

INTRODUCCIÓN

Una onda es una perturbación que avanza o que se propaga en un medio material o incluso en el vacío.

A pesar de la naturaleza diversa de las perturbaciones que pueden originarlas, todas las ondas tienen un comportamiento semejante. El sonido es un tipo de onda que se propaga únicamente en presencia de un medio que haga de soporte de la perturbación. Los conceptos generales sobre ondas sirven para describir el sonido, pero, inversamente, los fenómenos sonoros permiten comprender mejor algunas de las características del comportamiento ondulatorio.

Los jugadores de dominó, como distracción complementaria, colocan las fichas del juego en posición vertical, una al lado de otra, a una distancia inferior a la longitud de las fichas formando una hilera. Cuando se le da un impulso a la ficha situada en uno de los extremos se inicia una acción en cadena; cada ficha transmite a su vecina el impulso recibido, el cual se propaga desde un extremo a otro a lo largo de toda la hilera. En términos físicos podría decirse que una onda se ha propagado a través de las fichas de dominó. La idea de onda corresponde en la física a la de una perturbación local de cualquier naturaleza que avanza o se propaga a través de un medio material o incluso en el vacío.

Algunas clases de ondas precisan para propagarse de la existencia de un medio material que, al igual que las fichas de dominó, haga el papel de soporte de la perturbación; se denominan genéricamente ondas mecánicas.

El sonido, las ondas que se forman en la superficie del agua, las ondas en muelles o en cuerdas, son algunos ejemplos de ondas mecánicas y corresponden a compresiones, deformaciones y, en general, a perturbaciones

del medio que se propagan a través suyo. Sin embargo, existen ondas que pueden propagarse aun en ausencia de medio material, es decir, en el vacío. Son las ondas electromagnéticas o campos electromagnéticos viajeros; a esta segunda categoría pertenecen las ondas luminosas.

Independientemente de esta diferenciación, existen ciertas características que son comunes a todas las ondas, cualquiera que sea su naturaleza, y que en conjunto definen el llamado comportamiento ondulatorio, esto es, una serie de fenómenos típicos que diferencian dicho comportamiento del comportamiento propio de los corpúsculos o partículas.

MOVIMIENTO ONDULATORIO

Un cuerpo experimenta un movimiento vibratorio u ondulatorio cuando se desplaza varias veces a uno y otro lado de la posición fija que tenía inicialmente.

Galileo Galilei (1564–1642) estudio con detenimiento este fenómeno. Para ello se ayudo de un péndulo, aparato que consta de un hilo y de una esfera u otro cuerpo que esta suspendido de el y oscila libremente. Con sus experimentos Galileo descubrió los principios básicos del MAS.

El movimiento que describe el cuerpo recorre la misma trayectoria cada determinado tiempo. Cuando un cuerpo con este movimiento se desplaza, origina un movimiento ondulatorio.

La materia y la energía están íntimamente relacionadas. La primera está representada por partículas y la segunda por "ondas", aunque hoy en día esa separación no está tan clara. En el mundo subatómico "algo" puede comportarse como partícula u onda según la experiencia que se esté haciendo. Por ejemplo, la electricidad está constituida por electrones y estos presentan este doble comportamiento.

El tipo de movimiento característico de las ondas se denomina movimiento ondulatorio. Su propiedad esencial es que no implica un transporte de materia de un punto a otro. Así, no hay una ficha de dominó o un conjunto de ellas que avancen desplazándose desde el punto inicial al final; por el contrario, su movimiento individual no alcanza más de un par de centímetros. Lo mismo sucede en la onda que se genera en la superficie de un lago o en la que se produce en una cuerda al hacer vibrar uno de sus extremos. En todos los casos las partículas constituyentes del medio se desplazan relativamente poco respecto de su posición de equilibrio. Lo que avanza y progresa no son ellas, sino la perturbación que transmiten unas a otras. El movimiento ondulatorio supone únicamente un transporte de energía y de cantidad de movimiento.

Proceso por el que se propaga energía de un lugar a otro sin transferencia de materia, mediante ondas mecánicas o electromagnéticas. En cualquier punto de la trayectoria de propagación se produce un desplazamiento periódico, u oscilación, alrededor de una posición de equilibrio. Puede ser una oscilación de moléculas de aire, como en el caso del sonido que viaja por la atmósfera, de moléculas de agua (como en las olas que se forman en la superficie del mar) o de porciones de una cuerda o un resorte. En todos estos casos, las partículas oscilan en torno a su posición de equilibrio y sólo la energía avanza de forma continua. Estas ondas se denominan mecánicas porque la energía se transmite a través de un medio material, sin ningún movimiento global del propio medio. Las únicas ondas que no requieren un medio material para su propagación son las ondas electromagnéticas; en ese caso las oscilaciones corresponden a variaciones en la intensidad de campos magnéticos y eléctricos.

BOSQUEJO HISTÓRICO

EL ATOMISMO

Sobre la historia del atomismo y el movimiento ondulatorio se inicia con la filosofía de la naturaleza, empieza con *Demócrito*, cuatrocientos años antes de cristo, en la antigua Grecia él y sus discípulos profesaban la doctrina del atomismo, según la cual las partes más elementales de la materia son diminutas, incomprensibles e indivisibles; siendo indivisibles les llamo átomos. Contrasta esta concepción atomista con las ideas de *Platón* y *Empedocles*, enfatizando en sus cuatro elementos elementales: agua, aire, fuego y tierra y el ultimo elemento según parece era dios.

Durante los siguientes años el tema atomismo estuvo encerrado y nadie le interesaba tocar el tema, y básicamente se estudiaba el movimiento microscópico y la astronomía, hasta que los químicos *Joseph Proust* y *John Dalton* lo volvieron a retomar.

En el renacimiento europeo surge la ciencia moderna y *galileo* y su método experimental, posteriormente el gran *Newton* hace cuatro contribuciones, formula las leyes del movimiento de los cuerpos, la ley de gravitación universal, postula que la luz está formada por corpúsculos. En contraste con el físico *Maxwell* hace suya la idea propuesta por *Faraday* y que se opone a la de *Newton*; en todo espacio en que hay cargas e imanes, existen dos campos, el eléctrico y el magnético; al plantear esto se inicia el carácter electromagnético de la luz, dice, es difícil no inferir que la luz consista en oscilaciones transversales del mismo medio que es la causa de los fenómenos eléctricos y magnéticos; este medio es el éter. Al inicio del siglo XX *Max Planck* planteo que la energía electromagnética estaba constituida por paquetes de energía los cuales los llamo cuanto.

Aun no se sabia con exactitud que característica presentaba la luz, si se comportaba como corpúsculos de materia o como cuantos de energía, a lo cual se llevo a concluir que se presenta como una dualidad, tanto corpúsculos y cuantos.

Hace ya 300 años *newton* sugirió que la luz estaba compuesta por pequeños corpúsculos (hipótesis corpuscular), mientras *Christiaan Huygens* proponía que la luz estaba formada por ondas (hipótesis ondulatoria). El tiempo les dio la razón a los dos, hoy sabemos que la luz se comporta en ciertas ocasiones como si estuviera hecha de partículas, en otras como si la formaran ondas; a esto se le llama el principio de la

dualidad onda-partícula, y se aplica a toda la materia, no solo a la luz.

EL MODELO CORPUSCULAR DE NEWTON

Isaac Newton (1642-1727) se interesó vivamente en los fenómenos asociados a la luz y los colores. A mediados del siglo XVII, propuso una teoría o modelo acerca de lo que es la luz, cuya aceptación se extendería durante un largo periodo de tiempo. Afirmaba que el comportamiento de la luz en la reflexión y en la refracción podría explicarse con sencillez suponiendo que aquella consistía en una corriente de partículas que emergen, no del ojo, sino de la fuente luminosa y se dirigen al objeto a gran velocidad describiendo trayectorias rectilíneas. Empleando sus propias palabras, la luz podría considerarse como «multitudes de inimaginables pequeños y velocísimos corpúsculos de varios tamaños»

Al igual que cualquier modelo científico, el propuesto por *Newton* debería resistir la prueba de los hechos experimentales entonces conocidos, de modo que éstos pudieran ser interpretados de acuerdo con el modelo.

Así, explicó la reflexión luminosa asimilándola a los fenómenos de rebote que se producen cuando partículas elásticas chocan contra una pared rígida. En efecto, las leyes de la reflexión luminosa resultaban ser las mismas que las de este tipo de colisiones.

