del día en nuestro país, pues los fabricantes de productos aislantes no sólo están promoviendo muy activamente sino que han asumido la tarea de ilustrar a los constructores acerca de la teoría y la práctica de la buena acústica.

La empresa Fiberglass, por ejemplo, acaba de inaugurar un Centro de Diagnóstico Acústico donde presta asesoría en este campo y ofrece, además, varios cursos virtuales sobre el tema. Colombit, por su parte, está divulgando activamente las propiedades acústicas de sus materiales para construcción en seco y, en fin, proyectos recientes como la Biblioteca y el Auditorio de la Universidad Jorge Tadeo Lozano en Bogotá han vuelto a poner el tema a la orden del día dentro de las preocupaciones de arquitectos y constructores.

Por ello Construdata resolvió estudiar los elementos básicos de los fenómenos acústicos y su terminología, así como también las respuestas arquitectónicas que se han desarrollado para contrarrestarlos o potenciarlos, buscando divulgar ese conocimiento de la manera más breve y sencilla posible para ilustración de los profesionales que deberán analizarlos y aplicarlos en sus obras.

Para elaborar este estudio entrevistamos a reconocidas autoridades en la materia y ensamblamos un estupendo manual de conocimientos básicos sobre el tema.

CONTENIDO

13. La acústica en la construcción



17. Una buena acústica



28. Materiales para un buen diseño acústico



35. La protección contra ruidos



42. La acústica aplicada en...



La acústica en la construcción

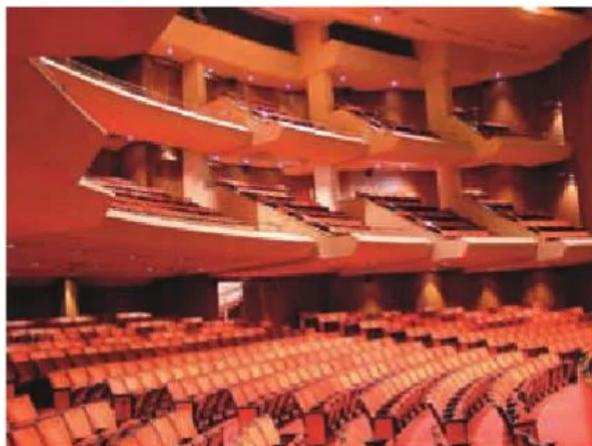
El estudio de la buena acústica y la protección contra los ruidos debería ser un componente obligado de cualquier proyecto arquitectónico, pues los problemas que con ello pueden evitarse y los niveles de confort que pueden lograrse así lo ameritan.

Para el ejercicio de la arquitectura sería de gran utilidad reunir en una sola disciplina –que podría denominarse “diseño físico ambiental”– el estudio de fenómenos físicos como el sonido, la luz y el calor, que interactúan con los espacios arquitectónicos en sus aspectos de función, forma y técnica para definir la habitabilidad y la usabilidad de los proyectos.

En las líneas que siguen se estudiarán los elementos básicos de los fenómenos acústicos y las respuestas arquitectónicas que se han desarrollado para contrarrestarlos o potenciarlos, en un ensayo que esperamos sea el comienzo de nuestro propio manual de diseño físico ambiental.



Universidad de Los Andes



Teatro Colsubsidio Roberto Arias Pérez



Teatro Jorge Eliécer Gaitán

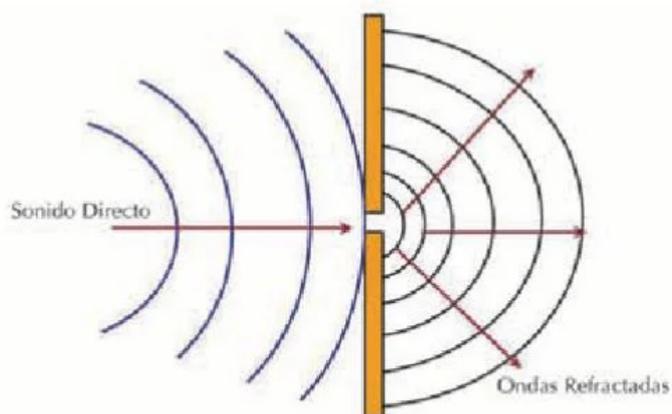
Información, gráficos y fotos: Arquitecto Michel Ewert de Geus. Experto en acústica • Arquitecto Nelson Rojas B. Consultor en acústica aplicada a la arquitectura y catedrático de esta materia en las universidades de América, Jorge Tadeo Lozano y Nacional de Colombia • Ingeniero Mecánico Gonzalo Durán, Gerente Construcciones Acústicas Ltda. • Fiber Glass Colombia S.A. Especialistas en acústica. Ingeniero Fernando Villada. Master en acústica ambiental. Universidad Ramón Llull de Barcelona. • Acondicionamiento acústico de los edificios. Laura Collet, Arturo Maristany y Leandra Abadía. Ediciones Eudecor. Argentina. 1999. • Arquitecto Oscar Gabriel González (Fotos Sala de Conciertos de la Biblioteca Luis Ángel Arango).

Fenómenos físicos que inciden en el estudio acústico

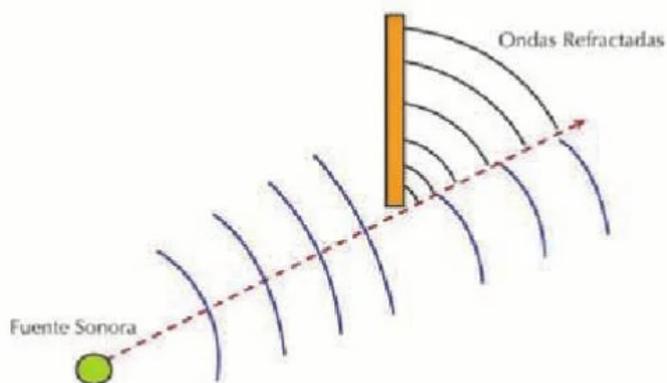
Para entender el comportamiento acústico de los espacios y los materiales es importante conocer algunos fenómenos propios del sonido, como los siguientes:

Difracción

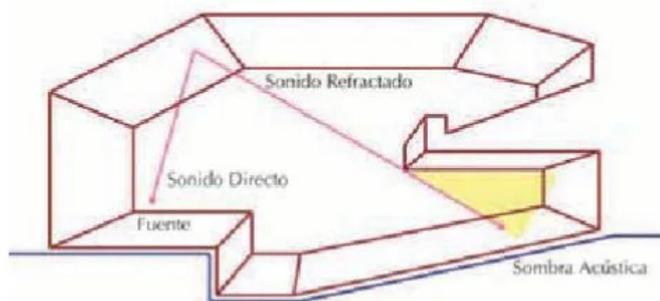
Es el fenómeno físico que indica el cambio de dirección en la propagación de las ondas sonoras cuando la energía incide alrededor de un obstáculo. En otras palabras, la difracción ocurre cuando una onda se extiende luego de pasar junto al borde de un objeto sólido o atravesar una rendija estrecha, en lugar de seguir avanzando en línea recta.



Las ondas de sonido directo se difractan cuando encuentran un orificio entre dos espacios. Este orificio se convierte, a su vez, en un nuevo foco emisor de ondas.

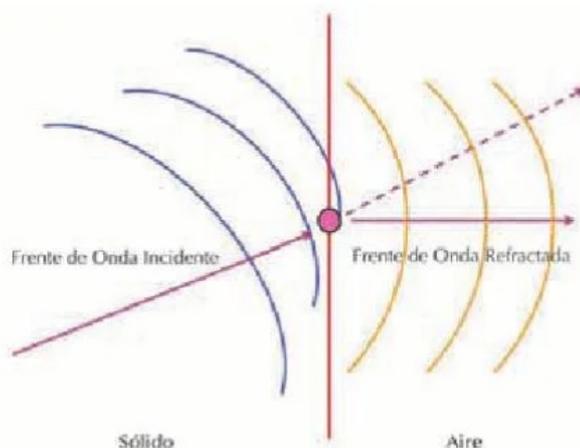


La difracción depende de la relación entre la longitud de onda del sonido y las dimensiones del obstáculo. Cuando las longitudes de onda son grandes (sonidos graves) con respecto a las dimensiones de los obstáculos se produce la difracción. En caso contrario, cuando los sonidos encuentran grandes obstáculos, el fenómeno de difracción no se produce y se habla, entonces, de sombra acústica.



Refracción

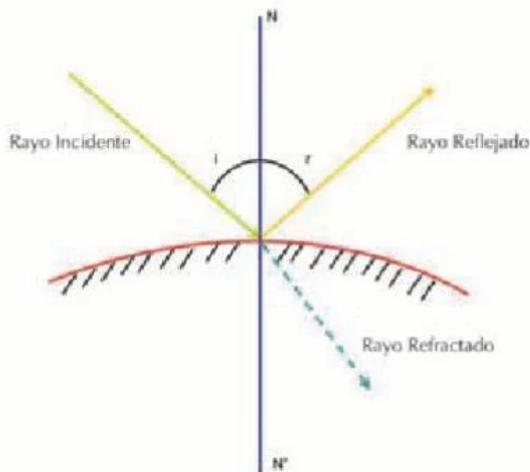
Es el cambio de dirección que experimenta la energía sonora cuando pasa de un medio a otro. El fenómeno es similar a la refracción luminosa.



Reflexión

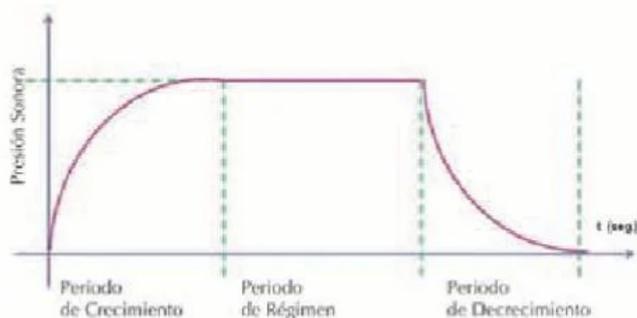
Sucede cuando la onda choca con un material duro, haciendo que parte de ella rebote y otra se refleje, cambiando de dirección. Con superficies lisas, duras, rígidas, pesadas y planas (concreto pulido, baldosa, ladrillo, vidrio), toda la onda se refleja en una sola dirección.

El rayo incidente y el rayo reflejado forman el mismo ángulo con la normal (una línea perpendicular a la superficie reflectante en el punto de incidencia), y el rayo reflejado está en el mismo plano que contiene el rayo incidente y la normal. Los ángulos que forman los rayos incidente y reflejado con la normal se denominan, respectivamente, ángulo de incidencia y ángulo de reflexión. Las superficies rugosas reflejan el sonido en muchas direcciones, y en este caso se habla de reflexión difusa.



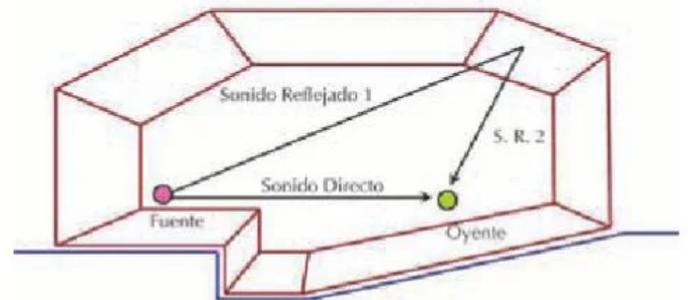
Reverberación

Cuando una fuente comienza a emitir sonidos dentro de un local, la energía crece hasta llegar a un nivel conocido como presión sonora, que no es uniforme. Una vez el sonido invade el lugar, la presión se mantiene aproximadamente constante hasta que empieza a decaer del todo. La reverberación representa el tiempo que tarda un sonido en disminuir su intensidad, y ese tiempo de reverberación es uno de los principales criterios para evaluar el comportamiento acústico de un espacio.



Eco

Es la repetición del sonido directo que llega al oyente, cuando le llega al mismo una reflexión tardía. Dicho retardo es del orden de 1/10 seg. En la figura se ilustra cómo el oyente escucha como repetición del sonido la reflexión proveniente del cielorraso. Teniendo en cuenta que la velocidad del sonido es de 340 m/seg., se puede decir que la diferencia de camino entre reflexiones y sonidos directos deberá ser superior a los 34 metros.



Reflexión de alto retardo

Defecto similar al del eco, pero el retardo del sonido reflejado con respecto al directo es un poco menor.

Eco pulsatorio

Rápida sucesión de pequeños ecos producida, generalmente, por dos superficies paralelas altamente reflejadas.

Focalización o concentración de sonido

Se produce por reflexiones ocasionadas por superficies cóncavas que concentran el sonido en algunos puntos del auditorio, provocando que otros puntos de la sala no se beneficien de las reflexiones, creando puntos muertos donde las condiciones de audición son pobres.

Espacios acoplados

Si un auditorio está conectado con un espacio bastante reverberado (puntos fijos, escaleras de tramoya etc.) a través de puntos o aberturas, los recintos formarán espacios acústicamente acoplados, y los sonidos que entren al auditorio provenientes del espacio reverberado serán notorios y destructivos para los escuchas cercanos a las aberturas.

Distorsión

Se crea cuando se aplican tratamientos absorbentes excesivos o con características de absorción muy dispares entre frecuencias. Esto se percibe como un cambio en la calidad musical.

Sombras Acústicas

Típicas de las áreas bajo balcones de poca altura y gran profundidad.

Resonancia

Es el fenómeno físico que se produce cuando un elemento comienza a vibrar al recibir vibraciones que coinciden con su propia frecuencia. Cada instrumento musical, elemento material o cada parte de un edificio posee una frecuencia de vibración propia. Si ese elemento recibe frecuencias iguales o cercanas a la suya, comenzará a vibrar por resonancia. Si la frecuencia que llega al elemento es más baja que la propia, sus efectos aún se pueden apreciar, pero si la frecuencia es más alta, los efectos son mínimos.

