

# Ondas (I)

**Se produce un Mov ondulatorio, cuando se propaga una perturbación en un medio. Las partículas que constituyen el medio, no se propagan con la perturbación, solo la transmiten, para lo que vibran alrededor de su posición de equilibrio: SE TRANSPORTA, POR TANTO ENERGÍA Y NO MATERIA**

## Ondas

Según la dirección de perturbación y avance de esta

**Longitudinales** :cuando coinciden dirección y perturbación

**Transversales**: si son perpendiculares; la dirección de propagación, y la perturbación

Según el tipo de energía que se propaga

**Mecánicas**: Se propaga energía mecánica (sonido). Se necesita un medio de propagación

**Electromagnéticas**: Se propaga energía electromagnética. No se necesita un medio material para que se propaguen (LUZ)

Según las dimensiones en las que se propaga la energía

**Unidimensionales** (Las de una cuerda)

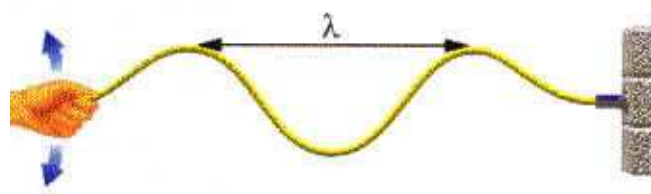
**Bidimensionales** :las que se propagan en el agua

**Tridimensionales**: Las del sonido

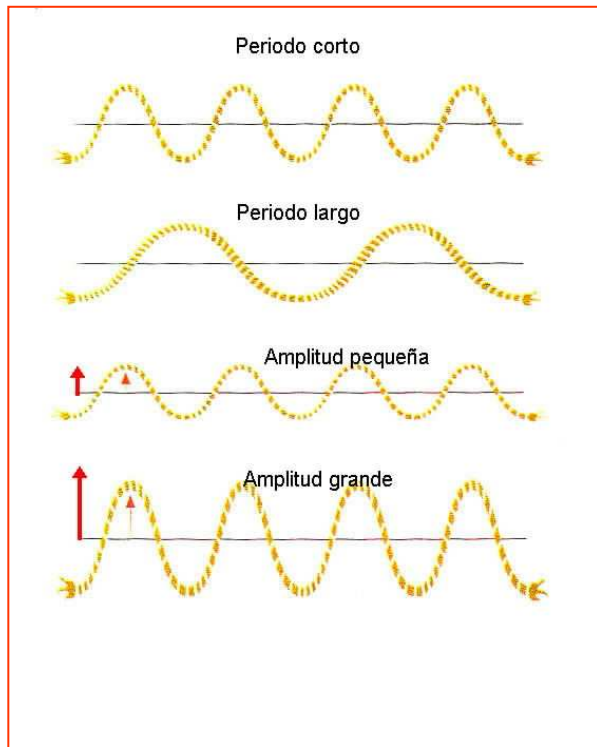
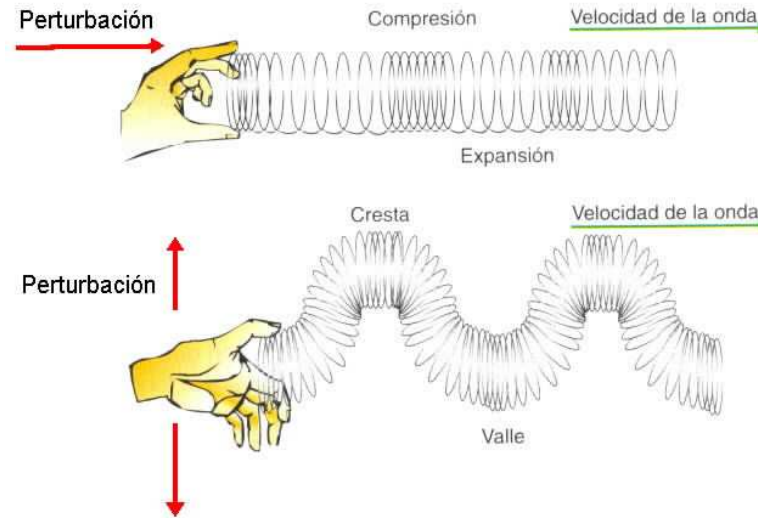
## Ondas (II): Magnitudes del Movimiento Ondulatorio

Término	Concepto	Símbolo	Unidad en el SI
Amplitud	Máxima elongación	A	m; Pa;....
Longitud de onda	Distancia entre dos puntos en el mismo estado de vibración	$\lambda$	m
Periodo	Tiempo que tarda en un ciclo	$T=1/\nu$	sg
Frecuencia	Número de ciclos en cada segundo (Hertzios)	$\nu; \nu=1/T$	$\text{sg}^{-1}$
Rapidez angular; velocidad angular o pulsación	Ángulo de oscilación de cada punto del medio, en cada segundo	$\omega; \omega=2\pi/T$	rad/seg
Rapidez de propagación de la onda	Distancia recorrida por una onda en la unidad de tiempo	$v; v=\lambda/T$	m/sg
Número de ondas	Número de longitudes de onda comprendidas en $2\pi$ metros	$k=2\pi/\lambda$	Rad/m.

# Ondas (III): Ondas longitudinales y transversales parámetros de las ondas



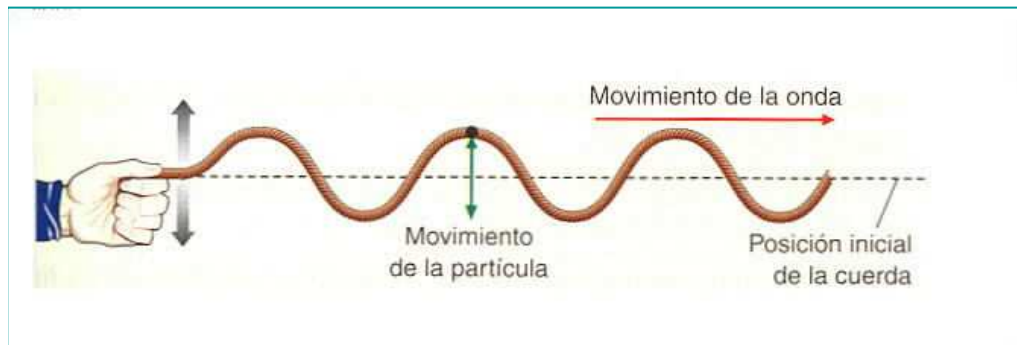
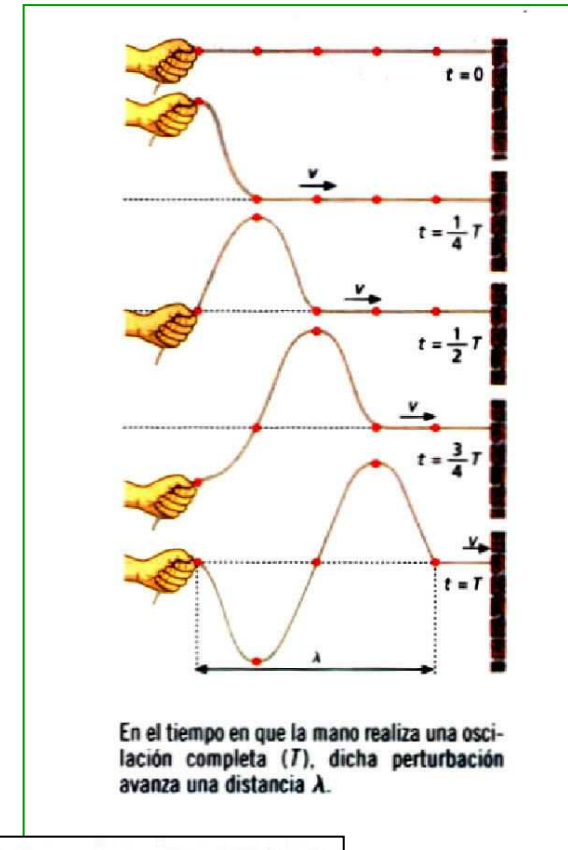
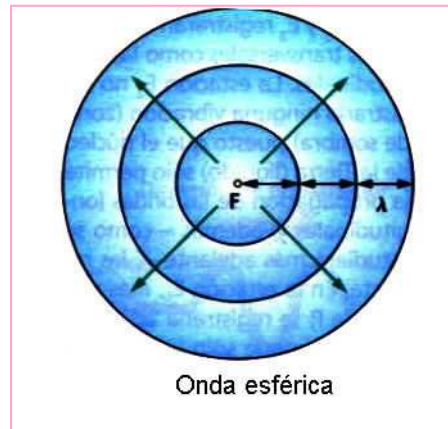
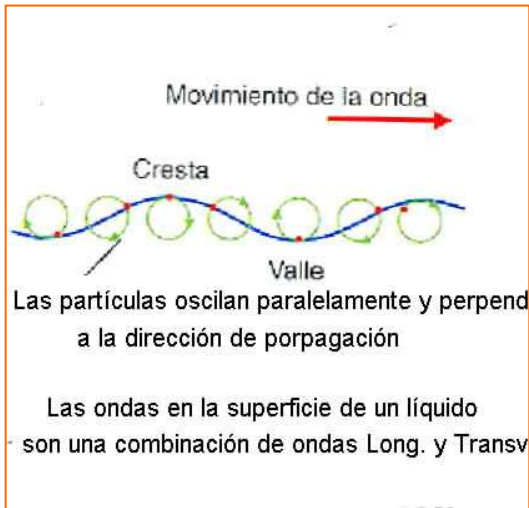
Onda transversal y longitud de onda



La diferencia entre ondas longitudinales y transversales, es que en las primeras, coinciden la dirección de perturbación y el desplazamiento de la onda, y en las segundas son perpendiculares, como en el caso de este muelle



