

La reverberación en el acondicionamiento

La reverberación se produce en el mismo local donde se sitúa el foco emisor de sonido y afecta a la confortabilidad acústica. Su incidencia es más patente en lugares de pública concurrencia. Este artículo repasa los conceptos básicos de la reverberación, las recomendaciones al respecto en la normativa vigente y las posibles actuaciones para corregir su efecto.

Hasta la fecha, en nuestros escritos de divulgación acústica hemos incidido principalmente en el tema del aislamiento entre recintos, entendiéndose simplísimamente por tal, las características del elemento separador entre locales que ocasionan que habiéndose producido en el recinto emisor un nivel sonoro de L1 dBA, solo se aprecien L2 dBA en el recinto receptor. Nuestra insistencia en este tema ha estado condicionada por ser las exigencias de aislamiento (y la inmisión L2) los parámetros que regulan principalmente las normativas actualmente vigentes.

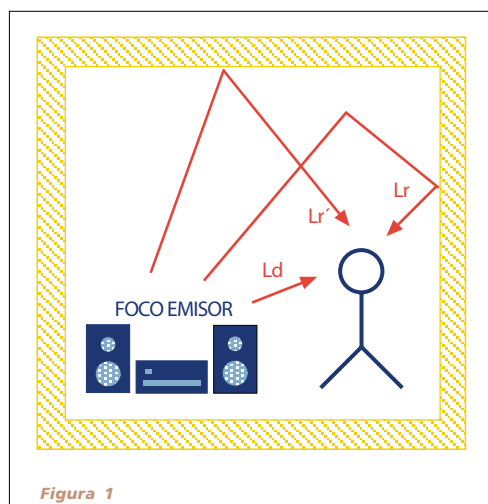
La reverberación sin embargo, tiene capital importancia en el mismo local donde se produce el nivel sonoro de la actividad (L1), y afecta a su confortabilidad acústica, siendo por tanto en los locales de pública concurrencia, bares, cines, auditorios, aulas, etc., donde su incidencia es más patente.

Las habitaciones de las viviendas, excepto en casos extremos, están más olvidadas a este respecto en los estudios acústicos por considerarse que su amueblamiento normal por parte del propietario conseguirá un nivel de reverberación cuando menos aceptable. Convendría en este punto recordar los conceptos básicos de la reverberación, de los cuales vamos a entresacar muy simplísimamente los más importantes.

Focos sonoros

En un local en el que disponemos de un foco emisor de sonido (una cadena musical por ejemplo) una persona percibirá una señal sonora que le llegará directamente (Ld), pero como las ondas sonoras se propagarán en todas las

direcciones chocarán con las paredes, techo y suelo (reflexiones) llegando también a la citada persona (Lr) superponiéndose o no en su oído a la señal directa, según veremos a continuación en el esquema siguiente *Figura 1*



Como a 22º centígrados el sonido se propaga a 345 metros por segundo y el oído humano percibe por separado la señal directa de la reflejada cuando existe entre ellas un retardo igual o superior a 50 milisegundos; es fácil deducir que en el caso de que la señal reflejada haya recorrido una distancia superior a $345 \times 10^{-3} \times 50$ (aproximadamente 17'25 metros) con respecto a la señal directa, ambas se percibirán por separado (efecto de eco); y si dicha distancia es menor se percibirán mezcladas, con lo que la percepción será confusa.

Por lo tanto la presión sonora en cualquier punto de un local es siempre la suma de la señal directa (sin ninguna reflexión) más las producidas por el campo reverberante (reflexiones).

Cuando en un local existen diversos focos sonoros (por ejemplo conversaciones diferentes, altavoces...) y no se dispone de un acondicionamiento acústico apropiado, la reverberación es elevada porque las señales reflejadas serán numerosas, agravándose el fenómeno anterior en el que suponíamos un solo foco emisor. Por lo tanto, la dificultad de comprensión entre los interlocutores se incrementará obligando a elevar el nivel de la conversación y creándose una espiral que desemboca en un local ruidoso que ocasiona en los usuarios una sensación desagradable.

La solución está en disminuir el campo reverberante y por lo tanto las reflexiones colocando en los paramentos materiales absorbentes del sonido, además del mobiliario y los cortinajes que por la actividad sean precisos; la absorción de un local se calcula mediante la expresión $A = \Sigma (S \cdot \alpha)$ en m²; siendo:

- A: Área de absorción acústica equivalente en m².
- S: Superficie de cada paramento o material en m².
- α : Coeficiente de absorción acústica de cada material.