Absorción

Parte de la onda acústica es atenuada por el material, y mientras más poroso sea éste (alfombra, lana mineral, lana de vidrio, etc.), mayor será la absorción. Es el cambio en la energía sonora en otro tipo de energía (generalmente calor) al pasar a través de un material o golpear una superficie. Las superficies reflejantes tienen una absorción muy baja, mientras que los materiales blandos, porosos o fibrosos como las telas, las personas, fibra de vidrio etc., absorben altos porcentajes de energía de las ondas sonoras que los golpean.

Difusión

Si los niveles de presión acústica son constantes en todos los sitios de un recinto, y las ondas sonoras viajan en todas las direcciones, se puede decir que el sonido es homogéneo, o sea que prevalece una condición de difusión en el recinto.

Ruido

Cualquier sonido que perturba o interfiere en cualquier actividad humana. Es un sonido indeseable que puede ocasionar efectos fisiológicos en el ser humano.

Intensidad o potencia sonora

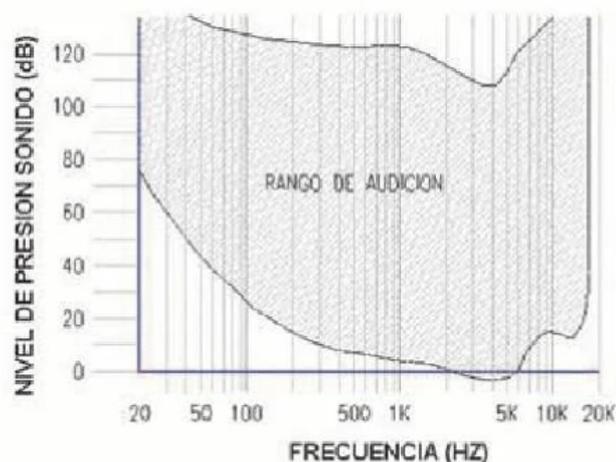
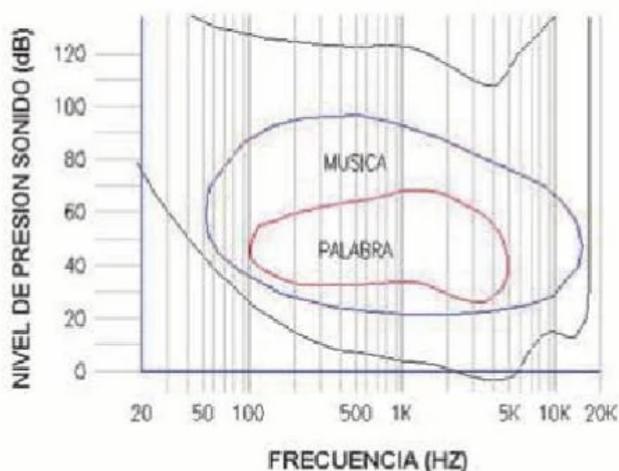
Está determinada por el rango de frecuencias audibles que una persona puede percibir. Se expresa en decibeles.

Frecuencia

Indica el número de veces que se repite cualquier fenómeno en el lapso de un segundo. Se mide en hertz (Hz). La frecuencia de la onda suele darse indicando el número de crestas de onda que pasan por un punto determinado cada segundo. La longitud de onda (la distancia entre dos crestas consecutivas) es inversamente proporcional a la frecuencia y directamente proporcional a la velocidad. Una persona joven puede oír en un rango de frecuencias entre 20 y 20.000 Hz.

El ser humano percibe los sonidos dentro de un ámbito espacial por su audición bilateral (en el campo horizontal) y dentro de un ámbito físico ambiental, en un rango más o menos preciso con respecto a la potencia e intensidad con que se manifiesta (expresadas en decibeles) y al conjunto de frecuencias que abarca (expresado en Hertzios). Por fuera de estos rangos, toda manifestación sonora puede pasar desapercibida o causar molestias y en ocasiones, dolor.

Los rangos de potencia y frecuencia de los sonidos que interesan para la buena acústica abarcan desde los 0 a los +/-120dB y desde los 16 a los +/-16000 Hz.



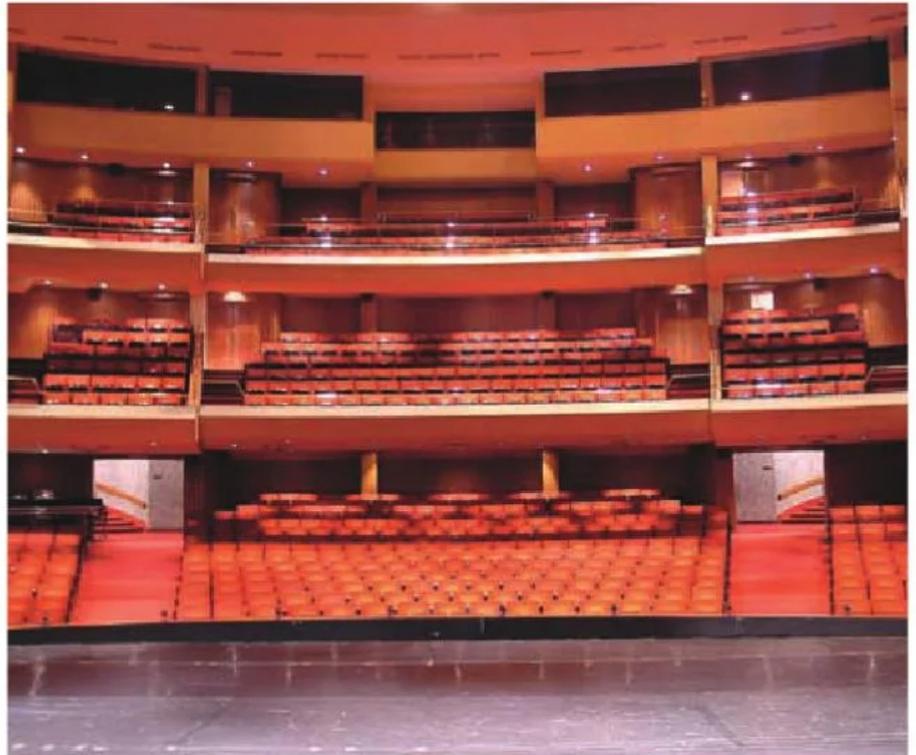
Límites de audición. Los gráficos muestran el rango comprendido entre los umbrales de audición y de dolor, correspondiente a potencia y a frecuencia. Fuente: Michel Ewert De Geus.

Una buena acústica

Entender y escuchar correctamente las palabras o la música puede hacer la diferencia entre un espacio bueno y uno malo, acústicamente hablando, y lograr que el espacio disfrute de condiciones acústicas favorables depende de ciertos elementos que intentaremos resumir en el siguiente artículo.

Es común relacionar el concepto de acústica con el de ruido, pero lo cierto es que cuando se trata de espacios arquitectónicos, ambos términos tienden a alejarse y se trabajan por separado porque las nociones físicas y expresiones matemáticas que definen la problemática de cada uno son distintas. Así pues, el arquitecto debe tratar por separado el problema acústico y el de la protección contra ruidos, aún cuando se trate de un mismo proyecto.

Reconocer y precisar los límites dentro de los cuales los seres humanos sobreviven a las influencias de la fenomenología físico ambiental, y establecer los rangos en los que se encuentran el bienestar físico y psicológico, permitirán al diseñador aplicar principios, conocer datos cuantitativos y cualitativos, elementos de diseño e instrumentos metodológicos que aseguren la habitabilidad de las edificaciones que proyecta.



Teatro Colsubsidio Roberto Arias Pérez

Esta es y será la idea central del diseño acústico de cualquier recinto.

Para poder establecer unas buenas condiciones acústicas para un proyecto es necesario que el diseñador o arquitecto lo someta a un proceso que puede resumirse así:

- Interpretar la física del sonido pertinente al caso en estudio (propiedades y comportamiento en el espacio interior y/o exterior).
- Conocer la fisiología y psicología de la audición y los límites y rangos dentro de los cuales se

logran las condiciones más favorables de bienestar.

- Definir los planteamientos generales de una acústica arquitectónica que atienda e integre los requisitos de las dos áreas anteriores.
- Desarrollar los diseños generales y de detalle que aseguren la calidad acústica.

En las líneas que siguen se estudia la buena acústica de auditorios y salas de concierto, así como también el control de ruidos en viviendas, ambientes escolares, oficinas y otros espacios.

Nitidez y Fidelidad

El ser humano espera que los sonidos que se produzcan en un auditorio sean nítidos o fielmente reproductores de lo que se quería oír, lo cual es sinónimo de lo que denominamos la buena acústica, cuyo estudio debe estar enfocado a buscar dos cosas:

- Nitidez de la palabra y la expresión oral.
- Fidelidad en la manifestación musical.

Tanto en el diseño de salas para palabra, donde la inteligibilidad es esencial, como en salas de concierto, donde se ponen en juego condicionantes más complejos dirigidos a lograr una buena calidad acústica, existen varios niveles de trabajo que se deben respetar:

- Reducción y control de ruidos interiores y exteriores.
- Proporciones y forma de la sala calculada para asegurar un correcto comportamiento acústico.
- Control del tiempo de reverberación.
- Uso adecuado de materiales reflejantes para reforzar el sonido directo, principalmente en la zona del escenario, que debe tener propiedades reverberantes.

Salas para palabra

En las aulas de clase, las salas de conferencias, las salas de juntas, etc., el objetivo primordial es lograr la inteligibilidad, es decir, la nitidez o claridad de lo que se escucha. El sonido debe estar claramente delimitado como campo sonoro, sin obstáculos.

- El porcentaje de inteligibilidad se refiere al grado de comprensión. Las bajas frecuencias afectan poco a la comprensión, de tal manera que los diseñadores deben enfocarse a las frecuencias entre los 500 y 3000 Hz.
- Para niveles inferiores a los 60 ó 70 dB (potencia o intensidad sonora) la inteligibilidad decrece fácilmente.
- La reverberación tiene un efecto importante sobre la inteligibilidad. Si se prolonga el sonido dentro de un local, el nivel sonoro que le llega al oyente es mayor y se mejora la inteligibilidad, pero por otro lado, el exceso de reverberación produce una superposición de las sílabas que deteriora la comprensión.

Salas para música

La fidelidad musical es cualidad indispensable para recintos tales como los auditorios, las salas de concierto, los teatros y las salas de grabación. Los sonidos deben ser



Teatro Colsubsidio Roberto Arias Pérez

fieles a lo que el público quiere oír y la música debe "sonar" como debe ser.

- Cuando se quiere oír música, se espera que los sonidos se encadenen, es decir, que se demoren en el tiempo, lo que implica tiempos de reverberación prolongados.
- En las salas de concierto se debe buscar que al público lleguen primero los sonidos emitidos por los cantantes (si los hay), y luego los provenientes de los instrumentos de cuerda, viento y percusión.

Buena acústica

Las características acústico-arquitectónicas que favorecen la nitidez en las salas para palabra van, en cierta medida, en contravía de aquellas que garantizan la necesaria fidelidad en las salas para música. El sonido claramente inteligible como palabra puede resultar entrecortado y discontinuo en el caso de las melodías. Es el caso de las salas de concierto, por ejemplo, en donde los tiempos de reverberación deben ser altos para garantizar que la música se oiga bien, pero si alguien necesita hablar surge el problema de la falta de nitidez.

En espacios diseñados para ambos propósitos (palabra y música), el diseñador acústico está obligado a encontrar un término medio para modificar los tiempos de reverberación y asegurar una óptima calidad sonora.

El diseño acústico

Un buen diseño acústico parte del estudio de dos disciplinas:

- Acústica Matemática • Acústica Geométrica

La Acústica Matemática

En acústica, el sonido es concebido como un recurso de diseño, y la acústica matemática busca reconocer datos cuantitativos y cualitativos de los sonidos que llegan al público, para lo cual el diseñador recurre a cálculos como los tiempos de reverberación, comprensión silábica, intensidades del sonido en diferentes puntos, distancias, cantidad y calidad de sonido que se percibe en cada punto del recinto, etc. A partir de ahí, desarrolla parámetros que le permiten ir resolviendo el problema, además de visualizar las características que debe tener el espacio.

Diversos parámetros matemáticos y geométricos, como los que se mencionan enseguida, permiten reconocer o determinar la calidad acústica de un recinto:

- Relación de volumen por persona: para garantizar un buen comportamiento acústico se requiere un cierto volumen de aire por persona, que será directamente proporcional con el tiempo de reverberación del lugar. Esto implica que, en la medida que las superficies sean grandes o pequeñas, de igual forma se disminuirá o aumentará la reverberación. Se tiene en cuenta también el número de asientos, expresado en m³ por silla.



Museo Nacional

Es frecuente que en los recintos de tipo auditorio el dimensionamiento volumétrico sea insuficiente o excesivo, lo cual origina tiempos de reverberación muy bajos o muy altos que impiden una adecuada comprensión de los sonidos.

- Tiempo de reverberación: Suele ser común pensar que todo problema acústico se resuelve únicamente calculando el tiempo de reverberación, que es un buen indicador pero no es el único ni el fundamental para resolver las cosas.

Como se dijo atrás, la reverberación representa el tiempo que tarda un sonido en disminuir su intensidad, y ese tiempo es uno de los principales criterios para evaluar el comportamiento acústico de un espacio. El tiempo de reverberación se expresa en segundos, y se califica como alto - 4 a 6 segundos - en lugares como piscinas o polideportivos, o como corto - 0.4 y 0.6 segundos - en un ambiente confortable de oficinas. Espacios acústicamente confortables demandan, por lo general, tiempos de reverberación cortos.

Una de las formas más empleadas para calcular este tiempo es utilizando la Fórmula de Sabine.

$$T = \frac{0.16V}{(S1 \times a1) + (S2 \times a2) + (S3 \times a3) \dots}$$

en donde:

T = Tiempo de reverberación en segundos.

V = Volumen en m³ del recinto.