# Ondas (IV) Características del movimiento ondulatorio

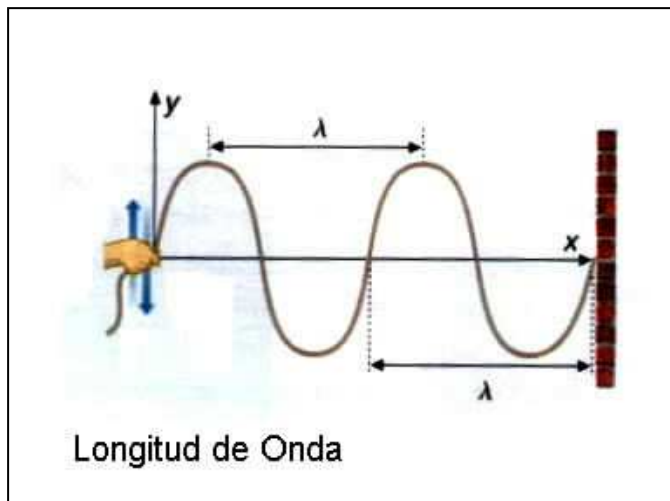
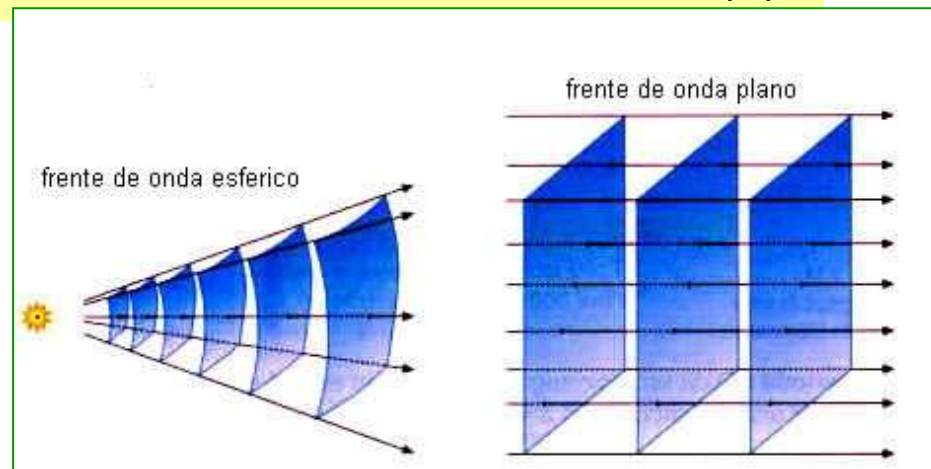
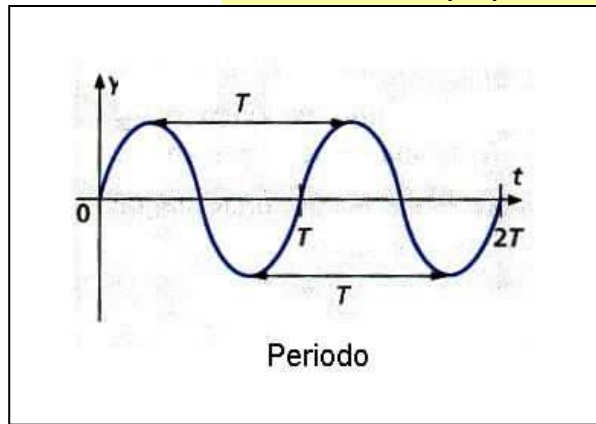


Se transmite energía y cant. de movimiento

Por la cuerda transmitimos la energía de la sacudida

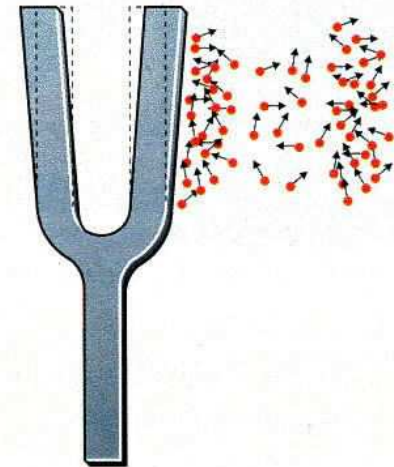
No se transporta materia

## Ondas (V): Características el movimiento ondulatorio (II)



Frente de onda es el lugar geométrico de los puntos en el mismo estado de vibración

Zonas de compresión y rarefacción de las partículas de aire próximas en un diapason



Rayo es la perpendicular al frente de onda en cada punto; indica la dirección de propagación de la onda

## Ondas (VI): Ecuación de una onda armónica unidimensional (I)

Supongamos, que se produce un MVAS en un punto, ( le llamaré **FOCO** de la perturbación) en dirección del eje  $y$ . Para fijar ideas , sea un punto de una cuerda, sobre la que producimos un “pulso” en sentido vertical ascendente .

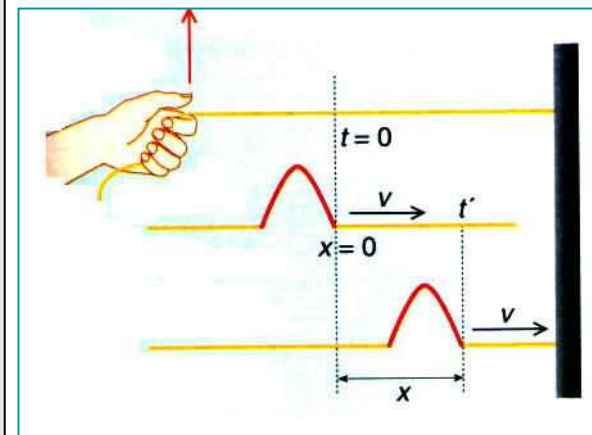
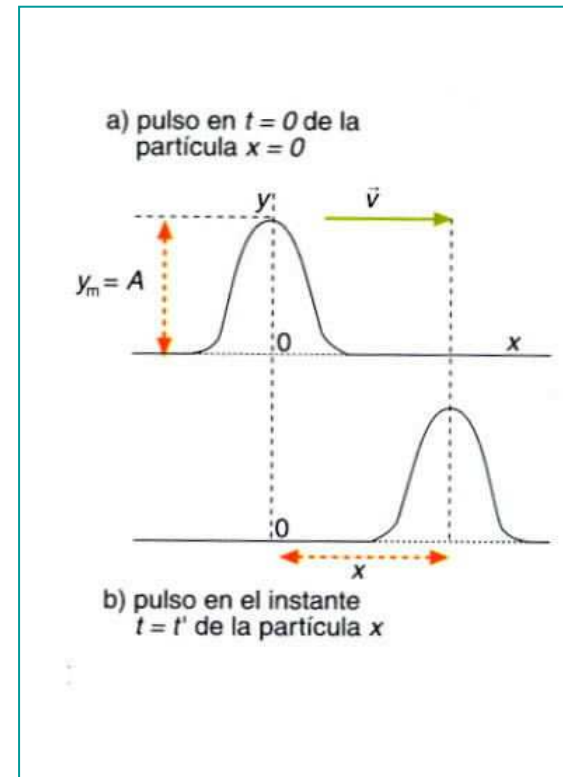
Esta perturbación, se transmite a lo largo de una cuerda en forma de una onda, que supondremos, en principio, propagándose en la dirección de las  $x$  positivas (izda-dcha).

A cada partícula, le corresponde un estado de vibración dado por la conocida ecuación del movimiento vibratorio armónico.

$$y = A \sin(\omega t + \varphi); \text{ o bien: } y = A \sin(2\pi/T \cdot t + \varphi).$$

Para simplificar el estudio, supongamos que comenzamos a contar el tiempo cuando  $y$  es nulo; equivale a decir que si  $y=0$ ; en  $t=0$ ;  $0 = A \sin(\varphi) \Rightarrow \varphi=0$ .

Como podremos observar, cada partícula de la cuerda, comenzará a vibrar con MVAS. La función que representa la vibración de cada una de estas partículas, dependerá del tiempo y de la distancia al foco  $x$ . Es decir, en el instante  $t=0$   $y(0,t) = A \sin(\omega t)$ .



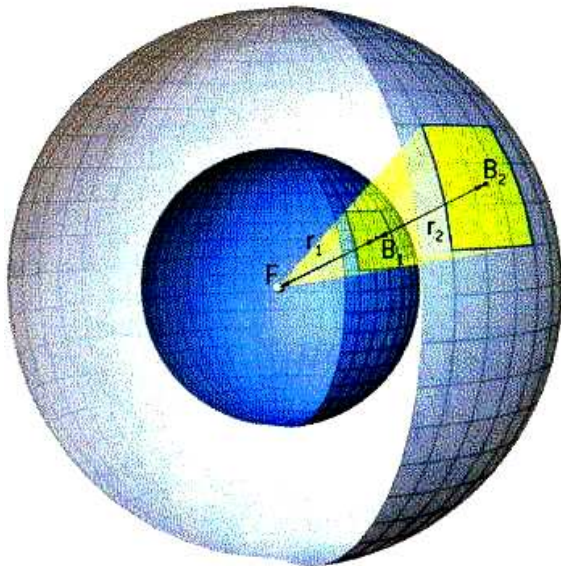
## Ondas (VII): Ecuación de una onda armónica unidimensional (II)

- Otro punto mas alejado, tardará un tiempo  $t'$  en comenzar a vibrar. Si la velocidad de la onda es  $v$ , y la distancia al punto que comienza a vibrar un tiempo  $t'$  mas tarde es  $x$ , podré escribir:  $t'=x/v$ .
- Al cabo de este tiempo  $t'$ , el impulso, llega a la partícula que se encuentra en  $x$ , que empezará vibrar  $t'$  segundos mas tarde . Pero su elongación, coincidirá con la que tenía la partícula en el foco,  $t'$  segundos antes.
- Podré escribir entonces:  $y(0,t-t')=A\text{sen}[(\omega(t-t'))]=y(x,t)$ . Ya que sigue siendo función de la distancia y del tiempo.
- $y(x,t)=A\text{sen}[\omega(t-x/v)]=A\text{sen}(\omega t-\omega x/v)=A\text{sen}(\omega t-2\pi/T \cdot x/v)$ . Pero  $v=\lambda/T$ .
- por lo que :  $y(x,t)=A\text{sen}(\omega t-2\pi x/\lambda)$ .
- Y teniendo en cuenta el número de ondas  $k=2\pi/\lambda$ . Escribiré:
- $y=A\text{sen}(\omega t-kx)$ , que es la ecuación de ondas, que nos permite conocer, el estado de vibración de cualquier punto del medio
- Si la onda, se propagase en sentido contrario, (dcha-izda), la velocidad será negativa y la función de ondas quedará:  $y=A\text{sen}(\omega t+kx)$

