



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: Movimiento Ondulatorio, mecánica de cuerdas. Montoya

OSCILACIONES.

INTRODUCCIÓN A LAS ONDAS.

En nuestro quehacer cotidiano nos encontramos con diversos cuerpos u objetos, elementos que suelen vibrar u oscilar como por ejemplo un péndulo, un diapasón, el balancín de un reloj, las cuerdas de algunos instrumentos musicales como una guitarra, los puentes cuando pasan vehículos pesados, las oscilaciones eléctricas de aparatos como el televisor, la radio, etc. A nivel atómico los átomos vibran dentro de una molécula.

En general podemos decir que cuando un sistema se perturba y este pierde su posición de equilibrio estable se produce oscilaciones y la característica de ella es que resulta ser periódica, recordemos el análisis del movimiento armónico simple (M.A.S.) el cual se produce debido a una fuerza del tipo restauradora cuya ecuación de movimiento es de la forma $x(t) = A \cos(\omega t + \phi)$ También en los cursos de mecánicas se estudian las oscilaciones amortiguadas, oscilaciones forzadas y las oscilaciones amortiguadas forzadas.

El movimiento oscilatorio, las vibraciones, están ligadas al movimiento ondulatorio, así por ejemplo tenemos que las ondas sonoras se pueden producir por el proceso de vibración de las cuerdas de un violín, o por las cuerdas vocales cuando hablamos. En ambos casos el sistema que vibra provoca oscilaciones en las moléculas de aire vecinas y estas vibraciones son las que se propagan a través de un medio como el aire o del agua o a través de un cuerpo sólido

MOVIMIENTO ONDULATORIO

En el lugar en que nos movemos, los seres vivos obtienen información del medio. Así por ejemplo el ser humano se comunica emitiendo sonidos con sus cuerdas vocales y los capta con sus oídos, detecta la radiación térmica con su piel, puede ver con sus ojos.

Diferentes animales han desarrollado diferentes sentidos para cubrir sus necesidades específicas, lo que hace conveniente tener un conocimiento de las características físicas de las diferentes clases de ondas que tenemos en el medio-ambiente.

El hecho que fenómenos tan importantes como la luz y el sonido se propaguen por medio de ondas, hace que el estudio del movimiento ondulatorio sea de una gran importancia.

Una onda consiste en oscilaciones que se mueven sin portar materia con ellas. Las ondas implican transporte de energía pura mediante la deformación o cambio de las propiedades del medio. Este transporte de energía se realiza sin que haya desplazamiento de materia de un lugar a otro, en forma permanente.

Hay algunas ondas que se propagan en medios materiales deformables - como el sonido, las ondas sísmicas, las olas del mar, las ondas ultra sonoras estas corresponden a vibraciones mecánicas de un medio material, se les conoce como ondas mecánicas.

Existen otras ondas de naturaleza electromagnética como lo son la luz, las ondas de radio, los rayos x, la radiación ultravioleta, la radiación infrarroja.

Las ondas mecánicas se pueden entender, como la propagación de una perturbación en un medio elástico. Para su generación es necesario un elemento perturbador que altere el estado de equilibrio del medio, provocando desplazamientos de las partículas, las cuales alteran a su vez las condiciones de equilibrio de las partículas más próximas, lo cual provoca la propagación de la perturbación.

La interacción de esta perturbación con diferentes tipos de objetos, provoca una alteración en la propagación de la onda y origina los diferentes fenómenos ondulatorios.

Característica de una onda continua con frecuencia única

Para describir una onda se habla de:

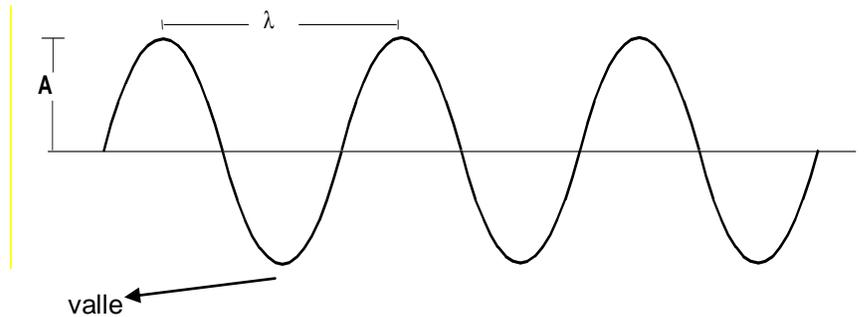
La longitud de onda (λ) que es igual a la distancia entre dos puntos consecutivos cualquiera de una onda.

