Pepe Ródenas Borja

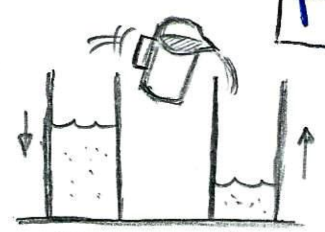
julio 2015

(resumen)

FÍSICA (2º BACH.)

TEMA 1: "Movimiento Armónico Simple"

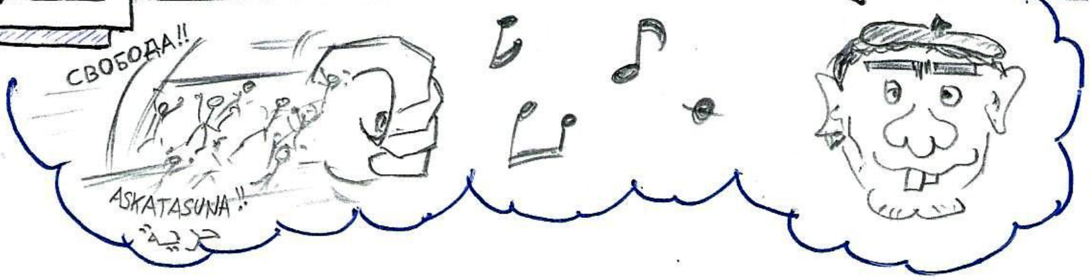
TEMA 2: "Ondas"

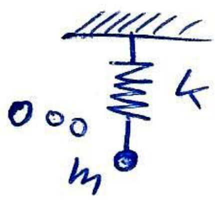


$$E = E_p + E_c = \text{const.}$$

1 Movimiento Armónico Simple

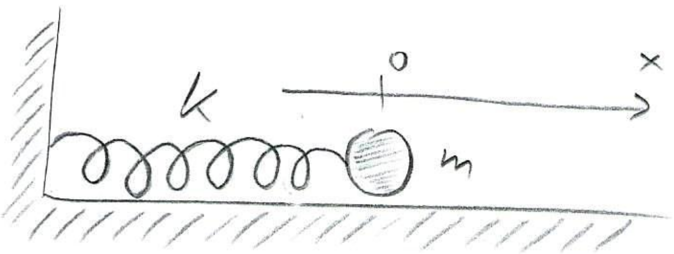
(M.A.S.)



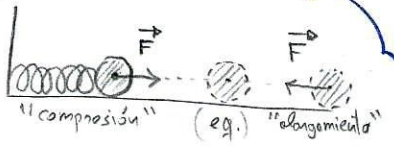


1.1 Muelles y Ley de Hooke

Cuerpo de masa m (kg) unido a un muelle de constante k (N/kg):



x: "elongación" (m) → posición respecto del punto de equilibrio.



... si separamos m del punto x=0 de equilibrio, aparece una fuerza elástica (o "recuperadora"):

$$\boxed{F = -kx} \quad (1)$$

«Ley de Hooke»

▶ **Nota** sobre signos & vectores en 1D: en general, fuerzas, velocidades y aceleraciones son vectores: $\vec{F}, \vec{v}, \vec{a}$. En 1D también, pero sólo tienen una componente, F_x, que llamaremos sencillamente F, y su signo nos dirá si el vector mira a la derecha o la izquierda. Su módulo será el valor absoluto de la componente: $|\vec{F}| = |F|$. (Ídem para $\vec{v}, \vec{a}$).

(también: "MOVIMIENTO VIBRATORIO ARMÓNICO SIMPLE" u "OSCILATORIO")

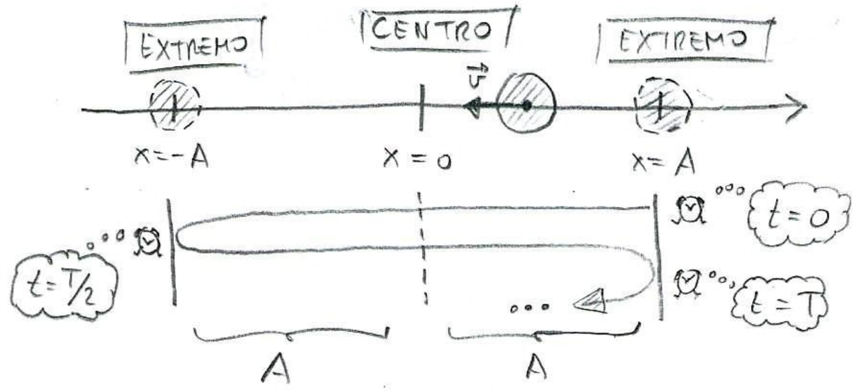
1.2 MOVIMIENTO ARMÓNICO SIMPLE

: es el nombre que recibe el tipo de movimiento "de vaivén" que describe la masa unida al muelle cuando se separa del equilibrio $x=0$ y se la deja oscilar libremente (no consideramos rozamiento).

CASO MÁS SENCILLO: "$\boxed{t=0}$ en extremo derecho":

$$(2) \quad \boxed{x(t) = A\cos(\omega t)}$$

«ECUACIÓN DE MOVIMIENTO DE UN M.A.S.»



... parámetros y unidades S.I.:

A: amplitud (m) → distancia de los extremos al centro

T: periodo (s) → duración de una oscilación completa (de extremo a extremo y volver).

f: frecuencia (Hz) → nº de oscilaciones completas por segundo

$$\Longrightarrow \boxed{f = \frac{1}{T}} \quad (3)$$

[a veces, se usa "ν" (nu)].

ω: frecuencia angular o "pulsación" (rad/s) → como la f si una oscilación equivale a 2π rad

$$\Longrightarrow \boxed{\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T}} \quad (4)$$

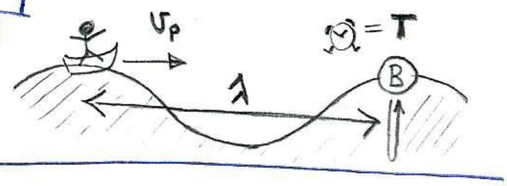
CASO GENERAL: "la constante de fase o "fase inicial" φ_0":

La ecuación [2] sólo sirve si hemos puesto el cronómetro en marcha ($t=0$) cuando m está en el extremo izquierdo ($x=A$). Si ponemos el crono en marcha en cualquier otro momento, entonces necesitamos saber las "condiciones iniciales":

$$(5) \quad \boxed{\begin{cases} x_0 = x(t=0) \\ \text{signo de la velocidad en } t=0: \begin{cases} v_0 > 0 : \text{hacia derecha } \boxed{\rightarrow} \\ v_0 < 0 : \text{hacia izquierda } \boxed{\leftarrow} \end{cases} \end{cases}}$$

PEPE RÓDENAS BORJA
julio 2015
(resumen)

FÍSICA (2º BACH.)



