



Estudio del sonido: Cualidades físicas

Jose Manuel Pastor

I.E.S. Canastell, Sant Vicent del Raspeig

1.- Introducción

1.1 ¿Qué es el sonido?

A.1 Trata de explicar por qué se produce un sonido cuando hacéis vibrar las cuerdas de una guitarra o cuando cantáis. ¿Qué es lo que ha sucedido para que se produzca ese sonido y llegue hasta vuestros oídos?

Los alumnos deben entender que, en ambos casos, las cuerdas de la gui-



tarra y las cuerdas bucales vibran, se mueven rápidamente, originando que el aire que hay a su alrededor no tenga tiempo de fluir suavemente, con lo cual se comprime con el movimiento adicional, produciendo un cambio repentino de presión que empuja más aire. A su vez, este aire se comprime, y vuelve a dar otro cambio de presión. Son, pues, estos aumentos y disminuciones repentinas de presión, los que se van propagando a través del aire. Pero éste no se desplaza. Es decir que, para que se produzca la onda sonora, las regiones donde se comprime y se dilata el aire, deben ser mucho mayores que la distancia recorrida por las moléculas de aire antes de que choquen con sus vecinas. Estas compresiones y dilataciones del aire llegan hasta nuestros oídos, haciendo vibrar también nuestro tímpano.

1.2 ¿Cómo podemos estudiar el sonido?

A.2 Si lo que se propaga en una onda sonora son las compresiones y dilataciones rápidas del aire, ¿cómo podemos estudiar el sonido?, es decir, ¿cómo podemos analizar esos cambios repentinos de presión?

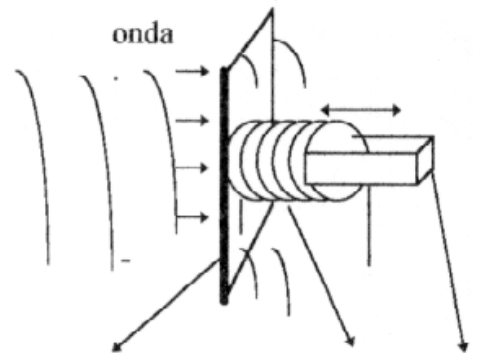
La respuesta es: con un micrófono conectado a un osciloscopio.

Micrófono

El micrófono lleva una membrana (el diafragma) que va unida a una bobina, que es atravesada por un imán; por la cual circula corriente. Al llegar la onda sonora al micrófono, hace vibrar el diafragma, con lo cual la bobina también se mueve a través del imán, esto origina que la corriente que circulaba por la bobina sufra cambios al surgir corrientes inducidas. Con un osciloscopio se detectan los cambios de potencial que experimenta la corriente que circula por la bobina, que están directamente relacionados con los cambios de presión del conjunto diafragma/bobina móvil/imán/aire, que hacen mover el diafragma.

El micrófono se conecta directamente al osciloscopio y se selecciona la base de tiempos y la escala de potencial. La base de tiempos más apropiada es de 1 ms y la escala de potencial suele estar entre 5 y 10 mV, según el micrófono utilizado.

Para que los alumnos puedan realizar un mejor análisis de las ondas, es conveniente que dibujen en su cuaderno una reproducción de la pantalla del osciloscopio con la cuadrícula incluida, donde posteriormente irán di-





bujando las diferentes ondas que aparezcan.

2.- Ruido y notas musicales: ¿En qué difieren?

A.3 Da una palmada o un golpe sobre la mesa, y observa la onda que aparece en el osciloscopio y dibújala en papel milimetrado. A continuación, emite una nota musical con el diapasón y observa la onda que aparece y dibújala. ¿Qué diferencia hay entre ambas ondas? ¿En qué difiere, desde el punto de vista de la presión del aire, el sonido producido por un instrumento musical de cualquier otro sonido?

Los alumnos ven rápidamente que una nota musical difiere de cualquier ruido en que hay una periodicidad en su gráfica, la forma se repite una y otra vez. Esto significa que la presión del aire varía de forma regular con el tiempo, de ahí que los cambios de potencial, que es lo que mide el osciloscopio, también varíen regularmente. Así pues, a partir de ahora nos centraremos en el estudio de este tipo de ondas sonoras.

