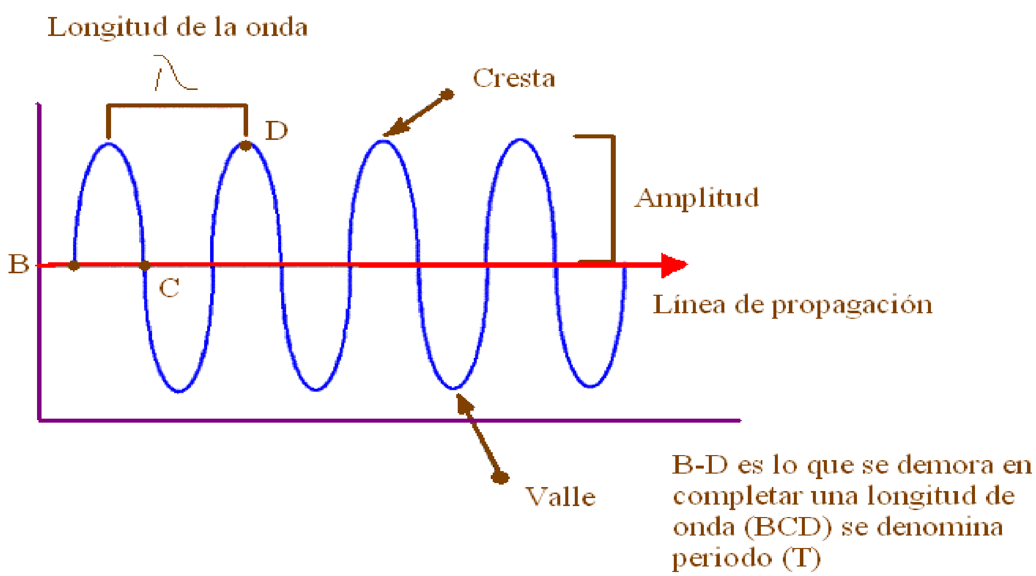
Guía Ejercicios Movimiento Ondulatorio.

Conceptos Previos



$v = \frac{\lambda}{T}$ (m/s) , f=$\frac{1}{T}$ (Parte del ciclo que completa la onda en 1 s)

$$f = \frac{n^{\underline{o}}\ de\ oscilaciones\ o\ perturbaciones}{intervalo\ de\ tiempo}$$

Ondas en dos dimensiones:

Cuando se percute intermitentemente un punto en la superficie de un liquido en reposo , una onda constituida por pulsos circulares se propaga en dicha superficie a partir del punto de perturbación , de manera similar podemos producir pulsos rectos , si golpeamos periódicamente la superficie del liquido con una regla o varilla.

Una perturbación en un líquido, como en una cuerda, se propaga de acuerdo a las siguientes condiciones:

1.- La velocidad de propagación V, de la onda en la superficie de un liquido, depende del medio, de su elasticidad, que se mide por el Módulo de Young (β)y de la densidad (ρ) del mismo.

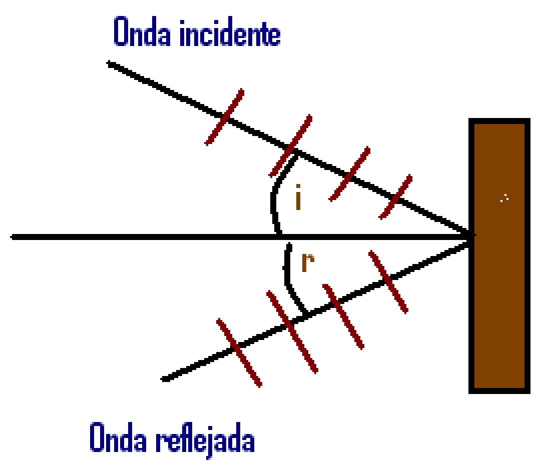
$V = \sqrt{\frac{\beta}{\rho}}$ ***Donde : β Corresponde al módulo de Young, que de alguna manera mide la elasticidad del líquido y ρ corresponde a la densidad del mismo***

2.-La distancia entre dos crestas sucesivas es la longitud de onda.

3.-En el caso del sonido que se propaga en un liquido, se comporta como cualquier onda mecánica, propagándose en un fluido.

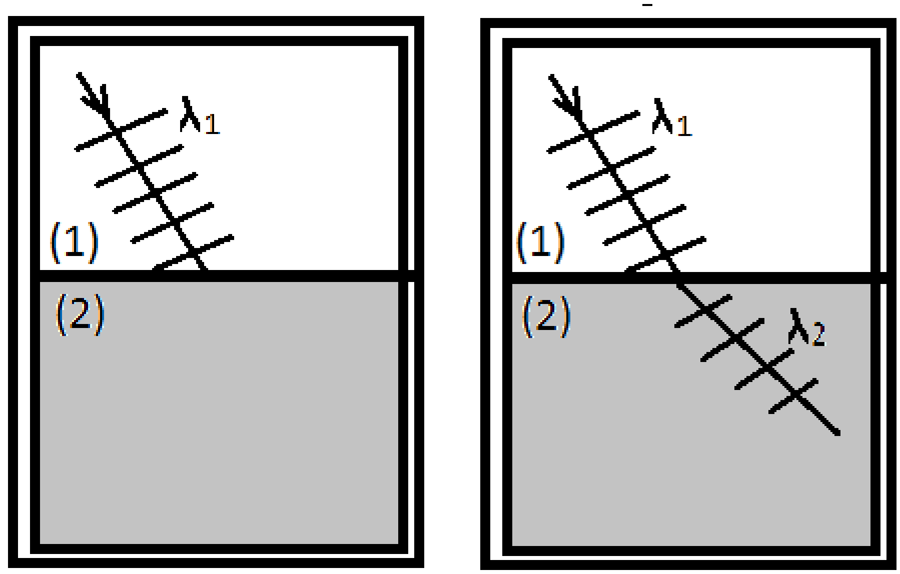
.

Reflexión de onda: las ondas mecánicas y también las electromagnéticas, que se propagan por un mismo medio, cuando se encuentran con un obstáculo se reflejan con el mismo ángulo de incidencia:



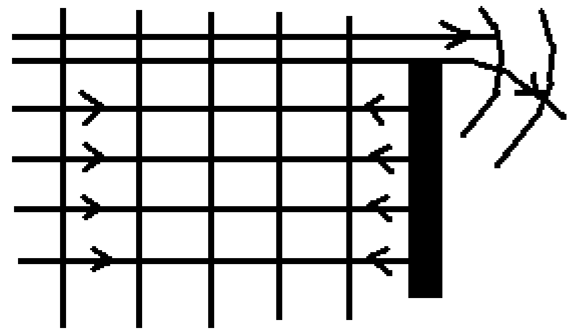
Refracción de una onda:

El hecho que una onda se refleje y se refracte obedeciendo las mismas leyes observadas en la reflexión y refracción de la luz, nos lleva a suponer que la luz es un fenómeno ondulatorio



