Laboratorio 2
Material para leer previamente a las clases

Segundo cuatrimestre 2024

Miercoles 8-14 h

22 de julio de 2024

Índice general

Capítulo 1

Introducción

1.1. Objetivo de este cuaderno

El material presentado en este cuadernillo es de lectura **obligatoria** y **previa a la clase** de laboratorio. Incluye conceptos aprendidos en Física 2 y conceptos sobre mediciones que veremos en este laboratorio. No pretende ser un repaso teórico exhaustivo y debe ser complementado con libros sobre ondas y óptica y técnicas de medición. Además se incorporan propuestas de mediciones o preguntas **para pensar antes de la clase**. Es decir, es una invitación a pensar en qué medir y cómo medir, pero no una guía de cómo hacerlo. Al inicio de cada clase discutiremos lo que ustedes pensaron respecto al material y sobre cómo hacer los experimentos. No se darán clases teóricas por lo que es **obligatorio** venir al laboratorio con el material leído. Conocer el material de este texto: ¿es necesario? ¡Sí! Los conceptos son fundamentales para entender ondas en distintos medios y entender bien los experimentos que estamos haciendo. ¿Es suficiente? ¡No! Siempre podemos aprender más si hacemos nuestras propias búsquedas. Se recomienda fuertemente leer la bibliografía.

Dado que utilizaremos el mismo material durante todo el semestre, deben elegir el par emisor-receptor cuyo número sea igual al número de tu cuarto y usar el mismo sistema durante todo el laboratorio.

1.2. Generalidades sobre ondas

En esta materia realizaremos experimentos empleando ondas de distintos tipos: ondas mecánicas transversales (vibraciones en cuerdas) y longitudinales (ondas acústicas), y ondas electromagnéticas transversales. Todas ellas satisfacen la ecuación de ondas (por simplicidad aquí tomamos el caso unidimensional). La ecuación de ondas unidimensional para un medio lineal, isótropo y homogéneo, está dada por

$$\frac{\partial^2 \Psi(x,t)}{\partial t^2} = v^2 \frac{\partial^2 \Psi(x,t)}{\partial x^2}, \tag{1.1}$$

donde $\Psi(x,t)$ representa a la perturbación en el espacio (desplazamiento longitudinal de partículas en un gas o líquido, presión o densidad para el caso de ondas acústicas en aire, desplazamiento transversal en una cuerda o campo electromagnético para el caso de la luz), x es la coordenada espacial y t el tiempo. La velocidad de propagación de las ondas (v) depende de las características del medio en que estas se propaguen y del tipo de onda. En la tabla 1.1 se observa la dependencia de la velocidad de propagación para las ondas que serán estudiadas en este laboratorio.

mecánicas	**Cuerdas** Ondas de desplazamiento (transversales)	$v = \sqrt{\frac{T}{\mu}}$	**T** tensión [N] μ densidad lineal [kg/m]
mecánicas	**Acústicas** Ondas de presión, densidad (longitudinales)	**Gases y líquidos** $v = \sqrt{\frac{K}{\rho}}$ Gases: $K = \gamma P$	**K** módulo de compresibilidad [Pa] ρ densidad [kg/m^3] γ, coeficiente de dilatación adiabática P, presión del gas [Pa]
mecánicas		**Sólidos** $v = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$	E, módulo de Young [Pa] ρ, densidad [kg/m^3]
electromagnéticas	**Campo electromagnético:**	$v = \frac{c}{\eta}$	η índice de refracción $c = 3 \times 10^8 \frac{m}{s}$ velocidad de la luz en vacío

Tabla 1.1: Velocidad de propagación para ondas mecánicas que se propagan en distintos medios y ondas electromagnéticas.

Una posible solución de la ecuación de ondas es una onda que se propaga hacia la derecha ($x > 0$) y puede escribirse como

$$\Psi_+(x,t) = A\,\cos(kx - \omega t + \varphi_A), \tag{1.2}$$

en donde A es la amplitud, φ_A una fase inicial, ω es la frecuencia y k el número de onda. También se puede usar la notación compleja para escribir a la función de onda

$$\Psi_+(x,t) = A\,e^{-i(kx-\omega t+\varphi_A)}, \tag{1.3}$$

lo que hace más fácil realizar ciertas operaciones, pero el verdadero significado físico lo tiene la parte real. Además podemos definir a la fase de la onda como

$$\Phi_+(x,t) = kx - \omega t + \varphi_A. \tag{1.4}$$

Análogamente, la onda que se propaga hacia la izquierda ($x < 0$) también es solución de la ecuación de ondas, y puede escribirse como

$$\Psi_-(x,t) = B\ \cos(kx + \omega t + \varphi_A). \tag{1.5}$$

Supongamos que tomamos una foto instantánea de la onda, de modo que observamos la dependencia con la coordenada espacial como se muestra en la figura 2.6. La amplitud de la onda es la distancia entre la cresta y el valor cero de $\Psi(x,t)$. La fase inicial φ_A corresponde al valor de fase del primer máximo, es decir, a cuánto se desplaza el primer máximo respecto a la función patrón $cos(kx)$. La longitud de onda, λ, es la distancia en que la onda cubre un ciclo completo, y es además la distancia entre dos puntos idénticos en fase, es decir, puntos en el espacio en que la onda tiene igual amplitud y pendiente. Observar que no es necesario comenzar a medirla desde un máximo. Podría medirse desde cualquier punto en la onda, hasta el siguiente punto de igual fase. El número de onda está relacionado con la longitud de onda como $k = 2\pi/\lambda$.

