



DISEÑO DE UNA SALA PARA VOZ

Alfonso Sánchez Gil

Sala proyectada.

Dimensiones:

Ancho (X): 8 m

Longitud (Y): 11 m

Alto (Z): 5 m

Volumen: 440,00 m

Imagen de portada capturada de acústica visual en <http://www.ampledesign.co.uk/va/>

INTRODUCCIÓN

Se plantea por parte de la directora del curso de Acústica de Salas, Professional Development Program de la Salle, la posibilidad de proyectar una sala, estudiar unos parámetros acústicos determinados y valorarlos, a partir de una herramienta de Excel creada para tal fin.

A tal efecto, proyecto una hoja de Excel que realice este trabajo y que espero poder ir ampliando para conseguir una utilidad sencilla para el cálculo rápido de este tipo de parámetros.

Personalmente me resulta grato decir que he disfrutado con la elaboración de esta pequeña herramienta de cálculo acústico, no tanto por lo que ha representado ampliar mis conocimientos de Excel, que hasta el momento de este trabajo eran bastante reducidos, sino por el poder comprobar la posibilidad de la aplicación práctica de las formulaciones teóricas recibidas en el curso.

PROYECCIÓN, PARÁMETROS ESTUDIADOS Y RESULTADOS

He diseñado una sala con unas determinadas dimensiones

Ancho: 5 m
Longitud: 11 m
Alto: 8 m

La primera pestaña, **Datos** permite escoger materiales para las diferentes superficies, desde una base de datos con 777 materiales, aunque no todos ellos dan valores para todas las frecuencias.

He considerado que ambos laterales compartirán el mismo material, no así el resto de superficies, los materiales escogidos para la sala son:

Los laterales forrados de madera de pino.

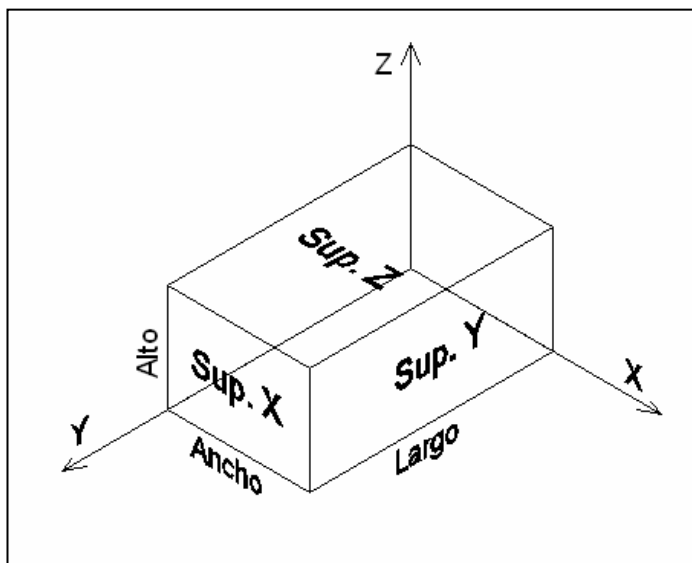
La pared del fondo se tapiza con moqueta.

Para la pared frontal yeso encalado.

En el pavimento moqueta.

El techo se realiza mediante placas de cartón-fibra de 3,5-4 mm, dejando una cavidad de 50 cm, donde se coloca 10 cm de lana mineral.

La potencia, la distancia fuente-receptor y la directividad son datos que se pueden variar, en este caso he escogido 0,00008 W para la fuente, 5 m. la distancia fuente-receptor y una Q de 1. También se puede cambiar la temperatura, en este caso 22 °C



La segunda pestaña esta dedicada al **Tiempo de reverberación (T_{60})**, técnicamente, este se define como el tiempo que transcurre desde que la señal acústica en el interior de una sala se para, hasta que el nivel de presión sonora establecido en la misma disminuye 60 dB.

