

Ondas, sonido y música

Vicente López García

Parque de las Ciencias. Granada

El Parque de las Ciencias nació con la vocación de fomentar la integración de los diferentes aspectos de la Cultura, de todo el saber humano, y tanto la Música como la Ciencia son parte de él. La música ha existido desde siempre y, naturalmente, la ciencia no ha podido sustraerse a la atracción de investigar a qué se debe la enorme diversidad de sonidos que la enriquecen.

Vamos a empezar por el principio: ¿Qué es el sonido? Es una vibración que se propaga. Que es una vibración podemos demostrarlo observando cualquier superficie a la que golpeamos o una cuerda tensa, por ejemplo, de una guitarra, que pulsamos. Poniendo las yemas de los dedos sobre cualquier objeto que suena podemos notar la vibración.

Ya hemos comprobado que es una vibración pero, ¿cómo se propaga? Se propaga al vibrar también el medio que le rodea, si es elástico, y el aire lo es.

Puesto que el aire es invisible y las vibraciones sonoras son muy rápidas, lo mejor es visualizar la propagación con un muelle bien largo, como ese que se llama *slinky* y se vende en algunas tiendas de juguetes. Podemos estirarlo hasta unos seis metros de longitud como se ve en la foto.

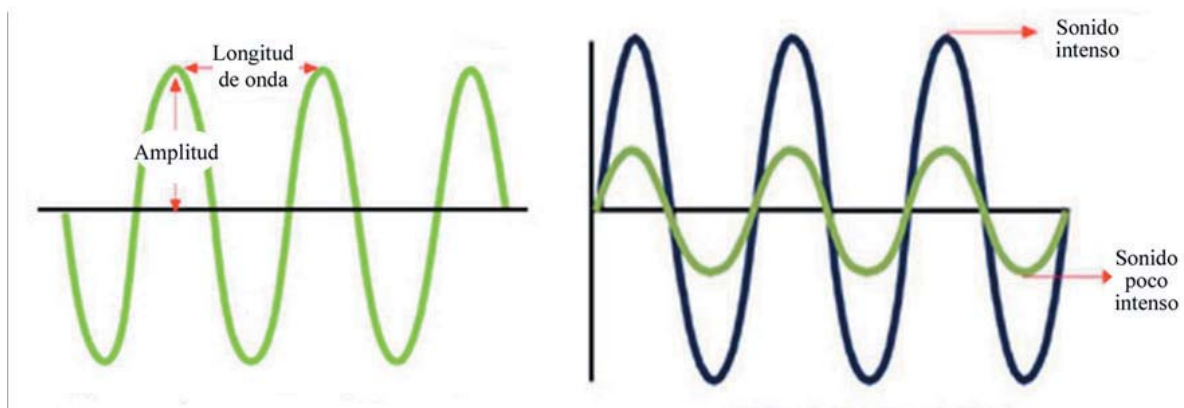


El *slinky* estirado.



Propagación de una vibración.

Produciendo una vibración en un extremo vemos cómo se desplaza a todo lo largo del muelle. Una vibración que viaja de esa forma es lo que llamamos una onda. Es importante constatar que en una onda no hay nada material que viaje de un extremo al otro. Se transporta la vibración y, por tanto, la energía pero cada punto del muelle permanece vibrando en su sitio. Podemos atar un lazo rojo en algún punto del muelle para comprobarlo. Sólo sube y baja. No se desplaza a lo largo del muelle. Ninguna molécula del aire que vibre en un clarinete va a llegar a nuestros oídos. Así se propaga también el sonido en el aire aunque como estamos hablando de Física, conviene precisar un poco más. En el aire, las vibraciones de las moléculas no son perpendiculares a la dirección de avance de la onda (onda transversal) sino que llevan la misma dirección (onda longitudinal) produciéndose una sucesión de compresiones y descompresiones.



Representación gráfica de una onda

Bien, ¿y qué hace que existan sonidos tan diversos, que podamos disfrutar de esa riqueza sonora? ¿Cómo se puede seguir componiendo nuevas piezas musicales sin repetirse? ¿Por qué suenan de forma tan distinta los diferentes instrumentos musicales? ¿Por qué distinguimos la voz de cada persona? Para describir las diferentes cualidades del sonido vamos a establecer dos conceptos básicos de una onda: la **amplitud** y la **frecuencia**, de las que dependen directamente dos de las cualidades del sonido, la intensidad y el tono o altura musical.

La amplitud es la mayor o menor separación de la posición central. En la figura se ve una onda de amplitud pequeña y otra de gran amplitud.