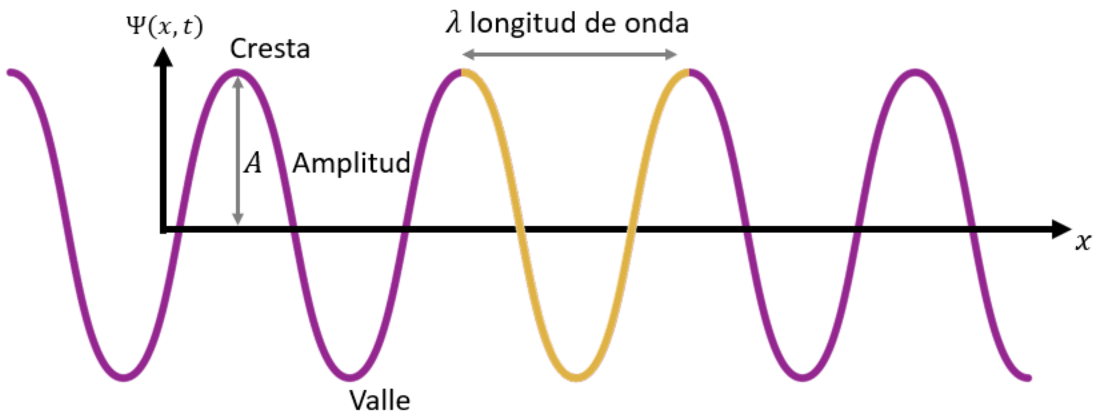

Figura 1.1: Propagación en el espacio de la onda para un tiempo t.

Análogamente, podemos pararnos en un punto del espacio y medir la evolución temporal de la onda, como se muestra en la figura 1.2. De esta forma podemos definir el período τ (cuándo dura un ciclo completo o el tiempo en que la fase tarda en tomar el mismo valor), la frecuencia $\nu = 1/\tau$ (número de oscilaciones por segundo) y la frecuencia angular $\omega = 2\pi\nu$.

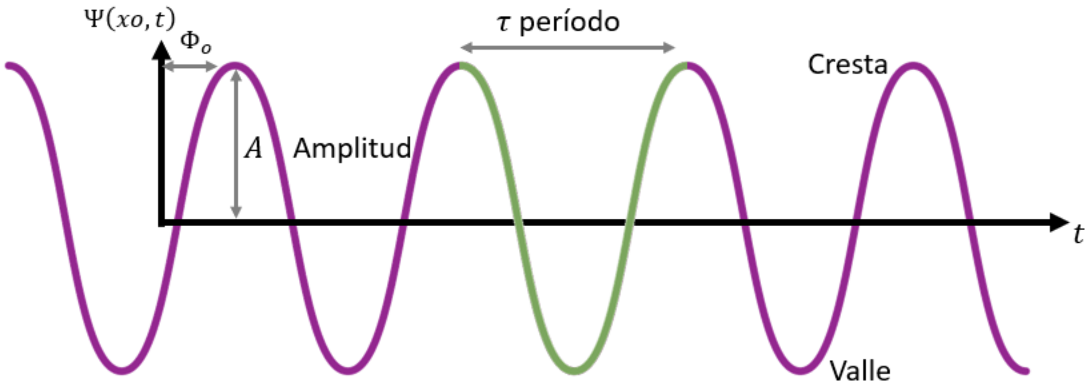

Figura 1.2: Propagación de la onda en un punto del espacio x_o.

Consideremos la relación entre las propiedades espaciales y temporales. Una manera sencilla de explorar esta conexión es sustituir la solución de la ecuación 1.5 en la ecuación de ondas. Esto nos permite obtener la relación de dispersión de las ondas, que en el caso de un medio no dispersivo (v independiente de ω), es lineal:

$$\omega = vk. \tag{1.6}$$

¿Qué implica que la relación entre ω y k sea lineal? En una primera lectura podemos decir que todas las ondas, independientemente de su frecuencia, se propagan con la misma velocidad. Esto es especialmente importante porque significa que si tengo un paquete de ondas (superposición de ondas de distintas frecuencias) en un medio, este se propaga sin deformarse. A los fines prácticos esto es relevante, por ejemplo, porque puedo transmitir información y no perderla.