## Ondas (VIII): Doble periodicidad de una onda armónica

- Para un tiempo fijo, la elongación  $y$ , es una función sinusoidal de la posición  $x$ , que se repite cada longitud de onda  $\lambda$ .
- **$y(t,x)=y(t,x+n\lambda)$ .**
- Por tanto, las partículas separadas por un  **$n^\circ$  entero de longitudes** de onda están en fase, y las separadas por un  **$n^\circ$  impar de semilongitudes** de onda, están en oposición de fase.
- Para una posición fija, la elongación  $y$ , es una función sinusoidal del tiempo, cuyo periodo es  $T$
- **$y(t,x)=y(t+nT,x)$ .**
- Por tanto, dos estados de vibración de una partícula separados **un  $n^\circ$  entero de periodos** estarán en fase, sin embargo cuando estén separados **un  $n^\circ$  impar de semiperiodos**, estarán en oposición de fase

## Ondas (IX): Energía de una onda armónica



Onda esférica y atenuación

Ondas

- Una onda mecánica y armónica, transmite, a medida que avanza, la energía de un oscilador armónico, a cada una de las partículas materiales que alcanza.
- Cuando arrojamos una piedra al agua, se forman una serie de circunferencias concéntricas; es un frente de onda. **Todos los puntos de ese frente de onda, presentan el mismo estado de vibración.**
- Podemos observar, que la amplitud de las ondas en un estanque, disminuye, a medida que la perturbación se aleja del foco, "parece que la energía, se disipa con la distancia"
- La energía, se irradia en todas las direcciones en forma de ondas esféricas, con la misma velocidad, si el medio es **homogéneo e isótropo** (es un medio que mantiene constantes sus propiedades en cualquier dirección).
- Después de un tiempo, la perturbación ha alcanzado una esfera de mayor radio, pero la energía que se transmite es la misma, (suponiendo que no hay pérdidas por rozamiento) por lo que se ha de redistribuir, sobre una superficie mayor
- Supongamos, que tenemos una partícula vibrando en el origen, su energía vibrante debe ser la del oscilador armónico, que ya conocemos:
- **$E = 1/2KA^2 = 1/2m\omega^2A^2 = 1/2m4\pi^2v^2A^2 = 2m\pi^2v^2A^2$**
- Como podemos observar, la energía que propaga una onda, es proporcional al **cuadrado de la amplitud y de la frecuencia**.

M.Vazquez

9

## Ondas (X): Intensidad y potencia de la onda

- Cuando la luz del Sol, entra por una ventana, la intensidad que llega, depende del área de la ventana, recogiendo en la habitación, mayor energía por unidad de tiempo, a medida que la ventana tiene mayor superficie.
- La potencia recibida, será la energía recibida por unidad de tiempo;  $P=E/t$ .
- Según lo visto, la intensidad será  **$I=E/St=P/S$**



Si consideramos dos superficies esféricas, a distancias  $R_1$  y  $R_2$  del foco emisor, podré poner :

$$I = \frac{E/t}{S}; I_1 = \frac{E}{t4\pi R_1^2}; I_2 = \frac{E}{t4\pi R_2^2}; \text{ de donde } \frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2^2}{R_1^2}$$

Es decir que la intensidad de la onda es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia al foco.

Como además la energía es proporcional al cuadrado de la amplitud deberá serlo también al intensidad , ya que  $I = E/tS$ .

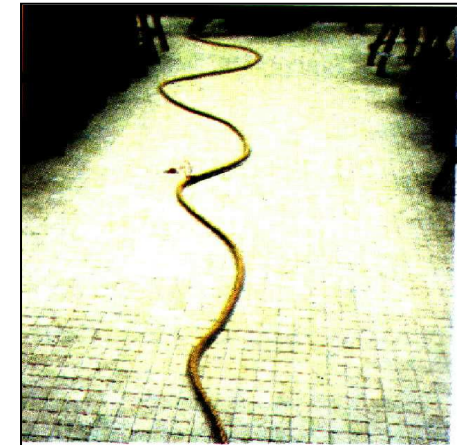
por eslo podré también escribir :

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{A_1^2}{A_2^2}; \text{ y en consecuencia escribiré } \frac{A_1^2}{A_2^2} = \frac{R_2^2}{R_1^2} \Rightarrow \frac{A_1}{A_2} = \frac{R_2}{R_1}$$

De todo ello se infiere, que la amplitud de la onda, es inversamente proporcional, a la distancia al foco emisor (**La onda se atenúa**). Por lo que las partículas, vibran con menor energía, a medida que nos alejamos del foco. **Ello es debido a que la energía, se ha de redistribuir a un mayor número de partículas vibrantes**

## Ondas (XI): Absorción ,ley de Beer

- Al amortiguamiento de la onda, además de la distancia al foco, contribuye el medio, que puede ser inelástico, o viscoso, con lo que perdemos energía por rozamiento.
- Experimentalmente se comprueba, que si un frente de ondas plano, llega a la superficie de separación de dos medios, la **disminución de intensidad** que experimenta por absorción, es directamente proporcional a:
  - 1.- **La distancia** al foco emisor
  - 2.- **La longitud** del trayecto recorrido en el segundo medio.
  - 3.- **El medio** en el que se propaga, caracterizado por el coeficiente de absorción de ese medio, que llamaremos **b**.
- Según estas premisas, la ley que regula este comportamiento podría escribirse así:
- **$dI = -bI dx$** ; donde I=intensidad incidente ; b= coef de absorción; dx el espesor del medio, y el signo negativo, es porque la I disminuye con la distancia dx



Absorción por el medio

de esta ley empírica podremos deducir :

$$\frac{dI}{I} = -b dx; \int_{I_0}^I \frac{dI}{I} = \ln I \Big|_{I_0}^I = -b \int_{x_0}^x dx = -bx \Big|_{x_0}^x$$

$$\text{Con lo que: } \ln I - \ln I_0 = -bx \Rightarrow \ln \frac{I}{I_0} = -bx;$$

$$\text{Y en consecuencia: } \frac{I}{I_0} = e^{-bx}; \text{ Por tanto: } I = I_0 \cdot e^{-bx}$$

## Ondas (XII): Principio de Huygens



Un frente de ondas esféricas, suficientemente alejado del foco, se puede asociar a un frente de ondas plano

Cada punto de un frente de ondas, como los que vemos arriba, se comporta como un **nuevo frente** emisor de ondas secundarias, **que se propagan con la misma velocidad y frecuencia que la onda inicial**. La superficie envolvente de todas esas ondas elementales, constituye un nuevo frente de ondas.

**La perpendicular al frente de onda en la dirección de propagación, es lo que llamamos rayo**

Todo punto de un frente de ondas, se comporta como un nuevo foco emisor de ondas elementales, cuya envolvente es un nuevo frente de ondas

## Ondas (XIII): Algunas propiedades de las ondas(I) *reflexión(I)*

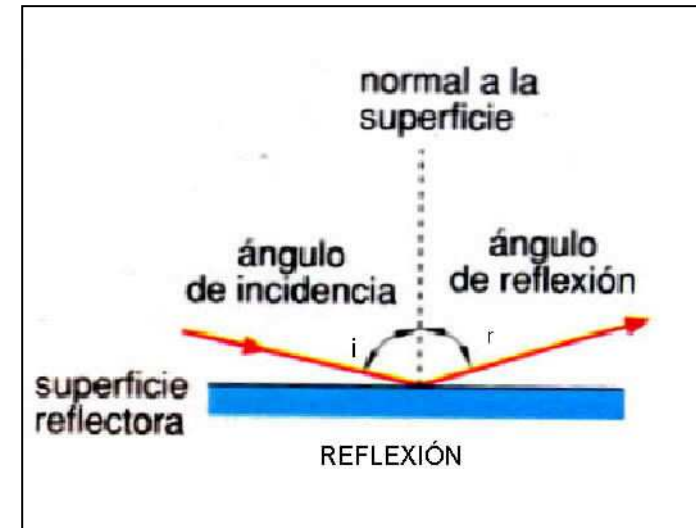
Reflexión de ondas : Se define, como el cambio en dirección que experimenta una onda, al “chocar” contra una superficie. El cambio de dirección, se realiza en el mismo medio(es un “rebote” de la onda en una superficie reflectante)

Rayo incidente: Es la dirección de propagación de la onda que llega a la superficie reflectora.

Rayo reflejado: Es la dirección de propagación de la onda reflejada

Normal: Es la perpendicular a la superficie en el punto de incidencia

Ángulo de incidencia: Es el formado por la normal y el rayo incidente



La reflexión cumple las leyes de Snell:

- 1.- el ángulo de incidencia y el de reflexión, son **iguales**
- 2.- Los rayos incidente, reflejado y la normal, están en el **mismo plano**

## Ondas (XIV): Estudio cualitativo de algunas propiedades de las ondas (II); reflexión (II)

El frente de onda plano AB, llega a la superficie reflectante. El frente de onda A'B' es el reflejado. Según Huygens, cada punto del frente se comporta como un nuevo foco emisor de ondas, que una vez reflejadas forman el nuevo frente de ondas A'B'. La **velocidad** de la onda es la misma. El tiempo que tarda en llegar de B a B', (incidente) es el mismo que tarda en llegar de A a A' (reflejado); por lo tanto,  $t_{BB'} = t_{AA'}$ .