La frecuencia (f) que es el número de crestas que pasan por un punto dado en la unidad de tiempo.

La amplitud (A) que es la máxima altura de una cresta o la máxima profundidad de un valle.

El período, T , que es el recíproco de la frecuencia.





Como una cresta de la onda se mueve en apariencia una distancia de una longitud de onda λ en un período, la velocidad (v) de la onda (que es distinta a la velocidad de una partícula del medio) es igual al producto entre la frecuencia y la longitud de la onda. $v = \lambda f$

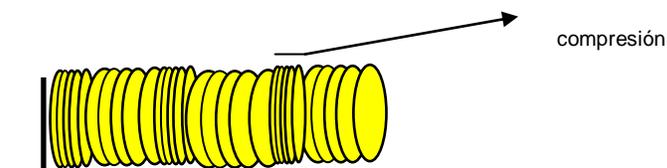
La velocidad de la onda depende de las propiedades del medio en el que viaja. y corresponde a la velocidad con que la cresta(o valle) se mueve en apariencia

Así por ejemplo la velocidad en una cuerda de masa m y largo L que se encuentra tensa con una tensión T , para pequeñas amplitudes viene dada por la siguiente expresión $v = \sqrt{\frac{T}{m/L}}$

Esta ecuación está de acuerdo a la mecánica que se ha analizado ya que si la cuerda está más tensa, significa que entre segmento y segmento de la cuerda están en un contacto más estrecho con el vecino.

De acuerdo a la dirección de propagación de la onda y la dirección de la perturbación o deformación del medio, suele clasificarse las ondas en dos tipos:

- a) **ONDAS LONGITUDINALES:** son aquellas en que la deformación se produce en la dirección de propagación de la onda. Este caso, es el de las ondas sonoras y las ondas de choque producidas en las explosiones. Una onda longitudinal puede crearse en un resorte largo, comprimiendo algunos anillos al inicio del resorte para luego soltarlo. Una serie de expansiones(valles) y compresiones (crestas) se propagan a lo largo del resorte.

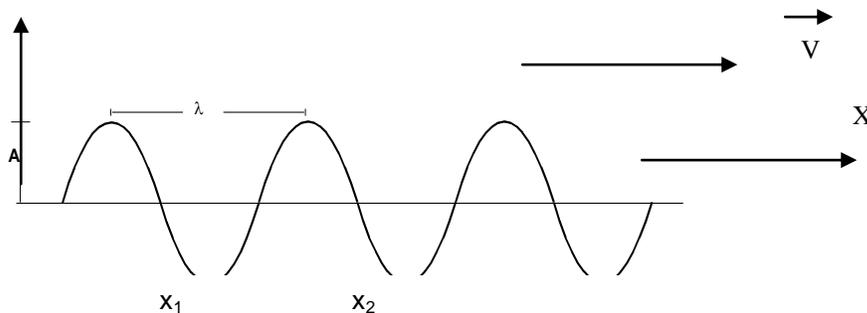


b) **ONDAS TRANSVERSALES:** la deformación se produce en dirección perpendicular a la de propagación de la onda, como por ejemplo las que se propagan en una cuerda tensa cuando se hace oscilar un extremo o bien las que se propagan en la superficie del agua



El tratamiento matemático es el mismo para ambos tipos de onda y se diferencian o reconocen sólo por el efecto de polarización.

ONDAS ARMONICAS



Se puede producir un tren de onda sinusoidal que se propaga por una cuerda, la cual recibe el nombre de onda armónica.

Cuando la onda se propaga por la cuerda, se puede observar que cada punto de la cuerda se mueve hacia arriba y hacia abajo realizando un movimiento armónico simple. La velocidad de la onda como ya se había dicho es $v = \lambda f$.

La velocidad de propagación de la onda **está determinada por las propiedades del medio**, la longitud de la onda queda determinada por la frecuencia del foco o de la fuente de la onda $(\lambda = v/f)$.

La función seno que describe el desplazamiento indicado en la figura anterior es :

$$Y(x) = A \text{ sen } kx$$

Donde A corresponde a la amplitud y la constante k que está relacionado con la longitud de onda se le conoce como " número de ondas " .