- T.1 : "M.A.S."
- T.2 : "ONDAS"

... con las CONDS. INICS. [5] encontramos el valor de la "fase inicial" φ_0 y escribimos la ecuación general del MAS:

$$\boxed{x(t) = A\cos(\omega t + \varphi_0)} \quad (6)$$

«ECUACIÓN GENERAL del M.A.S.»

$$\Rightarrow \begin{cases} v(t) = -\omega A \,\text{sen}(\omega t + \varphi_0) & (7) \\ a(t) = -\omega^2 A \cos(\omega t + \varphi_0) & (8) \end{cases}$$

(derivando)

DESCRIPCIÓN "SENO", también válida:

$$\boxed{x(t) = A\,\text{sen}(\omega t + \Phi_0)} \quad (9)$$

$$v(t) = \omega A \cos(\omega t + \Phi_0) \quad (10)$$

$$a(t) = -\omega^2 A\,\text{sen}(\omega t + \Phi_0) \quad (11)$$

NOTAS:

i) La ec. [6] es la "descripción coseno". También es posible usar la "descripción seno", sólo que la fase inicial tomará otro valor $\Phi_0 \neq \varphi_0$.

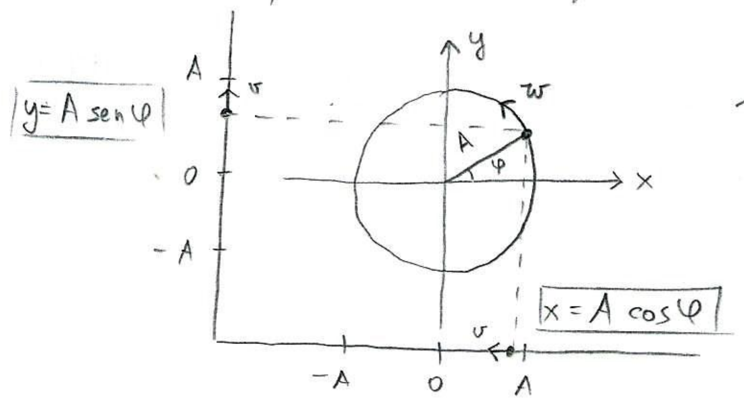
ii) Observando [8] (y [11]) vemos que:

$$\boxed{a = -\omega^2 x} \quad (12)$$

$$\Rightarrow \boxed{k = m\omega^2} \quad (13)$$

(2ª ley NEWTON $\vec{F} = m\vec{a}$ y ley Hooke [1]).

iii) INTERPRETACIÓN de φ_0: podemos relacionar un M.A.S. de «amplitud: A, frecuencia angular: ω y fase inicial: φ_0» con un MCU de «radio: A, velocidad angular: ω y ángulo inicial: φ_0»



la "sombra en el suelo" del MCU (su coordenada x) es un MAS en descripción coseno; la "sombra en la pared" (coord. y) es otro MAS, en descrip. seno.

[NOTA: recordemos el MCU $\rightarrow \varphi = \varphi_0 + \omega t$].

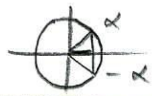
▶ UN MÉTODO para DEDUCIR φ_0: (RECORDATORIO de TRIGONOMETRÍA)

↳ supondremos que conocemos CONDS. INIC. [5], por ejemplo: $(x_0, \rightarrow)$; y que vamos a usar "descripción coseno" ([6] y [7]).

1º hacemos $x(t=0) = x_0$ en [6]: $\quad x_0 = A \cos \varphi_0$

2º despejamos φ_0 y la calculadora nos da un posible valor.

$$\varphi_0 = \arccos\left(\frac{x_0}{A}\right) \longrightarrow \boxed{\varphi_0^{(1)}}$$



3º encontramos otro valor recordando que $\boxed{\cos(-\alpha) = \cos(\alpha)}$ (14)

$$\Rightarrow \boxed{\varphi_0^{(2)} = -\varphi_0^{(1)}}$$

«ÁNGULOS OPUESTOS TIENEN el MISMO COSENO»

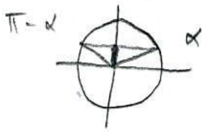
4º elegimos entre $\varphi_0^{(1)}$ y $\varphi_0^{(2)}$ substituyendo en [7] y viendo cuál le da a $v(t=0)$ el signo necesario

(en el ejemplo CONDS. INIC. $(x_0, \rightarrow)$, $v_0 > 0$):

$$v_0 = -\omega A \operatorname{sen} \varphi_0 \quad \begin{cases} \varphi_0 = \varphi_0^{(1)} \rightarrow \text{signo?} \\ \varphi_0 = \varphi_0^{(2)} \rightarrow \text{signo?} \end{cases} \rightarrow \text{elección.}$$

NOTA: en "descripción seno" (→ [9], [10]), en vez de [14] hay que usar

que: (15) $\boxed{\operatorname{sen} \alpha = \operatorname{sen}(\pi - \alpha)}$ ← [en radianes; en grados sería: $\operatorname{sen} \alpha = \operatorname{sen}(180^\circ - \alpha)$]



«ÁNGULOS SUPLEMENTARIOS TIENEN el MISMO SENO»

↳ por tanto el procedimiento quedaría:

1º: $x_0 = A \operatorname{sen} \Phi_0$; **2º**: $\Phi_0^{(1)} = \operatorname{arcsen}\left(\frac{x_0}{A}\right)$ CON CALCULADORA;

3º: $\Phi_0^{(2)} = \pi - \Phi_0^{(1)}$ **4º**: $v_0 = \omega A \cos \Phi_0 \longrightarrow$ ELEGIMOS MIRANDO EL SIGNO. ■

PEPE RÓDENAS BORSA
julio 2015
(resumen)

FÍSICA (2º BACH.)

- T.1 : "M.A.S."
- T.2 : "ONDAS"

$\cos\alpha = \cos(-\alpha)$

$\sin(\pi-\alpha) = \sin\alpha$

1.3 LEY de HOOKE y ENERGÍA

→ unidades S.I. de la energía: J ("julio")

(16) $\boxed{E_c = \frac{1}{2} m v^2}$ ENERGÍA CINÉTICA

(17) $\boxed{E_p = \frac{1}{2} k x^2}$ ENERGÍA POTENCIAL ELÁSTICA

(18) $\boxed{E = E_c + E_p}$ ENERGÍA MECÁNICA TOTAL ⇒

«CONSERVACIÓN E» (teorema)

(19) Si sólo actúa $\vec{F}$ elástica ⇒ $E = \text{constante}$

▶ PUNTOS CENTRAL y EXTREMOS de la OSCILACIÓN: ENERGÍA y CONSERV.:

Con ecs. [1], [6], [7] y [8] (y: [9], [10] y [11] también) vemos que los valores máximos y mínimos de $|F|$, $|x|$, $|v|$ y $|a|$ se dan en centro y extremos:

(20)

CENTRO :	$F_{min} = 0$	$x_m = 0$	$v_M = \omega A$	$a_m = 0$
EXTREMOS :	$F_{MAX} = kA$	$x_M = A$	$v_m = 0$	$a_M = \omega^2 A$

(NOTA: recordemos que sen x, cos x toman valores entre −1 y 1).

