

## Modos de resonancia, ondas estacionarias: ¿dioses o demonios?

Estimados lectores de Tecnoprofile; heme aquí nuevamente para tratar un tema que muchas veces pasa inadvertido y, con ciertas precauciones, podemos sacarle provecho. En primer término deberíamos hablar un poco para ver de qué se tratan estos fenómenos. Supongamos el siguiente caso: nos paramos frente a una única pared y comenzamos a emitir un tono. Con suma lentitud empezamos a bajar o subir la frecuencia manteniendo constante la amplitud de nuestro tono. Para determinadas frecuencias notaremos una pequeña amplificación de nuestro tono; ¿qué está sucediendo? Si tomamos en cuenta la longitud de onda del tono<sup>i</sup> y la distancia a la pared, veremos que cuando media longitud de onda, o un múltiplo, coincide totalmente con la distancia a la pared, el tono emitido se encuentra con su reflejo en fase y en consecuencia se suman. Para otras frecuencias cuyas longitudes de onda no coinciden con esa distancia, hay cambios menos notorios. Podemos decir que las ondas estacionarias son el resultado de la interacción constructiva y destructiva de una onda sonora consigo misma, una vez que sufrió una o más reflexiones. El nombre de onda estacionaria corresponde al hecho de que la envolvente de presión sonora se mantiene estática en el mismo sitio.

Si en un recinto colocamos un parlante en una pared y emitimos, por ejemplo, ruido rosa; notaremos que hay frecuencias específicas que en el sitio del parlante tendrán un nivel de presión sonora mayor que el resto. Estamos en presencia del mismo fenómeno, ondas estacionarias y modos de resonancia. Un modo de resonancia de cualquier sistema vibratorio es una frecuencia con la cual el sistema puede oscilar cierto tiempo después de que la excitación<sup>ii</sup> se interrumpe. Supongamos ahora que la frecuencia que emite el parlante tiene un cuarto, tres cuartos o un número impar de cuartos de longitud de onda, siempre con respecto a la distancia entre paredes, el SPL que llega hasta la fuente sonora está en contrafase y habrá una interacción mínima.

Hamaquemos a nuestra novia. Si el impulso (siempre tratando de disfrutar de ese suave y sutil contacto con la parte superior de su trasero) lo practicamos cuando ella se encuentra justo en el sitio donde estamos parados, lograremos alcanzar mayor amplitud de oscilación; pero, si el impulso lo realizamos cuando ella se encuentra del otro lado (o sea al aire!!!) la amplitud de la oscilación disminuirá acorde al rozamiento de la hamaca. Consecuencia: se acabó la diversión, nos van a mirar de una forma sospechosa; y el sistema no será resonante, que es en donde la energía aplicada y su manifestación se hallan en fase.

En el año 1878 don Lord Rayleigh publica su libro "Theory of sound" (Teoría del sonido; una obra exquisita que es base de consulta de todas las personas involucradas en el campo de la acústica) donde se desarrolla la solución de la ecuación de onda encerrada en recintos regulares (típicamente paralelepípedos). Dicha solución (que se halla en el campo del análisis matemático) arroja varias respuestas, entre ellas, una fórmula sencilla con la que se pueden determinar fácilmente las frecuencias de resonancia de un recinto regular.

$$f_{res} = \frac{C}{2} \sqrt{\left(\left(\frac{n_x}{l_x}\right)^2 + \left(\frac{n_y}{l_y}\right)^2 + \left(\frac{n_z}{l_z}\right)^2\right)}$$

Donde:

$C$ : velocidad de propagación del sonido normalmente 342m/s

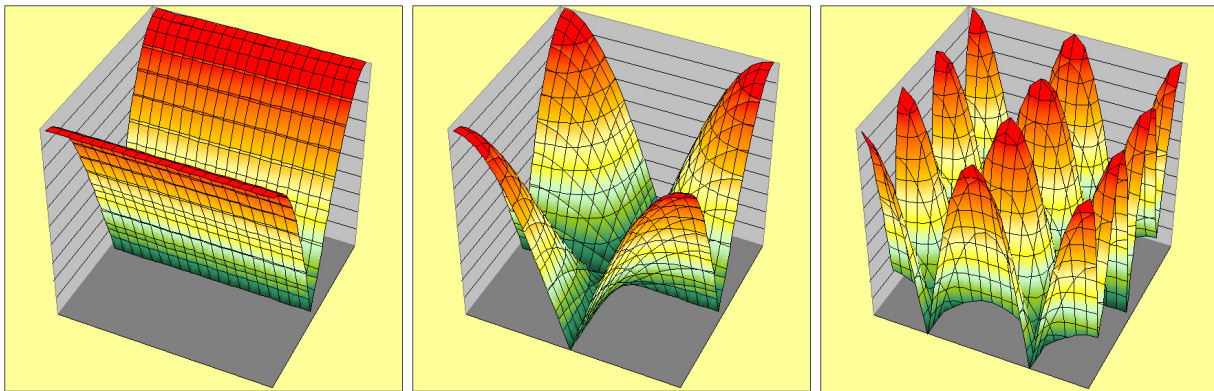
$n_x, n_y, n_z$ : números enteros (0, 1, 2, 3,.....)

$l_x, l_y, l_z$ : distancia entre paredes en los ejes x, y, z; en metros

Veamos entonces, aplicando esta fórmula, cuáles son las frecuencias de los primeros modos de resonancia para un recinto de 5m x 4,3m x 3,7m.

5,00 m	4,30 m	3,70 m	
$n_x$	$n_y$	$n_z$	
0	0	1	46,6 Hz
0	1	0	40,1 Hz
0	1	1	61,5 Hz
1	0	0	34,5 Hz
1	1	0	52,9 Hz
1	0	1	58,0 Hz
1	1	1	70,5 Hz

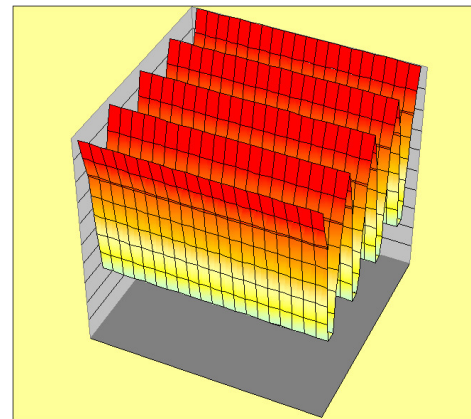
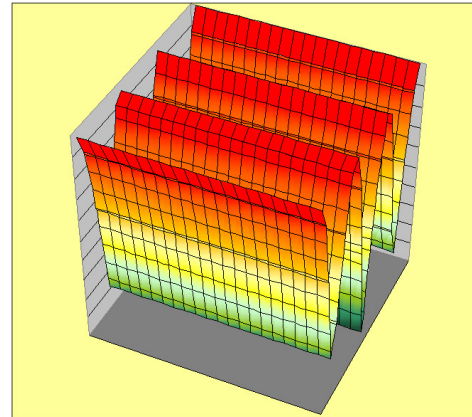
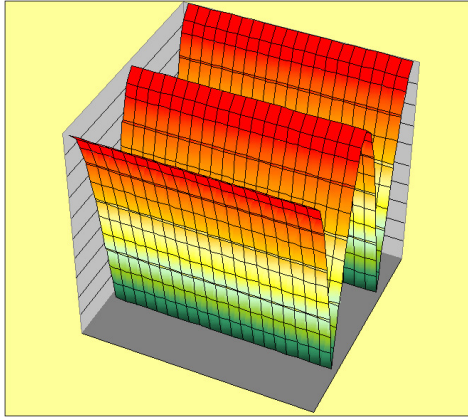
Para tener idea de cómo se verían estas ondas estacionarias observen las siguientes figuras donde tenemos: los modos (0,1,0), (1,1,0), (2,3,0) respectivamente. Lo que muestran las figuras son las envolventes o contornos de presión sonora, representadas en tres dimensiones haciendo que  $n_z$  sea siempre cero.



Ahora veamos lo siguiente, si ubicamos la fuente o parlante en una de las zonas de baja presión, por ejemplo, en el centro del recinto para la figura 1, el modo 0,1,0 (figura 1) no se manifestará con tanta diferencia entre la zona de alta y baja presión. Resulta lógico pensarlo desde el siguiente razonamiento: en la zona de presión mínima, está ubicada la fuente aportando su energía y en las zonas de máxima presión, no existe dicha contribución. Por lo tanto, la respuesta en frecuencia de los sitios en esa dirección será más plana con menor coloración y con escasa participación del fenómeno de resonancia.

