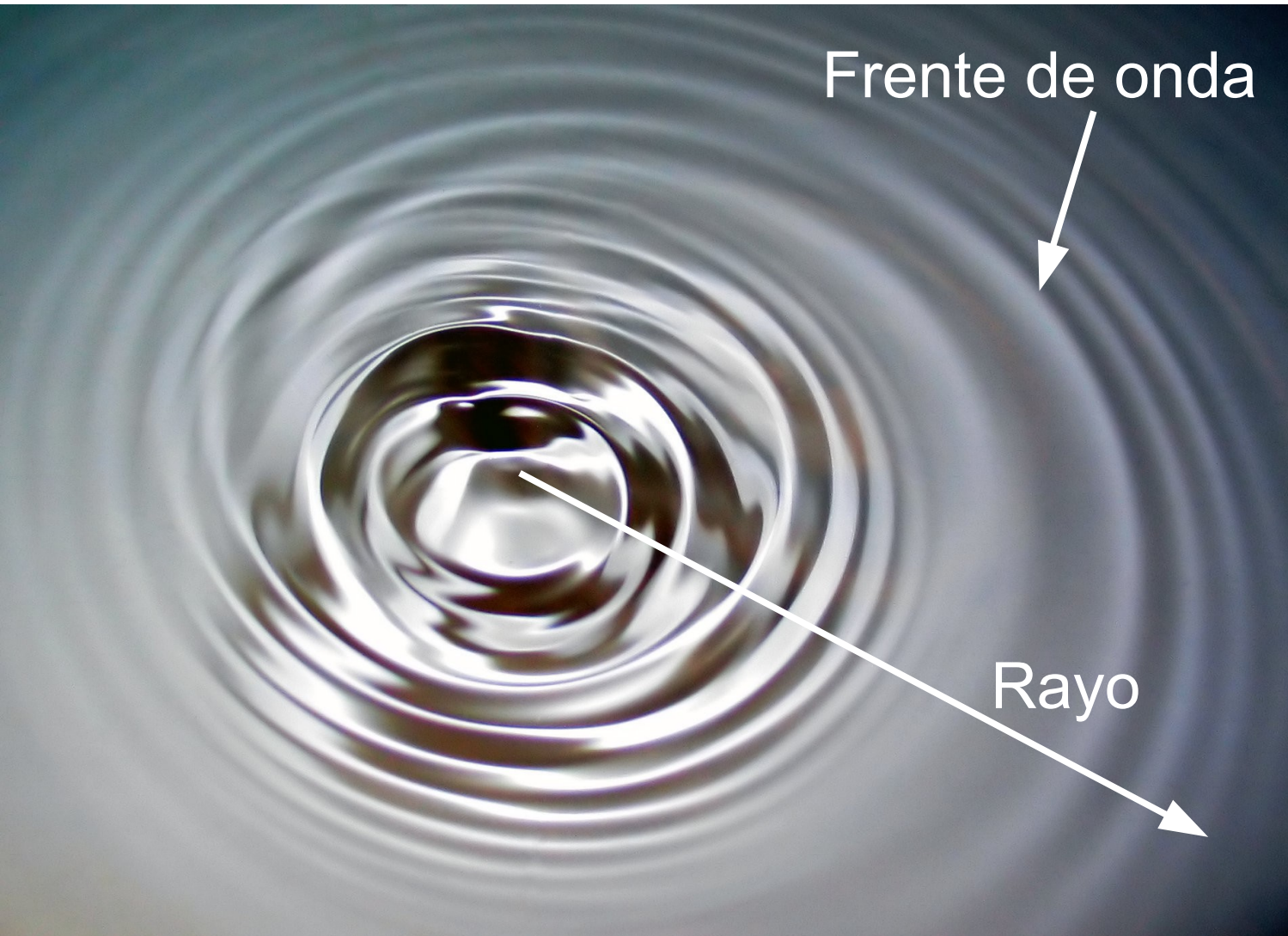


# Fenómenos ondulatorios

# Definiciones

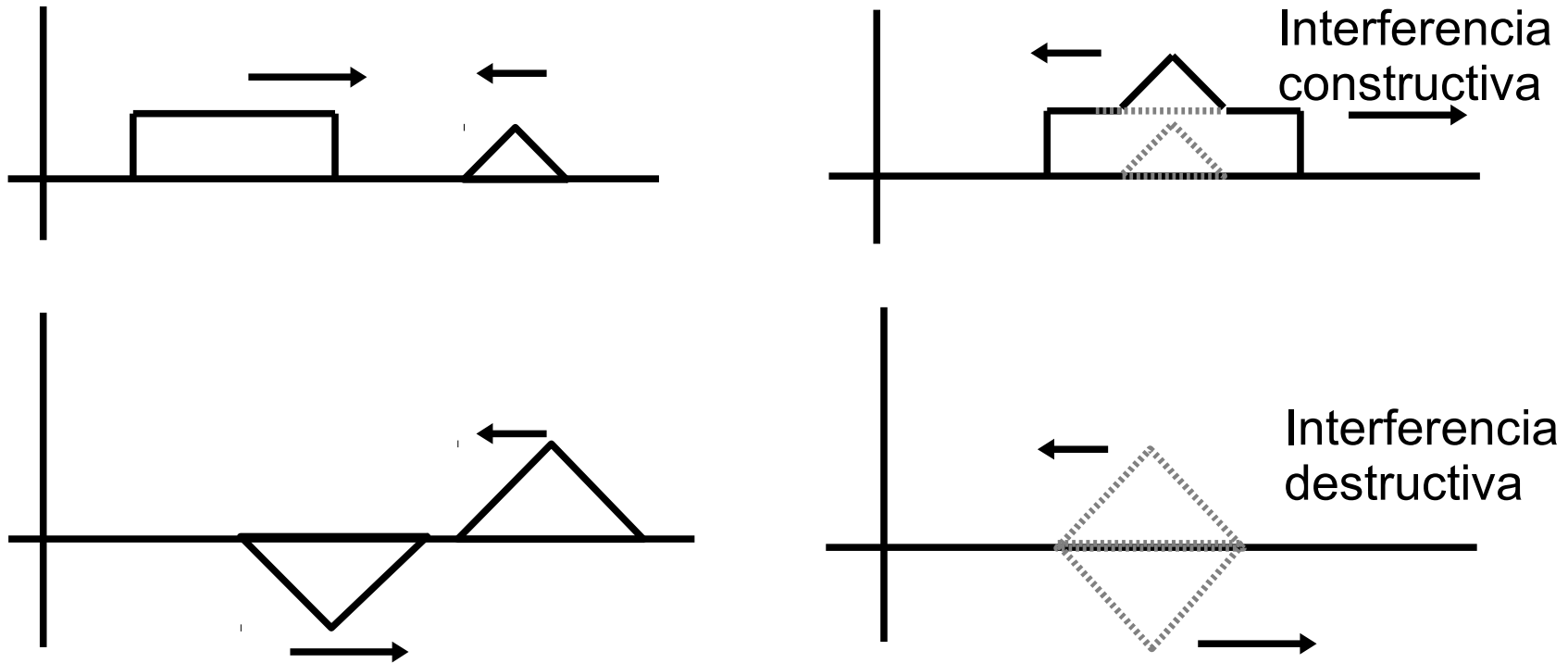


(puntos con la misma fase)

Rayo: línea perpendicular a los frentes de onda. Indica su movimiento

# Principio de superposición

¿Qué pasa con las ondas que se cruzan cuando tiramos dos piedras en un estanque?



Aplicación:  
anulación, en los móviles, del sonido ambiental

# Reflexión y refracción: Estudio cualitativo

Cuando una onda incide sobre la superficie de separación de dos medios parte se refleja ...

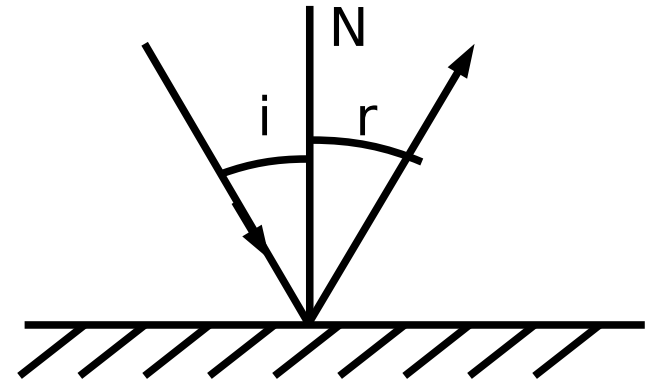


y parte se refracta (pasa al segundo medio cambiando su velocidad)

# Leyes de la reflexión

1- El rayo incidente, la normal y el rayo reflejado se encuentran en el mismo plano

2- El ángulo de incidencia,  $i$ , es igual al ángulo de reflexión,  $r$