También E_c y E_p son máximos / mínimos en estas posiciones:

(21)

	EXTREMO $\lvert x\rvert = A$	CENTRO $x = 0$
E_c :	cero [mín.]	$\frac{1}{2} m v_M^2$ [MÁX]
E_p :	$\frac{1}{2} k A^2$ [MÁX]	cero [mín.]
E :	$E_p^{MÁX}$ =	$E_c^{MÁX}$

conservación

⇒ toda la E_p del extremo se transforma en la E_c del centro, y luego otra vez en E_p en el otro extremo, etc.

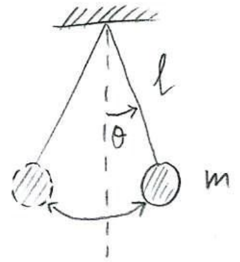
⇒

$$\boxed{v_M = \sqrt{\frac{k}{m}} \cdot A} \quad (22)$$

$$\boxed{E = \frac{1}{2} k A^2} \quad (23)$$

1.4 M.A.S. en OTROS CONTEXTOS:

▶ PÉNDULO SIMPLE (para OSCILACIONES PEQUEÑAS):



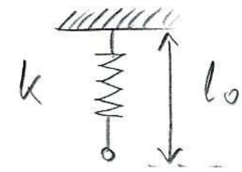
$g = 9{,}8 \ m/s^2$

(también llamado péndulo matemático o ideal): el hilo es inextensible y sin peso. ⇨ Para oscilaciones de pequeña amplitud, el movimiento es aproximadamente de tipo M.A.S.:

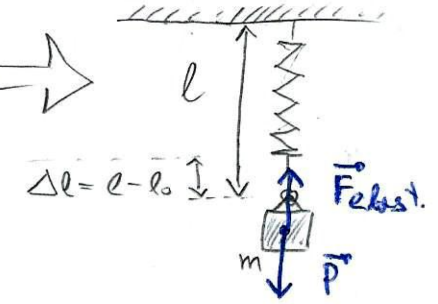
(24) $\boxed{\theta(t) = \theta_0 \cos(\omega t + \varphi_0)}$

... donde: (25) $\boxed{\omega = \sqrt{g/l}}$ ⟹ $\boxed{T = 2\pi\sqrt{l/g}}$ (26)

▶ MUELLE ~~PÉNDULO~~ VERTICAL (o "GRAVITATORIO"):



⇨



⇨ REPOSO ⟹ equilibrio entre fuerzas ⟹

$|\vec{F}_{elast}| = |\vec{P}| = mg$

⇩ ⟵ Δl es la elongación en [1]

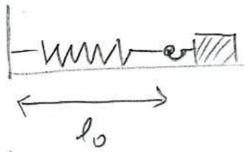
$k\,\Delta l = mg$

⇩

CÁLCULO de k A PARTIR del ALARGAMIENTO Δl para una masa m ⟶ $\boxed{k = \dfrac{mg}{\Delta l}}$ (27)

Sin cuerpo enganchado, tiene una longitud (en reposo) l_0

l_0 sería la distancia a la pared en equilibrio en posición horizontal aunque tuviera enganchado una masa:



al engancharle una masa m, tiene una longitud (en reposo) mayor, l.

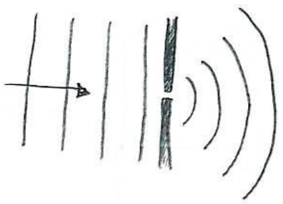
(28) **TEOREMA:** Se puede demostrar que «si separamos la masa m una distancia A de su nueva posición de equilibrio a distancia l del techo, empieza un M.A.S. de: $\boxed{\omega = \sqrt{k/m}}$ y amplitud A»

[es decir, la misma que en posición horizontal].

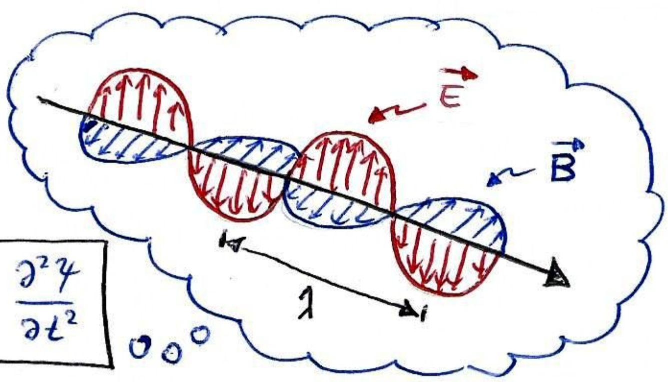
PEPE RÓDENAS BORJA
agosto 2015
(resumen)

FÍSICA (2º BACH.)

T.1 : "M.A.S."
T.2 : "ONDAS"



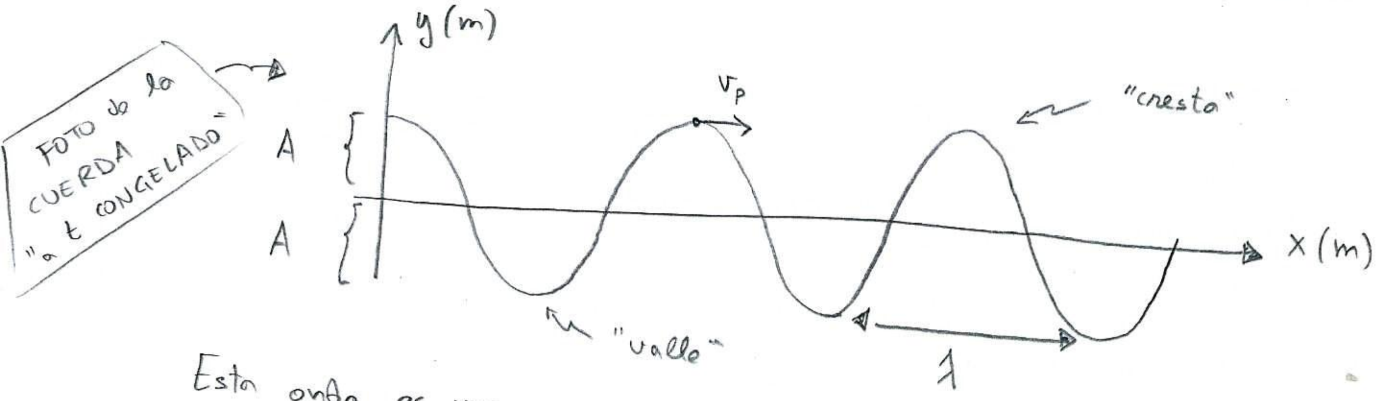
2 ONDAS



$$\boxed{\frac{\partial^2 \Psi}{\partial x^2} = \frac{1}{c^2}\frac{\partial^2 \Psi}{\partial t^2}}$$

2.1 LA CUERDA VIBRANTE

Imaginemos que dos niñas sujetan una cuerda y la de la izquierda comienza a agitar su mano describiendo un M.A.S. Esto generará una onda que se propagará por la cuerda hasta la niña de la derecha :



Esta onda es una composición de movimientos de tipo M.A.S.: cada punto de la cuerda se mueve describiendo un M.A.S. vertical de amplitud A y frecuencia angular ω (iguales para toda la cuerda), pero el efecto global es de movimiento: las crestas de la onda viajan hacia la derecha a una velocidad v_p

▷ MAGNITUDES asociadas a la ONDA:

y: elongación (m) ⇝ es la posición vertical de cada punto x de la cuerda en un instante t.