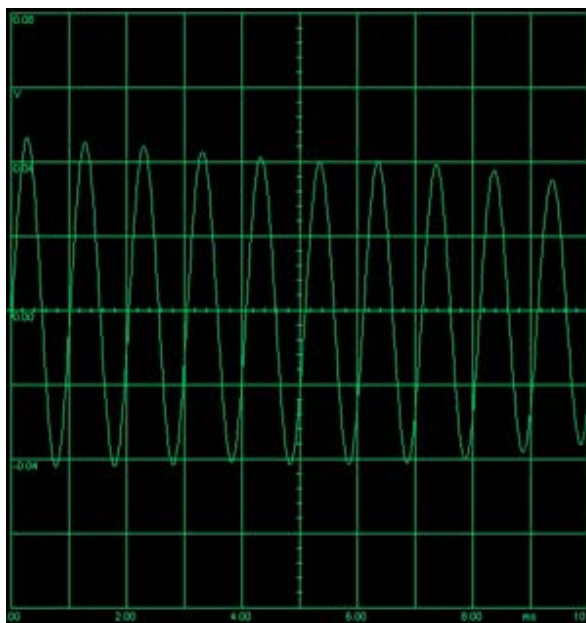


Imagen de un sonido intenso de diapasón en el osciloscopio.

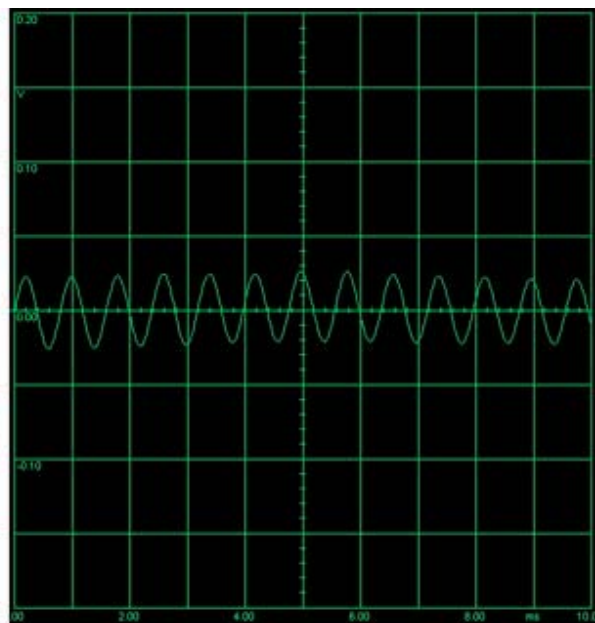
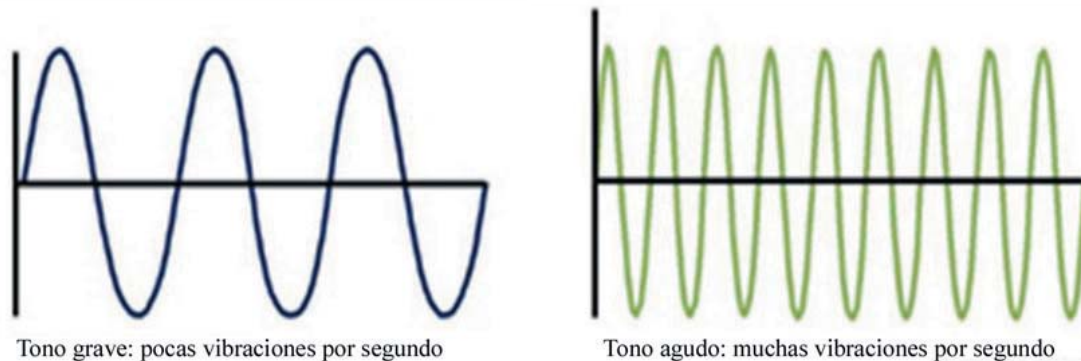


Imagen de un sonido poco intenso de diapasón en el osciloscopio.

Pues bien, la amplitud es la que determina la **intensidad** de un sonido. Un sonido intenso, fuerte... produce una onda de gran amplitud. Un sonido suave, piano... produce una onda de pequeña amplitud. Naturalmente, un sonido más intenso transporta más energía y también requiere más energía para producirlo.

Lo mejor es verlo directamente por medio de un osciloscopio, un aparato que es básicamente un televisor, que nos permite transformar el sonido en imagen aunque hoy día disponemos de programas de ordenador que convierten nuestro monitor en osciloscopios con más utilidades incluso que los clásicos. Recomiendo usar el que se puede descargar en la página www.zelscope.com por menos de diez dólares o bajar gratuitamente una prueba durante 14 días, aunque hay bastante más software gratuito. Cualquier sonido en el micrófono aparecerá como una onda en la pantalla. Y podremos ver cómo la amplitud de ésta aumenta y disminuye con la intensidad del sonido.



