CAPÍTULO 6

Ondas, pulsos

Introducción

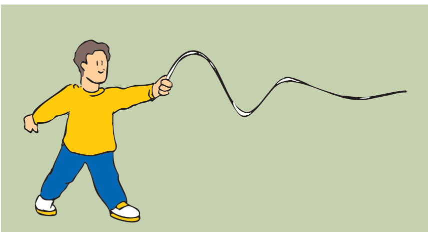


Fig. 1. La deformación realizada viaja a través de la cuerda, pero la cuerda no se desplaza.

Fig. 2. Un objeto que flota en el lago, al ser alcanzado por un "círculo", perturbación, sólo se mueve verticalmente para arriba y abajo, permaneciendo luego en el mismo lugar.

Fig. 3. Al golpear la mesa se le aporta energía al medio. Esta energía se traslada en forma de onda hasta el lápiz y la mesa no se traslada.

Cuando una pelota de fútbol se mueve desde un punto a otro de la cancha, su energía se traslada con ella. La pelota es capaz de desarrollar trabajo cuando llega a su destino; cabeza de un compañero, palo del arco o en el mejor de los casos la red.

¿Existe una forma diferente de transportar energía? La respuesta es si.

Si agitamos el extremo de una cuerda (fig 1), la deformación que generamos viaja a través de ella, pero la cuerda no se desplaza.

Si tiramos una piedra en un lago con agua tranquila, podemos ver círculos concéntricos que aumentan su radio con el tiempo (fig 2). Una hoja que flota,, al ser alcanzada por un "círculo", sólo se mueve verticalmente para arriba y abajo, permaneciendo luego en el mismo lugar. No se traslada junto con los círculos concéntricos.

Otro ejemplo similar y muy sencillo que puedes realizar en tu hogar, es colocar un lápiz sobre una mesa metálica o de madera fina y realizar un golpe con la palma de la mano sobre la tapa de la mesa. (Fig 3). Observa que el lápiz salta, o sea sube y baja.

En todos los casos hay "algo" que se propaga por un medio, una perturbación que **no traslada materia consigo**. La deformación se mueve por la cuerda, los círculos de agua por la superficie de la piscina, pero el medio (cuerda, agua) no se desplaza. Estamos describiendo un nuevo tipo de fenómeno, donde una perturbación viaja por un medio, pero el medio no viaja con ella. Dicha perturbación transporta energía pero no desplaza materia. A estas perturbaciones se les denomina **ondas**.

Onda es toda forma de transferir energía de un lugar a otro del espacio sin desplazar materia.

Cuando estas perturbaciones viajan por un medio elástico (que luego de deformarse vuelve a su forma original) las llamamos **ondas mecánicas.**

¿Existirán ondas que no necesiten un medio para propagarse?
Más adelante daremos respuesta a esta pregunta.

Los fenómenos ondulatorios son el soporte físico, los que posibilitan el funcionamiento de numerosos electrodomésticos: radio, TV aérea, teléfonos celulares, hornos microondas y muchos más.

¿ La luz se propagará en forma de ondas? Esta interrogante también la responderemos más adelante.

Clasificación de las ondas

Podemos clasificar las ondas utilizando diferentes criterios.

Primera clasificación de las ondas: Mecánicas o Electromagnéticas

El primer criterio que utilizaremos ya lo mencionamos en la hoja anterior. El mismo toma en cuenta si la onda necesita un medio material o no para propagarse. Si la onda necesita un medio material para propagarse (cuerda, alambre, lonja de un tambor, vidrio, metales, agua, etc) se les denomina **Ondas Mecánicas**. En cambio las ondas que no necesitan un medio para propagarse, como la luz, ondas de radio y televisión, microondas, etc. se denominan **Ondas Electromagnéticas.**


Antena receptora de ondas electromagnéticas.

Ondas mecánicas son aquellas que necesitan de un medio elástico para propagarse.
Ondas electromagnéticas son las que no necesitan de un medio de propagación, se pueden propagar en el vacío.

Segunda clasificación de las ondas: Unidimensionales, Bidimensionales o Tridimensionales.

El criterio que utilizaremos para realizar esta segunda clasificación es tomando en cuenta en cuántas direcciones se propaga la onda. Si se propagan en una sola dirección se denominan unidimensionales. Ejemplos de estas son las ondas en una cuerda, cables, alambres. La única dirección de propagación es la dirección que tiene dicho medio.

En cambio si la onda se propaga en un plano, es decir en dos dimensiones, se les denomina bidimensionales. Ejemplo de éstas son las ondas en la superficie del agua, en una chapa, en una lonja de algún instrumento de percusión, etc. Por último si la onda se propaga en todas direcciones se les denomina tridimensionales. Ejemplos de estas son las ondas sonoras en el aire, ondas de radio y T.V., microondas, etc.

Considerando en cuántas direcciones se propagan las ondas, pueden ser: unidimensionales, bidimensionales o tridimensionales; si se propagan en una, en dos o en tres dimensiones respectivamente.

Tercera clasificación de las ondas:
Ondas Longitudinales y Transversales.

El tercer criterio de clasificación está basado en la dirección del movimiento de los puntos del medio con respecto a la dirección de la velocidad de propagación de la onda.

Ondas Transversales.

En el dibujo de la fig. 4 se muestra un resorte largo (este será el medio en el que se propague una onda), con una cintita atada a una de sus espiras. Con ello estamos marcando un punto del medio para analizar las características de su movimiento cuando se propaga una onda por dicho medio.

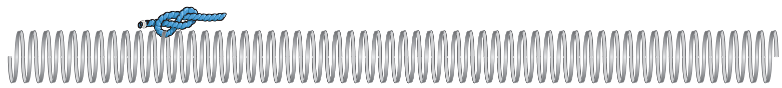


Fig. 4. Resorte (medio de propagación de la perturbación). Con la cintita atada visualizamos mejor el movimiento que tiene un punto cuando la perturbación pasa por él.

Si tomamos el extremo del resorte y lo agitamos hacia arriba y abajo, (o sea producimos una perturbación), cada punto (y la cintita también) oscilará en esa misma dirección, mientras que el pulso (la perturbación) se propaga a lo largo del resorte. Decimos que en él se propaga una **onda transversal**, en la que cada punto oscila en forma perpendicular a la dirección de propagación de la perturbación. Las ondas en una cuerda y en la superficie del agua son ejemplos de ondas transversales (fig 6a y 6b).

