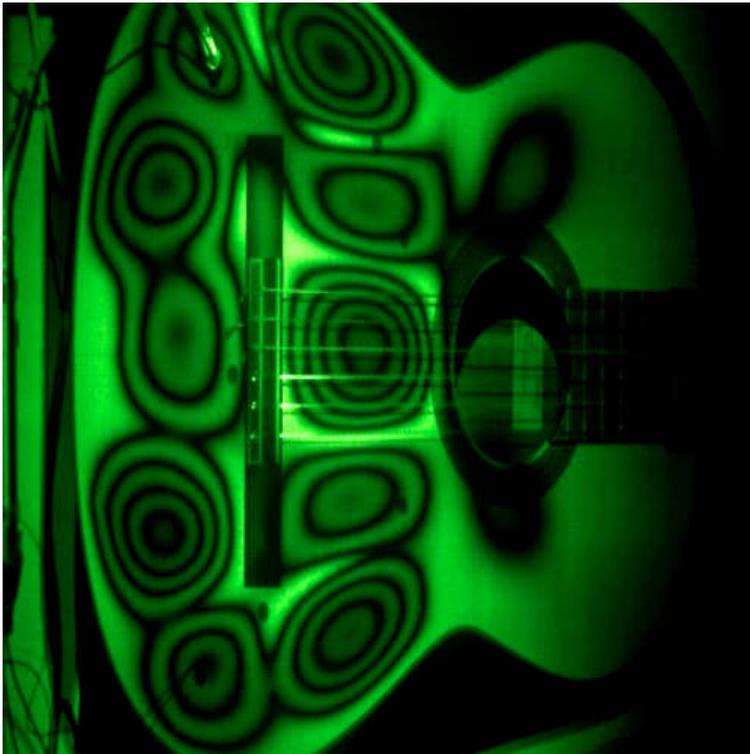


Vibraciones y Ondas

El sonido y la luz

Prof. R. Nitsche C.
Física Medica – UDO Bolívar

Vibración



- Las **vibraciones** son propagaciones de ondas elásticas produciendo deformaciones y tensiones sobre un medio continuo.
- Una vibración se puede considerar como un movimiento repetitivo alrededor de la posición de equilibrio.
- En las vibraciones hay intercambio entre energía cinética y energía potencial elástica

Oscilación



- Se denomina **oscilación** a una variación, perturbación o fluctuación en el tiempo de un medio o sistema. Si el fenómeno se repite, se habla de **oscilación periódica**.
- Las oscilaciones son de una amplitud mucho mayor que las vibraciones; así por ejemplo, al caminar, nuestras piernas oscilan; al contrario, cuando temblamos de frío o de miedo vibramos.
- En las oscilaciones, en general, hay conversión de energías cinética en potencial gravitatoria y viceversa.

Movimiento Armónico Simple (MAS)

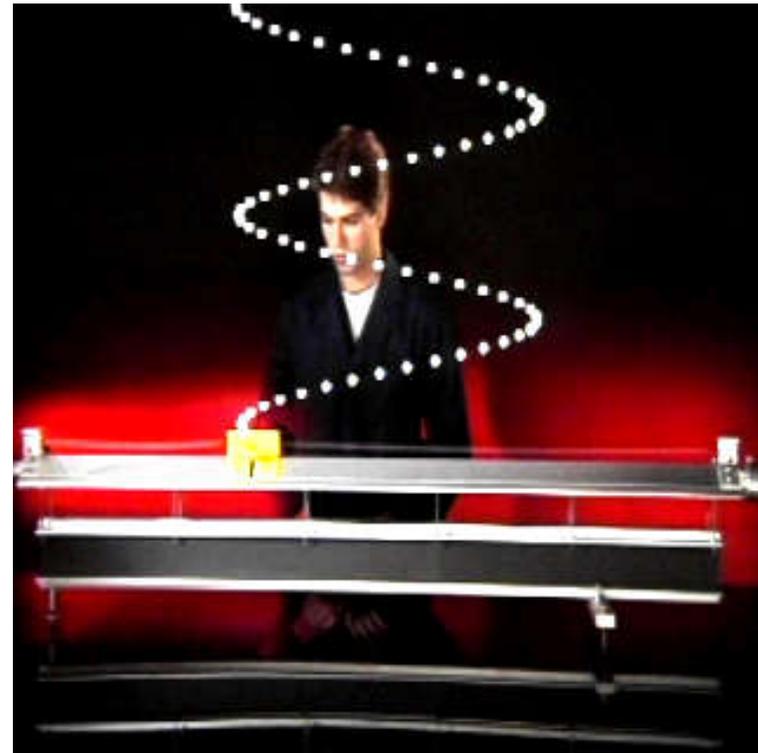
- Es un movimiento periódico, oscilatorio o vibratorio en ausencia de fricción, producido por la acción de una fuerza recuperadora que es directamente proporcional a la posición pero en sentido opuesto.
- Su ecuación general obedece siempre a la relación:

Ecuación de un MAS

$$x(t)'' + \omega^2 \cdot x(t) = 0$$

siendo : $\omega = \frac{2\pi}{T}$

con $T = \text{periodo del movimiento}$



Descripción y energía en el MAS

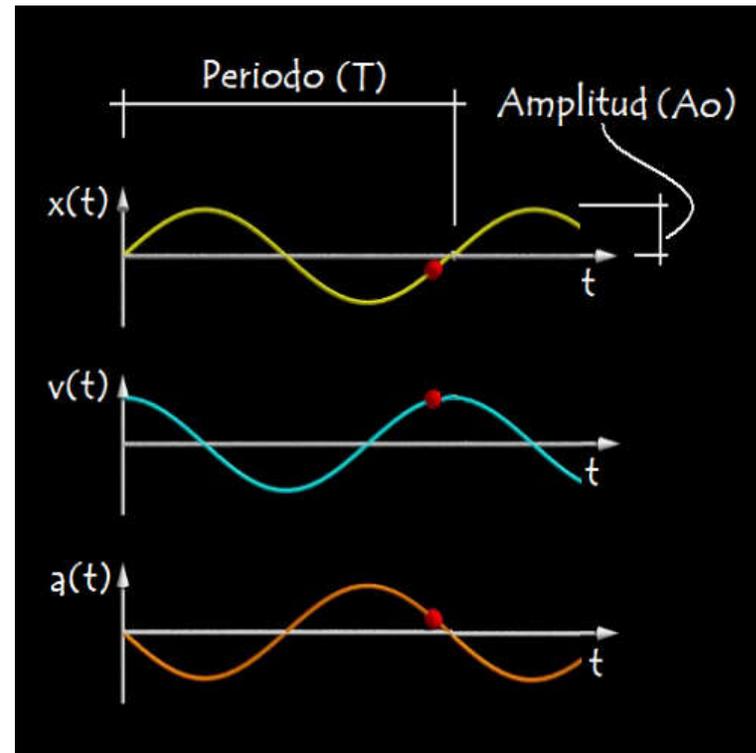
- Se define como **Amplitud del MAS** (**A_o**) a la máxima elongación del movimiento. La **frecuencia angular** (**ω**) llamada también **frecuencia natural**, o **frecuencia de resonancia**, es el número de ciclos (**2π rad**) que ocurren cada segundo.
- La energía total (**E**) en un MAS depende de la masa (**m**), la amplitud (**A_o**) y su frecuencia angular (**ω**).

$$x(t) = A_o \cdot \text{sen}[\omega \cdot t + \phi]$$

$$v(t) = [A_o \cdot \omega] \cdot \text{cos}[\omega \cdot t + \phi]$$

$$a(t) = -[A_o \cdot \omega^2] \cdot \text{sen}[\omega \cdot t + \phi]$$

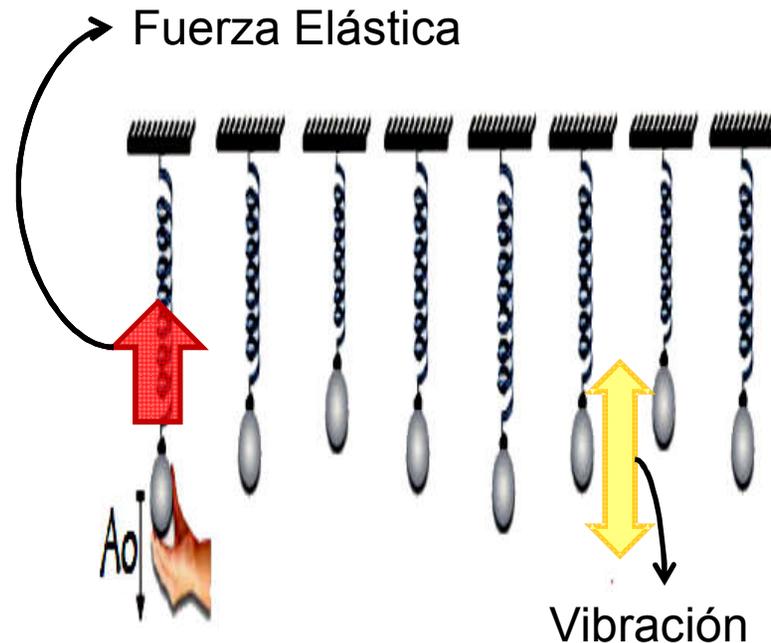
$$E = E_c + E_{p_{elastica}} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot [\omega \cdot A_o]^2$$



Vibración en sistema masa-resorte

- Si un resorte de constante elástica (K) unido a una masa (m) se les pone a oscilar libremente, y despreciando las fuerzas de fricción presentes entonces aparece un MAS, donde la frecuencia angular (ω) del movimiento resulta:

$$\begin{aligned} \pm \sum F_x &= m \cdot a_x \Rightarrow \\ -K \cdot x &= m \cdot a_x \Rightarrow \\ a_x + \left[\frac{K}{m} \right] \cdot x &= 0 \\ \text{donde: } \omega &= \sqrt{K/m} \end{aligned}$$



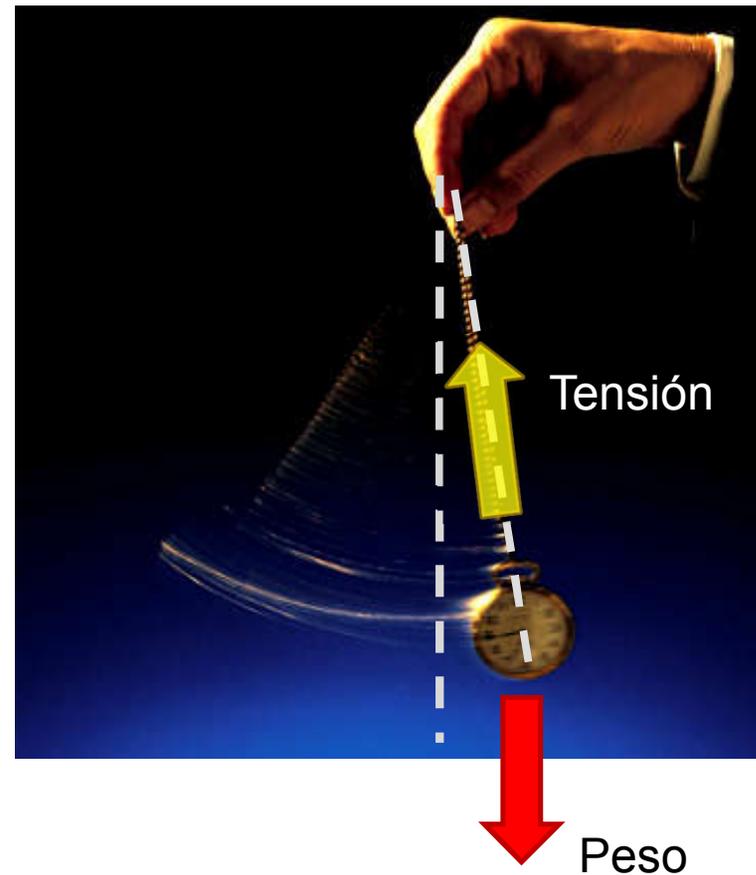
Oscilación de un Péndulo Simple

- Un péndulo simple consiste de una larga cuerda de longitud (L) que sostiene a una masa (m) de dimensiones despreciables comparadas con la longitud de la cuerda.
- Cuando el péndulo oscila en ángulos (θ) pequeños, la frecuencia angular de vibración resulta:

$$\sum F_t = m \cdot a_t \Rightarrow -m \cdot a_g \cdot \text{sen}(\theta) = m \cdot a_x$$

cuando el ángulo es pequeño $\Rightarrow \text{sen}(\theta) \approx \theta$
la aceleración tangente es $\Rightarrow a_t = L \cdot \alpha$