Ésta es la piedra fundamental para la ubicación física de monitores, parlantes, fuentes, instrumentos musicales, micrófonos, etc. dentro de recintos regulares. ¿Cómo? ¿Qué? ¿Dónde?

Si observan la figura 1 verán la representación del modo 0,1,0 la posición lógica de acuerdo a lo antedicho sería en el centro (para no tener esas grandes variaciones entre un máximo y un mínimo). Pero, si ahora veo el modo 0,2,0 (figura 4) el centro tiene una zona de máxima presión, por lo tanto, no es un buen sitio. De igual manera podemos ver los modos 0,3,0 (figura 5) y 0,4,0 (figura 6). Donde se puede verificar que en las líneas que dividen al recinto (en esa longitud) en 3 y 4 partes, siempre habrá una zona de máxima presión o pico del modo de resonancia, para las frecuencias correspondientes a los múltiplos de media longitud de onda contenidos.



Todo muy bonito, pero, ¿dónde ubico mis monitores? El procedimiento básico es dividir el recinto en 2, 3, 4, 5..., n para cada uno de los ejes, es decir, en las tres direcciones posibles (largo, ancho y alto). En cada una de esas líneas divisorias **NO** debe ir ubicado el parlante (más precisamente, el centro del cono del woofer o el centro de radiación de bajas frecuencias). Hasta aquí todo muy fácil, pero, si divido al recinto en infinitas o muchas partes, todo resulta ser una zona de máxima presión para alguna frecuencia; no tiene sentido!! El problema se resuelve de la siguiente manera: hay una frecuencia donde, por encima de ese valor, la superposición o concentración de modos es tan grande que no tiene sentido el análisis propuesto. Es decir que superando dicha frecuencia, el estudio o importancia de los fenómenos resonantes dejan de ser prioritarios. Ese valor se lo conoce como frecuencia de Schroeder o  $f_{room}$  y si calculamos la longitud de onda asociada a dicha frecuencia veremos que, de acuerdo a las dimensiones del recinto, no habrá que hacer más de 4 ó 5 divisiones.

$$f_{Room} = 2000 \cdot \sqrt{\frac{RT60[s]}{Vol[m^3]}}$$

Este mismo razonamiento rige la posición de los instrumentos musicales (con importante contenido energético en la parte baja del espectro; como: bombos, contrabajos, equipos de bajo, etc.) y la ubicación de los micrófonos para realizar las tomas. Por supuesto, que es pensando en el concepto de obtener un sonido neutral o no coloreado. Por otro lado, si se persigue determinado realce, que el recinto nos puede proporcionar, simplemente lo ubicamos en una de las zonas de alta presión para la frecuencia del modo de interés.

En muchas oportunidades he grabado diferentes instrumentos y recuerdo un bombo legüero que poseía una resonancia muy artificial, muy grave (en el sitio donde se hallaba). La solución fue moverlo 40cm en una dirección, 20cm en otra y... magia!! Apareció el bombo; se podía oír el parche de cuero y su cuerpo de madera con gauchesca sonoridad (lo que perdí fue el legüero techno dance 808!!).

En la sala de mi estudio tengo marcado en los zócalos las divisiones por 2, 3 y 4; no saben cuánta ayuda me han prestado en el momento de ubicar baterías o equipos de bajo. Por supuesto, nunca deben dejar de escuchar. Todas las fórmulas y teorías no tienen sustento sin una "objetiva apreciación subjetiva" de lo que pretendemos conseguir. El beneficio redunda en

dar un buen punto de partida o una elección acertada cuando uno no sabe cómo o por dónde encarar determinada tarea.

Para que jueguen en casa, les ofrezco un archivo de Excel que genera esas representaciones 3D de los modos. Lo pueden bajar desde la página web.

Espero que les resulte de utilidad como a mí. Nos encontramos la próxima, muchos éxitos y buenas grabaciones.

**Indio Gauvron**

[Indio\\_ar@yahoo.com.ar](mailto:Indio_ar@yahoo.com.ar)

---

<sup>i</sup> La longitud de onda se puede calcular fácilmente a partir de la velocidad de propagación del sonido en el medio de propagación (aire) dividido por la frecuencia. Suponiendo una velocidad en el aire de 345 m/s; para una frecuencia de 100 Hz la longitud de onda será: 3,45 m.

<sup>ii</sup> La excitación puede ser ruido, un impulso o un tono. En el caso particular del tono, se debe cumplir que la frecuencia sea la misma con la que resuena el sistema.