

Acústica de salas

"Es ampliamente aceptado en high end que la sala de escucha es quizá el componente más importante en la cadena de reproducción musical. Desafortunadamente muchos audiófilos todavía no consideran la sala como parte de dicha cadena. Cualquiera que sea su opinión, no se engañe, sean cuales sean los componentes de su equipo de audio, el conjunto sonará realmente mal en una mala sala."

Así comienza el artículo de una marca de altavoces, traducido de forma literal, antes incluso de hacer propaganda sobre la calidad de sus productos, por tanto, así de importante es este componente más de nuestro sistema de sonido, y las más veces dejada como la asignatura pendiente.

Valga el símil de una gran orquesta y el auditorio donde interpretará; por muy bien que interprete dicha orquesta (en nuestro caso, la electrónica y altavoces de nuestro equipo de audio) si la acústica del auditorio no está a la altura de las circunstancias (la acústica de nuestra sala), la escucha de dicha interpretación resultará desmerecida.

A modo de resumen, trataré de exponer los conceptos principales a tener en cuenta a la hora de estudiar la acústica de nuestra sala de escucha, de un modo conciso y fácil de asimilar. Estos han sido obtenidos de libros, artículos, páginas web y programas de diseño acústico, y experimentados por mi en varias salas domésticas.

Puesto que la acústica es muy amplia y difiere en función de las dimensiones del local, el uso a que se destine, etc, me voy a centrar en salas reducidas para escucha de música de estilos varios, lo que comúnmente utilizamos cuando hablamos de alta fidelidad, y lo que generalmente encontramos en cualquier vivienda.

El rango de frecuencia audible para una persona normal se sitúa de 20 a 20.000 Hz, este se divide en

| Frecuencias centrales de bandas norma ISO 266 | | | | | | | | | | |
|---|------|----|-----|-----|-----|-------|-------|-------|-------|--------|
| 16 | 31,5 | 63 | 125 | 250 | 500 | 1.000 | 2.000 | 4.000 | 8.000 | 16.000 |

bandas (octavas en música) tomando el valor central de cada una (según la norma ISO 266). Para el estudio de la acústica en una sala se toman generalmente las seis bandas comprendidas de 125 a 4.000 Hz.

Hay que cuidar el ruido de fondo asociado a una sala. En el caso que nos ocupa, éste no debe ser mayor de 38 dB (medidos con ponderación A, nivel bajo, poco más del ruido de fondo en un dormitorio de noche) para que no cause molestias a la escucha, o lo que es igual, se le asocia una curva NC no superior a 25 (curvas que representan el nivel de ruido asociado a cada banda de octava, esta concreta, va de 45 dB. en la octava de 125 Hz. hasta 22 dB. en la octava de 4.000 Hz). En nuestro caso, el único modo de controlar este factor es buscar la habitación de nuestra casa menos ruidosa (evitar las orientadas a calles con mucho tráfico, colegios, etc, ya que el fin del estudio acústico no es el aislamiento de ruidos, tanto exteriores como interiores, sino optimizar el sonido de la sala.)

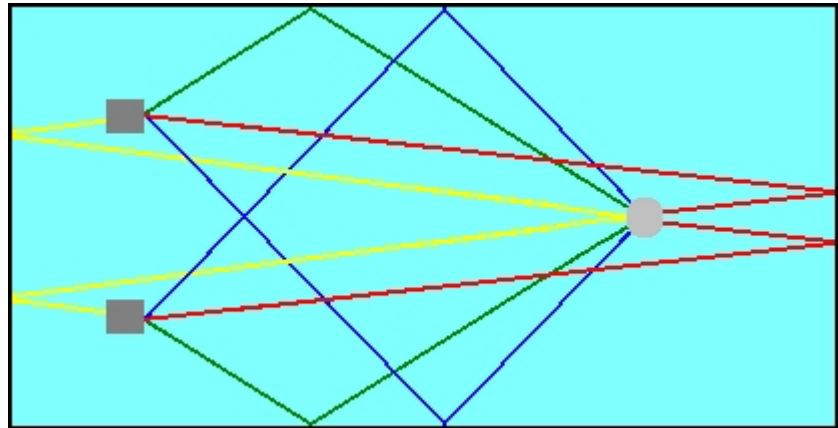
Otro parámetro a tener en cuenta es el tiempo de reverberación (RT, tiempo transcurrido desde que deja de emitir la fuente hasta que la presión SPL cae 60 dB con respecto al valor inicial, válido para salas de geometría regular) de la sala, en nuestro caso debe estar entre 0,6 y 1,8. Este valor varía en función del volumen de la sala y el grado de absorción medio de la misma (a mayor volumen de sala, mayor RT, y a mayor grado de absorción menor RT). Generalmente en nuestro caso se controla mediante la distribución de mobiliario (incluidos cuadros, cortinas, etc) para determinar el grado de

absorción, ya que con respecto al volumen de la sala poco podemos hacer para modificarlo. Como referencia, nuestra voz debe sonar similar a como lo haría en una sala de cine llena (tiempos de reverberación sobre 1.2 segundos), o hacer cálculos con la herramienta que ofrecen en [Walters-Storyk Design Group](#).