S = Superficie en m² de los componentes del lugar (muros, techos, pisos, etc.)

a = Coeficiente de absorción de cada componente para una onda de 512 Hz.

- Índice de comprensión silábica: Busca reconocer el número de sílabas comprendidas por el oyente, y es un indicador fundamental para espacios donde la palabra es el actor principal, ya que si las personas no comprenden por encima del 85% de las sílabas, sufren cansancio y distracción. En las aulas de clase este es un indicador mucho más importante que el tiempo de reverberación
- El nivel de presión sonora: La intensidad sonora está determinada por el rango de frecuencias audibles que una persona puede percibir. Expresada en decibeles.

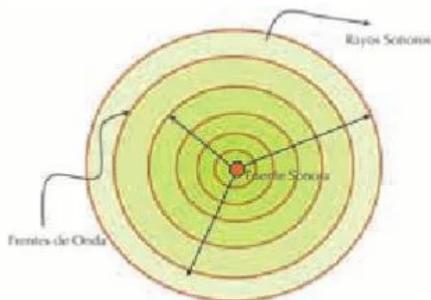
La Acústica Geométrica

Entre los parámetros geométricos se destacan:

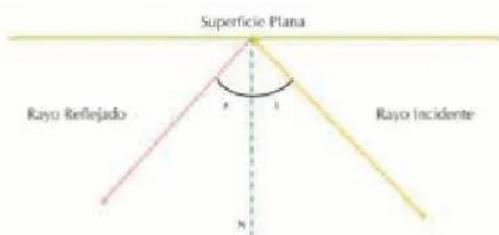
- Los patrones de reflexión, absorción y difusión del sonido: la reflexión es un fenómeno importante para el estudio acústico ya que gracias a ella se puede lograr que la totalidad de la audiencia reciba sonidos claros y fieles. Es por esto que, geoméricamente, se tienen que buscar superficies que envíen hacia la audiencia unas grandes reflexiones, preferiblemente laterales, para tener una buena percepción de lo que está pasando. Además, las reflexiones ayudan a determinar las zonas en donde el sonido llega con fuerza y donde se debilita con mayor rapidez.
- Configuración geométrica tridimensional: forma del recinto, figura y proporciones.
- Identificación de posibles anomalías: Ecos y ecos flotantes, reverberaciones inadecuadas, etc.

Reflexión del sonido en superficies planas

El sonido se propaga en cualquier medio elástico en forma de ondas. Estas ondas sonoras son esféricas siempre que no hayan sido alcanzadas por un obstáculo. Esta forma de representación de la propagación del sonido desde su fuente por frentes de onda es reemplazada en los estudios de acústica geométrica por los denominados rayos sonoros que representan las distancias recorridas por cada frente desde su origen.



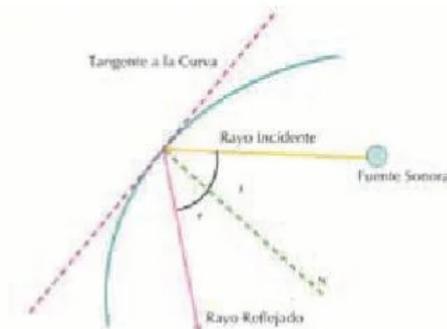
Cuando el rayo sonoro incide sobre una superficie plana, éste se refleja, provocando que el ángulo de incidencia sea igual al ángulo de reflexión.



Reflexión del sonido en superficies cóncavas

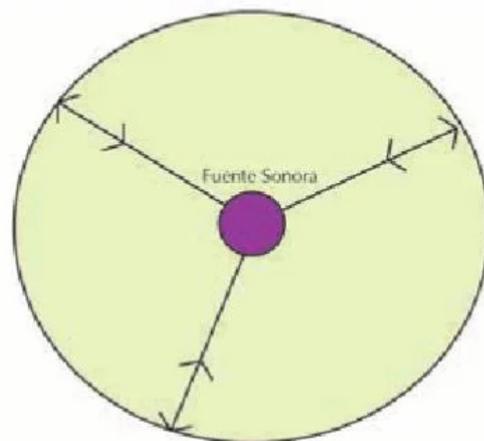
En este tipo de superficies el rayo reflejado se encuentra de la siguiente forma:

- Se traza en el punto de incidencia, la tangente geométrica a la curva.
- Por el punto de incidencia, se traza la normal (N) a la tangente geométrica.
- El rayo reflejado se determina considerando un ángulo de reflexión r igual al de incidencia i .



En el caso de superficies cóncavas de sección circular, pueden observarse tres casos:

- Si la fuente sonora (FS) está ubicada en el centro de la sección circular, las reflexiones del sonido vuelven hacia la fuente.



- Si la FS se encuentra en cualquier punto interior a la sección circular, excepto en su centro, las reflexiones se suceden en forma tangencial. (Figura 1).
- En el caso de secciones elípticas, si la FS está ubicada en uno de los focos las reflexiones pasan por el otro foco. (Figura 2)

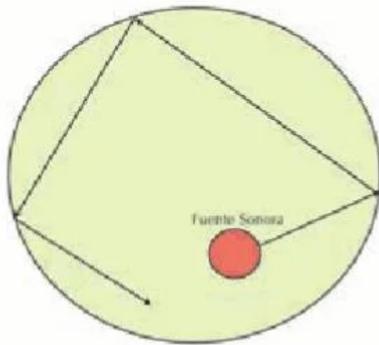


Figura 1.

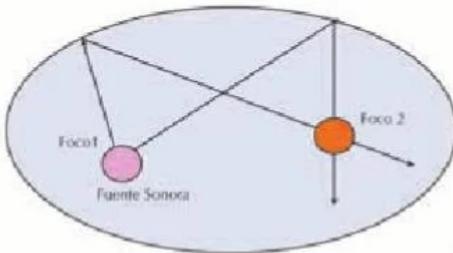
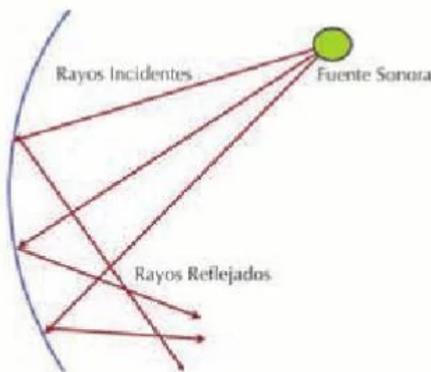


Figura 2.

El uso de este tipo de superficies provoca que los rayos sonoros generen reflexiones que suelen dirigirse hacia un mismo punto, creando lo que se denomina focalización del sonido.



Reflexión del sonido en superficies convexas

Las reflexiones en este tipo de superficies son similares a las cóncavas (Figura 3). En estos casos se produce la dispersión de la energía sonora.

Las tres superficies: cóncavas, convexas y planas

Si se ubica la fuente sonora a igual distancia en los tres tipos de superficies puede observarse lo siguiente: (Figura 4)

Nuestra experiencia se demuestra en la **GRANDEZA** de nuestras obras



CARREFOUR CARRERA 90
Stranding Beam
Gembra Blanca Esmeralda

**CUBIERTAS
TRANSLUCIDAS**
Fabricadas en políester reforzado




- Resistencia al granizo
- Retardancia al fuego
- Fabricación de longitudes hasta de 9.00 mts
- Todos los ondulados del mercado

EXIPLAST S.A.

PROVEEMOS SOLUCIONES

Sala de Exhibición: Av. 19 No. 106A-89 • Piso 2 • Tel. 213 6873
Bogotá - Colombia e-mail: servicioalcliente@exiplast.com

www.exiplast.com

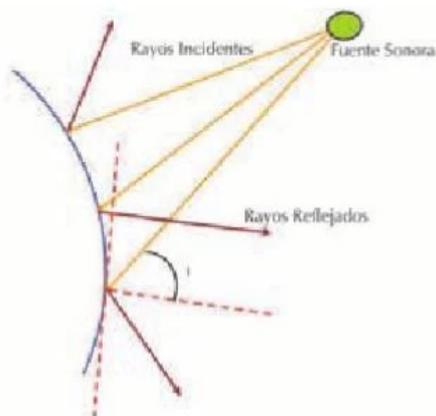


Figura 3

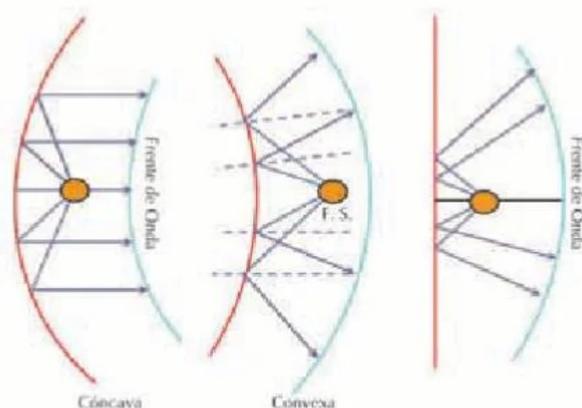


Figura 4

- El frente de onda reflejado por la superficie convexa es mayor que el producido por la superficie plana, y el de ésta a su vez, mayor que el de la cóncava.
- Pero a mayor frente de onda se produce un mayor debilitamiento de la misma, no así en el caso de la cóncava, en donde la onda se vigoriza por hallarse más concentrada.

Difusión o propagación sonora

El gran objetivo de la acústica geométrica es producir la correcta difusión del sonido en la totalidad del recinto, para lo cual debe tenerse en cuenta lo siguiente:

- La presión sonora en todos los puntos de la sala debe ser la misma.
- Una correcta difusión provoca un regular crecimiento y decaimiento del sonido, mejorando las cualidades acústicas de la sala.

- Promover la dispersión de los materiales absorbentes en el interior del local. Las superficies absorbentes deberán distribuirse de manera tal de no producir planos continuos de un material absorbente en contraposición al resto de la sala reflejante.
- Diseñar planos con irregularidades superficiales y relieves que dispersen las ondas sonoras. El grado de difusión depende de la relación entre la dimensión de la irregularidad y la longitud de onda del sonido incidente.
- Hay que tratar de romper las geometrías paralelas.
- El problema geométrico de diseño es lograr que a cada silla le lleguen un número mínimo de reflexiones (alrededor de 5 reflexiones por persona).

Los sonidos llegan a cada oyente ligeramente desdoblados por la distancia en la que se encuentran, y mientras esa diferencia no supere estos tiempos, la persona no reconocerá que se trata de sonidos distintos, y por lo tanto, no percibirá ecos. Así, para que la calidad del sonido sea buena es necesario hacer llegar más veces un mismo sonido, y para esto se buscan las reflexiones.

Diferencia de tiempo (milisegundos)	Distancia máxima (metros)
Para palabra = 50	17
Para música = 80	27.5

Para superficies convexas o quebradas se considera lo siguiente:

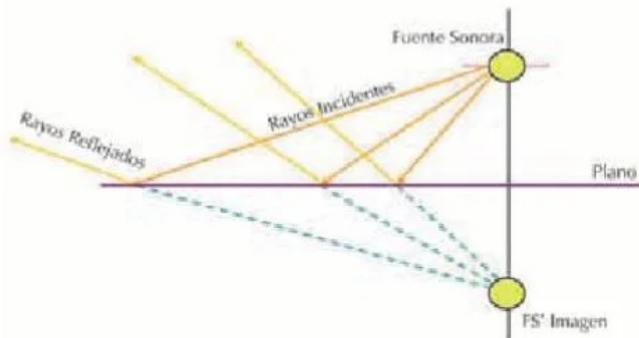
- Es más fácil lograr absorción en altas frecuencias, cuyas longitudes de onda son más pequeñas, es por esto que la difusión crece con la frecuencia.
- El equipamiento del local e irregularidades en la envolvente (columnas, pilares, molduras, etc.), favorecen la difusión.

Determinar la manera en la que se propagan los sonidos dentro de los espacios es indispensable para conocer los posibles problemas y por ende las soluciones acústicas. Dentro del campo de la acústica geométrica, podemos encontrar algunas maneras para conocer la forma de propagación o difusión del sonido. Algunas de ellas son:

El método de las imágenes

Consiste en encontrar el rayo reflejado en superficies planas, sin necesidad de trazar la normal, ni los ángulos r e i . Para esto, se debe encontrar la imagen FS' de la fuente

sonora FS, tratándose de un solo plano. Para encontrar las reflexiones correspondientes a diferentes rayos incidentes, sólo es necesario unir la imagen FS' con cada uno de los puntos de incidencia.



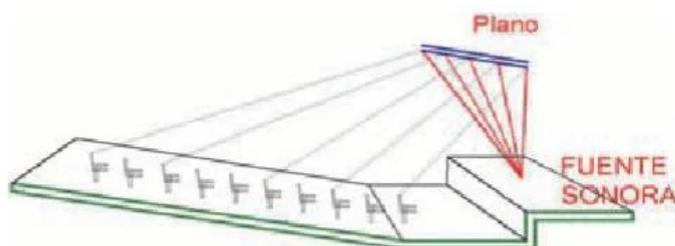
Este método se puede utilizar en los siguientes casos:

- Para estudiar la distribución directa y por reflexiones del sonido en una sala existente.
- Para diseñar o determinar la forma y posición de deberán tener los planos que limitan el espacio interior de una sala con el fin de orientar las reflexiones a zonas consideradas de antemano.
- Para determinar la ubicación de materiales reflectantes en las superficies interiores de una sala.

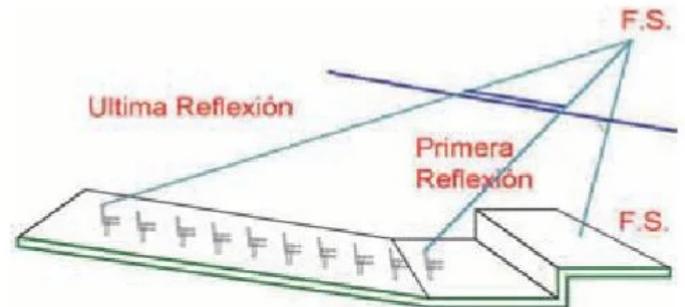
Método de las imágenes para graficar el barrido de reflexiones

Dado un plano reflector cualquiera en una sala, es posible determinar el barrido completo de reflexiones de una forma rápida mediante el método de las imágenes.