Con el auxilio de algunas suposiciones un tanto artificiales, consiguió explicar también los fenómenos de la refracción, afirmando que cerca de la superficie de separación de dos medios transparentes distintos, los corpúsculos luminosos sufren unas fuerzas atractivas de corto alcance que provocan un cambio en la dirección de su propagación y en su velocidad. Aunque con mayores dificultades que las habidas para explicar la reflexión, logró deducir las leyes de la refracción utilizando el modelo corpuscular.

EL MODELO ONDULATORIO DE HUYGENS

El físico holandés *Christian Huygens* (1629-1695) dedicó sus esfuerzos a elaborar una teoría ondulatoria acerca de la naturaleza de la luz que con el tiempo vendría a ser la gran rival de la teoría corpuscular de su contemporáneo *Newton*.

Era un hecho comúnmente aceptado en el mundo científico de entonces, la existencia del «éter cósmico» o medio sutil y elástico que llenaba el espacio vacío. En aquella época se conocían también un buen número de fenómenos característicos de las ondas.

En todos los casos, para que fuera posible su propagación debía existir un medio material que hiciera de soporte de las mismas. Así, el aire era el soporte de las ondas sonoras y el agua el de las ondas producidas en la superficie de un lago.

Huygens supuso que todo objeto luminoso produce perturbaciones en el éter, al igual que un silbato en el aire o una piedra en el agua, las cuales dan lugar a ondulaciones regulares que se propagan a su través en todas las direcciones del espacio en forma de ondas esféricas. Además, según *Huygens*, cuando un punto del éter es afectado por una onda se convierte, al vibrar, en nueva fuente de ondas.

Estas ideas básicas que definen su modelo ondulatorio para la luz le permitieron explicar tanto la propagación rectilínea como los fenómenos de la reflexión y la refracción, que eran, por otra parte, comunes a los diferentes tipos de ondas entonces conocidas. A pesar de la mayor sencillez y el carácter menos artificioso de sus suposiciones, el modelo de *Huygens* fue ampliamente rechazado por los científicos de su época.

La enorme influencia y prestigio científico adquirido por *Newton* se aliaron con la falta de un lenguaje matemático adecuado, en contra de la teoría de *Huygens* para la luz.

El físico inglés *Thomas Young* (1772"1829) publicó en 1881 un trabajo titulado «Esbozos de experimentos e investigaciones respecto de la luz y el sonido». Utilizando como analogía las ondas en la superficie del agua, descubrió el fenómeno de interferencias luminosas, según el cual cuando dos ondas procedentes de una misma fuente se superponen en una pantalla, aparecen sobre ella zonas de máxima luz y zonas de oscuridad en forma alternada.

El hecho de que, en diferentes zonas, luz más luz pudiese dar oscuridad, fue explicado por Young sobre la base de la teoría ondulatoria, suponiendo que en ellas la cresta de una onda coincidía con el valle de la otra, por lo que se producía una mutua destrucción.

Aunque las ideas de *Young* tampoco fueron aceptadas de inmediato, el respaldo matemático efectuado por *Agustín Fresnel* (1788"1827) catorce años después, consiguió poner fuera de toda duda la validez de las ideas de *Young* sobre tales fenómenos, ideas que se apoyaban en el modelo ondulatorio propuesto por *Huygens*.

El modelo corpuscular era incapaz de explicar las interferencias luminosas. Tampoco podía explicar los fenómenos de difracción en los cuales la luz parece ser capaz de bordear los obstáculos o doblar las esquinas como lo demuestra la existencia de una zona intermedia de penumbra entre las zonas extremas de luz y sombra. Las ideas de *Huygens* prevalecían, al fin, sobre las de *Newton* tras una pugna que había durado cerca de dos siglos.

LA LUZ COMO ONDA ELECTROMAGNÉTICA

El físico escocés *James Clark Maxwell* en 1865 situó en la cúspide las primitivas ideas de *Huygens*, aclarando en qué consistían las ondas luminosas. Al desarrollar su teoría electromagnética demostró matemáticamente la existencia de campos electromagnéticos que, a modo de ondas, podían propagarse tanto por el espacio vacío como por el interior de algunas sustancias materiales.

Maxwell identificó las ondas luminosas con sus teóricas ondas electromagnéticas, prediciendo que éstas deberían comportarse de forma semejante a como lo hacían aquéllas. La comprobación experimental de tales

predicciones vino en 1888 de la mano del físico alemán *Henrich Hertz*, al lograr situar en el espacio campos electromagnéticos viajeros, que fueron los predecesores inmediatos de las actuales ondas de radio. De esta manera se abría la era de las telecomunicaciones y se hacía buena la teoría de *Maxwell* de los campos electromagnéticos.

La diferencia entre las ondas de radio (no visibles) y las luminosas tan sólo radicaban en su longitud de onda, desplazándose ambas a la velocidad de la luz, es decir, a 300 000 km/s. Posteriormente una gran variedad de ondas electromagnéticas de diferentes longitudes de onda fueron descubiertas, producidas y manejadas, con lo que la naturaleza ondulatoria de la luz quedaba perfectamente encuadrada en un marco más general y parecía definitiva. Sin embargo, algunos hechos experimentales nuevos mostrarían, más adelante, la insuficiencia del modelo ondulatorio para describir plenamente el comportamiento de la luz.

LOS FOTONES DE EINSTEIN

Max Planck (1858"1947), al estudiar los fenómenos de emisión y absorción de radiación electromagnética por parte de la materia, forzado por los resultados de los experimentos, admitió que los intercambios de energía que se producen entre materia y radiación no se llevaban a cabo de forma continua, sino discreta, es decir, como a saltos o paquetes de energía, lo que *Planck* denominó *cuantos de energía*.

Esta era una idea radicalmente nueva que *Planck* intentó conciliar con las ideas imperantes, admitiendo que, si bien los procesos de emisión de luz por las fuentes o los de absorción por los objetos se verificaba de forma discontinua, la radiación en sí era una onda continua que se propagaba como tal por el espacio.

Así las cosas, *Albert Einstein* (1879-1955) detuvo su atención sobre un fenómeno entonces conocido como efecto fotoeléctrico. Dicho efecto consiste en que algunos metales como el cesio, por ejemplo, emiten electrones cuando son iluminados por un haz de luz.

El análisis de Einstein reveló que ese fenómeno no podía ser explicado desde el modelo ondulatorio, y tomando como base la idea de discontinuidad planteada con anterioridad por *Planck*, fue más allá afirmando que no sólo la emisión y la absorción de la radiación se verifican de forma discontinua, sino que la propia radiación es discontinua.

Estas ideas supusieron, de hecho, la reformulación de un modelo corpuscular. Según el modelo de *Einstein* la luz estaría formada por una sucesión de cuantos elementales que a modo de paquetes de energía chocarían contra la superficie del metal, arrancando de sus átomos los electrones más externos. Estos nuevos corpúsculos energéticos recibieron el nombre de *fotones* (fotos en griego significa luz).

LA LUZ ¿ONDA O CORPÚSCULO?

La interpretación efectuada por *Einstein* del efecto fotoeléctrico fue indiscutible, pero también lo era la teoría de *Maxwell* de las ondas electromagnéticas.

Ambas habían sido el producto final de la evolución de dos modelos científicos para la luz, en un intento de ajustarlos con más fidelidad a los resultados de los experimentos. Ambos explican la realidad, a pesar de lo cual parecen incompatibles.

Sin embargo, cuando se analiza la situación resultante prescindiendo de la idea de que un modelo deba prevalecer necesariamente sobre el otro, se advierte que de los múltiples fenómenos en los que la luz se manifiesta, unos, como las interferencias o la difracción, pueden ser descritos únicamente admitiendo el carácter ondulatorio de la luz, en tanto que otros, como el efecto fotoeléctrico, se acoplan sólo a una imagen corpuscular. No obstante, entre ambos se obtiene una idea más completa de la naturaleza de la luz. Se dice por ello que son complementarios.

Las controversias y los antagonismos entre las ideas de *Newton* y *Huygens* han dejado paso, al cabo de los siglos, a la síntesis de la física actual. La luz es, por tanto, onda, pero también corpúsculo, manifestándose de uno u otro modo en función de la naturaleza del experimento o del fenómeno mediante el cual se la pretende caracterizar o describir.