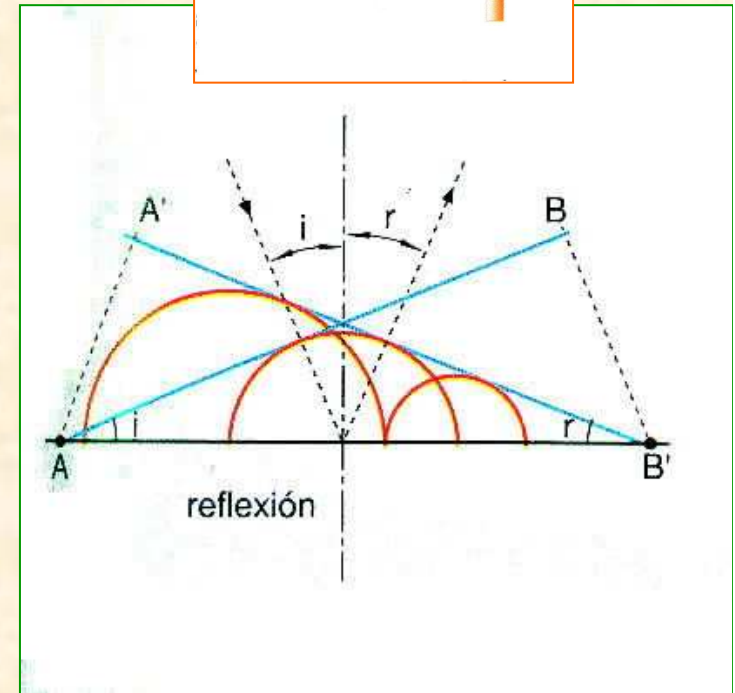
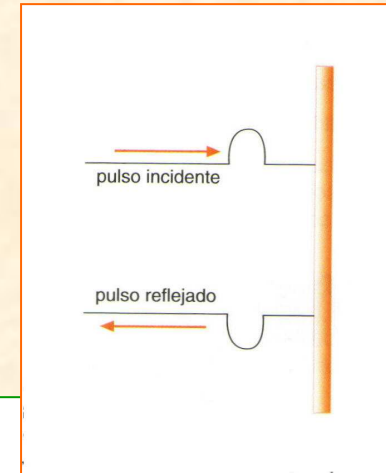
Es decir:  $BB'/v = AA'/v \Rightarrow AA' = BB'$ .

Los triángulos ABB' y B'A'A, son iguales, pues son rectángulos, y tienen iguales la hipotenusa y un cateto.

El ángulo **BAB'** coincide con **i**, (ángulo de incidencia) por tener sus lados perpendiculares.

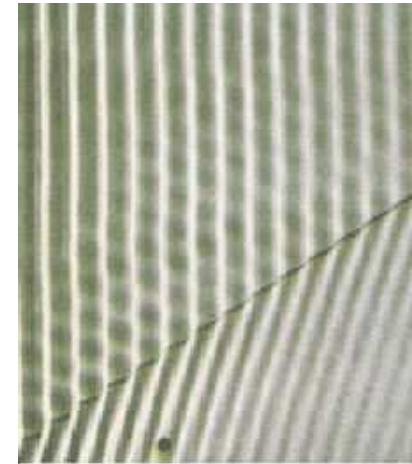
y el **A'B'A** coincide con **r**, (ángulo de reflexión) por la misma razón.

En conclusión  **$i=r$**

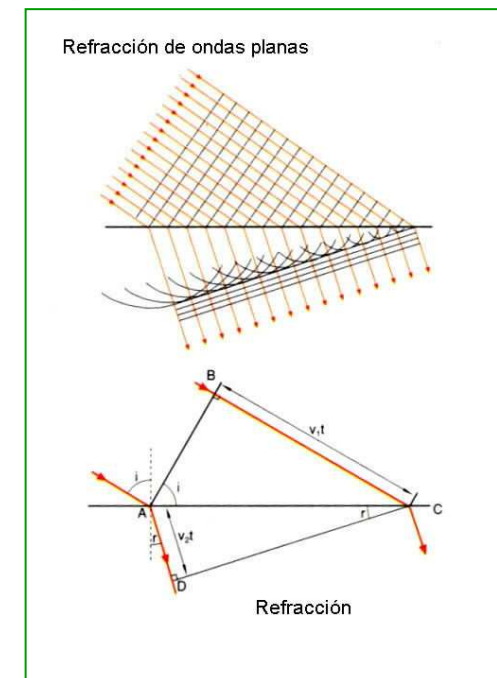


## Ondas (XV): Estudio cualitativo de algunas propiedades de las ondas (III); refracción(I)

- Cuando un frente de ondas, (plano para simplificar) llega a la superficie de separación de dos medios de diferente densidad, se produce una desviación de su trayectoria original a través del segundo medio, que es lo que conocemos como **refracción**. Según el principio de Huygens, una vez “atravesada” la superficie de separación, cada punto del frente de ondas, se comportará como un nuevo foco emisor, resultando, su envolvente un nuevo frente de ondas plano, que, dependiendo de las características del medio, se desplazará por este segundo medio, a diferente velocidad

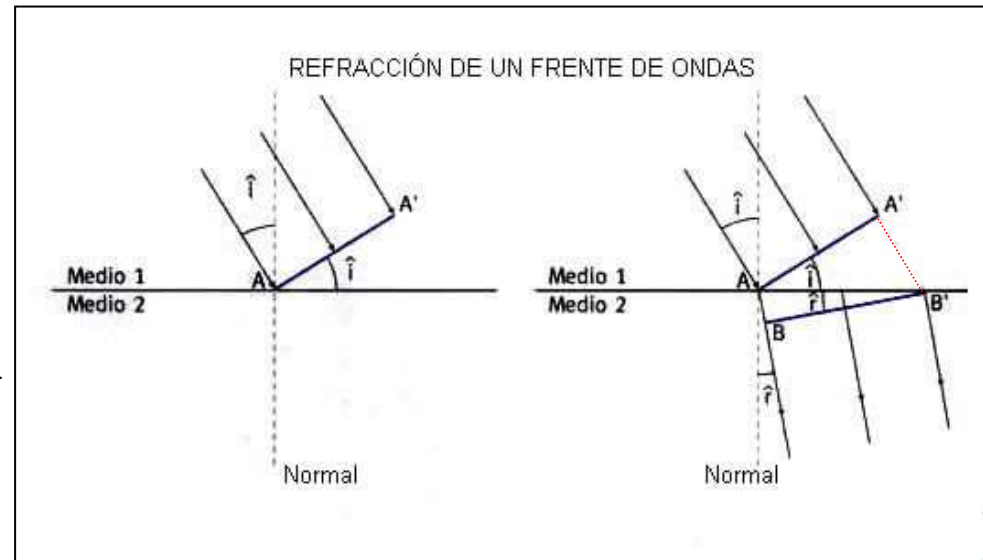


Refracción de un frente de ondas plano



## Ondas (XVI): Estudio cualitativo de algunas propiedades de las ondas (IV); refracción (II)

Sea el frente de ondas  $AA'$ , que incide con un ángulo  $\hat{i}$ , y emerge con un ángulo  $\hat{r}$ . La velocidad en el segundo medio, es inferior a la vel. en el primero. Mientras que la onda recorre el trayecto  $A'B'$  por el primer medio; recorrerá  $AB$  por el segundo medio. Los tiempos que se tarda en recorrer el trayecto serán iguales:  $t_{AB} = t_{A'B'} \Rightarrow AB/v_2 = A'B'/v_1$ . Donde  $v_1$ , y  $v_2$ , son las velocidades de propagación respectivas en el primer y segundo medio. De la figura tenemos que  $A'B' = AB' \text{ sen } \hat{i}$ . Y además ;  $AB = AB' \text{ sen } \hat{r}$ , Por lo tanto:



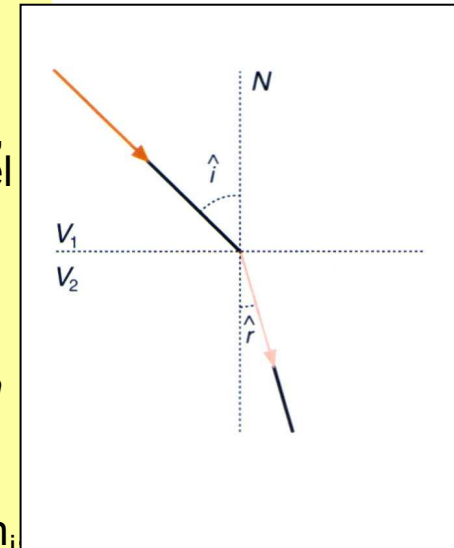
$$\frac{\text{Sen } \hat{i}}{v_1} = \frac{\text{Sen } \hat{r}}{v_2} \quad \text{Ley de Snell}$$

Leyes de la refracción : el rayo incidente , el refractado, y la normal, están en el mismo plano.

