

DEMO 08

Ondas con muelle gigante (slinky)

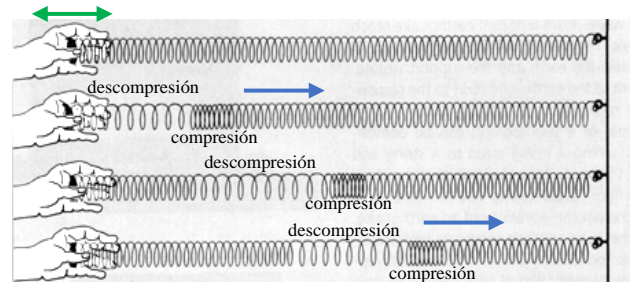


Autor ficha	Chantal Ferrer Roca y Juan Zúñiga Román
Palabras clave	Ondas transversales y longitudinales, pulsos y ondas armónicas, interferencia, ondas estacionarias,
Objetivo	Reproducir y visualizar aspectos conceptuales de las ondas mediante muelles gigantes, como las diferencias entre ondas transversales y longitudinales, pulsos y ondas sinusoidales, interferencias de pulsos (constructivas y destructivas), y un estudio de las ondas estacionarias (o modos estacionarios) de una cuerda y la obtención de la velocidad de propagación de las ondas en el muelle y su dependencia con la tensión
Material	Slinkys o muelles gigantes de diferentes longitudes y diámetros o materiales (de acero, de plástico). Es posible unir dos o tres muelles más cortos para hacer uno más largo, simplemente emplamando las espiras de los extremos con cinta adhesiva.
Montaje	Tiempo nulo. Se requiere una persona que sujete un extremo del slinky y otra que genere las ondas

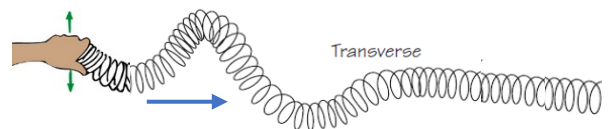
Descripción y explicación:

1. Onda longitudinal muelle de mayor diámetro (de acero o plástico) Extender el muelle sobre el suelo o una mesa manteniendo fijos sus extremos de manera que se mantenga un poco tenso. Haz un vaivén u oscilación rápida con la mano en la dirección de la longitud del muelle: se produce una compresión-descompresión de las espiras que se propaga hacia el otro extremo, es decir, diferentes puntos del muelle propagan la oscilación inicial. La dirección de la perturbación es paralela a la de propagación. ([ver este video](#)).

Las ondas sonoras, por ejemplo, son longitudinales y en ellas se propaga la compresión-descompresión de diferentes puntos del medio por el que se viajan (sólido o fluido). Las ondas P (primarias) de los terremotos también son longitudinales.



2. Onda transversal con cualquiera de los muelles Como en el caso anterior, solo que el vaivén de la mano se hace lateralmente, en la dirección perpendicular al muelle. Esta oscilación se va propagando por el muelle hacia el otro extremo. La dirección de la perturbación es perpendicular a la de propagación. Las ondas S (secundarias) de los terremotos son transversales.



3. Pulsos y ondas armónicas : en los casos anteriores, cuando generamos una única perturbación (longitudinal o transversal) que se propaga hacia el otro extremo, tenemos un pulso. Si movemos la mano en vaivén continuamente con el mismo ritmo, mantenemos siempre la perturbación y tenemos ondas aproximadamente sinusoidales o armónicas de una frecuencia fija. Es más fácil reconocerlas reproduciendo una onda transversal ([ver video](#)). Para que fueran realmente armónicas, el muelle debería ser infinito y deberían poder propagarse sin límite.

4. Reflexión: en los casos anteriores, cuando generamos un pulso (longitudinal o transversal), vemos que al llegar al otro extremo, el pulso se refleja. Si producimos un pulso transversal, podemos ver que, al reflejarse en el extremo opuesto que está fijo, el pulso regresa por el lado opuesto al de llegada (cambio de fase de 180 °). [Ver video](#) Es posible anudar un hilo al extremo del slinky de mayor diámetro y sujetarlo por el hilo. Esto hace que se comporte como un extremo libre. Al generar un pulso trasversal y reflejarse, ya no se observa este cambio de fase.

5. Velocidad de propagación de un pulso:

Tanto para el pulso longitudinal como para el transversal, se puede cronometrar el tiempo t que tarda el pulso en recorrer la longitud L del muelle (esta se ha de fijar y medir). Producir el pulso y medir el tiempo de ida y vuelta o de un número N de viajes (idas o vueltas). La velocidad de propagación será $v = NL/t$. Sin cambiar la longitud, recoge espiras para que el muelle quede más tenso y repetir la medida. Se observa que la velocidad de propagación aumenta.