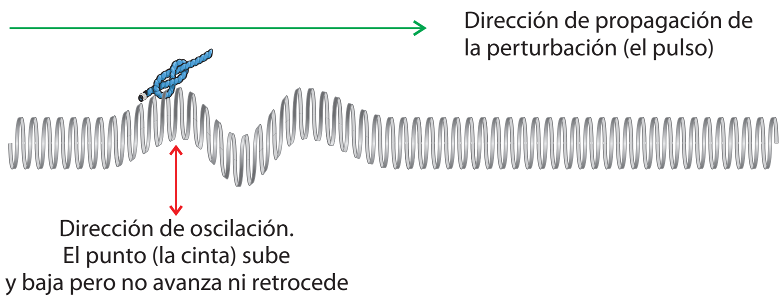


Fig. 5. Ondas transversales en un resorte largo. Cada punto oscila en forma perpendicular a la dirección de propagación de la perturbación.

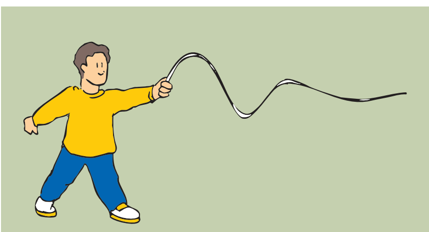


Fig 6a. Ondas transversales en una dimensión. Los puntos del medio se mueven perpendicularmente a la dirección de propagación de la perturbación, que es la misma dirección de la cuerda.

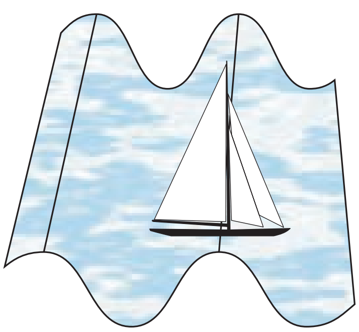


Fig 6b. Ondas bidimensionales (avanzan en el plano) y transversales en la superficie del agua. Los puntos del medio (agua) se mueven perpendicularmente a las direcciones de propagación de la perturbación.

Una onda es transversal, cuando cada punto del medio oscila en una dirección perpendicular con respecto a la dirección de propagación de la perturbación.

Ondas longitudinales.

Si tomamos el extremo del resorte y lo agitamos hacia adelante y atrás, cada punto del resorte oscilará también hacia adelante y atrás, mientras que la perturbación se propaga hacia adelante. En este caso viaja por el resorte una **onda longitudinal**, (Fig. 7) en la que cada punto oscila en la misma dirección de propagación de la perturbación. El sonido es un ejemplo de ondas longitudinales.

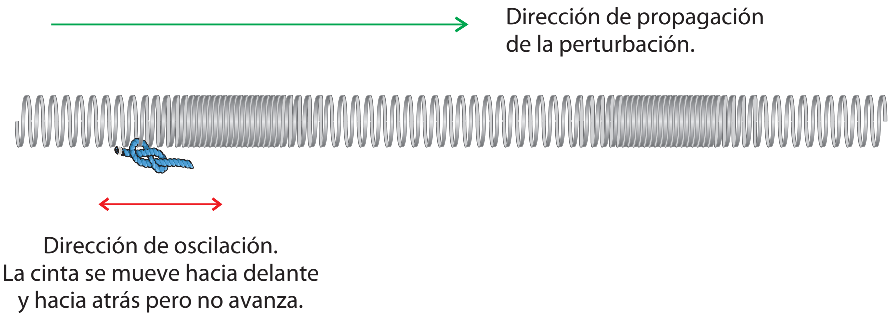


Fig. 7. Ondas Longitudinales en un resorte largo.

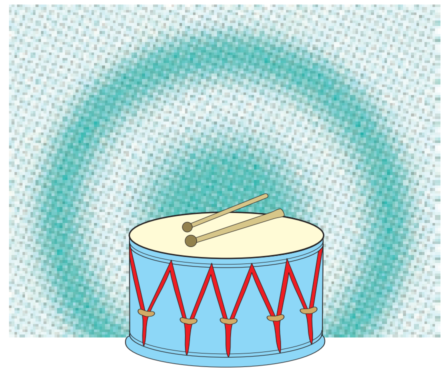
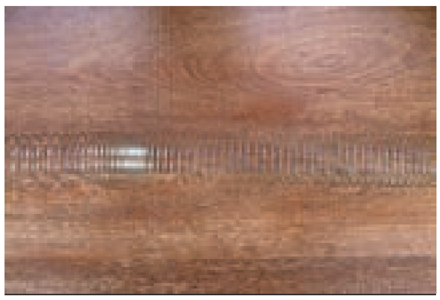


Fig 8. Ondas longitudinales de sonido en el aire. Al golpear la membrana del tambor (parche), ésta vibra, comprimiendo las partículas de aire que están en contacto con ella. Eso provoca variaciones en la presión del aire. Dicha perturbación se propaga en la misma dirección que el movimiento local de las partículas de aire. .

Al golpear la membrana del tambor (parche), ésta vibra hacia arriba y hacia abajo, comprimiendo las partículas de aire que están en contacto con ella. Al igual que las espiras del resorte, cada partícula "empuja" a su vecina y vuelve a su posición anterior (fig 8).

Onda Transversal.



Onda Longitudinal.

Pulsos

Imagina que tenemos una cuerda larga atada firmemente a la pared en uno de sus extremos y una pesa colgando del otro extremo, pasando por una polea (fig 9a). La cuerda tensa se encuentra en equilibrio en la forma que muestra la figura.

En determinado momento golpeamos con una regla el punto "A" verticalmente hacia abajo (fig 9b). En las cercanías de "A" la cuerda se deforma (fig 9c). A medida que pasa el tiempo esa deformación viaja por la cuerda, pero la cuerda no se desplaza. Hemos generado una perturbación denominada **pulso** que se propaga por la cuerda.