El valor de T_{60} depende de la frecuencia considerada. Por este motivo se presentan los valores del tiempo de reverberación por bandas de octava, desde 63 Hz a 8 kHz

En la hoja nos encontramos con diferentes tiempos de reverberación en función de si el cálculo se realiza con la formula de Sabine, Eyring, Fitzroy o Arau.

En este caso se puede observar que Arau y Sabine prácticamente coinciden, Eyring da valores algo inferiores, mientras que Fitzroy es el que da valores superiores y mucho más dispares.

Las diferentes expresiones utilizadas son:

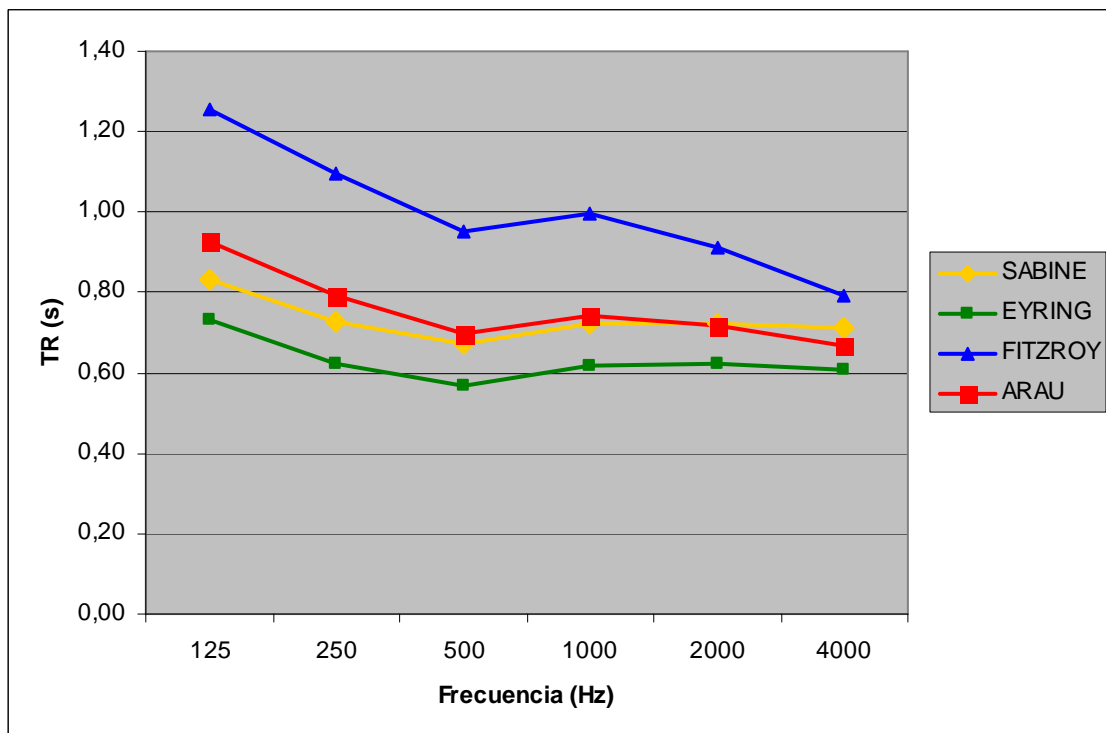
Sabine:
$$TR = \frac{0,163 \cdot V}{S \cdot \bar{\alpha}}$$

Eyring:
$$TR = \frac{0,163 \cdot V}{-S \cdot \ln(1 - \bar{\alpha})}$$

Fitzroy:
$$T = \left(\frac{S_x}{S}\right)T_x + \left(\frac{S_y}{S}\right)T_y + \left(\frac{S_z}{S}\right)T_z$$

Arau:
$$T = \left[\frac{0,162V}{-S \ln(1 - \bar{\alpha}_x)}\right]^{\frac{S_x}{S}} \left[\frac{0,162V}{-S \ln(1 - \bar{\alpha}_y)}\right]^{\frac{S_y}{S}} \left[\frac{0,162V}{-S \ln(1 - \bar{\alpha}_z)}\right]^{\frac{S_z}{S}}$$

En la hoja también aparecen: los valores del coeficientes de absorción medio y los resultados del coeficiente de absorción y el tiempo de reverberación en función de X, Y y Z.