6. Interferencias:

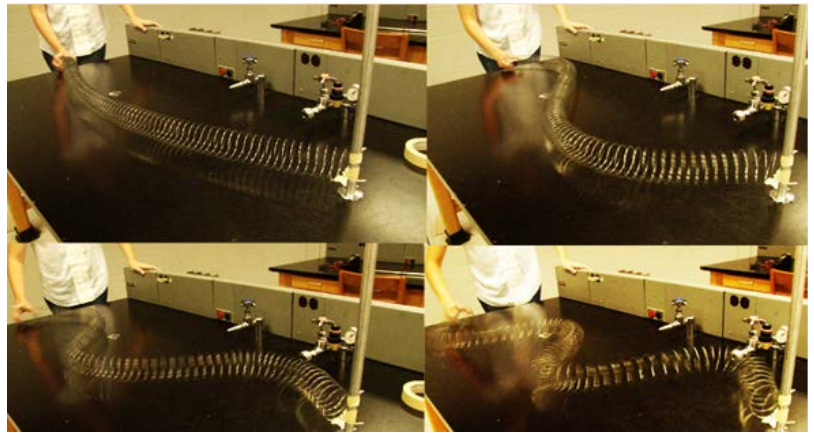
Con el muelle extendido en el suelo y tensado provocar dos pulsos transversales simultáneamente Si ambos pulsos viajan por el mismo lado del muelle, al encontrarse se producirá una interferencia constructiva y se observa como la amplitud del pulso resultante es la suma de ambos pulsos. Si, por el contrario, los pulsos se producen de manera que viajen cada uno por un lado del muelle, tendrá lugar una interferencia destructiva pudiendo anularse completamente la amplitud total.

7. Ondas estacionarias (preferible usar el slinky más fino y largo apoyado sobre suelo o mesa)

Haciendo vibrar el muelle por un extremo, se pueden encontrar sus modos propios de oscilación: para determinadas frecuencias, se tiene el patrón típico de nodos y vientres de las ondas estacionarias (aquellas que no se propagan, por ser el resultado de la interferencia constructiva de las ondas incidentes con las reflejadas en el extremo). Este conjunto de modos o armónicos del muelle (en este caso con ambos extremos fijos) se produce para un conjunto discreto (o cuantizado) de frecuencias que son múltiplo de la frecuencia fundamental, la más baja.

Las ondas estacionarias pueden ser longitudinales ([ver video](#)) o bien transversales ([ver video](#)), aunque los modos transversales son más fáciles de obtener y visualmente más instructivos.

Fijar (y medir) la longitud del L muelle (preferible hacer marcas sobre el suelo o mesa) y hacer oscilar un extremo del muelle transversalmente con la mano con una frecuencia baja, de forma que se observe el modo fundamental o primer armónico (un único vientre central). Una vez conseguido un patrón se pueden intentar obtener otros armónicos variando la frecuencia: memorizar el ritmo anterior y duplicarlo, ahora deberá aparecer el segundo armónico (dos vientres y un nodo central). De nuevo, volver al modo fundamental, memorizar el ritmo y triplicarlo, deberá aparecer el tercer armónico (tres vientres y dos nodos). Así sucesivamente hasta el 5º o 6º armónico (la mano no permite más). Siempre que el patrón de vientres y nodos permanezca estable, es que hemos encontrado un armónico. Contando el número de vientres (n) sabremos de cuál se trata. La distancia entre dos vientres (o entre dos nodos) es media longitud de onda $\lambda/2$. Luego para cada armónico n, la longitud del muelle se subdivide en n semi-longitudes de onda, es decir:



$\lambda_n = 2L/n$

Es posible medir la frecuencia de cada armónico (f_n), cronometrando el tiempo de M grupos de vaivenes de la mano (10 o 20), de forma que $f = M/t$.

La velocidad de propagación de las ondas transversales en el muelle es $v = \lambda_n f_n$. Como esta depende del material del muelle y de la tensión, el producto $\lambda_n f_n$ permanece constante (si aumentamos la frecuencia aparecerán más vientres y si la disminuimos menos).

De hecho, se cumple que $f_n = v/\lambda_n = (v/2L) \cdot n$

Se puede tabular y representar gráficamente f_n frente a n, y verificar que los puntos experimentales siguen una línea recta. La pendiente de dicha recta es $v/2L$, y midiendo L se puede determinar numéricamente la velocidad de propagación v.

Esta velocidad debería coincidir con la medida mediante la propagación de pulsos transversales.

Aumentar la tensión del muelle sin cambiar la longitud. La velocidad de propagación aumentará. Comprobar que para un armónico determinado la frecuencia a aplicar será mayor que cuando la cuerda estaba menos tensa. Si por el contrario disminuimos la tensión, la frecuencia será menor.

Sugerencias