Si observamos la secuencia de imágenes vemos que los puntos de la cuerda tienen un movimiento vertical, mientras que el pulso se propaga horizontalmente (onda transversal).

En la figura 9e observamos que el punto "B" repite el mismo movimiento que el punto "A" un tiempo después. Dicho con otras palabras, el suceso (la perturbación) que se generó en el punto "A", se va repitiendo en todos los puntos de la cuerda a medida que son alcanzados por el pulso.

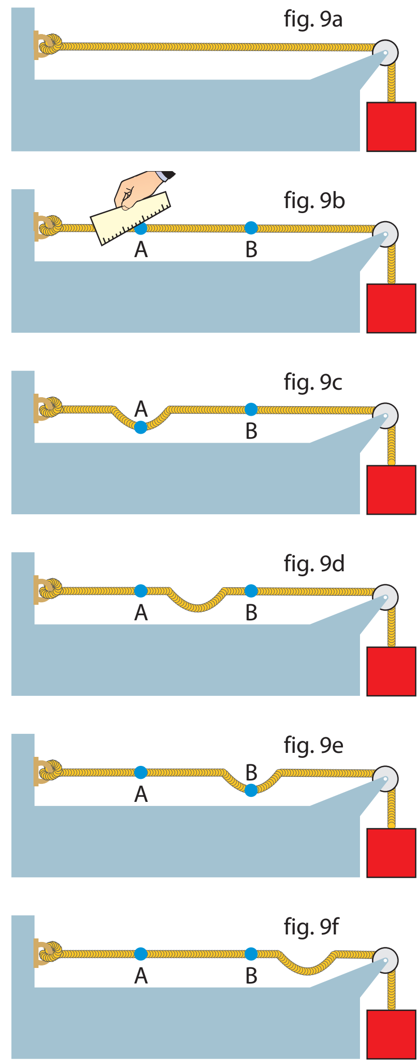


Fig 9. Al golpear el punto "A" verticalmente hacia abajo la cuerda se deforma. Hemos generado una perturbación denominada pulso que se propaga por la cuerda. Al transcurrir el tiempo la perturbación que se generó en el punto "A", se va repitiendo en todos los puntos de la cuerda a medida que son alcanzados por el pulso, pero la cuerda no se desplaza.

Cuando golpeamos con la regla en el punto "A" realizamos sobre él un trabajo, por lo tanto le cedemos cierta cantidad de energía. Esa energía se va desplazando por la cuerda. El punto "A" se la transfiere a su punto contiguo y así sucesivamente. De esta manera estamos frente a la situación de desplazar energía sin que exista transporte de materia, es decir un pulso de onda.

Velocidad de propagación de un pulso en una cuerda

La velocidad con que viaja un pulso en una cuerda no depende de cómo se generó ni de la forma que tiene, depende exclusivamente de características del medio. En este caso, depende del módulo de la fuerza tensión en la cuerda "T" y la densidad lineal de masa de la misma "μ". Si la cuerda es homogénea "μ" se define como el cociente entre la masa de la cuerda "m_c" y su longitud "l_c".

$\mu = \dfrac{m_c}{l_c}$ Su unidad en el sistema internacional es $\dfrac{kg}{m}$

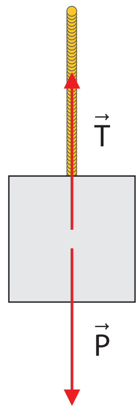


Fig 10. El Peso y la Tensión tienen el mismo módulo si la masa está en equilibrio.

Si la cuerda es mantenida tensa por una pesa y se encuentra en equilibrio, la Tensión tendrá el mismo valor que el Peso de la pesa. Recuerda que P = m.g (Fig. 10)

La velocidad de propagación es mayor si la cuerda está más tensa y es menor si la cuerda es de mayor densidad lineal de masa. La relación entre estas variables no es directamente proporcional (fig 11). Se verifica que

$$v_p = \sqrt{\frac{T}{\mu}}$$

Si aumento la tensión al doble, la velocidad de propagación aumenta por un factor $\sqrt{2}$.

$$v' = v.\sqrt{2}$$

Si cambio la cuerda por otra con el doble de densidad lineal de masa, la velocidad de propagación disminuye en un factor $\sqrt{2}$

$$v' = \frac{v.}{\sqrt{2}}$$

Fig 11.

La demostración de esta relación excede el propósito de este libro. Simplemente mostraremos que es dimensionalmente coherente, o sea que las unidades de ambos miembros de la igualdad coinciden.

La unidad de la fuerza es [F] = N y la unidad de la densidad lineal de masa

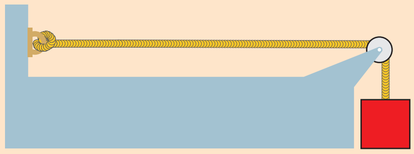
$[\mu] = \dfrac{kg}{m}$. Analicemos las unidades de $\left[\sqrt{\dfrac{T}{\mu}}\right] = \sqrt{\dfrac{N}{\frac{kg}{m}}}$

$$\sqrt{\frac{N}{\frac{kg}{m}}} = \sqrt{\frac{\cancel{kg} \times m}{s^2} \times \frac{m}{\cancel{kg}}} = \sqrt{\frac{m^2}{s^2}} = \frac{m}{s}$$

Hemos comprobado que la unidad de $\sqrt{\dfrac{T}{\mu}}$ es $\dfrac{m}{s}$, que coincide con la unidad de velocidad en el SI. Si bien esto no demuestra la validez de la ecuación, verifica la coherencia de sus unidades.

Ejemplo 1

Una cuerda de m = 42,7g y l = 5,00m es tensada por una pesa de m = 1,86 kg como muestra la figura.



a) Determina la densidad lineal de masa "μ" de la cuerda

De acuerdo a la definición , $\mu = \frac{m_c}{l_c}$. Convirtiendo la masa de la cuerda a kg y sustituyendo, $\mu = \frac{0{,}0427\text{kg}}{5{,}00\text{m}} = 0{,}00854\,\frac{\text{kg}}{\text{m}}$ Este resultado se puede expresar también en notación científica, de la siguiente forma

$$\boxed{\mu = 8{,}54 \times 10^{-3}\,\frac{\text{kg}}{\text{m}}}$$

b) Determina la velocidad con la que se propaga un pulso por la cuerda. Primero determinaremos el valor de la Tensión a la que está sometida la cuerda, que es igual al valor del Peso de la pesa que cuelga de su extremo.