El ángulo de incidencia y refracción, están relacionados por la ley de Snell

Ondas (XVII): Estudio cualitativo de algunas propiedades de las ondas (V). Refracción (III), particularización a un tipo de onda especial, “La luz”

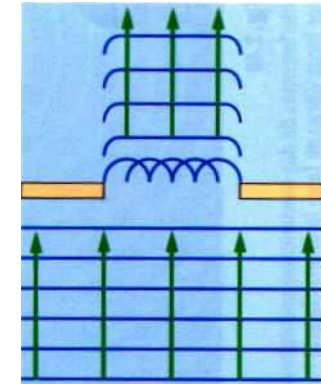
- Mas adelante, veremos que la luz es un tipo de onda, concretamente una **onda electromagnética**. Esto, obliga a cumplir con los requisitos que afectan a las ondas, en general.
- Algunos de ellos, son las leyes de refracción y reflexión, que mencionaremos de nuevo en el tema siguiente, cuando estudiemos Óptica
- Para este caso, cabe definir el concepto de índice de refracción, que sintetiza las propiedades del medio en que se propaga la luz, concretamente, su mayor o menor facilidad para ser penetrado, el medio, por esta onda electromagnética que llamamos, simplemente LUZ.
- El índice de refracción se define, como  $n=c/v$  ;es decir ,se define como **el cociente entre la velocidad de propagación de la luz en el vacío, ( $c=300.000\text{Km./sg}$ ) y la velocidad de propagación en el medio ( $v$ ).**
- Es tal caso la ley de refracción aquí, tomara la siguiente forma:
- **$n_i \text{sen } i = n_r \text{sen } r$** , que es la expresión de la ley de Snell.Y donde  $n_i$  es el índice de refracción en el medio incidente, y  $n_r$  el del medio donde la luz, ha sufrido refracción .
- Como nota curiosa , saber, que esta ley fue deducida en 1620, previamente al principio de Huygens;
- La leyes de refracción y reflexión, serán perfectamente válidas en Óptica



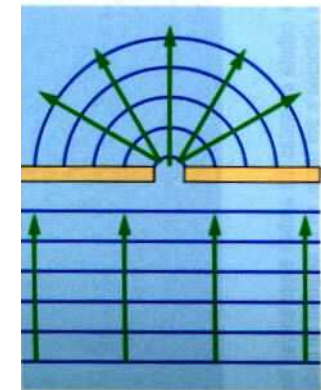
## Ondas (XVIII): Estudio cualitativo de algunas propiedades de las ondas (VI): Difracción



- El fenómeno de la **DIFRACCIÓN**, constata experimentalmente, el modelo ondulatorio a que dio lugar el principio de Huygens. El porqué, las Ondas parecen Doblar esquinas o salvar obstáculos, que se interponen en su camino.
- La condición necesaria para que se produzca el fenómeno, es que el tamaño de la rendija u orificio, interpuesto en el camino de la onda, sea comparable a la longitud de onda de esta



DIFRACCIÓN ESQUEMA



# Ondas (XIV): Estudio cualitativo de algunas propiedades de las ondas (VII): Difracción (II)

$\lambda < d$  No se produce difracción  
 $\lambda = d$  Apenas difracción  
 $\lambda > d$  Difracción  
 $d < \lambda$  Hay difracción  
 $d = \lambda$  Difracción importante  
 $d \gg \lambda$  Apenas hay difracción

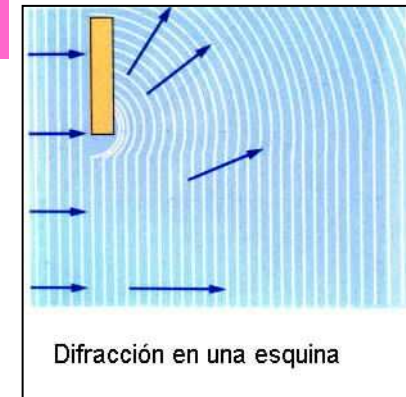
Haciendo uso del principio de Huygens, se puede explicar la relación entre el tamaño del obstáculo o rendija con la longitud de onda del MO en la producción de l fenómeno de la Difracción como se ve ene estas figuras  
 Cada punto del frente de ondas se comporta como un nuevo foco emisor de ondas .

En este caso las dos figuras de la izda muestran como los corpúsculos no se difractan mientras que las ondas si lo hacen

Los corpúsculos no se difractan

## Ondas (XX): Estudio cualitativo de algunas propiedades de las ondas (VIII): Difracción (III)

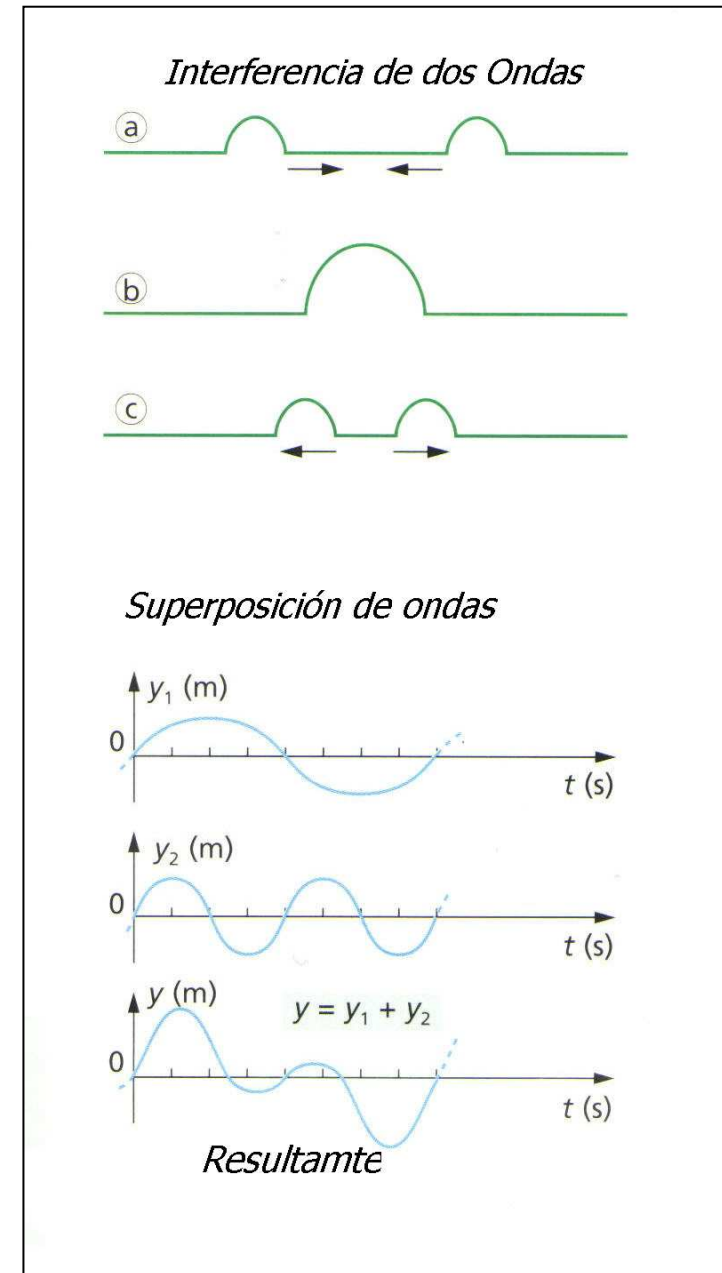
- La difracción, es el fenómeno por el que una onda experimenta un cambio en su dirección, al encontrarse con un obstáculo o abertura en la dirección en la que se propaga.
- La difracción, depende de la relación entre la long de onda, y las dimensiones del obstáculo.
- Las ondas de radio tienen longitudes de onda muy grandes. Las de OM, (Onda Media) tienen una long de onda entre 180m y 6 km. con lo que es fácil, bordear montañas
- Las de FM (Frecuencia Modulada) que su long de onda está entre 2,7 y 3,7 m., han de bordear objetos de menor tamaño, y su recepción es deficiente, en los lugares donde es buena, la recepción de OM.
- Las Ondas de TV, están comprendidas entre 0,1 y 10m, que provoca que interfieran en su propagación, objetos urbanos de poco tamaño, es por lo que necesitamos repetidores en lugares altos



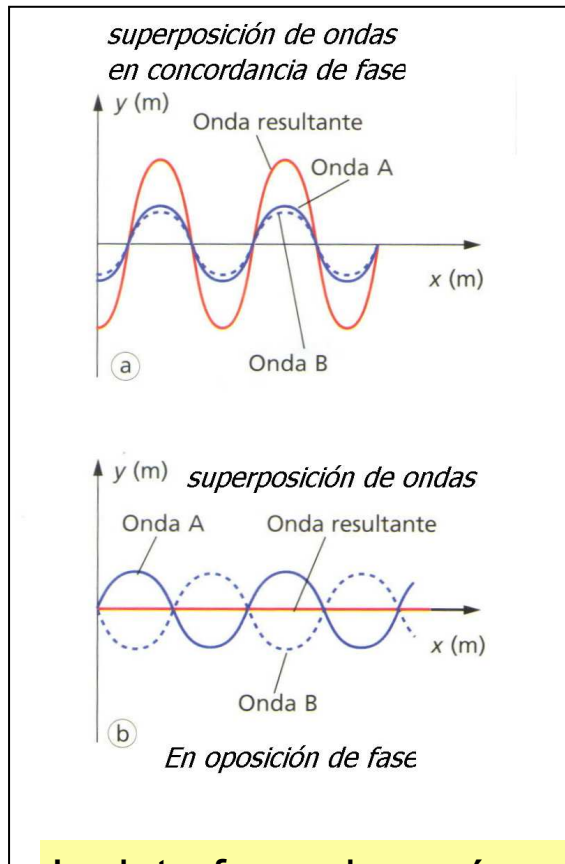
La difracción es una característica de los movimientos ondulatorios, por esto se ha utilizado para determinar si un fenómeno físico, es o no de naturaleza ondulatoria, (cuando estudiemos cuántica hablaremos de nuevo de esto) . Es el caso de la luz, que se trata de una onda electromagnética como las de radio o televisión