En el primer caso, se han trazado reflexiones de los rayos incidentes, en la forma tradicional.



En el otro caso, se han representado la totalidad de las reflexiones mediante el trazado de las rectas que unen los extremos del mismo plano con la imagen FS' de la fuente. La superficie entre el plano y las dos rectas (primera y última reflexión) representa el barrido de reflexiones.



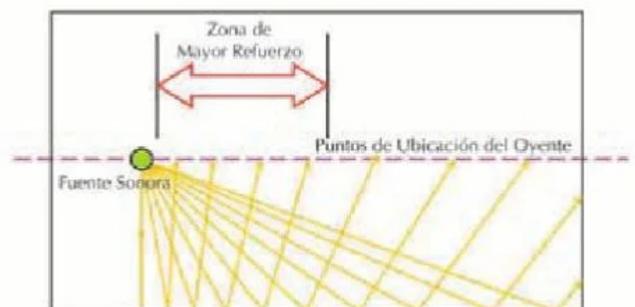
Influencia de la dimensión y la forma en la propagación del sonido

La cantidad de reflexiones que se producen en un local está directamente relacionada con el volumen del mismo. A mayor volumen, menor es la cantidad de reflexiones que se producen por unidad de tiempo y más atención hay que prestar a la correcta difusión del sonido. Si el recinto es relativamente pequeño, el problema acústico es más fácil de resolver.

Los sonidos se comportan de forma distinta dependiendo de las superficies sobre las que inciden, como puede verse enseguida:

Planta rectangular

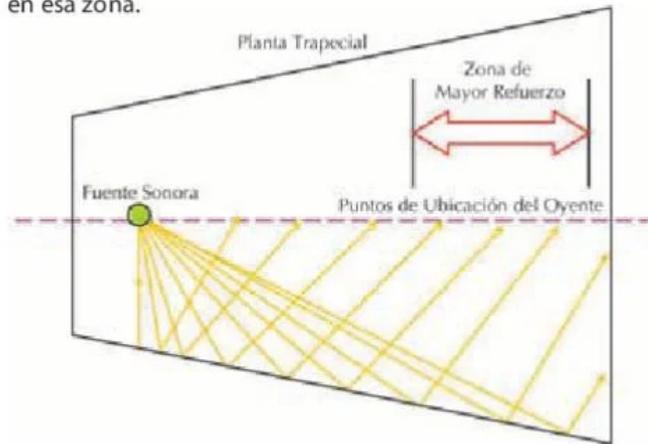
Si el oyente está a cierta distancia de la fuente sonora, lo primero que recibe es el sonido directo y luego los sonidos reflejados. El sonido directo se refuerza y las reflexiones se distribuyen en toda la zona, pero con mayor concentración e intensidad en la primera mitad de la planta.



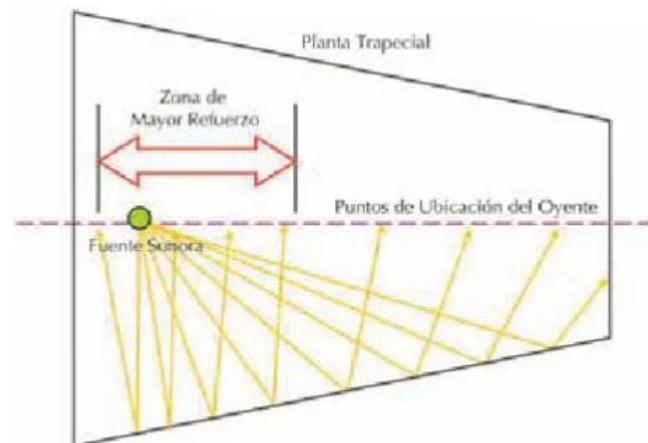
Esta forma de diseño no se recomienda para el buen funcionamiento acústico, ya que por momentos puede existir ausencia de sonido en ciertas áreas y, además, la distribución de los sonidos no es igual para todos los puntos de la sala. La solución mínima en un recinto cuadrado es acondicionar dos muros oblicuos al lado del escenario, o bien en los muros de fondo. Es así que, entre más reflexiones laterales existan, el recinto empieza a cobrar un comportamiento acústico favorable y de importancia.

Planta trapezoidal

Si la fuente sonora está ubicada junto a la base menor del trapecio, las reflexiones se concentran en el fondo de la sala, produciéndose un mayor refuerzo del sonido directo en esa zona.



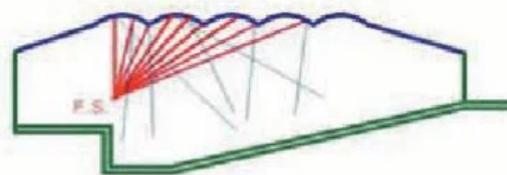
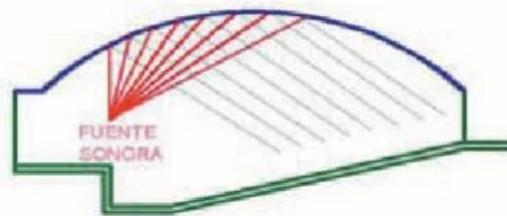
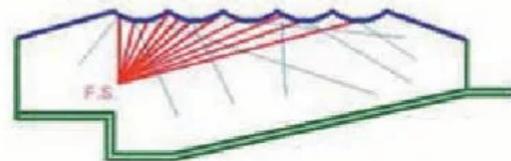
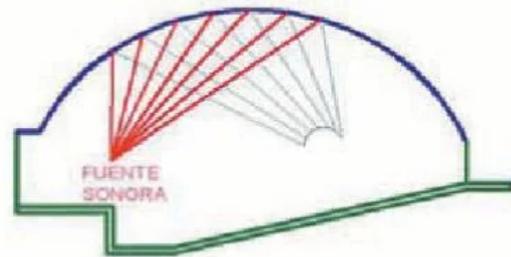
Pero si la fuente sonora está ubicada próxima a la base mayor del trapecio, las reflexiones del sonido vuelven en su mayoría hacia la fuente, haciendo que el sonido directo que llega a los oyentes que están en el fondo de la sala no sea el adecuado porque no está fortalecido.



De lo anterior se puede concluir que la difusión sonora por medio de reflexiones es más conveniente cuando las superficies laterales del local son divergentes con respecto a la fuente sonora. De igual forma, la distribución de las reflexiones será más conveniente cuando las superficies de piso y cielorraso sean divergentes con respecto a la fuente sonora.

Y en otras formas más complejas...

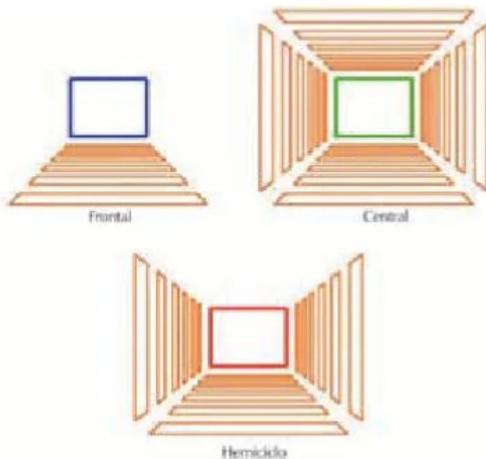
- Si los cielos rasos son superficies cóncavas con un importante radio de curvatura, se produce la concentración de las reflexiones (focalización del sonido), favoreciendo más a una determinada zona del lugar.
- Si la superficie cóncava del cielo raso tiene un radio de curvatura varias veces mayor que la distancia de la fuente sonora al cielo raso, las reflexiones pueden repartirse casi uniformemente en la longitud de la sala.
- Superficies cóncavas o convexas de pequeño radio de curvatura originan reflexiones dispersas.



Algunas pautas de diseño y construcción

Forma de la sala

La forma es uno de los factores principales que afecta la acústica de una sala. La planta cuadrada, por ejemplo, permite mayor cantidad de audiencia cercana a la fuente pero en ella la distribución del sonido no es del todo satisfactoria, principalmente porque éste es direccional.



Las plantas circulares o elípticas por lo general implican distribuciones heterogéneas del sonido, focalizaciones y ecos. Este tipo de plantas tienen el problema de la distribución de sonido, pero puede ser corregido utilizando superficies difusoras en la envolvente.

Elevación de la audiencia

Para conseguir una mejor distribución del sonido en una sala es recomendable:

- Elevar la audiencia para que llegue mayor cantidad de sonido directo a cada uno de los espectadores. Los sonidos rasantes pierden intensidad muy rápidamente. (Figura 5)
- Las primeras filas, gracias a la cercanía con la fuente sonora, pueden mantenerse a su mismo nivel.
- El ángulo de elevación depende del tipo de sala, pero por lo general está entre los 8° y 15°.

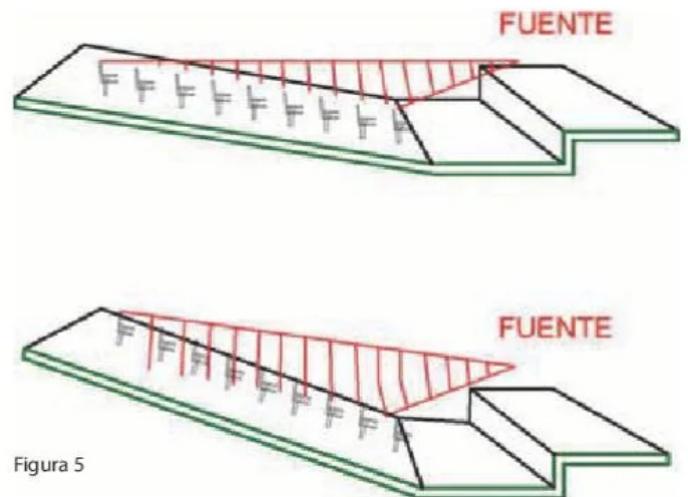


Figura 5

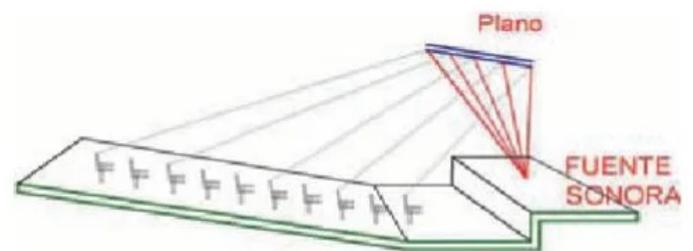
La distancia máxima de alejamiento entre la fuente y la última fila de audiencia nivelada se puede calcular así:

$$d = r (1,4h - 1) m^2$$

En donde: r = separación entre filas (m)
 h = altura de la fuente

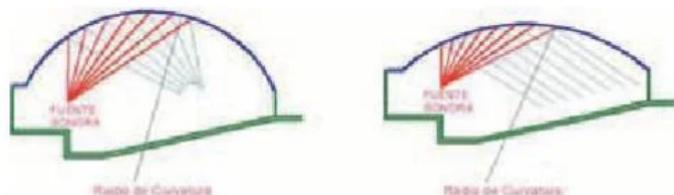
Cielos rasos

Los cielorrasos se utilizan de diversas formas para reflejar el sonido a posiciones adecuadas de la audiencia:



- Mediante quiebres o curvaturas para que las reflexiones lleguen de manera progresiva hacia el fondo de la sala.
- Haciendo un corte oblicuo entre el cielorraso y el muro de fondo para reforzar el sonido en las últimas filas y, además, evitar los ecos.

- Evitando las superficies cóncavas. Cuando sean inevitables, su radio de curvatura debe ser superior a dos veces la altura del cielo raso o menor que la mitad de la altura.



Muros laterales

Las reflexiones que generan los muros laterales son muy importantes para reforzar el sonido hacia el fondo de la sala, siempre y cuando se diseñen específicamente para lograr la buena difusión de los sonidos.

Para el efecto, debe tenerse en cuenta que:

- Los muros divergentes favorecen una buena distribución del sonido, pero deben diseñarse de tal manera que el retardo del sonido reflejado por ellos no sea muy elevado en relación al sonido directo, pues esto causa ecos o reflexiones tardías.
- Para eliminar estas reflexiones tardías debe evitarse que los muros produzcan reflexiones dirigidas, lo cual se obtiene mediante superficies difusoras del sonido (superficies rugosas que permiten reflexiones múltiples del sonido) o mediante superficies absorbentes.
- Los muros divergentes contribuyen a evitar los ecos. Una desviación de 10 cms en un metro será suficiente.
- Un pasillo estrecho entre dos paredes reflectantes paralelas puede atrapar el sonido por reflexiones repetidas y provocar ecos desagradables, aunque la absorción general sea suficiente.

Muros de fondo

Un mal diseño de los muros de fondo puede ser la causa de reflexiones inadecuadas o ecos.

- Cuando son totalmente verticales y reflectantes, producen reflexiones que pueden alcanzar las primeras filas produciendo ecos.
- Si son cóncavos, el problema se agrava debido a la focalización del sonido.
- Por lo general, se deben diseñar para que sean absorbentes y no reflejantes del sonido. En algunos casos, después de los estudios correspondientes, éste tratamiento también se aplica a los cielos rasos.

Problemas constructivos y de diseño

El problema de acústica debe estudiarse desde la etapa de diseño arquitectónico por los aspectos espaciales, plásticos y constructivos que deben ser resueltos. Solucionar problemas acústicos en un edificio terminado puede ser no solamente muy costoso sino, además, desvirtuar la idea plástica original del arquitecto.

