

04.04. Amortiguación del sonido

En la amortiguación del sonido se incluyen todas las medidas con el ruido, cuya eficacia descansa perfectamente en la absorción del sonido. Entre éstas se encuentran fundamentalmente las encaminadas a reducir el ruido en el mismo local de emisión, y a mejorar la calidad de escucha de una sala.

04.04.01. PROPAGACIÓN Y AMORTIGUACIÓN DEL SONIDO EN ESPACIO LIBRE

Si consideramos una fuente de sonido en espacio libre, a medida que nos alejamos de la misma se produce una disminución de la presión sonora inversamente proporcional a la distancia. Pero este efecto no debe considerarse en principio como una amortiguación del sonido en sí, sino más bien como una disminución de la amplitud originada por la distribución de la energía en un volumen mayor.

La expresión general del nivel de presión sonora a una distancia r de la fuente, viene dada por:

$$L_p = L_w + 10 \log \frac{\phi}{4\pi r^2}$$

donde:

L_p - Nivel de presión acústica a distancia de la fuente (dB).

L_w - Nivel de potencia acústica de la fuente (dB).

r - Distancia de la fuente (m).

ϕ - Directividad de la fuente emisora, que depende del ángulo sólido de emisión. En la acústica arquitectónica, se suele considerar fuente omnidireccional ($\phi=1$).

Considerando una fuente puntual omnidireccional (radiación esférica), el nivel de presión a una distancia de la fuente r viene determinado por la siguiente relación:

$$L_p = L_w - 10 \log 4\pi r^2$$

En la Fig. 7 se observa la representación gráfica de esta ecuación, que indica una caída de 6 dB cada vez que se duplica la distancia a la fuente.

04.04.02. PROPAGACIÓN Y AMORTIGUACIÓN DEL SONIDO EN RECINTOS

En un recinto o local cerrado, las ondas emitidas por una fuente determinada chocan con las superficies que limitan el local, dando origen a ondas reflejadas, las cuales a su vez se reflejan nuevamente, repitiéndose el fenómeno multitud de veces.

La presión acústica que existe en un punto determinado del recinto, después de haberse producido varias reflexiones del sonido, es la resultante de las presiones de las ondas emitidas en distintos momentos y que en el instante de la observación se cruzan en el punto considerado. Dicho de otro modo, la presión en dicho punto es el resultado de la presión del *campo directo* (ondas que se han propagado desde la fuente sin chocar) y del *campo reverberado* (ondas que han chocado una o varias veces contra las superficies que limitan el local), como se indica en la Fig. 6.

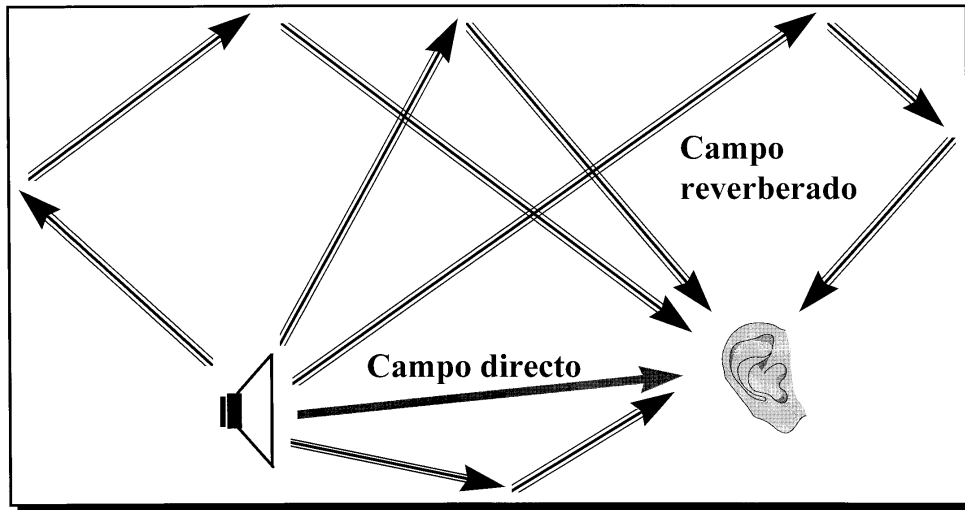


Fig. 6.

Por tanto, el nivel de presión acústica en un punto, depende en gran medida de la absorción acústica de las superficies que limitan el local y que en definitiva definen la absorción global del mismo o área absorbente del local.

Considerando una fuente de propagación omnidireccional, el nivel de presión sonora en un punto viene dado por la expresión:

$$L_p = L_w + 10 \log \left(\frac{1}{4\pi r^2} + \frac{4}{A} \right)$$

donde:

$$A = \frac{S_T \cdot \alpha_m}{1 - \alpha_m} ; \quad \alpha_m = \frac{\alpha_1 \cdot S_1 + \alpha_2 \cdot S_2 + \dots + \alpha_n \cdot S_n}{S_1 + S_2 + \dots + S_n}$$

y donde:

L_p - Nivel de presión en el punto considerado (dB).

