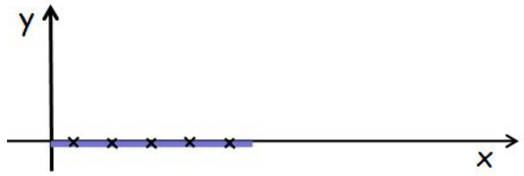
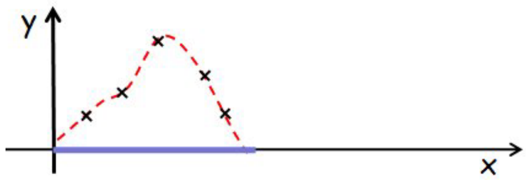


a) A partir del concepto de onda, tratemos de encontrar una descripción matemática que nos refleje el hecho de que una perturbación se propague en el espacio. Para ello, empecemos por considerar la descripción de “una perturbación”, esto es, de una deformación respecto a la posición de equilibrio de un punto material (o conjunto de puntos).

Llamaremos y=f(x) al valor de la magnitud física perturbada. En la situación de equilibrio (de todos los puntos del sistema) se tiene la condición de que:

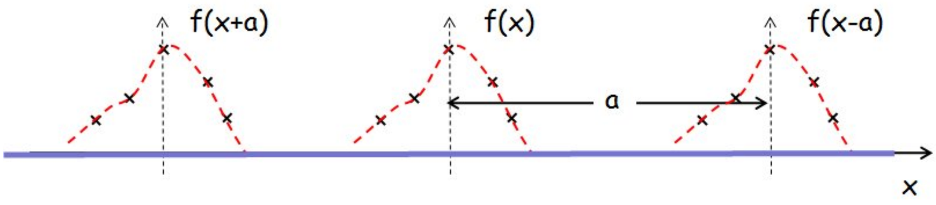
$$y = 0 \quad \forall x \Rightarrow y(x) = f(x) = 0 \quad \forall x$$



Al provocar una deformación, los puntos experimentan un “desplazamiento” (hay una magnitud y en cada punto que varía respecto a su valor de equilibrio). Así, tendremos lo que aparece en la figura. Ahora en cada punto la magnitud y toma valores distintos de cero, de forma que existe una cierta distribución de valores de y para cada x, es decir, tenemos una distribución y=f(x).

A mayores, consideremos ahora que esta perturbación se propaga. Así, la función y=f(x-a) representa una propagación de y en un cantidad a (+) hacia la derecha (el valor de la perturbación “y” en el punto x es el valor de aplicar la función f en el punto x-a). De la misma forma, y=f(x+a) representa una propagación de y en una cantidad a (+) hacia la izquierda.

Esta perturbación se propaga por el medio y, si el frente de onda es plano y la absorción despreciable, se reproduce en todos los puntos del medio que sean alcanzados por la perturbación. Nuestro objetivo es encontrar una función y=f(t) que nos describa la perturbación en un punto P de abscisa x.



Naturalmente, la perturbación empleará un cierto tiempo t en recorrer la distancia a con una velocidad v. Así, si la velocidad es constante tendremos que a=vt, y por tanto y=f(x–vt) representa una propagación que se desplaza hacia la derecha con una velocidad constante v, mientras que y=f(x+vt) representa una propagación que se desplaza hacia la izquierda con velocidad v constante. Por tanto, la descripción genérica de una onda que se propaga con velocidad v viene dada por:

$$y = f(x \pm vt)$$

que significa que en los sucesivos puntos del espacio existe una magnitud (y) que toma valores dados por una cierta función de x y de vt.

La velocidad de propagación de la onda es la velocidad a la que la perturbación atraviesa el medio físico. Es una velocidad constante y depende de las propiedades del medio.

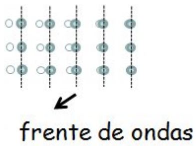
Para ondas longitudinales en una barra dicha velocidad es $\sqrt{\frac{E}{\rho}}$, si se trata de ondas transversales en una cuerda tensa es $\sqrt{\frac{T}{\mu}}$, y así dependiendo del medio de transmisión.