T = m.g ("m" es la masa de la pesa, no la masa de la cuerda)

$T = 1{,}86\text{ kg} \times 9{,}8\,\frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 18{,}2\text{ N}$

Sabiendo que $v_p = \sqrt{\frac{T}{\mu}}$, sustituimos $v_p = \sqrt{\frac{18{,}2\text{N}}{0{,}00854\frac{\text{kg}}{\text{m}}}}$

$$\boxed{V_p = 46{,}2\,\frac{\text{m}}{\text{s}}}$$

Reflexión y refracción de pulsos en una cuerda

Reflexión de un pulso en una cuerda con un extremo fijo

Analicemos qué ocurre cuando un pulso viaja por un medio (una cuerda) y llega a un extremo fijo.

Imaginemos una cuerda atada en un punto fijo "B" de una pared (fig.13). Si generamos en el otro extremo un pulso, éste viaja por la cuerda y llegará al punto "B", donde se producirán dos fenómenos, reflexión y absorción. Gran parte de la energía vuelve a la cuerda en un pulso reflejado y el resto es absorbida por la pared. Además se observa que el pulso reflejado se invierte.

Un pulso incidente que se propaga por una cuerda con un extremo fijo, al llegar a dicho punto, se refleja. El pulso reflejado está invertido con respecto al incidente. Su velocidad cambia de sentido y su módulo permanece constante dado que el medio de propagación es el mismo.

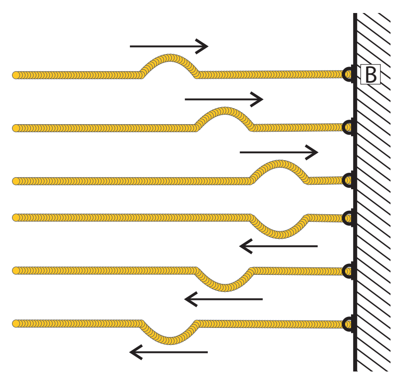


Fig 13. Reflexión de un pulso en una cuerda tensa con un extremo fijo. El pulso reflejado es invertido con respecto al pulso incidente.

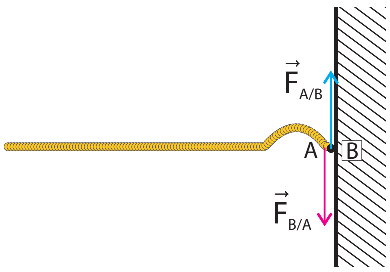


Fig 14. "A" es el último punto de la cuerda, que está unido al punto "B", fijo en la pared. El pulso llega al punto "A", este aplica una fuerza sobre "B" vertical y hacia arriba (acción). El punto "B" aplica por lo tanto una fuerza también vertical, con igual módulo pero sentido opuesto (reacción). Dicha fuerza hacia abajo hace que el pulso reflejado se invierta.

Podemos explicar la inversión del pulso reflejado a partir de la 3ra Ley de Newton (Acción y Reacción). Llamemos "A" al último punto de la cuerda, que está unido al punto "B", fijo en la pared (fig 14). Cuando el pulso llega al punto "A", este aplica una fuerza sobre "B" vertical y hacia arriba (acción). El punto "B" aplica por lo tanto una fuerza también vertical, con igual módulo pero sentido opuesto (reacción). Dicha fuerza hacia abajo hace que el pulso reflejado se invierta.

Los pulsos reflejado e incidente se mueven con velocidades del mismo módulo. Recuerda que la velocidad de propagación depende de la densidad lineal de masa y la tensión de la cuerda. En este caso los valores de estas magnitudes son los mismos para ambos pulsos.

Reflexión de un pulso en una cuerda tensa con un extremo libre.

Ahora veamos qué ocurre cuando el extremo de la cuerda está libre, es decir que el último punto puede oscilar libremente cuando llega el pulso incidente (fig 15). En una situación ideal, esto lo podríamos lograr sujetando el extremo de la cuerda a un anillo que pasa por una varilla vertical. Si el rozamiento entre la varilla y el anillo es despreciable, este último se movería libremente en forma vertical.

Cuando llega el pulso al punto "A", éste mueve el anillo hacia arriba, cediéndole energía en forma de trabajo. Al bajar, el anillo cede nuevamente la energía a la cuerda, generando un pulso derecho. Al igual que en el caso anterior, cambia sólo el sentido de su velocidad de propagación, no su valor numérico (módulo).

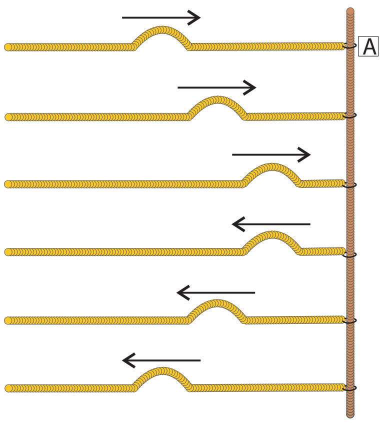


Fig 15. Reflexión de un pulso incidente que se propaga por una cuerda tensa con un extremo libre. El pulso reflejado no se invierte.

> Un pulso incidente que se propaga por una cuerda tensa al llegar a un extremo libre se reflejará sin invertirse. La velocidad de propagación cambia de sentido pero su módulo permanece constante.

Refracción de pulsos de ondas en cuerdas.

Consideremos ahora el caso en el que un pulso llega a un punto de unión entre dos medios diferentes, por ejemplo dos cuerdas atadas, de diferentes densidades lineales de masa (fig 16 a).

Si generamos un pulso en la cuerda más liviana, cuando llega a la otra, parte del mismo se refleja invertido, (en forma similar a la reflexión en un punto fijo) y el resto se transmite al nuevo medio. Se observan los dos fenómenos, reflexión y refracción.

El primer punto de la cuerda gruesa recibe un impulso hacia arriba, por lo que el pulso transmitido o refractado es derecho.