A : amplitud (m)

f : frecuencia (Hz) del M.A.S. que describe cada punto de la cuerda.

(29) $\boxed{T = \frac{1}{f}}$: periodo (t)

(30) $\boxed{\omega = 2\pi f}$: frecuencia angular o pulsación (rad/s).

Nota: hasta aquí, las magnitudes son similares a las del M.A.S., y de hecho las ecs. [29] y [30] son [3] y [4]. Ahora introduciremos magnitudes propiamente ondulatorias, que se relacionan con la propagación:

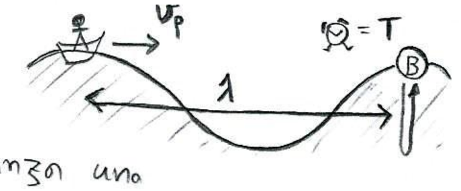
λ : longitud de onda (m) ⇝ distancia entre dos crestas (o valles) consecutivos.

v_p : velocidad de propagación de la onda (m/s) ⇝ espacio que una cresta recorre por unidad de tiempo.

(31) $\boxed{k = \frac{2\pi}{\lambda}}$: número de onda (rad/m) ⇝ su interpretación es difícil, pero entra en la ecuación de la onda.

⇨ recordemos que las magnitudes (x, t) nos sirven para identificar qué punto de la cuerda estudiamos (x, unidad S.I.: m), y en qué instante de tiempo "hacemos la foto" (t, unidad S.I.: s).

La relación de v_p con T y λ la entendemos bien con el ejemplo del surfista y la boya en la ola del mar (una onda en la superficie del agua):



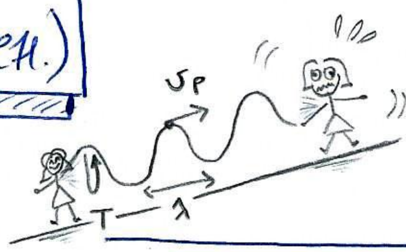
surfista ⇝ se mueve con la cresta
boya ⇝ fija en un punto

Mientras el surfista avanza una distancia λ, la boya ha completado una oscilación, por tanto ha pasado un tiempo T ⇨

(32) $\boxed{v_p = \frac{\lambda}{T} = \lambda f}$

« las crestas recorren una distancia λ en un tiempo T »

PEPE RÓDENAS BORJA
agosto 2015
(resumen)



▷ ECUACIÓN de la ONDA:

(33) $$\boxed{y(x,t) = A \operatorname{sen}(\omega t \mp kx + \varphi_0)}$$

COMENTARIOS: i) el signo: { ⊖ "ONDA hacia la derecha" → ; ⊕ "ONDA hacia la izquierda" ← }

ii) esta ecuación nos dice en qué posición vertical y (o "elongación") se encuentra la partícula cuya distancia horizontal al origen es x en el instante t.

iii) si fijamos x y dejamos que varíe t, tenemos un M.A.S. Este M.A.S. tiene la misma A y T para todas las partículas de la cuerda, pero la fase inicial diferente. El valor φ_0 que aparece en la ecuación [33] se corresponde con la fase inicial del M.A.S. descrito por la partícula $x=0$ (la que está en el origen).

pág 9.6

2.2 ONDAS ARMÓNICAS 1-D

Vamos a dar unas ecuaciones más generales que la [33] para las ondas de tipo "cuerda vibrante": por un lado, puede usarse un coseno, en lugar del seno, y la ecuación quedaría así:

$$\boxed{y(x,t) = A \cos(\omega t \mp kx + \Phi_0)} \quad (34)$$

signo: { ⊖ ⇝ ONDA a DCHA. → ; ⊕ ⇝ ONDA a IZQDA. ← }

...la única diferencia, como en las ecs. del M.A.S., es que tendríamos que usar otra fase inicial, $\Phi_0 \neq \varphi_0$.

Además, también existen otras posibilidades válidas de signos: podemos añadir un signo (+ ó −) delante de ω, de modo que el criterio general para saber cómo se propaga la onda será el siguiente:

$$\boxed{\begin{array}{lll} \longrightarrow \text{"ONDA a DCHA":} & \text{signo distinto} & \begin{cases} \omega t - kx \\ -\omega t + kx \end{cases} \\ \longleftarrow \text{"ONDA a IZQDA":} & \text{mismo signo} & \begin{cases} \omega t + kx \\ -\omega t - kx \end{cases} \end{array}} \quad (35)$$

CRITERIO GENERAL de SIGNOS y DIRECCIÓN de PROPAGACIÓN

válido para las dos descripciones, sen y cos.

Así, teniendo en cuenta [33], [34] y [35], podremos eventualmente encontrarnos con 8 ecuaciones de onda distintas que hay que saber interpretar. Si las derivamos respecto al tiempo, hallaremos ecuaciones para la velocidad y la aceleración de cada una de las partículas de la cuerda (en el M.A.S. que cada una de ellas describe); así, por ejemplo:

$$(36) \quad \boxed{y(x,t) = A\cos(-\omega t + kx + \Phi_0)}$$

onda a dcha., de frec. ang. ω, amplitud A y $v_p = \frac{\lambda}{T} = \frac{2\pi}{k}\frac{\omega}{2\pi} = \frac{\omega}{k}$.

Esta función nos dice la elongación de la partícula x en el instante t

... DERIVAMOS $\frac{dy}{dt}$

$$(37) \quad v(x,t) = \omega A \operatorname{sen}(-\omega t + kx + \Phi_0)$$

velocidad de la partícula x en t; su valor máximo es

$$(38) \quad \boxed{v_{máx} = \omega A}$$

(el mismo para todas las partículas).

