

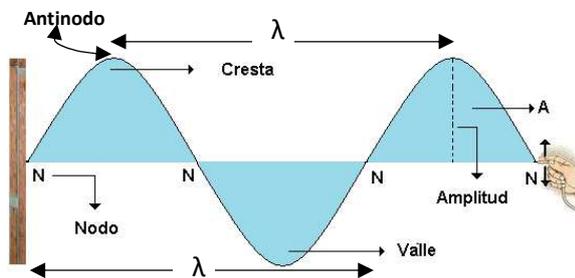
UNIDAD 3

$$v = \frac{\lambda}{T} = \lambda f$$

ONDAS

Una onda es la propagación de una perturbación que viaja a través del espacio desplazando energía pero no materia. Dicha propagación genera un desplazamiento vibratorio del medio donde viaja, en forma de Movimiento Armónico Simple (MAS), manifestándose como una onda periódica

3.1 PARTES DE UNA ONDA.



Nodo: son los puntos de mínima oscilación de la onda (puntos de equilibrios)

Antinodos: son los puntos de máxima oscilación de la onda (puntos de retornos).

Cresta: son los segmentos superiores de gráfica de la onda.

Valles: son depresiones inferiores de gráfica de la onda

Longitud de la onda (λ): es la distancia de una oscilación completa. Equivale a la distancia de tres nodos sucesivos, o entre dos antinodos sucesivos.

Periodo (T): es el tiempo que tarda una partícula en dar una oscilación completa.

$$T = \frac{t}{\# \text{ oscilaciones}}$$

Frecuencia (f): es la cantidad de oscilaciones completa que la partícula realiza en la unidad de tiempo. Se mide en Hertz (hz)

$$f = \frac{\# \text{ oscilaciones}}{t}$$

De lo anterior se cumple que: $f = \frac{1}{T}$ $T = \frac{1}{f}$

Velocidad de propagación (v): es la distancia que recorres la onda en un periodo de oscilación.

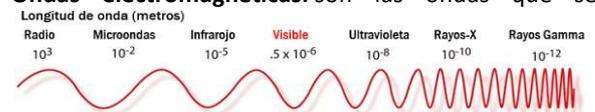
3.2 CLASIFICACIÓN DE LAS ONDAS. Las ondas se clasifican: según el medio en que viajan, según dirección de propagación y según el número de ondas.

A. Según el medio en que viajan: normalmente, se dividen en dos, las mecánicas y electromagnéticas; pero, podemos ubicar en esta clasificación a la ondas gravitacionales.

Ondas mecánicas: son las ondas que necesitan un medio material elástico (sólido, líquido o gaseoso) para propagarse. Las partículas del medio oscilan alrededor de un punto de equilibrio, por lo que no existe transporte neto de materia a través del medio. Dentro de las ondas mecánicas tenemos las ondas elásticas, las ondas que se propagan en la superficie del agua o en una explosión controlada, las ondas sonoras, los impactos.

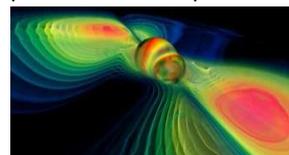


Ondas electromagnéticas: son las ondas que se



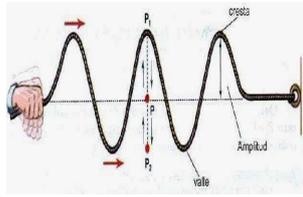
propagan por el espacio sin necesidad de un medio material, pudiendo por lo tanto propagarse en el vacío. Esto es debido a que las ondas electromagnéticas son producidas por las oscilaciones de un campo eléctrico, en relación con un campo magnético asociado. Las ondas electromagnéticas viajan aproximadamente a una velocidad de 300000 km/s, de acuerdo a la velocidad puede ser agrupado en rango de frecuencia. Este ordenamiento es conocido como Espectro Electromagnético. Los rayos X, la luz visible, los rayos ultravioleta, las radiofrecuencias, las microondas son ejemplos de ondas electromagnéticas.

Ondas gravitacionales: las ondas gravitacionales son perturbaciones que alteran la geometría misma del espacio-tiempo y aunque es común representarlas viajando en el vacío, técnicamente no podemos afirmar que se desplacen por ningún espacio, sino que en sí mismas son alteraciones del espacio-tiempo.