Supongamos entonces que ahora observamos una onda monocromática (es decir con una única frecuencia) propagándose y tomamos dos fotos en los tiempos $t = 0s$ y $t = 1s$. Considerando el esquema de la figura 1.3, y que la frecuencia es el número de veces que la onda pasa por un mismo punto en el espacio por segundo, diríamos que la onda que estamos observando tiene una frecuencia $f = 1{,}75Hz$. Si la onda se propaga con velocidad v, la distancia que recorre la onda en $1s$ es $d = v\,t = v\,1s$. El número de ciclos de la onda que hay en esa distancia es d/λ, que es igual al número de ciclos de la onda que pasan por el punto del espacio indicado con línea entrecortada; es decir,

$$f = \frac{d}{\lambda} = \frac{v\,t}{\lambda} = \frac{v\,1s}{\lambda}. \tag{1.7}$$

Entonces,

$$f = \frac{v}{\lambda} \to \omega = vk. \tag{1.8}$$

Esto indica que en un período de oscilación τ la onda se propaga una longitud de onda. Hallamos la relación de dispersión solamente suponiendo que la velocidad de propagación es constante.

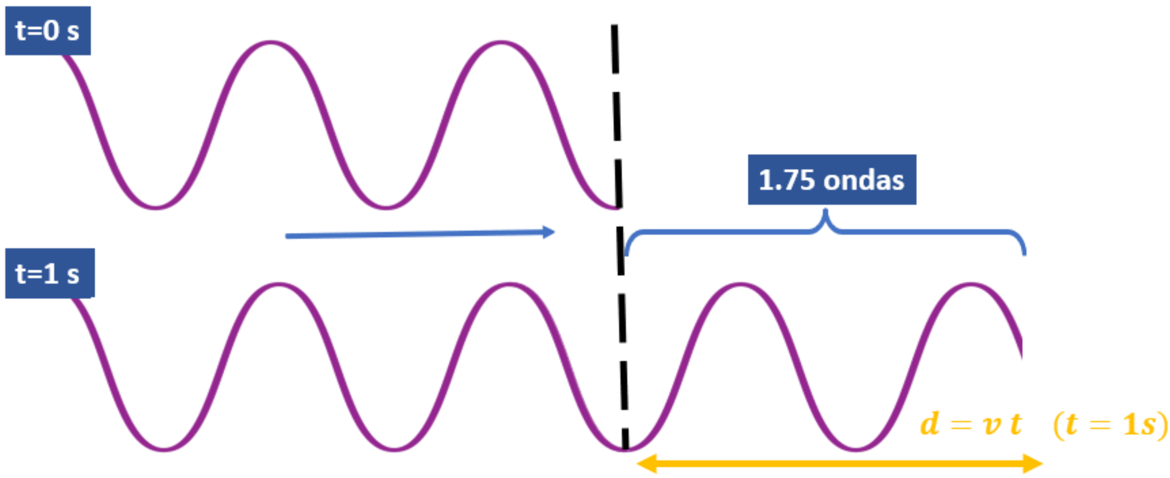

Figura 1.3: Propagación de una onda monocromática vista en los tiempos $t = 0$ s y $t = 1$ s.

Debido a que la ecuación de ondas es lineal, es válido el principio de superposición. Por lo tanto, la solución más general es una suma de ondas como la de la expresión 1.5 con distintas frecuencias, fases y amplitudes.

$$\Psi(x,t) = \Sigma_k[A_k \cos(kx - \omega t + \varphi_{A,k}) + B_k \cos(kx + \omega t + \varphi_{B,k})] \tag{1.9}$$

Recordar que los valores de A_k, B_k, $\varphi_{A,k}$ y $\varphi_{B,k}$ se determinan a partir de las condiciones iniciales, y que cuando las ondas se propagan en medios confinados los valores de k (y por lo tanto ω) se discretizan (solo algunas ondas pueden propagarse en el medio confinado).

1.3. Guía de lectura

Se completará esta tabla a lo largo del cuatrimestre

Clase	Lectura previa	Lectura posterior
Clase 1: Caracterización de respuesta en frecuencia y linealidad de par emisor receptor piezoeléctrico	Capítulo 1: introducción Capitulo 2 Secciones: hasta 2.2	Capítulo 2 Secciones: 2.2 y 2.3
Clase 2: Decaimiento de la amplitud con la distancia Longitud de onda	Capítulo 2 Secciones: 2.4	
Clase 3: Interferencia de Ondas de ultrasonido	Capítulo 2 Secciones 2.5, 2.6	Capítulo 3
Clase 4 y 5: Ondas estacionarias	Capítulo 4	
Clase 6: Composición de ondas	Capítulo 5 (como mínimo hasta la sección 5.4)	Lo que haya quedado del capítulo
Clase 7: Caracterización de un láser-polarización	Capitulo 6 (como mínimo secciones 6.1 y 6.2	Lo que haya quedado del capítulo
Clase 8 Difracción	Capítulo 7 (como mínimo secciones 7.1 y 7.2)	Lo que haya quedado del capítulo
Clase 8 Lentes	Capitulo 8	