L_w - Nivel de potencia acústica de la fuente (dB).

r - Distancia del punto considerado a la fuente (m).

A - Área absorbente del local (m^2).

S_T - Suma de las superficies que limitan el local (m^2).

α_m - Coeficientes de absorción medio, de las superficies que limitan el local.

$S_1, S_2 \dots S_n$ - Áreas de las diferentes superficies que limitan el local (m^2).

$\alpha_1, \alpha_2, \dots \alpha_n$ - Coeficiente de absorción de dichas superficies que limitan el local.

El término $4/A$ define la reducción del nivel de presión acústica, en el campo reverberado y que lógicamente será función del área absorbente del local.

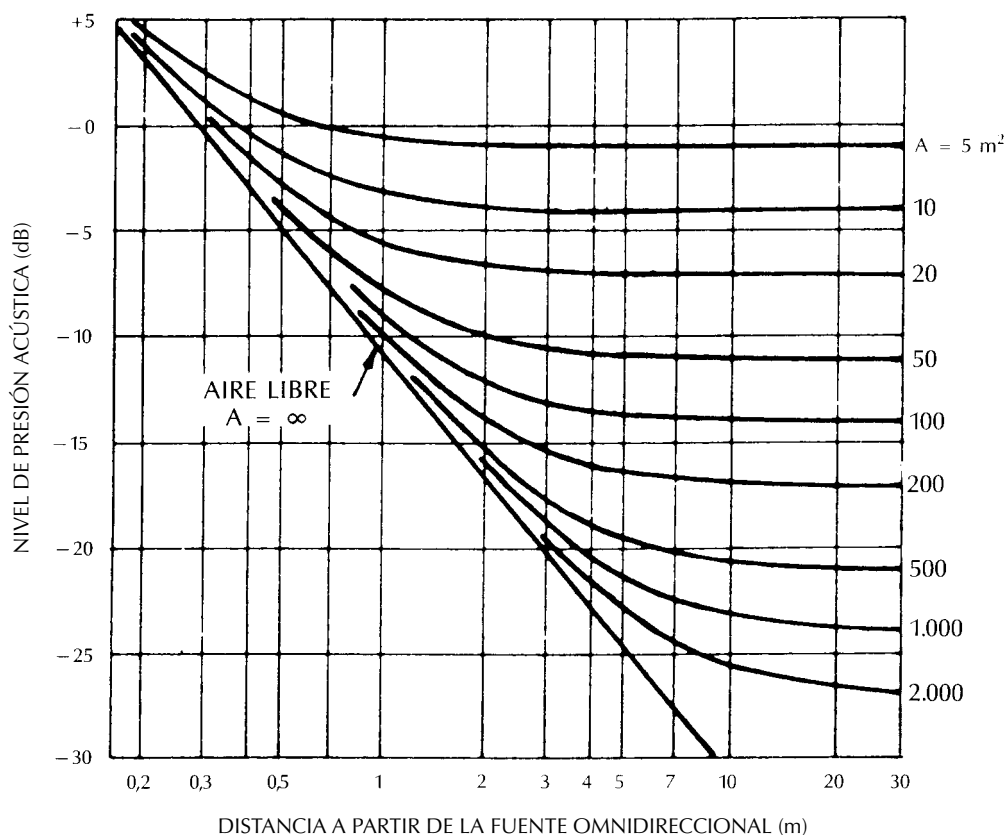


Fig. 7.

El ábaco de la Fig. 7 representa las variaciones de nivel de presión con la distancia y para diferentes áreas de absorción del local; considerando una fuente omnidireccional.

Para distancias mayores a $R = 0,14 \sqrt{A}$ (radio sonoro), se mantiene constante la presión sonora. No obstante, puede observarse que aún para valores de $r > R$, en muchos casos permanece una ligera disminución de nivel, debido a que un campo difuso se cumple raras veces y por otra parte la mayoría de los focos no emiten otras ondas esféricas perfectas. No obstante, debe considerarse el ábaco como un límite práctico de cálculo.

La reducción media de la presión sonora en el campo reverberado, en un recinto donde se aplican materiales absorbentes de sonido; viene dado por la relación:

$$\Delta L_p = 10 \log \frac{A_1}{A_0}$$

donde:

ΔL_p - Reducción de la presión sonora (dB).

A_1 - Area absorbente del local, con el tratamiento de materiales absorbentes (m^2).

A_0 - Area absorbente del local antes del tratamiento (m^2).