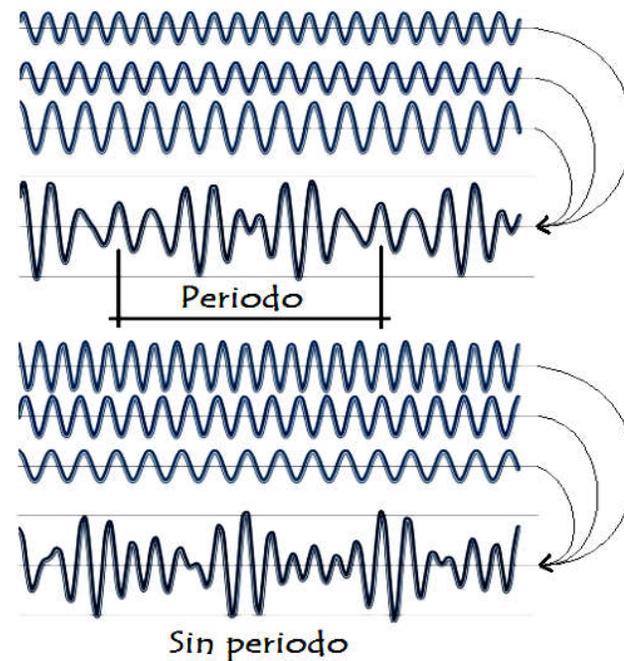
$$\alpha + \left[\frac{a_g}{L} \right] \cdot \theta = 0 \Rightarrow \omega = \sqrt{a_g/L}$$



Movimientos Armónicos Complejos (MAC)

- En muchas situaciones se tiene que sobre un cuerpo actúan varios MAS de diferente frecuencia angular, la suma de todos estos MAS da por resultado un MAC.
- Existe un periodo en el MAC (vuelve a la misma posición con la misma velocidad) si las frecuencias involucradas guardan alguna relación entera entre ellas.

$$X(t) = \sum_{i=1}^n A_i \cdot \text{sen}[\omega_i \cdot t + \phi_i]$$



Vibraciones en Sistemas Acoplados

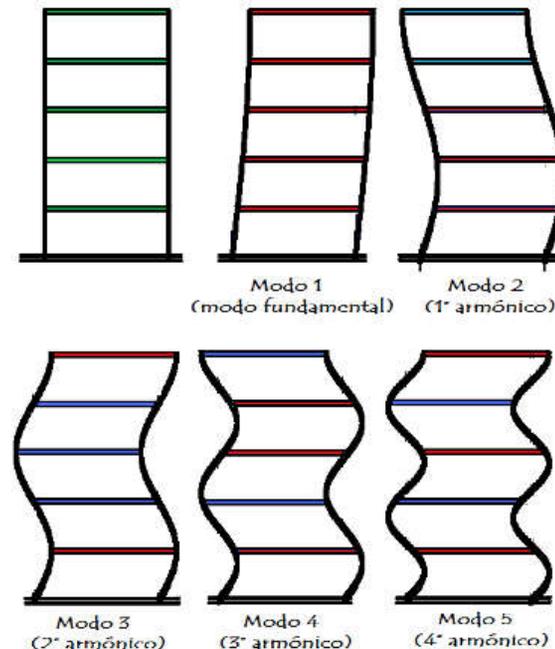
- Cuando varios péndulos simples se encuentran suspendidos de una cuerda en común, o cuando varias masas son unidas en serie por medio de resortes se tienen lo que se conoce como **sistemas acoplados**.
- Cuando vibra uno de los elementos del sistema, esta vibración se transfiere a las otras masas, que vibraran a su propio ritmo donde cada masa termina afectando a sus vecinas, estamos ante **vibraciones en sistemas acoplados**.



Modos Normales de Vibración

- Por cada número 'n' de partículas (o masas) de un sistema acoplado suelen existir 'n' formas de vibración distintas, llamados **modos normales de vibración**.
- Cada una de esas formas se presenta a una frecuencia particular, llamada **frecuencia del modo normal**, donde cada partícula se mueve con MAS.
- El resultado final es que cada partícula vibra con MAC, al sumar cada MAS correspondiente a cada modo normal de cada partícula.

MODOS DE OSCILACIÓN DE UN EDIFICIO DE 5 PISOS ANTE UN SISMO



Vibración en Resonancia

- La **resonancia** es un fenómeno que se produce cuando un cuerpo es sometido a la acción de una fuerza periódica, cuyo periodo se acerca al periodo de vibración natural del cuerpo.
- Aquí una fuerza relativamente pequeña (el empujón del padre) aplicada en forma repetida, hace que la amplitud de la oscilación se haga muy grande (en el columpiar del niño).
- Este efecto puede ser destructivo en algunos materiales rígidos al entrar en resonancia.



Definición de Onda



- Una **onda** consiste en la propagación de una perturbación de alguna propiedad de un medio, por ejemplo, densidad, presión, o campo eléctrico-magnético, a través de dicho medio, implicando un transporte de energía sin transporte de materia.
- El medio perturbado puede ser de naturaleza diversa como gases, líquidos, e incluso, inmaterial como el vacío en el caso de ondas electromagnéticas.

Ecuación de una Onda

- Cuando una onda atraviesa un medio, las partículas vibran, para saber como se mueve una onda se requiere conocer la posición (x, y, z) y el tiempo transcurrido (t) para cada una de las partículas, dando origen a la **ecuación de onda**, que depende de ambas cantidades.

$$\frac{\partial^2 \Psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \Psi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \Psi}{\partial z^2} = \frac{1}{v^2} \cdot \frac{\partial^2 \Psi}{\partial t^2}$$

siendo : $\Psi = \text{Función}[x, y, z, t]$

- La velocidad que relaciona ambas partes de la ecuación se conoce como **velocidad de propagación** (v) de la onda.



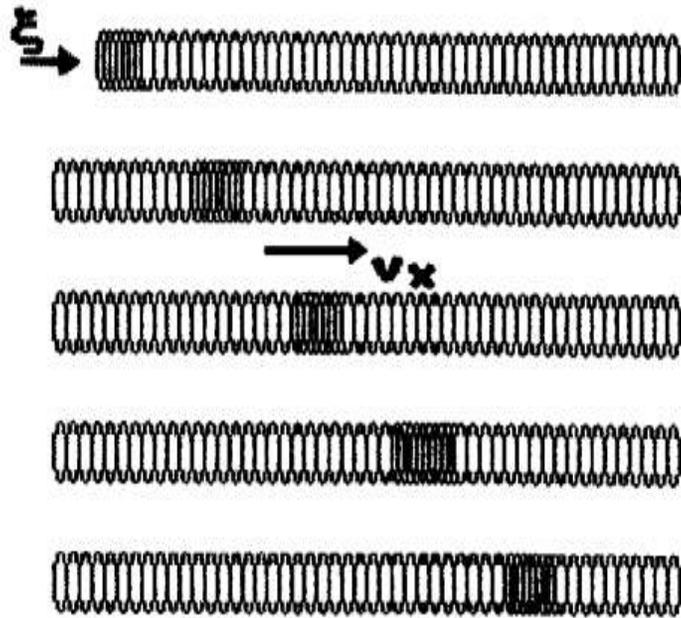
Tipos de Ondas (1)

(según su naturaleza)

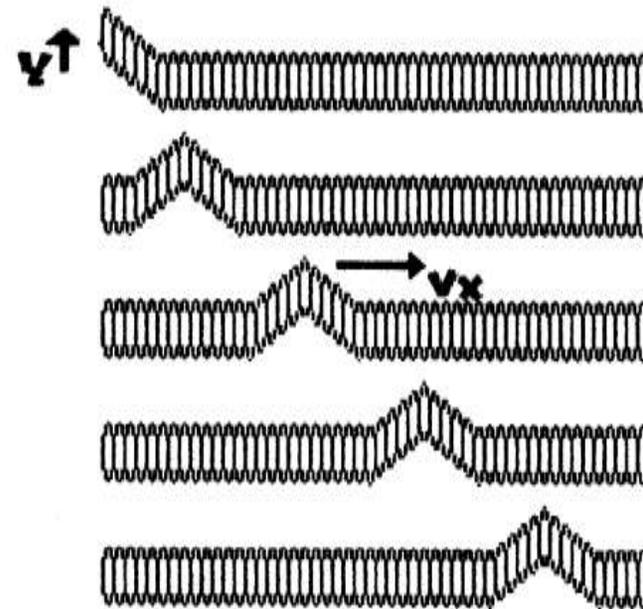


Tipos de Ondas (2)

(Según como vibra el medio)



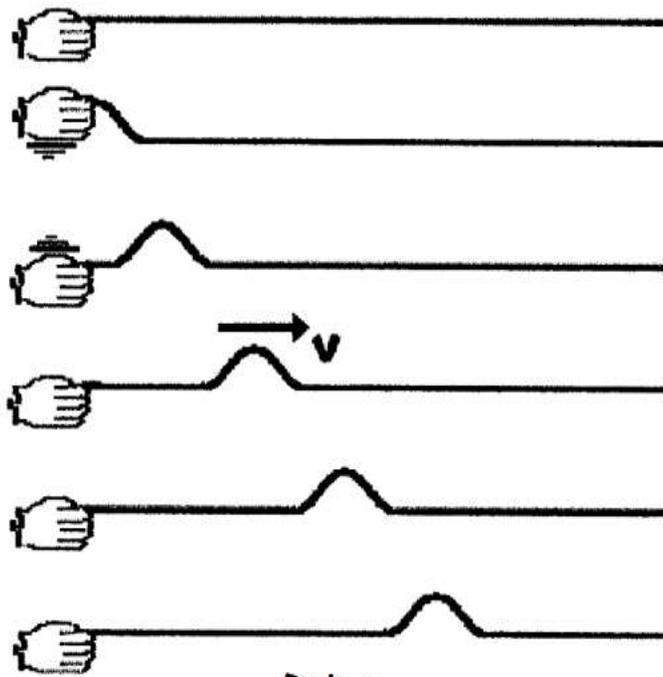
Ondas Longitudinales



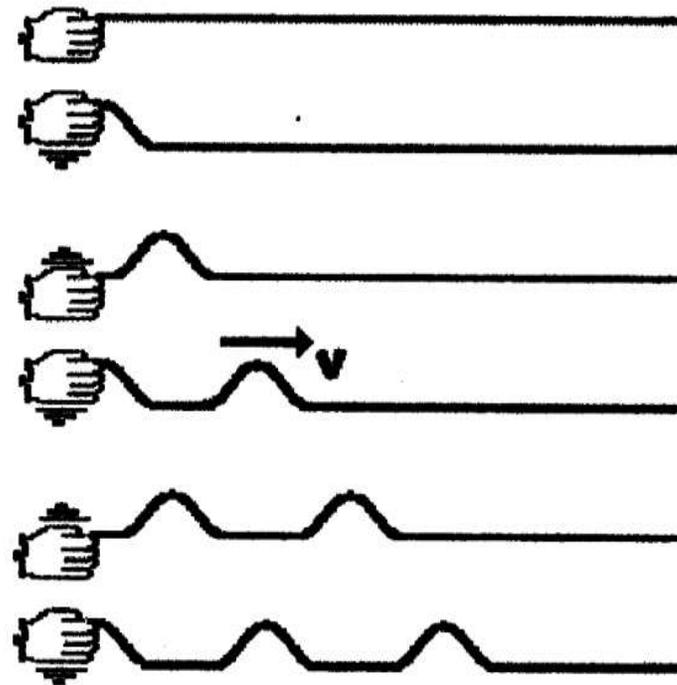
Ondas Transversales

Tipos de Ondas (2)