B. Según su dirección: según su dirección las ondas se clasifican en unidimensionales, bidireccionales o tridimensionales.

Ondas unidimensionales: las ondas unidimensionales son aquellas que se propagan a lo largo de una sola dirección del espacio, como las ondas en los resortes o en las cuerdas. Si la onda se propaga en una dirección única, sus frentes de onda son planos y paralelos.



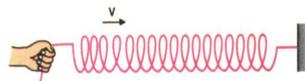
Ondas bidimensionales o superficiales: son ondas que se propagan en dos direcciones. Pueden propagarse, en cualquiera de las direcciones de una superficie, por ello, se denominan también ondas superficiales. Un ejemplo son las ondas que se producen en una superficie líquida en reposo cuando, por ejemplo, se deja caer una piedra en ella.

Ondas tridimensionales o esféricas: son ondas que se propagan en tres direcciones. Las ondas tridimensionales se conocen también como ondas esféricas, porque sus frentes de ondas son esferas concéntricas que salen de la fuente de perturbación expandiéndose en todas direcciones. El sonido es una onda tridimensional. Son ondas tridimensionales las ondas sonoras (mecánicas) y las ondas electromagnéticas.



C. Según movimiento de sus partículas: según su vibración las ondas se clasifican en longitudinales y transversales.

Ondas longitudinales: son aquellas que se caracterizan porque las partículas del medio se mueven o vibran paralelamente a la dirección de propagación de la onda. Por ejemplo, las ondas sísmicas P, las ondas sonoras y un muelle que se comprime dan lugar a una onda longitudinal.



Ondas transversales: son aquellas que se caracterizan porque las partículas del medio vibran

perpendicularmente a la dirección de propagación de la onda. Por ejemplo, las olas del mar, las ondas que se propagan en una cuerda y las ondas sísmicas S.



C. Según su periodicidad: según su periodicidad las ondas se clasifican en periódicas y no periódicas.



Ondas periódicas: la perturbación local que las origina se produce en ciclos repetitivos por ejemplo una onda sinusoidal.

Ondas no periódicas: la perturbación que las origina se da aisladamente o, en el caso de que se repita, las perturbaciones sucesivas tienen características diferentes. Las ondas aisladas también se denominan pulsos.

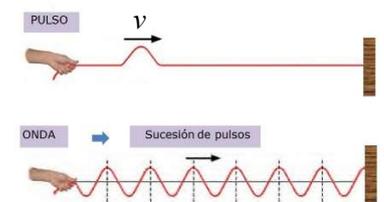
3.3 PULSOS. Si un estudiante envía arbitrariamente pulsos desde el extremo libre de una cuerda, después de algunos segundos se podrá tener una forma tan caprichosa. Pero, si el estudiante mueve la mano con MAS, la forma de la cuerda, será como la de la figura. Una onda de este tipo se llama **onda armónica**



Velocidad de propagación de las ondas transversales en una cuerda:

nos ocuparemos ahora de la propagación de un movimiento ondulatorio en una cuerda sometida a una tensión y la velocidad de propagación de las ondas transversales que se forman en la misma.

PULSOS Y ONDAS



La onda se propaga con una velocidad constante a lo largo de la cuerda. Si pinchamos una cuerda de guitarra y soltamos, se forma una onda que se propaga por la cuerda y rebota en los puntos de sujeción.

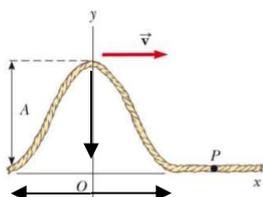
Se propaga con una velocidad que depende de la tensión del pellizco y de la masa por unidad de longitud de la cuerda. A igualdad de pellizco la velocidad de la onda en una "prima" (la cuerda inferior de la guitarra y más delgada) no es igual a aquella con que se propaga en un "bordón".



Los elementos materiales de la cuerda se mueven perpendicularmente a ella, arriba y abajo, con velocidad variable dada por la ecuación de un *movimiento vibratorio armónico simple*, pero no se desplazan a lo largo de ella. La onda se propaga por la cuerda con una velocidad constante que depende del impulso que se le aplica y del grosor de la cuerda.