Gráfica del tiempo de reverberación según las diferentes teorías.

En la tercera pestaña **T_{mid}-Calidez-Brillo-SPL** nos aparecen los valores y el programa nos indica si el valor CUMPLE o NO CUMPLE.

El criterio acústico establece que, para una sala llena y para un volumen determinado el tiempo de reverberación medio, **T_{mid}** (valor medio de los valores de T₆₀ a 500 y a 1.000 Hz), este entre un valor máximo y un mínimo. Este valor se conoce como **T_{opt}** y es uno de los primeros objetivos a conseguir.

$$T_{midMÍNIMO} \leq T_{MID} \approx T_{OPT} \leq T_{midMÁXIMO}$$

El T_{mid} en este caso es de 0,70 s.

El brillo y la calidez son dos parámetros que se obtienen a partir del T_{60} y que dan una idea de la respuesta de la sala a bajas y altas frecuencias.

Una sala tiene **calidez** acústica si presenta una buena respuesta a frecuencias graves. Como medida objetiva de la calidez de una sala se suele utilizar la relación entre el valor medio del T_{60} a frecuencias graves (125 Hz y 250 Hz), T_{low} , y el valor medio del tiempo de reverberación a media frecuencia (500 Hz y 1.000 Hz), T_{mid} .

$$I_{calidez} = (T_{(125\text{ Hz})} + T_{(250\text{ Hz})}) / (T_{(500\text{ Hz})} + T_{(1000\text{ Hz})}) = T_{low} / T_{mid}.$$

En el léxico acústico la palabra calidez expresa la riqueza de baja frecuencia, la suavidad y melosidad de la música en la sala. Para aplicaciones de voz, el índice de calidez puede estar entre 0,9 y 1,2, aunque es bueno tender al valor de 1,1.

$$0,9 \leq I_{calidez} \leq 1,2$$

El valor de cálculo es de 1,12

De la misma manera el sonido de una sala es brillante si presenta una buena respuesta a frecuencias altas. El **brillo** de la sala depende fundamentalmente de la relación entre el valor medio del tiempo de reverberación a frecuencias altas (2.000 Hz y 4.000 Hz), T_{high} , y el valor medio del tiempo de reverberación correspondiente a frecuencias medias, T_{mid} .

$$I_{brillo} = (T_{(2000\text{ Hz})} + T_{(4000\text{ Hz})}) / (T_{(500\text{ Hz})} + T_{(1000\text{ Hz})}) = T_{high} / T_{mid}.$$

El valor de este parámetro ha de ser lo mas alto posible. Interesa que su valor sea superior a 0,8 aunque es difícil que pueda llegar a 1, por razón de la absorción del aire.

El valor calculado en este caso es de 1,03

El **nivel de presión sonora (SPL)** determina la intensidad del sonido que genera una presión instantánea (es decir del sonido que alcanza a un receptor en un momento dado)

Normalmente se adopta una escala logarítmica y se utiliza como unidad el decibelio, calculado según la formula.

$$SPL = 10 \cdot \log W \rho c \frac{\left[\frac{Q}{4\pi r^2} + \frac{4}{R} \right]}{P_0^2}$$

Teniendo en cuenta que:

La *Constante de la sala*, R , será un indicativo del grado de absorción de esta. Una sala anecoica, con coeficiente de absorción tendiendo a la unidad para todas las frecuencias, tendrá una constante que tenderá a infinito. Una sala muy reverberante, con coeficiente de absorción cercano a cero, tendrá una R que tenderá a cero

La energía del *Campo Directo* depende de la distancia entre fuente y receptor y de la directividad de la fuente.