(Según su forma)



Pulso



Onda Periodica

Tipos de Ondas (3)

(Las Ondas Armónicas)

- La **Onda Armónica** es un caso particular de una **Onda Periódica**, se caracteriza por tener una forma armónica (seno o coseno).
- El signo interno indica hacia donde se mueve la onda (+) a la izquierda, (-) a la derecha.

$$\Psi_{\text{onda armónica}} = A_o \cdot \text{sen}(\kappa \cdot x \pm \omega \cdot t)$$

donde :

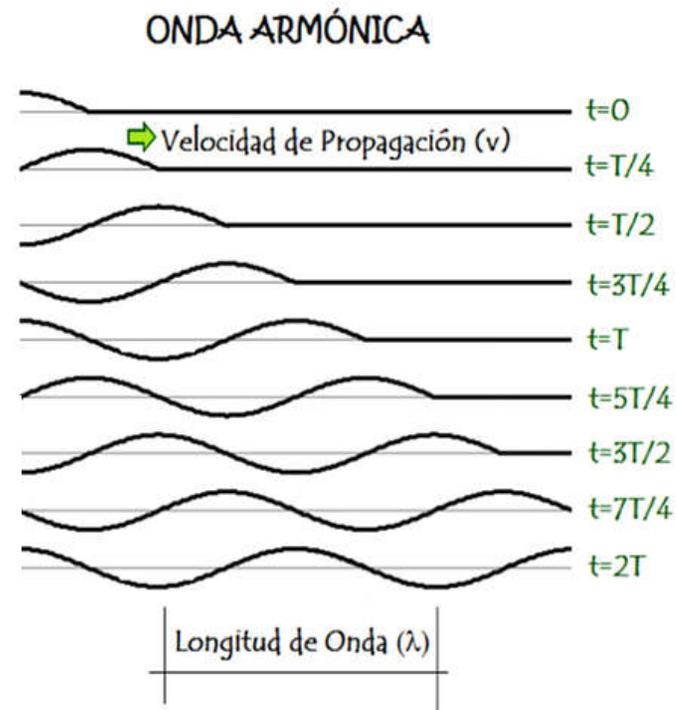
$$\kappa = \text{número de onda} = \frac{2\pi}{\lambda}$$

$$\omega = \text{frecuencia de la onda} = \frac{2\pi}{T}$$

siendo :

λ = período espacial = longitud de onda

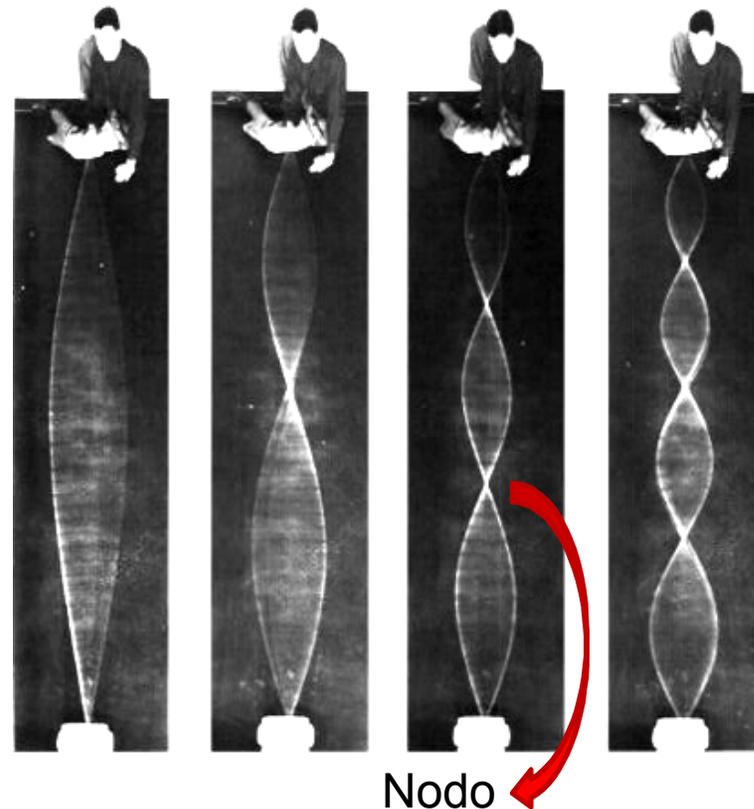
T = período temporal



Tipos de Ondas (4)

(Ondas Estacionarias)

- Las ondas estacionarias permanecen confinadas en un espacio y se forman por la interferencia de dos ondas de la misma naturaleza con igual amplitud y frecuencia, que avanzan en sentidos opuestos a través del medio.
- La amplitud de vibración para cada punto depende de su posición, la frecuencia es la misma para todos.
- Los puntos que no vibran (estacionarios) se le llama **nodos**, de donde proviene el nombre, por la aparente inmovilidad de estos puntos.



Tipos de Ondas (5)

(Ondas Estacionarias en Cuerdas Tensas)

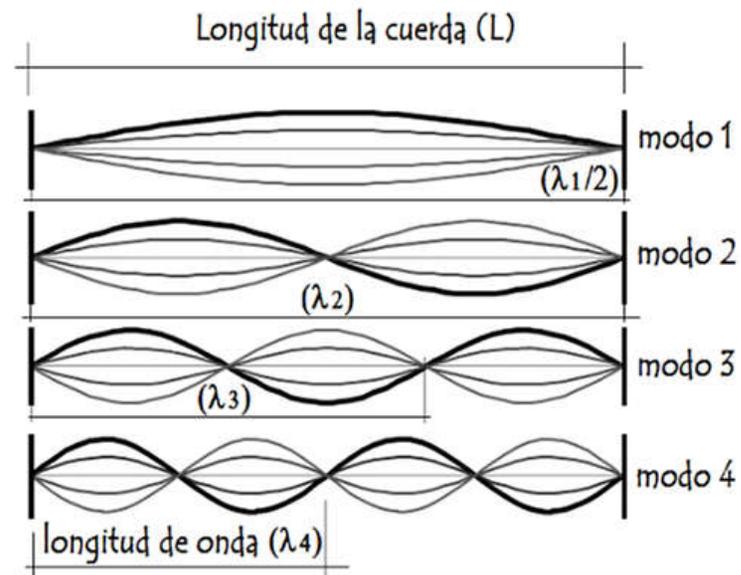
- En cuerdas de masa (**m**) y longitud (**L**) fijas en ambos extremos es común cuando vibran que se presenten por los procesos de reflexión de la onda en los extremos fijos, dando origen a ondas estacionarias.
- La longitud de esta onda es la distancia entre dos nodos consecutivos.
- Ocurre en cuerdas que:

$$\lambda_{\text{modo } n} = \frac{2L}{n}$$

$$f_{\text{modo } n} = 2\pi \cdot \omega_n = n \cdot f_1$$

Siendo f_1 = frecuencia del 1° modo normal

Donde: n = número del modo normal



ONDAS ESTACIONARIAS
EN CUERDAS TENSAS

Velocidad de las Ondas (1)

(Velocidad de propagación, longitud de onda y frecuencia)

- La velocidad de propagación de una onda (v) obedece a relaciones vinculadas directamente a propiedades de los materiales por las que la onda se mueve.
- Independiente de esto ocurre siempre que en toda onda:

$$v = \frac{\lambda}{T} = \lambda \cdot f = \frac{\omega}{k}$$



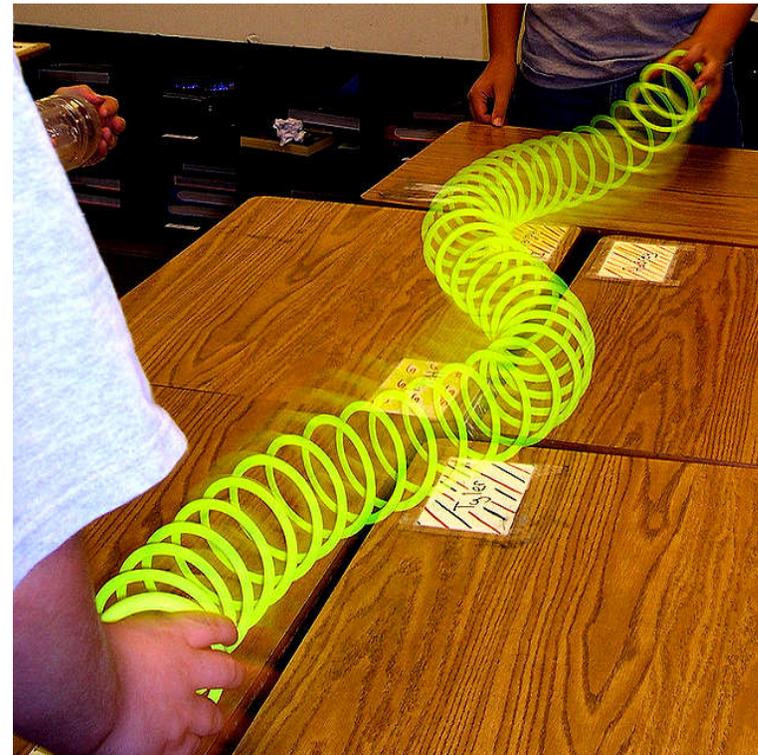
Velocidad de las Ondas (2)

(En cuerdas tensas)

- La velocidad de las ondas depende del tipo de onda; las **ondas transversales** se dan sólo en sólidos, el ejemplo más común son las ondas en cuerdas tensas (como en las ondas estacionarias); pero también en resortes, como en la imagen. En cuerdas la velocidad de propagación es:

$$v = \sqrt{\frac{F_{\text{tensión}}}{\rho_{\text{lineal}}}}$$

$$\text{donde : } \rho_{\text{lineal}} = \frac{m}{L}$$



Velocidad de las Ondas (3)

(Longitudinales en Sólidos)

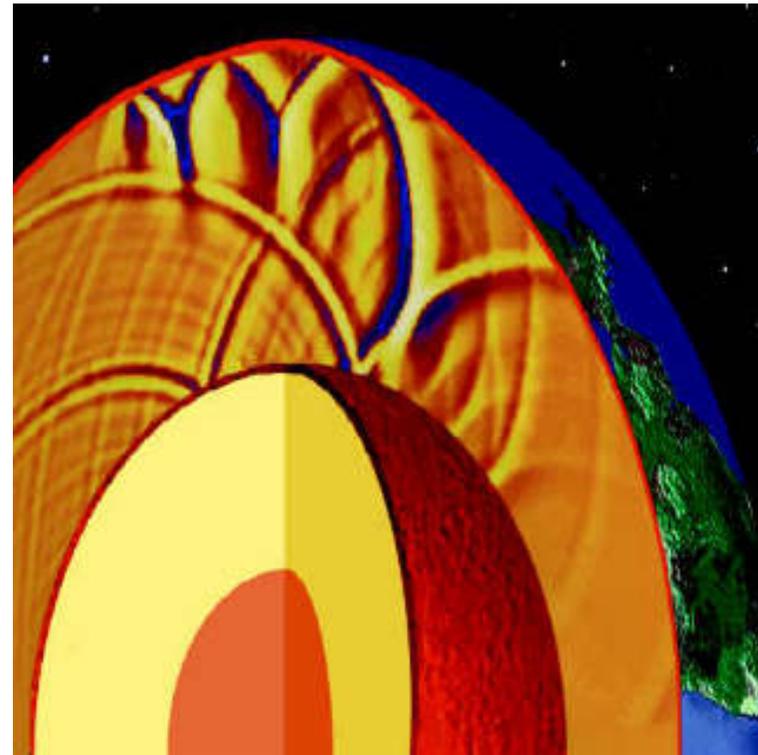
- Las **ondas longitudinales** se dan en sólidos, líquidos y gases, suelen ser llamadas también **ondas de presión**.
- En los sólidos se relacionan con las propiedades elásticas de los materiales.

