



La frase más excitante que se puede oír en ciencia,
la que anuncia nuevos descubrimientos, no es "¡Eureka!"

sino "qué extraño".

Guía Conceptual de Física Tema: Conceptualización del modelo ondulatorio. Montoya

1. Movimiento Ondulatorio.
2. Onda.
3. Elementos de una onda. Grafico.
4. Clasificación de las ondas. Definiciones.
5. Reflexión de ondas.
6. Periodo.
7. Frecuencias.
8. Refracción de ondas.
9. Interferencia.
10. Diapasón.
11. Rapidez de propagación de la onda.
12. Cualidades del sonido.
 - Intensidad.
 - Tono.
 - Timbre.
13. Difracción.
14. Refracción del sonido.
15. La audición.
16. Instrumentos musicales de cuerdas.
17. Instrumentos musicales de vientos.

1. Movimiento ondulatorio.

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.

Reflexión de pulsos ondulatorios.

Sacudiendo una cuerda rápidamente se genera un pulso ondulatorio que avanza por la cuerda hacia la izquierda (A). Si el extremo de la cuerda puede moverse libremente, el pulso vuelve por la cuerda por el mismo lado (C1). Si la cuerda está atada a la pared, el pulso vuelve por la cuerda por el lado opuesto (C2). Si el extremo está libre, el pulso tendrá el doble de la amplitud original en el punto de reflexión (B1); si el extremo está fijo, la amplitud del pulso en dicho punto será nula (B2).

2. Onda.

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 (figura 2) 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.

3. **Elementos de una onda. Grafico.**

- **Cresta:** Es la parte mas elevada de una onda. En la figura 11-1 se presenta por las letras A,C,E.
- **Valle:** Es la parte mas baja de la onda. En la figura 11-1 se representa el valle por las letras: B,D.
- **Longitud de onda:** Es la distancia comprendida entre dos crestas o dos valles.
- **Elongación:** Es la distancia comprendida entre la posición de equilibrio de n punto en oscilación y la posición donde se encuentra en un instante determinado.
- **Amplitud:** (A) es la máxima elongación es decir, el desplazamiento desde n punto de equilibrio hasta la cresta o el valle.
- **Oscilación:** Se lleva a cabo cuando un punto en vibración ha tomado todos los valores positivos y negativos.

4. **Clasificación de las ondas. Definición.**

- **Transversales:** 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:** 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.
- **Electromagnéticas:** Son aquellas donde se propaga energía electromagnética producida por oscilaciones de campos eléctricos y magnéticos, no necesitando material de propagación.
- **Unidimensionales:** Son aquellas que se propagan en medios de una sola dimensión. Las ondas propagadas en una cuerda es una onda unidimensionales.
- **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.
- **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.

5. **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 otro 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 del incidente.

6. Periodo.

(T) es el tiempo transcurrido por una partícula en realizar una oscilación completa. El periodo viene dado por la ecuación $T = t/n$. La unidad de periodo se expresa en (s).

7. Frecuencia.

Término empleado en física para indicar el número de veces que se repite en un segundo cualquier fenómeno periódico. La frecuencia es muy importante en muchas áreas de la física, como la mecánica o el estudio de las ondas de sonido.

Las frecuencias de los objetos oscilantes abarcan una amplísima gama de valores. Los temblores de los terremotos pueden tener una frecuencia inferior a 1, mientras que las veloces oscilaciones electromagnéticas de los rayos gamma pueden tener frecuencias de 1020 o más. En casi todas las formas de vibración mecánica existe una relación entre la frecuencia y las dimensiones físicas del objeto que vibra. Por ejemplo, el tiempo que necesita un péndulo para realizar una oscilación completa depende en parte de la longitud del péndulo; la frecuencia de vibración de la cuerda de un instrumento musical está determinada en parte por la longitud de la cuerda. En general, cuanto más corto es el objeto, mayor es la frecuencia de vibración.

En todas las clases de movimiento ondulatorio, la frecuencia de la onda suele darse indicando el número de crestas de onda que pasan por un punto determinado cada segundo. La velocidad de la onda y su frecuencia y longitud de onda están relacionadas entre sí. La longitud de onda (la distancia entre dos crestas consecutivas) es inversamente proporcional a la frecuencia y directamente proporcional a la velocidad. En términos matemáticos, esta relación se expresa por la ecuación $v = \lambda f$, donde v es la velocidad, f es la frecuencia y λ (la letra griega lambda) es la longitud

de onda. A partir de esta ecuación puede hallarse cualquiera de las tres cantidades si se conocen las otras dos.

