

FONÉTICA ACÚSTICA

Pablo Cobo Martínez

Las ondas sonoras: fenómenos ondulatorios

Como ya hemos enunciado, para una comprensión global de los sonidos del habla, tenemos que comenzar por entender qué es el sonido. El sonido, en general, constituye uno de tantos fenómenos ondulatorios (ondas) que se producen en nuestro entorno, como lo son también las olas del mar, la luz, la radiación calorífica, un trigal mecido por el viento y aquellos otros que nos permiten recibir las transmisiones de radio o televisión. Todos ellos permiten transmitir energía y poseen características comunes. Pero, centrándonos en el sonido, hay que indicar que éste es uno de estos procesos ondulatorios que tiene lugar en un medio elástico, es decir que necesita un soporte material para transmitir esa energía. Este tipo de procesos se denominan ondas mecánicas. En oposición a estos, existen otros fenómenos ondulatorios que pueden transmitirse en el vacío, como es el caso de la luz, y que se les conoce como ondas electromagnéticas. Así, y como explicaremos más adelante, los sonidos también pueden producirse en medios diferentes al aire; como en el agua, por la vía de un tren o a través de un muro de hormigón, siempre y cuando exista un sustento material elástico, aunque nuestra realidad como seres terrestres haga centrar nuestra atención en el comportamiento de los gases, el aire, que son el soporte principal de nuestros mensajes. Si estudiáramos la comunicación sonora de los delfines o ballenas tendríamos que referirnos al medio acuático.

Cuerpos elásticos

En cualquier caso, todos los medios que permitan la transmisión del sonido deberán poseer la propiedad de comportarse de manera elástica, como los sólidos, en mayor o menor medida y el aire o el agua, pues en caso contrario no permitirían ese movimiento ondulatorio. En este sentido, la elasticidad es una propiedad conocida por todos como la capacidad de los cuerpos a retornar a su posición o forma inicial tras la aplicación de una fuerza deformadora o perturbación. Los cuerpos elásticos actuarían como un muelle o una pelota de goma al dejarla caer. Y es que si un cuerpo actúa de manera elástica es porque todas las partículas que lo forman lo hacen del mismo modo. Si recordamos, cualquier cuerpo o masa está formado por grandes cantidades de pequeñas partículas conocidas como moléculas, que gracias a diferentes fuerzas electroestáticas mantienen un cierto distanciamiento, menor o mayor según el estado físico en el que se encuentren, sólido, líquido o gaseoso. En este sentido, los materiales sólidos presentan menos espacio entre sus moléculas que los gases. Así, el aire que nos rodea no es más que una gran masa de moléculas de diferentes gases (nitrógeno y oxígeno principalmente) y, aunque diferentes, todas ellas responden a las perturbaciones como si fueran iguales. Es decir, los cuerpos se comportan como un sistema de partículas, cada una de ellas indeformables, pero Choque elástico e inelástico

Consideremos inicialmente la interacción más sencilla, el choque, consistente en un contacto físico entre dos masas o partículas. Supongamos que una de ellas, A, se encuentra en reposo y la otra, B, lleva asociado un movimiento. Si ese choque provoca la transmisión y propagación de la energía haciendo que la masa A comience a desplazarse tal y como lo hacía B, quedando esta última en reposo, decimos entonces que se ha producido un choque perfectamente elástico. Este

podría ser el caso del choque de dos bolas de billar. Pero también puede darse la situación de que tras ese choque quedaran las dos masas pegadas, de modo que la energía es absorbida parcialmente y su movimiento no se transmite completamente. En este caso podríamos imaginar lo que ocurriría si usáramos dos bolas de plastilina o de masa para hacer pan, que tras su choque invierten parte de la energía del movimiento en la deformación de ellas, pero no se transmite como plena capacidad de movimiento. Se habría que pueden interaccionar unas con otras y transmitir o absorber la energía que se les confiera de forma elástica o inelástica. producido un choque perfectamente inelástico. Entre estos dos casos extremos de choques se sobreentiende que existirá toda una gradación continua de choques con cualidades parciales de elasticidad o inelasticidad, en los que la transmisión de la perturbación no es extrema.