Una onda que se propaga en la superficie de un liquido, en una región (1) y con una velocidad V , incide en la línea de separación de esta y otra región (2) , en la cual la velocidad de propagación es V} . En este caso V´ >V

Difracción de una onda. Consideremos que una onda que se propaga en la superficie de un líquido encuentra una barrera que interrumpe la propagación de una parte de dicha onda, como se indica en la fig. . se observa entonces un hecho curioso: la parte de la onda que no se interrumpió no conserva su dirección inicial de propagación, pues los pulsos al pasar por la barrera, rodean, al obstáculo en la forma indicada. Cuando esto sucede decimos que hay difracción de la onda alrededor del obstáculo. Así pues,

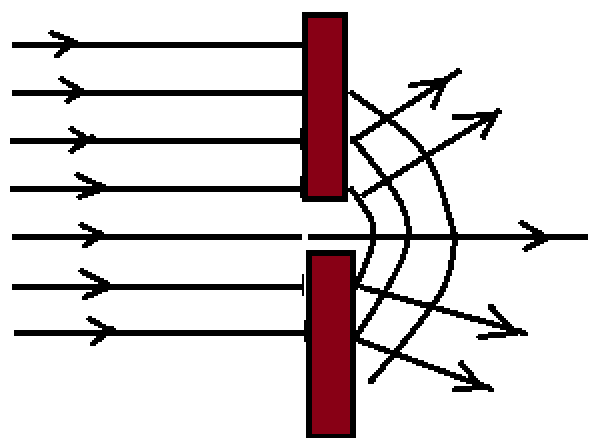


La difracción es la propiedad que posee una onda de rodear un obstáculo al ser interrumpida su propagación parcialmente por é

La difracción es un fenómeno que ocurre con cualquier tipo de onda

Difracción por un orificio. Imagínese ahora que una onda se propaga en la dirección a un orificio o abertura situada entre dos barreras. En este caso la difracción es muy notable.

Es posible acentuar la difracción de una onda a través de un orificio, si aumentamos su longitud de onda o disminuimos el tamaño de dicho orificio..

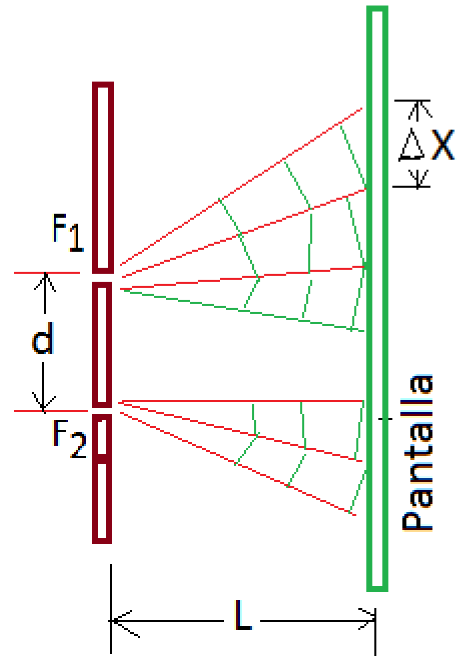


La luz es un movimiento ondulatorio cuya longitud de onda es muy pequeña y en consecuencia experimenta todos los fenómenos como cualquier otra onda.

Como cualquier onda, forma también figuras de interferencia. .

Interferencia con la luz.

Thomas Young. Medico y físico inglés, conocido sobre todo por el hecho de haber logrado obtener la interferencia de las ondas de la luz. Se dice que fue un niño prodigio, que aprendió a leer a los dos años de edad, y que a los cuatro ya había leído la biblia dos veces. Mientras ejercía la medicina en Londres, logro explicar el fenómeno de la acomodación visual y la causa del estigmatismo, y así empezó a interesarse en el estudio de los fenómenos luminosos. Fue el primero en proponer que las ondas luminosas debían ser transversales y no longitudinales, como creían otros científicos. Además de sus trabajos en el campo de la física, se destacó como egiptólogo, habiendo contribuido en forma decisiva al desciframiento de la antigua escritura de los egipcios (con jeroglíficos)



El experimento de

El experimento de Young.

Young, descubrió una forma muy sencilla de obtener dos fuentes de luz en fase, en estas condiciones la superposición de las ondas emitidas por los focos en fase de lugar en la pantalla a una figura de interferencia, que se expresa en regiones claras y oscuras alternadas. Las regiones oscuras corresponden a las zonas nodales de la figura de interferencia, es decir aquellas donde las ondas luminosas se interfieren destructivamente. Las regiones claras son las alcanzadas por las crestas dobles y los valles dobles, o sea, zonas de intensificación donde las ondas luminosas se interfieren constructivamente.(franjas de interferencias)

El éxito de éste experimento demostró la posibilidad de obtener un efecto de interferencia con la luz, tuvo una gran repercusión entre los científicos a principio del siglo pasado, pues vino a establecer, de manera prácticamente definitiva, que la luz es un fenómeno ondulatorio.

Color y longitud de onda. Al repetir su experimento con luces de diferentes colores, Young encontró que la separación entre las franjas de interferencias variaba conforme el color utilizado. Se puede incluso establecer la siguiente relación entre los elementos de separación:

$$\Delta X = L\frac{\lambda}{d}$$

Donde d es la separación entre las fuentes $F_1\ y\ F_2$ y L es la distancia de dichas fuentes a la pantalla. Entonces como a cada color corresponde un color distinto de ΔX , Young concluyo que:

“a cada color corresponde una longitud de onda λ diferente”

Longitud de onda correspondiente a cada color en el aire

color	λ (m)
Rojo	$6.5x10^{-7}$
Amarillo	$5.7x10^{-7}$
Verde	$5.4x10^{-7}$
Azul	$4.8x10^{-7}$
Violeta	$4.5x10^{-7}$

Resumiendo algunos conceptos:

♦ Una onda es una perturbación que se produce en un medio. (aire, agua, etc)

♦ Una onda es propagación de energía

♦ En una onda se distinguen los siguientes elementos:

Preguntas para aclarar conceptos:

Las preguntas siguientes se elaboraron para que repase los puntos más importantes abordados en este capítulo. Al resolverlas acuda al texto siempre que tenga una duda.

1. a) Cite ejemplos de movimientos vibratorios que ya tuvo oportunidad de observar.

b) Describa lo que sucede con el valor de la velocidad de un cuerpo en movimiento armónico simple, mientras se efectúa un ciclo.

c) Haga lo mismo para el valor de la aceleración y el de la fuerza que actúa en el cuerpo

2. En el caso de un cuerpo en movimiento vibratorio diga qué es:

a) Un ciclo (o vibración completa). b) La amplitud del movimiento.

c) El periodo y la frecuencia, y cómo están relacionados estas cantidades.

d) Un hertz.

3. a) Escriba la ecuación que permite calcular el periodo del movimiento armónico simple. Explique el significado de cada uno de los símbolos que aparecen en ella.

b) Haga lo mismo para la ecuación que permite calcular el periodo de oscilación del péndulo simple.