... DERIVAMOS $\frac{dv}{dt}$

$$a(x,t) = -\omega^2 A\cos(-\omega t + kx + \Phi_0) = -\omega^2 y(x,t) \quad (39)$$

aceleración de la part. x en t; su máximo: $\boxed{a_{máx} = \omega^2 A}$ (40)

⊛ DETERMINACIÓN de la constante de fase o fase inicial, φ_0:

⤳ igual que pasa en el MAS, necesitamos conocer condiciones iniciales para su determinación: por ejemplo,

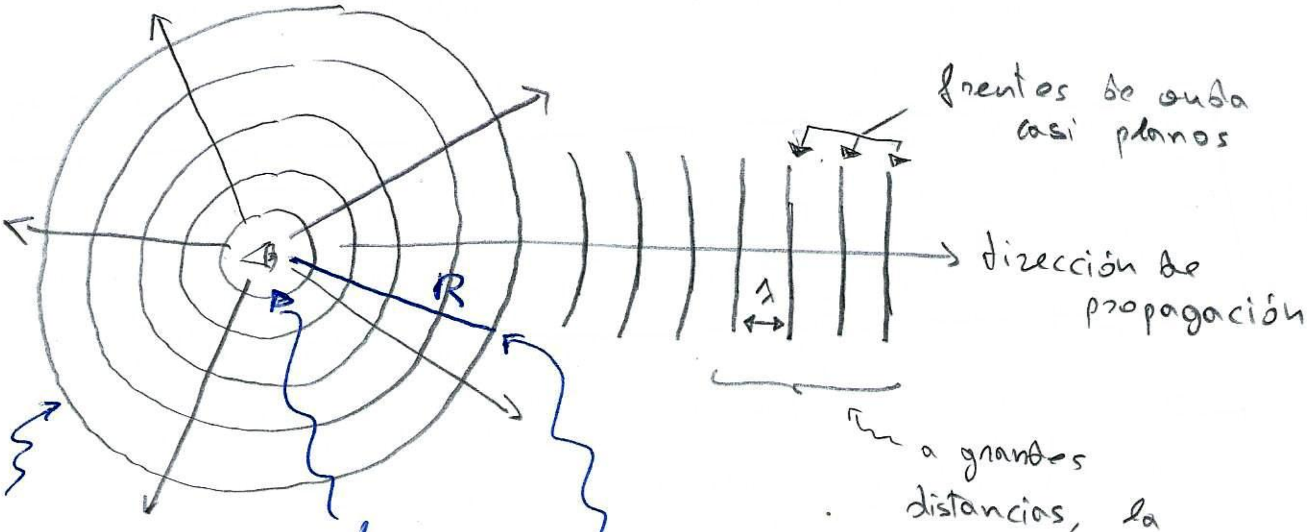
(41) $\begin{cases} y(0,0) & \rightsquigarrow \text{elongación en } t=0 \text{ de la partícula de } x=0 \\ \text{signo de } v(0,0) & \rightsquigarrow \text{si en } t=0 \text{ esa partícula} \begin{cases} \text{"sube"} \uparrow : \oplus \\ \text{ó "baja"} \downarrow : \ominus \end{cases} \end{cases}$

NOTA: también pueden darse otros conds. inic., como relativos a velocidades y aceleraciones, o para otra partícula en otro instante (por ejemplo, $y(1,3)$ y signo de $v(1,3)$).

⊛ OTRO TIPO de ONDAS: las anteriores ecuaciones sirven también para otro tipo de ondas, que en general se llaman ondas viajeras armónicas unidimensionales, y podemos interpretar todas las magnitudes de la onda (T, ω, λ, k ...) de la misma manera salvo por lo que a "y" respecta, que ahora se interpretará según el tipo de onda estudiada. Por ejemplo, si hablamos de una onda electromagnética, "y" podrá ser una componente de $\vec{E}$ (o de $\vec{B}$); si es el sonido, será el valor de la presión del aire en el punto x e instante t, etc.

2.3 ONDAS en 3D. EL SONIDO

En realidad, las ondas sonoras no son ondas armónicas 1D, sino que se propagan desde el <u>foco emisor</u> en todas las direcciones del espacio 3D:



a grandes distancias, la propagación es muy parecida a una onda 1D.

Conjunto de puntos contiguos correspondientes a una cresta: "frente de onda"

foco

Este "frente de onda" es una <u>esfera</u> de radio R (distancia al foco) en el instante actual. → por eso, estas ondas como el sonido se llaman "ondas esféricas".

[<u>NOTA</u>: en la superficie del agua, las ondas que produce una gota cuando cae son en 2D, y se llaman "ONDAS CIRCULARES", porque los frentes de onda son circunferencias].

Las ecuaciones de estas ondas son bastante parecidas a [33], pero la x es la distancia al foco y la A depende de x, entre otras cosas. Lo que sí que no cambia es que podemos seguir hablando de ω, T, f, T, v_p, etc. como hacíamos con las ondas armónicas $\boxed{1D}$.

⊛ En ONDAS 3D, como el sonido, nos interesa estudiar qué pasa con la energía que transporta la onda: si sale una cierta cantidad de energía del foco emisor por cada segundo,

$$\boxed{P = \frac{\text{Energía}}{\text{tiempo}}} \quad (42)$$

← UNIDAD S.I.: (W) = (J/s) vatio

POTENCIA EMITIDA

y suponemos que la onda no pierde energía al propagarse, entonces una esfera de radio R con centro en el origen será atravesada justamente por esa cantidad P de energía por segundo.

El área de esta superficie esférica de radio R se calcula como:

$$\boxed{A = 4\pi R^2} \quad (43)$$

[UNIDAD S.I.: m^2]

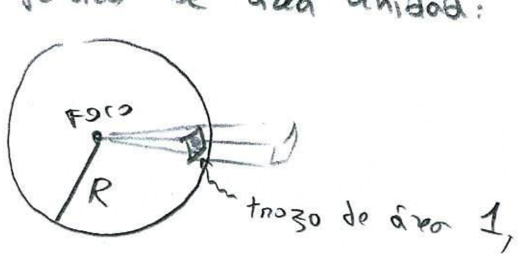
Si dividimos la anterior energía emitida por segundo, P, entre esta área,

$$\boxed{I = \frac{P}{4\pi R^2}} \quad (44)$$

, obtendremos cuánta energía atraviesa por segundo un trocito de la superficie esférica de área unidad:

INTENSIDAD de la onda a distancia R del FOCO.

↳ UNIDAD S.I.: $\left(W/m^2\right) = \left(J \cdot s^{-1} \cdot m^{-2}\right)$



lo cual nos sirve para saber cuánta energía llega en un segundo a un receptor (como un micrófono, o el oído), si conocemos su área. Ello tiene un claro significado físico y por ello le llamamos <u>intensidad de la onda</u> (a distancia R). ↳ ec. [44]

Aun así, el oído humano es muy poco sensible a cambios pequeños en la I, y por ello se define un "nivel de intensidad sonora", o "sonoridad", cuyas variaciones concuerdan mucho más con nuestra percepción subjetiva de los cambios de intensidad:

(45) $$\boxed{\beta = 10 \log \frac{I}{I_0}}$$, donde

- I ⤳ intensidad a distancia R
- $I_0 = 10^{-12}\ W/m^2$, constante llamada "umbral de la audición"
- $\log$ ⤳ logaritmo decimal.