Cuya expresión es la siguiente:

$$\alpha = \frac{E\alpha}{Ei}$$

(cociente entre la energía acústica absorbida y la energía incidente) por lo que a menor valor de α menor absorción del material; siendo la máxima absorción $\alpha = 1$ (caso de una puerta o ventana abierta).



Coefficientes de absorción

Existen tratados en los que se tabulan los diferentes coeficientes de absorción de los materiales más usuales, además de incluir la absorción A en m² por unidad de elementos indivisibles no computables por la fórmula anterior, tales como personas, algunos tipos de mobiliario, etc. No obstante, insistimos en nuestra recomendación habitual: basarnos siempre que podamos en los ensayos de laboratorio efectuados por los fabricantes. En lo que respecta al aire, su absorción es despreciable excepto en recintos con grandes volúmenes.

Tiempo de reverberación

Para el cálculo del tiempo de reverberación de un local y partiendo de todo lo anterior se puede emplear la ecuación de Sabine, $Tr = 0'16 (V/A)$, siendo V el volumen del recinto en m³.

A partir de este momento es cuando se ha de evaluar si el tiempo de reverberación es el idóneo para el local en estudio (pues varía en función de su utilización), existen tratados de acústica sobre los valores apropiados de diversos recintos, según predomine el uso de la palabra, para diversos tipos de música, usos polivalentes, etc.

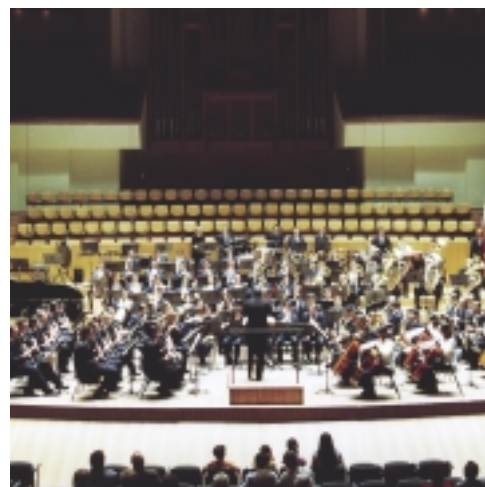
Por su parte la NBE CA-88 efectúa unas recomendaciones en función del uso: *Cuadro 1*.

La actual normativa española recomienda valores del tiempo de reverberación más altos, en general, que otras normativas europeas que, al ser más restrictivas al respecto, propician locales menos reverberantes y por lo tanto en los que es mayor la nitidez de la percepción sonora.

Por el contrario, el borrador del Código Técnico de la Edificación fija el tiempo de reverberación máximo en recintos habitables de uso docente en 0'60 segundos con ocupaciones menores o iguales al 60%. En lo que respecta a restaurantes y comedores en edificios de pública concurrencia, la limitación es de no sobrepasar los 0'80 segundos con las mismas ocupaciones del caso anterior. Obsérvese que introduce el parámetro de la ocupación, pues no olvidemos que las personas también son elementos absorbentes.

En los locales de pública concurrencia, bares, cines, auditorios, aulas, etc., la incidencia de la reverberación se hace más patente.

Por ello, cuando obtengamos los tiempos óptimos de reverberación en tratados de acústica o normativas y los valores no estén referenciados a la ocupación de los locales, lo lógico, salvo indicación en contra, es suponer que



se refieren a las dependencias amuebladas y decoradas pero sin personal que las ocupe.

Si lo que se desea es conocer la reverberación de un local ya construido, se deberá efectuar la medición "in situ" mediante un sonómetro apropiado, del tiempo de reverberación real, que es aquel que transcurre entre el cese de la fuente sonora y cuando la energía producida por aquella ha caído en 60 dB (método interrumpido) o provocando un sonido impulsivo y midiendo idéntica magnitud (método impulsivo).