## Ondas (XXI): Principio de superposición; Interferencias (I)

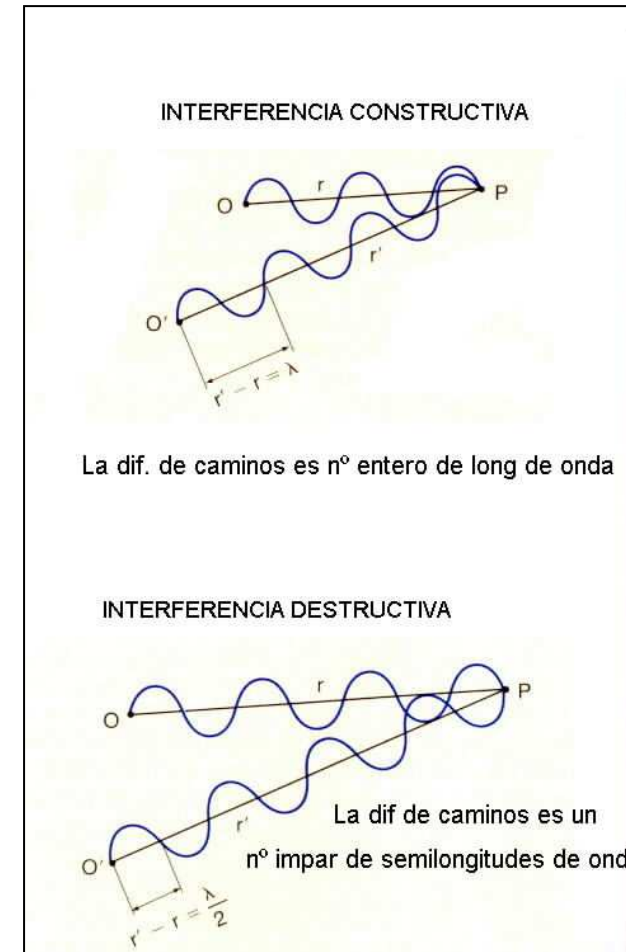
- **Principio de superposición:** Cuando dos o más ondas coinciden simultáneamente, en un punto del medio en que se propagan, la perturbación producida en dicho punto, es igual a la suma de las perturbaciones que individualmente originaría en ese lugar, cada una por separado.
- **Interferencias:** la superposición de dos ondas en un punto, se conoce como interferencia. La perturbación resultante, obedece al principio de superposición. La elongación de la onda resultante, es igual a la suma de las elongaciones de las ondas que interfieren.
- Para simplificar, supongamos ondas de la misma frecuencia y amplitud



## Ondas (XXII): Estudio cualitativo de algunas propiedades de las ondas (IX): Interferencias (II)



Dos ondas que se propagan desde dos focos, a diferentes distancias, en un determinado instante, coinciden en un punto. Esta coincidencia puede darse, tanto en concordancia, como en oposición de fase. En el primer caso la interferencia es **constructiva**, en el segundo será **destruktiva**



La interferencia será constructiva, cuando la diferencia entre los caminos recorridos por las dos ondas, sea un número entero de longitudes de onda:  $r' - r = \lambda$ . O lo que es lo mismo  $r' - r = n\lambda$ . Será destructiva, cuando esta diferencia de caminos sea un número impar de semilongitudes de onda:  $r' - r = \lambda/2$ ; o bien:  $r' - r = (2n+1)\lambda/2$

## Ondas (XXIII): Interferencias (III)

- En las figuras se pueden observar fenómenos interferenciales en la superficie del agua, y los puntos en los que la onda se anula, por estar en oposición de fase.
- Están mejor representados, en las figuras de interferencia generadas en la cubeta de ondas ( figura inferior).

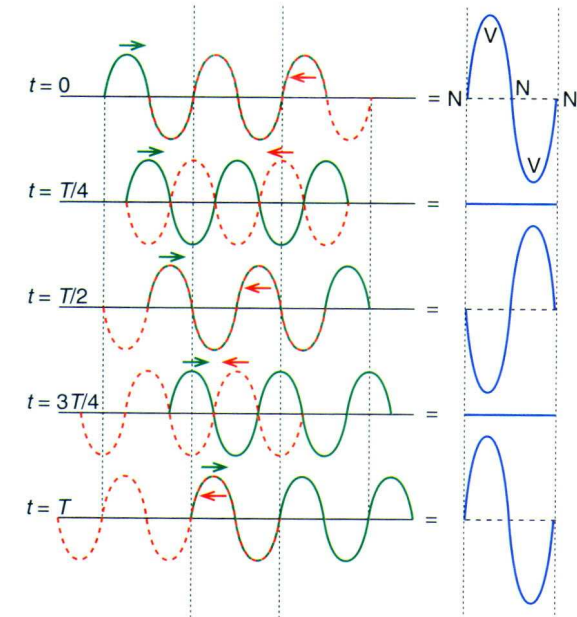


Interferencias



## Ondas (XXIV): Interferencias (IV): Ondas estacionarias (I)

- Un caso particular de interferencias, es cuando se propagan en un medio elástico y homogéneo, dos movimientos ondulatorios de la misma dirección, amplitud y frecuencia, pero en **sentidos opuestos**.
- La figura, refleja dos ondas transversales, que se mueven en sentidos contrarios, y desplazadas  $\lambda/4$ , cada una respecto de la anterior. Los puntos que permanecen siempre en reposo, se llaman **nodos**; y la distancia entre dos nodos (N) consecutivos, es de  $\lambda/2$ . A los puntos que vibran con la máxima amplitud, se les llama **vientres** (V)

