

Sobre la utilización de los coeficientes de absorción de los materiales en la expresión de Eyring del tiempo de reverberación de una sala

César Díaz Sanchidrián

Departamento de Física e Instalaciones Aplicadas a la Edificación, al Medio Ambiente y al Urbanismo. E.T.S. de ARQUITECTURA. Universidad Politécnica de Madrid. Avda Juan de Herrera 4, 28040 Madrid.

Introducción

Las teorías más antiguas de la reverberación del sonido en una sala que conducen a la expresión del tiempo de reverberación de Sabine han sido obtenidas por W.C. Sabine [1] (1.900), Franklin [2] (1.903), Jaeger [3] (1.911) y Buckingham [4] (1.925). Ellos partieron de la hipótesis de que el campo sonoro es difuso.

Según la expresión de Sabine, el tiempo de reverberación de una sala en una determinada banda de frecuencia, sin tener en cuenta la absorción del aire, está dado por la expresión

$$T_S = 0,163V / A = 0,163V / \sum_i \alpha_{iS} S_i = 0,163V / \bar{\alpha}_S S$$

V es el volumen de la sala en m³, A es la absorción de la misma en m², S es el área de las superficies interiores y α_S es el coeficiente de absorción promedio de los materiales de esa sala en la banda de frecuencia. Es independiente de cómo se distribuyen los materiales absorbentes.

El coeficiente de absorción de Sabine α_S es el que habitualmente se determina en las cámaras reverberantes, se relaciona en las diferentes tablas de coeficientes de absorción de materiales acústicos en libros, manuales y catálogos de fabricantes.

Otra expresión de cálculo del tiempo de reverberación de una sala es debida a Norris [5] - Eyring [6] - Schuster-Waetzmann [7], también consideran que el campo sonoro es difuso. La expresión es la siguiente

$$T_E = -0,163V / S \ln (1 - \bar{\alpha}_E)$$

Donde

$$\bar{\alpha}_E = \frac{\sum_{i=1}^n S_i \alpha_{iE}}{\sum_{i=1}^n S_i}$$

La cuestión a contestar es la siguiente, ¿son iguales los coeficientes de absorción de los materiales α_S y α_E ? Eyring, en su trabajo Reverberation Time in "Dead" Rooms, pagina 240, expresa nitidamente la diferencia entre los coeficientes de absorción calculados mediante la fórmula de Sabine y los calculados por su fórmula utilizando el tiempo de reverberación medido.

Relación entre los coeficientes de absorción obtenidos por cada uno de los procedimientos

En un recinto recubierto en su interior por un determinado material se calcula el tiempo de reverberación en cada una de las bandas de frecuencia, a partir de estos valores, se pueden determinar los coeficientes de absorción del material en cada una de ellas, según la fórmula de Sabine o la de Eyring. La relación entre ellos es

$$\alpha_S = -\ln (1 - \alpha_E)$$

Si como es habitual, se conocen los coeficientes de absorción de Sabine de los materiales, suministrados por laboratorios y fabricantes, se pueden calcular los coeficientes de absorción de Ey-

ring mediante mediante la relación:

$$\alpha_{iE} = 1 - e^{-\alpha_{iS}}$$

Se puede comprobar que para el mismo material y banda de frecuencia, el coeficiente de absorción de Eyring es menor que el de Sabine, por ejemplo (ver tabla). A medida que es mayor el valor del coeficiente α_S la diferencia entre los dos coeficientes es mayor.

Fórmula del tiempo de reverberación de Eyring en función de los coeficientes de absorción de Sabine

El coeficiente de absorción medio de Eyring, en función de los coeficientes de absorción de Sabine se escribe:

$$\bar{\alpha}_E = \frac{S_1(1 - e^{-\alpha_{1S}}) + \dots + S_n(1 - e^{-\alpha_{nS}})}{S} = \frac{S - S_1 e^{-\alpha_{1S}} - \dots - S_n e^{-\alpha_{nS}}}{S}$$

Al sustituir en la expresión de Eyring se obtiene:

$$T_E = 0,163V / S \ln [-S_1 e^{-\alpha_{1S}} + \dots + S_n e^{-\alpha_{nS}}] / S$$