Esto nos puede servir para introducir los conceptos de amplitud de la onda, longitud de onda y frecuencia con que se producen los cambios de presión en una onda periódica. Para introducir el concepto de frecuencia, es preferible hablar primero del tiempo que transcurre entre dos máximos de la onda, es decir, el periodo, T , entre dos compresiones o dos dilataciones sucesivas del aire. El periodo se puede determinar a partir de la cuadrícula del osciloscopio y su inversa nos dará la frecuencia, $\nu = 1/T$.

A.4 Calcular la frecuencia de la onda periódica que habéis obtenido en la actividad anterior.

Los diapasones que aparecen en las dotaciones de laboratorio de los Institutos emiten la nota LA *normal*, cuya frecuencia es 440 Hz. Observando en el osciloscopio, o en el dibujo hecho por los alumnos en su cuaderno, podemos ver como la distancia entre dos máximos sobre la cuadrícula del osciloscopio es de 2'2 cuadros, lo que corresponde a 2'2 ms (el osciloscopio no permite resolver más). Por lo tanto la frecuencia es de $\nu = 1/0'0022 \text{ ms} = 454 \text{ Hz}$.



3.- El diapasón y un instrumento musical

A.5 Emite una nota musical con el diapasón, observa la onda y dibújala. A continuación emite con la flauta una nota, observa la onda que ahora aparece y dibújala. ¿Qué diferencia hay entre ambas ondas?

Claramente se ve que mientras el diapasón produce una onda senoidal pura, la flauta da lugar a una onda con distintos picos, que es consecuencia de la suma de varias ondas, una fundamental y otras secundarias, cuyas frecuencias son múltiples de la frecuencia de la onda fundamental. Estas ondas secundarias se denominan armónicos. Cada instrumento musical presenta distintos armónicos, aunque ambos emitan la misma nota, esto permite a nuestro oído distinguir un saxo de una trompeta, o diferenciar la voz de un amigo de la de otra persona. La estructura del diagrama de la onda en el osciloscopio será diferente para cada instrumento y para cada persona. Esta cualidad del sonido se denomina timbre.

4.- Cualidades del sonido

Corrientemente se habla de tres cualidades del sonido: intensidad, timbre y frecuencia o tono. Algunas de estas cualidades ya las hemos mencionado anteriormente, pero ahora las analizaremos más detenidamente.

4.1 Intensidad

A.6 Golpea con distintas intensidades, de menor a mayor fuerza, el diapasón. Observa las ondas que aparecen en la pantalla del osciloscopio. Dibújalas en tu cuaderno.

A.7 Mide las amplitudes de cada onda, en milivoltios. ¿Qué indica la intensidad un sonido?

Los alumnos relacionan la intensidad con la fuerza con que han golpeado el diapasón. Hay que insistir que esto está relacionado con los cambios de presión del aire. Una amplitud elevada indica cambios de presión del aire elevados. Al mismo tiempo, la intensidad, representa la rapidez con que se propaga la energía.

4.2 Frecuencia



Ya hemos visto, en la actividad A.4, que la frecuencia o tono corresponde al período de tiempo transcurrido entre dos compresiones sucesivas del aire o dos dilataciones sucesivas. La inversa de este tiempo nos da la frecuencia de repetición de una compresión o dilatación del aire.

A.8 Con la flauta interpreta la escala musical, DO RE MI FA SOL LA SI DO, y observa en la pantalla del osciloscopio las ondas que van apareciendo. Explica qué se observa al ir subiendo en la escala. ¿Qué sucede con las frecuencias cuando los sonidos son cada vez más agudos?

Se puede ver claramente cómo al ir ascendiendo en la escala, lo cual corresponde a sonidos cada vez más agudos, las ondas que aparecen en el osciloscopio son cada vez más estrechas, es decir el período entre dos máximos es cada vez menor, lo que indica que las frecuencias son cada vez mayores. Por lo tanto los sonidos agudos presentan frecuencias más altas que los graves.

A.9 Con la flauta interpreta primero el DO bajo y calcula su frecuencia como hicimos en la actividad A.5. A continuación interpreta el DO alto y calcula también su frecuencia. ¿Qué conclusiones podemos extraer?

Podemos ver que la frecuencia del DO alto es el doble que la del DO bajo. Esto se aprecia directamente en la pantalla del osciloscopio, sin calcular las frecuencias.