## Propiedad

Si en el punto donde se produce la reflexión se exige que la amplitud de la onda sea nula, entonces la onda reflejada experimenta un cambio de fase igual a  $\pi$ .

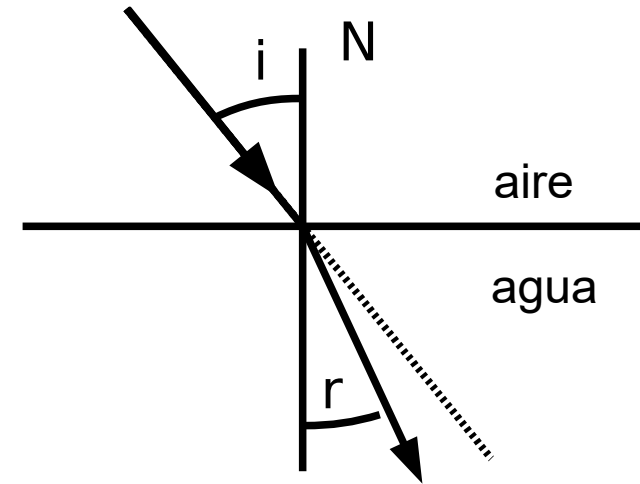
Recurso: [modelización de la reflexión](#)

(archivo de la hoja de cálculo [Calc](#) )

# Leyes de la refracción o leyes de Snell

1- El rayo incidente, la normal y el rayo refractado se encuentran en el mismo plano

2- 
$$\frac{\text{sen } i}{\text{sen } r} = \frac{v_{P1}}{v_{P2}}$$



Propiedad importante

Cuando una onda cambia de medio, cambia su velocidad y su longitud de onda, pero su frecuencia permanece cte.

Truco para acordarse: ¿cambia la luz de un láser de color cuando se refracta en el agua?

# Estudio cualitativo de la absorción y difusión

Atenuación:  
pérdida de la amplitud de una onda  
conforme se aleja de su origen

Causas:

La energía se reparte en un frente  
de onda cada vez mayor

La absorción

Ejemplos: aislantes acústicos, la luz en el mar penetra unos 200 m

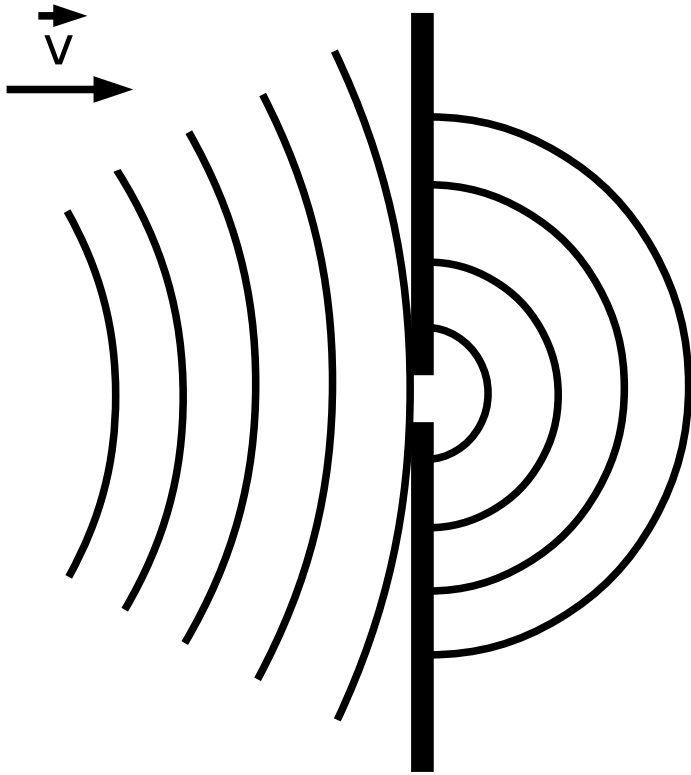
¿Cómo puede ser que haya un material que no absorba  
una determinada onda electromagnética?

¿Se ha descubierto algo a partir de este hecho?

Lago Vostok, cauces fluviales en el sáhara, agujero negro supermasivo  
del centro galáctico



# Estudio cualitativo de la difracción



Fenómeno característico del movimiento ondulatorio

El frente de onda cambia y la onda se propaga en todas direcciones

Importante cuando el tamaño del obstáculo u orificio es de orden de magnitud similar al de la longitud de onda

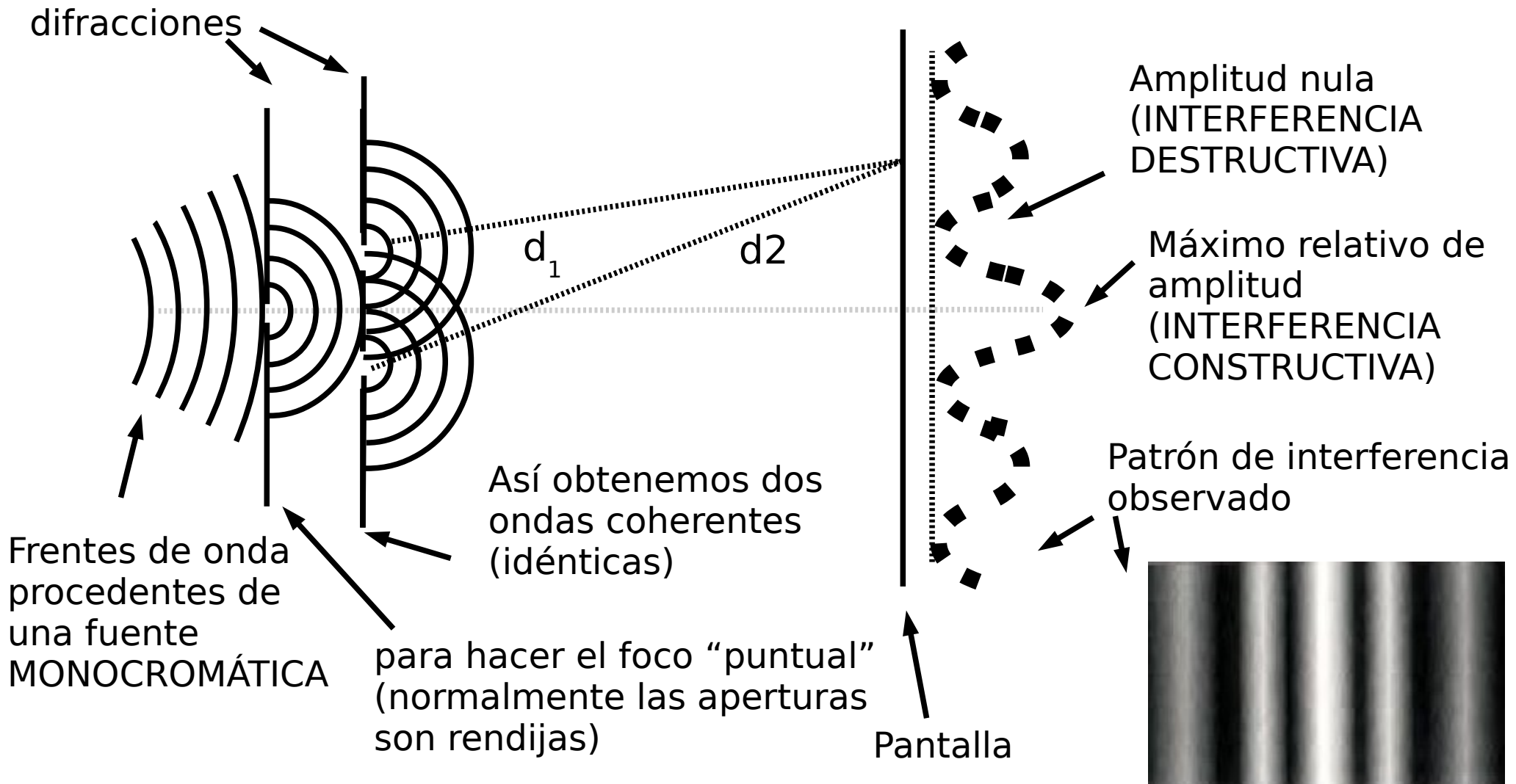
Utilidad: el sonido bordea esquinas y columnas y las ondas de radio bordean montañas



