

La Boca de la Guitarra y su Resonancia

Jesús Alejandro Torres Torres
Doctorando, Ingeniería Eléctrica (Instrumentación Acústica), Facultad de Ingeniería, UNAM
CP 04510, México, D. F., México
e-mail: jesusalejandrott@yahoo.com.mx

Resumen

Se presenta un experimento para escuchar la resonancia más baja de una guitarra acústica, en la cual interviene tanto la madera como el aire de su caja. Esta interacción de aire y estructura compensa la poca respuesta de la tapa superior antes de la nota Sol3 (196 Hz), ampliando así el rango de amplificación de la guitarra. La resonancia fue excitada mediante un compresor de aire, provocando un sonido análogo al que se escucha al soplar la boca de una botella. Se mostró que un cambio en la geometría de la boca disminuyó considerablemente esta frecuencia de resonancia, tanto en la guitarra como en un modelo más pequeño con geometría similar. Esto sugiere tener cuidado especial en la geometría de la boca al construir una guitarra.

Palabras Clave: boca, guitarra, oscilación, Paracho, resonancia.

Abstract

An experimental method is showed to hear the lowest resonance of an acoustic guitar, which involve a wood-air enclosed interaction. This interaction between both increases the low response of the top plate below the G3 note (196 Hz), broadening the range of the guitar body amplification. The resonance was drive with an air compressor, obtaining an analogous sound to heard blowing in a glass bottle. It was shown that a change in the geometry of the sound hole significantly decreased this resonance frequency, both on guitar and in a smaller model with similar geometry. This suggests taking special care in the sound hole geometry to build a guitar.

Key Words: guitar, oscillation, Paracho, resonance, sound hole.

Introducción

En afinación estándar, la nota más grave en la tesitura de una guitarra es Mi2, cuya frecuencia fundamental es 82.41 ciclos por segundo (Hz). Las dimensiones de la boca y del aire que encierra la caja de resonancia de una guitarra, son tales que se genera un efecto de resonador alrededor de Sol#2 (103.83 Hz). La respuesta de la tapa superior, que empieza alrededor de la siguiente octava (Mi3=164.8 Hz), es entonces reforzada por esta resonancia del aire para amplificar la respuesta de la guitarra en frecuencias más bajas. Esta combinación de aire encerrado y boca resonando (como cuando se sopla en la boca de una botella) es conocida como resonador de Helmholtz. Desde

hace varios siglos, se han diseñado instrumentos musicales con el tamaño de su caja de resonancia según su tesitura (por ejemplo el chelo es más grande que el violín). Sin embargo, la interpretación del comportamiento en frecuencias graves de una guitarra como resonador de Helmholtz, ha sido estudiada desde hace relativamente pocos años.

Firth [1] mostró la variación en la respuesta de una guitarra con la boca totalmente tapada y destapada, notándose claramente un cambio en frecuencias bajas. Caldersmith [2] propuso un modelo teórico para comparar el comportamiento de la guitarra en sus resonancias más bajas, con una caja de bocina para frecuencias bajas. Tomó en cuenta la resonancia del aire de la boca, y los resultados de su modelo teórico fueron similares a un arreglo experimental.

En este trabajo, se muestra un ejemplo de cómo el diseño de un resonador de aire puede cambiar su frecuencia de resonancia. El aire saliente de un compresor fue dirigido hacia la boca de una guitarra clásica, y al obstruir parcialmente la boca, cambió la frecuencia del sonido generado. Además, el experimento fue también realizado soplando en la boca de un resonador pequeño en forma de guitarra, obteniendo resultados análogos.

1. Teoría

Al soplar en la boca de una botella de vidrio, se produce un sonido con una frecuencia particular. Nótese que ese sonido es producido únicamente por la oscilación del aire en la boca, y no por la vibración de la estructura (en este caso el vidrio). De hecho, la frecuencia del sonido generado depende del volumen de aire dentro de la botella. Así, la frecuencia del sonido generado en una botella será más baja (sonido grave) que la de un silbato, cuya frecuencia será más alta (sonido agudo). Este sistema corresponde a un resonador de Helmholtz y la ecuación para calcular la frecuencia de resonancia del aire de la boca f_G puede escribirse como

$$f_G = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{\pi R^2}{V \left(d + \frac{\pi}{2} R \right)}} \quad (1)$$

donde c es la velocidad del sonido en el aire, R es el radio de la boca, V es el volumen del aire en el recipiente y d es el espesor de la boca. Esta ecuación es aplicable siempre y cuando las paredes de la cavidad sean rígidas y las dimensiones del resonador sean pequeñas comparadas con la longitud de onda de esta frecuencia de resonancia.