4. a) Describa el movimiento de un punto de una cuerda a medida que la cuerda y el valle de una onda pasan por él.

b) La frecuencia de vibración de este punto, ¿Es mayor, menor o igual a la frecuencia de la fuente que produjo la onda?

c) Explique qué es una onda transversal y qué una onda longitudinal.

5. a) ¿Qué es longitud de onda?

b) Escriba la relación entre la longitud de onda (**λ**)**,** la velocidad de propagación (*v*) y la frecuencia (*f*) de una onda.

c) Cuando una onda pasa de un medio a otro, diga si las cantidades de **λ, *v* y** *f* varían o permanecen constantes.

6. a) Trace un croquis que represente las crestas y los rayos de una onda de pulsos rectos (en la superficie de un líquido). Haga lo mismo para una onda de pulsos circulares.

b) Explique por qué el fenómeno de reflexión de una onda llevó a los físicos a sospechar que la luz debería ser un movimiento ondulatorio.

7. a) Haga un diagrama que muestre la refracción de una onda de pulsos rectos al pasar en forma oblicua de un medio (1) a un medio (2), tal que $v_2 < v_1$

b) Repita el diagrama suponiendo que $v_2 > v_1$

c) Analizando la Figura 17-16 explique, con sus propias palabras, por qué la onda cambia de dirección (se refracta) al pasar del medio (1) al medio (2).

d) ¿Una onda, al refractarse, obedece las mismas leyes de la refracción de la luz?

8. a) Haga un dibujo que muestre la difracción de una onda alrededor de un obstáculo y al pasar a través de un orificio.

b) ¿Cuáles son los factores que hacen que la difracción de una onda a través de un orificio, sea más o menos acentuada?

c) Explique por qué el fenómeno de difracción nos lleva a concluir que la luz es un movimiento ondulatorio con una longitud de onda muy pequeña.

9. a) En la fotografía de la Figura 17-27, indique dónde se localizan las líneas nodales, y dónde las regiones en que existen crestas y valles propagándose.

b) Explique en qué condiciones sucederá en un punto una interferencia destructiva. ¿Y una interferencia constructiva?

c) Indique en qué regiones de la Figura 14-27, la interferencia fue destructiva y en cuáles fue constructiva.

10. a) Describa someramente el experimento realizado por Young, con el cual consiguió obtener interferencia en la luz.

b) Explique por qué el experimento de Young tuvo una gran repercusión a principios del siglo pasado.

c) La relación $\Delta x = l\, \lambda/d$ se presentó en la Sección 17.6 cuando analizamos el experimento de Young. Explique el significado de cada símbolo que aparece en ella.

d) Explique cómo llegó Young a la conclusión de que a cada color le corresponde una λ diferente.

e) ¿Por qué es más adecuado caracterizar el color de un haz luminoso monocromático por su frecuencia y no por su longitud de onda?

11. a) ¿El sonido es una onda transversal o longitudinal?

b) ¿Una onda sonora se propaga en el vacío?

c) ¿Cuáles son, aproximadamente, el menor y el mayor valor de las frecuencias que puede percibir el oído humano?

d) ¿Qué es un infrasonido? ¿Y un ultrasonido?

12. a) Explique, mediante ejemplos, qué es la intensidad del sonido. ¿Qué magnitud de la onda sonora se relaciona con su intensidad?

b) Explique, mediante ejemplos, qué es un sonido grave y qué es un sonido agudo. ¿Cuál es la magnitud de la onda sonora que determina si un sonido es grave o agudo?

c) Explique, mediante ejemplos, qué es el timbre de un sonido. ¿Cuál es la característica de la onda sonora que determina su timbre?

Ondas sonoras:

Velocidad de una onda transversal

Consideremos un hilo perfectamente flexible (ver figura anterior) . en la posición de equilibrio la tensión F , y la densidad de la masa lineal (masa por unidad de longitud) es μ (Cuando partes de hilo están desplazadas respecto del equilibrio , la mas apor unidad de longitud disminuye un poco y la tensión aumenta un poco). Ignoramos el peso del hilo, de modo que cuando el hilo este en reposo en la posición de equilibrio forme una línea perfectamente recta como en la figura adjunta

Comenzando en el instante t=0 aplicamos una fuerza transversal constante F_y y al extremo izquierdo del hilo. Podríamos esperar que el extremo se moviera con una aceleración constante; eso sucedería si a la fuerza se aplicara a una masa puntual. Aquí, el efecto de la fuerza F_y es poner sucesivamente más y más masa en cada movimiento. Como se muestra en la figura, la onda viaja con una rapidez constante V , así que el punto de división P entre las porciones en movimiento y estáticas se mueve con la misma rapidez constante V.

La figura muestra que todas las partículas de la parte del hilo en movimiento se mueven hacia arriba con velocidad constante V_y, no aceleración constante. Para entender esto observamos que el impulso de la fueraF_y hasta el instante t es F_yt. Según el según el teorema del impulso-cantidad de movimiento, el impulso es igual al cambio en la componente trasversal total de la cantidad de movimiento (mV_y − 0 de la parte del hilo en movimiento).Dado que el sistema empezó sin cantidad de movimiento trasversal, esto es igual a la cantidad de movimiento total en el instante t:

$$F_y \text{t.} = mV_y$$

Así, la cantidad d movimiento total debe aumentar proporcionalmente con el tiempo.Sin embargo, dado que el punto de división P se mueve con una rapidez constante, la longitud del hilo que esta en movimiento y, por tanto, la masa total m en movimiento también son proporcionales al tiempo t durante el cual la fuerza ha estado actuando. Por tanto, el cambio de cantidad de movimiento debe estar asociado únicamente a la cantidad creciente de masa en movimiento, no a una velocidad creciente de un elemento de masa individual. Es decir, m∨y cambia porque cambia m, no ∨y.

En el instante t, el extremo izquierdo del hilo ha subido una distancia V_yt.y el punto de frontera P ha avanzado una distancia Vt. La fuerza total en el extremo izquierdo del hilo tiene componentes F y F_y.¿Por que F? No hay movimiento en la dirección a lo largo del hilo, Así que no hay ninguna fuerza horizontal no compensada. Por tanto F, la magnitud de la componente horizontal, no cambia cuando el hilo se desplaza. En la posición desplaza la tensión es (F^2 mas F_y.^{2} y) ½ (mayor que F), y el hilo se estira un poco.