Al intervalo entre dos notas, donde una presenta doble frecuencia que la anterior, los músicos lo llaman *octava*. Cada octava a su vez la dividen en 7 intervalos, cuya relación de frecuencias entre cada uno de ellos es la siguiente:

<i>Frecuencia mayor/frecuencia menor</i>							
9/8	10/9	16/15	9/8	10/9	9/8	16/15	
DO	RE	MI	FA	SOL	LA	SI	DO

Si tenemos un sonido musical cualquiera, DO, otro sonido cuya frecuencia fuese el doble se representaría como DO₂, y si la frecuencia fuese la mitad, se representaría como DO_{.2}.

Pero para determinar la frecuencia de todas las notas en las ocho octavas, y con el fin de que todos los instrumentos tengan el mismo punto de partida, es necesario utilizar una nota "patrón" de referencia, que sirva de partida, y a partir de ella obtener las frecuencias de todas las demás. La nota que se toma como referencia se denominó LA *normal* y su fre-



cuencia es de 440 Hz; corresponde a LA₃.

A.10 Emitir una nota con el diapasón, observar la onda y calcular su frecuencia. A continuación emitir la nota LA con la flauta y calcular su frecuencia. ¿Qué, conclusión podemos extraer?

Observaremos que una nota es la octava de la otra. La nota de la flauta es LA₄ mientras que el diapasón da LA normal, LA₃.

La escala de sonidos empleados en música, comprende ocho octavas, que van desde el DO₋₂ = 16 Hz, dado por algunos tubos grandes de órganos de catedrales, hasta RE₇ = 4.700 Hz, dado por el flautín:

DO₋₂ RE₋₂ MI₋₂ FA₋₂ SOL₋₂ LA₋₂ SI₋₂ DO₋₂ // DO₋₁ RE₋₁ MI₋₁ FA₋₁ SOL₋₁
LA₋₁ SI₋₁ DO₋₁ // DO₁ RE₁ MI₁ FA₁ SOL₁ LA₁ SI₁ DO₁ // DO₂ RE₂ MI₂ FA₂
hasta RE₇ - ocho intervalos.

4.3 El timbre

El timbre ya hemos dicho, en la actividad A.5, que tiene que ver con los armónicos que cada sonido tiene, y nos permite distinguir entre notas de la misma intensidad y frecuencia, realizadas por distintos instrumentos.

A.11 Utilizando distintos instrumentos: flauta, xilófono, metalófono, etc., emitir la misma nota y a la misma frecuencia con todos ellos. Observar y dibujar las ondas que aparecen para cada caso.

Podemos ver como el diagrama de la onda emitida por cada instrumento presenta una estructura diferente; esto es debido a los distintos armónicos que, junto con la onda fundamental, cada instrumento emite. Un sonido es más rico cuanto más armónicos lo acompañen.

5.- Interferencias

La sensación producida por los sonidos en el oído no depende de los valores absolutos de sus respectivas frecuencias, sino de la relación entre ellas. Experimentalmente se ha comprobado que la sensación producida por dos sonidos es tanto más agradable cuanto más sencilla es la relación entre sus frecuencias. Cuando la sensación de dos sonidos es agradable, se dice que los dos sonidos son consonantes, y si es desagradable son disonantes. Cuando la relación entre las frecuencias de dos sonidos es 1 a 2, es decir una octava, los sonidos son consonantes.



5.1 Consonancia

A.12 Comprobar la consonancia de dos sonidos; para ello se puede emitir LA₃ con el diapasón, y LA₄ con la flauta, o bien SOL₂ y SOL₃ con el metalófono bajo.

5.2 Disonancia

A.13 Comprobar la disonancia de dos sonidos como SOL₃ y LA₃ emitidos por el metalófono bajo.

6.- Apéndice

Las actividades que se pueden realizar con el osciloscopio son múltiples, aquí sólo hemos apuntado algunas. Pero todavía se me ocurren algunas más, como por ejemplo distinguir entre la voz de un chico y una chica que suele ser una octava por encima. O bien clasificar las voces de los alumnos en:

Bajo : desde MI₁ hasta RE₃
Barítono : desde DO₂ hasta SOL₃
Tenor : desde MI₂ hasta SI₃
Contralto : desde SOL₂ hasta LA₄
Mezzo-soprano : desde SI₂ hasta LA₄
Soprano : desde DO₃ hasta DO₅

Otra posibilidad es utilizar los dos canales del osciloscopio, con un micrófono para cada canal, y ver las distintas ondas en cada canal y después sumarlas para ver las interferencias; esto último se podrá hacer si el osciloscopio tiene la función aditiva de canales.

Estoy seguro de que a vosotros se os ocurrirán otras muchas actividades.