Tal como antes había mencionado, *Newton* pensaba que la luz era un sin fin en número de pequeñísimas partículas llamadas corpúsculos estas, como diminutas pelotitas un tanto elásticas se movían desde el sol hasta la tierra, negando así la existencia del éter elástico que llena el vacío, al comparar como se rebotaba un objeto al chocar con una superficie plana y comparar esto con la reflexión de luz, descubrió que tenían un comportamiento idéntico este hecho fue lo que llevó a *Newton* a deducir la ley de la reflexión de la luz, *Huygens*: La teoría corpuscular de la luz Este científico contemporáneo de *Newton* apoyaba la existencia del éter elástico que llenaba el vacío, para la transmisión de la luz como onda, este científico decía que la luz (entiéndase onda) causaba perturbaciones en puntos equidistantes de el éter, a su vez estos puntos se convertían, con las vibraciones recibidas, en fuentes transmisoras de mas vibraciones, este modelo podía explicar por que la luz se difractaba, en un mismo medio, (ver índice de refracción) además en dos medios diferentes con una simplicidad un poco mayor que la teoría de *Newton* para este mismo fenómeno (refracción) Diga cuales eran los tres fenómenos que podían ser explicados por cualquiera de las dos teorías sobre la naturaleza de la luz.

ONDA

Las ondas: imaginemos un estanque de agua quieta al que tiramos una piedra, pronto, pero no

instantáneamente, se formarán olas. Esas "olas" en realidad son ondas que se propagan desde el centro donde la piedra, al caer, es la "fuente" de perturbaciones circulares. Si llevamos este ejemplo a un parlante, este igual que la piedra, perturba el medio propagándose y alejándose de su fuente. Así como las ondas necesitaban al agua para poder difundirse, el sonido necesita del aire para lograr lo mismo.

Al arrojar una roca aun recipiente con agua (H_2O) observamos la propagación de la onda de un lado a otro, por medio del agua, en ella se nota el movimiento ondulatorio.

La onda consta de dos movimientos: uno es la vibración de las partículas y otro es la propagación de la onda en sí. Si el movimiento de cada partícula es "de arriba hacia abajo y viceversa" la onda se llama **transversal**.. Si la partícula se mueve en la misma dirección de propagación moviéndose atrás y adelante, la onda recibe el nombre de **longitudinal**.

El sonido es una onda longitudinal mientras que la luz y cualquier onda electromagnética es transversales. Si hacemos ondas con una soga nos dará ondas transversales mientras que un resorte puede transportar ambos tipos de ondas.

Una onda es una perturbación periódica que se propaga en un medio o en el espacio transportando energía. La propagación de una onda involucra el desplazamiento elástico de partículas materiales o cambios periódicos en alguna cantidad física como la presión, la temperatura o los cambios electromagnéticos. Para descubrir una onda se considera: el valle, la cresta, el nodo, frecuencia, longitud de onda, la amplitud y la velocidad de propagación.

Lo que afirma la ley de la conservación de la energía; La energía ni se crea ni se destruye simplemente se transforma, la energía puede ser propagada a través del espacio y de la materia por medio de vibraciones, por ejemplo el sonido, la luz, las ondas de radio, esto se comprende estudiando como se forman, como se comportan y como se propagan.

En física una onda es una oscilación que se propaga por el espacio a partir de un medio, transportando energía pero no materia. Una onda es causada por algo que oscila, es decir, que se mueve repetidamente de un lado a otro en torno a una posición central o de equilibrio.

Las ondas son una perturbación periódica del medio en que se mueven. En las ondas longitudinales, el medio se desplaza en la dirección de propagación. Por ejemplo, el aire se comprime y expande (figura 1) en la misma dirección en que avanza el sonido. En las ondas transversales, el medio se desplaza en ángulo recto a la dirección de propagación. Por ejemplo, las ondas en un estanque avanzan horizontalmente, pero el agua se desplaza verticalmente.

Los terremotos generan ondas de los dos tipos, que avanzan a distintas velocidades y con distintas trayectorias. Estas diferencias permiten determinar el epicentro del sismo. Las partículas atómicas y la luz pueden describirse mediante ondas de probabilidad, que en ciertos aspectos se comportan como las ondas de un estanque.

LA PROPAGACIÓN DE LAS ONDAS

El mecanismo mediante el cual una onda mecánica monodimensional se propaga a través de un medio material puede ser descrito inicialmente considerando el caso de las ondas en un muelle. Cuando el muelle se comprime en un punto y a continuación se deja en libertad, las fuerzas recuperadoras tienden a restituir la porción contraída del muelle a la situación de equilibrio. Pero dado que las distintas partes del muelle están unidas entre sí por fuerzas elásticas, la dilatación de una parte llevará consigo la compresión de la siguiente y así sucesivamente hasta que aquélla alcanza el extremo final.

En las ondas en la superficie de un lago, las fuerzas entre las moléculas de agua mantienen la superficie libre como si fuera una película tensa. Tales fuerzas de unión entre las partículas componentes son las responsables de que una perturbación producida en un punto se propague al siguiente, repitiéndose el proceso una y otra vez de forma progresiva en todas las direcciones de la superficie del líquido, lo que se traduce en el movimiento de avance de ondas circulares.

Como puede deducirse del mecanismo de propagación descrito, las propiedades del medio influirán decisivamente en las características de las ondas. Así, la velocidad de una onda dependerá de la rapidez con la que cada partícula del medio sea capaz de transmitir la perturbación a su compañera. Los medios más rígidos dan lugar a velocidades mayores que los más flexibles. En un muelle de baja constante elástica k una onda se propagará más despacio que en otra que tenga una k mayor. Lo mismo sucede con los medios más densos respecto de los menos densos.

Ningún medio material es perfectamente elástico. Las partículas que lo forman en mayor o menor grado rozan entre sí, de modo que parte de la energía que se transmite de unas a otras se disipan en forma de calor. Esta pérdida de energía se traduce, al igual que en el caso de las vibraciones, en una atenuación o amortiguamiento. Sin embargo, el estudio de las ondas en las condiciones más sencillas prescinde de estos efectos indeseables del rozamiento.

CARACTERÍSTICAS DE LAS ONDAS

• LONGITUD DE ONDA

Es la distancia entre una cresta y otra o valles consecutivos.

Parámetro físico que indica el tamaño de una onda. Si se representa la onda como una serie de crestas regulares (una línea *ondulada*), la longitud de onda sería la distancia entre dos crestas consecutivas. Se representa con la letra griega λ (lambda)

En espectroscopía, la longitud de onda es el parámetro usado para definir el tipo de radiación electromagnética, y se mide usualmente en nanómetros. Una longitud de onda corta indica que la radiación es muy energética, y viceversa. Por ejemplo, la longitud de onda de la radiación ultravioleta de una lámpara de las usadas para comprobar billetes es de 254 nanómetros, mientras que la longitud de onda de la radiación infrarroja emitida por una bombilla es de unos 700 nanómetros.

Es la distancia entre dos puntos iguales correspondientes a dos ondas sucesivas. La longitud de onda está relacionada con la frecuencia V de la onda mediante la fórmula:

$$v = \lambda f$$

v = velocidad

λ = longitud de onda

f = frecuencia

Se expresa en unidades de longitud; metros, centímetros, kilómetros y las longitudes de onda de la luz son de orden de millonésimas de metro (micrometros)

• NODO

Es el punto donde la onda cruza la línea de equilibrio.

- **OSCILACIÓN**

Se lleva a cabo cuando un punto en vibración ha tomado todos los valores positivos y negativos.

Son los puntos medios que están entre las crestas y los valles en la línea central de los desplazamientos.

- **ELONGACIÓN**

Es la distancia en forma perpendicular de un punto de la onda a la línea o posición de equilibrio.

- **AMPLITUD**

Es la distancia entre el punto extremo que alcanza una partícula vibrante y su posición de equilibrio. La amplitud es la máxima elongación.

La amplitud de onda está directamente relacionada con la intensidad de la onda, la amplitud es el ancho de onda, es decir, la distancia que separa a dos crestas o dos valles sucesivos.

- **FRECUENCIA:**

Es el número de veces que se representa un fenómeno periódico en la unidad de tiempo, es decir, el número de ondas que pasan por segundo, la unidad en la que se mide la frecuencia se llama hertz (hz) en honor a Heinrich Hertz, quien demostró la existencia de las ondas de radio en 1886.

