TECNIACUSTICA VALENCIA · 2015

46º CONGRESO ESPAÑOL DE ACÚSTICA
ENCUENTRO IBÉRICO DE ACÚSTICA
EUROPEAN SYMPOSIUM ON VIRTUAL ACOUSTICS AND AMBISONICS

REPLANTEANDO VIEJOS PARADIGMAS EN RELACIÓN AL ACONDICIONAMIENTO EN RECINTOS BÁSICOS. ¿TIEMPO DE REVERBERACIÓN DE SATURACIÓN? ¿TIEMPO DE REVERBERACIÓN DE ÓPTIMO?

PACS: 43.55.Br

Vera Guarinos, Jenaro; Yebra Calleja, Marisol; Calzado Estepa, Eva; Esteve Rico, Juan Carlos

Departamento de Física, Ingeniería de Sistemas y Teoría de la señal
Escuela Politécnica Superior de Alicante - Edif.: Politécnica II
Universidad de Alicante - Campus de San Vicente del Raspeig.
Email: jenaro@ua.es; myebra@ua.es; evace@ua.es; estevejuancarlos@yahoo.com;

ABSTRACT

In this paper, we propose the possibility of establishing limits for what natural reverberation are in a common room. At these limits we have called: Optimal reverberation and Saturation reverberation time. It is chosen Sabine expression for the reverberation time as the starting paradigm. From it and others assumptions like occupation of the surfaces of the enclosure through windows, doors, cabinets, tables, etc., as usual, which average value is should have the sound absorption coefficient in determining the 'equivalent absorption area '. Thus we arrive at the proposal of an Optimal value for reverberation for speech rooms.

Saturated value for similar premises being considered, but the main hypothesis is now that the result of an action of radical conditioning by absorption only: We should not alter the nature of the living room. A graphical method is proposed and its corresponding algebraic expression also.

KEYWORDS: Sabine, optimal reverberation time, saturation reverberation time, equivalent acoustic absorption area.

RESUMEN

En este trabajo, planteamos la posibilidad de establecer cuáles son los límites naturales para la reverberación en una habitación de uso común. A dichos límites los hemos denominado: Tiempo de reverberación Óptimo y tiempo de reverberación se Saturación. Se escoge como paradigma de partida la expresión de Sabine para el tiempo de reverberación. A partir de él y de las hipótesis de ocupación de las superficies del recinto por ventanas puertas, armarios, mesas, etcétera, como es habitual, se encuentra qué valor promedio debería tener el coeficiente de absorción acústica al determinar el 'área de absorción equivalente'. De esta forma llegamos a la propuesta de un valor Óptimo para la reverberación en salas para palabra.

Para el valor Saturado, se barajan premisas similares pero la hipótesis principal es, que el resultado de una acción de acondicionamiento, radical, por absorción: no de debe modificar la naturaleza habitable del recinto. Se propone un método gráfico y se deduce su correspondiente expresión algebraica.

PALABRAS CLAVE: Sabine, tiempo de reverberación óptimo, tiempo de reverberación saturado, área de absorción equivalente.

INTRODUCCIÓN

La mayoría de las veces que uno se enfrenta al estudio del acondicionamiento de una sala es de vital importancia conocer de antemano cuál es el valor del Tiempo de reverberación que el recinto, en cuestión, debe de tener para el uso al que está destinado, es lo que denominaremos Tiempo de reverberación óptimo (T_r^{OPT}). Por supuesto ese valor dependerá del tipo de actividad a desarrollar en él. En este estudio tan solo plantearemos el problema para salas de palabra. Se pretende encontrar un método que pueda indicar, de forma rápida, el valor aproximado de dicho tiempo de reverberación en función del volumen de la habitación. Existen diversas expresiones[1] que a lo largo de la historia se han propuesto para resolver este problema. Nosotros nos quedaremos con la fórmula empírica propuesta por Zamarreño y otros [1] por ser la que más se ajusta a los resultados obtenidos.

El otro problema que vamos a abordar se refiere a cuál es la cantidad de absorción que un recinto puede admitir de forma natural, entendiendo que natural se refiere a que después de la adición de materiales de absorción acústica, el recinto sigue cumpliendo con la finalidad para la que se creó sin perder su naturaleza, forma y estilo constructivo (por supuesto no estamos hablando de recintos especializados como una cámara anecoica o una reverberante), nos ceñiremos a recintos de uso común en el espacio habitado, y como ya hemos apuntado anteriormente a salas de palabra. Con esta filosofía plantearemos la posibilidad de establecer una expresión o una directriz que defina el Tiempo de reverberación de saturación (T_r^{SAT}).