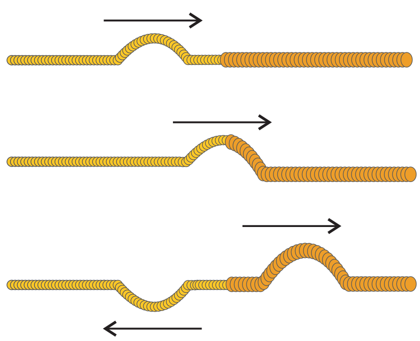


Fig 16. a Refracción y reflexión de un pulso en una cuerda tensa. Cuando éste pasa de una cuerda de menor μ a una cuerda de mayor μ, el pulso refractado es derecho. El pulso reflejado se invierte.

También puede ocurrir que el pulso incidente viaje por la cuerda de mayor densidad lineal de masa y se transmita a otra más liviana (fig 16 b). En este caso tendremos un pulso reflejado similar al caso de reflexión en un extremo libre, ya que la cuerda fina permite oscilar la unión de las cuerdas con mucha facilidad. El primer punto de la cuerda fina recibe un impulso hacia arriba, por lo que el pulso transmitido o refractado es derecho. Por la tanto en los dos medios obtendremos pulsos derechos, tanto el transmitido (refractado) como el reflejado.

En ambos casos analizados el pulso transmitido se propaga con distinta velocidad que el pulso incidente. Recordemos que la velocidad de propagación en una cuerda depende de su densidad lineal de masa "μ" y de la tensión. Si las cuerdas están unidas podemos asumir que están sometidas a la misma tensión. Por lo tanto, si el pulso pasa de una cuerda menos densa a otra más densa (primer caso), la velocidad de propagación en la segunda cuerda será menor que en la primera. Si el pulso se transmite de una cuerda a otra menos densa, la velocidad de propagación en la segunda cuerda será mayor que en la primera.

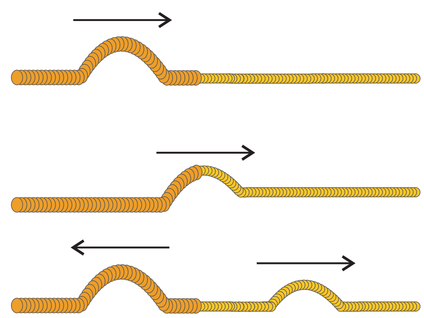


Fig 16.b. Refracción y reflexión de un pulso en una cuerda tensa. Cuando éste pasa de una cuerda de mayor μ a una cuerda de menor μ, el pulso refractado y el reflejado son derechos. No se invierten.

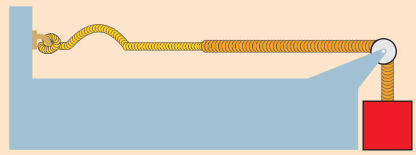
$$\text{Si } \mu_1 < \mu_2 \Rightarrow v_1 > v_2$$

$$\text{Si } \mu_1 > \mu_2 \Rightarrow v_1 < v_2$$

Si no se produce disipación de energía en la unión de las cuerdas, la energía del pulso incidente se reparte entre el pulso reflejado y el refractado.

Ejemplo 2

Dos cuerdas de distinta densidad lineal de masa se encuentran unidas como muestra el dibujo.



La distancia del extremo fijo a la polea es de 10,00m y la unión de las cuerdas está en el punto medio.
Se genera un pulso en el extremo de la cuerda 1, que se propaga hacia la derecha.

a) Determina la velocidad de propagación del pulso incidente en la cuerda 1.

Como ya vimos, $v_{p1} = \sqrt{\dfrac{T}{\mu_1}}$. Sustituyendo $v_{p1} = \sqrt{\dfrac{\left(2{,}5kg \times 9{,}8\dfrac{m}{s^2}\right)}{4{,}3 \times 10^{-2}\dfrac{kg}{m}}}$

$$\boxed{v_{p1} = 24\,\frac{m}{s}}$$

b) ¿Qué sucede cuando el pulso incidente llega al punto de unión de las cuerdas?

Como el pulso incidente llega a la unión de dos cuerdas de diferente "μ" ($\mu_1 < \mu_2$), parte del pulso incidente se refleja invertido y parte se transmite (se refracta) a la cuerda 2.

c) Determina la velocidad de propagación del pulso refractado (en la cuerda 2).

Nuevamente utilizamos la ecuación $v_p = \sqrt{\dfrac{T}{\mu}}$.

Recordando que la Tensión es la misma en ambas cuerdas,

sustituimos $v_{p2} = \sqrt{\dfrac{\left(2{,}5kg \times 9{,}8\dfrac{m}{s^2}\right)}{8{,}6 \times 10^{-2}\dfrac{kg}{m}}} = 17\,\dfrac{m}{s}$ $\quad \boxed{v_{p2} = 17\,\dfrac{m}{s}}$

Como era de esperar $\mathbf{v_{p2} < v_{p1}}$

d) Determina el tiempo que emplea el pulso en llegar desde el extremo fijo a la polea.
Determinaremos en primer lugar el tiempo que el pulso incidente emplea en recorrer la cuerda 1. Como el pulso incidente viaja con velocidad constante, $v = \dfrac{\Delta x}{\Delta t}$. Entonces $\Delta t_1 = \dfrac{\Delta x}{v_1}$

Sustituyendo $\Delta t_1 = \dfrac{5{,}00m}{24\dfrac{m}{s}} = 0{,}21s$ De la misma forma determinaremos el tiempo que el pulso refractado emplea en recorrer la cuerda 2. $\Delta t_2 = \dfrac{\Delta x}{v_2}$ $\quad \Delta t_2 = \dfrac{5{,}00m}{17\dfrac{m}{s}} = 0{,}29s$

El tiempo que emplean los pulsos incidente y refractado en llegar desde el extremo fijo a la polea es la suma de los tiempos que hemos hallado, Δt_1 y Δt_2.