Pellizquemos una cuerda. Ahora sólo se está formando y se ha propagado a un pequeño elemento de cuerda. La tensión de la cuerda se puede suponer que tiene dos componentes uno vertical y otro horizontal.

Las componentes horizontales se anulan al estar dirigidos en sentidos opuestos y neutralizados por la sujeción de la cuerda. La componente vertical de la tensión acelera la masa de un pequeño trozo de la cuerda por donde se propagó la onda en un tiempo t , muy pequeño (la parte inclinada de la figura).



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 .

$$\mu = \frac{m_c}{l_c}$$

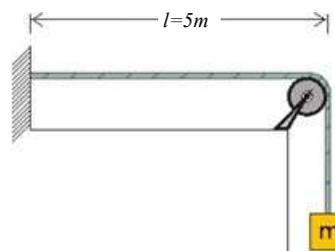
La velocidad de propagación v , es mayor si la cuerda está más tensa y es menor si la cuerda es de mayor densidad lineal de masa.

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

La expresión de la velocidad de propagación del sonido en el aire es semejante a la anterior pero en lugar de la tensión se pone la presión atmosférica y la densidad lineal se sustituye por la densidad del aire.

Ejemplo 1.

Una cuerda de masa 42,7 gramos y longitud 5 metros es tensada por una pesa de masa 1,86 kilogramos como muestra la figura.



Determina la velocidad con la que se propagaría un pulso por la cuerda.

Datos que nos da el problema:

$$m_c = 0,0427 \text{ kg} \quad l_c = 5 \text{ m}$$

Con los datos de la cuerda, podemos determinar la *densidad lineal de masa* (μ) de la cuerda

$$\mu = \frac{m_c}{l_c} = \frac{0,0427}{5} = 8,54 \times 10^{-3} \text{ kg/m}$$

El problema también nos da información de la masa de la pesa colgante

$$M_p = 1,86 \text{ kg}$$

Con esta información determinaremos el valor de la Tensión (T) a la que está sometida la cuerda

$$T = M_p g = (1,86)(9,8) = 18,2 \text{ N}$$

Solución:

Entonces para determinar la velocidad de propagación del pulso por esta cuerda, aplicamos:

$$v = \sqrt{\frac{T}{\mu}} = \sqrt{\frac{18,2}{0,00854}} = 46,2 \text{ m/s}$$

Descripción del movimiento ondulatorio armónico: ahora analizaremos como se mueven las partículas de una cuerda cuando por ella avanza una onda.

Si la primera partícula de la cuerda se mueve de tal forma que su posición vertical.

$$y = A \sin(\omega t)$$

Una partícula situada a una distancia x de ella, se moverá igual que esta pero atrasada en un tiempo x/v (tiempo que tarda la onda de ir del foco hasta esa partícula); por lo tanto, la función se transforma en:

$$y = A \sin k(x - vt)$$

donde,

A es la amplitud

k es número de onda, $k = \frac{2\pi}{\lambda}$

v es la velocidad de propagación

Ejemplo 2. Escriba la ecuación de una onda que se propaga por una cuerda con una amplitud de 2 cm, velocidad de propagación 2 m/s y un periodo 0,1 s

Datos que nos da el problema:

$$A = 0,02 \text{ m} \quad v = 2 \text{ m/s} \quad T = 0,1 \text{ s}$$

Solución:

La ecuación de la onda viene dada por:

$$y = A \sin k(x - vt)$$

Sabemos que

$$\lambda = vT = 2(0,1) = 0,2 \text{ m}$$

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{2\pi}{0,2} = 10\pi \text{ m}^{-1}$$

Reemplazando en la ecuación tenemos

$$y = A \sin k(x - vt) = 0,02 \sin 10\pi(x - 2t)$$

$$y = 0,02 \sin(10\pi x - 20\pi t)$$

3.4 FENÓMENOS ONDULATORIOS. Hay algunas características que son propias de las ondas; por ejemplo, podemos escuchar un sonido proveniente del otro lado de un muro, aunque no estemos viendo la fuente que lo emite ¿por qué las olas del mar bordean las orillas cuando encuentran una abertura formada por un rompeolas? (difracción). A continuación se mencionan algunos de estos fenómenos ondulatorios.