Para deducir una expresión para la rapidez de la onda υ, aplicamos otra vez el teorema del impulso-cantidad de movimiento a la parte del hilo en movimiento en el estante t, es decir, la parte a la izquierda de P en la Fig.19-7b. El impulso transversal (fuerza transversal multiplicada por el tiempo) es igual al cambio de cantidad de movimiento transversal de la parte en movimiento (masa multiplicada por el componente transversal de la velocidad). El impulso de la fuerza transversa lF_y. en el instante t esF_yt. . En la figura, el triangulo rectángulo cuyo vértice esta en P, con catetos V_yt y Vt, es semejante al triangulo cuyo vértice esta en la posición de la mano, con catetos F_y y F. Por tanto.

$$\frac{F_y}{F} = \frac{V_y t}{V t}$$

De donde: $F_y = F\frac{V_y}{V}$

de donde , el impulso transversal esta dado por: $F_y t = F\frac{V_y}{V}t$

La masa de la parte en movimiento del hilo es el producto de la masa por unidad de longitud µ y la longitud Vt, o sea µVt. La cantidad de movimiento transversal es el producto de esta masa y la velocidad transversal V_y

Cantidad de movimiento transversal= (µVt) V_y

Observamos una vez mas que la cantidad de movimiento aumenta con el tiempo no porque la masa se mueva con mayor rapidez, como solía suceder en el Cap.8, sino porque mas masa se esta poniendo en movimiento. No obstante, el impulso de la fuerza Fγ sigue siendo igual al cambio total de cantidad de movimiento del sistema. Aplicando esta relación, obtenemos.

$$F\frac{V_y}{V}t = \mu V t V_y$$

Despejando V, tenemos: $V = \sqrt{\frac{F}{\mu}}$

La ecuación anterior confirma nuestra predicción de que la rapidez de una onda V debe aumentar al aumentar la tensión F, pero disminuir cuando la masa por unidad de longitud μ disminuye.

Observe que V_y no aparece en la; por tanto, la rapidez de la onda no depende de. V_y Nuestro cálculo considero solo un tipo muy especial de pulso, pero podemos considerar cualquier forma de perturbación ondulatoria como una serie de pulsos con diferentes valores de V_y. Así, aunque dedujimos la ecuación para un caso especial, es valida para cualquier movimiento ondulatorio transversal en un hilo, incluidas la onda senoidal y las otras ondas periódicas. Observe que la rapidez de la onda no depende de la amplitud ni la frecuencia de la onda, concordancia con nuestros supuestos

Velocidad de una onda longitudinal

Las velocidades de propagación de las ondas longitudinales y transversales dependen de las propiedades mecánicas del medio. Podemos deducir relaciones para las ondas longitudinales análogas a la Ec. (19-13) para ondas transversales en un hilo al igual que en la explicación de la función de onda de la Sec. 19-4, x es la coordenada medida a lo largo del medio de la onda, pero en una onda longitudinal el desplazamiento y tiene la misma dirección que la onda, en lugar de ser perpendicular como en una onda transversal.

He aquí una deducción de la rapidez de una onda longitudinal en un fluido en un tubo. Este tema es importante, ya que cuando la frecuencia de una onda longitudinal esta dentro del intervalo que capta el oído humano la llamamos sonido. Todos los instrumentos musicales de viento son básicamente tubos en los que una onda longitudinal (sonido) se propaga en un fluido (aire). La voz funciona con el mismo principio; las ondas sonoras se propagan en el tracto vocal, que es básicamente un tubo lleno de aire conectado a los pulmones en un extremo (la laringe) y el aire exterior en el otro (la boca). Los pasos de nuestra deducción son paralelos a los de la Ec.(19-13) e invitamos al lector a comparar las dos. La fig 19-10 muestra un fluido (líquido o gas) con densidad ρ

En un tubo con área transversal A. En el estado de equilibrio, el fluido esta sometido a una presión uniforme p. En la Fig.19-10a el fluido esta en reposo. En el instante t=0 el pistón del extremo izquierdo comienza a moverse hacia la derecha con una rapidez constante v_y. Esto inicia un movimiento ondulatorio que viaja a la derecha a lo largo del tubo, donde secciones sucesivas de fluido comienzan a moverse y a comprimirse en instantes sucesivamente posteriores.

La Fig. 19-10b muestra el fluido en el instante t. Todas las porciones a la izquierda de P se mueven a la derecha con rapidez V_y, y todas las porciones a la derecha están aun en reposo. La frontera entre las porciones en movimiento y estacionarias viaja a la derecha con una rapidez igual a la rapidez de propagación o rapidez de la onda V. En t el pistón se ha movido a una distancia V_y t y la frontera ha avanzado una distancia Vt. Al igual que con las alteraciones transversales en un hilo, podemos calcular la rapidez de propagación a partir del teorema del impulso-cantidad de movimiento.

La cantidad de fluido puesta en movimiento en el tiempo t es la cantidad que originalmente ocupaba una sección del cilindro con longitud Vt, área transversal A y volumen VtA. La masa de este es ***pV***tA, y su cantidad de movimiento longitudinal (a lo largo del tubo) es.

Cantidad de movimiento longitudinal= (***pV***tA)V_y.

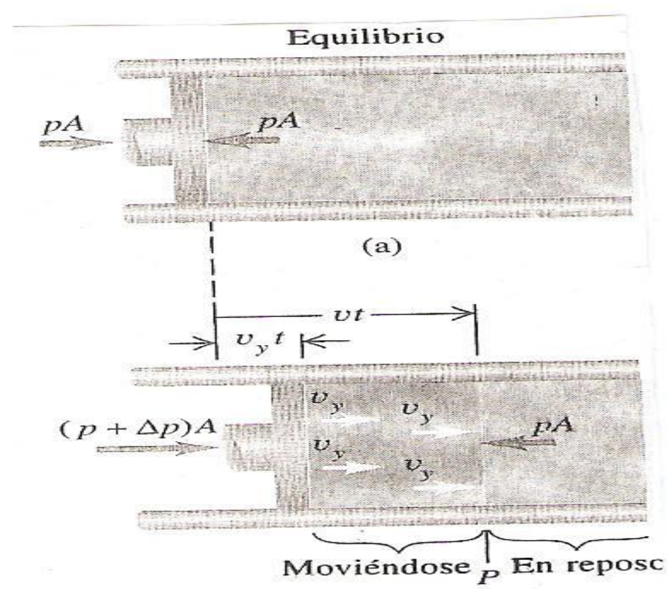
Ahora al calculamos el aumento de presión, triangulo p, en el fluido en movimiento. El volumen original de este fluido, Avt, disminuyo en una cantidad AV_yt. Por la definición del modulo de volumen B, Esc. (11-13) de la Sec.11-6,

$$B=\frac{-Cambio\ de\ Presión}{Cambio\ fraccionario\ de\ Volumen} = \frac{-\Delta p}{-AV_y\, t/AVt}$$

$$\Delta p = B\frac{V_y}{V}$$

La presión en el fluido en movimiento es p+Δp , y la fuerza ejercida sobre el por el pistón es (p+Δp)A. la fuerza neta sobre el fluido en movimiento es ΔpA en consecuencia , el impulso longitudinal es :

ΔpAt= $B\frac{V_y}{V}At$



19-10 Propagación de una onda longitudinal en un fluido confinado en un tubo. (a) Fluido en equilibrio (b) Parte del fluido en movimiento. La fuerza neta sobre este fluido esta hacia la izquierda e igual:

ΔpAt= $B\frac{V_y}{V}At$

Dado que el fluido en reposo en t = 0, el cambio de cantidad de movimiento hasta el instante t es igual a la cantidad de movimiento en t. Aplicando el teorema del impulso-cantidad de movimiento, vemos que

$B\frac{V_y}{V}At$ = ρVtAV_y

υ

Si despejamos υ, obtenemos

$V = \sqrt{\frac{B}{\rho}}$ (Rapidez de una onda longitudinal en un fluido)

VELOCIDAD DE UNA ONDA LONGITUDINAL.