$\Delta t_{TOTAL} = \Delta t_1 + \Delta t_2 = 0{,}21s + 0{,}29s = 0{,}50\ s$ $\quad \boxed{\Delta t_{TOTAL} = 0{,}50\ s}$

Interferencia de ondas en una dimensión

Si generamos pulsos a la vez en ambos extremos de una cuerda, se propagarán a través de ella con velocidades del mismo valor pero con sentido contrario. Cuando los pulsos se encuentran, la forma de la cuerda es momentáneamente distinta a la forma de cada perturbación. Luego cada pulso continúa con sus mismas características iniciales (fig 17 y 19). A este fenómeno en el que dos perturbaciones que viajan por el mismo medio se superponen se le llama **interferencia.**

Interferencia se le denomina al fenómeno físico en el que dos perturbaciones que viajan por el mismo medio se superponen en una misma región.

¿Cómo podemos determinar la forma que adquiere la cuerda en el momento en que se superponen las perturbaciones?

La forma de la cuerda resulta de la suma de los desplazamientos que produciría independientemente cada pulso, considerando el sentido de cada desplazamiento. A esta forma de obtener la configuración de la cuerda sumando el aporte de cada pulso se le denomina **principio de superposición**. (fig. 18)

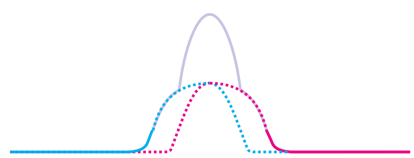


Fig 18. Principio de superposición
Superposición de los pulsos rojo y azul. El desplazamiento resultante (lila) se obtiene sumando los desplazamientos que produce cada pulso actuando por sí solo.

El principio de superposición establece que el desplazamiento resultante de una superposición de pulsos en un determinado medio se obtiene sumando los desplazamientos que produce cada pulso actuando por sí solo.

Si al superponerse los pulsos se refuerzan formando una deformación mayor que cada pulso, es un caso de **interferencia constructiva** (fig 17).

Si uno de los pulsos es invertido con respecto al otro, al superponerse se generará momentáneamente una deformación menor que cada pulso. A este caso le llamamos **interferencia destructiva** (fig 19). Si los pulsos son perfectamente simétricos, la cuerda puede estar por un instante en su posición de equilibrio , lo que hace que en dicho instante no la veamos deformada. (fig 20)

Recordemos que tanto la interferencia constructiva como destructiva son una situación momentánea, luego los pulsos continúan su camino con la forma, velocidad y energía que tenían originalmente. Este hecho es característico exclusivamente de los fenómenos ondulatorios. Dos personas que emiten sonidos frente a frente, recepcionan cada una el sonido que emitió el otro.

¿Qué ocurre con dos pelotas de goma que viajan en sentidos opuestos y chocan? ¿Continúa cada una su camino sin alteraciones?

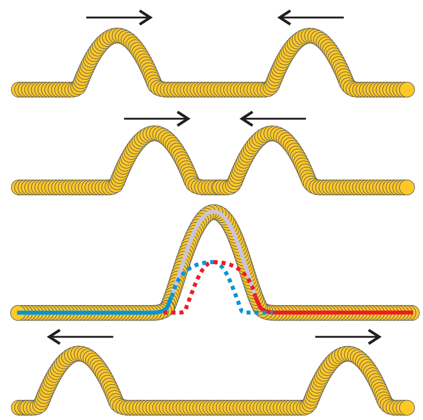


Fig 17. Interferencia constructiva.
Las dos perturbaciones viajan por el mismo medio: se superponen, se suman sus efectos, se cruzan y luego continúan su camino.

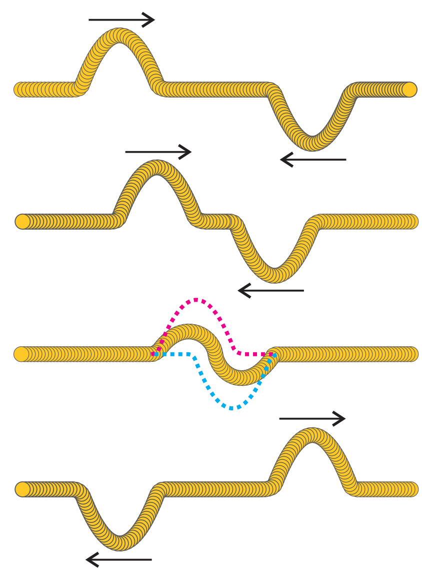


Fig 19. Interferencia destructiva.
Si uno de los pulsos es invertido con respecto al otro, al superponerse se generará momentáneamente una deformación resultante, menor que cada pulso. Se atenúan sus efectos.