Relación entre el tono del sonido y la frecuencia

La frecuencia es el número de veces que la onda vibra en cada segundo. En el caso del muelle, es el número de veces que subimos y bajamos el extremo del mismo por segundo. Es inversamente proporcional a la longitud de onda, la distancia entre dos crestas que aparece señalada en la primera figura.

En el sonido, la frecuencia es la que determina el **tono o altura musical**. Podemos verlo de nuevo en el osciloscopio. En la pantalla aparecen muchas más crestas con los sonidos agudos porque en el mismo tiempo se han producida más vibraciones, es decir, la frecuencia es mayor.

Según la longitud y la tensión de las cuerdas o bien la longitud y el material de los tubos de los instrumentos de viento conseguimos los distintos tonos, las ondas de mayor o menor frecuencia. El oído humano es capaz de percibir desde 20 hasta 20.000 vibraciones por segundo, aunque esto varía de unas personas a otras y los dos márgenes, sobre todo el agudo, se reducen con la edad y por la exposición a sonidos muy intensos.

Ya hemos visto dos características del sonido: la **intensidad** y el **tono**. Pero, ¿qué hace que suene tan distinto un violín de un clarinete aunque ambos den la misma nota con la misma intensidad? La tercera característica del sonido que nos hace distinguir unos instrumentos de otros es el **timbre**.

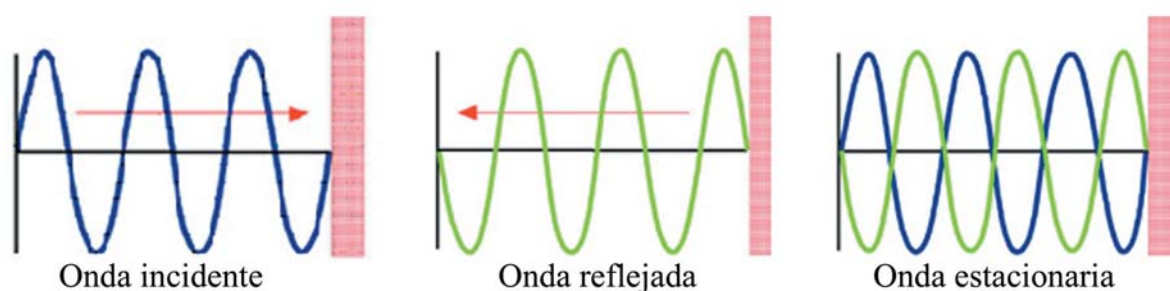
Cuando una cuerda de longitud limitada y tensa, una membrana o un tubo vibran de forma estable, sólo puede hacerlo con unas frecuencias fijas. Podemos probar a hacerlo con el muelle del que hablamos antes y comprobar que si queremos mantener la onda de forma estable sólo lo conseguiremos con una frecuencia determinada y, una vez logrado, hace falta muy poca energía para que se automantenga.

Está vibrando con lo que se llama su **frecuencia fundamental**. Tiene un solo **vientre** (así se llama esa parte donde la onda tiene más amplitud) en medio y los dos extremos quedan quietos, fijos y se llaman **nodos**, es decir, como nudos que atan y sujetan al muelle.



Vibración fundamental en el muelle.

Lo que se ha producido es una interferencia entre la onda que va desde mi mano hacia allá y la onda reflejada en el otro extremo y que vuelve hacia mí. Una interferencia es simplemente una suma de dos o más ondas. Y al sumarse se produce lo que se llama una onda estacionaria, un nombre muy poco adecuado porque, si os fijáis, ya no hay propagación, por lo que no es realmente una onda pero sí hay vibración que puede comunicarse al aire de alrededor. Eso sí, tiene que tener esa frecuencia determinada, la que da por ejemplo la cuerda de un instrumento.



Interferencia y origen de las ondas estacionarias

Pero también puede hacerlo con una frecuencia exactamente el doble de ésta. Aumentando poco a poco la frecuencia de la mano y después de un momento de inestabilidad volvemos a tener una onda estable. Es lo que se llama el **primer armónico**. Ahora hay dos vientres. Si forzamos aún más la frecuencia podemos obtener el **segundo armónico** con una frecuencia triple de la fundamental... el **tercero**... y así sucesivamente.

Todas estas vibraciones, la fundamental y sus armónicos, se producen simultáneamente en los instrumentos musicales. La diferencia entre unos y otros estriba en cómo resuena cada una de esas frecuencias en el instrumento. La **resonancia** es clave para la sonoridad de los instrumentos musicales. Un objeto que vibre, incluso un **diapasón** creado expresamente para vibrar produce una intensidad sonora tan pequeña que apenas es audible. En cambio, si lo adosamos a una caja, toda ella vibra y el sonido se amplifica enormemente de forma natural. Pues bien, el tamaño y la forma de la caja de cada instrumento hacen que los armónicos resuenen con mayor o menor intensidad y las distintas combinaciones de las intensidades de estos armónicos, que el oído humano es perfectamente capaz de percibir, son las que definen el **timbre** característico de cada instrumento.