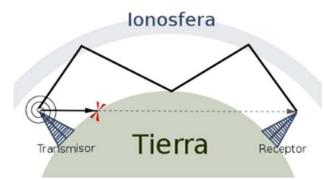
Reflexión: es el cambio de dirección que experimenta una onda cuando choca con un obstáculo. *El ángulo incidente es igual al ángulo reflejado.*



Toda onda se refleja.

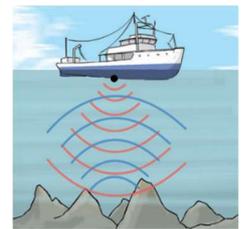
En la figura, encontramos la utilización de la reflexión en las telecomunicaciones.

(Ondas electromagnéticas)



Aquí se puede ver el efecto de reflexión de las ondas planas, al colocarle un obstáculo a un tren de ondas en una vasija con agua.

El sonar es utilización de la reflexión de las ondas sonoras en la navegación.



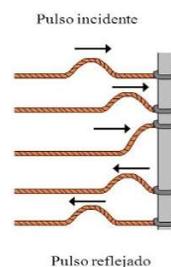
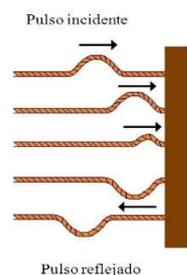
De igual manera, los murciélagos utilizan esta característica para su orientación



La reflexión de la luz es la que nos permite observarnos en los espejos

Reflexión de pulsos en una cuerda: dependiendo de la forma que esté la cuerda, el fenómeno de reflexión será invertido o no.

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.

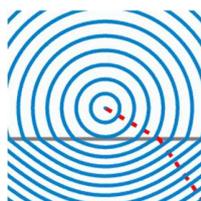


Un pulso incidente que se propaga por una cuerda tensa al llegar a un **extremo libre** se reflejara sin invertirse. La velocidad de propagación cambia de sentido pero su módulo permanece constante.

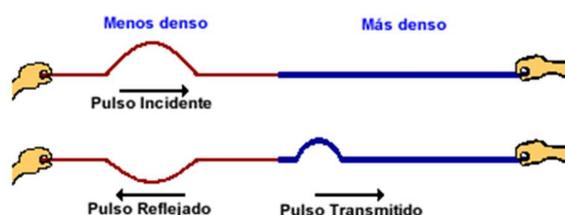
Refracción: es el cambio de velocidad de propagación que experimenta una onda cuando pasa de un medio a otro, sin variar su frecuencia.



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*.

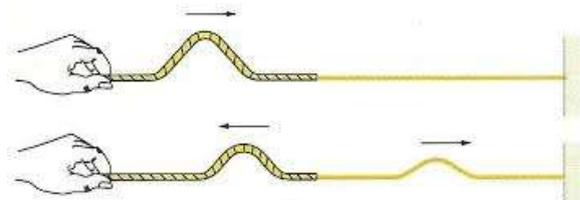


Refracción en pulso de menor a mayor densidad



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.

Refracción en pulso de mayor a menor densidad



También puede ocurrir que el pulso incidente viaje por la cuerda de mayor densidad lineal de masa y se transmita a otra más liviana. 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.

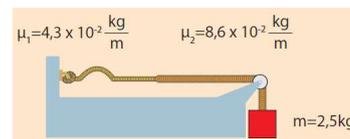
En ambos casos analizados el pulso transmitido se propaga con distinta velocidad que el pulso incidente. Recordemos que la velocidad de propagación en una cuerda depende de su densidad lineal de masa μ y de la tensión. Si las cuerdas están unidas podemos asumir que están sometidas a la misma tensión. 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.

$$\text{si } m_1 < m_2 \rightarrow v_1 > v_2$$

$$\text{si } m_1 > m_2 \rightarrow v_1 < v_2$$

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 3. 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 m 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.



- Determina la velocidad de propagación del pulso incidente en la cuerda 1.
- Qué sucede cuando el pulso incidente llega al punto de unión de las cuerdas?
- Determina la velocidad de propagación del pulso refractado (en la cuerda 2).
- Determina el tiempo que emplea el pulso en llegar desde el extremo fijo a la polea.