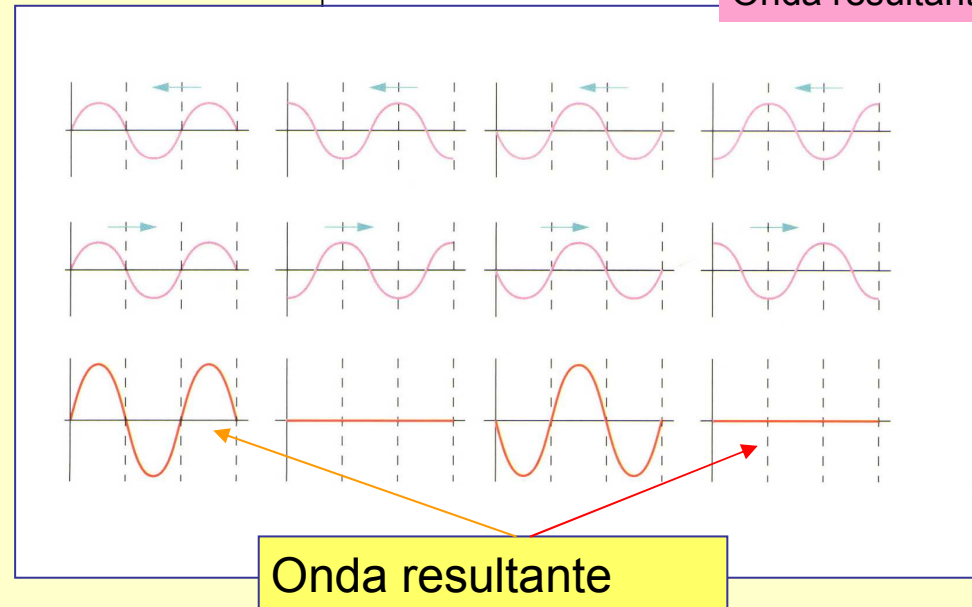


Onda resultante



Ondas

Reflexión e interferencias en el agua

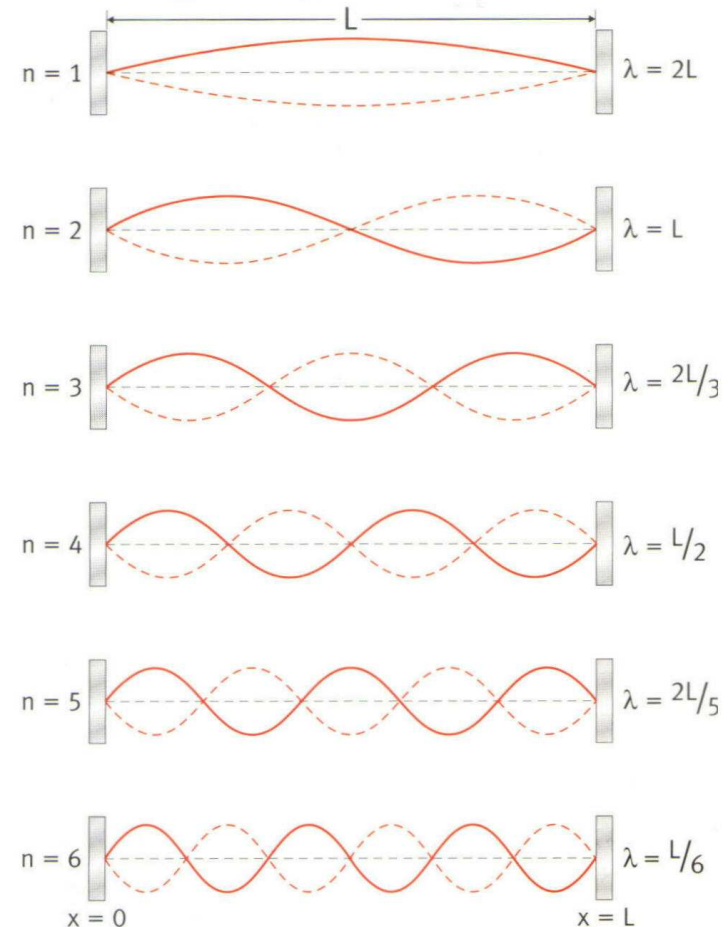


Onda resultante

## Ondas (XXV): Ondas estacionarias (II): Interferencias (V)

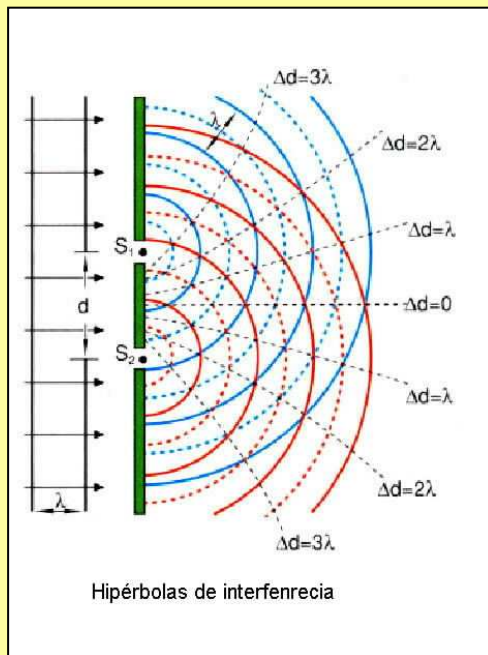
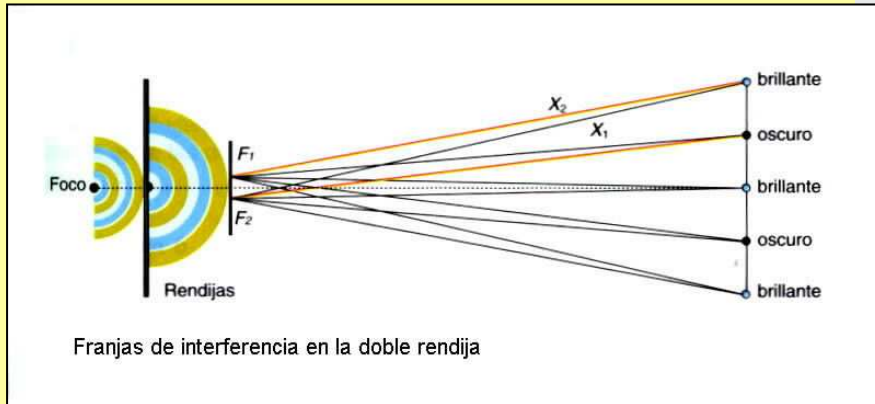
- En las ondas estacionarias, se distinguen tres hechos fundamentales:
- 1.- Aparecen puntos en los que la perturbación es siempre nula (Nodos), **interferencia destructiva**. Si ambos extremos están fijos (como en una guitarra) obligatoriamente ha de ser nula la perturbación en ellos.
- 2.- La onda no viaja, como en el caso de una cuerda con extremo libre, por esto se le llama **estacionaria**. Existen puntos donde la elongación es máxima, (Vientres), por **interferencia constructiva**
- 3.- En los medios limitados por ambos lados, no podrá producirse cualquier onda, sino que "**están permitidas**" solo aquellas, que originan nodos en los extremos fijos del medio.
- Las frecuencias para las cuales se originan ondas estacionarias, son las **frecuencias propias** o **FRECUENCIAS DE RESONANCIA** de la cuerda o muelle
- Se puede decir que la relación entre la longitud de la cuerda, y la longitud de la onda  $L = n\lambda/2$ , o también  $v = nv/2L$ . ( $v = \lambda \cdot \nu$ )
- **Para  $n=1$ , frecuencia fundamental;  $n=2$ , primer armónico;  $n=3$ , segundo armónico.....etc..** Donde  $n$  solo puede tomar valores discretos (1,2,3,4...)

### FRECUENCIA FUNDAMENTAL Y ARMÓNICOS



Se dice que los valores de las frecuencias de resonancia, están **CUANTIZADOS**

## Ondas (XXVI): Interferencias (VI): El experimento de la doble rendija



Una hipérbola, es el lugar geométrico de los puntos, cuya diferencia de distancias a dos fijos es, una constante.

- Los fenómenos de interferencia y difracción, son diferentes pero suelen presentarse en conjunto; pues las ondas difractadas interfieren, dando lugar a un fenómeno de interferencias secundario.

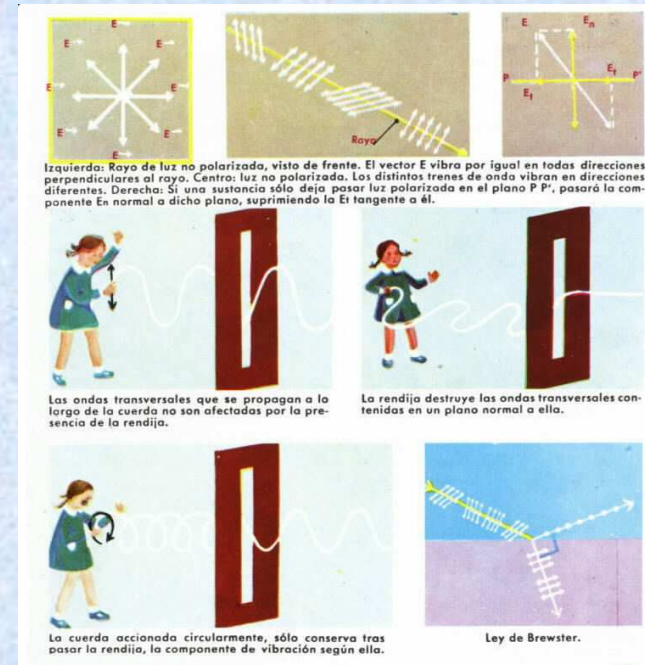
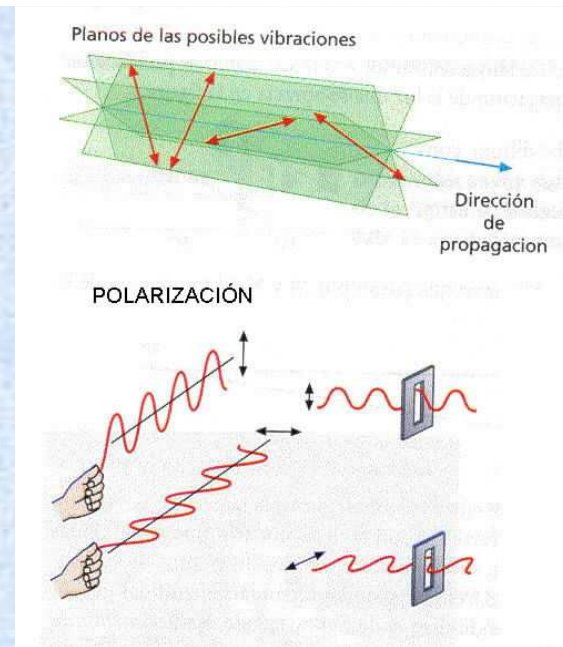
Es otro de los experimentos, (junto a la difracción), que determinan, que un fenómeno pueda tener naturaleza ondulatoria.

Se trata de un foco que emite un frente de ondas esféricas. Llega a una rendija doble, y el principio de Huygens nos dice que en ambas rendijas, se forman nuevos frentes de onda. Que estas ondas estarán en fase, y tendrán la misma amplitud. Si se construye la doble rendija de modo que  $FF_1=FF_2$ , estas ondas darán lugar a fenómenos interferenciales, tales que, si somos capaces de medir la intensidad a una distancia igual de  $F_1$  que  $F_2$ , (Una pantalla) encontraremos zonas de gran intensidad alternando, con zonas de intensidad nula (**franjas de interferencias**).

- Si la diferencia de caminos que hay desde los focos emisores,  $F_1$  y  $F_2$ , ( $x_2-x_1$ ), hasta la pantalla es  $n\lambda$  **tendremos Máximo.** ( $n^\circ$  entero de longitudes de onda).
- Si  $(x_2-x_1) = (2n+1).\lambda/2$  tendremos un mínimo.** ( $n^\circ$  impar de semilongitudes de onda)

## Ondas (XXVII): Estudio cualitativo de algunas propiedades de las ondas (X) : Polarización

- Polarizar una onda, es limitar, de alguna forma, la vibración de las partículas del medio. Si se consigue que estas partículas, vibren en un solo plano, se dice que la onda está polarizada linealmente.
- Llamaremos plano de polarización al que forman la dirección de propagación y la dirección de vibración.
- En ondas longitudinales, coinciden vibración y propagación, por lo que carece de sentido hablar de polarización

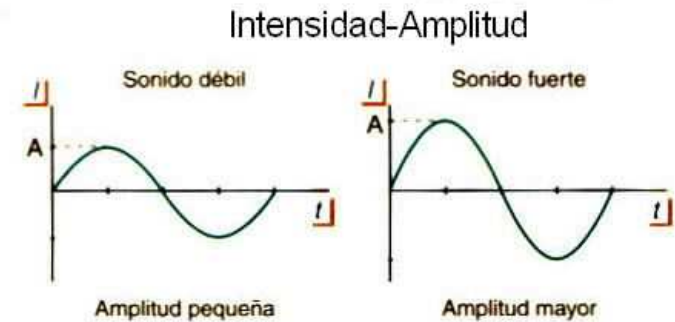


## Ondas (XXVIII): El sonido (I)

- Un diapasón golpeado, vibra de forma periódica y produce un **sonido**. Una vibración no periódica, produce un **Ruido**.
- El sonido necesita un medio material para propagarse, es, por lo tanto una onda **mecánica, tridimensional, y longitudinal** (coinciden la dirección de la perturbación y propagación).
- Definiremos ahora las cualidades del sonido:
- **Sonoridad o intensidad sonora:** es lo que llamamos intensidad subjetiva o nivel sonoro que podrá ser **Fuerte** o **Débil**. Dependerá de la amplitud y de la distancia al foco, por lo tanto está relacionada, con la intensidad del movimiento ondulatorio:
  - Recordemos:  $I_1/I_2 = r_2^2/r_1^2 = A_1^2/A_2^2$
  - Esta ecuación, indica que la intensidad disminuye con la distancia, y aumenta con la amplitud.
  - Para una frecuencia de 1000Hz, el nivel de intensidad ,  $I_0$ , en el aire, para el oído humano es de  $10^{-12} \text{w/m}^2$ , es un sonido DÉBIL. El nivel de sensación desagradable corresponde a una intensidad  $I$ , de  $1 \text{w/m}^2$  (sonido FUERTE). los de intensidades superiores, producen sensaciones dolorosas

## Ondas (XXVIV): Cualidades del sonido (II) unidades de medición del sonido

- En el fenómeno de la audición, no existe proporcionalidad directa entre la causa que produce la excitación, (Intensidad de la onda), y la sensación que percibimos a través del nervio auditivo, que llamaremos **S**. La sensación que percibimos, obedece a una escala logarítmica, según la ley de Weber-Fechner, que nos dice que:  **$S = \log I/I_0$** , donde  $I_0 = 10^{-12} \text{ w/m}^2$ .
- La unidad de intensidad sonora, es el **bel** o **belio**.
- En acústica se utiliza el decibelio. Según esto, a  $I_0$ , corresponden 0 decibelios y a la intensidad máxima corresponderán 120 decibelios:  **$S = 10 \cdot \log I/10^{-12}$**

