

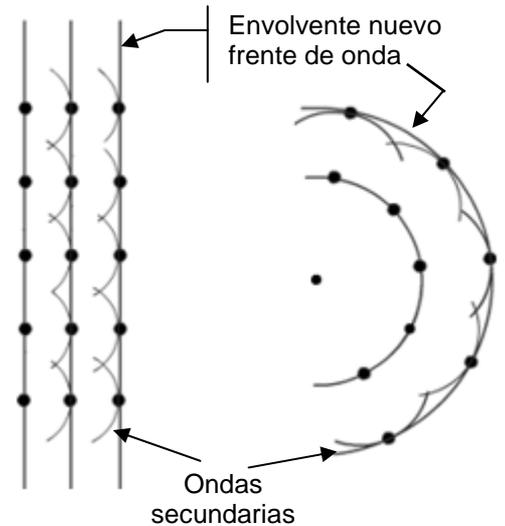
## Principio de Huygens

**Christian Huygens** (1629-1695) propuso hacia 1680 un método gráfico que permite obtener los frentes de onda sucesivos de una onda que se propaga.

Huygens consideraba que **cuando la perturbación que constituye la onda alcanza los puntos del medio, éstos se convierten en fuentes secundarias de ondas y se puede obtener el nuevo frente de ondas trazando la envolvente de las ondas secundarias emitidas (Principio de Huygens)**. El proceso se puede repetir, con lo que podemos seguir la propagación de la onda a través del medio.

En el modelo de Huygens se ignoran las ondas emitidas en sentido contrario al de propagación

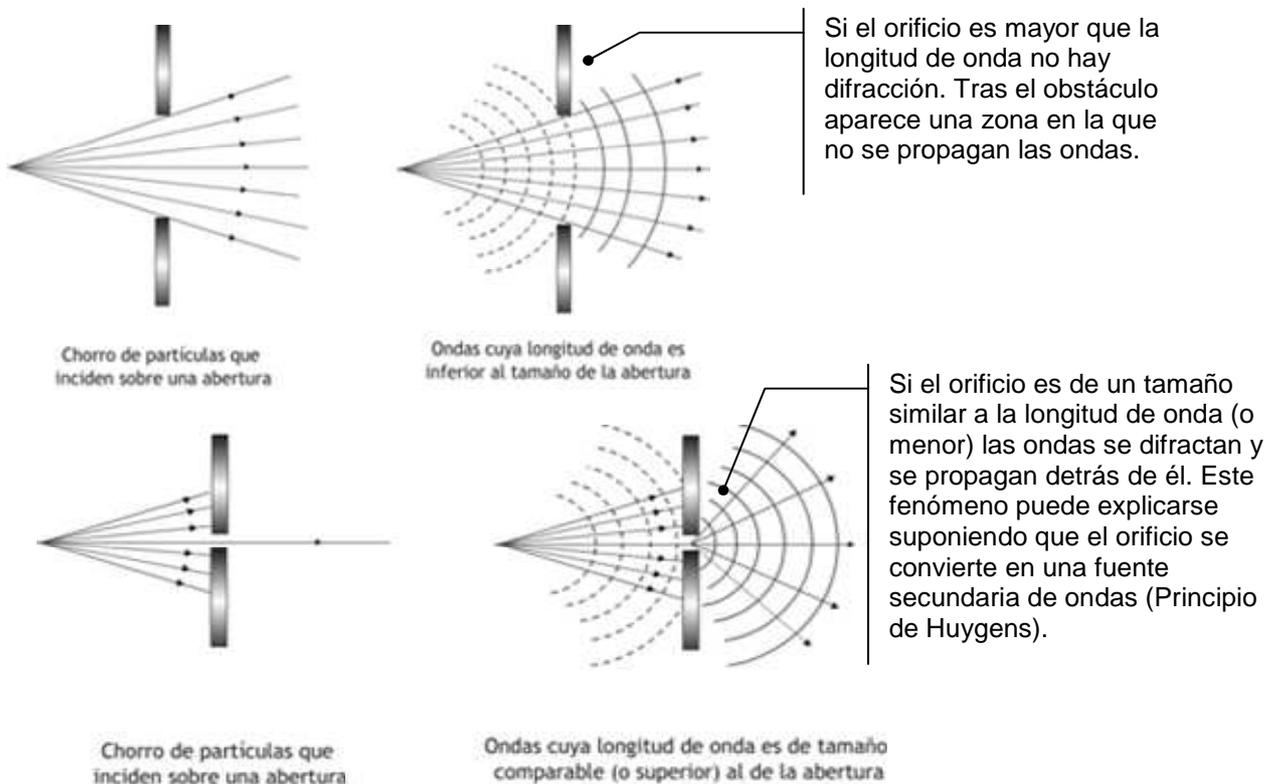
El modelo de Huygens fue perfeccionado posteriormente por Kirchhoff quien introdujo una descripción matemática más rigurosa.

