

165

Simple + mente
física



Concierto de copas y botellas

(9.abril.2013)

Cuando vi por primera vez la película *E la nave va* (1983), de Fellini, se me quedó grabada la escena en la cual un grupo de pasajeros interpreta una pieza musical haciendo sonar copas, botellas y otros utensilios presentes en la cocina del barco. La escena puede verse en [YouTube](#)¹ y, como toda la película, es fascinante y emocionante; la pieza musical que interpretan es el *Momento musical número 3*, de Franz Schubert, que puede escucharse interpretado al piano por Barenboim, también en [YouTube](#).²

Es bien sabido que las botellas emiten sonido al soplar en su interior, mientras que las copas suenan al frotar su borde con los dedos; ambas (copas y botellas) también suenan al golpearlas. La diversidad de notas producidas por estos peculiares instrumentos se obtienen variando la cantidad de agua que contienen.

En el caso concreto de una botella, es bien conocido que al soplar en su interior, el tono aumenta a medida que se le añade agua. Pero cuando se añade agua, ¿cómo varía el tono emitido por una copa que se golpea o cuyo borde se frota con los dedos?



AVISO: El objeto de ***Simple+mente física*** no va más allá del placer que proporciona plantearse y resolver sencillas cuestiones razonando (y experimentando) de acuerdo con principios básicos de la física. No hay ningún tipo de compensación, excepto la satisfacción personal y no van dirigidas a ningún grupo de personas en particular (es decir, están abiertas a todo el mundo).

El primer día hábil de cada semana se presentará una nueva cuestión y la respuesta a la cuestión de la semana anterior.

Rafael Garcia Molina, Departamento de Física - CIOyN, Universidad de Murcia (rgm@um.es)

<http://bohr.inf.um.es/miembros/rgm/s+mf/>

¹ <https://www.youtube.com/watch?v=RPD3NZGf3Lc>

² <http://www.youtube.com/watch?v=YPTYHDqbgFg>

Resp.: Cuando se sopla en el interior de una botella, ésta emite un sonido cuya frecuencia está determinada por la onda estacionaria de aire en vibración que se forma en el volumen libre (no ocupado por el líquido) de la botella, que actúa como una cavidad resonante. Aparte de otros factores, la frecuencia f de una cavidad resonante de volumen V disminuye a medida que aumenta el volumen de acuerdo con la siguiente dependencia $f \sim 1/\sqrt{V}$. Cuanto más líquido contenga la botella, menor será la cámara de aire disponible para que se forme la onda estacionaria y, por tanto, más agudo será el sonido emitido. Este comportamiento es parecido al que tiene lugar cuando se hace sonar un instrumento de viento, como una flauta.

Al frotar el dedo sobre el borde de una copa (y también al golpear una botella o una copa), el tipo de sonido que emite viene determinado por las ondas estacionarias que se forman en las paredes del recipiente. En este caso, la frecuencia f del sonido emitido suele variar como $f \sim \sqrt{T/\rho}$, donde T es la tensión a la que está sometido el sistema vibrante, cuya densidad másica es ρ . Las dimensiones de la copa o botella (de la superficie vibratoria, en definitiva) no cambian, pero a medida que el recipiente contiene más líquido, éste amortigua la vibración, actuando como si aportara inercia a la superficie que vibra; podemos considerar que este comportamiento es aproximadamente similar al que se produciría al aumentar la densidad másica del sistema vibrante, lo cual comporta una disminución en la frecuencia del sonido emitido. En este caso, puede encontrarse un símil en los instrumentos de percusión o fricción, como las placas, las membranas o las cuerdas vibrantes, que, para las mismas dimensiones, suenan más graves cuanto más densas son.

Así pues, cuando se sopla en el interior de una botella, la frecuencia del sonido emitido aumenta a medida que disminuye el volumen de la cavidad resonante, lo cual se consigue añadiendo líquido a la botella. En cambio, cuando se frota con el dedo el borde de una copa o se golpea (lo cual también puede hacerse con una botella), disminuye la frecuencia del sonido emitido a medida que se añade líquido al recipiente.

Miscelánea (frases, anécdotas, curiosidades...): En 1932 Victor F. Weisskopf (1908-2002) y Rudolf Peierls (1907-1995) disfrutaban en Cambridge de una beca de la Fundación Rockefeller, la cual les pidió que le enviaran sus informes con resultados obtenidos durante el tiempo de apoyo económico. Como prueba de algunas de sus actividades, Peierls envió a la Fundación un anuncio del nacimiento de su primer hijo, cosa que no pudo hacer Weisskopf por no estar todavía casado. Posteriormente se enteraron que en Nueva York no apreciaron el sentido de humor de Peierls. [V. F. Weisskopf, Personal memories of Pauli, *Physics Today* **38** (1985) 36]