Datos que nos da el problema:

$$m = 2,5 \text{ Kg} \quad l = 10 \text{ m}$$

$$T = mg = 2,5(9,8) = 24,5 \text{ N}$$

Solución:

- Velocidad de propagación del pulso incidente.

$$v_i = \sqrt{\frac{T}{\mu_i}} = \sqrt{\frac{24,5}{0,043}} = 24 \text{ m/s}$$

- Cuando el pulso incidente llega al punto de unión

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. Velocidad de propagación del pulso refractado.

$$v_r = \sqrt{\frac{T}{\mu_r}} = \sqrt{\frac{24,5}{0,086}} = 17 \text{ m/s}$$

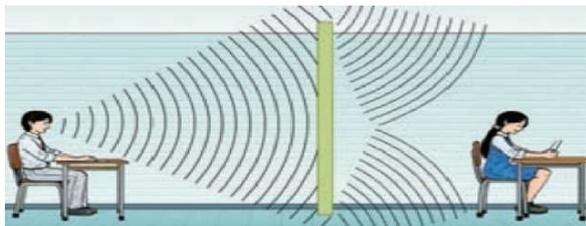
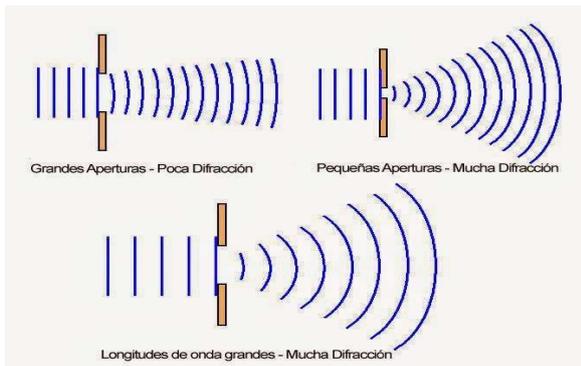
e. Tiempo del pulso en llegar del extremo a la polea.

sabemos que: $t = \frac{x}{v}$

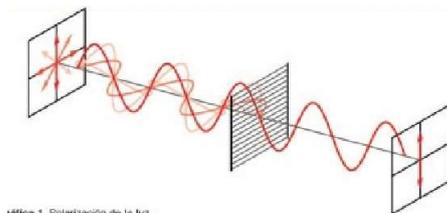
Es lógico pensar que, el tiempo total del pulso, es el tiempo en que demora el pulso incidente más el tiempo que demora el pulso refractado en recorrer sus respectivos tramos de cuerda.

$$t = \frac{x_1}{v_i} + \frac{x_2}{v_r} = \frac{5}{24} + \frac{5}{17} = 0,50 \text{ s}$$

Difracción: es el fenómeno ondulatorio que se presenta cuando la onda pasa a través de un orificio de tamaño menor que la longitud de onda, o pasa cerca de un obstáculo, manifestándose porque la onda se curva al pasar por la abertura y borde el obstáculo.

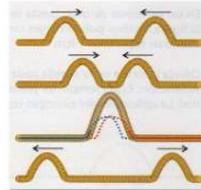


Polarización: cuando los planos de vibración de una onda se restringen a uno solo, se dice que la onda se ha polarizado. Este fenómeno se presenta en las ondas transversales, mas no en las longitudinales, por lo tanto no lo experimenta el sonido.

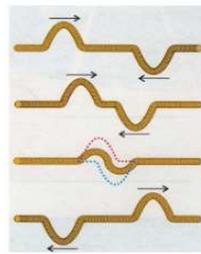


gráfica 1. Polarización de la luz

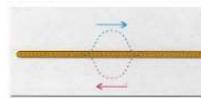
Interferencia: interferencia se le denomina al fenómeno físico en el que dos perturbaciones que viajan por el mismo medio se superponen en una misma región. Cuando dos ondas se encuentran en un punto, el desplazamiento resultante en ese punto es la suma de los desplazamientos individuales producidos por cada una de las ondas. Si los desplazamientos van en el mismo sentido, ambas ondas se refuerzan, si van sentido opuesto se debilitan mutuamente.