La frecuencia se expresa en hercios (Hz); una frecuencia de 1 Hz significa que existe 1 ciclo u oscilación por segundo. La unidad se llama así en honor del físico alemán Heinrich Rudolf Hertz, el primero en demostrar la naturaleza de la propagación de las ondas electromagnéticas. Las unidades como kilohercios (Khz.) —miles de ciclos por segundo—, megahercios (MHz) —millones de ciclos por segundo— y giga hercios (GHz) —miles de millones de ciclos por segundo— se usan para describir fenómenos de alta frecuencia como las ondas de radio. Estas ondas y otros tipos de radiación electromagnética pueden caracterizarse por sus longitudes de onda o por sus frecuencias. Las ondas electromagnéticas de frecuencias extremadamente elevadas, como la luz o los rayos X, suelen describirse mediante sus longitudes de onda, que frecuentemente se expresan en nanómetros (un nanómetro, abreviado nm, es una milmillonésima de metro). Una onda electromagnética con una longitud de onda de 1 nm tiene una frecuencia de aproximadamente 300 millones de GHz.

Frecuencia modulada (FM), sistema de transmisión de radio en el que la onda portadora se modula de forma que su frecuencia varíe según la señal de audio transmitida. El primer sistema operativo de comunicación radiofónica fue descrito por el inventor norteamericano Edwin H. Armstrong en 1936.

8. 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.

9. Interferencia.

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 (véase Holograma; Interferómetro).

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.

10. Diapasón.

El diapasón consiste en una pieza metálica doblada en forma de “U”. Lleva un mango y se coloca sobre una caja de madera (caja de resonancia) que tiene por objeto reforzar el sonido producido. Si se golpea una de sus ramas, el diapasón emite un sonido característico que se mantiene durante varios segundos.

11. Rapidez de propagación de la onda.

Las ondas que se propagan a lo largo de un muelle como consecuencia de una compresión longitudinal del mismo constituyen un modelo de ondas mecánicas que se asemeja bastante a la forma en la que el sonido se genera y se propaga. Las ondas sonoras se producen también como consecuencia de una compresión del medio a lo largo de la dirección de propagación. Son, por tanto, ondas longitudinales.

Si un globo se conecta a un pistón capaz de realizar un movimiento alternativo mediante el cual inyecta aire al globo y lo toma de nuevo, aquél sufrirá una secuencia de operaciones de inflado y desinflado, con lo cual la presión del aire contenido dentro del globo aumentará y disminuirá sucesivamente. Esta serie de compresiones y encarecimientos alternativos llevan consigo una aportación de energía, a intervalos, del foco al medio y generan ondas sonoras. La campana de un timbre vibra al ser golpeada por su correspondiente martillo, lo que da lugar a compresiones sucesivas

del medio que la rodea, las cuales se propagan en forma de ondas . Un diapasón, la cuerda de una guitarra o la de un violín producen sonido según un mecanismo análogo.

12. Cualidades del sonido.

- **Intensidad:** La intensidad del sonido percibido, o propiedad que hace que éste se capte como fuerte o como débil, está relacionada con la intensidad de la onda sonora correspondiente, también llamada *intensidad acústica*. La intensidad acústica es una magnitud que da idea de la cantidad de energía que está fluyendo por el medio como consecuencia de la propagación de la onda.

Se define como la energía que atraviesa por segundo una superficie unidad dispuesta perpendicularmente a la dirección de propagación. Equivale a una potencia por unidad de superficie y se expresa en W/m^2 . La intensidad de una onda sonora es proporcional al cuadrado de su frecuencia y al cuadrado de su amplitud y disminuye con la distancia al foco. La magnitud de la sensación sonora depende de la intensidad acústica, pero también depende de la sensibilidad del oído. El intervalo de intensidades acústicas que va desde el *umbral de audibilidad*, o valor mínimo perceptible, hasta el *umbral del dolor* es muy amplio, estando ambos valores límite en una relación del orden de 10^{14} .

Debido a la extensión de este intervalo de audibilidad, para expresar intensidades sonoras se emplea una escala cuyas divisiones son potencias de diez y cuya unidad de medida es el decibelio (dB). Ello significa que una intensidad acústica de 10 decibelios corresponde a una energía diez veces mayor que una intensidad de cero decibelios; una intensidad de 20 dB representa una energía 100 veces mayor que la que corresponde a 0 decibelios y así sucesivamente. Otro de los factores de los que depende la intensidad del sonido percibido es la frecuencia. Ello significa que para una frecuencia dada un aumento de intensidad acústica da lugar a un aumento del nivel de sensación sonora, pero intensidades acústicas iguales a diferentes frecuencias pueden dar lugar a sensaciones distintas.