En la figura se observa que $x_2 = x_1 + \lambda$, además el argumento de la función seno varía en 2π , entonces se tiene que :

$$kx_2 = k(x_1 + \lambda) = kx_1 + 2\pi \quad ; \quad k\lambda = 2\pi \quad \text{es decir}$$

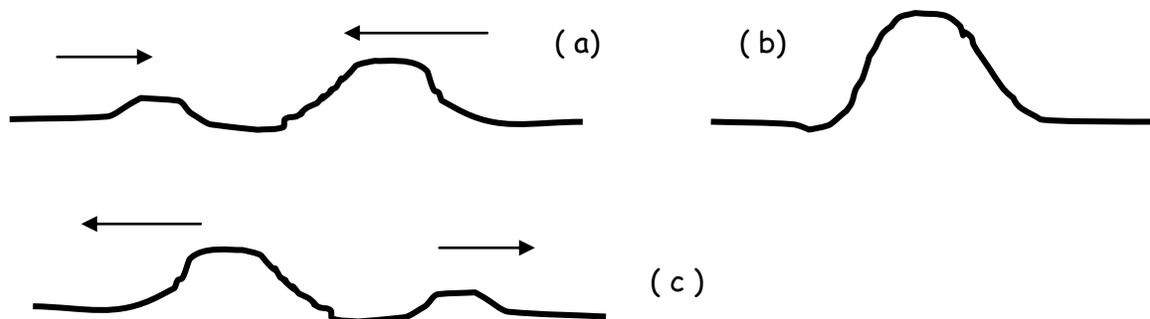
$$k = \frac{2\pi}{\lambda}$$

$$Y(x) = A \text{ sen } \left(\frac{2\pi}{\lambda} x \right)$$

SUPERPOSICIÓN DE ONDAS

En la naturaleza existen bastantes fenómenos ondulatorios los cuales no pueden describirse mediante un solo pulso en movimiento, entonces es necesario analizar formas de ondas complejos en función de ondas viajeras y para ello se puede utilizar el "principio de superposición: Si dos o más ondas viajeras se mueven a través de un medio, la función de onda resultante en cualquier punto es la suma algebraica de las funciones de ondas individuales "

Se les conoce como ondas lineales a las que obedecen a este principio, y en general tienen amplitud pequeña. Y una consecuencia interesante de este principio es que dos ondas viajeras pueden pasar una a través de otra sin alterarse o destruirse.. Ejemplo que pueden citarse son: dos pequeños objetos que se dejen caer en una vasija de grandes dimensiones y que contiene agua; dos ondas sonoras que se mueven en el aire que provengan de dos fuentes diferentes, dos pulsos en direcciones opuestas que viajen sobre una cuerda tensa alargada



En la figura (a) se muestra una cuerda por la que viajan dos pulsos en sentido contrario, en la (b) se muestra cuando la amplitud de la onda corresponde a la suma de

las dos ondas primitivas, en la figura (c) se muestra cuando ya se han dejado de interactuarse y siguen su camino sin haberse alterado.

Un caso particular de gran interés es el de las ondas estacionarias que se producen al sumar dos ondas de la misma amplitud y frecuencia que se propagan en sentidos opuestos. La situación experimental se logra haciendo vibrar la cuerda con tensión variable desde un extremo manteniendo fijo el otro extremo, entonces la onda se refleja sucesivamente produciendo una onda estacionaria, con nodos y antinodos, para ciertas tensiones.

ONDAS ESTACIONARIAS: Un caso particular de gran interés es el de las ondas estacionarias que se producen al sumar dos ondas de la misma amplitud y frecuencia que se propagan en sentidos opuestos. La situación experimental se puede lograr si se agita una cuerda o un resorte en uno de sus extremos, de este modo habrá ondas que viajen en un sentido y otro, interfiriéndose unas con otras al vibrar con una frecuencia adecuada, formándose una onda estacionaria. Se le llama así porque parece no viajar. Las frecuencias a las que se producen las ondas estacionarias son la frecuencia natural y las frecuencia resonantes.

Las siguientes figuras muestran ondas estacionarias.