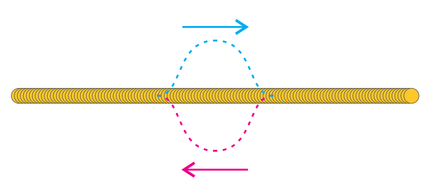
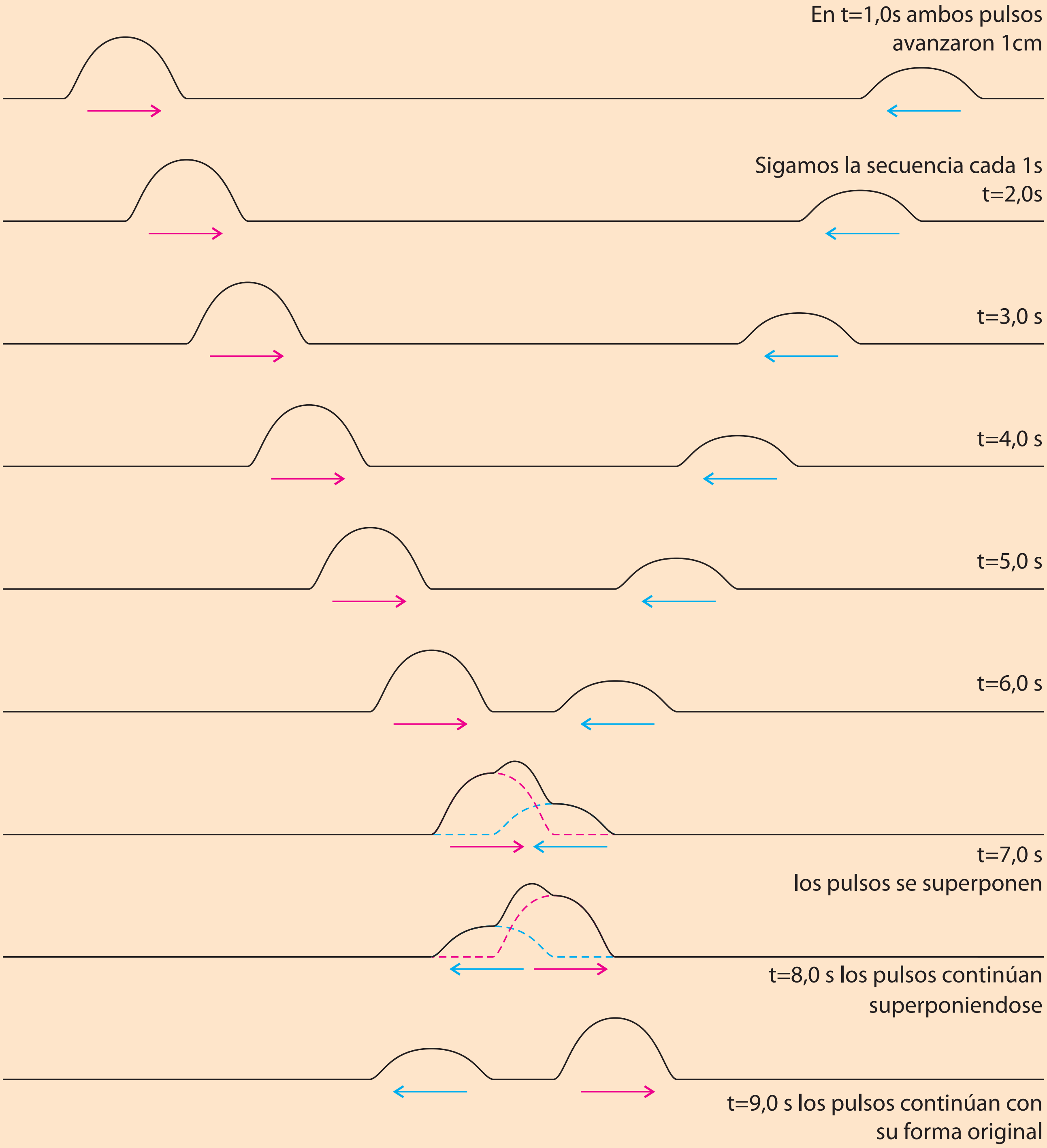


Fig 20. Interferencia totalmente destructiva.
Si los pulsos son perfectamente simétricos, la cuerda está por un instante en su posición de equilibrio, lo que hace que en dicho instante no la veamos deformada.

Ejemplo 3

En los extremos de una cuerda se generan dos pulsos que se propagan en sentidos opuestos, como muestra la figura. Ambos pulsos tienen un ancho de 2 cm y avanzan con una velocidad de 1cm/s. Inicialmente se encuentran separados 13cm

Dibuja la forma de la cuerda cada 1s, entre los instantes t=1s y t=9s.
Aclaración: Este ejemplo es puramente teórico, difícilmente podamos recrear esta situación en una cuerda real. La aplicación del principio de superposición a situaciones reales es muy compleja.



PREGUNTAS

1) ¿Qué es una onda?
2) ¿Qué es una onda mecánica?
3) Explica dos formas diferentes de transferencia de energía de un lugar a otro del espacio. Una trasladando un objeto y la otra sin necesidad de transportar materia.
4) Nombra cuatro fenómenos ondulatorios.
5) Te encuentras en la orilla de un lago y ves un objeto flotando en reposo. Explica por lo menos dos formas diferentes de ponerlo en movimiento.
6) ¿Qué es una onda transversal? Nombra ejemplos.
7) ¿Qué es una onda longitudinal? Nombra ejemplos.
8) ¿Qué es un pulso? Nombra ejemplos.
9) Define densidad lineal de masa de una cuerda (μ). ¿Cuáles son sus unidades en el S.I.?
10) ¿En qué unidades S.I. se mide la Tensión de una cuerda?
11) ¿En qué unidades se mide la velocidad de propagación de un pulso?
12) ¿De qué depende la velocidad de propagación de un pulso en una cuerda?
13) Si en una cuerda aumenta cuatro veces la tensión a la que está sometida ¿cuánto cambia la velocidad de propagación de un pulso en ella?
14) ¿Cómo se refleja un pulso que se propaga por una cuerda con un extremo fijo?
15) ¿Cómo se refleja un pulso que se propaga por una cuerda que tiene un extremo libre?
16) ¿Qué le ocurre a un pulso al transmitirse de una cuerda a otra de mayor densidad lineal de masa "μ"?
17) ¿Qué le ocurre a un pulso al transmitirse de una cuerda a otra de menor densidad lineal de masa "μ"?
18) ¿Qué entendemos por interferencia de pulsos?
19) Explica cuándo se produce interferencia constructiva.
20) Explica cuándo se produce interferencia destructiva.
21) ¿Cómo se ven afectados los pulsos luego de interferir?
22) Un corcho flota inmóvil en el agua cuando es alcanzado por un pulso que se propaga en la superficie. Indica cuál es la mejor opción para describir el movimiento del corcho:
    a. El corcho no se ve afectado por la perturbación.
    b. El corcho se mueve hacia arriba y continúa moviéndose junto con la perturbación.
    c. El corcho se mueve hacia arriba, luego hacia abajo y por último permanece inmóvil.
    d. El corcho se hunde

PROBLEMAS

1) Un pulso se propaga hacia la derecha por una cuerda con $v = 5{,}0 \frac{m}{s}$. En t = 0s la cuerda tiene la forma que muestra la figura 21.
   a) Representa esquemáticamente la forma de la cuerda en:
      t= 0,50s, t=1,00s, t=1,50s y t=2,00s
   b) Indica en cada esquema hacia donde se está moviendo el punto "A".

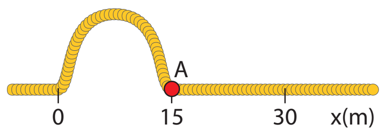


Fig. 21. Problema 1.