# Estudio cualitativo de las interferencias

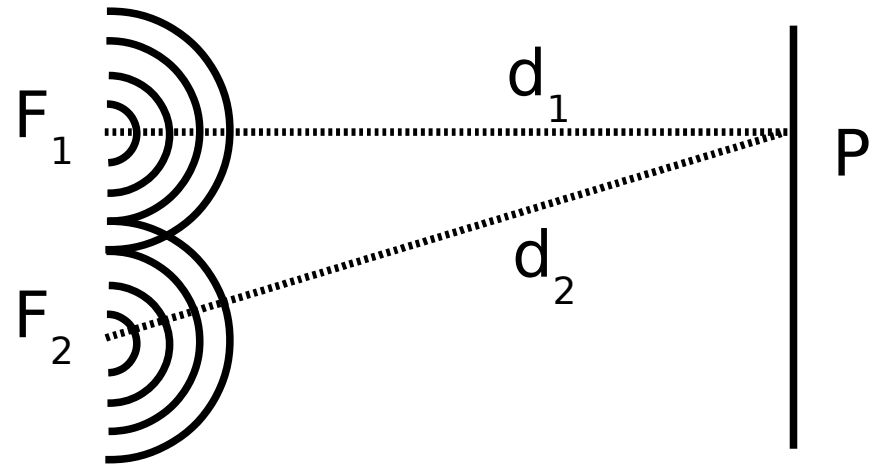
Interferencia = superposición de dos o más ondas

## Experimento de la doble rendija de Young



# Estudio cuantitativo del experimento de la doble rendija de Young

Sean dos fuentes de ondas armónicas coherentes  $F_1$  y  $F_2$  estudiaremos la interferencia en el punto P



Utilizando:

- la ecuación de onda (para las ondas emitidas por  $F_1$  y  $F_2$ )
- el Principio de superposición (aplicado en el punto P)
- aproximaciones (P está lejos y, en consecuencia,  $d_1 \simeq d_2$ )
- trigonometría

Llegamos a:

$$y(t) \simeq A_r \cos\left(\frac{k(d_1 + d_2)}{2} - \omega t\right)$$

siendo  $A_r = 2A \cos\frac{k(d_1 - d_2)}{2}$  la amplitud resultante

# Estudio cuantitativo del experimento de la doble rendija de Young

A partir de la expresión para la amplitud resultante:

$$A_r = 2A \cos \frac{k(d_1 - d_2)}{2}$$

Concluimos:

El que aparezca  $k$  en el argumento explica por qué la onda debía ser monocromática

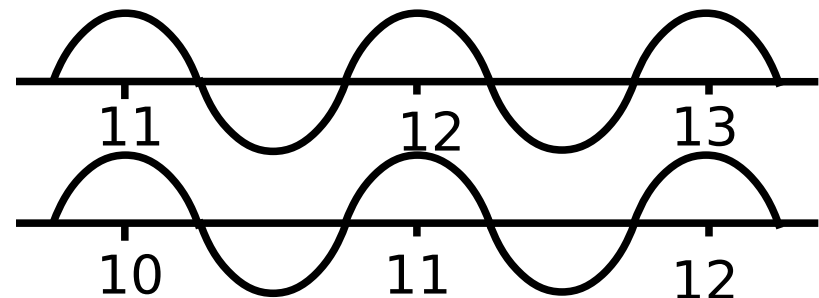
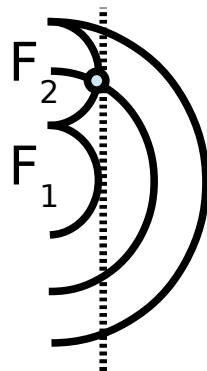
**Amplitud máxima**  
(interferencia constructiva)

$$(d_1 - d_2) = n\lambda$$

**Amplitud mínima**  
(interferencia destructiva)

$$(d_1 - d_2) = (2n + 1) \frac{\lambda}{2}$$

Estos resultados eran esperables:



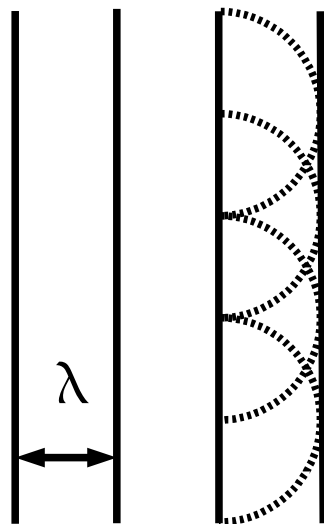
# Principio de Huygens

Explica cómo construir un nuevo frente de onda:

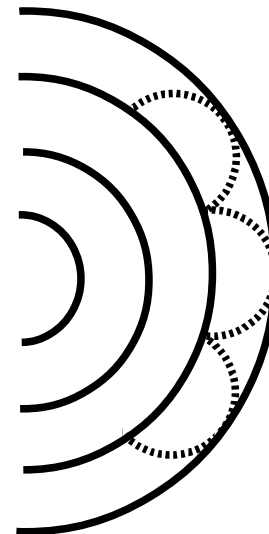
Los puntos de un frente de onda son a su vez fuentes de ondas secundarias, cuya envolvente constituye otro nuevo frente de ondas primario.

Explica la propagación de ondas planas y esféricas y las propiedades de la reflexión, refracción y difracción.