- **Tono:** El *tono* es la cualidad del sonido mediante la cual el oído le asigna un lugar en la escala musical, permitiendo, por tanto, distinguir entre los graves y los agudos. La magnitud física que está asociada al tono es la frecuencia. Los sonidos percibidos como graves corresponden a frecuencias bajas, mientras que los agudos son debidos a frecuencias altas. Así el sonido más grave de una guitarra corresponde a una frecuencia de 82,4 Hz y el más agudo a 698,5 hertz. Junto con la frecuencia, en la percepción sonora del tono intervienen otros factores de carácter psicológico. Así sucede por lo general que al elevar la intensidad se eleva el tono percibido para frecuencias altas y se baja para las frecuencias bajas. Entre frecuencias comprendidas entre 1 000 y 3 000 Hz el tono es relativamente independiente de la intensidad.
- **Timbre:** El *timbre* es la cualidad del sonido que permite distinguir sonidos procedentes de diferentes instrumentos, aun cuando posean igual tono e intensidad. Debido a esta misma cualidad es posible reconocer a una persona por su voz, que resulta característica de cada individuo. El timbre está relacionado con la complejidad de las ondas sonoras que llegan al oído. Pocas veces las ondas sonoras corresponden a sonidos puros, sólo los diapasones generan este tipo de sonidos, que son debidos a una sola frecuencia y representados por una onda armónica. Los instrumentos musicales, por el contrario, dan lugar a un sonido más rico que resulta de vibraciones complejas. Cada vibración compleja puede considerarse compuesta por una serie de vibraciones armónico simples de una frecuencia y de una amplitud determinadas, cada una de las cuales, si se considerara separadamente, daría lugar a un sonido puro. Esta mezcla de tonos parciales es característica de cada instrumento y define su timbre. Debido a la analogía existente entre el mundo de la luz y el del sonido, al timbre se le denomina también color del tono.

13. Difracción.

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 bordee 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.

14. Refracción del sonido.

Consideremos ahora dos resortes de distintas masas, nidos a continuación del otro, de acuerdo con esto podemos tener dos casos: A) cuando primero está el resorte más liviano continuamos con el más pesado. B) cuando primero está el resorte más pesado y luego liviano.

15. La audición.

El oído es un aparato receptor de sonidos muy complicados, que funciona en una amplísima gama de frecuencias y amplitudes.

16. Instrumentos musicales de cuerdas.

(Cuatro, guitarra, violín, piano, etc.)

Donde el sonido se produce poniendo en vibración cuerdas de tripa, alambres de acero que se estiran según el sonido que se quiere producir. Dichas cuerdas son mas cortas, mas tirantes, cuando han de emitir sonidos mas agudos. Estos instrumentos se subdividen en:

- **Los instrumentos de cuerdas como el cuatro:** En este caso, el sonido es emitido por la separación de la cuerda de su posición de equilibrio y soltada sin velocidad inicial. Puede oscilar libremente, como por ejemplo: **el arpa, la bandolina, la guitarra, el cuatro.**
- **Los instrumentos de cuerdas golpeados:** En este caso, el sonido es provocado por el choque de un martillo que da a la cuerda una velocidad inicial, esta oscila libremente después, como por ejemplo: **el piano.**
- **Los instrumentos de cuerdas frotadas:** En este caso, el sonido es provocado por el rozamiento de un arco sobre la cuerda, como por ejemplo: **el violín, el violoncelo, la viola, el contrabajo.**

18. Instrumentos musicales de viento.

Como por ejemplo se tiene el clarinete, la flauta dulce, el acordeón, la trompeta, etc. En estos instrumentos el sonido se produce en una embocadura o agujero contra cuyos bordes choca el aire, o en una lengüeta de metal de caña, que vibra cuando sopla el instrumento. Un pabellón o ensanchamiento del tubo; que tiene dos aberturas, sirve ordinariamente de resonador y refuerza la nota producida. Estos instrumentos se subdividen en:

- **Instrumentos de lengüeta móvil:** En los cuales el sonido es creado por las vibraciones de una pequeña lengüeta simple o doble, como por ejemplo: **el clarinete, el saxofón.**

- **Instrumentos de boquilla de flauta:** En los cuales el sonido es creado por el roce del aire contra borde afilado, entre ellos tenemos: **el órgano, los silbatos, la flauta.**
- **Instrumentos de boquilla de trompeta:** En el cual el sonido es creado por la vibración de los labios del músico. Entre estos instrumentos tenemos: **El trombón, el clarinete, la trompeta, la tuba.**