Tipo de edificio	Local	Tiempo de reverberación recomendado (Tr)
Residencial privado	Estancias	= < 1'0 segundos
	Dormitorios	= < 1'0 segundos
	Servicios	= < 1'0 segundos
Residencial público	Zonas comunes	= < 1'5 segundos
	Zona de estancia	= < 1'0 segundos
	Dormitorios	= < 1'0 segundos
Administrativo / Oficinas	Servicios	= < 1'0 segundos
	Zonas comunes	= < 1'5 segundos
	Despachos	= < 1'0 segundos
Sanitario	Oficinas	= < 1'0 segundos
	Zonas comunes	= < 1'5 segundos
	Zona de estancia	0'8 = < Tr = < 1'5 segundos
Docente	Dormitorios	= < 1'0 segundos
	Aulas	1'5 = < Tr = < 2'0 segundos
	Sala de lectura	0'8 = < Tr = < 1'5 segundos
	Zonas comunes	1'5 = < Tr = < 2'0 segundos

Cuadro 1

Corrección

Si la reverberación de un recinto no fuera la apropiada para su uso, se debería corregir como ya se ha comentado, aumentando su absorción; si la corrección no tuviera que ser muy importante se podría actuar sobre los elementos de mobiliario y decoración, empleando sillas o butacas acolchadas, así como moquetas y cortinajes cuando más densos mejor, y en el caso de estos últimos con el mayor fruncido posible.

Si con todo ello no alcanzamos los niveles apropiados, o la decoración del local no lo permite, se deberá recurrir al recubrimiento de los paramentos con materiales acústicamente absorbentes; actuando en primer lugar sobre los techos, y si esto no fuera suficiente, también sobre las restantes superficies.

Si la reverberación de un recinto no fuera la apropiada para su uso, se debería corregir aumentando su absorción



contribuyen a reducir el nivel sonoro interno al atenuar el ruido de impacto. Por el contrario, los materiales de celdas cerradas como el poliestireno o el corcho son malos absorbentes acústicos, por las razones anteriormente enunciadas. Solamente variedades de corcho de alta porosidad intercomunicada, pueden tener propiedades medianamente absorbentes. Sin embargo, las empleadas como pavimento no lo tienen pues para conferirles la dureza al desgaste se emplean corchos de alta densidad y por lo tanto de porosidad mínima.

En el mercado existen gran variedad de productos comerciales que suelen basarse principalmente en los anteriormente citados como idóneos, en ciertos casos con incorporaciones de algunos materiales adicionales para mejorar su absorción acústica. Como siempre aconsejamos, debemos remitirnos a los valores obtenidos mediante ensayos de laboratorio efectuados por los fabricantes, e introducir un coeficiente de seguridad para paliar las contingencias de toda construcción.

El problema de revestir los paramentos con materiales porosos es el de su acabado, tanto por estética como por mantenimiento, y dado que en este caso pretendemos aprovechar su carácter absorbente, no los podemos tapar con láminas que sean reflectantes; por ello los materiales que los recubran deberán estar perforados o ranurados (protecciones acústicamente transparentes), bien sean de madera, de cartón yeso, metálicos o del material que se coloque; dependiendo como es lógico el grado de absorción del conjunto, del porcentaje de perforación de la lámina exterior que debería ser de un

20% como mínimo, aun cuando lo recomendable sería de un 30%.

En el mantenimiento de las láminas perforadas o ranuradas debe evitarse la aplicación de productos (pinturas, lacas...) que obturen o disminuyan su perforación, pues con ello anularíamos la posibilidad de absorción del material colocado tras ellas; por ello en algunos casos se sustituyen por tapizados de material textil muy poroso. Otro procedimiento de absorción acústica es el empleo de dispositivos especiales como los bafles o los resonadores.

Los bafles son elementos aislados de formas variadas, constituidos por materiales absorbentes recubiertos por láminas acústicamente transparentes que se emplean cuando no se desea recurrir totalmente un paramento.

Un material con condiciones absorbentes es poroso, de celda abierta al exterior y con intercomunicación entre sus poros

Los resonadores son en esencia una caja rígida cerrada exteriormente por una lámina o membrana, en la que la presión sonora provoca una fricción que consume energía, la cual se detrae de la energía acústica incidente. La absorción depende de la masa de la membrana y del volumen y forma del receptáculo; en algunos casos se les adiciona interiormente materiales absorbentes.

En el tema de la absorción acústica ocurre algo similar al del aislamiento (nunca debemos confundir ambos conceptos). Si partimos de una sala con poca absorción inicial, la introducción de medidas correctoras conseguirá efectos muy apreciables. Por el contrario, si la absorción inicial en el local ya es elevada, las medidas que adoptemos para aumentarla resultarán menos efectivas.

**Francisco Lidón Juan
Servicio de Acústica
de CAAT Valencia**