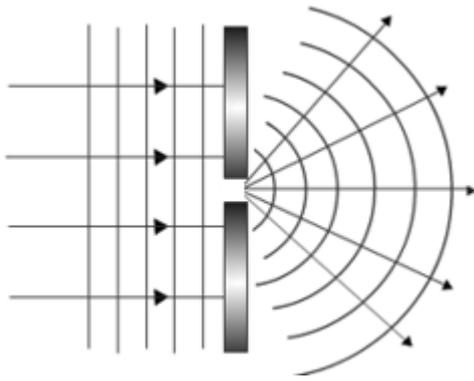


## Difracción de ondas.

**La difracción de las ondas constituye un fenómeno característico de éstas**, hasta el punto que fue usado como prueba de la naturaleza ondulatoria de los electrones.

La difracción tiene lugar cuando las ondas que se propagan encuentran un obstáculo, por ejemplo un orificio, cuyas dimensiones son del orden de la longitud de onda de las ondas incidentes. Las ondas se propagan entonces como si el orificio se convirtiera en un nuevo centro emisor y penetran tras el orificio en lo que debería de ser una "zona de sombra" si su comportamiento fuera como el de un chorro de partículas. Según Huygens este comportamiento puede explicarse si suponemos que el propio orificio se convierte en una fuente secundaria de ondas.

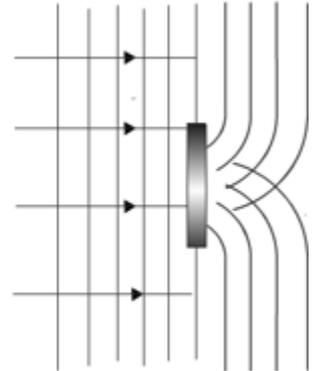
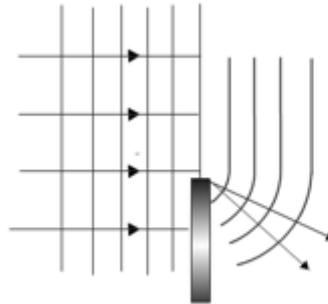




Si la onda incidente es plana la que emerge del orificio es una onda circular.

La onda difractada tiene la misma amplitud, frecuencia y longitud que la onda incidente.

A la derecha se muestra la difracción de un onda por un obstáculo interpuesto en su trayectoria. Los frentes de onda se curvan en sus bordes según lo predicho por el Principio de Huygens.

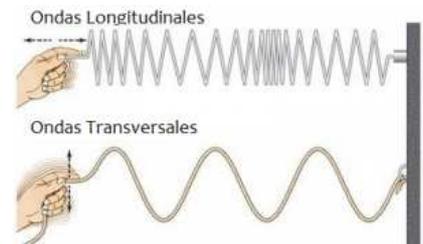


### Clasificación de las ondas según dirección de perturbación/propagación

En **las ondas transversales** la dirección en la que se produce la perturbación y la dirección en la que se propaga son perpendiculares. Son ejemplos de ondas transversales las ondas electromagnéticas, la onda que se transmite en una cuerda, las ondas en la superficie de un lago...etc

En las **ondas longitudinales** la dirección de perturbación y la de propagación es la misma.

**El sonido es una onda longitudinal.**



## Onda estacionaria

Las ondas estacionarias son aquellas ondas en las cuales, ciertos puntos de la onda llamados nodos, permanecen inmóviles.

Una **onda estacionaria** se forma por la interferencia de dos ondas de la misma naturaleza con igual amplitud, longitud de onda (o frecuencia) que avanzan en sentido opuesto a través de un medio.

Se producen cuando interfieren dos movimientos ondulatorios con la misma frecuencia, amplitud pero con diferente sentido, a lo largo de una línea con una diferencia de fase de media longitud de onda.

Las ondas estacionarias **permanecen confinadas en un espacio** (cuerda, tubo con aire, membrana, etc.). La amplitud de la oscilación para cada punto depende de su posición, la frecuencia es la misma para todos y coincide con la de las ondas que interfieren. Tiene puntos que no vibran (nodos), que permanecen inmóviles, estacionarios, mientras que otros (vientres o antinodos) lo hacen con una amplitud de vibración máxima, igual al doble de la de las ondas que interfieren, y con una energía máxima. El nombre de onda estacionaria proviene de la aparente inmovilidad de los nodos. La distancia que separa dos nodos o dos antinodos consecutivos es media longitud de onda.

Se puede considerar que las ondas estacionarias no son ondas de propagación sino los distintos modos de vibración de la cuerda, el tubo con aire, la membrana, etc. Para una cuerda, tubo, membrana, ... determinados, sólo hay ciertas frecuencias a las que se producen ondas estacionarias que se llaman frecuencias de resonancia. La más baja se denomina frecuencia fundamental, y las demás son múltiplos enteros de ella (doble, triple, ...).