Y se calcula como ciclos entre segundos, es decir, el número de veces por segundo que ocurre algún fenómeno.

$$1 \text{ Hz} = 1/\text{s}$$

Una vibración por segundo corresponde a una frecuencia de 1 hertz; dos vibraciones por segundo equivalen a 2 hertz, y así sucesivamente. Las grandes frecuencias se miden en kilohertz (kHz) y las frecuencias aún más elevadas en megahertz (MHz). Las ondas de radio de amplitud modulada se transmiten en kilohertz, mientras que las ondas de frecuencia modulada se transmiten en megahertz.

Por ejemplo, una estación ubicada en la posición correspondiente a 960 kHz en la banda de AM emite ondas de radio cuya frecuencia es de 960 000 vibraciones por segundo. Una estación ubicada en la posición de 101 MHz de la banda de FM emite ondas de radio cuya frecuencia es de 101 000 000 hertz. La frecuencia con que vibra la fuente y la frecuencia de las ondas que produce son iguales.

- **PERIODO:**

Tiempo que tarda un cuerpo que tiene un movimiento periódico –el cual el cuerpo se mueve de un lado a otro, sobre una trayectoria fija– en efectuar un ciclo completo de su movimiento. Su unidad, oscilación, onda, ciclo, vibración, segundo.

RELACIÓN ENTRE FRECUENCIA Y PERIODO

Por ejemplo, un centro emisor produce una onda en $\frac{1}{2}$ segundo, o sea su periodo es de $T = \frac{1}{2}$ segundo y su frecuencia, F , será 2 ondas/segundo.

Lo que significa que F y T son recíprocas, por lo que podemos escribir:

Periodo = $1 / \text{frecuencia}$ Frecuencia = $1 / \text{periodo}$

$$T = 1 / F \quad F = 1 / T$$

F T

Una onda tiene un periodo de .25 s/ciclo

¿Cuánto vale la frecuencia?

Datos Formula Sustitución Resultado

$$T = .25 \text{ s/ciclo} \quad F = 1/T \quad F = 1 / .25 \text{ s/ciclos} \quad F = 4 \text{ ciclos/s}$$

• VELOCIDAD DE PROPAGACIÓN

Desplazamiento de una onda en una unidad de tiempo, es decir, habrá realizado una oscilación completa cuando la onda se haya desplazado una longitud de onda. Si el periodo (T) es el tiempo en que el punto considerado tarda en realizar una oscilación, podemos decir que la onda ha avanzado una distancia en un tiempo, es decir: $V = \lambda / T$, pero como el periodo T es igual a $1/f$, la expresión anterior también podemos expresarla de la siguiente manera:

$$V = \lambda f$$

Velocidad de propagación es igual al valor de la longitud de onda entre el periodo. Sus unidades son, cm/s, m/s.

La velocidad con que se propague un fenómeno ondulatorio depende de la naturaleza del medio en que se realiza la propagación. Así, la velocidad del sonido no es la misma en el aire que en el agua o que en el acero, ni tampoco la velocidad de la luz en la misma en el vacío que en el agua, aire o vidrio. La velocidad de la luz en el vacío es igual a 300 000 km/s y es la máxima velocidad que se puede alcanzar en la naturaleza.

Las ondas sonoras por ejemplo, viajan con rapidez de 330 o 350 m/s en el aire (dependiendo la temperatura) y unas cuatro veces mas aprisa en el agua. Cual sea el medio, la rapidez de una onda esta relacionada con su frecuencia y su longitud de onda.

• VALLE

La parte inferior de una onda

• CRESTA

La parte superior de una onda

TIPOS DE ONDAS

Las ondas pueden clasificarse de varias maneras según la propiedad que se quiera resaltar. Si se quiere resaltar la dirección de los desplazamientos de las partículas en relación con la dirección del movimiento de la propia onda.

VAMOS A HACER DISTINTAS CLASIFICACIONES SEGÚN DIVERSOS CRITERIOS:

Si necesitan o no medio para propagarse:

- Ondas mecánicas: necesitan un medio material para transmitirse (sonido).
- Ondas electromagnéticas: no lo necesitan, pueden transmitirse en el vacío (luz).

Dimensiones en que se propaga la onda:

- Unidimensionales.
- Bidimensionales.
- Tridimensionales.

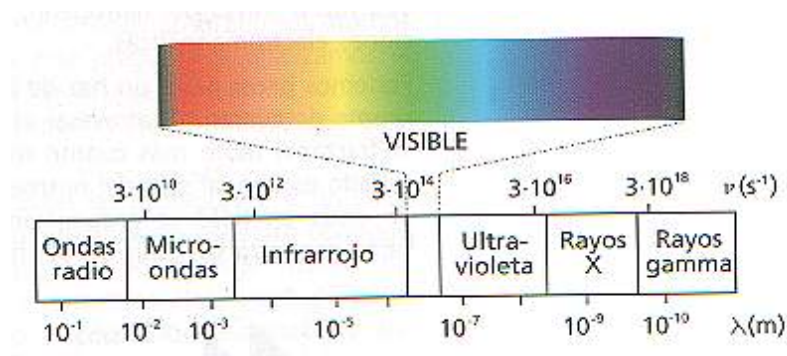
Según la dirección de oscilación:

- Longitudinales: la dirección de oscilación y de propagación coinciden (sonido).
- Transversales: las direcciones de vibración y propagación son perpendiculares.

Mas adelante se explica con detalle cada una de ellas.

• ELECTROMAGNÉTICAS

Son ondas de naturaleza electromagnética que pueden transmitirse en el vacío. Las leyes electromagnéticas establecen que un campo magnético variable produce un campo eléctrico, y un campo eléctrico variable produce un campo magnético, esto avanza a la velocidad de la luz, el conjunto de todas estas ondas electromagnéticas forma el espectro electromagnético, que puede ser de muchas frecuencias, entre ellas las visibles, que forman la luz.



Rayos gamma

Su longitud de onda (λ) $< 0.1 \text{ Ao}$, donde 1 Ao (Armstrong) es igual a 10^{-10} m . Se originan en las desintegraciones nucleares que emiten radiación gamma. Son muy penetrantes y muy energéticas.

Rayos X

Se producen por oscilaciones de los electrones próximos a los núcleos.

$$0.1\text{Ao} < \lambda < 30 \text{ Ao}$$

Son muy energéticos y penetrantes, dañinos para los organismos vivos, pero se utilizan de forma controlada para los diagnósticos médicos.

Rayos UVA

Se producen por saltos electrónicos entre átomos y moléculas excitados.

$$30\text{Ao} < \lambda < 4000 \text{ Ao}$$

El Sol es emisor de rayos ultravioleta, que son los responsables del bronceado de la piel. Es absorbida por la capa de ozono, y si se recibe en dosis muy grandes puede ser peligrosa ya que impiden la división celular, destruyen microorganismos y producen quemaduras y pigmentación de la piel.

Luz visible

Es la pequeña parte del espectro electromagnético a la que es sensible el ojo humano.

$$400 \text{ nm} < \lambda < 750 \text{ nm}$$

Se producen por saltos electrónicos entre niveles atómicos y moleculares. Las longitudes de onda que corresponden a los colores básicos son:

ROJO	De 6200 a 7500 Ao
NARANJA	De 5900 a 6200 Ao
AMARILLO	De 5700 a 5900 Ao
VERDE	De 4900 a 5700 Ao
AZUL	De 4300 a 4900 Ao
VIOLETA	De 4000 a 4300 Ao

Radiación infrarroja

Es emitida por cuerpos calientes y son debidas a vibraciones de los átomos.

$$10^{-3}\text{m} < \lambda < 10^{-7}\text{m}$$

La fotografía infrarroja tiene grandes aplicaciones; en la industria textil se utiliza para identificar colorantes, en la detección de falsificaciones de obras de arte, en telemandos, estudios de aislantes térmicos, etc. En la foto se observa la fotografía en infrarrojos de una mano:

Radiación de microondas

Son producidas por vibraciones de moléculas.

$$0.1 \text{ mm} < \lambda < 1 \text{ m}$$

Se utilizan en radioastronomía y en hornos eléctricos. Esta última aplicación es la más conocida hoy en día y en muchos hogares se usan los "microondas". Estos hornos calientan los alimentos generando ondas microondas que en realidad calientan selectivamente el agua. la mayoría de los alimentos, incluso los "secos" contienen agua. Las microondas hacen que las moléculas de agua se muevan, vibran, este movimiento

produce fricción y esta fricción el calentamiento. Así no sólo se calienta la comida, otras cosas, como los recipientes, pueden calentarse al estar en contacto con los alimentos.