La presión en el fluido en un movimiento $p + \Delta p$, y la fuerza ejercida sobre él por el pistón es $(p + \Delta p)$A. La fuerza neta sobre el fluido en movimiento (ver Fig. 19-10b) es ΔpA, y el impulso longitudinal es

Así, la rapidez de propagación de un pulso longitudinal en un fluido sólo depende del módulo de volumen B y de la densidad ρ del medio.

Aunque dedujimos la Ecuación. (19-21) para ondas en un tubo, también se aplica a ondas longitudinales en un líquido o sólido. Así, la rapidez de las ondas de sonido que viajan en el aire, agua o roca se determina con esta ecuación. Vea detalles en la Sec. 19-7.

Si una onda longitudinal se propaga en una varilla o barra sólida, la situación es un tanto diferente. La varilla se expande un poco el lateral cuando se comprime longitudinalmente, mientras que un fluido en un tubo con sección transversal constante no puede hacerlo. Usando el mismo razonamiento que nos llevó a la Ecuación. (19-21), podemos demostrar que la rapidez de un pulso longitudinal en la varilla está dada por

$V = \sqrt{\frac{\gamma}{\rho}}$ (Rapidez de una onda longitudinal en una varilla solida)

Donde γ es el módulo de Young o de elasticidad del material.

CUIDADO ►La Ecuación anterior, se aplica sólo a una varilla o barra cuyas laterales están libres para abombarse y encogerse un poco al viajar la onda; no se aplica a ondas longitudinales en un líquido o sólido, ya que aquí el movimiento lateral de cualquier elemento es impedido por material circundante. La rapidez de las ondas longitudinales en un volumen de materia está dado por la Ecuación $V = \sqrt{\frac{B}{\rho}}$

Observe la similitud de forma de las Ecuaciones. En todas estas ecuaciones para la rapidez de una onda, sea transversal o longitudinal, el numerador es una propiedad elástica que describe la fuerza de restitución y el denominador es una propiedad inercial del medio.

Al igual que la deducción para una onda transversal en un hilo, son válidas para cualquier onda periódica, no sólo para el caso especial que vimos aquí.

19–11 Diagrama para ilustrar las ondas longitudinales.

Visualizar la relación entre el movimiento de las partículas y de la onda no es tan fácil en el caso de las ondas longitudinales como en el de las transversales en un hilo.

La Fig. 19-11 le ayudará a entender estos movimientos. Para usar la figura, pegue dos tarjetas borde con borde con un espacio de 1mm entre ellas, formando una ranura delgada. Coloque las tarjetas sobre la figura con la ranura en forma horizontal en la parte superior del diagrama, y muévalas hacia abajo con una rapidez constante. Las porciones de las curvas senoidales que se ven por las ranuras corresponden a una fila de partículas en un medio que viaja una onda senoidal longitudinal. Cada partícula tiene un MAS alrededor de su posición de equilibrio, con retardos o desplazamientos de fase que aumentan continuamente a lo largo de la ranura. Las regiones de expresión y expansión máxima se mueven de izquierda a derecha con una rapidez constante. Mover la tarjeta hacia arriba simula una onda que viaja de derecha a izquierda.

ONDAS MECÁNICAS

La tabla 19-1 lista la rapidez del sonido en varios medios materiales. Las ondas sonoras viajan más lentamente en el plomo que en el aluminio o acero porque el plomo tiene un módulo de volumen menor y mayor de densidad.

TABLA 19-1

RAPIDEZ DEL SONIDO EN VARIOS MEDIOS MATERIALES

MATERIAL	RAPIDEZ DEL SONIDO (m/s)
Gases	
Aire (20°C)	344
Helio (20°C)	999
Hidrógeno (20°C)	1330
Líquidos	
Helio líquido (4 K)	211
Mercurio (20°C)	1451
Agua (0°C)	1402
Agua (20°C)	1482
Agua (100°C)	1543
Sólidos	
Aluminio	6420
Plomo	1960
Acero	5941

EJEMPLO:

Longitud de onda sonar Un barco usa un sistema sonar para detectar objetos submarinos (Fig. 19-12). El sistema emite ondas sonoras submarinas y mide el tiempo que tarda la onda reflejada (eco) en volver al detector. Determine la rapidez de la onda con *f* = 262 Hz.

SOLUCIÓN Usamos la Ec. (19-21) para calcular la rapidez de la onda. De la tabla 11-2, la compresibilidad del agua (el recíproco del módulo de volumen) es $k = 45.8 \times 10^{11}\ Pa^{-1}$, así que $B = (1/45.8) \times 10^{11}$ Pa. La densidad del agua es $\rho = 1.00\ x^3\ Kg/m^3$ Obtenemos:

$$V = \sqrt{\frac{B}{\rho}} = \sqrt{\frac{(1/45{,}8)x10^{11}Pa}{1{,}00x10^{3}kg/m^{3}}} = 1480\ m/s$$

Este valor concuerda con el valor experimental de la tabla 19-1; es 4 veces mayor que la rapidez del sonido en el aire a temperaturas ordinarias. La longitud de onda es

$\lambda = \frac{V}{f} = \frac{1480\ m/s}{262\ (\frac{1}{s})}$= 5,65 m

$$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{1480\ \text{m/s}}{262\ \text{s}^{-1}} = 5.65\ \text{m}.$$

Una onda con esta frecuencia en el aire tiene λ = 1.31 m, como habíamos calculado anteriormente .

Los delfines emiten ondas sonoras de alta frecuencia (del orden de 1000 000 Hz) y usan los ecos para guiarse y cazar. La longitud de onda correspondiente en el agua es de 1.48 cm. Con este sistema de "sonar" se puede detectar objetos del tamaño de λ (pero no mucho menores). La *visualización ultrasónica* es una técnica médica que usa el mismo principio físico; ondas sonoras de muy alta frecuencia y longitud de onda muy corta, llamadas *ultrasonido*, barren el cuerpo humano, y se usan los "ecos" de los órganos para crear una imagen. Con ultrasonidos de *f* = 5 MHz = 5 x 10elevado a 6 Hz,

19–12 Un sistema de sonar usa ondas sonoras submarinas para detectar y encontrar objetos bajo el agua.

la longitud de onda en el agua (principal constituyente del cuerpo) es de 0.3 mm, así que pueden distinguirse rasgos de este tamaño en la imagen, El **ultrasonido** se usa para estudiar el funcionamiento de las válvulas cardiacas, detectar tumores y hacer exámenes prenatales; es más sensible que los rayos x para distinguir los diversos tipos de tejidos y no ofrece el peligro de radiación de esos rayos.