Básicamente son tres las características de la reproducción musical inherentes a la sala, y que se optimizan exclusivamente cuidando la acústica de la misma: **Localización** de instrumentos, voces, etc, desvirtuada por una incorrecta interacción entre sonido directo y reflejado (primeras reflexiones, muy acentuado cuanto menores son los desfases en tiempo, caso de salas domésticas). **Espacialidad** de la escena sonora, mermada por una incorrecta difusión, sobre todo trasera, del sonido. **Respuesta en frecuencia** lo más plana posible, desvirtuada por las coloraciones (picos y valles en la respuesta en frecuencia) debido a unas dimensiones inapropiadas de la sala, y una incorrecta localización de altavoces y oyente.

LOCALIZACIÓN

En una sala, el sonido que emite la fuente (altavoz) nos llega de dos formas distintas; directo y reflejado. La onda que llega directa depende tan solo de la distancia a la fuente, pero el sonido reflejado depende de la distancia recorrida, la absorción de los materiales de las superficies reflectantes y la dirección del sonido reflejado. Este presenta básicamente dos áreas bien diferenciadas;



primeras reflexiones, aquellas que llegan inmediatamente después del sonido directo, retardos menores de 20 ms y orden menor o igual a 3, es decir, máximo incide 3 veces sobre las superficies reflectantes de la sala, y reflexiones tardías, orden mayor de 3 y retrasos superiores a 20 ms, producen las reverberaciones. Son las primeras reflexiones, al ser junto con el sonido directo, las que contienen más energía, las que determinan las características acústicas de la sala, y por tanto las que se consideran en el estudio de la acústica geométrica (ver gráfico con principales reflexiones, de orden 1, en una sala regular). Las reflexiones tardías suelen presentar la misma energía en cualquier punto de la sala, por lo que su estudio se hace estadísticamente.

| Materiales y coeficientes de absorción | | | | | | | |
|--|--------|--------|--------|---------|---------|---------|------|
| material | 125 Hz | 250 Hz | 500 Hz | 1000 Hz | 2000 Hz | 4000 Hz | NRC |
| cortinas | 0.07 | 0.37 | 0.49 | 0.81 | 0.65 | 0.54 | 0.58 |
| alfombra | 0.05 | 0.15 | 0.3 | 0.4 | 0.5 | 0.6 | 0.34 |
| suelo granito | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.02 | 0.01 |
| suelo madera | 0.04 | 0.04 | 0.07 | 0.06 | 0.06 | 0.07 | 0.06 |

En cuanto a la ubicación de acondicionadores, a título general se deben colocar absorbentes a ambos lados, en dos puntos (reflexiones laterales de orden 1 de ambos altavoces, ver gráfica superior) que se calculan de forma geométrica, aunque un método

más sencillo y al alcance de cualquiera es mediante el truco del espejo. Existen otras dos reflexiones en el suelo, entre altavoces y oyente, que deben controlarse colocando una alfombra. También existen reflexiones a tratar en el techo, aunque por cuestiones estéticas las he obviado (salvo instalaciones de referencia, suelen despreciarse, mayormente por el motivo apuntado). Como a veces resultan caros o poco estéticos los absorbentes comerciales dedicados al audio, he utilizado materiales y mobiliarios comunes en la decoración de casas como elementos absorbentes. En la tabla adjunta se muestran algunos de ellos y sus coeficientes de absorción (el valor NRC indica el coeficiente de reducción acústica, media aritmética de los coeficientes correspondientes a cada octava). Para conocer el grado de absorción de otros materiales, puede buscarse en [The Fridge Architectural Science Lab](#). Los resonadores son absorbentes selectivos, que actúan en un margen estrecho de frecuencia,

generalmente en las octavas más bajas, para eliminar exceso de bajas frecuencias. Sus frecuencias de funcionamiento las determina en cada caso la sala donde han de instalarse, según los modos calculados para la misma (donde presente coloraciones) y suelen instalarse principalmente en las esquinas de la sala.