Forma habitual de la expresión de Eyring del tiempo de reverberación

En el trabajo de Eyring anteriormente citado, este consideró el coeficiente

α_S	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,85	0,9	0,95	1
α_E	0,18	0,26	0,33	0,39	0,45	0,50	0,55	0,57	0,59	0,61	0,63
$\alpha_S - \alpha_E$	0,02	0,04	0,07	0,11	0,15	0,20	0,25	0,28	0,31	0,34	0,37

de absorción medio de los materiales de acuerdo con los valores obtenidos mediante el procedimiento de Sabine, con lo que la expresión del tiempo de reverberación de Eyring, se reconoce habitualmente [8] por la expresión:

$$T_E = -0,163V / S \ln (1 - \bar{\alpha}_S) = -0,163V / S \ln [1 - \sum_i \alpha_{iS} S_i / S]$$

Conclusiones

En la expresión habitual del tiempo de reverberación según Eyring, el coeficiente de absorción medio de los materiales se obtiene a partir de los coeficientes de absorción de Sabine, ésta utilización no está justificada teóricamente. Utilizando los coeficientes de absorción de Eyring los tiempos de reverberación que se obtienen son más próximos a los obtenidos por la fórmula de Sabine. De igual forma, los razonamientos anteriores se pueden utilizar en la fórmula predictiva del tiempo de reverberación de Millington-Sette.

Apéndice

Se aplican los resultados obtenidos anteriormente a un ejemplo.

Las dimensiones de un local ortoédrico son: largo, 30 m; ancho, 20 m y altura 8 m.

En la banda de octava centrada en 500 Hz los coeficientes de absorción de Sabine de los materiales son: suelo, $\alpha_1 = 0,20$; paredes, $\alpha_2 = 0,60$ y techo $\alpha_3 = 0,40$. Calcular el tiempo de reverberación en esa banda octava según las fórmulas de Sabine y Eyring-Norris.

Volumen, $V = 4.800 \text{ m}^3$
 Área del suelo, $S_1 = 600 \text{ m}^2$;
 Área del techo, $S_2 = 600 \text{ m}^2$;
 Área de las paredes, $S_3 = 800 \text{ m}^2$;
 Área total, $S = 2.000 \text{ m}^2$

1. Tiempo de reverberación según Sabine

$$T_S = 0,16 V / \alpha_1 S_1 + \alpha_2 S_2 + \alpha_3 S_3$$

Sustituyendo en la expresión anterior:

$$T_S = 0,91 \text{ s}$$

2. Tiempo de reverberación según Eyring-Norris

$$T_E = -0,16 V / S \ln (1 - \bar{\alpha}_E)$$

$$\bar{\alpha}_E = \sum_{i=1}^3 S_i \alpha_{iE} / \sum_{i=1}^n S_i$$

$$\alpha_{1S} = 0,2 \quad \alpha_{2S} = 0,6 \quad \alpha_{3S} = 0,4$$

$$\alpha_{1E} = 0,18 \quad \alpha_{2E} = 0,45 \quad \alpha_{3E} = 0,33$$

El tiempo de reverberación previsto según la expresión de Eyring es:

$$T_E = -0,163 \cdot 4800 / 2000 \ln [1 - 0,33] = 0,94 \text{ s}$$

3. Tiempo de reverberación según la expresión habitual de Eyring

$$T_E = -0,163 \cdot (4800) / 2000 \ln [1 - 0,42] = 0,70 \text{ s}$$

Referencias

1. Sabine, W.C. (1900). Collected Papers on Acoustics.
2. Franklin (1903), Derivation of Equation of Decaying Sound in a Room and Definition of Open Window Equivalent of Absorbing Power. Phys. Rev. 16, 372-374
3. Jaeger (1911). Toward a Theory of Reverberation. Wiener Akad. Ver., Math.-Naturw. Klasse, Bd. 120 Abt. IIa
4. Buckingham (1925) Bur. Standards, Sci. Paper, nº 506
5. Eyring, C.F. (1930). Reverberation Time in "Dead" Rooms. J.A.S.A., 1, 217-241.
6. Norris, R.F. (1932) Versión de su deducción en el apéndice II del libro de Knudsen, Architectural Acoustics, Wiley, 603-605.
7. Schuster and Waetzmann, (1929). Ann. d. Phys. March.
8. Cremer, Müller (1982). Principles and Applications of Room Acoustics, p 232.