El marco general donde nos vamos a mover será la ecuación clásica de Sabine para el cálculo del Tiempo de reverberación dada su sencillez, aún a sabiendas de sus limitaciones. Confiamos que los resultados mostrados, aunque aproximados, servirán para comprender que los problemas que presenta la reverberación excesiva no se solucionan, o son muy difíciles de resolver, planteando como única vía el aumento de absorción, de forma no deliberada, con un tratamiento superficial sobre cerramientos, objetos y mobiliario. Puesto que la mayoría de las veces el problema reside en un volumen inadecuado o excesivo número de fuentes de ruido. Y la cantidad de Unidades de Absorción - U.A. (Sabine/m^2) - necesarios para conseguir el tiempo de reverberación adecuado al problema, la mayoría de las veces, supera con mucho la naturaleza de la geometría del recinto.

---

[1] Página 116 en “Arquitectura y Energía Natural”[2].
Página 22 en “El problema de las condiciones acústicas en las Iglesias: principios y propuestas para la rehabilitación”[2].
O la más clásica definida por Stephens & Bate en “Wave motion and sound” ”[3].

PLANTEAMIENTOS Y SUPUESTOS INICIALES

- Se plantea el estudio para los siguientes volúmenes - ***V*** (m^3) - : 30, 90, 270, 810, 2430 y 7290.

- El área superficial con posibilidad de colocar absorción se calcula de forma aproximada con la siguiente expresión:

$$Area_{disp.} = 6*(Volumen)^{2/3}$$

- El valor del coeficiente de absorción (α) se aproxima, en su caso, por el correspondiente a 1000 Hz por sencillez.

- El área de absorción equivalente la definimos como:

$$UA = \alpha * Area_{disp.}$$

- La expresión empírica que ya hemos referenciado, como modelo, para el tiempo de reverberación ideal:

$$T_r^{OPT} = k \cdot u \cdot \sqrt[3]{V};$$

  Donde para palabra (u = 0.075) y se estima para $k_{(1000Hz)} = 0.9$

- La expresión del Tiempo de reverberación Sabine:

$$T_r = 0.161 \cdot \frac{V}{\sum(S \cdot \alpha)} = 0.161 \cdot \frac{V}{U.A.};$$

  Para un determinado volumen (V), la rescribiremos como:

$$y = \frac{M}{x};$$

  Donde: $y = T_r$; $M = 0.161 \cdot V$; $x = \sum(S \cdot \alpha) = U.A.$

TIEMPO DE REVERBERACIÓN IDEAL

Si imaginamos una sala cualquiera, lo usual es que el suelo esté ocupado por mobiliario lo que impide que podamos actuar sobre la absorción de forma efectiva. Luego, están las paredes que por supuesto suelen tener ventanas, puertas, decoración, muebles, etc. Por lo que tampoco es una superficie sobre

la que se pueda actuar totalmente. El único lugar que resta libre es el techo donde si obviamos las luminarias es posible colocar material absorbente de forma generalizada. En el supuesto de que se dispusiera de algún material de α = 1, la superficie máxima útil (S_u) de que disponemos, si tenemos en cuenta los condicionantes anteriores, calculada de forma aproximada[2], rondaría los 2/5 de la superficie disponible (S_d), o sea:

$$\frac{S_u}{S_d} \cong 2/5 = 0.4$$

Por estas razones es por lo que en el mejor de los casos se podrá tener un alfa promedio equivalente de 0,4 para el total del recinto (S_d) , y eso suponiendo que se escogen concienzudamente los materiales de recubrimiento y se practica, además, alguna actuación puntual sobre los decorados o elementos auxiliares. Este resultado aproximado reforzará la consistencia de lo que vamos a plantear a continuación.