Transmisión de la energía

Pues bien, podemos decir que los cuerpos elásticos tienen la notable característica que les permite que la energía que se les comunica cuando se les perturba se transmite a lo largo de toda su masa a través de una sucesión de choques o interacciones entre sus partículas¹³. Por tanto, entendiendo así la elasticidad, podemos calificar de cuerpos elásticos tanto al aire y al agua como al hormigón o al acero, pues todos son susceptibles, en mayor o menor medida, de alterar la presión entre sus partículas constituyentes sin que la perturbación provoque deformaciones permanentes en ellos. Este también sería el caso de la membrana timpánica o de los ligamentos que sustentan los huesecillos del oído medio. Movimiento de una partícula

Si, como ya dijimos, el sonido es un tipo de onda mecánica de la que ya hemos visto en qué condiciones y medios puede producirse, expondremos a continuación, brevemente, algunas características de los movimientos ondulatorios. El proceso ondulatorio ocurre iniciándose en el movimiento de una primera partícula, tras su perturbación inicial, que se transmite mediante una cadena de choques elásticos al resto de partículas de ese medio elástico. Centrándonos en el movimiento que realiza esa primera partícula y que, por tanto, será el que adquiera el resto, comprobamos que éste se parece al de un péndulo o columpio con su vaivén y que se le conoce como “movimiento armónico simple”. Se denomina movimiento en tanto que implica una trayectoria y armónico pues se repite en lapsos regulares de tiempo. Tengamos como referente el movimiento del péndulo. En él podemos observar cómo adquiere mayor velocidad en el punto más céntrico de su movimiento, disminuyendo hasta detenerse en los extremos del mismo. Podríamos representar su oscilación si dispusiéramos de una plumilla (véase la ilustración 5) que dibujara sobre un papel en movimiento lineal continuo, de modo que obtendríamos una representación serpenteante denominada curva sinusoidal por su correspondencia al gráfico de la función seno. Esta representación no es, en sí, el movimiento de la partícula, pues la partícula no realiza movimientos serpenteantes sino de vaivén. Por consiguiente es una expresión que nos permite visualizar mejor la fase en que se encuentra en función del tiempo, si avanza en un sentido u otro y cuál es su velocidad.

Tipos de propagación de la onda

Una vez entendido el movimiento armónico que realizan las partículas, que atiende a la vibración que realiza, tendremos que centrarnos en el modo en que se produce su propagación, que

constituye realmente la onda. Entendamos que una vibración no es lo mismo que una onda, pues la producción de una vibración, consistente en la oscilación de una partícula, no es condición sine qua non para que se genere una onda. Sólo en el caso de que esa vibración se transmita a aquellas adyacentes, detectaremos la aparición de la misma, luego es importante destacar que se trata de conceptos distintos. Existen dos modos de propagar esos movimientos según el medio y la situación que consideremos, y, en definitiva, dos tipos de ondas: Ondas longitudinales: son aquellas en las que la propagación de la perturbación, es decir, de la onda, se realiza en la misma dirección que el movimiento armónico de las partículas, su vibración. El ejemplo más clarificador sería el que se observa cuando golpeamos el extremo de un muelle. En él encontramos que el movimiento de vaivén de cada parte del muelle lo realiza en la misma dirección en que se propaga la onda que se genera, pudiendo distinguirse zonas en las que el muelle se espesa a modo de grumos (aumento de la presión), denominados puntos de compresión o nodos, y otras en donde se estira (descenso de la presión), conocidos como puntos de rarefacción o antinodos, que se desplazan a lo largo del mismo. Estaríamos visualizando un fenómeno ondulatorio que, como podría observarse en la ilustración 6, no se corresponde con la curva sinusoidal antes representada, aunque cada partícula aislada del muelle, en su vibración, sí la representaría. Así puede entenderse mejor la diferencia conceptual existente entre onda y vibración. Se trataría de ondas conocidas como “de presión” y que son el caso de las ondas sonoras o sonido que se transmiten en el aire o en el seno de la masa de agua, no en su superficie. • Ondas transversales: Serían aquellas en las que la dirección del movimiento de cada partícula al vibrar y la dirección de la onda son perpendiculares. Se puede observar cuando agitamos transversalmente una cuerda estirada o si perturbamos la superficie de una masa de agua al tirar una piedra sobre la misma. Podemos observar en ella que existen zonas más altas a las que denominaremos crestas y más bajas o valles. La forma de la onda, que puede también observarse en la ilustración 6, en este caso

es similar al gráfico sinusoidal del movimiento de cada partícula y puede llevar a confusión, pues, como ya hemos mencionado, el movimiento vibratorio de las partículas en las ondas longitudinales también generan el mismo gráfico. Este tipo de ondas se produce también en los cuerpos sólidos, por ejemplo en una viga de hierro.