Ondas de radio

Son ondas electromagnéticas producidas por el hombre con un circuito oscilante.

$$1 \text{ cm} < \lambda < 1 \text{ Km}$$

Se emplean en radiodifusión, las ondas usadas en la televisión son las de longitud de onda menor y las de radio son las de longitud de onda mayor. Las radiondas más largas se reflejan en la ionosfera y se pueden detectar en antenas situadas a grandes distancias del foco emisor. Las ondas medias se reflejan menos en la ionosfera, debido a su gran longitud de onda pueden superar obstáculos, por lo que pueden recorrer grandes distancias. Para superar montañas necesitan repetidores. Las ondas cortas no se reflejan en la ionosfera, requieren repetidores más próximos. Se transmiten a cualquier distancia mediante los satélites artificiales. Este tipo de ondas son las que emiten la TV, teléfonos móviles y los radares.

• ESTACIONARIAS

Si atas una cuerda a un muro y agitas el extremo libre de arriba abajo producirás una onda en la cuerda. El muro es demasiado rígido para agitarse, de modo que la onda se refleja y vuelve hacia ti desplazándose por la cuerda. Agitando la cuerda de cierta manera puedes hacer que la onda incidente (es decir, la onda original) y la onda reflejada formen una onda estacionaria en la que ciertos puntos de la cuerda llamamos nodos permanecen inmóviles. Los puntos de mayor amplitud de una onda estacionaria se conocen como antinodos. Los antinodos están en los puntos medios entre dos nodos.

Las ondas estacionarias son producto de la interferencia. Cuando dos ondas de la misma amplitud y longitud de onda pasan una sobre otra en direcciones contrarias, están siempre fuera de fase en los nodos. Los nodos son regiones estables de interferencia destructiva.

• TRANSVERSALES

Ondas en las cuales al propagarse, las partículas del medio en que se propagan se mueven transversalmente a la dirección de propagación de la onda. Un ejemplo de ello son las ondas en el agua ya que avanzan en una dirección sobre la superficie del agua, las partículas suben y bajan. Al igual las ondas electromagnéticas en este sentido no hay medio de propagación –puede ser el vacío– sin embargo el campo eléctrico y magnético oscilan perpendicularmente a la dirección de la propagación, es decir, transversalmente.

La perturbación del medio se lleva a cabo en dirección perpendicular a la de propagación. En las ondas producidas en la superficie del agua las partículas vibran de arriba a abajo y viceversa, mientras que el movimiento ondulatorio progresa en el plano perpendicular. Lo mismo sucede en el caso de una cuerda; cada punto vibra en vertical, pero la perturbación avanza según la dirección de la línea horizontal. Ambas son ondas transversales.

• LONGITUDINALES

Vibran paralelamente a la dirección de propagación. Esta onda siempre es mecánica y se debe a las sucesivas compresiones (estados de máxima densidad y presión) y expansiones (estados de mínima densidad y presión) del medio.

Onda	Medio	causa
Olas en el mar	Agua	Mareas, viento, terremotos

Ondas en cuerdas, como en los instrumentos musicales	Cuerdas de nailon o de metal	Pulsar la cuerda (como una guitarra), rozarla con un arco (como el violín) o golpearla (como el piano)
Ondas sísmicas	Rocas en la litosfera y manto de la tierra	Temblores, terremotos, explosiones
Ondas sonoras	Frecuentemente el aire, puede ser el líquidos o sólidos	Vibración de las moléculas del medio causada por un objeto vibrante

El movimiento local del medio alcanzado por la perturbación se efectúa en la dirección de avance de la onda. Un muelle que se comprime da lugar a una onda longitudinal.

• MECÁNICAS

Son aquellas que desplazan en medios deformables o elásticos. Estas ondas también reciben el nombre de ondas materiales porque necesitan un medio material elástico para propagarse. Como ejemplo tenemos el sonido.

Se propagan por medio material, como las ondas en la superficie del agua y el sonido que se propaga en el aire.

• UNIDIMENSIONALES

Son aquellas que se propagan en medios de una sola dimensión. Las ondas propagadas en una cuerda es una onda unidimensional.

• BIDIMENSIONALES

Se propagan en cualquiera de las direcciones de un plano de una superficie. Se denominan también ondas superficiales y a este grupo pertenecen las ondas que se producen en la superficie de un lago cuando se deja caer una piedra sobre él.

Atendiendo a la periodicidad de la perturbación local que las origina, las ondas se clasifican en:

Periódicas: Corresponden a la propagación de perturbaciones de características periódicas, como vibraciones u oscilaciones que suponen variaciones repetitivas de alguna propiedad. Así, en una cuerda unida por uno de sus extremos a un vibrador se propagará una onda periódica.

No periódicas: La perturbación que las origina se da aisladamente y en el caso de que se repita, las perturbaciones sucesivas tienen características diferentes. Las ondas aisladas, como en el caso de las fichas de dominó, se denominan también pulsos.

• TRIDIMENSIONALES O ESPACIALES

Cuando la propagación necesita de un medio de volumen (tres dimensiones). La propagación de la luz y el sonido en el aire son ondas tridimensionales.

FENÓMENOS ONDULATORIOS

Las propiedades de las ondas se manifiestan a través de una serie de fenómenos que constituyen lo esencial del comportamiento ondulatorio. Así, las ondas rebotan ante una barrera, cambian de dirección cuando pasan

de un medio a otro, suman sus efectos de una forma muy especial y pueden salvar obstáculos o bordear las esquinas.

El estudio de los fenómenos ondulatorios supone la utilización de conceptos tales como periodo, frecuencia, longitud de onda y amplitud, y junto a ellos el de *frente de onda*, el cual es característico de las ondas bi y tridimensionales.

Se denomina frente de ondas al lugar geométrico de los puntos del medio que son alcanzados en un mismo instante por la perturbación.

Las ondas que se producen en la superficie de un lago, como consecuencia de una vibración producida en uno de sus puntos, poseen frentes de onda circulares. Cada uno de esos frentes se corresponde con un conjunto de puntos del medio que están en el mismo estado de vibración, es decir a igual altura. Debido a que las propiedades del medio, tales como densidad o elasticidad, son las mismas en todas las direcciones, la perturbación avanza desde el foco a igual velocidad a lo largo de cada una de ellas, lo que explica la forma circular y, por tanto, equidistante del foco, de esa línea que contiene a los puntos que se encuentran en el mismo estado de vibración.

Las ondas tridimensionales, como las producidas por un globo esférico que se infla y desinfla alternativamente, poseen frentes de ondas esféricos si el foco es puntual y si el medio, como en el caso anterior, es homogéneo.

EL PRINCIPIO DE HUYGENS

La explicación de los fenómenos ondulatorios puede hacerse de forma sencilla sobre la base de un principio propuesto por *Christian Huygens* (1629"1695) para ondas luminosas, pero que es aplicable a cualquier tipo de ondas. La observación de que las ondas en la superficie del agua se propagaran de una forma gradual y progresiva suscitó en *Huygens* la idea de que la perturbación en un instante posterior debería ser producida por la perturbación en otro anterior. Este fue el germen del siguiente principio general de propagación de las ondas que lleva su nombre:

Cada uno de los puntos de un frente de ondas puede ser considerado como un nuevo foco emisor de ondas secundarias que avanzan en el sentido de la perturbación y cuya envolvente en un instante posterior constituye el nuevo frente.

La aplicación del principio de Huygens se lleva a efecto mediante un método puramente geométrico conocido como *método de construcción de Huygens*. En el caso de una onda bidimensional circular producida por un foco o fuente puntual la aplicación de este método sería como sigue.

Si S es el frente de ondas correspondiente a un instante cualquiera t , según el principio de Huygens, cada punto de S se comporta como un emisor de ondas secundarias también circulares. Al cabo de un intervalo de tiempo t los nuevos frentes formarán una familia de circunferencias S_i , con sus centros situados en cada uno de los puntos de S y cuyo radio $r = v \cdot Dt$ será el mismo para todas ellas si la velocidad v de propagación es igual en cualquier dirección. La línea S' tangente a todos los frentes secundarios S_i y que los envuelve resulta ser otra circunferencia y constituye el nuevo frente de ondas para ese instante posterior

$$t = t + Dt$$

REFLEXIÓN Y REFRACCIÓN DE LAS ONDAS

Cuando una onda alcanza la superficie de separación de dos medios de distinta naturaleza se producen, en general, dos nuevas ondas, una que retrocede hacia el medio de partida y otra que atraviesa la superficie límite

y se propaga en el segundo medio. El primer fenómeno se denomina *reflexión* y el segundo recibe el nombre de *refracción*.