04.04.03. TIEMPO DE REVERBERACIÓN

El cálculo de esta reducción de la presión sonora puede obtenerse igualmente, partiendo de los tiempos de reverberación antes y después de la aplicación de los materiales absorbentes, según la relación:

$$\Delta L_p = 10 \log \frac{T_1}{T_2}$$

donde:

T_1 - Tiempo de reverberación antes del tratamiento (s).

T_2 - Tiempo de reverberación después del tratamiento (s).

El tiempo de reverberación se define como el tiempo durante el cual la energía sonora en el recinto se reduce a una millonésima del valor inicial o, dicho de otro modo, 60 dB; después de cesar la fuente de ruido (Fig. 8).

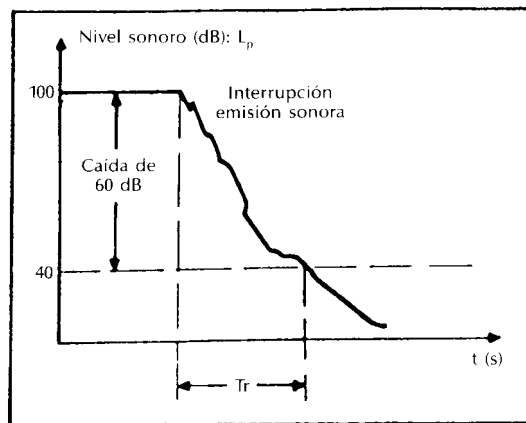


Fig. 8.

Dicho tiempo de reverberación puede medirse con los aparatos adecuados o bien calcularse empíricamente con una cierta aproximación.

La fórmula más utilizada para el cálculo es la aplicación de la ecuación de Sabine:

$$T = \frac{0,161 \cdot V}{A}$$

donde:

T - Tiempo de reverberación (seg).

V - Volumen del recinto (m^3).

A - Área absorbente del local (m^2).

Esta ecuación es aplicable, especialmente en recintos no muy grandes, donde las superficies que los limitan posean un coeficiente de absorción uniforme y cuyo valor no sea superior a 0,2.

Para valores del coeficiente de absorción superiores y siempre que exista una cierta uniformidad entre los mismos, es más conveniente la utilización de la ecuación de Eyring:

$$T_R = \frac{0,161 \cdot V}{-S \cdot \ln(1 - \alpha_m)}$$

donde:

$$\alpha_m = \frac{\alpha_1 \cdot S_1 + \alpha_2 \cdot S_2 + \dots + \alpha_n \cdot S_n}{S_1 + S_2 + \dots + S_n}$$

y donde:

V - Volumen del local (m^3).

S - Suma de las superficies que limitan el local (m^2).

\ln - Logaritmo neperiano.

α_m - Coeficiente de absorción medio de las superficies que limitan el recinto.

S_1, S_2, \dots, S_n - Superficies que limitan el recinto (m^2).

$\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$ - Coeficiente de absorción de las diferentes superficies que limitan el recinto.

Para valores del coeficiente de absorción muy diferentes, es más exacto utilizar la ecuación de Millington:

$$T = \frac{0,161 \cdot V}{-\sum S \cdot \ln(1 - \alpha)}$$

donde:

$$\sum_{j=1}^{j=n} S_j \ln(1 - \alpha_j) = S_1 \cdot \ln(1 - \alpha_1) + S_2 \cdot \ln(1 - \alpha_2) + \dots + S_n \cdot \ln(1 - \alpha_n)$$

V - Volumen del local (m³).

ln - Logaritmo neperiano.

S₁, S₂..., S_n - Superficies que limitan el recinto (m²).

α₁, α₂..., α_n - Coeficiente de absorción de las diferentes superficies que limitan el recinto.

04.04.04. REDUCCIÓN DEL NIVEL SONORO MEDIANTE REDUCCIÓN DE REVERBERACIÓN

Ciertos locales pueden ser foco de un ruido de nivel sonoro elevado si no se toman precauciones. Este es el caso de muchos locales industriales, donde son corrientes los niveles peligrosos para la conservación de la agudeza auditiva. Esto ocurre también, aunque con una intensidad menor, en los locales que acogen público como cafés, restaurantes, grandes oficinas, salas de espera de estaciones o aeropuertos, pool de mecanógrafas, salas de télex, etc. Como en la mayor parte de los casos de acústica, es en el momento de la concepción de las salas, recintos, etc., cuando hay que pensar en el problema del ruido, y no cuando ya está construido el local.

Para la disminución del ruido se puede recurrir, según los casos, a dos procedimientos:

- Reducir la potencia sonora emitida mediante recursos constructivos, es decir, mediante blindajes adecuados en las máquinas, o, si esto no es posible, mediante apantallados parciales, móviles o no.
- En el caso de no poderse realizar las medidas anteriores (gimnasios, piscinas cubiertas, restaurantes, etc.), sólo queda la posibilidad de reducir el nivel sonoro mediante el aumento del área de absorción equivalente o, lo que es lo mismo, mediante la reducción del tiempo de reverberación.