SONORIDAD de la ONDA a distancia R [UNIDAD S.I.: dB "decibelio"]

<u>NOTAS</u>: $I < I_0$ ⤳ el oído humano no percibe el sonido

$\beta > 120\ dB$ ⤳ "umbral del dolor": el sonido es molesto

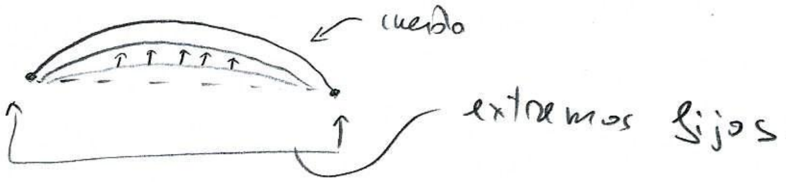
Es fácil ver que, a dos distancias R_1 y R_2 dadas, tenemos que: $$\boxed{\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2^2}{R_1^2}} \quad (46)$$

⊛ <u>NATURALEZA FÍSICA</u> del FENÓMENO del <u>SONIDO</u> en AIRE:

Estrictamente, la propagación del sonido en aire constituye una onda mecánica tridimensional de tipo longitudinal (ver 2.5), y la variable "y" de su ecuación puede significar tanto desplazamientos respecto a la posición de equilibrio como cambios en la presión o densidad.

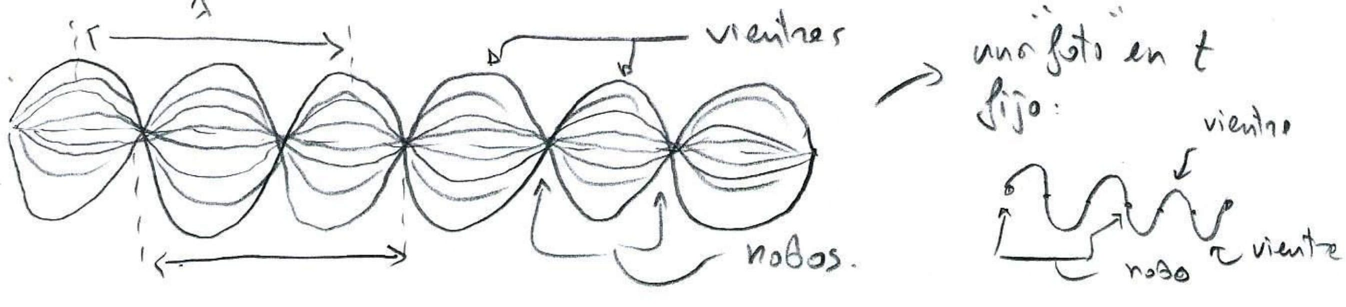
2.4 ONDAS ESTACIONARIAS. ARMÓNICOS

Hay otro tipo de ondas 1D que no son viajeras (ya no podemos decir que la energía se propague a velocidad $v_p = \frac{\lambda}{T} = \lambda f$ con las crestas), sino llamadas "estacionarias": todos los puntos de la cuerda suben o bajan a la vez:



Se puede demostrar que dos ondas viajeras 1D de mismas A, ω y k viajando en sentidos opuestos forman, al superponerse, una onda estacionaria de misma frecuencia $\left(f = \frac{\omega}{2\pi}\right)$:

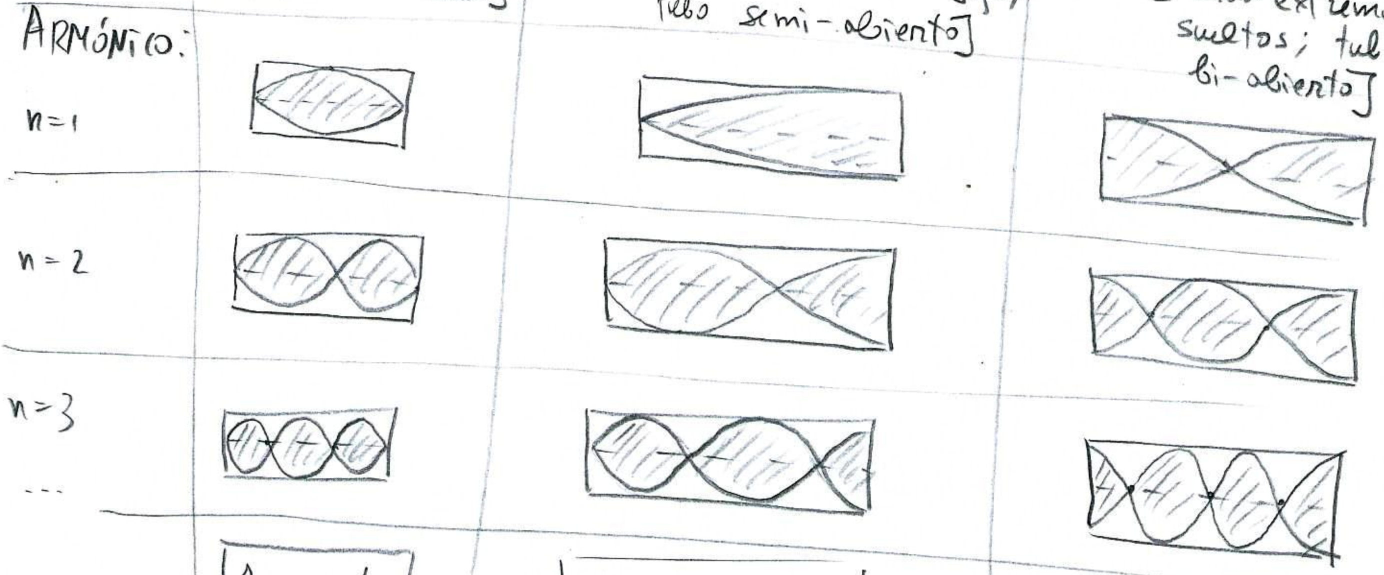
En una onda estacionaria hay puntos con máxima amplitud de oscilación, llamados vientres, y puntos que no oscilan, llamados nodos:



λ : es el doble de la distancia entre dos nodos (o vientres) consecutivos (47)

Estudiamos tres tipos de ondas estacionarias 1D, en objetos (como cuerdas de violín) de longitud L:

	A. NODOS en LOS EXTREMOS [cuerda de extremos fijos; tubo cerrado]	B. NODO en un extremo y VIENTRE en el otro [cuerda un extremo fijo; tubo semi-abierto]	C. VIENTRES en los EXTREMOS [cuerda extremos sueltos; tubo bi-abierto]



	A.	B.	C.
n	$\boxed{\frac{\lambda_n}{2} = \frac{L}{n}}$ (48)	$\boxed{\frac{\lambda_n}{4} = \frac{L}{2n-1}}$ (49)	misma ecuación!!

nota: $(2n-1)$ es el impar número n:

n:	1	2	3	4	...
impar	1	3	5	7	...