En las ondas monodimensionales como las producidas por la compresión de un muelle, la reflexión lleva consigo una inversión del sentido del movimiento ondulatorio. En las ondas bi o tridimensionales la inversión total se produce únicamente cuando la incidencia es normal, es decir, cuando la dirección, en la que avanza la perturbación es perpendicular a la superficie reflectante. Si la incidencia es oblicua se produce una especie de rebote, de modo que el movimiento ondulatorio reflejado cambia de dirección, pero conservando el valor del ángulo que forma con la superficie límite.

En el caso de las ondas sonoras, la reflexión en una pared explica el fenómeno del *eco*. Si la distancia a la pared es suficiente, es posible oír la propia voz reflejada porque el tiempo que emplea el sonido en ir y volver permite separar la percepción de la onda incidente de la reflejada. El oído humano sólo es capaz de percibir dos sonidos como separados si distan uno respecto del otro más de 0,1 segundos, de ahí que para que pueda percibiéndose el eco la superficie reflectiva debe estar separada del observador 17 metros por lo menos, cantidad que corresponde a la mitad de la distancia que recorre el sonido en el aire en ese intervalo de tiempo ($17 \text{ m} = 340 \text{ m/s} \cdot 0,1 \text{ s}/2$).

En los espacios cerrados, como las salas, el sonido una vez generado se refleja sucesivas veces en las paredes, dando lugar a una prolongación por algunos instantes del sonido original. Este fenómeno se denomina *reverberación* y empeora las condiciones acústicas de una sala, puesto que hace que los sonidos anteriores se entremezclen con los posteriores. Su eliminación se logra recubriendo las paredes de materiales, como corcho o moqueta, que absorben las ondas sonoras e impiden la reflexión.

El fenómeno de la refracción supone un cambio en la velocidad de propagación de la onda, cambio asociado al paso de un medio a otro de diferente naturaleza o de diferentes propiedades. Este cambio de velocidad da lugar a un cambio en la dirección del movimiento ondulatorio. Como consecuencia, la onda refractada se desvía un cierto ángulo respecto de la incidente.

La refracción se presenta con cierta frecuencia debido a que los medios no son perfectamente homogéneos, sino que sus propiedades y, por lo tanto, la velocidad de propagación de las ondas en ellos, cambia de un punto a otro. La propagación del sonido en el aire sufre refracciones, dado que su temperatura no es uniforme.

En un día soleado las capas de aire próximas a la superficie terrestre están más calientes que las altas y la velocidad del sonido, que aumenta con la temperatura, es mayor en las capas bajas que en las altas. Ello da lugar a que el sonido, como consecuencia de la refracción, se desvía hacia arriba. En esta situación la comunicación entre dos personas suficientemente separadas se vería dificultada. El fenómeno contrario ocurre durante las noches, ya que la Tierra se enfría más rápidamente que el aire.

• LA REFLEXIÓN

Ley: también llamada ley de Snell. Cuando una onda (luz, sonido, etc.) cambia de medio de transmisión (por ejemplo la luz al pasar del aire al vidrio), lo hace de manera que el ángulo de incidencia y el ángulo de refracción cumplen la siguiente ecuación:

Donde n es una constante llamada índice de refracción.

REFLEXIÓN DE ONDAS.

Más de 0,1 segundos, de ahí que para que pueda percibiéndose el eco la superficie reflectiva debe estar separada del observador 17 metros por lo menos, cantidad que corresponde a la mitad de la distancia que recorre el sonido en el aire en ese intervalo de tiempo ($17 \text{ m} = 340 \text{ m/s} \cdot 0,1 \text{ s}/2$).

En los espacios cerrados, como las salas, el sonido una vez generado se refleja. Cuando una onda alcanza la superficie de separación de dos medios de distinta naturaleza se producen, en general, dos nuevas ondas, una que retrocede hacia el medio de partida y otra que atraviesa la superficie límite y se propaga en el segundo medio. El primer fenómeno se denomina reflexión y el segundo recibe el nombre de refracción.

En las ondas Monodimensionales como las producidas por la compresión de un muelle, la reflexión lleva consigo una inversión del sentido del movimiento ondulatorio. En las ondas bis o tridimensionales la inversión total se produce únicamente cuando la incidencia es normal, es decir, cuando la dirección, en la que avanza la perturbación es perpendicular a la superficie reflectante. Si la incidencia es oblicua se produce una especie de rebote, de modo que el movimiento ondulatorio reflejado cambia de dirección, pero conservando el valor del ángulo que forma con la superficie límite.

En el caso de las ondas sonoras, la reflexión en una pared explica el fenómeno del eco. Si la distancia a la pared es suficiente, es posible oír la propia voz reflejada porque el tiempo que emplea el sonido en ir y volver permite separar la percepción de la onda incidente de la reflejada. El oído humano sólo es capaz de percibir dos sonidos como separados si distan uno respecto del otras sucesivas veces en las paredes, dando lugar a una prolongación por algunos instantes del sonido original. Este fenómeno se denomina reverberación y empeora las condiciones acústicas de una sala, puesto que hace que los sonidos anteriores se entremezclen con los posteriores. Su eliminación se logra recubriendo las paredes de materiales, como corcho o moqueta, que absorben las ondas sonoras e impiden la reflexión.

El fenómeno de la refracción supone un cambio en la velocidad de propagación de la onda, cambio asociado al paso de un medio a otro de diferente naturaleza o de diferentes propiedades. Este cambio de velocidad da lugar a un cambio en la dirección del movimiento ondulatorio. Como consecuencia, la onda refractada se desvía un cierto ángulo respecto de la incidente.

LA REFLEXIÓN DE LA LUZ

Al igual que la reflexión de las ondas sonoras, la reflexión luminosa es un fenómeno en virtud del cual la luz al incidir sobre la superficie de los cuerpos cambia de dirección, invirtiéndose el sentido de su propagación.

En cierto modo se podría comparar con el rebote que sufre una bola de billar cuando es lanzada contra una de las bandas de la mesa.

La visión de los objetos se lleva a cabo precisamente gracias al fenómeno de la reflexión. Un objeto cualquiera, a menos que no sea una fuente en sí mismo, permanecerá invisible en tanto no sea iluminado. Los rayos luminosos que provienen de la fuente se reflejan en la superficie del objeto y revelan al observador los detalles de su forma y su tamaño.

De acuerdo con las características de la superficie reflectora, la reflexión luminosa puede ser regular o difusa.

La *reflexión regular* tiene lugar cuando la superficie es perfectamente lisa. Un espejo o una lámina metálica pulimentada reflejan *ordenadamente* un haz de rayos conservando la forma del haz. La *reflexión difusa* se da sobre los cuerpos de superficies más o menos rugosas.

En ellas un haz paralelo, al reflejarse, se dispersa orientándose los rayos en direcciones diferentes. Ésta es la razón por la que un espejo es capaz de reflejar la imagen de otro objeto en tanto que una piedra, por ejemplo, sólo refleja su propia imagen.

Sobre la base de las observaciones antiguas se establecieron las leyes que rigen el comportamiento de la luz en la reflexión regular o especular. Se denominan genéricamente *leyes de la reflexión*.

Si S es una superficie especular (representada por una línea recta rayada del lado en que no existe la reflexión), se denomina *rayo incidente* al que llega a S , *rayo reflejado* al que emerge de ella como resultado de la reflexión y punto de incidencia O al punto de corte del rayo incidente con la superficie S . La recta N , perpendicular a S por el punto de incidencia, se denomina *normal*.

El *ángulo de incidencia* δ es el formado por el rayo incidente y la normal. El *ángulo de reflexión* δ' es el que forma la normal y el rayo reflejado. Con la ayuda de estos conceptos auxiliares pueden anunciarse las leyes de la reflexión en los siguientes términos:

1.^a Ley. El rayo incidente, la normal y el rayo reflejado se encuentran sobre un mismo plano.

2.^a Ley. El ángulo de incidencia es igual al ángulo de reflexión ($\delta = \delta'$).