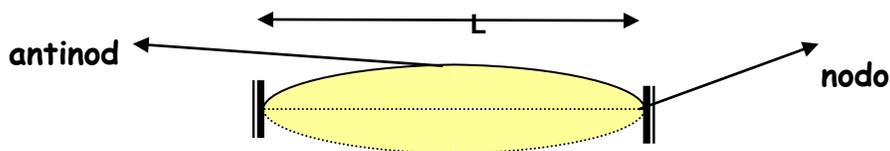


FIG. 1

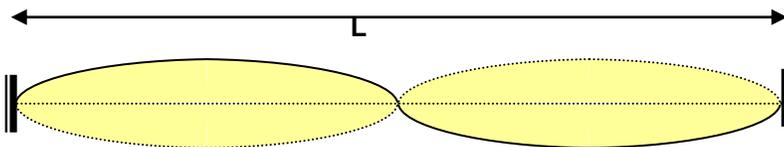


FIG. 2

Los puntos de interferencia destructiva reciben el nombre de nodos, y los de interferencia constructiva antinodo, los cuales permanecerán fijos al igual que el resto de los demás puntos. La frecuencia mínima de vibración que produce una onda estacionaria da lugar a una configuración como la que muestra la figura 1, la figura 2

corresponde a una frecuencia doble del de la fig. N°1

Para calcular las frecuencias resonantes se debe observar que la longitud de onda λ tiene una relación sencilla con el largo L de la cuerda.

En el caso de una cuerda con sus dos extremos fijos, el largo L de la cuerda sólo puede contener un número n entero ($n= 1,2,3,\dots$) de semi-longitudes de onda ($\lambda/2$). En la figura 2, el $L = 2(\lambda / 2)$ largo de la cuerda será

$$L = 2(\lambda / 2)$$

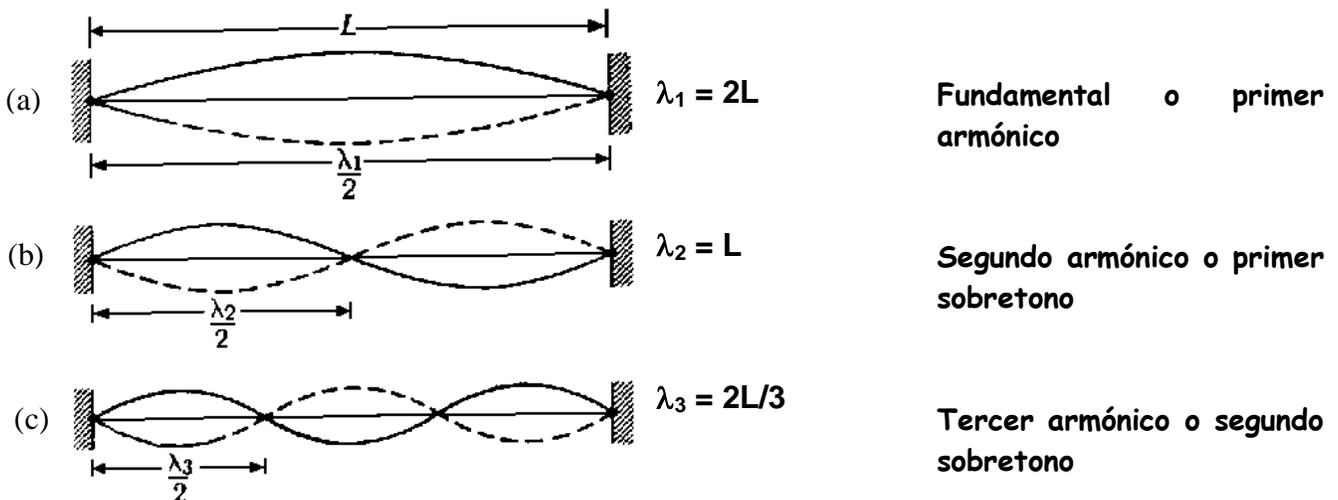
En general se tendrá que las longitudes de onda posibles son:

$$L = n(\lambda_n / 2) \quad \text{donde } n = 1,2,3,\dots$$

y las frecuencias correspondientes vienen dadas por:

$$f_n = \frac{v}{\lambda_n} = \frac{n \cdot v}{2L}$$

Las ondas no pueden tener una frecuencia arbitraria sino que sólo pueden tomar un determinado número de valores discretos ya que las ondas estacionarias posibles no han de producir ninguna perturbación en los extremos, por lo que las posibles formas de vibración de la cuerda se muestran en las figuras a) , b) y c). La figura a) muestra la onda de la fundamental, la b) y la c) corresponde a sobretonos



La velocidad de propagación (v) de una onda o pulso en una cuerda depende de la tensión T de la cuerda y de su masa por unidad de longitud (μ). Se puede demostrar que la velocidad con que se propaga una onda en una cuerda viene dada por:

$$v = \sqrt{\frac{T}{\mu}} \quad \text{con } \mu = \frac{m}{L}$$

La formación de las ondas estacionarias es la base de todos los instrumentos de cuerda