Ordenamos según λ decrecientes los modos de vibración posibles en cada caso, llamados "armónicos" (n=1 se llama "armónico fundamental"). Si conocemos la f de un armónico en una cuerda de violín o el tubo de una trompeta, la onda sonora que esta vibración transmite al aire tendrá la misma frecuencia, que se corresponde con su tono musical.

MAS & ONDAS (resumen)

2.5 CONCEPTO GENERAL de "ONDA". ALGUNOS TIPOS.

▶ En Física se estudian fenómenos ondulatorios de muy diversa naturaleza, pero no existe ninguna definición general de onda formulada en términos lo suficientemente precisos.

No obstante, sí que se puede destacar la siguiente característica, propia de todos los fenómenos que en Física se estudian como ondas: la onda tiene lugar en un "medio de propagación", extenso espacialmente (por ejemplo: una cuerda), cuyas propiedades varían en cada punto del espacio a lo largo del tiempo con respecto a un valor de equilibrio correspondiente a cuando no hay onda. Esto es lo que se llama "perturbación" en el medio (por ejemplo, en la cuerda la propiedad estudiada es la posición de sus partículas respecto a la posición de equilibrio, o elongación). Pues bien: en este contexto, «diremos que la perturbación de las propiedades del medio tiene un carácter ondulatorio cuando la variación espacial de tales propiedades en el entorno de un punto sea función, en cada instante, de su variación temporal en dicho punto.» (50)

[NOTA: matemáticamente, esto supone una función que relaciona derivadas espaciales con derivadas temporales].

... por ejemplo, en la cuerda vibrante, la niña moviendo un extremo en forma de M.A.S. (variación temporal en un punto) genera el perfil de crestas y valles en la cuerda (variación espacial en el entorno del punto).

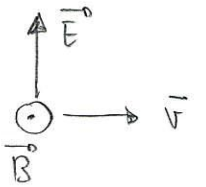
ONDAS según TIPOS de MEDIOS de propagación:

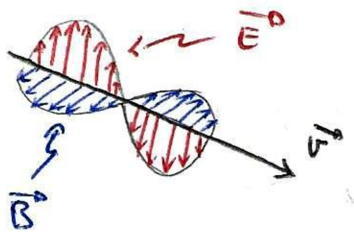
- Ondas mecánicas: el medio de propagación es material (sonido: aire)
- Ondas electromagnéticas: se pueden propagar en el vacío (la perturbación tiene lugar en los campos eléctrico y magnético, que podríamos considerar que juegan el papel del medio de propagación, pero no son entes materiales).

⊛ CARACTERÍSTICAS de las ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS:

podemos visualizarlas como ondas en las cuales los vectores campo eléctrico $\vec{E}$ y campo magnético $\vec{B}$ "vibran" en cada punto del espacio describiendo un M.A.S. de la misma frecuencia, de modo que ambos campos son siempre perpendiculares entre sí y también a la dirección de propagación, cumpliéndose:

(51) $$\boxed{\vec{B} \times \vec{v} = \vec{E}}$$





como: $|\vec{v}| = c = 3 \cdot 10^8$ m/s "velocidad de propagación de la luz en el vacío", pues la luz es un tipo de onda electromagnética.

$$\Rightarrow \boxed{Bc = E} \quad (52)$$

NOTA: estas ondas e.m. no son las más generales posibles. Corresponden a un tipo particular llamado "polarizadas linealmente". También puede suceder que el extremo de cada vector campo describa un MCU, en vez de un MAS: eso se llama "polarización circular" (y también puede darse la polarización elíptica, que es el caso más general).

nota: la propagación de ondas e.m. en medios materiales también es posible, pero su velocidad será siempre más baja que c.

Pepe Ródenas
agosto 2015

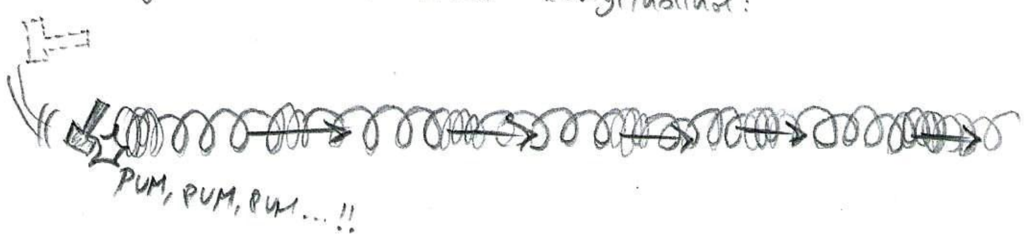
MAS & ONDAS (resumen)

▶ ONDAS según DIRECCIÓN de la PERTURBACIÓN:

- Ondas transversales: la perturbación que se propaga consiste en una vibración del medio perpendicularmente a la dirección de propagación. (Ondas electromagnéticos, ondas en la cuerda vibrante).

- Ondas longitudinales: la perturbación que se propaga consiste en una vibración del medio paralelamente a la dirección de propagación. (Sonido en aire).

martilleando rítmicamente el extremo de un largo muelle también logramos una onda longitudinal:



2.6 MOVIMIENTO de FOCOS y RECEPTORES. EFECTO DOPPLER.

Imaginemos una onda viajera armónica, originada en un "foco emisor" (por ejemplo, la cuerda de un violín) y que llega, tras propagarse por el medio, a un receptor (por ejemplo, el oído humano). A partir de lo visto en el punto 2.1 está justificado tener la siguiente idea intuitiva de las tres magnitudes más importantes que caracterizan la onda:

(53)
- v_p: velocidad a la que se mueven los frentes de onda (las crestas).
- λ: distancia entre dos frentes de onda consecutivos (dos crestas consec.)
- f: frecuencia del M.A.S. con que vibra cada punto del medio.

Las anteriores definiciones sí son correctas, pero tienen que ser interpretadas suponiendo que el observador está en reposo con respecto al medio de propagación de la onda.

Por ejemplo: en los libros de Física dice que la velocidad del sonido depende del medio y en aire es $v_p = 343\ m/s$: eso quiere decir que una cresta de la onda que sale del violín recorre 343 metros en un segundo. Pero si corremos hacia el violín, nos llegarán las crestas a un ritmo mayor que si estamos quietos, y entonces tendremos la sensación aparente de que las crestas recorren más de 343 metros en cada segundo.

Análogamente, si es el emisor el que se mueve, alterará la distancia a la que las crestas que emite están separadas en su propagación por el medio (es decir, alterará λ).

Para tener en cuenta cómo afectan todos estos posibles movimientos del receptor y/o del foco emisor a las características con las que se percibe la propagación de una onda, vamos a establecer las siguientes consideraciones:

(54)

f_0 : frecuencia de emisión → nº de crestas que salen del foco emisor en 1 s.