EJEMPLO:

Calcule la rapidez del sonido en una varilla de plomo.

SOLUCIÓN:

De la tabla 11-1, γ=1.6 x $10^{1º}$ Pa, y de la tabla 14-1, ρ=11.3 x 10^3 kg/m³. Vemos que

$$V = \sqrt{\frac{\gamma}{\rho}} = \sqrt{\frac{1{,}6x10^{10}Pa}{11{,}3x10^3 kg/m^3}} = 1{,}2x10^3 m/s$$

Esto es más del triple de la rapidez del sonido en el aire. Observe que nuestro resultado es la rapidez con que una onda sonora viaja por una varilla de plomo. En la tabla 19-1 puede verse que el sonido viaja aún más rápidamente en un medio ilimitado de plomo; la razón es que para el plomo el módulo de volumen es mayor que el módulo de Young.

ONDAS SONORAS EN GASES

En la sección anterior dedujimos la Ec. (19-21), υ = √ B/p, para la rapidez de las ondas longitudinales en un fluido con módulo de volumen B y densidad p, y podemos usarla para calcular la rapidez del sonido en un gas ideal.

El módulo de volumen se define en general como en la Ec.(11-13); para cambios de presión y volumen infinitesimales, B = -V dp/dV, así que necesitamos saber cómo varía P con V para un gas ideal. Si la temperatura es constante, entonces por la ley de los gases ideales, pV es constante, y podemos usar esto para calcular dp/dV. Sin embargo, cuando un gas se comprime adiabáticamente de modo que no hay flujo de calor, su temperatura aumenta, y cuando se expande adiabáticamente, la temperatura disminuye. En un proceso adiabático para un gas ideal, la Ec.(17-24) dice que pV^{γ} es constante (recuerde que $\gamma = C\rho / Cv$ es el cociente adimensional de las capacidades caloríficas), y obtenemos un resultado diferente para B. Cuando una onda viaja por un gas, ¿las compresiones y expansiones son adiabáticas o hay suficiente conducción de calor entre capas adyacentes del gas para mantener una temperatura casi constante en todos los puntos?

Dado que las conductividades térmicas de los gases son muy pequeñas, resulta que para las frecuencias de sonido ordinarias, digamos de 20 a 20 000 Hz, la propagación del sonido es casi adiabática. Por ello, en la Ec. (19-21) usamos el módulo de volumen adiabático **B** ad' deducido suponiendo que

$$pV^{\gamma} = \text{constante.} \qquad (19\text{-}23)$$

Derivamos la Ec. (19-23) respecto a V:

$$\frac{dp}{dV}(V^{\gamma}) + \gamma p V^{\gamma-1} = 0$$

Dividiendo entre $V^{\gamma-1}$ y reorganizando, obtenemos

$$B_{adiabático} = -V\frac{dp}{dV} = \gamma p$$

(19 – 24)

En un proceso *isotérmico*, pV = constante; invitamos al lector a demostrar que el módulo del volumen *isotérmico* es:

$$B_{isotérmico} = p \qquad (19\text{- }25)$$

El módulo adiabático es mayor que el isotérmico en un factor de γ.

Combinando las Ecuaciones. (19-21) y (19-24) vemos que,

$$v = \sqrt{\frac{\gamma p}{B}} \quad \text{(rapidez del sonido en gas ideal)} \qquad (19\text{-}26)$$

Podemos obtener otra forma útil usando la Ec. (16-5) para la densidad ρ de un gas

$$\rho = \frac{pM}{RT},$$

Donde R es la constante de los gases, M es la masa molecular y T es la temperatura absoluta. Combinando esto con la Ec. (19-26) obtenemos

$v = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M}}$ (rapidez del sonido en un gas ideal) (19-27)

Para un gas dado, γ, R y M son constantes, y la rapidez de la onda es proporcional a $\sqrt{T}$.

Excepto por el factor numérico de 3 en una y γ en la otra, esta expresión es idéntica a la Ec.(16-19), que da la rapidez eficaz de las moléculas de un gas ideal. Esto demuestra que la rapidez del sonido y la de las moléculas están muy relacionadas, pero explorar esta relación en detalle rebasa el alcance de este texto.

LAS VIBRACION EN FASE. Existen en dos puntos de vibración de la onda ,si estos experimentan vibraciones simultaneas en la misma dirección .Por ejemplo las partículas de la cuerda en el punto A y en el punto C , en la figura vibran en fase , ya que se mueven juntas hacia arriba y hacia abajo.Las vibraciones están en fase , si la separación de los puntos es un múltiplo entero de longitudes de onda .Los segmentos de la cuerda en A y en B vibran en forma opuesta uno del otro.Entonces se dice que las vibraciones están a 180° , o a medio ciclo fuera de fase.

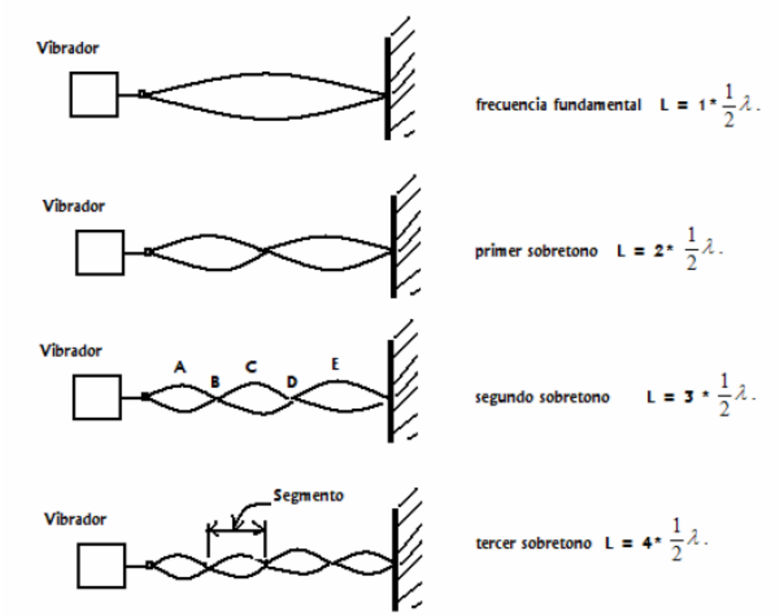
LA RAPIDEZ DE UNA ONDA TRANSVERSAL en una cuerda o alambre tenso (cuerda) se calcula por el modelo:

$$V = \sqrt{\frac{tension..en..la..cuerda}{masa..por..longitud..unitaria..de..la..cuerda}}$$

En una cuerda atada, los factores de los cuales depende la velocidad de propagación de la onda son:
T: Tensión y μ : Densidad lineal de masa (masa por unidad de largo)

$$V=\sqrt{\frac{T}{\mu}}\ ,\ \ \mu=\frac{M}{L}.$$

ONDAS ESTACIONARIAS: A cierta frecuencia de vibración la cuerda puede resonar. Es decir, vibraría con una gran amplitud en patrones de vibración como los que se muestran en la figura



Estos y otros patrones de vibración similares son llamados ONDAS ESTACIONARIAS .Los puntos estacionarios, como B y D se llaman NODOS

Los de gran movimiento, como lo son A, C y E son llamados antinodos.