La eficacia conseguida en la reducción de nivel se puede calcular con la expresión indicada anteriormente:

$$\Delta L = 10 \log \frac{A}{A_0} \quad \text{dB}$$

Siendo:

A₀ = Área de absorción equivalente antes del tratamiento.

A = Área de absorción equivalente después del tratamiento.

Ejemplo práctico:

Una sala de dimensiones l=50 m, a=20 m, h=10 m y un grado de absorción de las superficies limítrofes α₀=0,05 (recordar cuando se trata anteriormente del grado de absorción, que este valor es el característico de los materiales de construcción tradicionales).

El volumen será: V = 50 · 20 · 10 = 10.000 m³.

y la superficie: S = 2 · (l · a + l · h + a · h) = 3.400 m².

El área de absorción equivalente será: A₀ = α₀ S = 170 m².

y, por tanto, el tiempo de reverberación, según la fórmula de Sabine, es:

$$T_0 = 0,161 \frac{V}{A_0} = 0,161 \frac{10.000}{170} = 9,47 \text{ s}$$

Si ahora se recubre el techo con un material muy absorbente ($\alpha=1$), tenemos:

$$A_1 = \alpha_1 \cdot l \cdot a + \alpha_0 (S - l \cdot a) = 1.120 \text{ m}^2.$$

$$T_1 = 0,161 \frac{10.000}{1.120} = 1,44 \text{ s}$$

con lo que obtenemos una reducción de nivel:

$$\Delta L_1 = 10 \log \frac{1.120}{170} = 8,2 \text{ dB}$$

Si se revisten también los 1.000 m² de paredes laterales con el mismo material, tenemos:

$$A_2 = 1 \cdot 2.000 + 0,05 \cdot 1.400 = 2.070 \text{ m}^2; \quad T_2 = 0,78 \text{ s}$$

$$\Delta L_2 = 10 \log \frac{2.070}{170} = 10,9 \text{ dB}$$

Por tanto, el revestimiento adicional de las paredes produce una mejora de 2,7 dB.

04.04.05. ACÚSTICA DE RECINTOS

En este apartado se tratan resumidamente las medidas encaminadas a mejorar la calidad de escucha de una sala.

Para salas pequeñas, esta mejora supone solamente el conseguir un tiempo de reverberación entre ciertos límites dados, que se conoce como «tiempo de reverberación óptimo». Para salas grandes, también influye la forma de las mismas, la distribución de materiales absorbentes, así como el uso que se vaya a hacer de ella.

De una manera general, las cualidades acústicas que debe tener un local destinado a auditorio son las siguientes:

- a) La intensidad acústica de los sonidos útiles (palabra, canto, música, etc.) debe superar netamente a la de los ruidos de fondo. Ello supone que:
 - La sala no sea desproporcionadamente grande en relación con la potencia de las fuentes sonoras. En efecto, la sonoridad depende a la vez de la intensidad del sonido directo y de la intensidad del sonido reflejado. Por un lado, la intensidad del sonido directo es menor cuanto mayor sea la distancia fuente-auditor; por ejemplo, tomemos el caso de un buen orador que emite con un nivel de 80 dBA, a 30 m, el nivel del sonido directo no es más que 40 dBA aproximadamente. Por otro lado, la intensidad del sonido reflejado es menor cuanto mayor sea el poder absorbente del local, y este poder crece en las grandes salas con la superficie ocupada por el público.
 - La forma de la sala sea tal que el sonido directo que llega de la fuente a los oyentes esté libre de obstáculos y, en particular, que no pase muy cerca del público, pues se producirá una absorción no deseable que se uniría a la atenuación producida por la distancia. Lo más indicado es que el lugar para el auditorio se distribuya en gradas; esta condición, además, es favorable para una buena visión de la escena.
 - El poder de absorción de la sala se ajusta de manera que la reverberación refuerce el sonido directo, sin hacerle perder su claridad por una prolongación excesiva de cada emisión sonora.

- Los ruidos de fondo sean de un nivel muy bajo, cuando la intensidad de los sonidos útiles sea débil. Para ello, el local debe estar bien protegido de los ruidos exteriores, y además los equipos del local (asientos, ventiladores, etc.) deben ser lo más silenciosos posible.

b) La calidad del sonido percibido debe ser buena, en particular mediante:

- Ausencia de accidentes acústicos con ecos.
- Claridad apropiada a la naturaleza de la escucha. Por ejemplo, para la palabra, la claridad debe ser bastante superior a la del caso de la música.
- Reverberación apropiada a cada tipo de música.

Todas estas características están ligadas a la forma del local, así como a su poder absorbente (o tiempo de reverberación).