2) Un pulso viajando a través de una cuerda incide en un punto fijo como muestra la figura 22.
   a) Representa esquemáticamente la forma del pulso reflejado.
   b) ¿Cuál de los dos pulsos se propaga a mayor velocidad, incidente o reflejado?

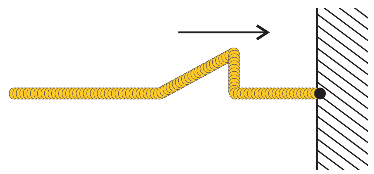


Fig. 22. Problema 2.

3) Repite el problema anterior pero considerando que el pulso incide en un punto que puede oscilar libremente.

4) Dos cuerdas de distinta densidad lineal de masa ($\mu_1 = 4{,}00 \times 10^{-3}$kg/m y $\mu_2 = 3{,}60 \times 10^{-2}$kg/m) están unidas en un punto y sometidas a una tensión de 57,6N. En la cuerda 1 se genera un pulso que se propaga como muestra la figura 23.
   a) Representa esquemáticamente los pulsos reflejado y refractado.
   b) Determina la velocidad de cada pulso (incidente, reflejado y refractado).

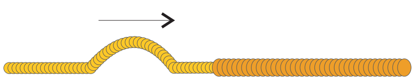


Fig. 23. Problema 4.

5) Resuelve lo mismo que en el problema anterior pero suponiendo que el pulso incide desde la cuerda 2.

6) Un pulso se propaga por una cuerda con $v = 100 \frac{m}{s}$ (Fig. 24)
   a) ¿Cuánto varía su velocidad si se duplica la tensión de la cuerda?
   b) ¿Cuánto varía su velocidad si se cuadriplica la tensión de la cuerda?

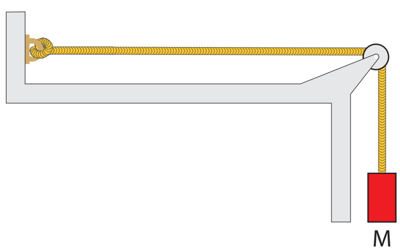


Fig. 24. Problema 6

7) Dos cuerdas de distinta densidad lineal de masa ($\mu_2 = 2\mu_1$) se encuentran sometidas a la misma tensión. Determina v_2/v_1, relación ente las velocidades de propagación de pulsos en cada cuerda.

8) Por una cuerda de 10,0m de largo y m=500g se propaga un pulso. La figura 25 muestra la posición del pulso en dos instantes.
   a) Determina la velocidad de propagación del pulso.
   b) Determina la densidad lineal de masa de la cuerda.
   c) Determina la tensión en la cuerda.

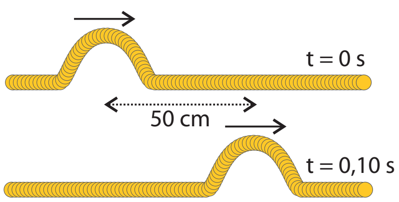


Fig. 25. Problema 8

9) Dos pulsos de igual forma se propagan por una cuerda como muestra la figura 26. El punto "A" es fijo.
   a) ¿Cuál de los pulsos se propaga a mayor velocidad?
   b) ¿Se superponen en algún momento los pulsos? En caso afirmativo, representa esquemáticamente la forma de la cuerda en ese instante.

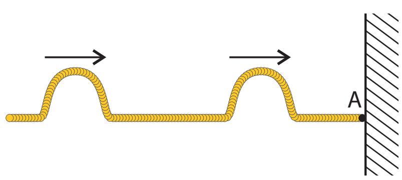


Fig. 26. Problema 9

10) Por una cuerda se propagan dos pulsos con $v=1{,}0\frac{m}{s}$ en sentidos opuestos. En t=0s la cuerda tiene la forma que muestra la figura 27. Representa esquemáticamente la forma de la cuerda en t = 1,0s, t = 2,0s y t = 3,0s.

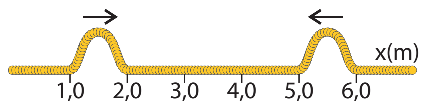


Fig. 27. Problema 10

11) Repite el problema anterior para la siguiente configuración de la cuerda en t = 0s. (Fig. 28)

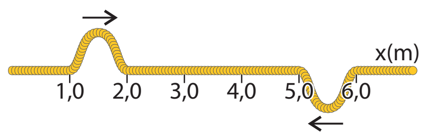


Fig. 28. Problema 11

12) Dos pulsos rectangulares tienen amplitud de 10cm y 12cm respectivamente. Determina la amplitud del pulso resultante cuando interfieren según las siguientes situaciones:
   a) Los pulsos son derechos.
   b) Un pulso es invertido con respecto al otro.

13) Por una cuerda se propagan dos pulsos con v=0,50m/s en sentidos opuestos. En t=0s la cuerda tiene la forma que muestra la figura 29. Representa esquemáticamente la forma de la cuerda en t=1,0s, t=2,0s y t=3,0s.

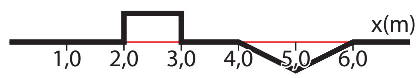


Fig. 29. Problema 13.

14) Repite el problema anterior invirtiendo uno de los pulsos

15) Se presenta la misma situación del problema 9, pero en este caso "A" es un punto que puede oscilar libremente. (Fig. 30)
   a) ¿Pueden superponerse los pulsos antes que se refleje uno de ellos? Justifica.
   b) Representa esquemáticamente la forma de la cuerda en el instante en que los pulsos se superponen.

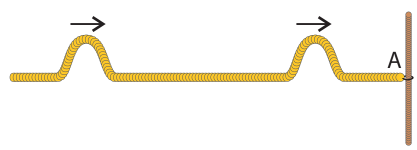


Fig. 30. Problema 15.

16) Por una cuerda se propaga un pulso como muestra la figura 31.
   a) Queremos generar un pulso que interfiera en forma constructiva con el primero ¿Qué características debería tener el pulso generado?
   b) ¿Qué características debería tener el pulso generado si queremos que se produzca interferencia destructiva?

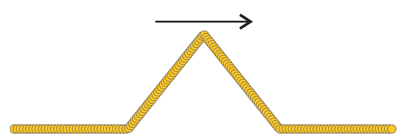


Fig. 31. Problema 16.