• LA REFRACCIÓN

Si una onda atraviesa el medio que obstaculiza su propagación se transmite por el nuevo medio pero cambia la rapidez de la propagación y la dirección. Normalmente cuando una onda llega a la superficie de separación de los medios, parte se refleja y parte se refracta.

Índice de refracción: es la relación entre la velocidad de la luz en el vacío y la velocidad de la luz en la sustancia o el medio transparente.

REFRACCIÓN DE ONDAS

El sonido avanza en línea recta cuando se desplaza en un medio de densidad uniforme. Sin embargo, igual que la luz, el sonido está sometido a la refracción, es decir, la desviación de las ondas de sonido de su trayectoria original. En las regiones polares, por ejemplo, donde el aire situado cerca del suelo es más frío que el de las capas más altas, una onda de sonido ascendente que entra en la región más caliente, donde el sonido avanza a más velocidad, se desvía hacia abajo por la refracción. La excelente recepción del sonido a favor del viento y la mala recepción en contra del viento también se deben a la refracción. La velocidad del aire suele ser mayor en las alturas que cerca del suelo; una onda de sonido ascendente que avanza a favor del viento se desvía hacia el suelo, mientras que una onda similar que se mueve en contra del viento se desvía hacia arriba, por encima de la persona que escucha.

LA REFRACCIÓN DE LA LUZ

Se denomina refracción luminosa al cambio que experimenta la dirección de propagación de la luz cuando atraviesa oblicuamente la superficie de separación de dos medios transparentes de distinta naturaleza. Las lentes, las máquinas fotográficas, el ojo humano y, en general, la mayor parte de los instrumentos ópticos basan su funcionamiento en este fenómeno óptico.

El fenómeno de la refracción va, en general, acompañado de una reflexión, más o menos débil, producida en la superficie que limita los dos medios transparentes. El haz, al llegar a esa superficie límite, en parte se refleja y en parte se refracta, lo cual implica que los haces reflejado y refractado tendrán menos intensidad luminosa que el rayo incidente. Dicho reparto de intensidad se produce en una proporción que depende de las características de los medios en contacto y del ángulo de incidencia respecto de la superficie límite. A pesar de esta circunstancia, es posible fijar la atención únicamente en el fenómeno de la refracción para analizar sus características.

• LA DIFRACCIÓN

Ocurre cuando las ondas encuentran un obstáculo en su camino y sufren una desviación.

Las ondas son capaces de traspasar orificios y bordear obstáculos interpuestos en su camino. Esta propiedad característica del comportamiento ondulatorio puede ser explicada como consecuencia del principio de Huygens y del fenómeno de interferencias.

Así, cuando una fuente de ondas alcanza una placa con un orificio o rendija central, cada punto de la porción del frente de ondas limitado por la rendija se convierte en foco emisor de ondas secundarias todas de idéntica frecuencia. Los focos secundarios que corresponden a los extremos de la abertura generan ondas que son las responsables de que el haz se abra tras la rendija y bordeee sus esquinas. En los puntos intermedios se producen superposiciones de las ondas secundarias que dan lugar a zonas de intensidad máxima y de intensidad mínima típicas de los fenómenos de interferencias.

Las ondas son capaces de traspasar orificios y bordear obstáculos interpuestos en su camino. Esta propiedad característica del comportamiento ondulatorio puede ser explicada como consecuencia del principio de Huygens y del fenómeno de interferencias.

Así, cuando una fuente de ondas alcanza una placa con un orificio o rendija central, cada punto de la porción del frente de ondas limitado por la rendija se convierte en foco emisor de ondas secundarias todas de idéntica frecuencia. Los focos secundarios que corresponden a los extremos de la abertura generan ondas que son las responsables de que el haz se abra tras la rendija y bordeee sus esquinas. En los puntos intermedios se producen superposiciones de las ondas secundarias que dan lugar a zonas de intensidad máxima y de intensidad mínima típicas de los fenómenos de interferencias.

Ambos fenómenos que caracterizan la difracción de las ondas dependen de la relación existente entre el tamaño de la rendija o del obstáculo y la longitud de onda. Así, una rendija cuya anchura sea del orden de la longitud de la onda considerada, será completamente bordeada por la onda incidente y, además, el patrón de interferencias se reducirá a una zona de máxima amplitud idéntica a un foco. Es como si mediante este procedimiento se hubiera seleccionado uno de los focos secundarios descritos por Huygens en el principio que lleva su nombre

LA DIFRACCIÓN DE LA LUZ

Así como refractar es desviar la difracción es bordear, este fenómeno, esta mas asociado, con las ondas mecánicas, de una manera más asimilable, pero las ondas electromagnéticas también presentan este fenómeno, prueba de ello es un suceso que ocurrió en un eclipse de sol, mientras se observaba una estrella, el eclipse desviaba los rayos de luz de aquella estrella emisora y daba una ubicación errónea de su ubicación, después del eclipse, en la misma noche, se volvió a mirar la estrella y esta se había movido de su anterior ubicación esto indicaba que la luz bordeaba el sol, dando la impresión de dar otra ubicación.

¿Cuáles son los fenómenos que no se pueden explicar con la teoría corpuscular de la luz? ·

La interferencia, la polarización, el efecto fotoeléctrico, la radiación, la difracción.

Explique que concepto tenían antiguamente los físicos sobre la sustancia o medio material llamado éter ·

El éter es una sustancia hipotética que se usaba para justificar los primeros intentos de demostrar la teoría ondulatoria de la luz, el éter, es un medio material, que llenaba el vacío esta sustancia permitía las perturbaciones típicas de una onda, de tal forma que el medio perturbado era el éter en ese sentido pudiera atreverse a decir que desde ese punto de vista no había vacío en el espacio exterior algo para mi contradictorio.

Según *Maxwell* como esta formada la luz y cuales son sus características.

El físico escocés *James Clark Maxwell* en 1865 situó en la cúspide las primitivas ideas de *Huygens*, aclarando en qué consistían las ondas luminosas. Al desarrollar su teoría electromagnética demostró matemáticamente la existencia de campos electromagnéticos que, a modo de ondas, podían propagarse tanto por el espacio vacío como por el interior de algunas sustancias materiales.

Maxwell identificó las ondas luminosas con sus teóricas ondas electromagnéticas, prediciendo que éstas deberían comportarse de forma semejante a como lo hacían aquéllas. La comprobación experimental de tales

predicciones vino en 1888 de la mano del físico alemán *Henrich Hertz*, al lograr situar en el espacio campos electromagnéticos viajeros, que fueron los predecesores inmediatos de las actuales ondas de radio. De esta manera se abría la era de las telecomunicaciones y se hacía buena la teoría de *Maxwell* de los campos electromagnéticos.

La diferencia entre las ondas de radio (no visibles) y las luminosas tan sólo radicaban en su longitud de onda, desplazándose ambas a la velocidad de la luz, es decir, a 300 000 km/s. Posteriormente una gran variedad de ondas electromagnéticas de diferentes longitudes de onda fue descubierta, producidas y manejadas, con lo que la naturaleza ondulatoria de la luz quedaba perfectamente encuadrada en un marco más general y parecía definitiva. Sin embargo, algunos hechos experimentales nuevos mostrarían, más adelante, la insuficiencia del modelo ondulatorio para describir plenamente el comportamiento de la luz.

¿Qué descubrimientos hubo al final del siglo XIX, que hicieron renacer la teoría corpuscular de la luz? ·

Uno de ellos fue el efecto fotoeléctrico este efecto consiste en que algunos metales como el cesio, por ejemplo, emiten electrones cuando son iluminados por un haz de luz.

El análisis de *Einstein* reveló que ese fenómeno no podía ser explicado desde el modelo ondulatorio, y tomando como base la idea de discontinuidad planteada con anterioridad por Plank, fue más allá afirmando que no sólo la emisión y la absorción de la radiación se verifican de forma discontinua, sino que la propiamente dicha es discontinua.

Estas ideas supusieron, de hecho, la reformulación de un modelo corpuscular. Según el modelo de *Einstein* la luz estaría formada por una sucesión de cuantos elementales que a modo de paquetes de energía chocarían contra la superficie del metal, arrancando de sus átomos los electrones más externos. Estos nuevos corpúsculos energéticos recibieron el nombre de *fotones* (fotos en griego significa luz).

Las controversias y los antagonismos entre las ideas de Newton y Huygens han dejado paso, al cabo de los siglos, a la síntesis de la física actual. La luz es, por tanto, onda, pero también corpúsculo, manifestándose de uno u otro modo en función de la naturaleza del experimento o del fenómeno mediante el cual se la pretende caracterizar o describir.