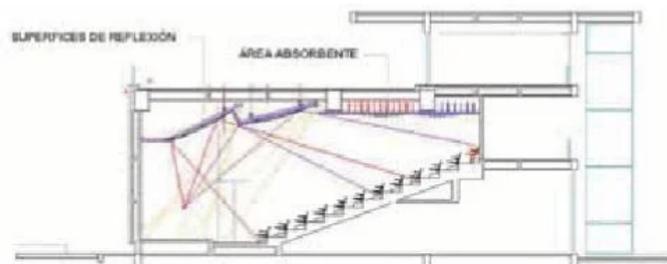
Las fallas más comunes que pueden presentarse son las siguientes:

Diseño

- Mala concepción del espacio.
- Un dimensionamiento erróneo. La buena acústica demanda un delicado equilibrio entre diversos indicadores, tales como la relación entre superficies y volumen del recinto, entre volumen y número de sillas, en la razón entre las dimensiones (longitud, ancho y altura). Cuando los valores son incorrectos, se puede alterar negativamente el comportamiento del sonido.
- Una configuración inapropiada porque se utilizan formas geométricas que acentúan peculiaridades del comportamiento físico del sonido tales como eco, eco flotante e interferencias por ondas estacionarias localizadas sobre los ejes geométricos del recinto. Las deficiencias en la configuración formal destruyen los patrones de reflexión y difusión del sonido.
- Cálculos matemáticos mal hechos (reflexión, reverberación, resonancia, distancias, etc.)

Construcción

- Selección y localización inadecuada de materiales, que afecta el tiempo de reverberación y el índice de inteligibilidad de la palabra, los patrones de reflexión y difusión, el balance energético, el rango de frecuencias, etc.



La acústica de un recinto es una de sus cualidades inherentes. La selección de materiales, el área de sus superficies y su disposición en el espacio permiten asegurar una buena acústica.

Fuente: Michel Ewert de Geus

- Mano de obra deficiente.
- Detalles arquitectónicos y técnico-constructivos deficientes, que originan problemas como vibraciones, ruidos provenientes de instalaciones, etc.
- Exceso o falta de materiales necesarios (los materiales dependen de la necesidad que haya que cubrir)

Los mejores resultados del diseño acústico se obtienen cuando el diseñador conoce bien la finalidad de uso del recinto, elabora correctamente los cálculos y diseños geométricos, asigna adecuadamente el volumen al edificio, elige los materiales adecuados y verifica que su colocación se haga respetando las especificaciones y detalles.

Todo ello garantiza que los aspectos principales de reverberación, patrones de reflexión y difusión del sonido, su viveza, calidez y brillo, la inteligibilidad de la palabra y el nivel de ruido ambiente se fijen dentro de rangos acordes con las exigencias de bienestar sonoro y auditivo.

La electroacústica

La buena acústica de los recintos diseñados para la palabra –auditorios, salas de conferencias y salas para representación de artes escénicas– requieren la instalación de equipos audiovisuales para grabación, reproducción y transmisión de sonidos (voz, datos, música) y sistemas de intercomunicación, todo lo cual recibe el nombre genérico de sistemas electroacústicos.

Es importante aclarar que lo electroacústico no se instala para corregir o remplazar la acústica del recinto sino que es un complemento tecnológico que aumenta las opciones de uso del recinto y que permite diseñar estos espacios (cuando se requiere) con mayores dimensiones y capacidad de personas.

La electroacústica instalada no debe modificar sensiblemente las cualidades acústicas ideales del recinto, expresado en sus indicadores más relevantes (tiempo de reverberación, viveza, calidez, inteligibilidad, sonoridad, ausencia de coloraturas, etc.).

Un sistema electroacústico bien calculado, equilibrado y espacialmente bien dispuesto, puede evitar los problemas típicos que surgen cuando se recurre a este tipo de sistemas, como por ejemplo la retroalimentación por reflexión hacia los micrófonos, de sonidos ya emitidos.

ASÍ ES EL SISTEMA CONSTRUCTIVO ACÚSTICO Y TÉRMICO METECNO DE COLOMBIA



RÁPIDO, INNOVADOR Y EFICIENTE

Somos la solución ideal para su obra
PÁNELES CON POLIURETANO INYECTADO

metecno
DE COLOMBIA S.A.

¹ Bogotá D.C. Diag. 109 No. 15-40 P. 4. PBX (571) 420-2155

² Cali Cra. 100 No. 14-20, Of. 402. Edificio Avenida 100. PBX (572) 315-4790 / 315-4792

³ Medellín Cra. 43A No. 1-85 Of. 603. PBX (574) 248-4599 / 352-2501 / 252-0798

⁴ Barranquilla Cl. 76 No. 54-11 Of. 713, World Trade Center. PBX (575) 348-4442 / 348-012

Distribuidores en todo el país, Centroamérica y Suramérica.

www.metcol.com
ventas@metcol.com

Materiales para un buen diseño acústico

Una vez que la geometría general del edificio está definida, el siguiente paso para el logro de una óptima solución acústica es la utilización correcta de los materiales de acabado.

Para un buen diseñador es indispensable conocer a fondo las propiedades de los materiales que eventualmente utilizará en su edificio. Esta será la manera de asegurar que su proyecto cuente con las mejores cualidades plásticas y acústicas.

En este capítulo se analizarán solamente las características de los materiales de acabado que sirven para esos propósitos, pues debe aclararse que los materiales con los que está construido el edificio son importantes para controlar los ruidos pero no para el correcto funcionamiento acústico.

Materiales reflejantes

En un recinto cerrado es importante buscar la nitidez y la fidelidad, lo cual en buena medida se logra haciendo llegar al oyente el mismo sonido desde varios puntos, utilizando materiales reflejantes que contribuyen a distribuir la intensidad sonora a varios puntos de la sala en donde, de no haber superficies reflejantes, sería prácticamente imposible escuchar algo.



Diveo



Show Room Luminex

Los muros laterales se construyen generalmente con materiales sólidos (ladrillos, mampostería, mármoles, maderas), que tienen buenas propiedades reflejantes y contribuyen a llevar el sonido hasta el final de la sala.

El muro de fondo, por su parte, no debe ser reflejante para que no genere problemas de eco, y por ello generalmente se forra con materiales absorbentes como fibra de vidrio u otros materiales porosos.

Materiales absorbentes

Los materiales absorbentes se emplean para evitar que gran parte de la energía sonora sea reflejada por la superficie ya que, en ocasiones, la reflexión total de los sonidos es perjudicial para el funcionamiento acústico. El empleo de este tipo de materiales responde a determinadas necesidades encontradas, ya que no siempre se requiere que la totalidad de la sala sea reflejante, sino que habrá zonas en las que es necesario absorber los sonidos, o bien, encontrar términos medios.

Las características de esta clase de materiales son:

- Mientras mayor sea su capacidad de absorción, mayor será su capacidad para absorber altas y medianas frecuencias (sonidos agudos), y se comportará de manera opuesta si lo que se intenta es eliminar algunas medias frecuencias y las bajas frecuencias. Esto lleva a concluir que los sonidos graves son más difíciles de absorber y por consiguiente deben tratarse con resonadores de cavidad simple o múltiple; o bien, resonadores de membrana.
- Existen materiales como la fibra de vidrio que son reconocidos por su buen funcionamiento acústico en las construcciones, sobretodo si se intentan absorber altas o medianas frecuencias (tiempos de reverberación muy altos), como en el caso de aulas de clase, teatros, auditorios, gimnasios, centros deportivos u oficinas. En cualquier espacio siempre se van a presentar diferentes frecuencias (altas, medias y bajas), así que lo ideal es combinar los materiales para poder controlarlas todas. La capacidad de absorción de la fibra de vidrio para bajas frecuencias se puede ver limitada en ciertos casos, de ahí la importancia de un buen estudio y el buen empleo y distribución de los materiales.

Clases de materiales absorbentes

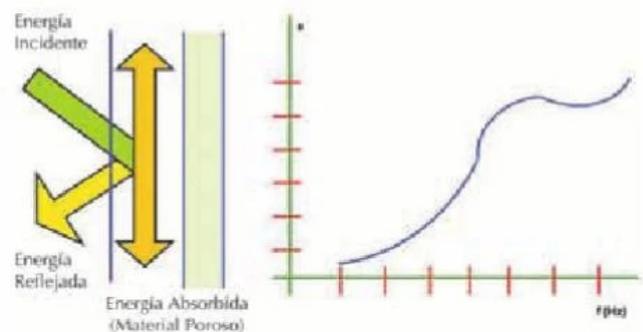
De acuerdo con la forma de absorción de la energía sonora se encuentran tres categorías de materiales:

Materiales Porosos

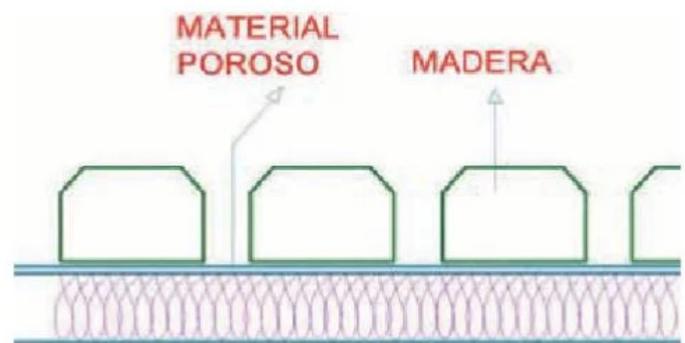
Cuentan con una serie de poros o cámaras de aire en donde gran parte de la energía sonora que ingresa se transforma en pequeñas cantidades de calor. En este caso, la energía sonora reflejada posee menor intensidad de la que poseía el sonido incidente.

Sus características se pueden describir así:

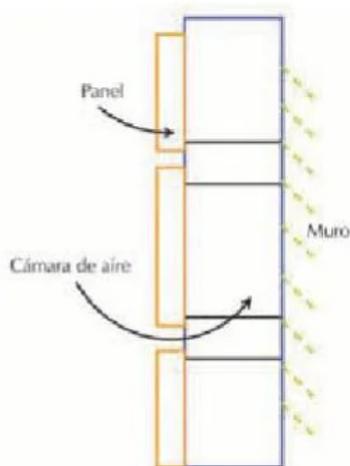
- Todos los materiales porosos absorben mejor los sonidos agudos pues sus longitudes de onda son menores e ingresan con mayor facilidad a los poros.
- Cuando el material poroso posee un espesor igual a la mitad de la longitud de onda del sonido incidente, la absorción alcanza un máximo valor para este material. No obstante, puede decirse que aumentando el espesor del material la absorción crece hasta un cierto límite, pero superados los 7 cms el incremento es relativamente poco.



Uno de los materiales absorbentes porosos más comunes es la fibra de vidrio. Cuando se instalan aislamientos acústicos en forma de manta, se recomienda que se instalen entre paneles perforados (paneles de Helmholtz) de aluminio, yeso o plástico, cuya función es básicamente decorativa ya que ellos mismos no absorben, sino el material poroso ubicado atrás. Se utilizan en cielos rasos y paredes en donde no sea necesaria la presencia de materiales reflectantes del sonido. También suelen utilizarse en paredes de madera lustrada, con ranuras entre ellas, ocultando por detrás el material poroso.



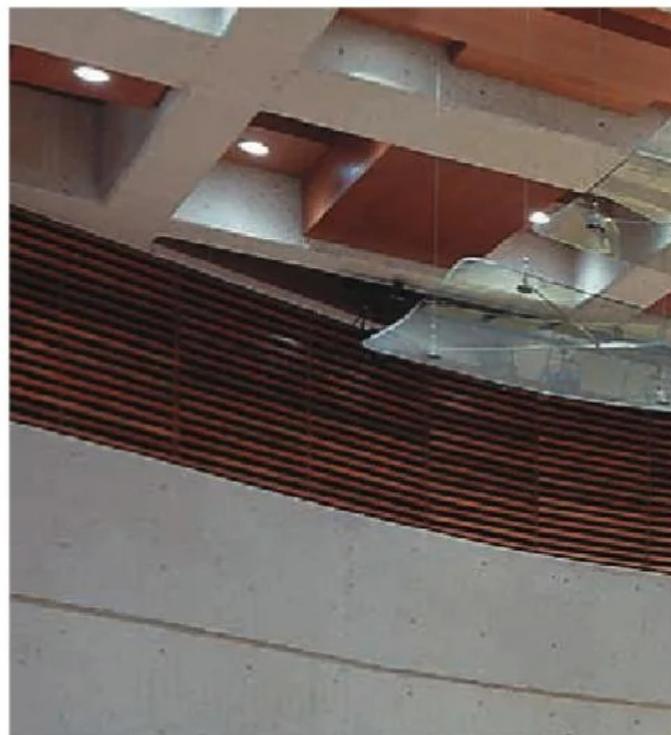
Materiales Absorbentes de membrana o elásticos



Paneles relativamente rígidos que están separados de la pared por una cámara de aire. Las ondas sonoras que llegan al panel provocan en él una vibración por resonancia, que es máxima cuando la frecuencia de la onda incidente coincide con la frecuencia propia de resonancia del material.

De este modo, el panel se pone en movimiento transformando la energía sonora incidente en pequeñas cantidades de calor por las deformaciones que sufre el material. La frecuencia de vibración del panel depende de su peso o masa superficial y del espesor de la capa de aire ubicado por detrás.

La absorción del sonido para este tipo de materiales es muy selectiva —actúa por resonancia—, y por ello son aptos para las bajas frecuencias. (Figura 30).