La velocidad de movimiento de las partículas del medio es la velocidad con que vibran las partículas en cada instante y en cada posición. Dicha velocidad no es constante, sino que depende del momento y de la posición en el espacio. Su cálculo sale evidentemente de la derivación de la ecuación de onda. En el caso de ondas armónicas, puesto que la posición de las partículas del medio es:

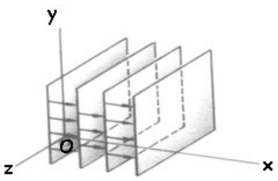
$$y = A\operatorname{sen}k(x - vt)$$

la velocidad de vibración será:

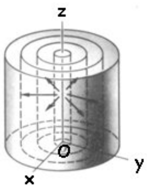
$$\dot{y} = \frac{dy}{dt} = -Akv\cos k(x-vt)$$



b) Se denomina superficie o frente de ondas al lugar geométrico determinado por los puntos del medio que son alcanzados simultáneamente por la perturbación y que, en consecuencia, en cualquier instante dado están en el mismo estado o fase de la perturbación.

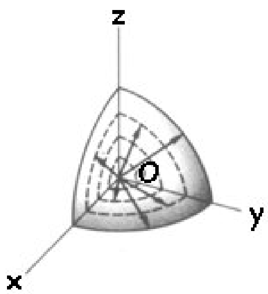


Los frentes de onda pueden tener formas muy diversas. Si las ondas se propagan en una sola dirección, los frentes de onda estarán constituidos por planos paralelos (ondas planas). En un instante dado, las condiciones son idénticas en todos los puntos de un plano cualquiera perpendicular a la dirección de propagación. Los frentes de onda son planos y los rayos son rectas paralelas.



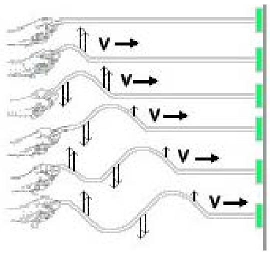
En la naturaleza encontramos ondas que se propagan en varias dimensiones del espacio, de las cuales las más interesantes son las cilíndricas y las esféricas.

Si imaginamos un conjunto infinito de fuentes puntuales uniformemente distribuidas sobre una línea recta o eje, todas ellas oscilando en fase, el resultado será una onda cilíndrica. Los frentes de onda serán superficies cilíndricas concéntricas a dicho eje y la onda se propagará en todas las direcciones perpendiculares al mismo eje. La onda cilíndrica es bidimensional. Una buena aproximación de esta situación la tenemos en las proximidades de una antena radiante.

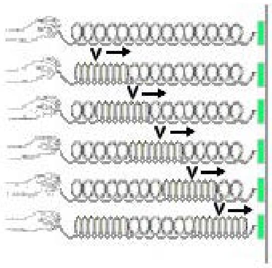


En el caso de las ondas esféricas, la perturbación se propaga con la misma velocidad en todas las direcciones del espacio, alejándose radialmente del punto que constituye el foco de las ondas. Como ejemplo, podemos imaginar una esfera de pequeñas dimensiones cuyo radio fluctúa periódicamente (esfera pulsante). En estas condiciones, los frentes de ondas están constituidos por superficies esféricas centradas en el foco y los rayos coinciden con las direcciones radiales. Estas ondas son tridimensionales y se generan, por ejemplo, cuando se produce repentinamente un cambio de presión en un punto de un fluido extenso.

c) Podemos distinguir diferentes tipos de ondas al considerar cómo están relacionados los movimientos de las partículas del medio material con respecto a la dirección de propagación de la onda misma. Si las oscilaciones de las partículas son perpendiculares a la dirección de propagación de la onda, tenemos una onda transversal. Por el contrario, si las partículas oscilan en la dirección en que se propaga la onda, tenemos una onda longitudinal.



Por ejemplo, imaginemos que a uno de los extremos de una cuerda tensa le aplicamos una sacudida transversal, como se muestra en la figura. La perturbación que experimenta dicho extremo no queda localizada en él, sino que avanza a lo largo de la cuerda, como se ilustra en las sucesivas imágenes. La perturbación se propaga a lo largo de la cuerda, pero los distintos elementos o porciones de la cuerda tan sólo se desplazan en dirección perpendicular a la cuerda, es decir, en dirección perpendicular a la de propagación de la perturbación, cuando la perturbación llega hasta ellos. Esta onda es transversal.



Un ejemplo de ondas longitudinales son las que se propagan en un muelle. Supongamos que súbitamente desplazamos el extremo del muelle hacia la derecha. Las partículas del resorte son obligadas a desplazarse hacia adelante, y la perturbación progresa a lo largo del resorte con una velocidad constante. El movimiento de cada partícula del resorte es hacia adelante, paralelo a la dirección en que se propaga la perturbación. Esta onda es longitudinal.