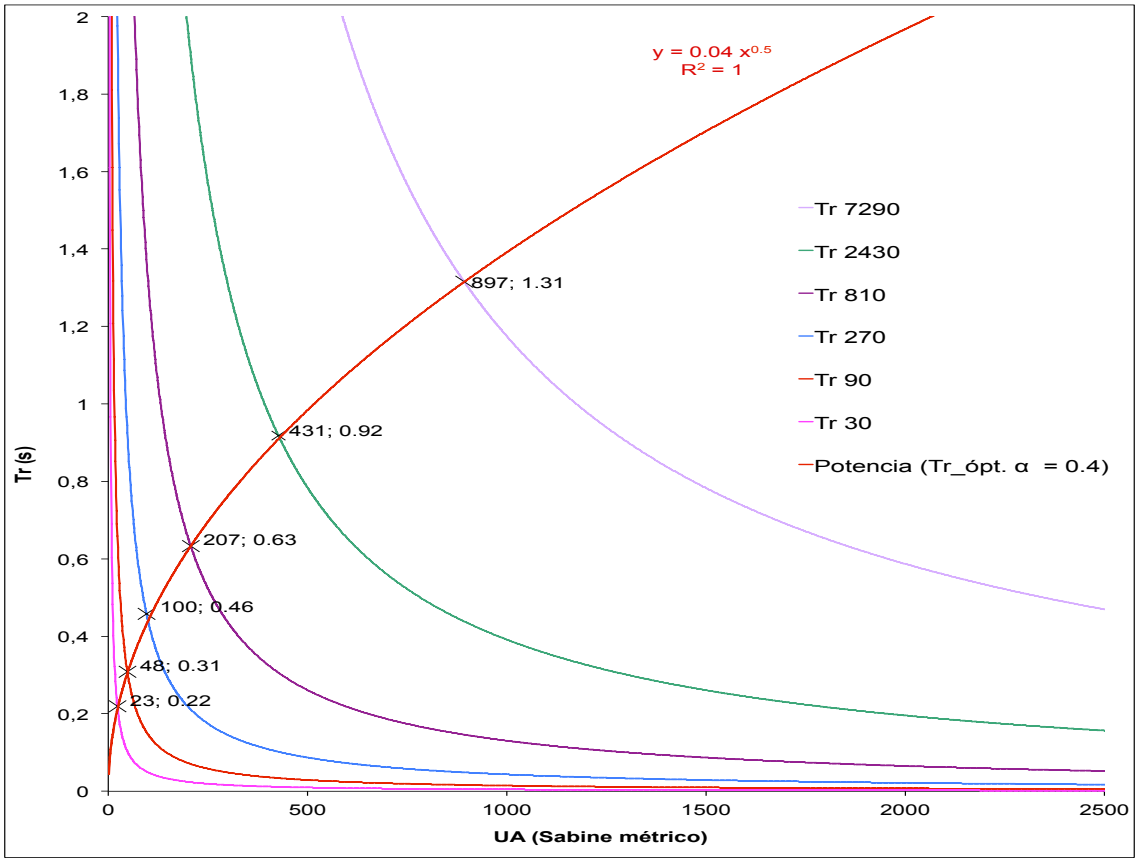
Se calculan, por medio de la relación empírica que hemos reseñado al principio [1], los tiempos de reverberación óptimos a 1000 Hz, para los volúmenes planteados. Con unas operaciones sencillas se puede extraer el coeficiente de absorción correspondiente para cada tamaño de sala, lo que podríamos llamar "coeficiente de absorción óptimo" :

V(m^3)	Area$_{disp.}$(m^2)	T_r^{OPT} (s)	α^{OPT}	U.A.(m^2 sabine)
30	58	0,2	0,4	23
90	120	0,3	0,4	48
270	251	0,4	0,4	100
810	521	0,6	0,4	207
2430	1084	0,9	0,4	431
7290	2256	1,3	0,4	897

Podemos observar de la tabla, que se ha construido a partir de la relación empírica, que el coeficiente de absorción óptimo obtenido es de 0.4 y que coincide con el estimado anteriormente por suposiciones geométricas de los elementos constructivos y de ocupación en una habitación. Por lo que el razonamiento que se ha hecho de cuánta superficie tenemos disponible en una habitación es coherente para el razonamiento que estamos usando en este trabajo.

[2] Techo=1 x (1/6 S_d);Paredes=4 x 1/3 x (1/6 S_d); Suelo=1 x 0 x (1/6 S S_d);
S_u=Techo + Paredes + Suelo = (7/18) S_d ≈ (2/5) S_d

Estos resultados se marcarán en las curvas que corresponden a la representación de la variación del T_r, en función del área equivalente de absorción que hemos denominado 'U.A.' para cada uno de los volúmenes de interés. Veamos el aspecto:



TIEMPO DE REVERBERACIÓN SATURACIÓN

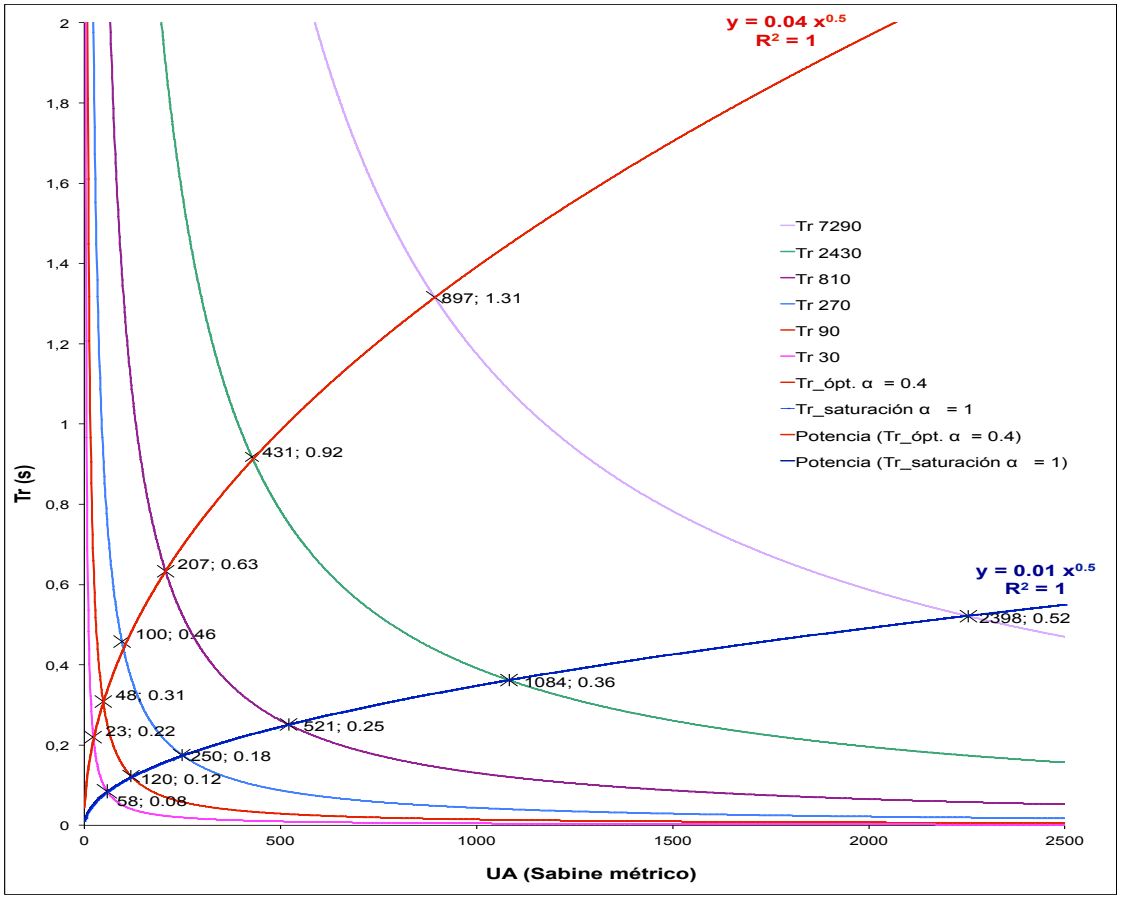
Lo vamos a definir como aquel que, podríamos calcular al aplicar Sabine para un valor de coeficiente de absorción unidad, en la totalidad de la superficie (no creo que se pueda asegurar que sea posible alcanzar la absorción máxima: alfa promedio equivalente tenga el valor de la unidad). Si imaginamos esa situación los resultados encontrados serán:

Volumen(m^3)	Area(m^2)	U.A.(m^2 sabine)	Tr_saturado (s)
30	58	58	0.08
90	120	120	0.12
270	250	250	0.17
810	521	521	0.25
2430	1084	1084	0.36
7290	2398	2398	0.49

Hay que tener en cuenta que en esta situación, ya no podemos barajar la hipótesis de comportamiento difuso estadísticamente ideal para el campo

acústico: absorción total implica difusión nula. No tendría sentido hablar de reverberación. Por esta razón y por la cuestión que ya hemos comentado sobre la superficie real disponible en habitaciones comunes. Creemos que una vez que tenemos el volumen del recinto y su superficie total; es una buena aproximación decir que el tiempo de reverberación más pequeño que se podría alcanzar en el recinto, se calcula suponiendo que se actúa de forma total con materiales de absorción máxima posible (α=1). Encontrando así un límite inferior que no se puede alcanzar nunca, en habitaciones comunes, por lo que ya hemos planteado en nuestras hipótesis.