La energía que proporciona el *Campo Reverberante* depende del tratamiento acústico de la sala.

La Relación Directo-Reverberante nos indica, la situación de un receptor en cuanto a influencia de Campo Directo o de Campo Reverberante:

Si la *relación D/R* es positiva: el receptor se encuentra bajo influencia de Campo Directo.

Si la *relación D/R* es negativa: el receptor se encuentra bajo influencia de Campo Reverberante.

A la distancia llamada *Distancia Crítica (Dc)*, se igualan las contribuciones de campo directo y campo reverberante

	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Constante de la sala R	108,28	112,48	134,96	151,20	136,65	135,71	139,11	192,80
Campo Directo: $Q/4\pi r^2$	0,0032	0,0032	0,0032	0,0032	0,0032	0,0032	0,0032	0,0032
Campo Reverberante: $4/R$	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02
Relación Directo-Reverberante: <i>rel D/R (dB)</i>	-10,65	-10,48	-9,69	-9,20	-9,64	-9,67	-9,56	-8,14
Distancia Crítica (Dc)	1,46	1,48	1,63	1,72	1,64	1,63	1,65	1,94
SPL (dB)	65,25	65,09	64,37	63,93	64,32	64,35	64,25	63,00
SPL (dBA)	39,05	48,99	55,77	60,73	64,32	65,55	65,25	61,90

Tabla con los resultados de los valores SPL

La cuarta pestaña **Relación Señal Ruido-STI**, permite comprobar el parámetro señal-ruido a partir de los valores SPL obtenidos dando resultados en dBA, para ello hemos de colocar en la hoja los datos del ruido, en función de la frecuencia.

La segunda parte de este apartado nos calcula uno de los parámetros importantes en las salas de voz el índice de inteligibilidad.

El **STI** (speech transmission index) o bien el RASTI, es un parámetro que cuantifica la pérdida de la comprensión en una sala en función de algunos de sus parámetros acústicos.

Si la sala esta bien diseñada (con un valor del tiempo de reverberación adecuado, ecogramas sin reflexiones, etc.) se obtiene como consecuencia, un buen valor para el STI, es decir una buena inteligibilidad.

En este caso la sala con un STI de 0,60 obtiene la categoría de ACEPTABLE

En la quinta pestaña, **Modos propios**, nos encontramos con tablas que muestran la disposición de los modos propios en función de la frecuencia, el gráfico de Bolt y datos de teorías que relacionan dimensiones.

He incluido criterios de distribución en función del volumen, dando valores para una altura constante y para un ancho constante. Esta tabla nos indica que para una altura constante de 5 m podemos optar por tres dimensiones recomendadas: 6,25 x 8,00 x 5,00 m, 8,00 x 12,50 x 5,00 m y 12,50 x 16,00 x 5,00 m. (ancho, largo, alto), todas las soluciones serian correctas ya que utilizan las proporciones correctas para sus volúmenes 250, 500 y 1000 m³, respectivamente.

Podemos comprobar los valores aconsejados por las diferentes teorías y revisar también si estamos cumpliendo con el diagrama de Bolt.