$$v = \sqrt{\frac{Y}{\rho_{vol}}}$$

$Y = \text{módulo de Young} \Rightarrow$

$$Y = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{[F/Area]}{[\Delta L/L]}$$

siendo : $\rho_{vol} = \frac{m}{vol}$



Velocidad de las Ondas (4)

(Longitudinales en Líquidos)

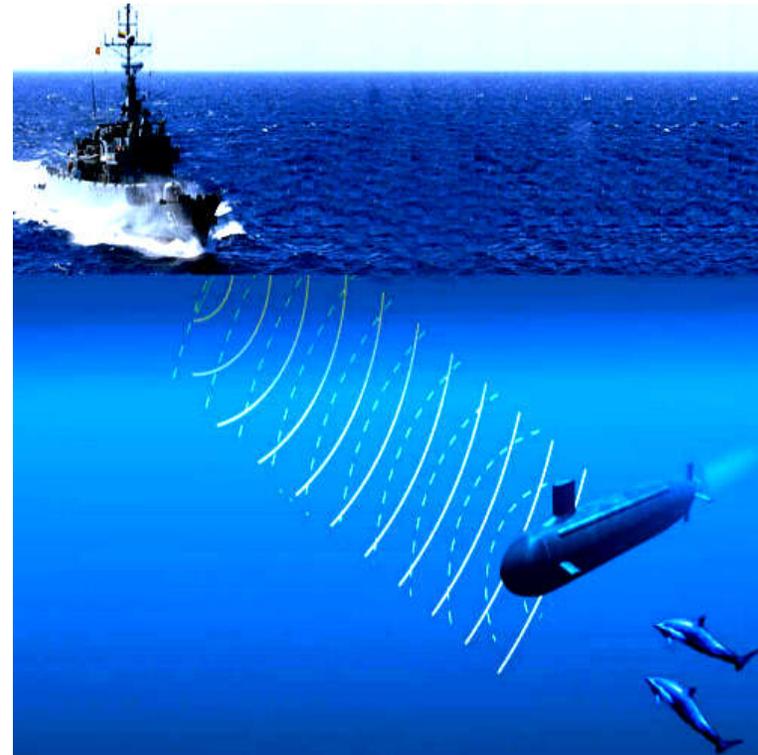
- En los líquidos las ondas longitudinales o de presión se vinculan a los cambios de densidad del líquido, y con ello a su variación de volumen.

$$v = \sqrt{\frac{B}{\rho_{vol}}}$$

$B = \text{módulo de Compresibilidad} \Rightarrow$

$$B = \frac{\Delta p}{\left[\frac{\Delta Vol}{Vol_{inicial}} \right]}$$

siendo : $\rho_{vol} = \frac{m}{vol}$



Velocidad de las Ondas (5)

(Longitudinales en gases)

- En los gases los cambios de presión y densidad están afectados principalmente por la temperatura.
- Si no hay pérdidas de calor (proceso adiabático) la velocidad en gases resulta:

$$v = \sqrt{\frac{\gamma \cdot \text{presión}}{\rho_{\text{vol}}}}$$

donde : $\gamma = \frac{c_p}{c_v} = 1,4$ (en el aire)

siendo : $\rho_{\text{vol}} = \frac{m}{\text{vol}}$

Una fórmula empírica que depende de la temperatura en grados centígrados es

$$v = [331 + 0,6 \cdot T^{\circ}\text{C}] \text{ m/s}$$



Velocidad de las Ondas (6)

(en ondas transversales en fluidos)

- Si bien las ondas transversales existen sólo en sólidos, hay una excepción a la regla, cuando están en contacto dos fluidos distintos, ejemplo el aire y el agua.
- Estas son las típicas olas, y su velocidad depende de la profundidad del fluido más denso (h), de la longitud de la onda (λ), la tensión superficial (τ) y la densidad del fluido (ρ).



Velocidad de las Ondas (7)

(En las olas del mar, ondas gravitatorias)

- Cerca de la costa importa la altura (**h**) o profundidad del terreno bajo las aguas; como la altura se reduce, también lo hace la velocidad y por ello la ola rompe porque la parte de atrás va más rápido que la de adelante. Lejos de la costa la velocidad de la ola depende de la longitud de la onda (**λ**). En ambos casos importa la gravedad, de ahí el nombre de **ondas gravitatorias**.

$$\text{cerca de la costa} \Rightarrow v = \sqrt{h \cdot a_g}$$

$$\text{lejos de la costa} \Rightarrow v = \sqrt{\frac{a_g \cdot \lambda}{2\pi}}$$



Velocidad de las Ondas (8)

(Ondas capilares)

- Cuando la longitud de la onda es muy pequeña, como las ondas producidas por una brisa sobre un estanque tranquilo, empieza a actuar la tensión superficial y la densidad del líquido, se dice que tenemos **ondas capilares**, y su velocidad es:

Cuando λ es muy pequeña entonces

$$v = \sqrt{\frac{2\pi \cdot \tau_s}{\lambda \cdot \rho_{vol}}}$$

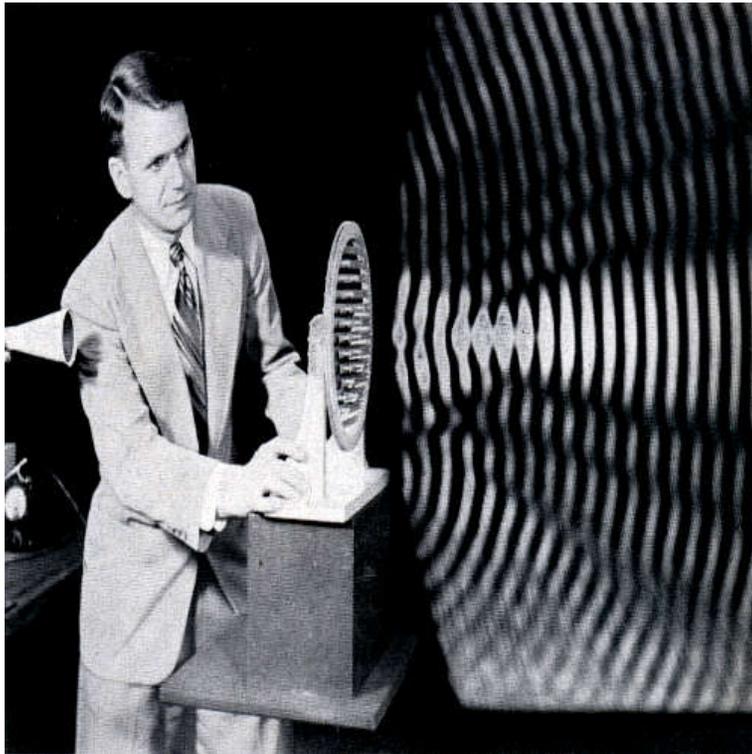
siendo :

τ_s = tensión superficial

ρ = densidad del líquido



El Sonido



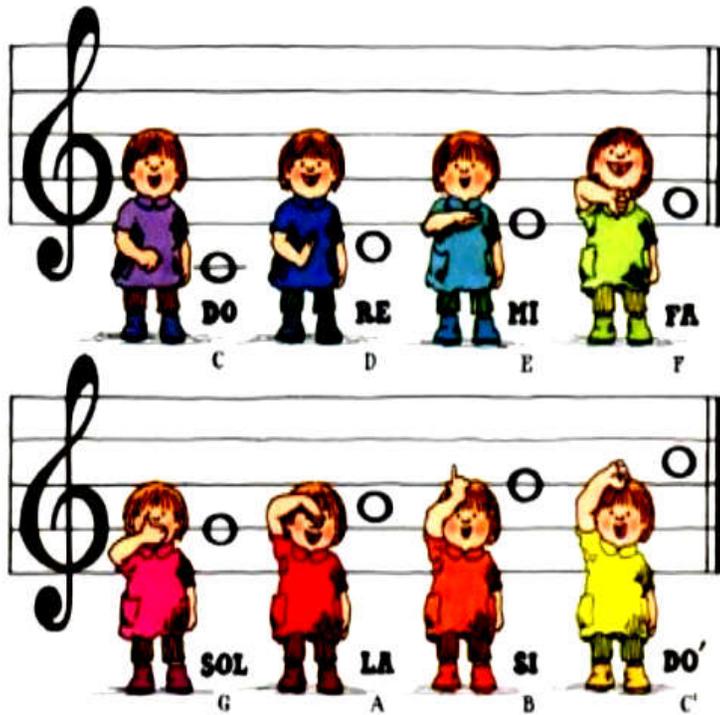
- En física es **sonido** toda onda de presión, pero de forma tradicional asumimos como sonido sólo a aquellas ondas de presión que al propagarse por el aire percibe el oído humano.
- El sonido percibido por el oído tiene tres grandes variables que lo definen:
 - *El Tono o altura del sonido*
 - *El Nivel de Intensidad (Volumen)*
 - *El Timbre o color del sonido*
- A la que incluimos una cuarta temporal:
 - *La duración del sonido*

El Tono de un Sonido



- El **tono de un sonido** está vinculado a la **frecuencia de la onda sonora**, a mayor frecuencia más **agudo** el tono, a menor frecuencia, más **grave**. El oído humano percibe frecuencias entre los 16 Hz a los 20000 Hz. Los sonidos con frecuencia superior a los 20000 Hz se conocen como **ultrasonidos**, los inferiores a 16 Hz se conocen como **infrasonidos**. La voz humana se sitúa entre los 200 Hz y los 3500 Hz, la música tiene un rango mayor, entre 30 Hz a los 4200 Hz. Fuera de este rango no podemos diferenciar las notas y percibimos sólo **ruido**.

Notas Musicales (1)



- Es un hecho que una cuerda tensa produce sonidos cuya frecuencia depende de la longitud de la cuerda, y cada sonido agradable define una nota. Cada vez que se reduce a la mitad una cuerda, la frecuencia se duplica, es la misma nota pero una escala más aguda; si duplicamos la longitud, la frecuencia se reduce a la mitad, la misma nota pero una escala más grave. Hoy este intervalo hoy se conoce como **octava musical**.
- Existen en el rango de frecuencias audibles unas 10 octavas, pero la música trabaja entre la 3° a la 5°.

Notas Musicales (2)

Nota (Octava central)	Frecuencia (Hz)	Relación del largo de la cuerda (L)
Do ₄ (C)	261,6	L
RE (D)	293,7	(8/9)L
MI (E)	329,6	(4/5)L
FA (F)	349,2	(3/4)L
SOL (G)	392,0	(2/3)L
LA (A)	440,0	(3/5)L
SI (B)	493,9	(8/15)L
DO ₅ (C)	523,3	(1/2)L

- En los primeros tiempos estas relaciones entre la longitudes de las cuerdas y las notas que consideramos agradables al oído dependían de la longitud que se diera a la cuerda, hoy dependen de la frecuencia y se ha asignando al '**La**' de la cuarta octava el valor de 440 Hz.
- Claro hay quienes protestan esta escogencia señalando que el 'La' original tenía 430,54 Hz y que se ha perdido la 'resonancia' natural con la madre Tierra.