Universidad Jorge Tadeo Lozano

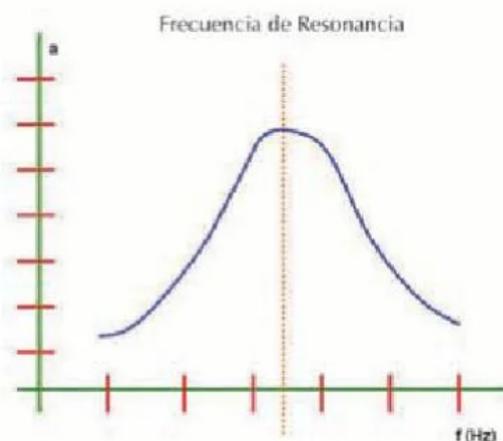
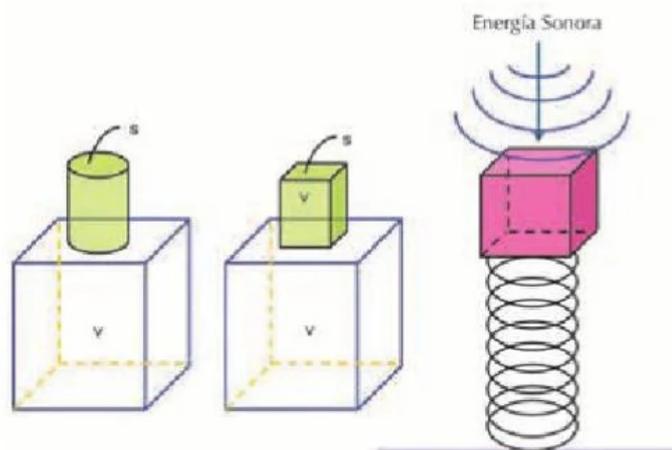


Figura 30

Un uso excesivo de este tipo de materiales puede provocar que los tiempos de reverberación para frecuencias bajas sean excesivamente altos.

Resonadores de cavidad simple

Un resonador es un dispositivo que se asemeja en su forma a una botella (dos volúmenes comunicados, uno mayor llamado cuerpo y otro menor que constituye el cuello). El cuello se comunica con el exterior por un orificio de forma rectangular, cuadrada o circular. La energía sonora que llega al cuello de la botella empuja y comprime aire al interior creando un sistema de resonancia con un pico de absorción en una frecuencia específica que conlleva una pérdida de energía.



Acústica en sus proyectos

Consulte a los especialistas en soluciones acústicas



Soluciones integrales de confort acústico en diseño
y construcción de proyectos

CENTRO DE DIAGNÓSTICO ACÚSTICO

La más avanzada tecnología en medición y diagnóstico acústico.
Mediciones acústicas con estándares internacionales.
cda@fiberglasscolombia.com.co

CENTRO DE CAPACITACIÓN VIRTUAL

Actualización acústica a través de internet para asesorar a arquitectos,
diseñadores y constructores.

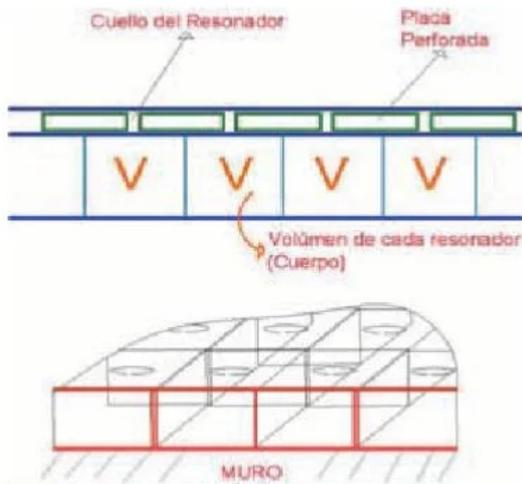
PRODUCTOS

Sistemas y montajes para soluciones acústicas.



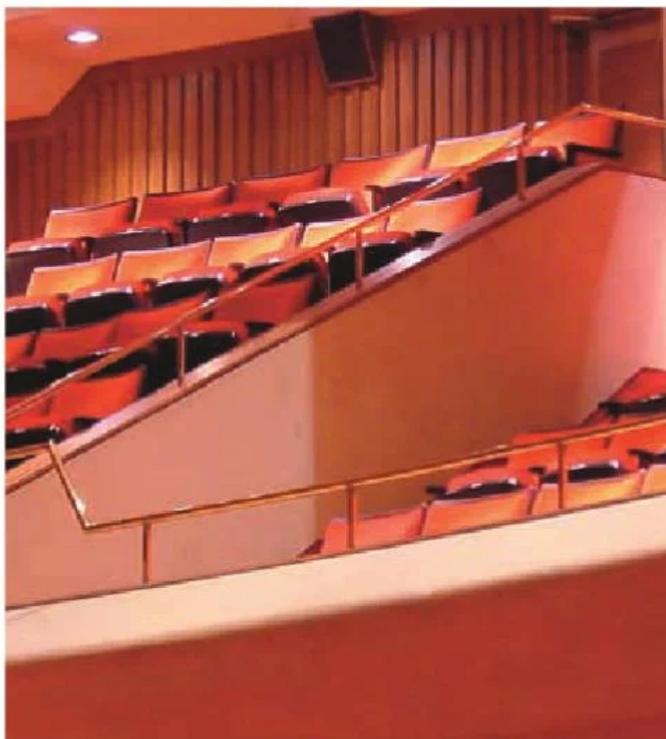
Resonadores Acoplados

Consta de una agrupación de resonadores simples, en donde todos los volúmenes de los cuerpos de los resonadores están comunicados totalmente. Son utilizados con mayor frecuencia que los simples.



Resonadores a ranura múltiples

Listones, por lo general de madera, en donde el cuello es de sección rectangular y una de sus dimensiones es muchas veces mayor que la otra.



Teatro Colsubsidio Roberto Arias Pérez

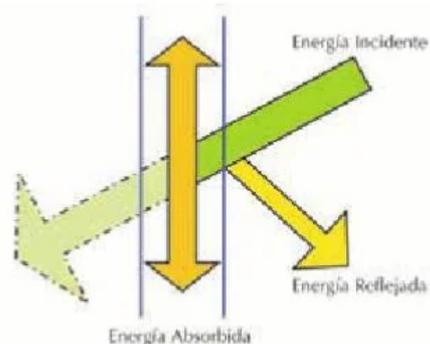
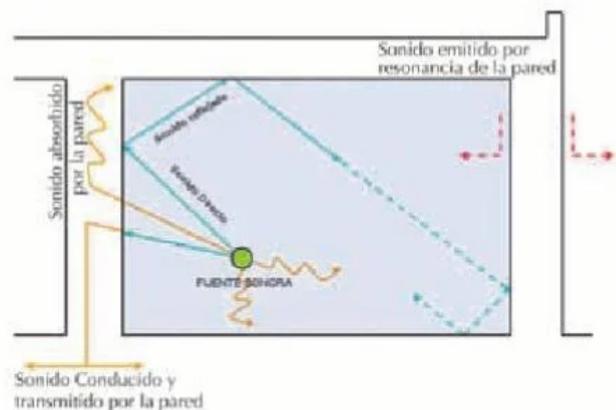
La absorción acústica de los materiales

Las propiedades físicas de los materiales de acabado interior son importantes debido a la manera como estos reaccionan ante la incidencia de una onda sonora. Cada uno presenta un índice propio y diferente en cuanto a su capacidad de absorber, reflejar y transmitir los sonidos que le llegan.

La capacidad de absorción de los materiales determina el tiempo que el sonido puede persistir dentro del local, luego de que la fuente detiene su emisión. Esa permanencia del sonido originada por múltiples reflexiones que se producen sobre las superficies, se denomina reverberación.

A partir de esto, se puede deducir que los materiales absorbentes son los que definen las propiedades de reverberación de un local. El tiempo de reverberación depende de la absorción total, y una correcta difusión del sonido depende de la correcta distribución de los materiales.

Todo sonido que se emite en un recinto cerrado es reflejado, absorbido y transmitido de acuerdo con las características propias de los elementos que conforman el acabado interior del lugar. La absorción de los sonidos se da en las capas superficiales del material.



El coeficiente de absorción (a) de un material, representado en %, se calcula así:

$$a = \frac{\text{Energía absorbida (Ea)}}{\text{Energía incidente (Ei)}}$$

Si el sonido es totalmente absorbido por una superficie, el coeficiente será:

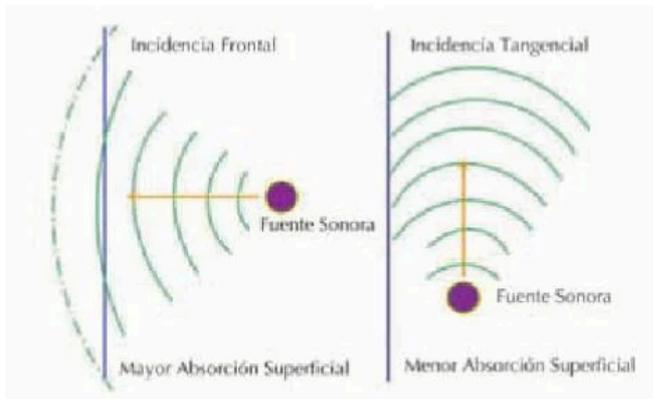
$$a=1, \text{ pues } E_a = E_i$$

Este es el caso de una ventana abierta ($a = 1$). El caso contrario estaría representado por una superficie que reflejará toda la energía incidente, donde $a = 0$, pues $E_a = 0$.

Por todo esto, es posible afirmar que el coeficiente de absorción de los materiales varía entre 0 y 1 (es decir de 0 al 100%).

La absorción de los materiales depende de varios factores:

- De la forma en la que la onda incide sobre la superficie. Si la onda es paralela a la superficie y choca con ella, la absorción de ésta será superior a la que tendría si la incidencia fuera oblicua.



- De la frecuencia del sonido incidente en la superficie. Por lo general el coeficiente de absorción a aumenta para las altas frecuencias y disminuye para las bajas. Ello implica que los sonidos graves son los más difíciles de absorber.
- De las características físicas de los materiales: la estructura y diseño estructural del mismo. Esto supone realizar el estudio de absorción para cada uno de los materiales absorbentes.

Coeficiente de absorción de algunos materiales a la frecuencia 512 Hz

Material	Coeficiente de absorción (a)
Parquet	0,25
Madera de 15 mm barnizada, con 5 cm. de cámara	0,10
Madera de 3 mm con 5 cm. de cámara, relleno fibra de vidrio	0,24
Fibra de vidrio mineral sobre pared 30 mm.	0,66
Butaca tapizada de terciopelo	0,30
Butaca tapizada en plástico	0,25
Asiento de madera	0,35
Fibra de vidrio 100 mm sobre pared	0,99
Acabado en estuco	0,04
Piedra y ladrillo a la vista	0,03
Pañete corriente	0,03
Acustifibra de 1 1/2"	0,90
Fresaca de 3 1/2"	0,85
Hormigón	0,02
Hormigón liso	0,01
Mármol	0,01
Baldosas plásticas	0,04
Fieltro de 25 mm.	0,56
Grandes ventanales de vidrio simple	0,04
Corcho aglomerado de 25 mm con 2,5 cm. de cámara de aire	0,40
Celotex perforado 13 mm.	0,60
Panel de yeso perforado en 12% de su superficie	0,80
Muro yeso sobre pared.	0,02

Absorción de una superficie

La cantidad de energía que una pared, techo o piso absorbe para una determinada frecuencia es directamente proporcional a su superficie (S) y al coeficiente de absorción (a) correspondiente. Así, es que:

$$A = Af = S \times a$$

En donde,

A = absorción de la pared, techo o piso (m^2). Generalmente se denomina absorción fija (Af).

S = superficie de la pared, techo o piso (m^2).

a = coeficiente de absorción de la superficie. Recuerde que $0 < a < 1$.

La absorción total fija (Af) para una sala cualquiera se obtiene con la suma de las absorciones de cada una de las superficies que la conforman:

$$Af = \sum S_n \times a_n$$

Absorción total de una sala

La cantidad total de energía que absorbe una sala, se establece con la sumatoria de las absorciones fijas, y de las absorciones de personas, sillas, mobiliario, etc. que puedan existir.

$$A = Af + As + Ap$$

En donde:

A = absorción total (m^2) Af = absorción fija (m^2)

As = absorción de sillas (m^2) Ap = absorción de personas (m^2)

Principios de uso de los materiales

- Cuando se necesita absorber bajas frecuencias deben crearse cavidades en donde los sonidos queden atrapados y mueran en su interior. La cavidad resonante consta de huecos, estrías o figuras geométricas.
- Materiales absorbentes como la fibra de vidrio, son altamente utilizados entre muros o paneles y sobre cielos rasos de celda abierta o decorados. Son incombustibles, estables dimensionalmente y no generan bacterias ni hongos.
- No sólo es importante pensar en los problemas estéticos del recinto, sino en la calidad que van a ofrecer. Materiales pétreos, cerámicas o maderas, son algunos que abarcan y solucionan ambos problemas.
- Los materiales blandos como el corcho o el fieltro absorben la mayor parte del sonido que incide sobre ellos, aunque pueden reflejar algunos de baja frecuencia.
- Los materiales duros como la piedra o los metales reflejan casi todo el sonido. La acústica de un auditorio de grandes dimensiones puede ser muy distinta cuando está lleno y cuando está vacío: los asientos vacíos reflejan el sonido, mientras que el público lo absorbe. Si se utilizan materiales duros, los tiempos de reverberación serán muy altos y se producirán espacios poco a nada confortables y ambientes con mucho eco.
- La acústica de una sala resulta satisfactoria si se logra un balance adecuado entre los materiales absorbentes y reflectantes de sonido.



Hotel Dann - Barranquilla

La protección contra ruidos

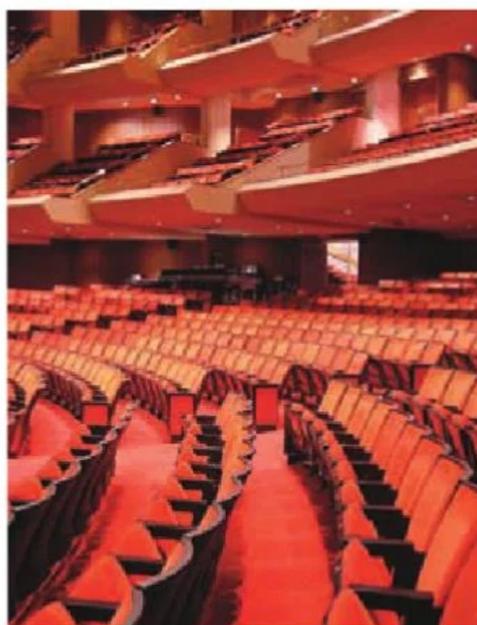
Paralelo al estudio del problema acústico de los espacios arquitectónicos está el del control de ruidos. Y aunque es difícil controlar todo tipo de ruido, existen maneras de minimizarlos. La utilización de buenos materiales, la atención en los detalles constructivos y algunos conceptos básicos de diseño, le ayudarán a proteger su proyecto de este molesto problema.