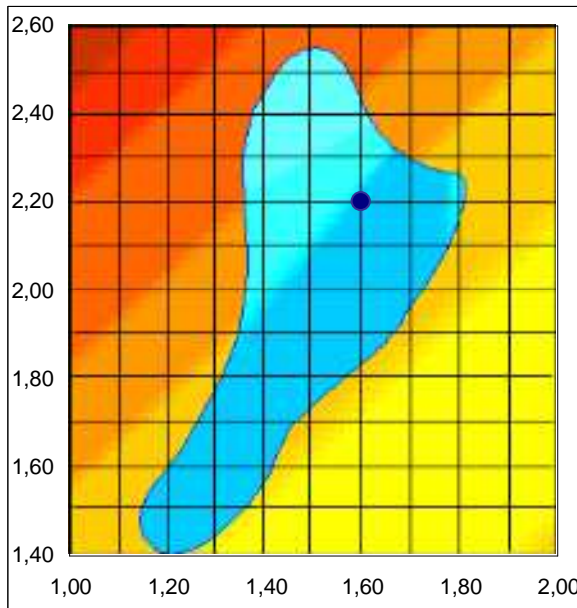


Diagrama de Bolt, otra teoría para fijar el dimensionado la zona en azul marca las dimensiones que aportan los requisitos para una buena distribución y densidad de frecuencias propias. El punto nos indica la posición de la sala

Un altavoz emitiendo un tono puro (una única frecuencia) dentro de la sala reflejará el sonido en paredes, suelo y techo, y parte de ese sonido llegará de nuevo a la fuente. Si el camino recorrido es igual a la longitud de onda del tono, la onda reflejada estará en fase con la proveniente del altavoz y se sumará a la que se está emitiendo, reforzando dicha frecuencia. Este tipo conforma uno de los **Modos Propios** de dicha sala.

Además, cualquier múltiplo de esa frecuencia también generará otro modo, ya que su longitud de onda también tendrá cabida en el recorrido, con la salvedad de que llegará a la fuente en el segundo ciclo, tercer ciclo, etc.

En función de cómo se generen podemos hablar de:

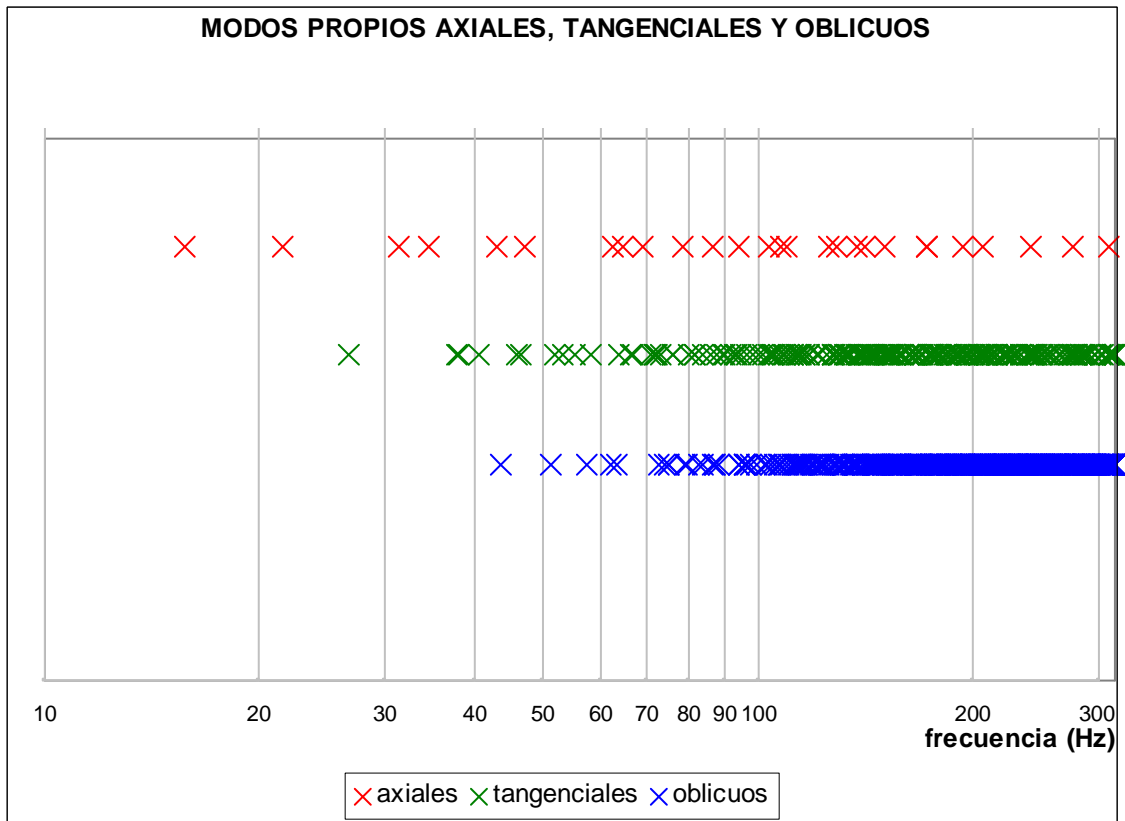
- Modo Axial: cuando la onda se genera entre dos superficies.
- Modo Tangencial: resultado de la reflexión en cuatro superficies.
- Modo Oblicuo: formado por la reflexión en las seis superficies.