La distancia entre NODOS (o antinodos) adyacentes es: $\frac{1}{2}\lambda$.

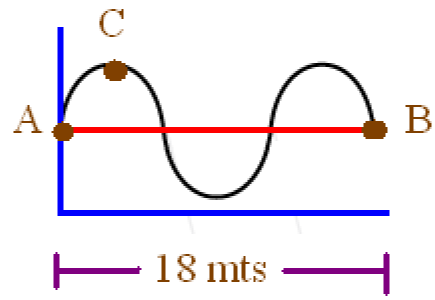
El termino de porción de la cuerda que hay entre nodos adyacentes se llama segmento, y la longitud de un segmento también es: $\frac{1}{2}\lambda$.

1 El espectro auditivo, abarca ondas sonoras comprendidas entre los 20 y 20.000(HZ). Calcule la longitud de ondas asociadas a esta frecuencia considerando una V= 340m/s

2 Una onda se propaga a una V= 200m/s con una f= 15 (HZ). Calcule λ.

3 La Velocidad de una onda es 40m m/s con una f= 60 (HZ). ¿A que distancia de la fuente, de la onda, habría que ponerse para que dos puntos de la onda vibren en fase; $^{1}\!/_{2}$ fase y $^{1}\!/_{4}$ fase.

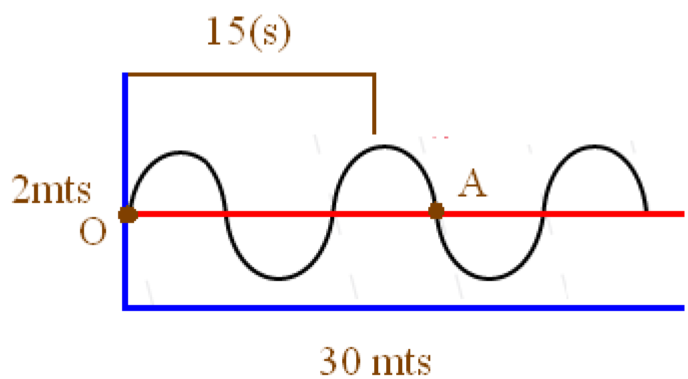
4 En la figura, el pulso que se propaga de A hasta B, lo hace en un tiempo de 20(s).



Calcule:

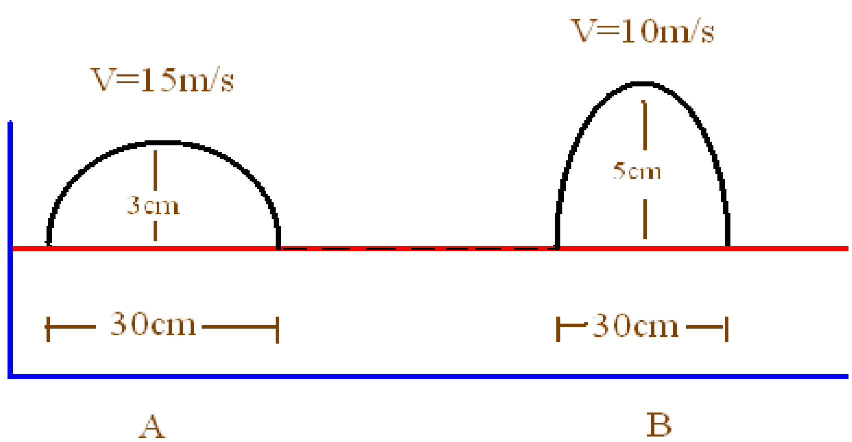
a) La $\vec{V}$ de propagación.
b) El tiempo que demora el pulso.
c) El tramo AC del ciclo.
d) El tiempo en el que se produce un vibración a $^{1}\!/_{4}$ fase.
e) El tiempo en el que se produce una vibración a $^{1}\!/_{2}$ fase.

5 En la figura se muestra una onda que se propaga en un medio mecánico. El tiempo que demora la onda en venir de O hasta A es 15 (s). Calcular:



a) $\vec{V}$ de propagación.
d) La amplitud de la onda
b) λ
c) La frecuencia

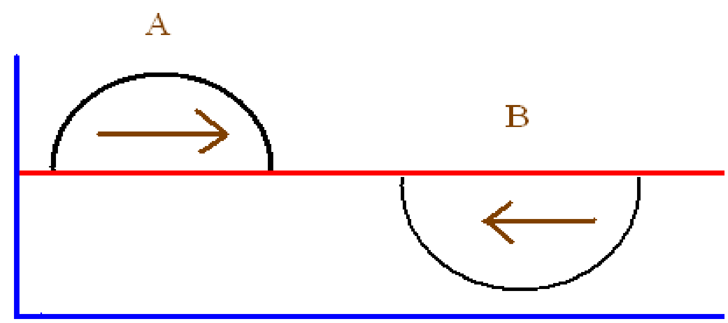
6 El pulso A se propaga a una $\vec{V}$ = 15 m/s y B a una $\vec{V}$ = 10 m/s.



a) determine la longitud de cada pulso
b) La frecuencia de cada pulso
c) La amplitud de cada pulso

d) La amplitud de la interferencia que se produce.

7 Suponga que estos dos pulsos mecánicos anteriores se propagan según indica la figura. Calcule:



a) La longitud de cada pulso
b) La frecuencia de cada pulso
c) La amplitud de cada pulso
d) La amplitud de la interferencia que se produce

EJERCICIOS

Antes de pasar al estudio de la próxima sección, resuelva las preguntas siguientes, consultando el texto siempre que sea necesario.

31. a) Durante una tempestad, una persona observa un relámpago, y solamente hasta después de 10 s, escucha el ruido del trueno correspondiente. ¿A qué distancia se produjo la descarga eléctrica que provocó el relámpago y el trueno?

b) En el experimento que se muestra en la figura 17 – 37, ¿Cuál fue, aproximadamente el intervalo de tiempo medido por la persona que empleó el reloj de arena?

32. a) ¿Cuál es, en el aire, la longitud de onda del sonido más agudo que puede percibir el oído humano?

b) ¿Y la del sonido más grave?

c) Una onda longitudinal, en el aire, con $\lambda = 10$ mm, ¿Sería un infrasonido, un sonido o un ultrasonido?

33. Una persona pulsa en un piano la tecla que corresponde a la nota *la* normal. Consultando la figura 17-38 y la tabla 17-3, responda:

a) ¿Cuál es la longitud de onda de este sonido en el aire?

b) ¿Cuál es la frecuencia del mismo cuando llega al oído de una persona sumergida en una piscina cercana al piano?

c) ¿Cuál es la longitud de onda de este sonido en el agua?