Propagación de ondas planas

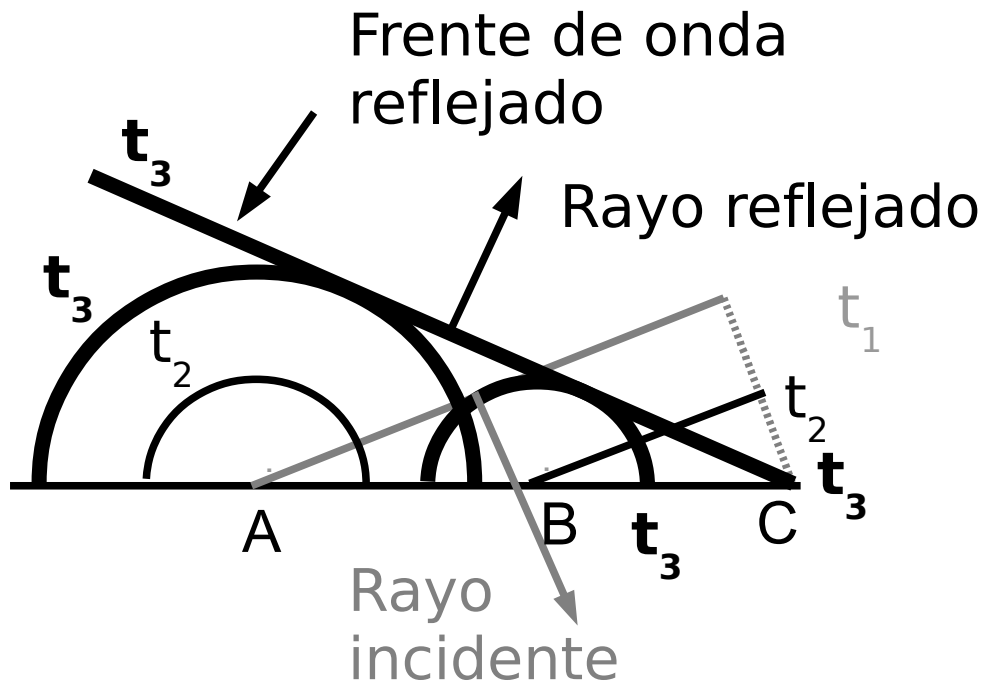


Propagación de ondas esféricas

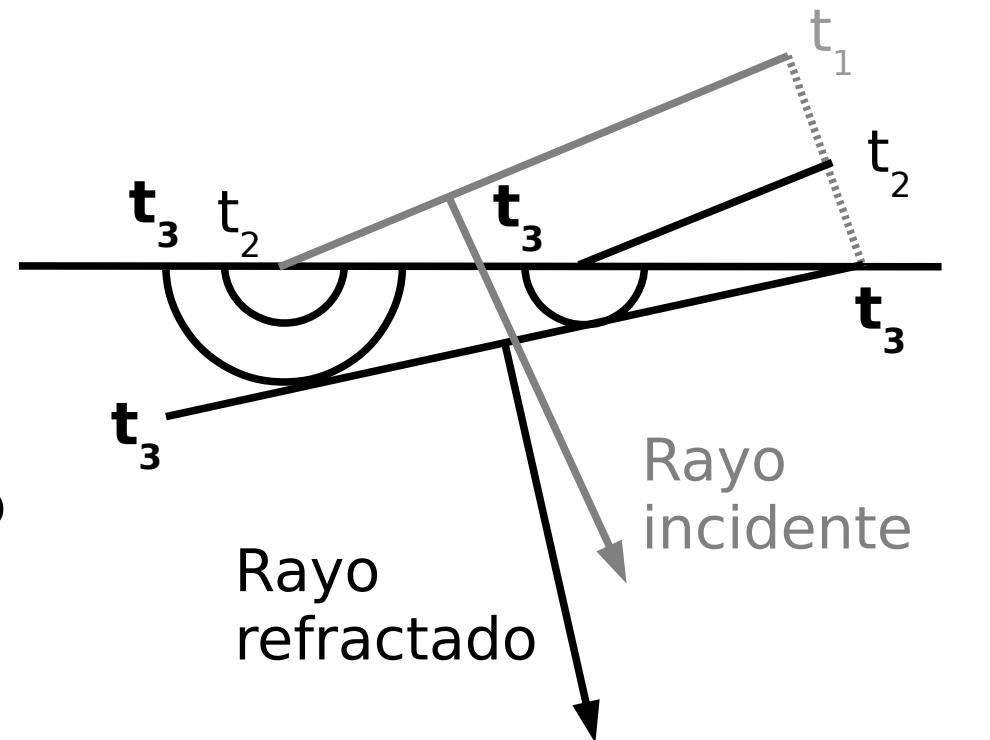


# Principio de Huygens

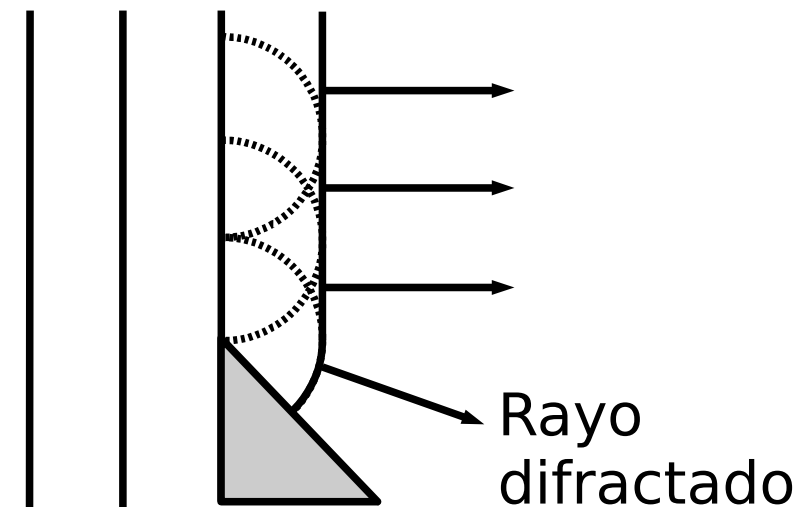
## Reflexión



## Refracción

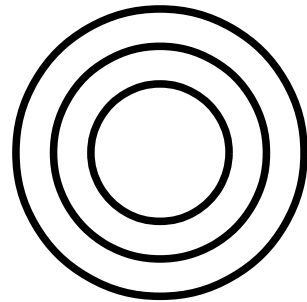


## Difracción

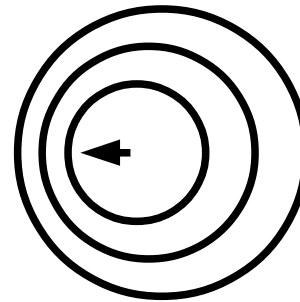


# Estudio cualitativo del efecto Doppler

Variación de la frecuencia percibida debido al movimiento relativo de la fuente emisora y el receptor.