• LA INTERFERENCIA

Se manifiesta cuando dos o más ondas se combinan porque coinciden en el mismo lugar del espacio. Cada onda tiene sus crestas y sus valles, de manera que al coincidir en un momento dado se suman sus efectos. Es frecuente que la interferencia se lleva a cabo entre una onda y su propio reflejo.

Interferencia constructiva: cuando dos ondas interfieren, en los puntos en que coinciden las dos crestas se dice que hay interferencia constructiva. En estos puntos se suman las amplitudes de las ondas.

Interferencia destructiva: al interferir dos ondas, en los puntos donde coincide una cresta de una onda con un valle de la otra onda se dice que hay interferencia destructiva. Las amplitudes en este caso se restan y pueden anularse por completo.

Efecto que se produce cuando dos o más ondas se solapan o entrecruzan. Cuando las ondas interfieren entre sí, la amplitud (intensidad o tamaño) de la onda resultante depende de las frecuencias, fases relativas (posiciones relativas de crestas y valles) y amplitudes de las ondas iniciales; Por ejemplo, la interferencia constructiva se produce en los puntos en que dos ondas de la misma frecuencia que se solapan o entrecruzan están en fase; es decir, cuando las crestas y los valles de ambas ondas coinciden. En ese caso, las dos ondas se refuerzan mutuamente y forman una onda cuya amplitud es igual a la suma de las amplitudes individuales de las ondas originales. La interferencia destructiva se produce cuando dos ondas de la misma frecuencia están completamente desfasadas una respecto a la otra; es decir, cuando la cresta de una onda coincide con el valle de otra. En este caso, las dos ondas se cancelan mutuamente. Cuando las ondas que se cruzan o solapan tienen frecuencias diferentes o no están exactamente en fase ni desfasadas, el esquema de interferencia puede ser más complejo.

La luz visible está formada por ondas electromagnéticas que pueden interferir entre sí. La interferencia de ondas de luz causa, por ejemplo, las irisaciones que se ven a veces en las burbujas de jabón. La luz blanca está compuesta por ondas de luz de distintas longitudes de onda. Las ondas de luz reflejadas en la superficie interior de la burbuja interfieren con las ondas de esa misma longitud reflejadas en la superficie exterior. En algunas de las longitudes de onda, la interferencia es constructiva, y en otras destructiva. Como las distintas longitudes de onda de la luz corresponden a diferentes colores, la luz reflejada por la burbuja de jabón aparece coloreada. El fenómeno de la interferencia entre ondas de luz visible se utiliza en holografía e interferometría.

La interferencia puede producirse con toda clase de ondas, no sólo ondas de luz. Las ondas de radio interfieren entre sí cuando rebotan en los edificios de las ciudades, con lo que la señal se distorsiona. Cuando se construye una sala de conciertos hay que tener en cuenta la interferencia entre ondas de sonido, para que una interferencia destructiva no haga que en algunas zonas de la sala no puedan oírse los sonidos emitidos desde el escenario. Arrojando objetos al agua estancada se puede observar la interferencia de ondas de agua, que es constructiva en algunos puntos y destructiva en otros.

Cuando dos ondas de igual naturaleza se propagan simultáneamente por un mismo medio, cada punto del medio sufrirá la perturbación resultante de componer ambas. Este fenómeno de superposición de ondas recibe el nombre de *interferencias* y constituye uno de los más representativos del comportamiento ondulatorio.

Lo esencial del fenómeno de interferencias consiste en que la suma de las dos ondas supuestas de igual amplitud no da lugar necesariamente a una perturbación doble, sino que el resultado dependerá de lo retrasada o adelantada que esté una onda respecto de la otra. Se dice que dos ondas alcanzan un punto dado *en fase* cuando ambas producen en él oscilaciones sincrónicas o acompasadas. En tal caso la oscilación resultante tendrá una amplitud igual a la suma de las amplitudes de las ondas individuales, y la interferencia se denomina *constructiva* porque en la onda resultante se refuerzan los efectos individuales. Si por el contrario las oscilaciones producidas por cada onda en el punto considerado están contrapuestas, las ondas llegan en *oposición de fase* y la oscilación ocasionada por una onda será neutralizada por la debida a la otra. En esta situación la interferencia se denomina *destructiva*.

Si se consideran ondas armónicas unidimensionales y de igual frecuencia, el fenómeno de interferencias puede ser entendido como una consecuencia de las diferencias de distancia de los dos focos O_1 y O_2 al punto genérico P del un número entero de ondas completas (y de longitudes de onda), eso significa que las ondas individuales llegan en fase a P . Si por el contrario caben un número impar de medias ondas (de semilongitudes de onda $\lambda/2$), equivale a decir que las ondas individuales llegan en oposición de fase.

De acuerdo con lo anterior, según sea la posición del punto P del medio respecto de los focos, así será el tipo de interferencias constructiva o destructiva que se darán en él. Cuando se estudia el medio en su conjunto se aprecian puntos en los que ha habido refuerzo y puntos en los que ha habido destrucción mutua de las perturbaciones. Cada uno de tales conjuntos de puntos forma líneas alternativas. El conjunto de líneas de máxima amplitud y de mínima amplitud de oscilación resultante constituye el esquema o *patrón de*

interferencias.

Si se hace sonar un silbato en un recinto cuyas paredes reflejen bien el sonido, la superposición de las ondas incidente y reflejada daría lugar a un fenómeno de interferencias. Un observador que se desplazara por la sala, distinguiría unas posiciones en las cuales la intensidad del sonido percibido es máximo de otras en donde es prácticamente nulo. Para una frecuencia constante la intensidad del sonido fisiológico depende del cuadrado de la amplitud, pero no de la elongación, de modo que el oído no capta la vibración, sino que percibe una sensación regular que en los fenómenos de interferencia cambia de magnitud con la posición. Cuando las ondas que se superponen tienen frecuencia ligeramente diferentes el fenómeno de interferencias sucede en el tiempo, es decir, sin desplazarse de un punto a otro un observador de ondas sonoras percibiría variaciones de intensidad pulsantes u oscilantes que reciben el nombre de *pulsaciones*. La suma geométrica de dos ondas sinusoidales de frecuencias o de periodos próximos demuestra que la onda resultante no tiene una amplitud constante, sino que varía a lo largo del tiempo. Se dice que es una onda de *amplitud modulada*. Si la amplitud varía, también variará la intensidad del sonido correspondiente, el cual es percibido fuerte y débil de un modo alternativo.

• EFECTO DOPPLER

Cuando una fuente emisora de ondas se acerca o se aleja de nosotros (o nosotros nos acercamos o nos alejamos de ella), la frecuencia de las ondas que percibimos es diferente de la frecuencia de las ondas emitidas, es decir, se debe al movimiento relativo entre la fuente y el observador

La frecuencia de un sonido está determinada por la frecuencia de la vibración que lo origina siempre que el foco que lo emite y el observador que lo percibe estén ambos en reposo. Cuando, ya sea el foco, ya sea el observador, están en movimiento, el sonido percibido presenta una frecuencia que depende de la velocidad. Un observador situado ante la vía del tren aprecia que el sonido emitido por el silbato de una locomotora que pasa delante de él a gran velocidad es más agudo cuando se acerca (mayor frecuencia, f) y más grave cuando se aleja (menor frecuencia). Este efecto, según el cual la frecuencia percibida de un sonido depende del estado de movimiento del observador, del foco o de ambos, fue explicado por primera vez en 1842 por el físico austriaco *Christian Doppler* (1803-1853).

• RESONANCIA

Cuando la frecuencia de las vibraciones forzadas en un objeto es igual a su frecuencia natural, la amplitud aumenta notablemente. En el sentido literal resonancia significa sonar de nuevo.

BIBLIOGRAFÍA

Rocha L. Alonso, ABC de Física, para Esc. De segunda enseñanza, México 1969.

Noreña Francisco, Física de emergencia, diccionario enciclopédico para jóvenes, Pangea, México 1997.

Irazoque P. Glinda, Física 3, santillana, México 2002.

Cortes J. Alejandro, Física practica 3, Fernández editores, México 2002.

El dato exacto de la velocidad de la luz en el vacío es de 299,792,458 m/s

Punto de Equilibrio

Cresta

Valle

Amplitud