Primer armónico en el muelle.



Cuarto armónico en el muelle.

El físico que logró demostrar que el timbre se debe a la superposición de los armónicos fue Helmholtz, a finales del siglo XIX, utilizando unas cavidades metálicas preparadas para resonar con distintas frecuencias sonoras. Las conectó a unas llamas de gas que vibraban visiblemente cuando el sonido que estudiaba contenía esas frecuencias y así vio que cada instrumento musical producía diferentes armónicos con distintas intensidades.

Hoy día usamos el osciloscopio para analizar los sonidos con toda facilidad.

En el osciloscopio no vamos a poder ver la onda de cada armónico por separado porque sólo registra el conjunto, la suma, de las varias ondas superpuestas pero sí notaremos cómo la forma global de la onda es diferente. Un diapasón produce un sonido puro, sin armónicos y la onda es completamente regular, la gráfica que corresponde a la función seno o coseno. En cambio, la de un piano o un clarinete tienen formas distintas, mucho más complicadas.

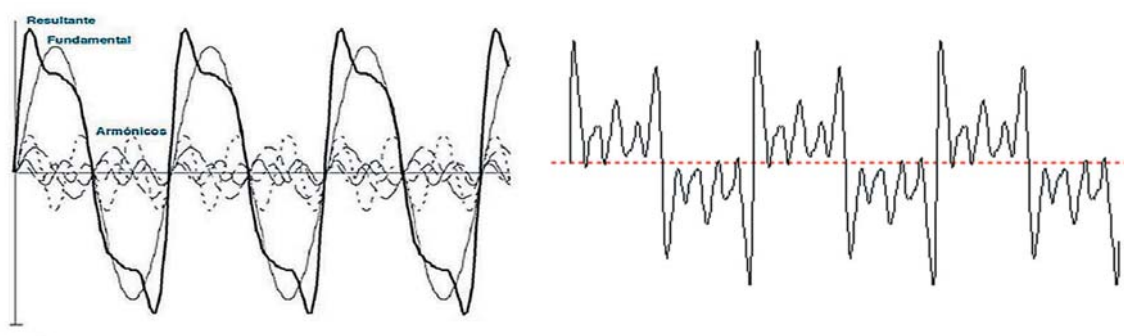


Hermann von Helmholtz



Analizador de Koenig

Lo que sí podemos hacer con el osciloscopio es ver las frecuencias y las intensidades de los diferentes armónicos porque puede mostrarnos el espectro (la intensidad de cada armónico por separado) de cada sonido. Es otra de las funciones del programa de ordenador en la que hace un análisis de la onda sonora y lo muestra en pantalla. En general, un sonido puro, sin armónicos, como el del diapasón no parece muy musical. A muchos oídos les rechina e incluso puede resultar desagradable. Por el contrario, un sonido con demasiados armónicos es lo que llamamos ruido.



Fundamental, armónicos y resultante de un Do4 de piano.

Resultante de un Do4 de clarinete

Es muy interesante y divertido jugar a ver en el osciloscopio nuestra propia voz, las cinco vocales, las consonantes, y comparar la misma vocal dada en el mismo tono por distintas personas, viendo tanto la forma de las ondas de cada uno como sus espectros.



La lámina vibrante de Chadni.

¿Y cómo vibran los instrumentos que tienen láminas o membranas con dos dimensiones como los tambores, los platillos o el gong? Lo mejor, como siempre, es hacer el experimento. Tomamos una lámina metálica delgada sujeta firmemente por el centro y la espolvoreamos de partículas muy finas de arena o de sal. Es la lámina vibrante de **Chadni**. Sujetamos la lámina con el dedo por un punto y la hacemos vibrar con un arco de violín, hasta que suene, lo que no es demasiado fácil la primera vez. Entonces se ve que no todos los puntos de la placa vibran. Los granos saltan en los lugares que más vibran, que son los vientres, y se acumulan

en aquellos que no lo hacen, que son los nodos. Se ha producido también una onda estacionaria pero ahora en dos dimensiones, formando unas figuras con una simetría sorprendente.

Esto es, muy brevemente, la Física del sonido pero la música se creó mucho antes. La Física no ha hecho más que interpretar el fenómeno. Son los músicos quienes la hacen. Demos, pues, las gracias a los compositores que la crean, a los intérpretes que la ejecutan y a los luthiers que a lo largo de los siglos han ido construyendo y perfeccionando los instrumentos con tanto cariño. A todos ellos, muchas gracias.