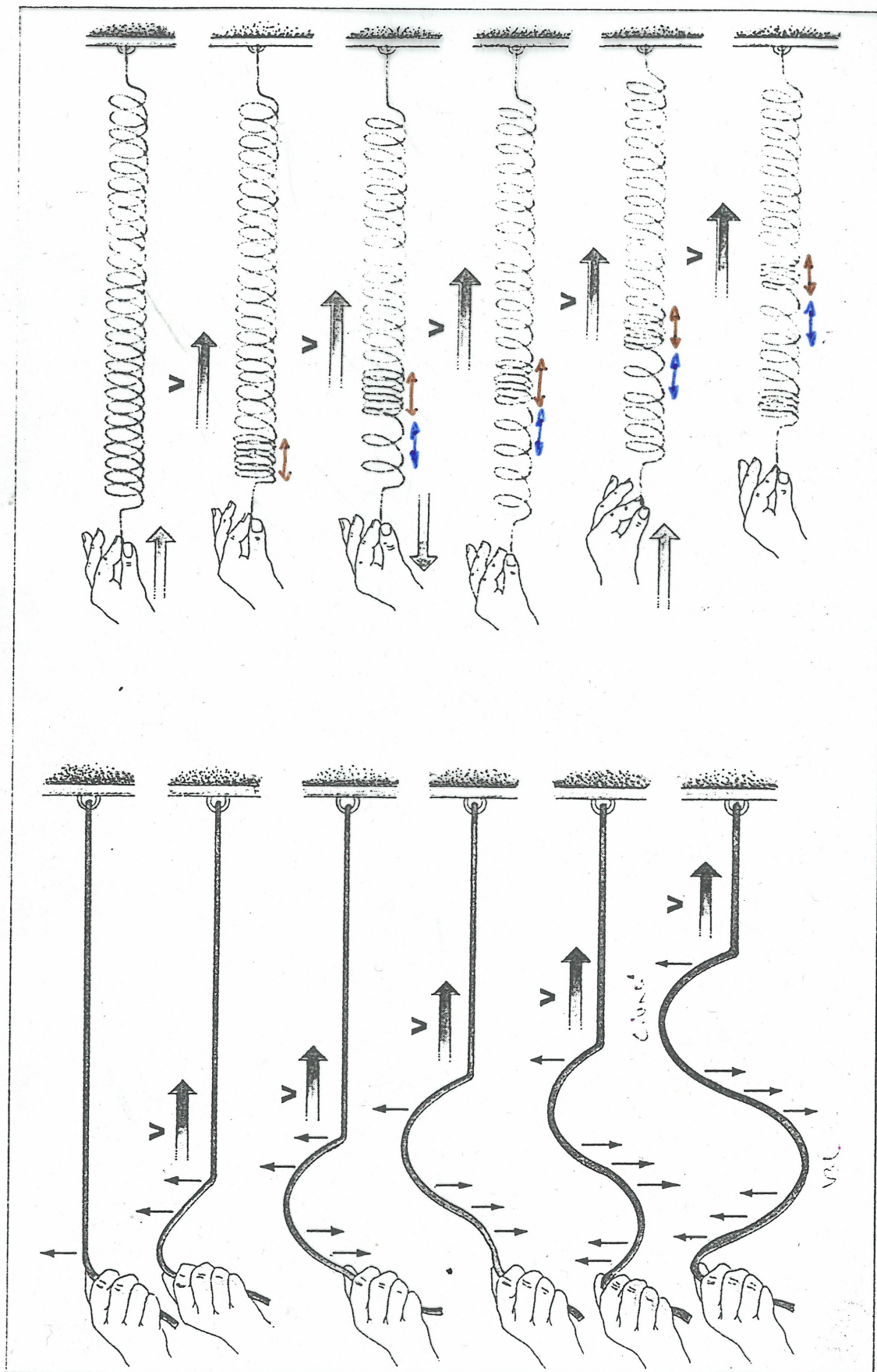
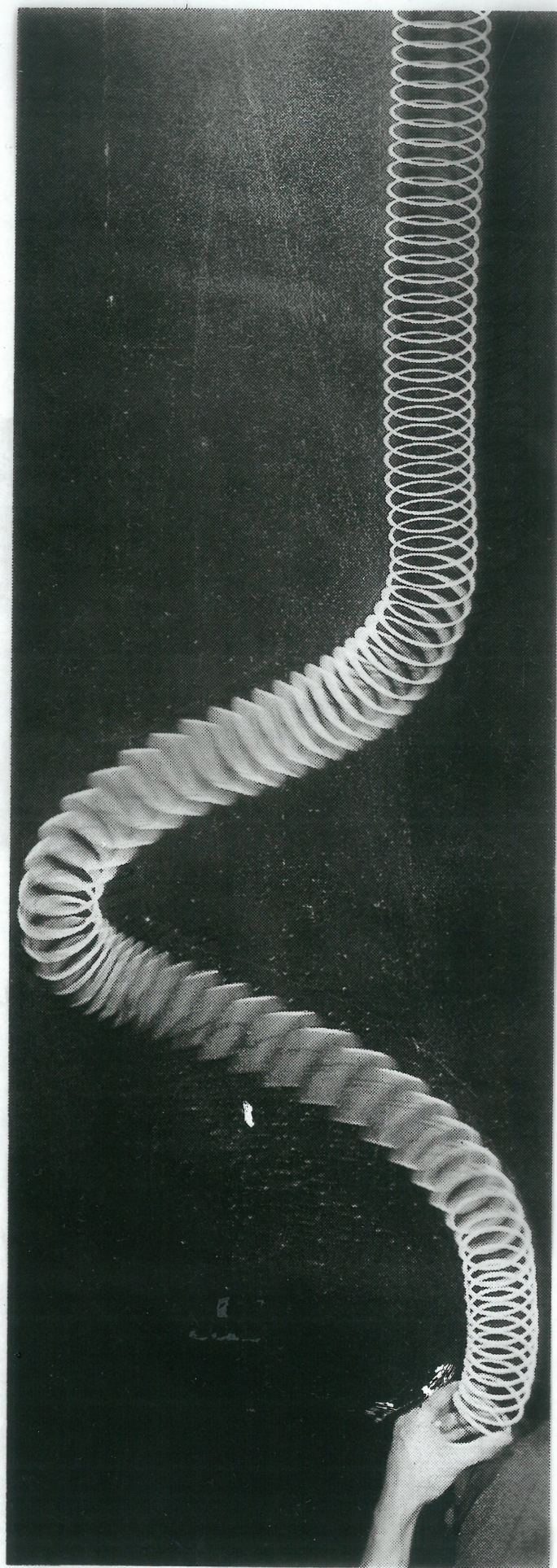