Una onda estacionaria se puede formar por la suma de una onda y su onda reflejada sobre un mismo eje.(x o y)

Se pueden obtener por la suma de dos ondas atendiendo a la fórmula:

$$y_1 = A(\sin(kx + \omega t)) \quad y_2 = A(\sin(kx - \omega t))$$

$$y = y_1 + y_2 = A(\sin(kx + \omega t) + \sin(kx - \omega t))$$

Estas fórmulas nos da como resultado:  $y(x, t) = 2A \sin(kx) \cdot \cos(\omega t)$

### Ondas estacionarias en una cuerda

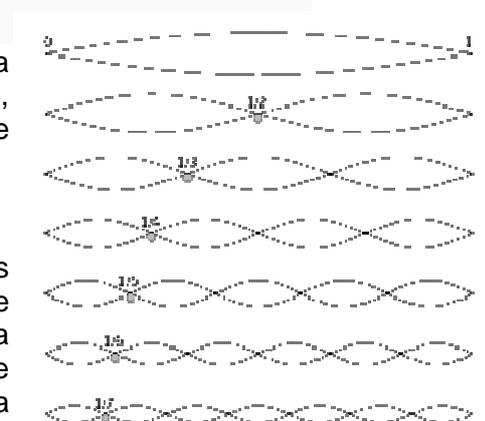
Modos normales de vibración en una cuerda.

La formación de ondas estacionarias en una cuerda se debe a la suma (combinación lineal) de infinitos modos de vibración, llamados modos normales, los cuales tienen una frecuencia de vibración dada por la siguiente expresión (para un modo n):

$$f_n = \frac{nv}{2L}$$

La frecuencia más baja para la que se observan ondas estacionarias en una cuerda de longitud L es la que corresponde a n = 1 en la ecuación de los nodos (vista anteriormente), que representa la distancia máxima posible entre dos nodos de una longitud dada. Ésta se denomina frecuencia fundamental, y cuando la cuerda vibra de este modo no se presentan nodos intermedios entre sus dos extremos. La siguiente posibilidad en la ecuación, el caso n = 2, se llama segundo armónico, y presenta un nodo intermedio.

$$\lambda_n = \frac{2L}{n}$$



## Efecto Doppler

El efecto Doppler, llamado así por el físico austriaco Christian Andreas Doppler, es el aparente cambio de frecuencia de una onda producida por el movimiento relativo de la fuente respecto a su observador. Doppler propuso este efecto en 1842.

En el caso de ondas sonoras se confirmó que el tono de un sonido emitido por una fuente que se aproxima al observador es más agudo que si la fuente se aleja.

Se descubrió independientemente el mismo fenómeno en el caso de ondas electromagnéticas. En el caso del espectro visible de la radiación electromagnética, si el objeto se aleja, su luz se desplaza a longitudes de onda más largas, desplazándose hacia el rojo. Si el objeto se acerca, su luz presenta una longitud de onda más corta, desplazándose hacia el azul. Esta desviación hacia el rojo o el azul es muy leve incluso para velocidades elevadas, como las velocidades relativas entre estrellas o entre galaxias, y el ojo humano no puede captarlo, solamente medirlo indirectamente utilizando instrumentos de precisión como espectrómetros. Si el objeto emisor se moviera a fracciones significativas de la velocidad de la luz, sí sería apreciable de forma directa la variación de longitud de onda.

Sin embargo hay ejemplos cotidianos de efecto Doppler en los que la velocidad a la que se mueve el objeto que emite las ondas es comparable a la velocidad de propagación de esas ondas. Por ejemplo, en una ambulancia se aprecie claramente el cambio del sonido de la sirena desde un tono más agudo a uno más grave, justo en el momento en que el vehículo pasa al lado del observador.



### Si se mueven la fuente y el observador o solo uno de los dos:

Si la fuente emite un sonido con una frecuencia  $f$  y velocidad  $v$ , la frecuencia captada por el observador se denomina frecuencia aparente  $f'$ .

$$f' = f \cdot \left( \frac{v \pm v_0}{v \mp v_f} \right)$$

Siendo  $v_0$  la velocidad del observador y  $v_f$  la velocidad de la fuente.

Si la fuente de sonido se aleja del observador en el denominador se aplica el signo +, pero si se acerca se aplica el signo -. Si el observador se aleja de la fuente en el numerador se aplica el signo -, pero si se aproxima se aplica el signo +.

Ejemplo: Un observador se mueve a una velocidad de 42 m/s hacia un trompetista en reposo. El trompetista está tocando (emitiendo) la nota La (440 Hz). ¿Qué frecuencia percibirá el observador, sabiendo que  $v_{\text{sonido}} = 340$  m/s

Solución: Si el observador se acerca hacia la fuente, implica que la velocidad con que percibirá cada frente de onda será mayor, por lo tanto la frecuencia aparente será mayor a la real (en reposo). Para que esto ocurra debemos aplicar el signo (+) en la ecuación:

$$f' = 440 \cdot \left( \frac{340 + 42}{340} \right) = 492,8 \text{ Hz}$$

En este caso particular, el trompetista emite la nota **La** a 440 Hz; sin embargo, el observador percibe una nota que vibra a una frecuencia de 494,353 Hz, que es la frecuencia perteneciente a la nota **Si**. Musicalmente hablando, el observador percibe el sonido con un tono más agudo del que se emite realmente.