Constructivas: las dos perturbaciones viajan por el mismo medio, se superponen, se suman sus efectos, se cruzan y luego continúa su camino



Destructivas: si uno de los pulsos es invertido con respecto al otro, al superponerse, se genera momentáneamente una deformación resultante, menor que cada pulso. Se atenúan sus efectos

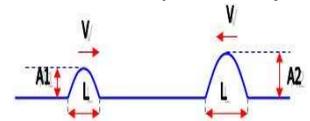


Si los pulsos son perfectamente simétricos. La cuerda puede estar un instante en su posición de equilibrio, lo que hace que en dicho instante no la vemos deformada, en este caso decimos que es una interferencia totalmente destructiva

Tanto la interferencia constructiva como destructiva son una situación momentánea, luego los pulsos continúan su camino con la forma, velocidad y energía que tenían inicialmente.

Ejemplo 3. Dos pulsos se propagan por una cuerda a igual frecuencia con amplitudes de 2 cm y 5 cm, viajan en sentido contrario, como se ve en la figura.

Cuál es el valor de la amplitud en el instante de la superposición. Qué ocurre después con los pulsos

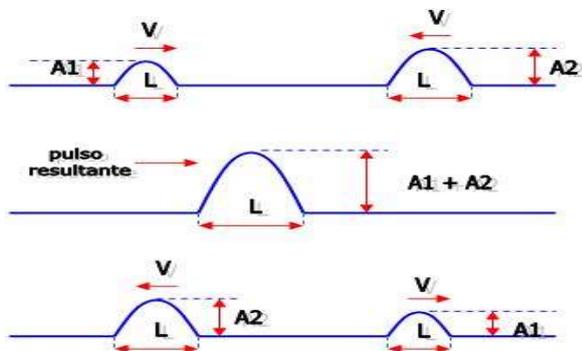


Datos que nos da el problema:

$$A_1 = 0,02 \text{ m} \quad A_2 = 0,05 \text{ m}$$

Solución:

Al momento de ocurrencia de la superposición, esta es del tipo constructiva, por lo tanto se suman sus amplitudes, como se ve en la gráfica:



$$A_T = A_1 + A_2 = 0,02 \text{ m} + 0,05 \text{ m} = 0,07 \text{ m}$$

Después de ocurrida la superposición, los pulsos continúan su camino con la forma, velocidad y energía que tenían inicialmente.

Para saber más:

<http://www.funvisis.gob.ve/objetosa/temblortierra/tondas.html>

DESARROLLO MIS COMPETENCIAS 3

- Obligatorio, resuelva en su cuaderno los ejercicios del libro guía.
 - Página 36, ejercicios 1, 2, 6, 9
 - Página 37, ejercicios 13, 14, 18
- La nota musical la tiene una frecuencia, por convenio internacional de 440 Hz. Si en el aire se propaga con una velocidad de 340 m/s y en el agua lo hace a 1400 m/s, calcula su longitud de onda en esos medios.
- La ecuación de una onda, en unidades del S.I., que se propaga por una cuerda es:

$$y = 0,05 \cos 2\pi(4t - 2x)$$
 - Determina las magnitudes características de la onda (amplitud, frecuencia angular, número de onda, longitud de onda, frecuencia, período, velocidad de propagación)
 - Deduce las expresiones generales de la velocidad y aceleración transversal de un elemento de la cuerda y sus valores máximos.
 - Determina los valores de la elongación, velocidad y aceleración de un punto situado a 1m del origen en el instante $t = 3 \text{ s}$
(Sugerencia: asuma la ecuación general $y = A \cos(\omega t - kx)$)
- Se agita el extremo de una cuerda con una frecuencia de 2 Hz y una amplitud de 3 cm. Si la perturbación se propaga con una velocidad de 0,5 m/s, escribe la expresión que representa el movimiento por la cuerda.
- Por una cuerda se propagan dos pulsos con $v = 1 \text{ m/s}$ en sentidos opuestos. En $t = 0 \text{ s}$ la cuerda tiene la forma que muestra la figura. Representa esquemáticamente la forma de la cuerda en $t = 1,0 \text{ s}$, $t = 2,0 \text{ s}$ y $t = 3,0 \text{ s}$.