En cualquiera de los casos, hay que destacar que los dos son tipos de ondas, pero ondas en definitiva pues consisten en la propagación de una perturbación a través de un cuerpo elástico y será, por tanto, aquel proceso en el que se produce transferencia de energía sin transporte de materia. En este sentido la energía asociada al movimiento que produce la perturbación inicial se extiende por toda la masa del cuerpo elástico sin que ello implique que la materia se traslade, pues cuando hablamos, el aire que sale de nuestra boca no llega al oído del que nos escucha pero sí la vibración de nuestra voz, o cuando tiramos una piedra al estanque el agua no se desplaza, pero el movimiento superficial inicial sí. También debe repararse en que la perturbación se transmite por toda la masa del medio, generando los denominados frentes de onda, fácilmente visualizables en la imagen de círculos concéntricos que genera la onda de la superficie de un estanque (véase ilustración 7). Igual ocurre con el sonido en el aire que, aunque en este caso no podamos visualizarlo, generaría la misma imagen, con las diferencias de que al tratarse de ondas longitudinales comprendería frentes nodales y antinodales antes mencionados y no crestas o valles, y, además, lo haría en las tres direcciones del espacio, generando entonces superficies esféricas en lugar de círculos. Velocidad de transmisión de las ondas

También es importante aclarar que la velocidad de la onda no depende de la intensidad de la perturbación que la produzca, sino que es una característica inherente a las propiedades y condiciones del medio elástico al que nos estemos refiriendo. Así, por muy fuerte que

golpeáramos el muelle o agitéramos la cuerda, la onda resultante tendrá una velocidad constante propia. Puede probarse a comparar el tiempo que tarda en llegar a la orilla la onda del estanque al tirar piedras de diferente peso. Pero también hemos de aclarar que son las características materiales y las condiciones del medio, como de densidad y temperatura que en definitiva determinan el distanciamiento de sus partículas, pueden modificar en mayor o menor medida los valores de velocidad de transmisión de la onda. En este mismo sentido, a mayor temperatura o menor densidad del aire se dificulta la transmisión de la onda, luego la velocidad descendería y lo mismo ocurriría a la inversa. Por eso la velocidad del sonido en el aire es de 340m/s a 15°C, multiplicándose este valor en el agua (mayor densidad) por 4, es decir unos 1.360m/s, en el aluminio será de 5.100m/s y en el acero de unos 6.000m/s. Luego, para concluir, podemos decir que por mucho que gritáramos a alguien, nuestra voz tardaría el mismo tiempo en llegar al receptor.

Características de las ondas simples

Una vez comprendido el concepto de onda, podemos avanzar en su conocimiento y aplicar sus fundamentos hasta entender mejor el mundo de los sonidos. Para ello debemos conocer algunas características que poseen y nos ayudan a diferenciarlos. Al igual que la vista nos permite distinguir, formas, colores y sombras, el mundo de los sonidos nos envuelve y en él podemos caracterizar, aunque no se vean, detalles que los diferencian claramente. Esos matices que percibimos responden a variables que podemos medir físicamente, atribuibles a los diferentes movimientos vibratorios que realizan sus partículas. Nuestro organismo está preparado para medir y, por tanto, discriminar esos rasgos físicos como distinciones perceptivas, de ahí que nos resulte tan importante estudiar las ondas como fenómenos físicos para comprender cómo nuestro

organismo hace la interpretación acústica de los sonidos. Sin embargo, como veremos más adelante, hay que tener siempre presente que no siempre percibimos todo sonido que nos llega al tímpano, pues en la percepción interviene el cerebro y éste es capaz de seleccionarlos y ocultarlos. Así, el fenómeno de enmascaramiento sonoro pone de manifiesto la intervención cerebral que permite que no seamos conscientes de algunos sonidos de nuestro entorno, aunque nuestros oídos sí los reciban. Sucede, por ejemplo, cuando leemos, estudiamos o dormimos en las proximidades de un río o del mar. Lo habitual es que nuestro mundo sonoro presente fundamentalmente una infinidad de ondas denominadas complejas, que trataremos en el siguiente apartado, pero para llegar a comprender mejor el análisis de sus parámetros físicos los estudiaremos inicialmente sobre las ondas simples que, por el contrario, tan solo se obtienen en nuestro entorno en situaciones muy concretas, como cuando hacemos vibrar un diapasón muy afinado o mediante la utilización de un sintetizador

Frecuencia y periodo

Lo que produce la sensación de tono en nuestro cerebro está relacionado con los parámetros físicos de la onda denominados período y frecuencia. En una onda simple, los movimientos recurrentes que realiza cada partícula, ciclos, tienen lugar de manera que podremos medir el tiempo que le ocupa para completar cada uno de ellos, y a ese tiempo se le denomina período. Viendo la ilustración 8, podríamos medir el período de la trayectoria ABCD, que equivale al de BCDA, CDAB y DABC, siendo B y D diferentes pues sus movimientos tienen sentidos opuestos, es decir, se encuentran en distinta fase. También podríamos medirlo tomando como punto de

partida cualquier posición intermedia, teniendo en cuenta que el punto final deberá corresponderse con