Notas Musicales (3)

- Los griegos encontraron razones geométricas para medir las notas; la primera, ya conocida es la **media geométrica** que define las distancias entre las **octavas**.
- La segunda razón es la **media aritmética**, que da el **intervalo de quinta** (entre la 1° nota y la quinta en una octava musical)

$$\frac{\text{Nota } a}{\text{Nota } b} = \frac{\text{Nota } b}{\text{Nota } c}$$

ejemplo :

$$\frac{Do_2}{Do_3} = \frac{Do_3}{Do_4} \rightarrow$$

$$Do_2 = \frac{(261,6)^2}{523,3} = 130,8 \text{ Hz}$$

donde :

$$\frac{Do_2}{Do_3} = \frac{130,8}{261,6} = \frac{1}{2}$$

$$\text{Nota } c = \frac{\text{Nota } a + \text{Nota } b}{2}$$

ejemplo :

$$\text{Sol}_4 = \frac{261,6 + 523,3}{2} \approx 392$$

donde :

$$\frac{\text{Sol}_4}{Do_4} = \frac{392}{261,6} \approx \frac{3}{2}$$

Notas Musicales (4)

- La **razón armónica** permite definir la distancia a la cuarta nota, y con ello el **intervalo de cuarta**.

$$\text{Nota } c = \frac{2 \cdot [\text{Nota } a \cdot \text{Nota } b]}{\text{Nota } a + \text{Nota } b}$$

ejemplo :

$$Fa_4 = \frac{2 \cdot [261,6 \cdot 523,3]}{261,6 + 523,3} = 349$$

donde :

$$\frac{Fa_4}{Do_4} = \frac{349}{261,6} \approx \frac{4}{3}$$

- La razón entre la razón aritmética y la razón armónica define el **intervalo de tono**. Esta relación de tonos se da entre el DO el RE y MI; así como entre el FA, SOL, LA y SI; pero no entre el MI y FA, y entre el SI y el DO; cuya relación es de semitono.

$$\text{Intervalo de Tono} = \text{Razón aritmética} / \text{razón armónica}$$

$$\text{ejemplo : Intervalo de Tono} = \frac{392}{349} \approx \frac{9}{8}$$

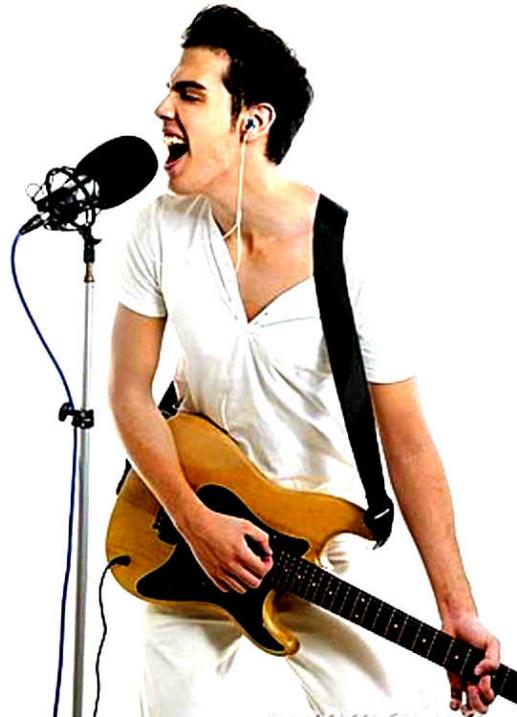
donde :

$$Re_4 = \frac{9}{8} \cdot Do_4 = 294 \quad Mi_4 = \frac{9}{8} \cdot Re_4 \approx 330$$

$$Sol_4 = \frac{9}{8} \cdot Fa_4 \approx 392 \quad La_4 = \frac{9}{8} \cdot Sol_4 \approx 392$$

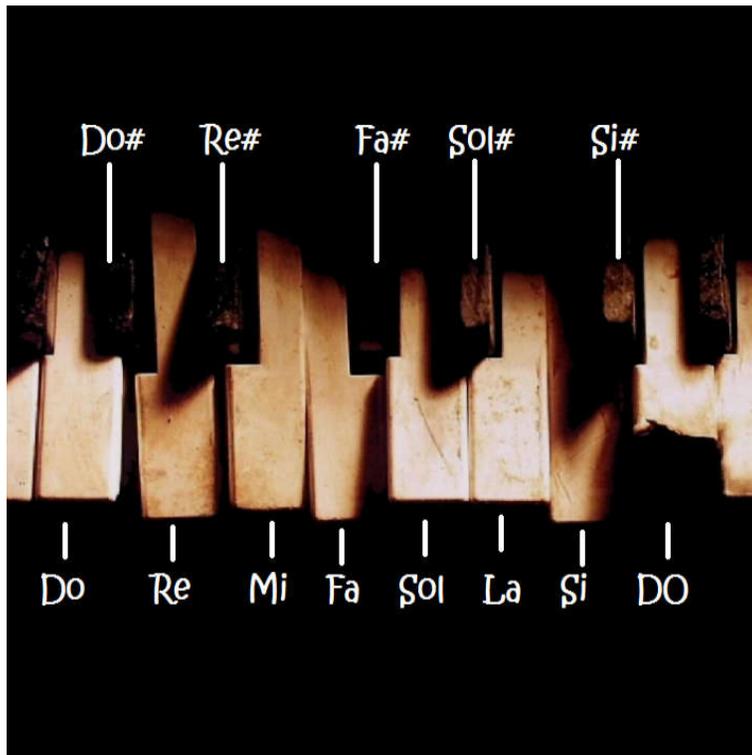
$$Si_4 = \frac{9}{8} \cdot La_4 \approx 494$$

Notas Musicales (5)



- Así en la octava musical existen cinco intervalos de tonos y dos de semitonos. Para cualquier intervalo de quinta (5 notas seguidas) siempre habrá tres tonos y un semitono, pero en intervalos de cuarta puede ocurrir relaciones de dos tonos y un semitono, o de tres tonos (el caso de Fa a Si) que se conoce como tritono; y la música compuesta con este intervalo suena algo siniestra, y fue llamada **música del diablo** en la edad media; su uso regular se inicia en la edad moderna; hoy se da sobre todo en Jazz, rock y heavy metal.

Notas Musicales (6)



- Para solucionar el problema de los tonos en el siglo XVIII surge la **escala temperada**, con doce notas, y la separación entre las notas es ahora el **semitono**. (Se puede ver en el piano con la introducción de las teclas negras).
- La relación entre frecuencias en la escala temperada viene dada por expresión siguiente y se puede partir de cualquier nota o frecuencia para construirla.

$$f_n = f_1 \cdot 2^{n/12} = f_1 \cdot \left[\sqrt[12]{2^n} \right] \approx f_1 \cdot [1,06]^n$$

con : $n = 1, 2, 3, \dots$

Intensidad de una onda sonora

- La fuerza de las ondas sonoras (lo que entendemos como volumen del sonido) se mide a través de la **Intensidad de la onda (I)**, que es la potencia promedio (**Pot**) entre el área (**A**) que atraviesa el sonido.

$$\text{Intensidad} = I = \frac{\text{Potencia}}{\text{Area}}$$



Densidad de energía de una onda

- Se define como la **densidad de energía (e)** de la onda al cociente entre la Intensidad de la Onda (**I**) y la velocidad de la misma (**v**).
- La densidad de energía en las ondas mecánicas depende de la densidad del medio (ρ_{vol}) de propagación, la frecuencia angular de oscilación (ω) y la amplitud de las vibraciones (**Ao**)

$$\text{Densidad de energía} = e = \frac{I}{v} \Rightarrow I = e \cdot v$$

$$\text{donde: } e = \frac{1}{2} \cdot \rho_{vol} \cdot [\omega \cdot A_o]^2$$



Nivel de Intensidad del sonido (1)

- Al igual que con los tonos, la intensidad percibida por el ser humano es muy grande, por ello se trabaja con una escala logarítmica llamada: el **nivel de intensidad (β)**, este mide el sonido en **decibeles (dB)**, tomando como valor de inicio o cero la menor intensidad audible (I_0).

$$\beta = \left[10 \cdot \log \left[\frac{I}{I_0} \right] \right] \text{decibeles (dB)}$$

$$I_0 = 1 \cdot 10^{-12} \text{ Vatios/m}^2$$



Nivel de Intensidad del sonido (2)

- Pese a lo que se pudiera pensar, el hombre no escucha sonidos de baja y baja intensidad, o de alta frecuencia y baja intensidad, ello define al **umbral de la audición**, que varía con la persona y la edad.
- Sobre los 120 dβ entramos en el **umbral del dolor**, aunque ello también varía con cada persona, siendo el límite mayor 140 dβ, cuando se revientan los tímpanos.

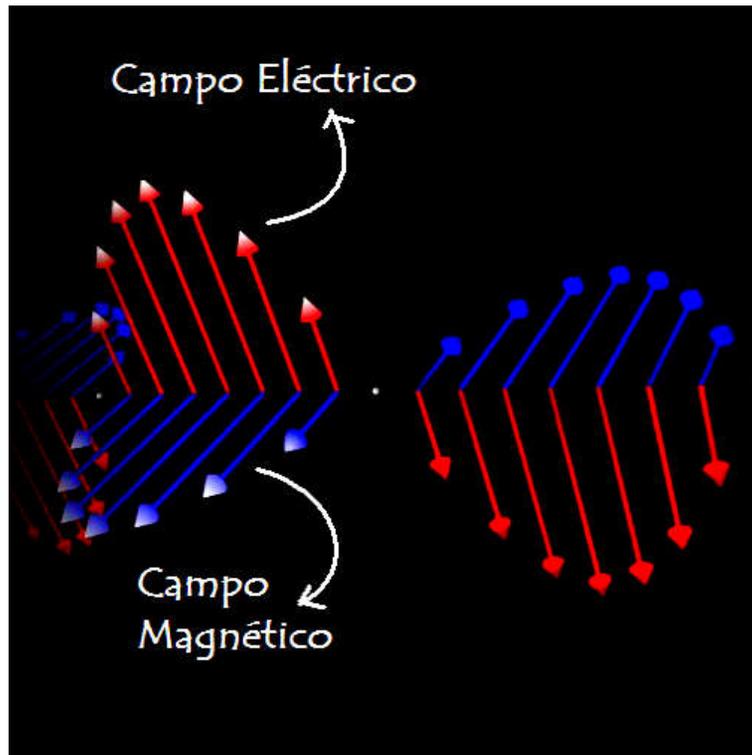
Valor (dβ)	Equivale
0	Umbral de la Audición
10	Pisar hojas secas
30	Susurro
40	Conversación normal
50	Aglomeración de gente
60	Conversación a gritos
70	Aspiradora
90	Trafico fuerte
110	Concierto de orquesta
130	Ruido en Estadio lleno en partido
140	Máximo del umbral del dolor
180	Explosión de un Volcán
200	Bomba Atómica

El Timbre de un sonido



- También llamado el '**color de la música**'; es la propiedad que nos permite diferenciar dos instrumentos aunque toquen el mismo tono a la misma intensidad.
- Ello ocurre porque todo instrumento no solo vibra en su modo fundamental (que marca la mayor frecuencia), sino también vibran sus modos armónicos. Para cada instrumento la amplitud de cada modo es distinta, por ello suena distinto cada instrumento, cada voz humana y cada sonido en particular.