[se corresponde, en sonido, con la altura musical (la nota: do, si, etc.) con la que percibiríamos el sonido si el foco estuviera en reposo; en luz, se corresponde con el color.]

$\lambda_0 = \dfrac{v_p}{f_0}$ → longitud de onda que tendría la onda emitida al propagarse si el foco emisor estuviera en reposo

[Para calcularla hemos supuesto que «v_p sólo depende del medio» y del tipo de onda, y hemos usado ec. [32].]

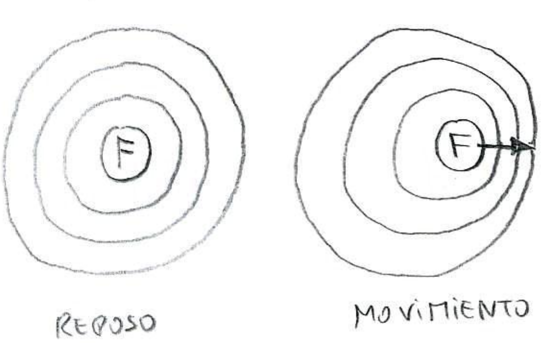
v_F : velocidad de la fuente → módulo de la velocidad con la que el foco emisor se mueve respecto al medio de propagación.

MAS & ONDAS (resumen)

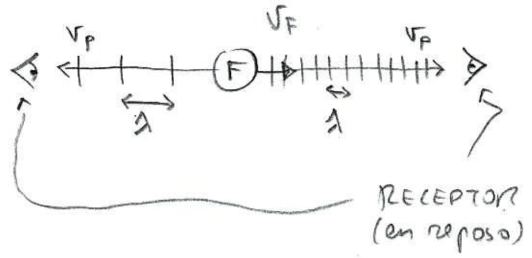
Con las consideraciones [54] sobre el movimiento del emisor o fuente respecto del medio, y teniendo siempre presentes las [53] — relativas a la propagación de la onda en el medio —, podemos ya entender de modo cualitativo:

▶ CAMBIO en la f cuando la fuente se mueve:

Imaginemos una fuente en reposo emitiendo a frecuencia f_0 y la misma fuente emitiendo a la misma frecuencia mientras se desplaza a velocidad v_F:



⇒ ... los frentes de onda se juntan en la dirección del movimiento, y se separan en la opuesta:



El receptor de la derecha recibe una onda con λ menor que λ_0 (la correspondiente a F en reposo), y por tanto una onda con $f = \frac{v_p}{\lambda}$ mayor que f_0; el de la izquierda recibe onda con λ mayor ⇒ f menor.

En conclusión: Si el receptor está en reposo, cuando

(55) la fuente $\begin{cases} \boxed{\text{SE ACERCA}} \rightarrow \text{se percibe } \{\lambda \text{ menor, } f \text{ mayor}\} \\ \boxed{\text{SE ALEJA}} \rightarrow \text{se percibe } \{\lambda \text{ mayor, } f \text{ menor}\} \end{cases}$ (la v_p percibida no cambia).

↳ NOTA: esto explica el fenómeno del paso de AGUDO (f alta) a GRAVE (f baja) en la nota de la bocina del coche que se nos acerca y nos pasa por al lado.

Para estudiar el efecto del movimiento del receptor en la percepción de una onda, hacemos consideraciones tipo [54]:

CAMBIO en la f cuando el receptor se mueve:

(56)

f_R : frecuencia de recepción → nº de crestas que llegan al receptor en 1 s.

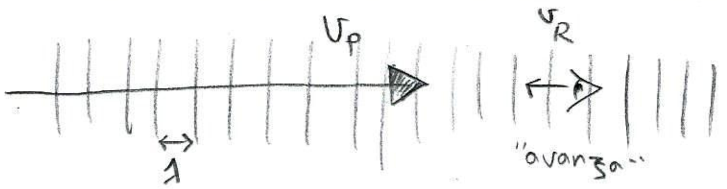
[Se corresponde con la nota percibida, en sonido; con el color que se ve, en luz]

v_R : velocidad del receptor → módulo de la velocidad con la que el receptor se desplaza con respecto al medio.

v_p^{ap} : velocidad de propagación aparente → velocidad con la que el receptor percibe que se desplazan las crestas: si el receptor avanza hacia la onda que llega, $v_p^{ap} = v_p + v_R$; si el receptor "escapa" de la onda, $v_p^{ap} = v_p - v_R$.

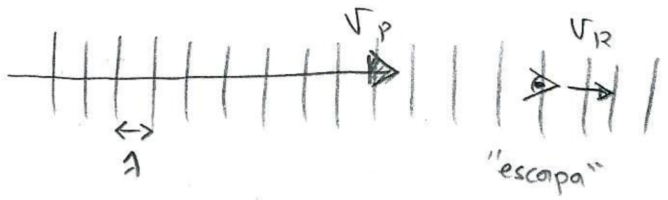
Teniendo en mente [56] —y siempre [53] y la ec. [32]—, hacemos el siguiente análisis:

(57)



- RECEPTOR AVANZA hacia la onda: v_p^{ap} es mayor que v_p ⟹ $f_R = \dfrac{v_p^{ap}}{\lambda}$ es mayor

la longitud de onda, es decir, la distancia entre crestas, no cambia: se ven las crestas igual de espaciadas, sólo que van más rápido.



- RECEPTOR "ESCAPA" de la onda: v_p^{ap} es menor que v_p ⟹ $f_R = \dfrac{v_p^{ap}}{\lambda}$ es menor

ECUACIÓN del EFECTO DOPPLER (caso general):

La siguiente ecuación relaciona la frecuencia de emisión f_0 con la frecuencia de recepción f_R en el caso general de movimiento tanto de fuente como de receptor:

(58) $$\boxed{f_R = f_0 \frac{v_p \pm v_R}{v_p \mp v_F}}$$

«EFECTO DOPPLER»

↳ cambio en la f_R respecto de f_0 a causa del movimiento de fuente y/o receptor respecto del medio de propagación.

- f_0 : frecuencia de emisión
- f_R : frecuencia de recepción
- v_p : velocidad de propagación de la onda en el medio.
- v_R : velocidad del receptor → en la EC. (+) receptor se acerca; (−) " " aleja
- v_F : velocidad de la fuente → (−) fuente se acerca; (+) " " aleja.

v_p, v_R y v_F son positivas.

NOTAS: esta ecuación explica cuantitativamente los casos particulares [55] y [57], pero no es válida si la F se acerca con $v_F > v_p$: es el caso de los aviones supersónicos, por ejemplo. (Si R se aleja y $v_R > v_p$ la ecuación tampoco es válida: las crestas le llegan al R "por el otro lado").

2.7 DIFRACCIÓN e INTERFERENCIAS