34. a) La sucesión de las notas *do, re, mi, fa, sol, la, si* constituye una escala musical. Observando la Figura 17-38, diga cuántas veces es mayor la frecuencia de la nota *do* de una escala, comparada con la frecuencia del *do* de la escala inmediata anterior.

b) Sabemos que el resultado obtenido en (a) es válido para cualquier otra nota. Entonces, ¿Cuál es la frecuencia de la nota *la* inmediata anterior a la nota *la* normal? ¿Y la frecuencia de la misma nota en la escala siguiente?

35. En la audición de una orquesta, una flauta emite un sonido muy agudo, mientras que la tuba está emitiendo un sonido grave.

a) ¿Cuál de estos instrumentos está produciendo el sonido de menor longitud de onda?

b) Entonces, ¿Cuál de las dos ondas sonoras sufrirá la difracción más acentuada al rodear un obstáculo?

c) Por tanto, ¿Cuál de los dos instrumentos será mejor escuchado por alguien situado atrás del obstáculo?

36. Una flauta y un clarinete están emitiendo sonidos de la misma altura, siendo la amplitud del sonido del clarinete mayor que la del sonido de la flauta. Considere una persona situada a la misma distancia de ambos instrumentos.

a) ¿Cuál de los dos sonidos podrá percibir con mayor intensidad la persona?

b) La frecuencia del sonido emitido por la flauta, ¿Es mayor, menor o igual a la frecuencia del sonido emitido por el clarinete?

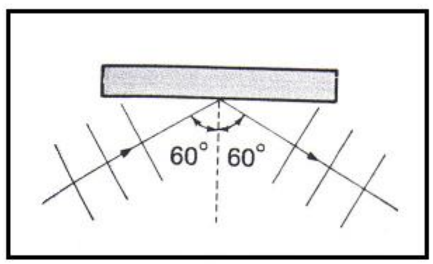
c) ¿Ambos instrumentos emiten la misma nota musical o notas diferentes?

d) ¿Las formas de las ondas sonoras emitidas por ambos instrumentos son iguales o diferentes?

e) ¿La persona percibirá sonidos de timbre semejante o distinto?

Ejercicios (Pág. 733)

1. La figura de este ejercicio representa las crestas de una onda que se propaga en la superficie de un líquido en dirección de una barrera.
    a) ¿Cuál es el valor del ángulo de incidencia de esta onda sobre la barrera?
    b) ¿Y el valor del ángulo de reflexión?
    c) Trace en la figura el rayo reflejado correspondiente al rayo incidente que se indica.
    d) Trace las crestas de la onda reflejada.
    e) La longitud de onda, ¿aumenta, disminuye o no varía después de la reflexión? Explique.



Ejercicio 1

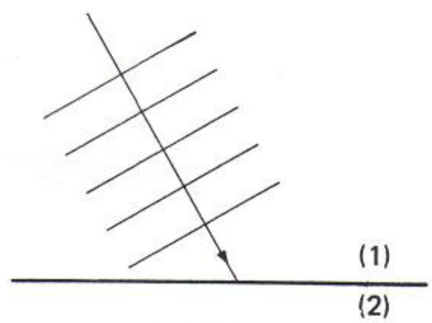
2. Un tanque que contiene agua presenta tres regiones A, B y C, tales que las profundidades de A y C son iguales, y la región intermedia, B, es más profunda. Una onda producida en A es transmitida a B, propagándose luego hacia a C.
    a) ¿En qué región es mayor la velocidad de propagación de la onda?
    b) La frecuencia de la onda, ¿aumenta, disminuye o no cambia cuando pasa de A a B? ¿Y de B a C?
    c) ¿En qué región será mayor el valor de la longitud de onda?

3. Un tapón de corcho flota en el agua contenida en un tanque. Se golpea rítmicamente con una regla horizontal en la superficie del agua, cada 0.20 s, a fin de producir una onda de pulsos rectos, tales que la distancia entre dos crestas consecutivas sea de 5.0 cm.

a) ¿Cuál es el periodo de la onda?
b) Describa el movimiento del tapón mientras la onda pasa por él.
c) ¿Cuántas vibraciones por segundo efectúa el tapón?
d) ¿Cuál es la velocidad de propagación de la onda?

4. Suponga que en el ejercicio anterior se diminuyera el intervalo de tiempo entre dos percusiones consecutivas de la regla sobre el agua. Diga si cada una de las siguientes magnitudes aumentará, disminuirá o permanecerá inalterada.
   a) La frecuencia de la onda
   b) La frecuencia de oscilación del tapón.
   c) La velocidad de propagación de la onda.
   d) La longitud de onda.

5. En la figura de este ejercicio se representa un onda que se propaga en un medio (1) en dirección al medio (2), en el cual su velocidad de propagación es mayor que en (1).
   a) En (2), ¿la longitud de onda será mayor o menor que en (1)?
   b) ¿La onda ‘‘se aproximará’’ o ‘‘se alejará’’ de la normal al penetrar en (2)?
   c) Complete la figura mostrando los pulsos que se propagan en (2).



Ejercicio 5

1.
a) En una habitación hay dos focos luminosos, los cuales proyectan luz sobre una misma pared. ¿Observaremos franjas de interferencia sobre dicha pared? ¿Por qué?

b) ¿Por qué razón Young logró obtener franjas de interferencia en su experimento?

2. Sabemos que la velocidad de propagación de la luz, en el espacio libre, tiene el mismo valor para cualquier color. Considere dos haces luminosos, uno amarillo y otro azul, que se propagan en el vacío.
a) ¿Cuál de tales haces tiene mayor longitud de onda?
b) Entonces, ¿Cuál de los dos tiene mayor frecuencia? ¿Por qué?

3. Un haz monocromático de luz violeta que se propaga en el aire, pasa a propagarse en el agua. Cuando se produce este cambio de un medio a otro:
a) La velocidad del haz, ¿aumenta, disminuye o no se altera?
b) La frecuencia del haz, ¿aumenta, disminuye o no cambia?
c) La longitud de onda del haz, ¿aumenta, disminuye o no se modifica?
d) ¿Varía el color del haz?
e) Entonces, ¿lo más adecuado para caracterizar el color de un haz es su velocidad, su longitud de onda o su frecuencia?

4. Considere haces luminosos monocromáticos con los siguientes colores: verde, amarillo, azul, violeta y rojo. Colóquelos en orden creciente de sus frecuencias.

5. En una repetición del experimento de Young y usando luz monocromática, los dos orificios están separados a una distancia $d = 0.10$ mm, y las franjas de interferencia se observan en una pantalla situada a una distancia $L = 20$ cm de los orificios. Se observa que la separación entre dos franjas oscuras consecutivas es $\Delta x = 1.3$ mm.
a) Calcule la longitud de onda de la luz empleada en el experimento.
b) Determine la frecuencia de esta luz.
c) Usando una de las tablas presentadas en esta sección, identifique el calor de la luz.