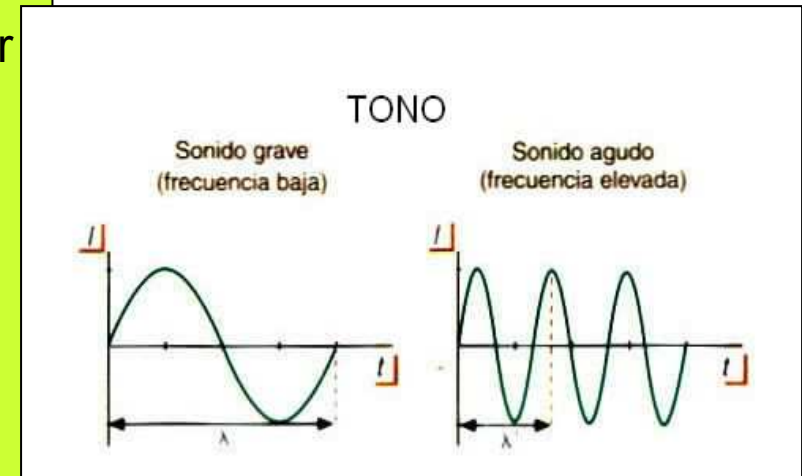


Nivel de sonoridad en fonios	Intensidad en $\text{W/m}^2$	
120	1	Umbral del dolor
110	$10^{-1}$	
100	$10^{-2}$	Concierto de rock
90	$10^{-3}$	
80	$10^{-4}$	
70	$10^{-5}$	
60	$10^{-6}$	
50	$10^{-7}$	
40	$10^{-8}$	
30	$10^{-9}$	
20	$10^{-10}$	
10	$10^{-11}$	
0	$10^{-12}$	

Sonoridad-intensidad

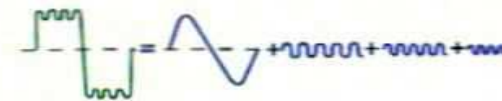
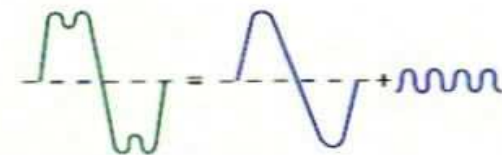
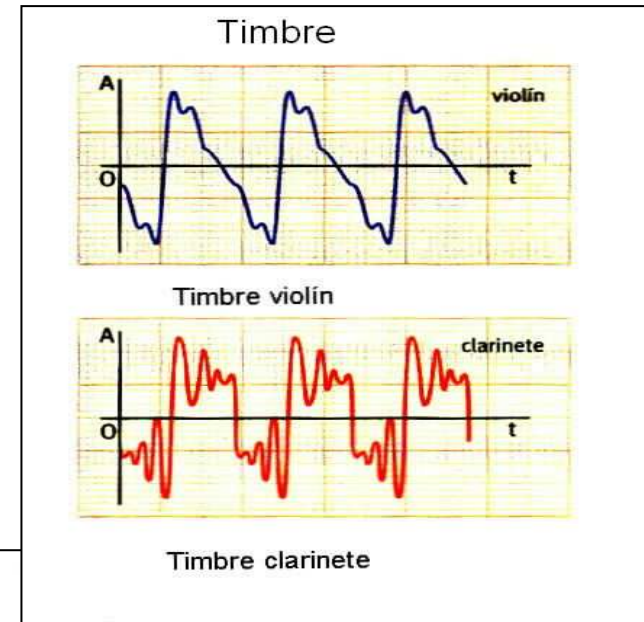
## Ondas(XXX): Cualidades del sonido (III): Tono

- **Tono:** es la cualidad, *por la cual dos sonidos de la misma intensidad, pero de diferente frecuencia, los percibimos diferentes*. Los sonidos de baja frecuencia, los llamamos **GRAVES** y los de alta frecuencia **AGUDOS**.
- Para cada frecuencia, es necesario un intensidad mínima, por debajo de la cual el sonido no se oye; y una intensidad máxima por encima de la cual la sensación es dolorosa.
- Para un sonido fuerte, este intervalo de frecuencias está entre los 20Hz y los 20.000 Hz.
- Por debajo de los 20 Hz tenemos los **INFRASONIDOS**; producidos por la oscilación de cuerpos enormes, como en el caso de los terremotos.
- Por encima de los 20.000Hz, los **ULTRASONIDOS**, producidos por vibraciones a escala atómica o molecular.
- Para un sonido débil, el intervalo se reduce considerablemente.
- La sensación sonora, para una determinada frecuencia, se expresa en **fonos o fonios**.



## Ondas (XXXI): Cualidades del sonido (III):TIMBRE

- **El Timbre:** es la cualidad el sonido, por la que *podemos distinguir sonidos de igual intensidad (sonoridad) y tono*, producidos por instrumentos diferentes. Esto se debe a que, los sonidos no son puros, lo que significa que además del sonido principal, aparecen los armónicos o sobretonos.
- Una onda compleja, se descompone en una serie de ondas armónicas de diferentes frecuencias, es lo que se llama **Síntesis de Fourier**
- El timbre de un instrumento musical, está asociado, a la forma de la onda que emite

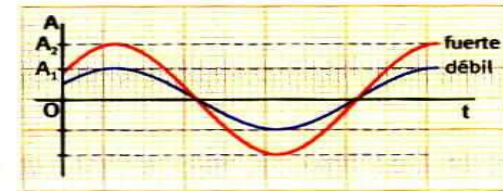


Una onda compleja de puede descomponer  
en ondas armónicas de distintas frecuencias

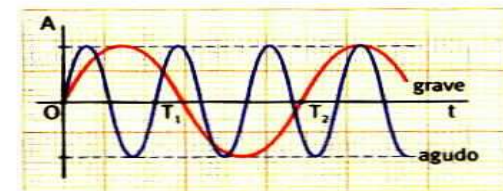
Síntesis de Fourier

# Ondas (XXXII): Sonido, contaminación acústica y, cualidades

Nivel de intensidad sonora de algunos sonidos habituales		
Fuente sonora	Intensidad ( $W m^{-2}$ )	Nivel de intensidad sonora (dB)
	$10^{-12}$	0 (Umbral de audición)
Respiración normal	$10^{-11}$	10 (Apenas audible)
Murmullo de hojas	$10^{-10}$	20
Susurros a 5 m	$10^{-9}$	30
Casa tranquila	$10^{-8}$	40
Oficina tranquila	$10^{-7}$	50
Voz humana a 1 m	$10^{-6}$	60
Calle con tráfico intenso	$10^{-5}$	70
Fábrica	$10^{-4}$	80
Ferrocarril	$10^{-2}$	100
Grandes altavoces a 2 m	$10^0$	120 (Umbral de dolor)
Despegue de un reactor	$10^2$	140



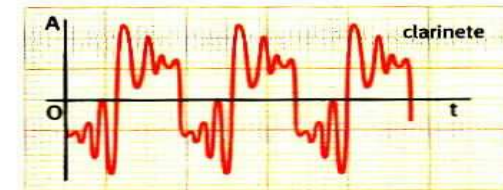
Intensidad



Tono



Timbre violín



Timbre clarinete

## Ondas (XXXIII): Movimiento del foco emisor de ondas; efecto Doppler

- En esta última diapositiva, vamos a suponer, que el foco deja de estar en reposo. Todos, alguna vez hemos percibido, que el sonido del silbato de un tren es diferente cuando este se acerca, que cuando se aleja. Cuando vemos las carreras de fórmula uno, y el monoplaza pasa por delante de la tribuna, el ruido de su motor es diferente cuando se acerca, que cuando se aleja. En ambos casos el sonido del silbato y del motor, serían idénticos, si los emisores del sonido estuviesen en reposo.
- Este fenómeno, es lo que conocemos como **Efecto Doppler**. Se produce, por que la onda emitida, tiene diferente frecuencia, cuando el foco se pone en movimiento . Para fijar ideas : si estamos en el paso a nivel, esperando el paso del tren, la onda emitida por el silbato del tren, se comprime en dirección a nosotros, que estamos en reposo, por ello suena mas agudo, que cuando el tren nos sobrepasa y se aleja, ya que cuando esto ocurre, la onda se estira y el sonido percibido es mas grave.
- La ecuación que regula el comportamiento de la frecuencia percibida ( $v'$ ), en función de la frecuencia emitida( $v$ ), no la deduciremos aquí, pero es relativamente fácil llegar a que:



Velocidad del observador ( $V_0$ )

+ si se acerca; - si se aleja

Velo del Foco ( $V_F$ )

- Si se acerca ; + si se aleja

$$v' = v \frac{V + V_0}{V + V_F}$$

## Ondas formulario

Ecuación de una onda armónica unidimensional	$Y=A \text{ sen}(\omega t+kx):$ $V=\lambda/T; v=1/T; \omega=2\pi/T; k=2\pi/\lambda$
Energía de una Onda Armónica	$E=1/2\kappa A^2=1/2$ $m\omega^2 A^2=1/2m4\pi^2v^2 A^2=2m\pi^2v^2 A^2$
Intensidad y potencia de una Onda	$I_1/I_2=R_2^2/R_1^2;$ $I_1/I_2=A_1^2/A_2^2$
Absorción; ley de BEER	$I=I_0 e^{-kx}$
Ley de Snell: $n=c/v$	<b><math>n \text{sen} i = n' \text{sen} r</math></b> ; en reflexión <b><math>i=r</math></b> ; ya que <b><math>n=n'</math></b> ; la onda vuelve al mismo medio
Interferencias	$r^1-r=n\lambda$ <i>constructiva</i> ; $r^1-r=(2n+1)\lambda /2$ <i>destructiva</i>
Efecto Doppler	$v' = v \frac{V + V_0}{V + V_F}$