Radiación Electromagnéticas



- La **radiación electromagnética** o **ondas electromagnéticas** se diferencian de las ondas mecánicas por su capacidad de desplazarse en el vacío. Siendo en este medio su velocidad de propagación la velocidad de la luz ($c = 300000 \text{ km/s}$).
- La radiación electromagnética es una combinación de campos eléctricos y magnéticos oscilantes, que se propagan a través del espacio transportando energía de un lugar a otro.

Espectro Electromagnético (1)



Tipo de Onda	Descripción
Ondas de radio	Permite las transmisiones de radio locales, televisión, radar y telefonía móvil. Usada también en la radioastronomía.
Micro Ondas	Al ser más energéticas permiten la radiodifusión a grandes distancias. Algunas de sus frecuencias hacen resonancia con las moléculas de agua, lo que permite calentar los alimentos.
Ondas infrarrojas	Es el calor que percibimos en la piel, por un tiempo se les llamo rayos calóricos .
Luz Visible	La que vemos por los ojos, permite detectar el movimiento y los colores.

Espectro Electromagnético (2)



Tipo de Onda	Descripción
Luz Ultra-violeta	Ondas con la capacidad de alterar la composición química de las sustancias, por ello se les llamo originalmente rayos químicos . Es la que provoca los bronceados. En ciertos compuestos con fosforo provoca fluorescencia , ello permite detectar saliva, semen, sangre y orina. Se le conoce también como la luz negra .
Rayos X	Con la energía para atravesar cuerpos opacos e imprimir placas fotográficas para ver el interior de los mismos.
Rayos Gamma	Producida por la actividad radiactiva dentro de los átomos. Es muy peligrosa para la vida. Es usada para esterilizar equipos médicos y en radioterapia.

Espectro Electromagnético (3)

Tipo	Longitud	Frecuencia	Energía
Ondas de Radio	Mayor de 1 metro	Menor de 300 MHz	Menor a 1,24 μeV
Micro Ondas	1 m a 1 mm	300 MHz a 300 GHz	1,24 μeV a 1,24 meV
Infrarrojo	1 mm a 750 nm	300 GHz a 400 THz	1,24 meV a 1,7 eV
Luz Visible	750 nm a 390 nm	400 THz a 770 THz	1,7 eV a 3,2 eV
Luz Ultravioleta	390 nm a 10 nm	770 THz a 30 PHz	3,2 eV a 124 eV
Rayos X	10 nm a 0,001 nm	30 PHz a 30 EHz	124 eV a 124000 eV
Rayos Gamma	Menor de 0,001 nm	Menor a 30 EHz	Mayor a 124000 eV

Notas:

$$1\text{eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

$$1 \text{ nm} = 1 \cdot 10^{-9} \text{ m}$$

$$1 \text{ THz} = 1 \cdot 10^{12} \text{ Hz}$$

$$1\text{meV} = 0,001 \text{ eV}$$

$$1 \text{ MHz} = 1 \cdot 10^6 \text{ Hz}$$

$$1 \text{ PHz} = 1 \cdot 10^{15} \text{ Hz}$$

$$1\mu\text{eV} = 0,000001 \text{ eV}$$

$$1 \text{ GHz} = 1 \cdot 10^9 \text{ Hz}$$

$$1 \text{ EHz} = 1 \cdot 10^{18} \text{ Hz}$$

Origen de las Ondas electromagnéticas

- El origen de la radiación electromagnética se encuentra en las cargas eléctricas aceleradas; principalmente en dipolos eléctricos sometidos a movimientos vibratorios, o en bobinas por las que circula corriente alterna. La potencia emitida por una carga acelerada obedece a la **Fórmula de Larmor**:

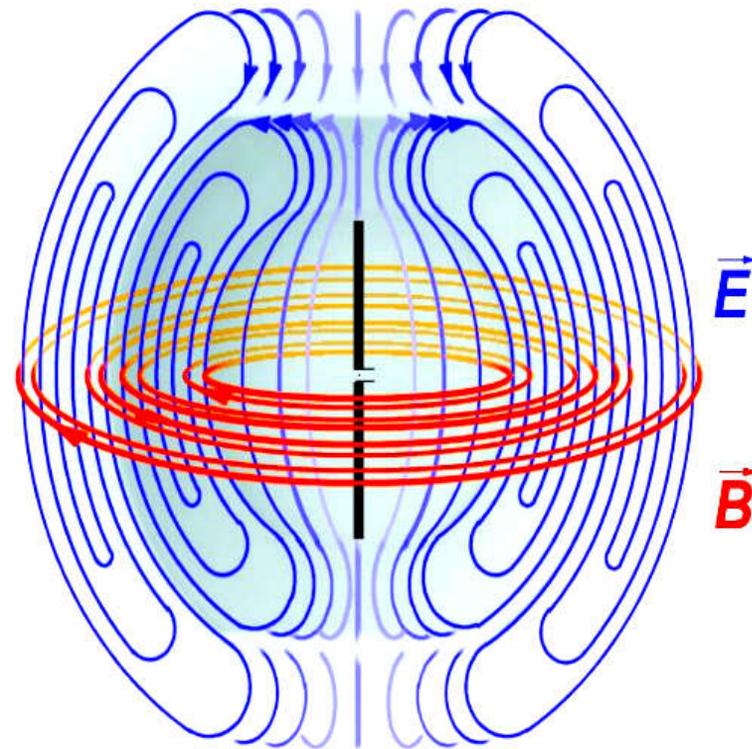
$$Pot = \frac{q^2 \cdot a^2}{6\pi \cdot \epsilon_0 \cdot c^3}$$

siendo : q = carga eléctrica

a = aceleración

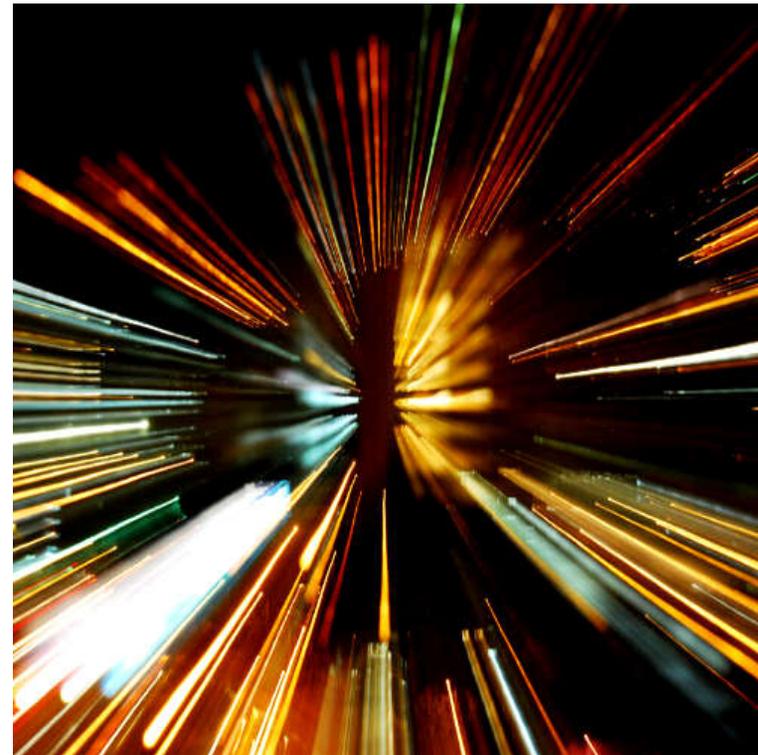
ϵ_0 = permitividad en el vacío

c = velocidad de la Luz



Naturaleza de las ondas electromagnéticas

- Durante mucho tiempo se discutió si la radiación electromagnética, era una onda o partícula. Hoy se acepta el comportamiento dual de la misma. En algunos casos (más macroscópicos) se comporta como onda, en otros (más a nivel atómico) se comporta como partícula.
- Las partículas que componen la luz se conocen como **fotones** o quantums de energía y su energía depende de la frecuencia de la onda.



$$Energía = h \cdot f \quad (\text{de un fotón})$$

$$\text{donde : } h = \text{const. de Planck} = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$$

La radiación y el calor

- Todo cuerpo al tener temperatura (se esta moviendo a nivel atómico) emite energía electromagnética.
- La longitud de onda más emitida en la radiación es inversa a la temperatura del cuerpo; y la potencia emitida por un cuerpo obedece a la cuarta potencia de la temperatura. El cuerpo humano a 37°C emite luz infrarroja; la corona del Sol con 6000 K da una luz en el rango del amarillo (por eso el color del sol).



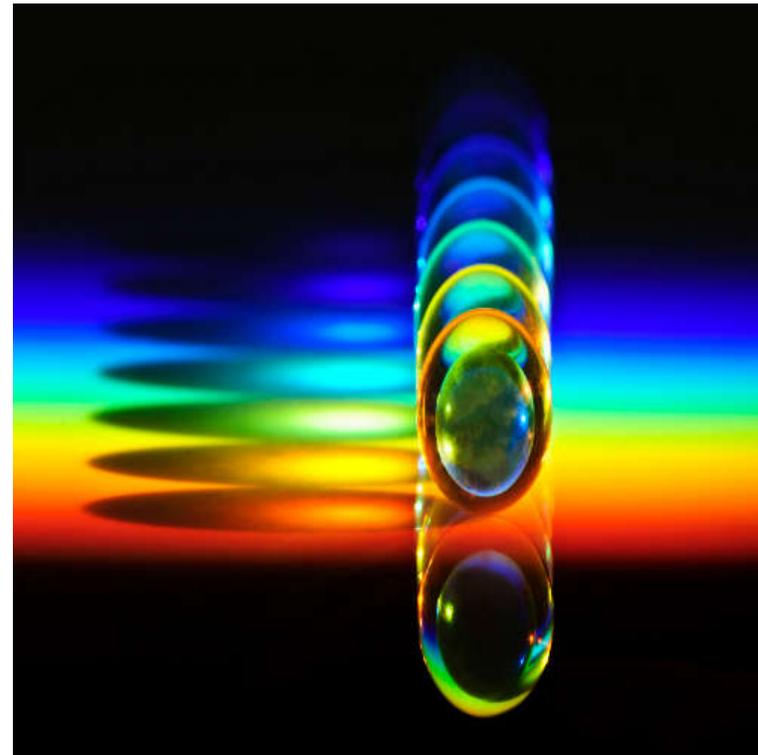
$$\lambda_{\max} \approx \left[\frac{0,003}{T} \right] m$$

$$Pot_{disipada} = [5,67 \cdot 10^{-8} \cdot T^4] \text{ vatios}$$

donde : T = temperatura en kelvin

La luz visible

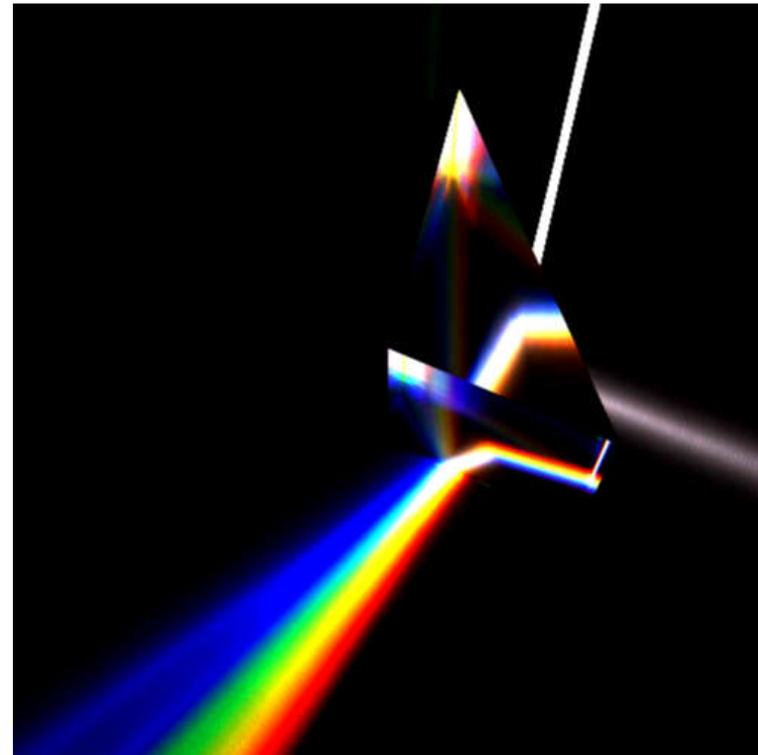
- Cuando un átomo por diversos motivos recibe energía, algunos de sus electrones pasan a capas electrónicas de mayor energía; los electrones son inestables en estas capas, por lo que tienden a decaer hacia niveles inferiores, soltando la energía (emisión de fotones), eso da la emisión primaria de luz.
- La luz procedente de la emisión primaria puede ser reflejada, refractada, o absorbida parcialmente y esa es la razón por la cual objetos que no son fuentes de emisión primaria son visibles, es la emisión secundaria.