Puesto que en cada reflexión la onda pierde parte de su energía, los modos axiales son los más fuertes, seguidos de los tangenciales y finalmente por los oblicuos.

El conjunto de todos los Modos Propios del recinto provoca una coloración del espectro, ya que unas frecuencias son reforzadas y otras no.

Si observamos la representación gráfica, entre dos paredes paralelas, observaremos que otra desventaja es que, para esas frecuencias, se crean en la sala puntos de máxima amplitud (llamados antinodos) y puntos de amplitud cero (nodos). Es decir, la coloración además depende de dónde estemos situados en la sala.

En los límites del recinto siempre hay máximos de amplitud, especialmente en las esquinas, podemos observar que, independientemente del número de antinodos, éstos se distribuyen de tal forma que hay máximos junto a las paredes).



La grafica central nos muestra la representación de los modos axiales, tangenciales y oblicuos, en función de la frecuencia.

En ella se deben buscar problemas en la sala: refuerzos aislados de frecuencias (modos propios muy juntos, especialmente axiales) o de grandes espacios sin refuerzo

Las salas con más problemas de este tipo serán aquellas que formen un cuadrado perfecto, aunque también encontraremos modos degenerados en aquellas salas en las que las relaciones entre sus dimensiones formen múltiplos entre si.

Los problemas derivados de los modos propios los solemos encontrar en recintos pequeños y a baja frecuencia, ya que cuanto mayor es la sala, menor es la frecuencia a la que se producen los primeros modos, cayendo en zonas menos sensibles de nuestro oído.

DENSIDAD DE MODOS PROPIOS DENTRO DE UNA BANDA	Frecuencia superior			100	
	Frecuencia inferior			80	
	Nº de modos exigible			17	
	Según cálculos			29	CUMPLE

En esta tabla podemos comprobar también que la densidad de modos propios es suficiente dentro de una banda de frecuencias.

En general esta sala goza de una buena distribución de modos propios, otra exigencia que también cumple la sala proyectada.

Bibliografía

ABC de la acústica arquitectónica

Higini Arau

<http://departamentos.unican.es/digteq/ingegraf/cd/ponencias/184.pdf>

La importancia de la sección áurea en el diseño de espacios sonoros estereofónicos.

<http://www.bwargentina.com/preguntas/r11.htm>

Peleando con la acústica de la sala de escucha: información sobre las proporciones de una sala.

<http://www.iberacustica.com/>

Ingeniería y servicios en acústica. Información interesante en el foro

<http://www.cetear.com/cap04.pdf>

Capítulo 4, de Acústica y Sistemas de Sonido

<http://www.rmsaudio.es/>

Información en general.

http://www.akustisk-selskap.com/NAS_revised/Webpages/hostmotet2006/STIPA%20Taleforst%E5elsesm%E5linger%20Ole-Herman%20Bjor.pdf

STIPA-The golden mean between full STI and RASTI. Información del cálculo del STI y RASTI, muy interesante (en inglés).

<http://www.acoustics.hut.fi/asf/bnam04/webprosari/papers/o27.pdf>

Simple application of STI-Method in predicting speech transmission in classrooms. Información respecto al sistema de cálculo STI, muy interesante (en inglés).