ESPACIALIDAD

Se controla ubicando en la sala difusores. Estos elementos acondicionadores ayudan a dispersar en todas direcciones las ondas sonoras. Suelen situarse en la pared del fondo de la sala (puntos de primeras reflexiones, ver gráfica arriba). Los más utilizados son los QRD (difusor de residuo cuadrático) unidimensionales, que propagan el sonido en un ángulo de 180° (generalmente en plano horizontal, colocando sus ranuras en sentido vertical). El cálculo de su secuencia, número de ranuras, anchura y profundidad de las mismas va en función del grado de difusión requerido y frecuencia base y mínima que difundirá, aunque hay unas consideraciones a tener en cuenta. Las frecuencias más baja y más alta de difusión quedan determinadas por la anchura y profundidad de cada ranura, aunque en la práctica el margen útil viene a ser de tres octavas, ya que fuera del mismo se comporta como un reflector. Las longitudes de onda de sus frecuencias de trabajo han de ser pequeñas con respecto a la distancia del difusor al oyente para que resulten efectivos. Otra consideración es el grado de difusión que en la práctica, a partir de un número elevado de periodos el grado de difusión en lugar de aumentar tiende a disminuir, ofreciendo menor difusión.



RESPUESTA EN FRECUENCIA

Las ondas estacionarias (o modos propios) presentes en cualquier sala, están relacionadas con las medidas de la misma. Toda sala regular presenta tres frecuencias fundamentales, dadas por la velocidad del sonido (345 metros por segundo para un grado de humedad y temperatura media) dividido por la dimensión de la sala (alto, ancho y fondo) por dos, expresado en metros, además de sus armónicos (frecuencias múltiplos de las primeras). Por tanto, se presentan en número infinito, asociadas a cada frecuencia fundamental, y se estudian con la llamada acústica analítica. Presentan algunas peculiaridades; en salas con dimensiones inapropiadas (muy pequeñas, cúbicas, etc) tienden a agruparse en bandas estrechas de frecuencias, son las coloraciones. Por ello es totalmente aconsejable elegir una sala con relación entre sus tres ejes que permita que la distribución de modos propios sea uniforme (ausencia de coloraciones, ver tabla con algunas proporciones óptimas, generalmente múltiplos de ellas idénticos en sus tres ejes). Para una sala de proporciones óptimas los modos se distribuyen homogéneamente en todo el rango de frecuencia, y aumenta su número conforme se aumenta de octavas, contrario a salas de medidas inadecuadas, que disminuyen los modos conforme se aumenta de octavas y su distribución tiende a agruparse en lugar de hacerlo homogéneo. La banda de frecuencia crítica para el estudio de los modos y coloraciones suele ser hasta 300 Hz, al ser las bajas frecuencias las críticas en salas domésticas. También hay que destacar que a partir de cierta frecuencia los modos propios no influyen para nada, principalmente esta frecuencia viene determinada por el volumen de la sala, a raíz de lo explicado anteriormente. A menor volumen de sala, mayor incidencia de modos propios (coloraciones) y a frecuencias más bajas, por lo que se hace aconsejable escoger una sala con suficiente volumen (generalmente el salón de la casa) y

| Medidas de sala óptimas (alto 1) | | | | | |
|----------------------------------|-------|-----|-----|-----|-----|
| ancho | largo | | | | |
| 1.2 | 1.6 | | | | |
| 1.4 | 1.6 | 1.8 | 2.0 | 2.2 | 2.4 |
| 1.6 | | | 2.0 | 2.2 | |

a ser posible con forma regular y proporciones según la tabla adjunta, como ya se ha dicho.

$$172.5 \sqrt{\left(\frac{k}{\text{largo}}\right)^2 + \left(\frac{m}{\text{ancho}}\right)^2 + \left(\frac{n}{\text{alto}}\right)^2}$$

Determinar la mejor ubicación de altavoces y oyente se calcula matemáticamente. Una fórmula básica, a la hora de estudiar esta ubicación, si no disponemos de otros medios o presupuestos, en salas regulares, es colocar los altavoces de forma simétrica a **0.277 x ancho** de la pared lateral, y a

0.353 x ancho de la pared trasera, este método es ofrecido dentro del mismo artículo nombrado al principio (todas las medidas con respecto al centro y frontal del altavoz de graves). El oyente debe situarse equidistante de ambos altavoces, a la separación entre los mismos más 30 cms. El ángulo de inclinación de los altavoces debe ser tal que sus ejes (perpendicular al plano frontal del altavoz de agudos) se crucen a unos 30 cms. tras la posición de oyente. Esta ubicación, pese a no ser la mejor en cada caso (hay muchos factores a tener en cuenta) es un buen punto de partida, pues ofrece una respuesta de la sala bastante plana (pocas cancelaciones y coloraciones). La solución óptima en cada caso suele hacerse, valorando más parámetros, mediante programas informáticos de acústica y simulación de salas, mucho más rápido, cómodo, y preciso.

La acústica siempre resulta imprescindible para todo aquel que pretenda tener un buen sistema de reproducción musical.

[Inicio](#) | [Amplificación](#) | [Altavoces](#) | [Lector de CD](#) | [Giradiscos](#) | [Cables](#) | [Sala](#) | [Cine en casa](#) | [Accesorios](#) | [Marcas](#) | [Enlaces](#) | [Artículos](#)