Para el caso de una guitarra de dimensiones normales, la condición de paredes rígidas mencionada no se cumple cabalmente, debido entre otras razones a la cercanía del primer modo de vibración de la tapa superior. Ambas resonancias se acoplan provocando que la frecuencia de resonancia del aire disminuya y la de la tapa aumente.

Se han hecho modelos experimentales con medidas equivalentes a las de la caja de resonancia de una guitarra, pero cumpliendo estrictamente las características de un resonador de Helmholtz [3]. También se han desarrollado modelos teóricos que toman en cuenta la interacción de la resonancia del aire de la guitarra con las resonancias más bajas de la tapa [2,4]. En los trabajos citados en este documento, se obtuvieron resultados teóricos similares a los experimentales.

2. Procedimiento experimental

En un primer caso, la resonancia del aire de un resonador en forma de guitarra unas siete veces más pequeño que las normales, fue fácilmente audible simplemente soplando con el aire de los pulmones.

Para el caso de una guitarra normal, dado que sus dimensiones son considerablemente más grandes, para escuchar su resonancia más baja se utilizó un compresor de aire. El aire saliente fue dirigido con una manguera hacia la boca de la guitarra haciendo un ángulo de unos 45° con el plano de la tapa, como se muestra en la Figura 1. Una vez que se encontró la dirección adecuada del flujo del aire, para provocar la resonancia del aire de la boca, se escuchó un sonido análogo al soplar en una botella, pero de frecuencia más baja. Un estuche de un DVD fue utilizado para tapar parcialmente la boca de la guitarra, y se repitió el experimento.

El sonido de un generador de frecuencias fue igualado a cada sonido de los resonadores, obteniendo así el valor de cada una de las frecuencias de resonancia para la boca y el aire encerrado.