En páginas anteriores se dijo que el estudio acústico y el control de ruidos se tratan por separado, teniendo en cuenta que la acústica busca solucionar problemas de inteligibilidad de la palabra y fidelidad musical, mientras que el problema de ruido busca, a través de adecuadas técnicas de diseño y construcción, aislar los recintos de las diferentes fuentes de ruido y garantizar condiciones sonoras adecuadas sin necesidad de utilizar medios electrónicos de amplificación.

Las siguientes son recomendaciones generales para controlar los ruidos que puedan acceder por las puertas, las ventanas y otros componentes del proyecto.



Teatro Leonardus



Teatro Colsubsidio Roberto Arias Pérez



Universidad de Los Andes

Los ruidos

Los ruidos son sonidos desagradables que pueden perturbar cualquier actividad humana, aunque cabe destacar que no todo ruido es molesto, ni todo sonido es aceptable. Espacios como supermercados, viviendas, oficinas y salones de clase son los principales recintos en los que debe prestarse mayor atención a este problema, ya que es en ellos en donde las personas realizan la mayor parte de sus actividades diarias.

La protección contra el ruido en teatros, auditorios o salas de conferencia ayuda, indiscutiblemente, a una buena acústica, pero vimos cómo se trata diferente dependiendo del espacio. Para este tipo de espacios, los parámetros, técnicas y aspectos constructivos se aplican por igual a cualquier tipo de recinto.

Niveles máximos de intensidad de sonido		
Ambientes (recintos sin ocupar)	Nivel de intensidad de sonido en dB	Caracterización
Ambientes para música	35 a 40	Silencio
Ambientes en oficinas	45 a 50	Conversación voz natural
Ambientes en laboratorios	40 a 45	Conversación voz baja
Ambientes tecnología, baños y depósitos	Hasta 60	Voz humana en público

Fuente: Norma Técnica Colombiana NTC 4595.
Esta norma está especificada para ambientes escolares. Sin embargo, sus generalidades funcionan para el aislamiento de ruidos de cualquier espacio.

¿Por qué se produce el ruido?

El problema de ruido surge de cuatro factores:

- Mal diseño de detalle constructivo.
- Mala concepción y distribución de los espacios.
- Proceso de construcción y mano de obra deficientes.
- No utilizar los materiales apropiados en el momento del diseño.

De dónde proviene el ruido?

Existen varias fuentes de ruido, tanto interiores como exteriores al proyecto

Ruidos interiores

Se pueden encontrar las siguientes fuentes de ruido:

- Personas
- Aparatos electrónicos y electrodomésticos
- Instrumentos musicales
- Instalaciones

Evitar estos ruidos es difícil ya que no se tiene control sobre ellos. La clave para lograrlo está en tratar de disminuir la intensidad de los ruidos desde la misma fuente.

Ruidos exteriores

- Vías de circulación de autos
- Aeropuertos
- Centros industriales y comerciales

La siguiente es una caracterización de ruidos provenientes de fuentes externas, su intensidad esperada y la forma como los percibe el oyente.

Ruido exterior	dB	Percepción del oyente
Avión Jet al despegar	120	Comienzo del dolor
Fábrica de Calderas	110	Ensofecedor
Fábrica ruidosa, ruido alto en la calle	90	Muy alto, ruidoso.
Oficina ruidosa, fábrica término medio	70	Alto.
Oficina común, casa ruidosa	50	Moderada
Oficina privada, conversación libre	30	Tenue, débil
Murmullos.	10	Muy Tenue

Fuente: FiberGlass Colombia S.A.

Aislamiento de ruidos

Los sistemas para el aislamiento de ruidos son básicamente los mismos para cualquier tipo de espacio, pero se diferencian dependiendo de cuál sea la fuente de transmisión.

Transmisión a través del aire

Estos ruidos se pueden transmitir:

- A través de las aberturas y grietas en las paredes.
- A través de los conductos de ventilación.

Estos ruidos se atacan mediante la ley de masa y frecuencia, aumentando el peso de las estructuras (muros, placas, puertas, ventanas, etc.).

La ley predice que la pérdida por transmisión aumentará en 6 dB por cada duplicación de la masa de la superficie o la frecuencia, lo cual puede lograrse aumentando el grosor del material o seleccionando materiales más densos.

Para la atenuación del ruido, esta ley es fundamental. A mayor masa mayor atenuación, a mayor frecuencia se requiere una menor masa para obtener un nivel dado de atenuación. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que todo material presenta una frecuencia crítica en la cual su capacidad de atenuación disminuye drásticamente, que debe ser calculada para tomar las previsiones necesarias.

Transmisión por vibración

Se puede transmitir así:

- Por vibraciones elásticas de la pared que separa un recinto de otro que a su vez contiene una fuente de sonido.
- Por golpes de impacto que se transmiten por la estructura del edificio.
- Por vibraciones de maquinaria transmitidas a través del suelo, cimientos y otras partes de la estructura.

Para combatir estos ruidos es necesario colocar dos superficies aislantes de materiales diferentes, separados entre sí por una amplia cámara de aire, o bien colocar material aislante dentro de esa cámara de aire. Cuanto mayor sea el espacio entre dos elementos, mayor será la capacidad de aislamiento.

Sin embargo, debe tenerse en cuenta que el aire atrapado en la cámara siempre actuará como puente acústico, transfiriendo por lo tanto energía vibratoria de un espacio a otro. Por eso, cuanto mayor es el espacio ó más pesados los materiales, menor es la frecuencia a la que se produce la resonancia.

Aspectos constructivos para el aislamiento

Los problemas del ruido en los recintos son fáciles de resolver si desde la etapa de diseño se presta atención a los detalles constructivos en puntos críticos como ventanas, muros, puertas y sistemas de aire acondicionado y ventilación. Las siguientes son recomendaciones básicas para aislar los recintos:

- Los ambientes deben contar con materiales aislantes de ruidos aéreos que garanticen una atenuación de la intensidad sonora según los siguientes valores:

Máximo nivel de intensidad de sonido (dB)	Atenuación mínima (dB)	Atenuación recomendada (dB)
35 a 40	25	40
40 a 60	-	20
Más de 60	-	10

Fuente: Norma Técnica Colombiana NTC 4595

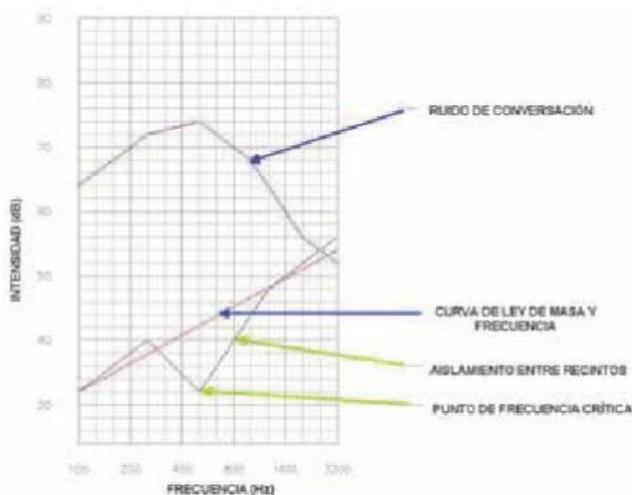
- La atenuación sonora se puede obtener con superficies porosas, perforadas, ranuradas, juntas profundas y angostas pero nunca lisas.

Superficie	Material atenuante
Pisos	<ul style="list-style-type: none"> • Cauchos • Vinilos • Tapetes • Yute
Muros	<ul style="list-style-type: none"> • Revoques • Concretos • Ladrillo a la vista • Láminas en fibra de vidrio
Techos	<ul style="list-style-type: none"> • Plaquetas de yeso • Frisos • Cornisas • Celotex • Placas de fibra de vidrio
Puertas y marcos de ventanas	<ul style="list-style-type: none"> • No deben ser lisos • Pintura mate y corrugada



Gobernación del Tolima

En la gráfica puede verse la capacidad de atenuación de un material con respecto al ruido incidente.



Fuente: Michel Ewert de Geus

- En la medida de lo posible, aumente la masa de la superficie que se interpone entre el ruido y el recinto. También se pueden crear dos o tres superficies separadas por una capa de aire o por materiales blandos. Si la masa está compuesta por diferentes densidades, mucho mejor.
- El ruido de tráfico posee gran cantidad de bajas frecuencias que pueden entrar en las edificaciones con mucha facilidad. Para evitarlo, es necesario el uso de estructuras sólidas con masa superficial importante, sobre todo si comparten dos espacios adyacentes.
- Utilice materiales artificiales diseñados para interrumpir, desviar o absorber los flujos de sonido.

- Si los ruidos se producen en las zonas de ventanas, asegúrese de sellar muy bien los empalmes entre ventanas y muros utilizando masillas y otros materiales recomendados para este efecto. Por ejemplo, los perfiles de las ventanas deben ser inyectados en obra con poliuretano para que sellen completamente contra el vano. Lo importante no es el material de la ventana, sino asegurar su cerramiento. Revise que los vidrios estén adecuadamente fijados a las ventanas, ojalá mediante empaques de caucho.
- Gran parte de los problemas de diseño surgen del desequilibrio en la capacidad de atenuación del sonido. Por ejemplo, se construye un doble muro macizo de 25 cms, pero al tiempo se coloca una ventana. La capacidad de aislamiento y atenuación que tiene el vidrio es distinta, y si el vidrio es muy delgado el ruido llegará al recinto, dejando prácticamente inútil la capacidad de aislamiento de un muro con esas características.
- Una de las alternativas más utilizadas para minimizar el impacto acústico exterior es el uso de vidrios dobles, del mismo o distinto grosor y separados unos pocos milímetros. Sin embargo, ésta no es la mejor solución porque el poco espesor de la cámara de aire entre los vidrios es insuficiente para aislar el ruido. La solución más eficaz es instalar dos ventanas con vidrio simple, separadas entre sí varios centímetros para mejorar el aislamiento acústico de las bajas frecuencias.

- Los ruidos internos se pueden evitar por ejemplo, con el empleo de materiales como alfombra o caucho en los pisos. Esto funciona también para recintos como auditorios o teatros en donde al problema acústico se debe sumar la protección del ruido interno.

En el aspecto constructivo existen muchos espacios por cubrir: Nuevos materiales y nuevas técnicas de montaje que pueden mejorar las condiciones sonoras de los espacios que se habitan a diario.

Sin embargo, la parte más delicada no está en la concepción o fabricación del material ni tampoco en su diseño, cuando lo realiza personal calificado, sino en la ejecución de la obra. El incorrecto montaje de los elementos puede echar abajo las previsiones de aislamiento que usted tuvo presente.

Aspectos de diseño para el aislamiento

Desde la etapa de diseño es posible controlar el acceso de los ruidos hacia el interior de los espacios, aplicando conceptos tan sencillos como estos:

- Ubicar las habitaciones de los edificios sobre la fachada contraria a la vía de tráfico más cercana.
- Construir edificios bajos (tres o cuatro plantas) para sacar provecho del efecto de absorción del suelo.
- Cualquier construcción o muro que se encuentre entre la fuente de ruido y el edificio puede llegar a constituir una buena pantalla para aislar el sonido directo de la fuente.



- No concebir la cubierta externa de un conjunto de viviendas como un solo elemento. La cubierta que pasa por encima de unos muros medianeros de la casa, con unas vigas para soportar, permite el acceso de cualquier ruido hacia el interior.

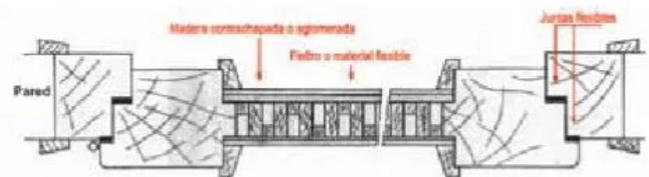
- No diseñar el muro divisorio entre las casas como un muro compartido. Si se hace, el muro divisorio debe tener una masa muy grande.
- Utilizar lo mejor posible los elementos sustentantes pesados (construcción con muros divisorios de carga) y las juntas de dilatación para asegurar un correcto aislamiento entre las distintas partes de una misma vivienda o viviendas contiguas.
- No superponer la cocina o baño de una vivienda a una habitación vecina.
- No instalar dentro de los cuartos ningún tipo de tubería.
- No ubicar las habitaciones junto al espacio de escaleras.
- Para aislar dos habitaciones de una misma vivienda, se recomienda separarlas por dos puertas sucesivas.
- Instalar la maquinaria sobre bases sólidas que disminuyan su vibración.
- Aislar las máquinas, los soportes de tubería y los ductos con materiales elásticos.

Puertas

- Las uniones de los marcos de puertas y ventanas contra los muros donde van empotradas deben sellarse con materiales flexibles.
- Las puertas a lo largo de los corredores se deben alternar.
- Cuando se requiera control de ruido, deben evitarse las puertas correderas.
- Los bordes de las puertas deben encauchetarse para evitar la entrada de ruidos indeseados y a la vez controlar la penetración del aire.
- Cuando se requiera privacidad, las hojas de las puertas deben fabricarse con láminas sólidas de madera o grafitos minerales.

Tipos de puertas

- Puertas Acústicas: se emplean en ambientes especializados como auditorios, laboratorios para idiomas y aulas especializadas que requieren silencio.