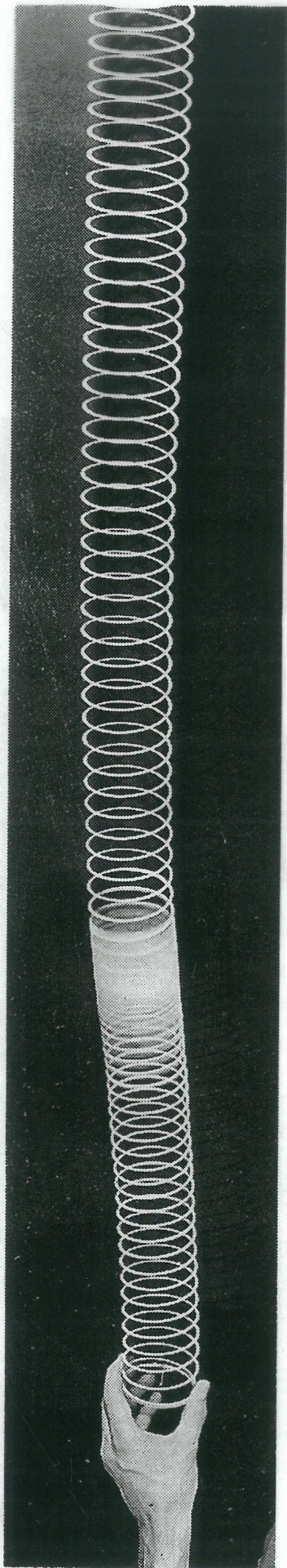






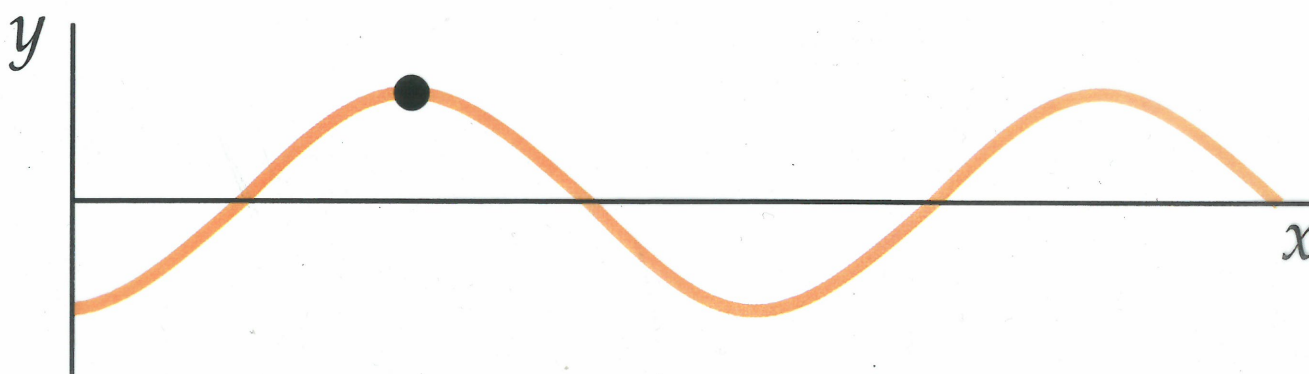