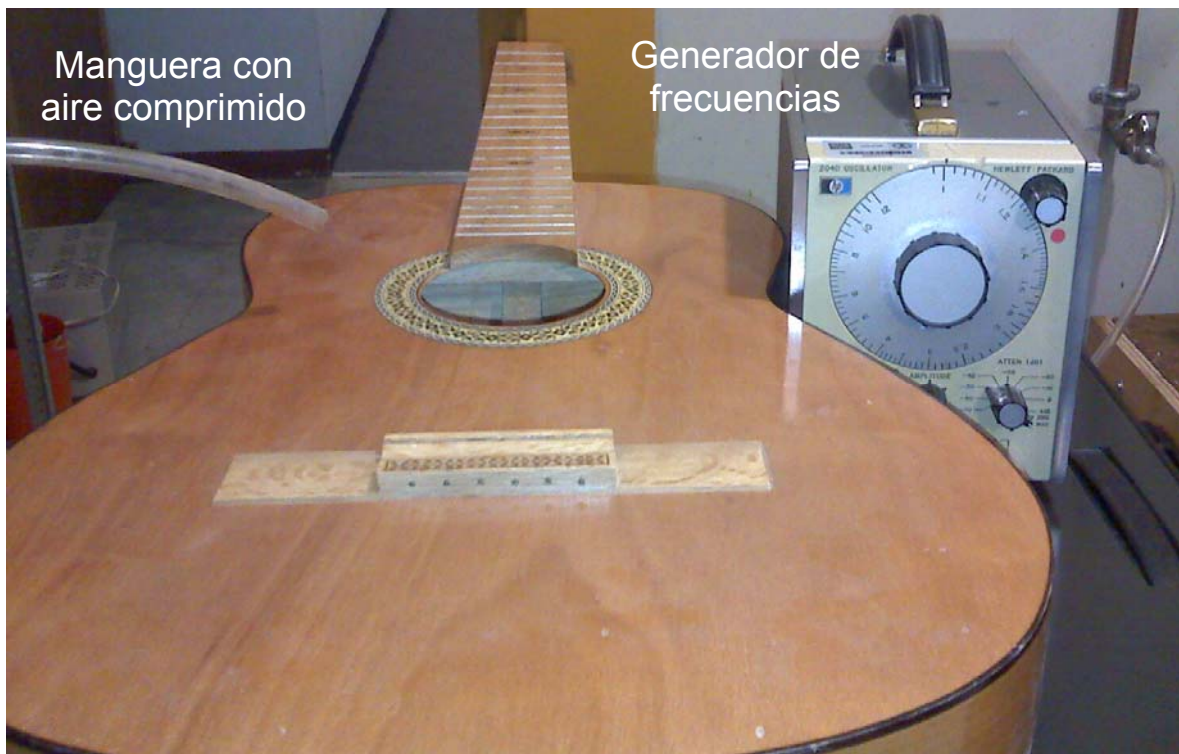


Fig. 1. Fotografía del experimento para excitar la resonancia más baja de una guitarra.

3. Resultados y discusión

Mediante la Ec. (1) se calculó la frecuencia de resonancia del aire f_G de la guitarra. Los datos usados fueron:

c = velocidad del sonido en el aire = 343 m/s,

V = (área de la tapa inferior)x(altura de la caja) = $(0.132701 \text{ m}^2) \times (0.077\text{m}) = 0.0102 \text{ m}^3$,

R = radio de la boca=.042 m,

d = espesor de la tapa superior= 0.003 m

El valor calculado fue de $f_G = 156 \text{ Hz}$. Este valor concuerda con el obtenido por otros autores, de 155 Hz [5]. La frecuencia más baja de la guitarra, correspondiente a la interacción del aire y la estructura de madera, se obtuvo al excitar el aire de la caja de la guitarra con el compresor. La frecuencia escuchada fue más baja que la teórica tal como se esperaba ($96 \text{ Hz} \approx \text{Sol}2$).

Además, los métodos descritos en este trabajo permitieron detectar un cambio en la frecuencia de resonancia del aire debido a un cambio en la geometría de la boca de la guitarra: Al tapar la boca sobre su diámetro, haciendo aproximadamente 45° con el eje de simetría de la tapa, la frecuencia del sonido generado disminuyó a $90 \text{ Hz} \approx \text{Fa}\#2$.

Este cambio en la frecuencia de resonancia al tapar la boca, también fue detectado al soplar en la guitarra pequeña, disminuyendo su frecuencia de $412 \text{ Hz} (\approx \text{Sol}\#4)$ a $315 \text{ Hz} (\approx \text{Re}\#4)$.

4. Conclusiones

Los métodos experimentales mostrados permitieron escuchar y cuantificar los cambios en la frecuencia de resonancia más baja en guitarras de diferentes tamaños, al tapar parcialmente la boca; es probable que la aplicación del método facilite a los fabricantes de guitarras acústicas el mejorar el diseño y la calidad de su producto.

Además se calculó la frecuencia de resonancia al considerar la cavidad de aire de la tapa como resonador de Helmholtz. Se mencionó cómo algunas limitaciones de esta consideración deberían provocar un decremento en la frecuencia más baja de la guitarra, lo cual fue corroborado con los resultados experimentales.

Agradecimientos

El autor quiere agradecer al constructor de guitarras Héctor Elías López (Paracho, Mich.) por sus recomendaciones sobre este trabajo, y al M. I. Antonio Pérez López por proporcionar una guitarra para experimentación.

Referencias.

- [1] Firth Ian M, 1977, Physics of the guitar at the Helmholtz and first top-plate resonances, J Acoust Soc Am, 61,2, p 584-590.
- [2] Caldersmith Graham, 1978, Guitar as a reflex enclosure, J Acoust Soc Am, 63, 5, p 1566-1575.
- [3] Meyer Jurgen, 1981, Fundamental Resonance Tuning of Guitars, J Guitar Acoust, 5, p 8-20.
- [4] Christensen Ove, Vistisen Bo, 1980, Simple model for low-frequency guitar function, J Acoust Soc Am, 68, 3, p 640-644.
- [5] Elejabarrieta M J, Santamaría, 2002, Air cavity modes in the resonance box of the guitar: the effect of the sound hole, J Sound Vib, 252, 3, p 758-766