Detalle puerta acústica
Fuente: Nelson Rojas

- Puertas Entamboradas: compuestas por dos caras delgadas de contrachapados o aglomerados, separados con una cámara de aire interior. En ocasiones se rellenan con paneles de fibra de vidrio.
- Puertas Macizas: las puertas pesadas permiten tener mejor atenuación y aislamientos de ruidos.

Ventanas

• Para la atenuación del ruido, los vidrios de las ventanas dependen de su masa, densidad, rigidez y hermetismo en la colocación. Los mejores resultados se producen con vidrios fijos y secciones pequeñas.

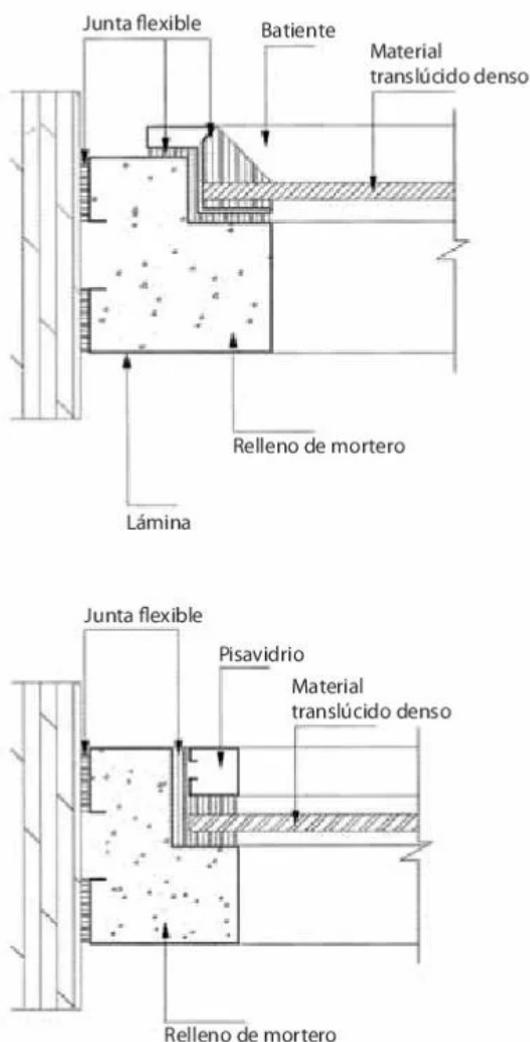


Figura: Detalle de ventana con batiente. Detalle de ventana con vidrio fijo.
Fuente: Nelson Rojas

Espesor en mm.	Peso en Kg/m ² .	Aislamiento en dB.
2	5,20	26
3	7,21	27
4	9,52	28
5 *	12,07	29
6	14,60	30
7	16,09	31
10	23,37	33

* El costo de los espesores superiores a 5 mm es muy alto frente al aislamiento que ofrecen.

- Los vidrios con espesor mínimo de 4 mm, los vidrios laminados con películas acústicas, los dobles vidrios y las trampas de sonido pueden ayudar a reducir la transmisión del sonido.
- Las medidas de las ventanas en áreas ruidosas deben minimizarse.
- Las ventanas móviles deben tener un cierre completamente hermético.

Equipos que producen ruido

- Los teléfonos, timbres, intercomunicadores o sistemas de audio deben instalarse solamente sobre muros interiores, nunca sobre muros compartidos o corredores.
- Los equipos ruidosos deben localizarse en sitios lejanos a las zonas de descanso.
- Antes de adquirir los equipos deben investigarse sus niveles de ruido e insistir en la necesidad de que sean silenciosos.
- Los equipos deben montarse de tal manera que no transmitan vibraciones hacia la estructura, estudiando cada caso en particular (bases sobre piso, cauchos, aislantes, etc).

Aparatos y aire acondicionado

- Usar las medidas apropiadas en tuberías de agua y válvulas para minimizar ruido.
- Seleccionar equipos silenciosos con ventiladores balanceados y motores no ruidosos.
- Seleccionar balastos en luminarias con tubos fluorescentes.
- Utilizar ductos de fibra de vidrio para conducir silenciosamente el aire acondicionado.

Plomería

- Aislar la tubería con productos en fibra de vidrio.
- Especificar las medidas adecuadas de las tuberías para que la reducción de presión baje la velocidad del fluido y reduzca el ruido.
- Colocar cámaras de aire en cada desagüe para eliminar golpes de agua debido a cortes de fluido.
- Si la tubería va descolgada, utilizar brazos móviles que permitan la sujeción de la tubería y algún tipo de movimiento para evitar ruidos.

Sistemas eléctricos

- Cablear el sistema eléctrico completamente independiente para cada apartamento, evitando compartir instalaciones entre apartamentos.
- Sellar con sellos plásticos los agujeros dejados por los cables.
- Conectar con alambros flexibles los equipos que vibran.
- Elaborar los cortes precisos para instalar las tomas y evitar así escapes.
- Sellar el perímetro total de la toma.

Grietas en pisos

- Sellar todas las grietas y/o juntas en el piso.

Aspectos legales frente al ruido

Algunas de las normas establecidas son:

1. Resolución 8321 del 4 de agosto de 1983, emitida por el Ministerio de Salud.

En esta resolución se dictan normas sobre protección y conservación de la audición de la salud y el bienestar de las personas, por causa de la producción y emisión de ruidos. Consta de 63 artículos, en donde se amplían definiciones generales, métodos de medición, normas generales de emisión de ruido, protección y conservación de la audición por la emisión de ruido en los lugares de trabajo, entre otras.

Definiciones Generales

- Contaminación por Ruido: cualquier emisión de sonido que afecte adversamente la salud o seguridad de los seres humanos, la propiedad o el disfrute de la misma.
- Decibel: la unidad de presión del sonido.

- Período Diurno: el comprendido entre las 7:01 a.m. y las 9:00 p.m.
- Período Nocturno: el comprendido entre las 9:01 p.m. y las 7:00 a.m.
- Nivel de Ruido: aquel medido en decibeles con un instrumento adecuado (Decibelímetro, Sonómetro).

Para prevenir y controlar las molestias, las alteraciones y las pérdidas auditivas ocasionadas en la población por la emisión de ruido, se establecen los niveles sonoros máximos permisibles incluidos en la siguiente tabla:

Niveles Sonoros máximos permitidos		
Zonas Receptoras	Nivel de Presión Sonoro en Db	
	DIURNO	NOCTURNO
Zona I Residencial	65	45
Zona II Comercial	70	60
Zona III Industrial	75	75
Zona IV Tranquilidad	45	45

2. Decreto 948 del 5 de junio de 1995, Capítulo V. De la generación y emisión de ruido.

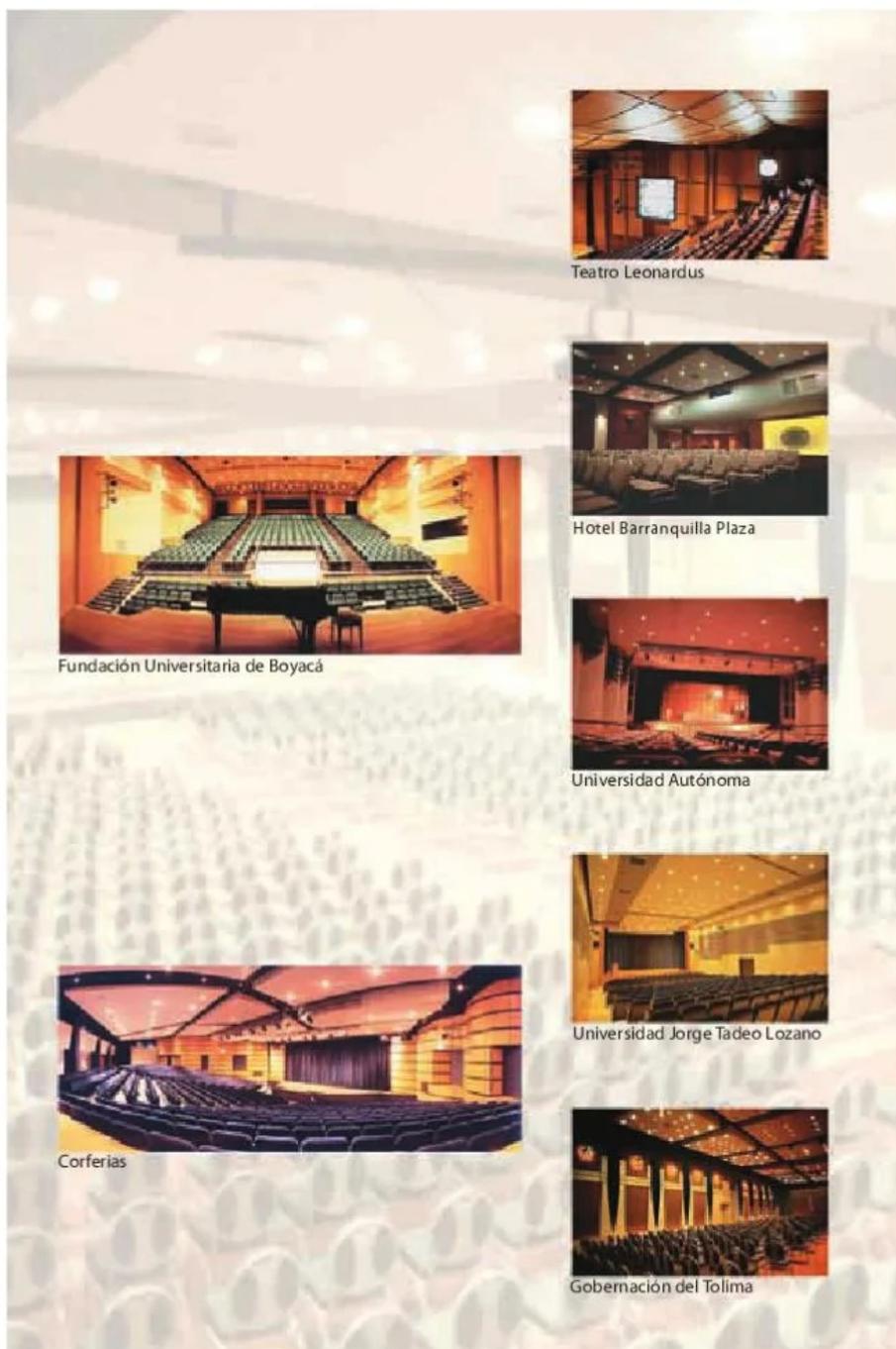
Compila en 23 artículos, la reglamentación para:

- El control a emisiones de ruido.
- Ruido en sectores de silencio y tranquilidad.
- Prohibición de generación de ruido.
- Horarios de ruido permisible.
- Ruido de maquinaria industrial.
- Área perimetral de amortiguación de ruido.
- Restricción al ruido en zonas residenciales.
- Operación de equipos de construcción, demolición y reparación de vías.

Niveles de confort para diferentes ambientes	
Ambiente muy tranquilo	30 dB o menos
Ambiente tranquilo	entre 30 y 40 dB
Ambiente moderadamente tranquilo	entre 40 y 50 dB
Ambiente ruidoso	entre 50 y 60 dB
Ambiente muy ruidoso	entre 60 y 70 dB
Ambiente insoportable	entre 70 y 80 dB
Ambiente inadmisibles	más de 80 dB

La acústica aplicada en...

El tratamiento de la acústica es algo que ha importado siempre, sobretodo en lugares como teatros, salas de concierto o auditorios. Las nuevas tecnologías, materiales y los estudios continuos en este campo hacen que en Colombia podamos resaltar unos cuantos proyectos que se caracterizan por su buen tratamiento acústico. A continuación daremos un vistazo por algunos de ellos.



Sala de Conciertos – Universidad Jorge Tadeo Lozano

DISEÑO: Arq. Daniel Bermúdez

- Cuenta con mecanismos de acústica variable que permiten aumentar o reducir el volumen de aire, y modificar la proporción de materiales absorbentes y reflejantes acústicos dentro de la sala, para acomodarla a diferentes tipos de conciertos, conferencias, proyecciones y otros usos.
- Las superficies móviles de vidrio que se desprenden del techo, están controladas por un sistema electromecánico para modificar la dirección de las reflexiones sonoras y cambiar el comportamiento acústico de la sala.



Sala de conciertos Biblioteca Luis Ángel Arango

DISEÑO: Germán Sampér Gnecco

Esta obra, realizada hace muchos años, tiene una excelente calidad acústica apreciada por muchos. Su forma base es elíptica, y aunque no es una forma recomendable para la acústica, se encontraron soluciones como:

- Cubierta realizada con vigas de madera separadas entre sí por cámaras de aire. La proporción 50 – 50 entre el aire y el material altamente acústico como la madera, proveen al lugar de características acústicas sobresalientes.
- Inclinación de los muros laterales para lograr una buena difusión y propagación de las reflexiones.



Salón Compensar

DISEÑO: Mota y Rodríguez (Daniel Mota y Fernando Rodríguez)

- Es un auditorio multipropósito que utiliza mecanismos de acústica variables.
- Detrás de la audiencia tiene unos paneles que se emplean para variar el volumen del recinto y, por lo tanto, sus tiempos de reverberación. Si se desea que la sala sea muy reverberante se abren los paneles, aumentando el espacio físico del lugar.
- Para conferencias, los paneles se cierran consiguiendo superficies absorbentes y una reverberación baja.
- Esos mismos paneles se voltean 180 grados y son reflejantes.



Teatro Colsubsidio Roberto Arias Pérez

DISEÑO: Pizano Pradilla Caro Restrepo Ltda.

- Maneja geometrías quebradas en techos y muros laterales.
- Los muros de fondo son en madera (material absorbente).
- Buena concepción del espacio y la manera de distribuir los sonidos a toda la audiencia. Por ejemplo, emplea dos niveles de audiencia (tipo balcones) que ayudan a reflejar el sonido hacia muchos puntos de la sala.
- En la parte posterior de la sala los techos tienen un manejo de geometrías cóncavas que ayudan a la buena difusión del sonido.
- Las superficies reflejantes se encuentran en techos y balcones, mientras que los muros son en madera.