Emisor en reposo



Emisor en movimiento

La luz emitida por las galaxias distantes se desplaza al rojo ya que el espacio está en expansión.

Cuando un cuerpo se acerca su sonido es más agudo y cuando se aleja es más grave.

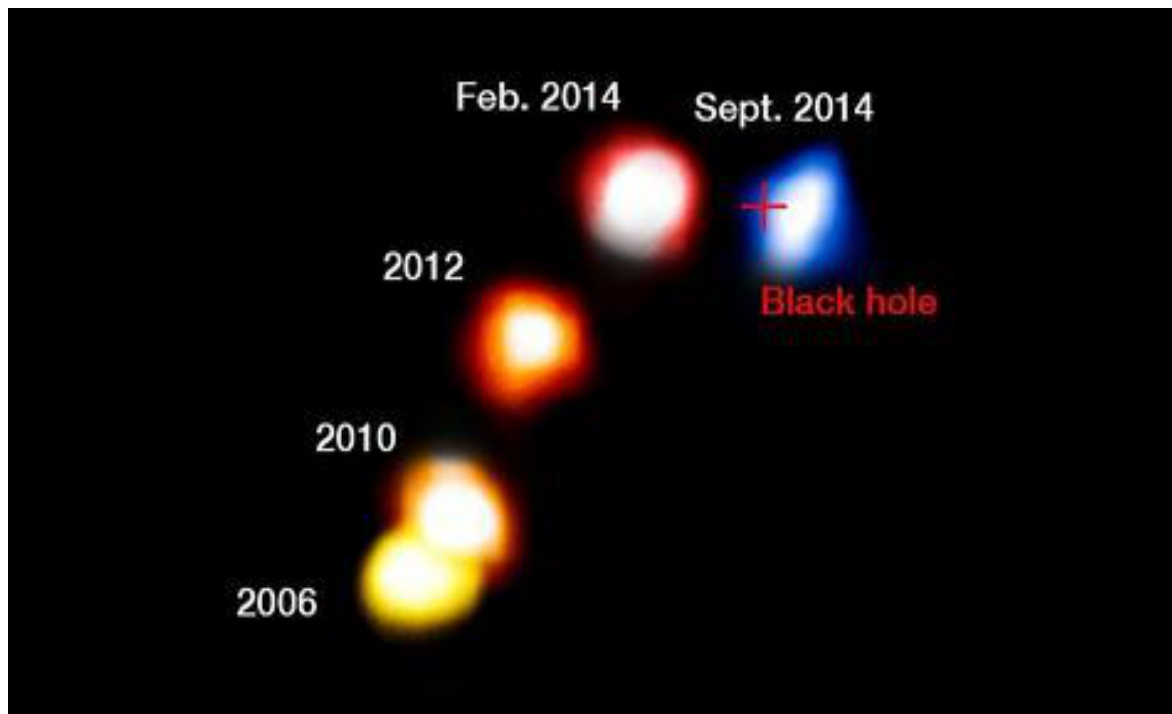
# Efecto Doppler: aplicaciones

Evidencia que el espacio está en expansión. Analogía: globo

Ecografía doppler

Medida de velocidades

G2 (probablemente una joven estrella en pleno proceso de formación, aún rodeada de polvo) en su encuentro con Sagitario A



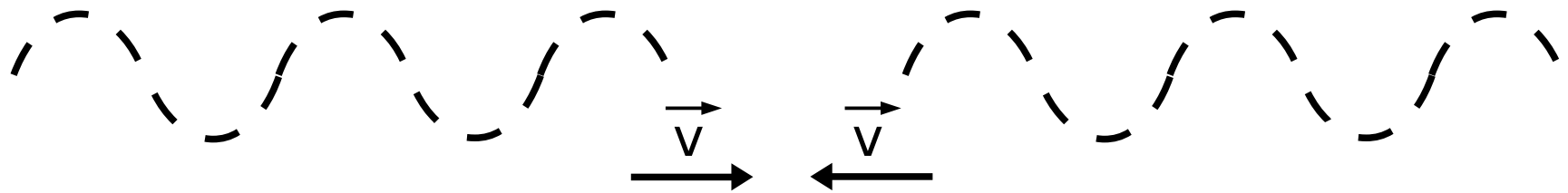
Las manchas se han coloreado para mostrar el movimiento de la nube

Antes de alcanzar el agujero negro G2 se alejaba a unos 10 millones de km/h. Al dar la vuelta se acercaba a 12 millones de km/h

# Ondas estacionarias en cuerdas y tubos

Se producen cuando interfieren de dos ondas iguales, que viajan en la misma dirección, pero en sentidos opuestos:

$$y_1(x, t) = A \operatorname{sen}(kx - \omega t) \quad y_2(x, t) = A \operatorname{sen}(kx + \omega t)$$



Utilizando:

- las ecuaciones de onda
- el Principio de superposición
- trigonometría

Llegamos a:

$$y(x, t) = 2A \operatorname{sen} kx \cos \omega t$$

siendo  $A_e = 2A \operatorname{sen} kx$  la amplitud estacionaria

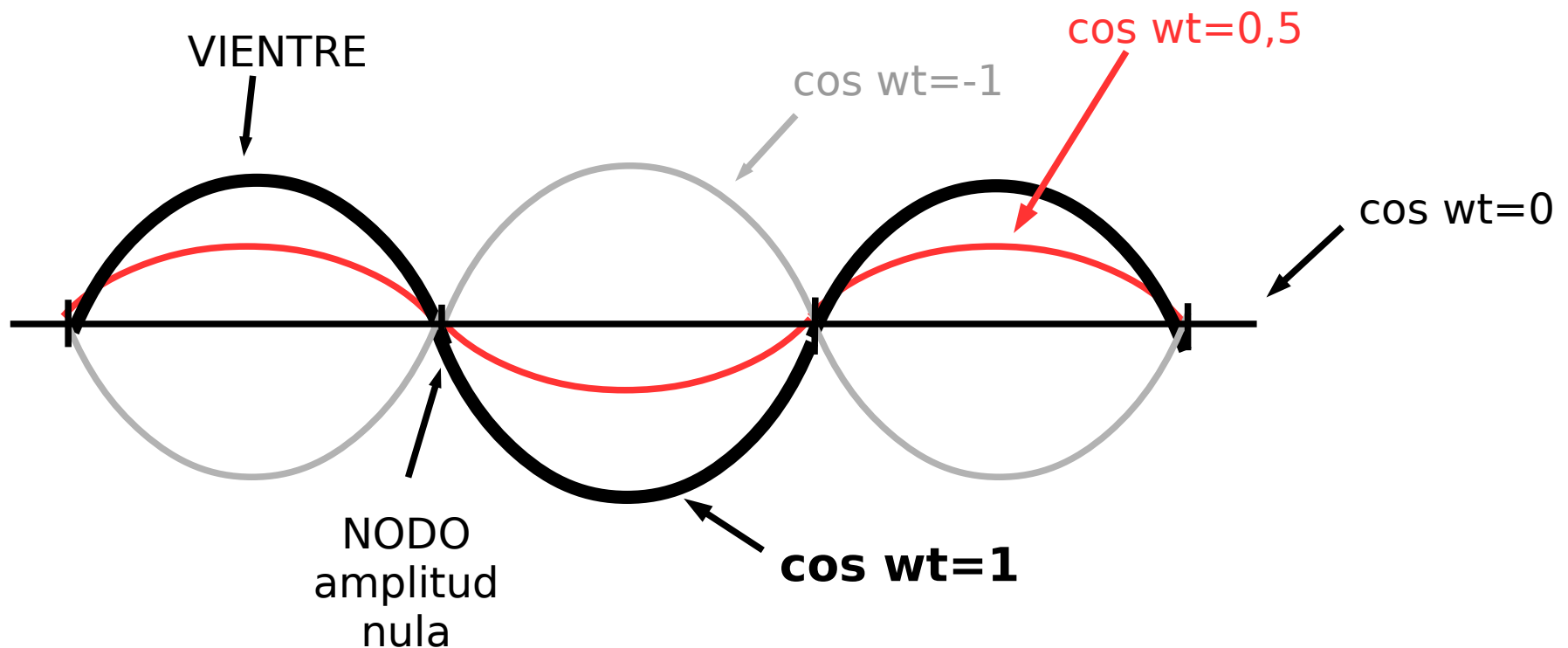
$A$ ,  $k$  y  $\omega$  son las de las ondas viajeras



$$y(x, t) = 2A \operatorname{sen} kx \cos \omega t$$

¿Es esta función del tipo  $f(x \pm vt)$  ?

Debido a que la expresión de las ondas estacionarias carece de la forma que debe tener una función matemática para que se desplace, estas ondas reciben precisamente el nombre de estacionarias: porque NO avanzan



Se puede demostrar que la separación entre dos nodos (o vientres) consecutivos es

$$\frac{\lambda}{2}$$

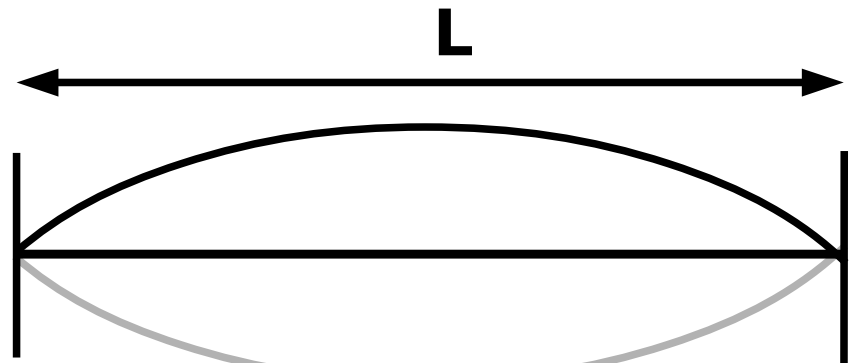
En ocasiones, las ligaduras imponen dónde están algunos nodos (ejemplo: cuerda sujeta en un extremo)

En una cuerda con los extremos fijos sólo pueden existir las siguientes ondas estacionarias:

# MODOS de vibración

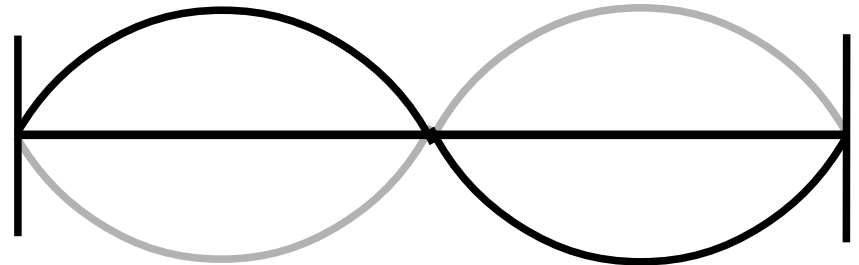
1er armónico  
o modo fundamental

$$L = \frac{\lambda}{2}$$



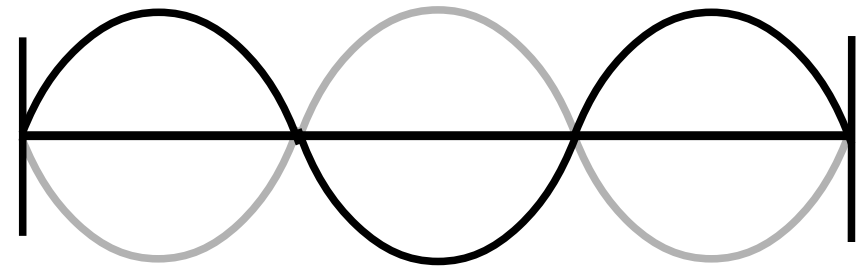
2º armónico

$$L = 2 \frac{\lambda}{2} = \lambda$$



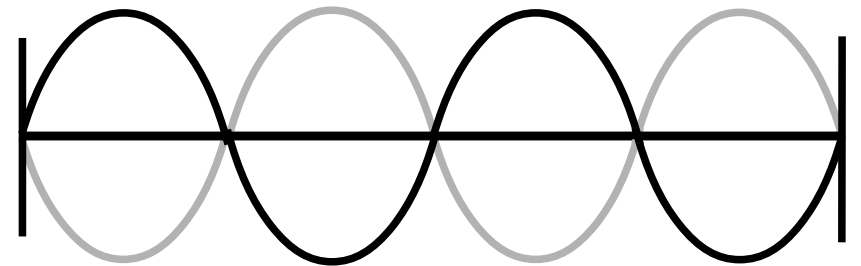
3er armónico

$$L = 3 \frac{\lambda}{2}$$



4º armónico

$$L = 4 \frac{\lambda}{2} = 2\lambda$$



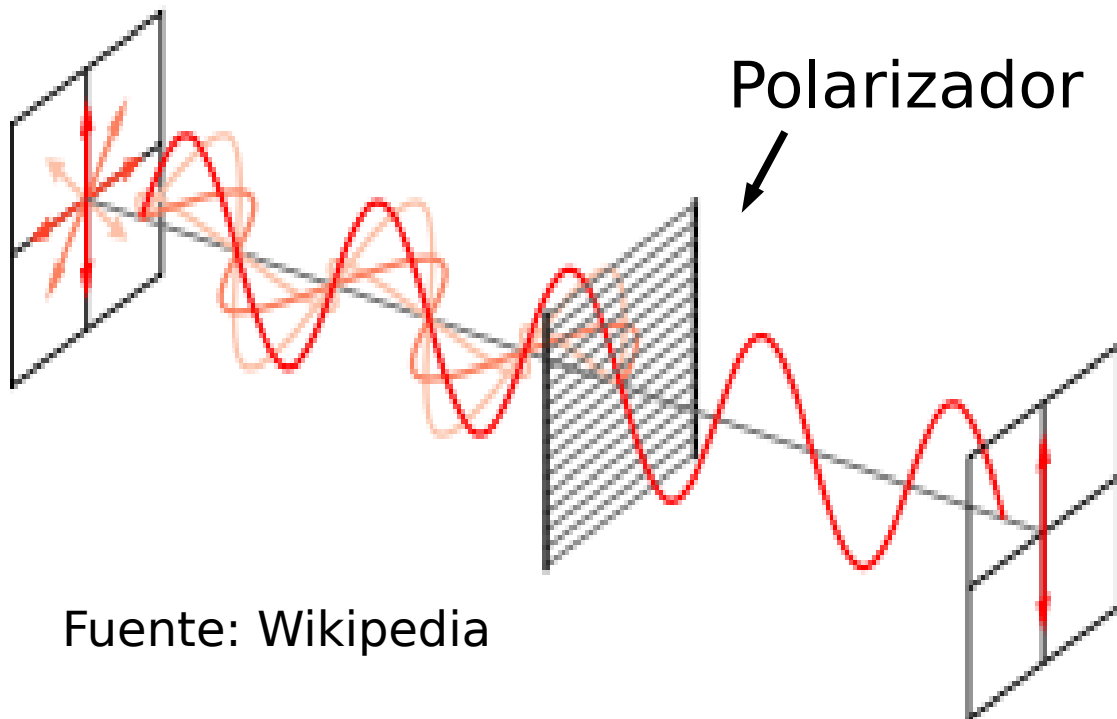
En la cuerda de una guitarra se superponen 1 o más modos de vibración

...

# Estudio cualitativo de la polarización

En las ondas transversales, la vibración se produce en el plano perpendicular a la velocidad de propagación de la onda.

Si la onda no está polarizada, la vibración se produce en todas las direcciones.



Se dice que una onda transversal está polarizada cuando la vibración se produce en una sola dirección (polarización lineal)

# Resonancia

Todo cuerpo tiene una frecuencia natural de vibración.

¿Qué puede pasar si aportamos energía poco a poco, pero con esa misma frecuencia?

Ejemplos:

Columpio

Tropas por un puente



<http://www.planetacurioso.com/2009/07/17/sabias-que-el-columpio-mas-alto-del-mundo-tiene-una-altura-de-200-m-y-esta-en-china/>

# Puente de Tacoma

## Rotura de una copa



<http://engineertomorrow.com/tacoma-narrows-bridge-collapse-galloping-gertie/>

<http://blogs.elcorreo.com/el-navegante/2012/01/25/%C2%BFpuede-una-soprano-romper-una-copa-de-cristal-con-su-voz/>

Autor: Juan Antonio Martínez-Castroverde Pérez  
Licenciado en Física  
Profesor de Secundaria y Bachillerato



Esta presentación está publicada bajo una licencia Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 3.0 Unported License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/>)

Permisos más allá del alcance de esta licencia se pueden solicitar en: <http://www.fisicaconceptual.net>