Si ahora añadimos estos resultados a la gráfica anterior y encontramos las curvas de ajuste de regresión obtenemos:



DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Con todo lo planteado hasta ahora, disponemos de una herramienta gráfica donde podemos determinar los valores del Tiempo de reverberación óptimo y de saturación: trazando sobre las curvas de Sabine para cada Volumen, las ecuaciones (ajustes potenciales) que corresponden a los supuestos de tiempo de reverberación Óptimo y Saturado. Para ello una vez que sabemos el

volumen de la sala se hace la representación en función de las Unidades de Absorción:

$$T_r = 0.161 \cdot \frac{V}{S_{total} \cdot \overline{\alpha}} = 0.161 \cdot \frac{V}{U.A.}$$

También se realiza la representación de las dos curvas de ajuste mostradas anteriormente, que las podemos reescribir de la manera siguiente:

$$T_r^{ópt.} = 0.04 \cdot (U.A.)^{0.5}; \qquad T_r^{sat..} = 0.01 \cdot (U.A.)^{0.5}$$

Entonces se encuentran los puntos de intersección, donde el valor de las 'ordenada' corresponderá con los valores buscados.

Si resolvemos algebraicamente el asunto, podemos encontrar unas expresiones, que son más directas u operativas para el calculo de los tiempos de reverberación discutidos aquí, como las que mostramos:

$$T_r^{sat.} = 0.026 \cdot \sqrt[3]{V} \qquad T_r^{ópt.} = 0.067 \cdot \sqrt[3]{V}$$

Veamos, en la siguiente tabla, qué valores se obtienen para los volúmenes elegidos calculados gráfica y algebraicamente:

Volumen(m^3)	Tr_sat. (s) ***gráfico***	Tr_sat. (s) ***algebráico***	Tr_ópt. (s) ***gráfico***	Tr_ópt. (s) ***algebráico***
30	**0.08**	0.08	**0.21**	0.21
90	**0.12**	0.12	**0.30**	0.30
270	**0.17**	0.17	**0.44**	0.43
810	**0.25**	0.24	**0.63**	0.62
2430	**0.36**	0.35	**0.91**	0.90
7290	**0.49**	0.50	**1.31**	1.30

Por lo que creemos que cualquiera de los dos métodos propuestos puede ser de gran utilidad, siendo más cómodo el uso de las expresiones matemáticas mostradas últimamente. Pero no hay que olvidar que se van obtener valores aproximados centrados alrededor del comportamiento de 1000 Hz, por lo que son orientativos.

A modo de conclusión haremos las puntualizaciones siguientes:

- En los recintos de uso común tan sólo se puede disponer, aproximadamente, de un área para colocar material absorbente de unos 2/5 de la superficie total.

- El tiempo de reverberación óptimo se podría calcular suponiendo que estos 2/5 de superficie disponible tiene un coeficiente absorción acústica de 1.0
- Otra manera de hacer lo mismo, de forma más sencilla, es calcular el tiempo de reverberación óptimo mediante la fórmula clásica de Sabine suponiendo que toda la superficie tiene un coeficiente de absorción acústica alfa promedio de 0.4
- Puesto que nos parece imposible, irrealizable o poco práctico el pretender aplicar material de absorción máxima en todos los paramentos de un recinto, y aprovechando que la expresión de Sabine tiende a cero para la hipotética situación de que las unidades de absorción sean infinitas (situación irreal desde cualquier enfoque). Planteamos que el valor del tiempo de reverberación que se obtiene para un coeficiente de absorción promedio α_m=1 en toda la superficie, es justo el tiempo donde la sala estaría saturada (ausencia de reverberación). Y que salvo para recintos especializados NO tendría sentido realizar ese intento. Ese valor lo definimos como el tiempo de reverberación de saturación. Nuestra intención en su determinación es en el sentido siguiente; que se disponga de un valor conocido que limite las pretensiones de solucionar los problemas de acondicionamiento acústico planteando tan solo el aumento de las unidades de absorción, puesto que a veces las acciones propuestas son irrealizables o en el mejor de los casos distorsionan la geometría interna del local y además económicamente muy costosas.
- Para terminar se han propuesto dos expresiones, que de forma global son capaces de determinar con suficiente aproximación los valores para los tiempos de reverberación Óptimo y Saturado discutidos en este trabajo. Dichas expresiones son muy similares a las referenciadas en la bibliografía citada con anterioridad.

BIBLIOGRAFÍA

[1] Sendra, J. J.; Zamarreño, T.; Algaba, J.; Navarro, J. *El problema de las condiciones acústicas en las Iglesias: principios y propuestas para la rehabilitación*. I.U. Ciencias de la Construcción - ETSA (Sevilla)
[2] Serra Florensa, R.; Coch Roura, H. *Arquitectura y Energía Natural.* Ed.: UPC, 1995, Barcelona.
[3] Stephens, R.W.B. & Bate, A.E. *Wave motion and sound.* Ed.: Arnold– 1950