Teorías del Color (1)

Newton y la luz blanca

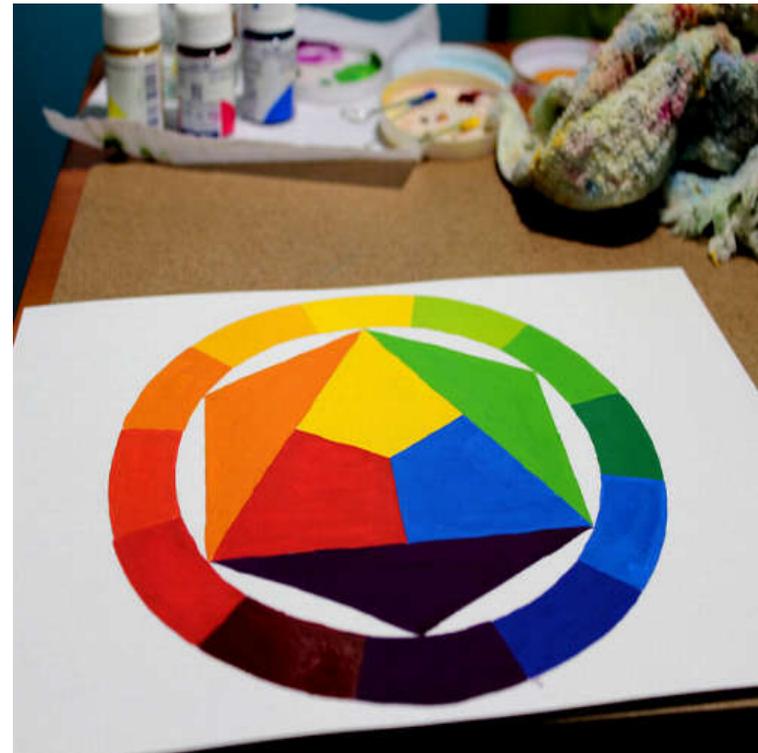
- *Isaac Newton* (siglo XVII a XVIII) fue el primero en estudiar la luz visible y el color. Usando un prisma pudo descomponer la luz blanca en el espectro de siete colores que observamos en el arcoíris (rojo, anaranjado, amarillo, verde, azul-cian, azul-índigo o añil y violeta).
- Así la luz blanca es la suma de todos los colores; y el negro la ausencia de todo color.



Teorías del Color (2)

Goethe y el círculo cromático

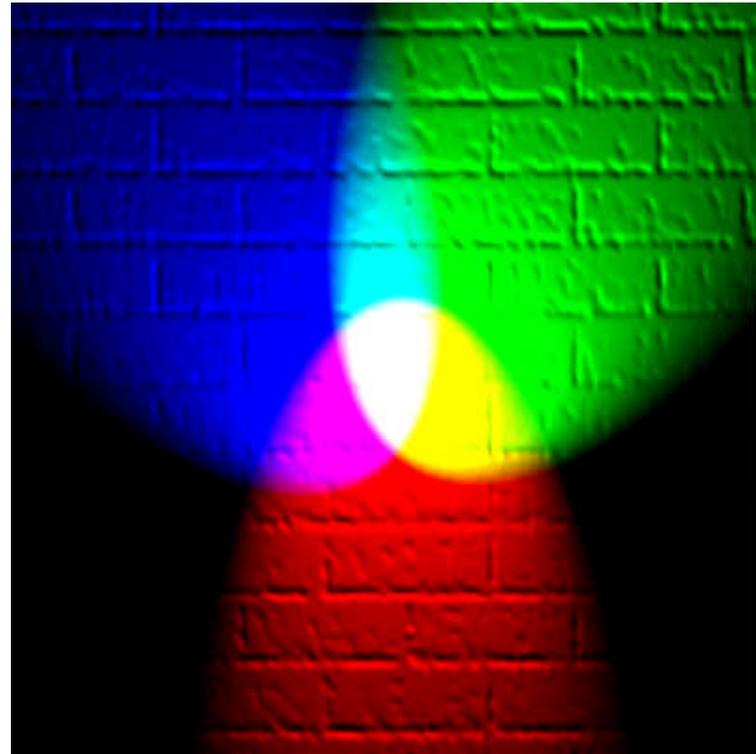
- A inicios del siglo XIX *Johann Wolfgang von Goethe* propone el círculo cromático, en vez de los siete colores de *Newton*, de anchos variables trabaja con tres primarios (amarillo, azul y rojo), de sus combinaciones nacen los tres secundarios (verde, anaranjado y morado), y de los secundarios y primarios tenemos los tonos terciarios.
- Esta teoría se sigue empleando en las bellas artes (en la pintura).



Teorías del Color (2)

El sistema RGB (Rojo-Verde-Azul)

- A finales del siglo XVIII e inicios del siglo XIX *Tomas Young* partió de la idea de *Newton*, pero a la inversa, usando luces de colores y juntándolas para ver el resultado, descubrió que sólo se requieren tres colores en la luz para producir el blanco, estos son el azul, el verde y el rojo. Las combinaciones de estas tres luces en distinta intensidad da todo el espectro de colores que percibe el ojo humano. Este sistema se conoce como síntesis aditiva del color.



Teorías del Color (2)

El sistema YCMB (Amarillo-Cian-Magenta-Negro)

- Con el invento de las impresoras a color fue necesario corregir la síntesis sustractiva usada en la pintura; realmente los colores de los pigmentos para producir todo el espectro de colores son: amarillo, magenta y cian.
- Juntos los tres en igual proporción, en teoría, se obtiene el negro; pero este se complementa con la tinta negra, para ahorrar color por un lado y porque en realidad las tintas de color mezcladas dan un gris oscuro.

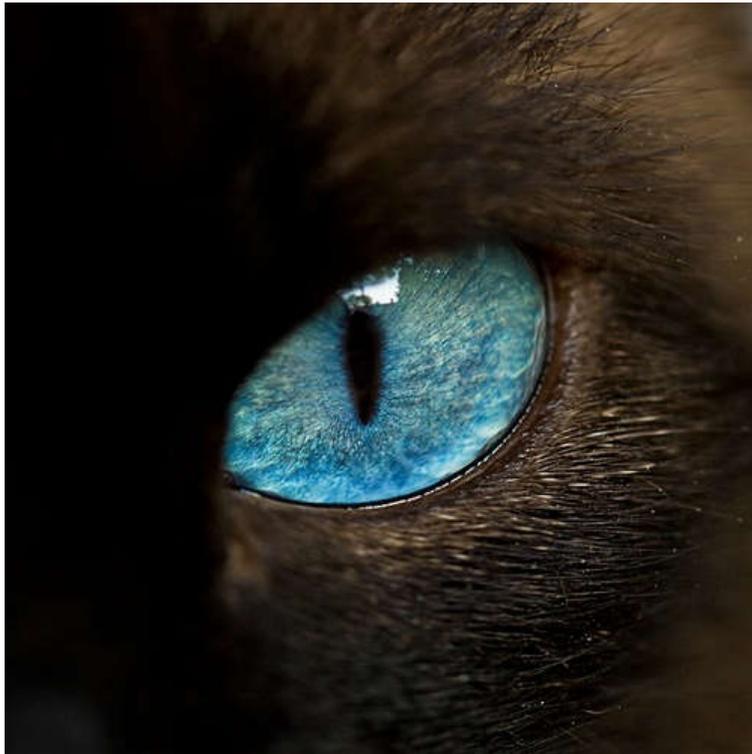


La visión y el color (1)



- La retina del ojo humano posee dos tipos de células nerviosas especializadas, los bastones que se especializan en el detectar el movimiento (ven en blanco y negro); y los conos, que requieren de la luz diurna (blanca) para detectar los colores.
- Existen tres tipos de conos, cada uno detecta tres longitudes de onda principalmente, las del azul, el verde y el rojo, es por ello que vemos luz blanca cuando están presentes estas tres luces.

La visión y el color (2)



- Sólo los primates y marsupiales tiene entre los mamíferos tres conos, **tricrómaticos**; así como algunas aves. La evolución lo desarrolló para poder diferenciar la fruta verde de la madura.
- La mayoría de los mamíferos son **bicrómicos**, solo perciben dos colores (azul y verde), ya que muchos viven de noche donde importa más el movimiento que el color, la evolución redujo su capacidad de distinguir colores.

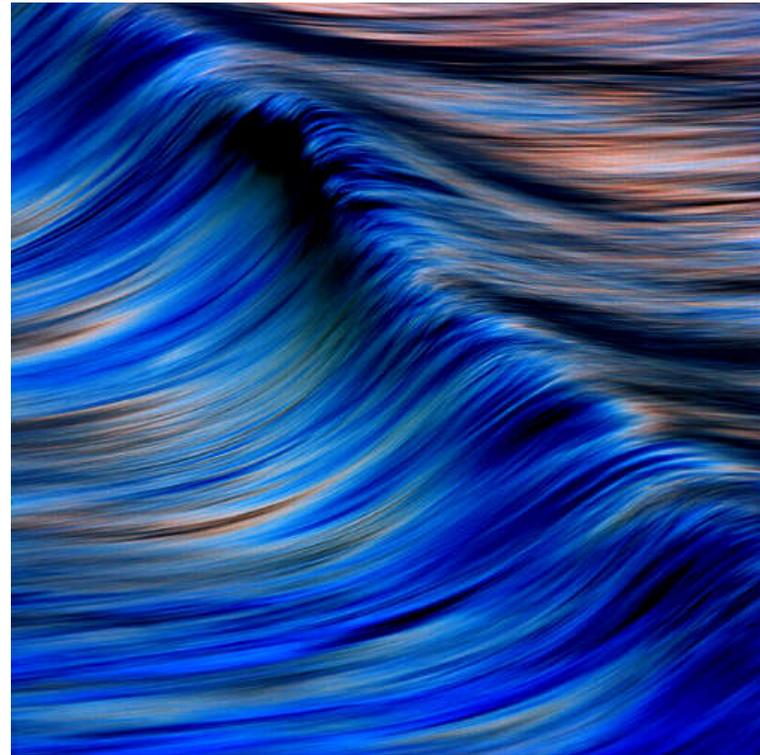
La visión y el color (3)



- Los delfines y otros mamíferos marinos son **monocrómicos** (ven en blanco y negro nada más), no hay mucho color diferenciable bajo las aguas marinas para pedir más.
- Los insectos, arañas, reptiles, anfibios, varios peces y muchas aves son en su mayoría **tetra-crómicos**, siendo capaces de ver cuatro colores de forma independiente, este último generalmente en el rango del ultravioleta.

Propiedades de las Ondas (1)

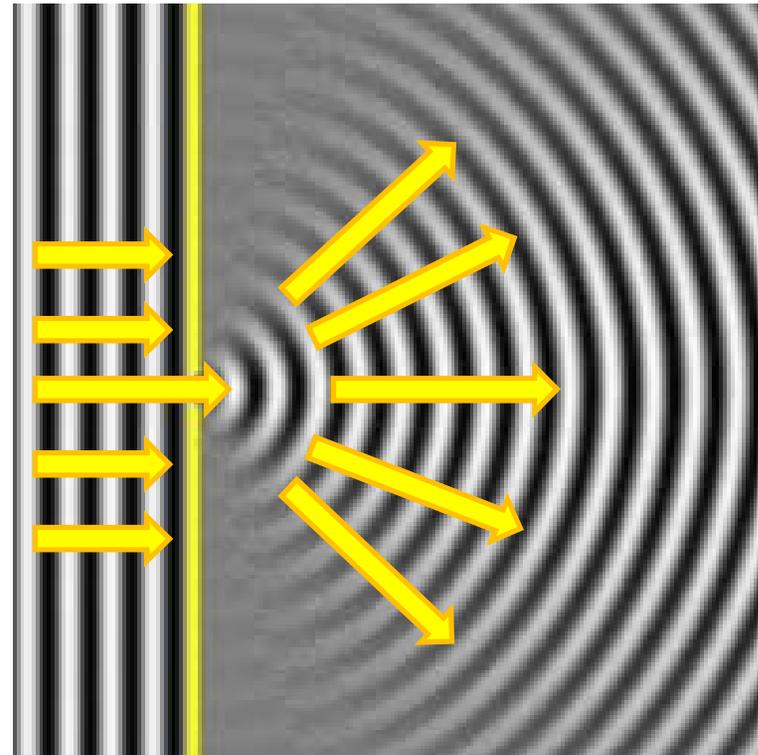
Ondas esféricas y ondas planas



Propiedades de las Ondas (2)

Principio de Huygens – Fresnel y Principio de Malus

- Todo punto de un frente de onda inicial puede considerarse como una fuente de **ondas esféricas** secundarias que se extienden en todas las direcciones con la misma velocidad, frecuencia y longitud de onda que el frente de onda del que proceden.
- La distancia más corta entre dos puntos de frentes de ondas consecutivos define el rayo de la onda.
- Las ondas planas tienen rayos paralelos, las ondas circulares son concéntricas a un punto.



Propiedades de las Ondas (3)

Reflexión de una onda

- La **reflexión** es el cambio de dirección de una onda, que al ponerse en contacto con la superficie de separación entre dos medios regresa al medio inicial.
- Ejemplos comunes son la reflexión de la luz, el sonido y las ondas en el agua.
- En la reflexión el rayo incidente, el rayo reflejado y la normal, se encuentran en un mismo plano; donde el ángulo de incidencia (θ_i) es igual al ángulo de reflexión (θ_r').



Propiedades de las Ondas (4)

Reflexión difusa y reflexión especular

- Según sea la superficie de los objetos la reflexión puede ser una **reflexión difusa** (cuando la luz incide en una superficie no pulida) o una **reflexión especular** (la que ocurre en superficies pulidas como en los espejos).
- Los espejos más comunes son los **espejos planos**, pero existen espejos curvos, esféricos cóncavos o convexos, parabólicos cóncavos (como los de ciertas lámparas), etc.



Propiedades de las Ondas (5)

Espejos esféricos

- Los **espejos esféricos** tienen la forma de la superficie que resulta cuando una esfera es cortada por un plano.
- Si la superficie reflectora está situada en la cara interior de la esfera se dice que el espejo es **cóncavo**, propio del que usan las mujeres para el maquillaje ya que amplían la imagen observada. Si está situada en la cara exterior se denomina **convexo**, suelen ser usados en tiendas y la imagen reflejada es más pequeña que el objeto.



Propiedades de las Ondas (5)

Los espejos y las creencias

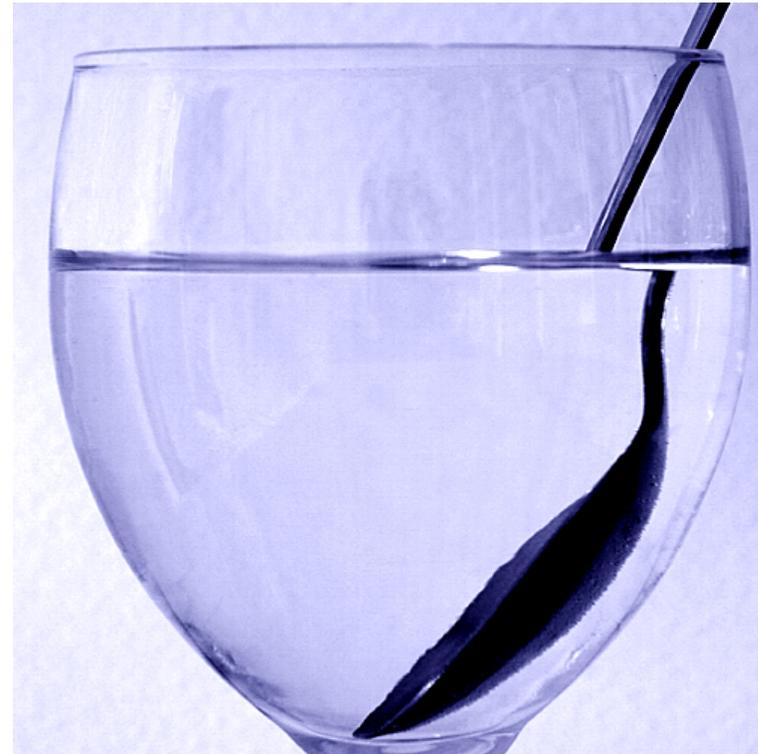
- Desde que el hombre pudo contemplarse en las aguas tranquilas, la imaginación humana le dio connotaciones mágicas a la imagen reflejada, así a los espejos se le atribuye que se puede ver en ellos nuestra alma (los vampiros no se reflejan por no tener alma), y a ser portales a otros mundos, en especial la dimensión de los fantasmas y los muertos, y es por ello se cubren cuando alguien muere.



Propiedades de las Ondas (6)

Refracción de una onda

- La **refracción** es el cambio de dirección que experimenta una onda al pasar de un medio material a otro.
- En la luz solo se produce si la onda incide oblicuamente sobre la superficie de separación de los dos medios y si estos tienen índices de refracción distintos.
- La refracción se origina en el cambio de velocidad de propagación de la onda señalada.



Propiedades de las Ondas (7)

Ley de Snell

- La relación entre el seno del ángulo de incidencia (θ_i) y el seno del ángulo de refracción (θ_r) es igual a la razón entre la velocidad de la onda en el primer medio y la velocidad de la onda en el segundo medio.
- En el caso de la Luz se reemplaza la velocidad por el índice de refracción (n) del material respectivo.

Material	Índice de refracción (n)
Aire	≈ 1
Agua	$1,33 \approx 4/3$
Hielo	1,31
Etanol	1,36
Cuarzo	1,54
Vidrios	1,52 a 1,62
Cristal de Sal	1,54
Diamante	2,42

$$\frac{\sin(\theta_i)}{v_1} = \frac{\sin(\theta_r)}{v_2} \Leftrightarrow n_1 \cdot \sin(\theta_i) = n_2 \cdot \sin(\theta_r)$$

$$\text{donde : } n = \frac{c}{v} = \frac{\text{velocidad de la luz en el vacío}}{\text{velocidad de la luz en el medio}}$$

Propiedades de las Ondas (8)

Lentes

- Las **lentes** son objetos transparentes (normalmente de vidrio), limitados por dos superficies, de las que al menos una es curva.
- Las lentes más comunes están basadas en el distinto grado de refracción que experimentan los rayos al incidir en puntos diferentes del lente.
- Son utilizados para corregir los problemas de visión; en gafas, anteojos o lentillas. También se usan lentes, o combinaciones de lentes y espejos, en telescopios y microscopios.



Propiedades de las Ondas (9)

Tipos de Lentes

- Las **lentes** se clasifican en dos grandes grupos, aquellas cuyo centro es más grueso son llamadas **lentes convergentes**, como las lupas, ya que permiten concentrar la luz en un punto, y se usan para aumentar la imagen observada.
- Las **lentes divergentes** suelen ser más gruesas en los bordes que en centro, los rayos de luz al pasar por las mismas se separan (divergen); suelen mostrar imágenes más pequeñas.



Propiedades de las Ondas (10)

Difracción de una onda

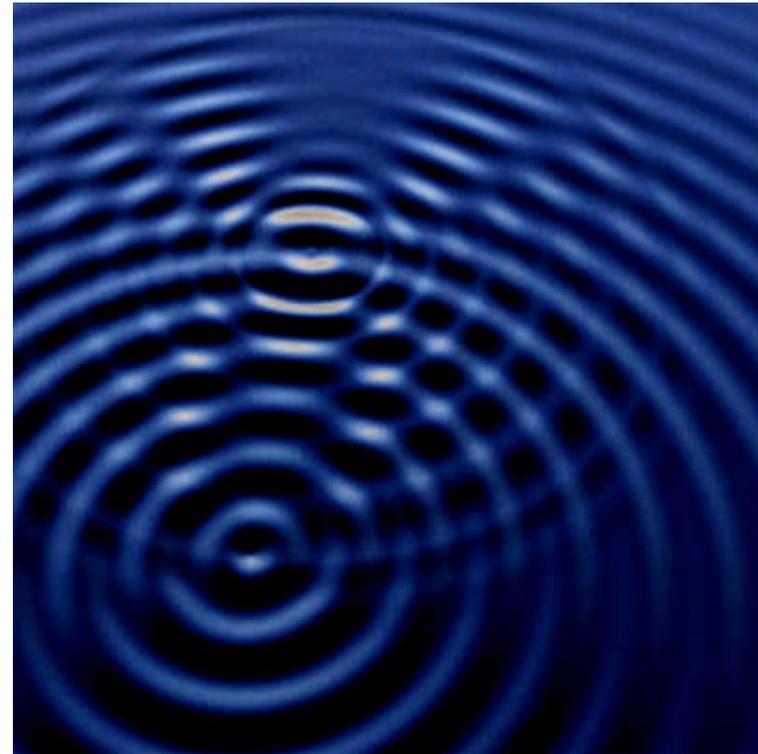
- La **difracción** es un fenómeno característico de las ondas que se basa en la desviación de estas al encontrar un obstáculo o al atravesar una rendija.
- La difracción ocurre en todo tipo de ondas, desde ondas sonoras, ondas en la superficie de un fluido y ondas electromagnéticas como la luz visible y las ondas de radio.



Propiedades de las Ondas (11)

Interferencia de ondas

- La **interferencia** es un fenómeno en el que dos o más ondas se superponen para formar una onda resultante de mayor o menor amplitud.
- El efecto de interferencia puede ser observado en cualquier tipo de ondas, como luz, radio, sonido, ondas en la superficie del agua, etc.
- Puede producir aleatoriamente aumento, disminución o neutralización del movimiento .



Propiedades de las Ondas (12)

Polarización de las ondas luminosas

- En una onda electromagnética el campo eléctrico oscila en todas las direcciones normales a la dirección de propagación de la onda.
- La **polarización** ocurre al pasar la luz ante ciertos materiales (como los polaroides) que por su estructura atómica interna absorben determinadas direcciones de vibración de la onda.
- Se usa principalmente para reducir la cantidad de brillo de la luz en lentes oscuras y en filtros para las cámaras fotográficas.