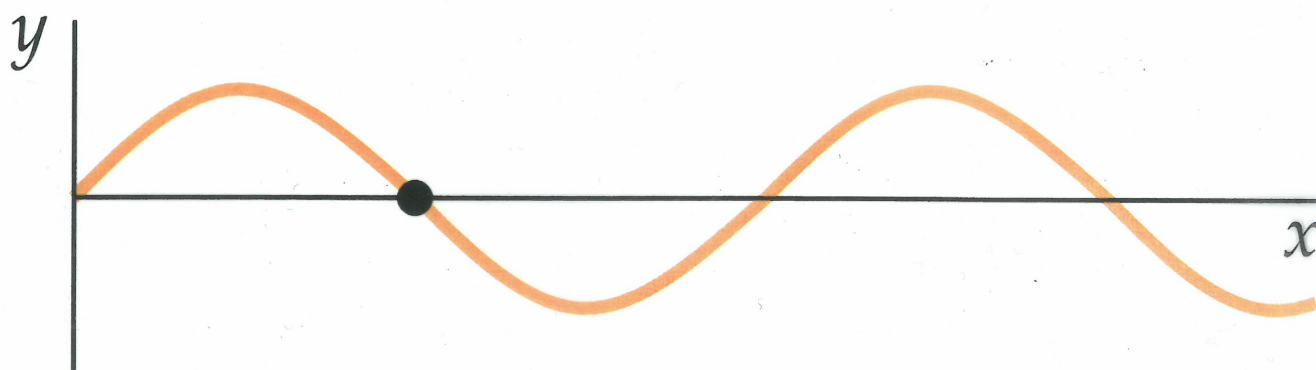
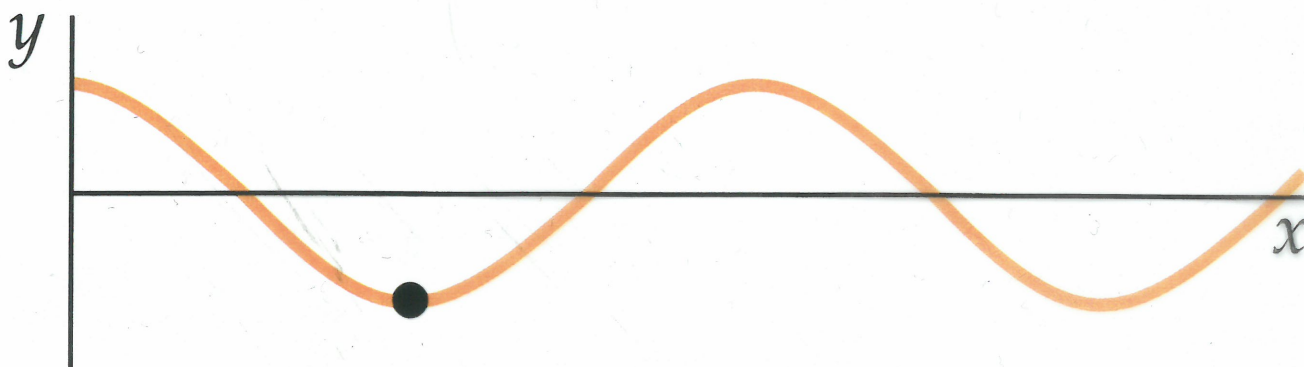
Transparency 56

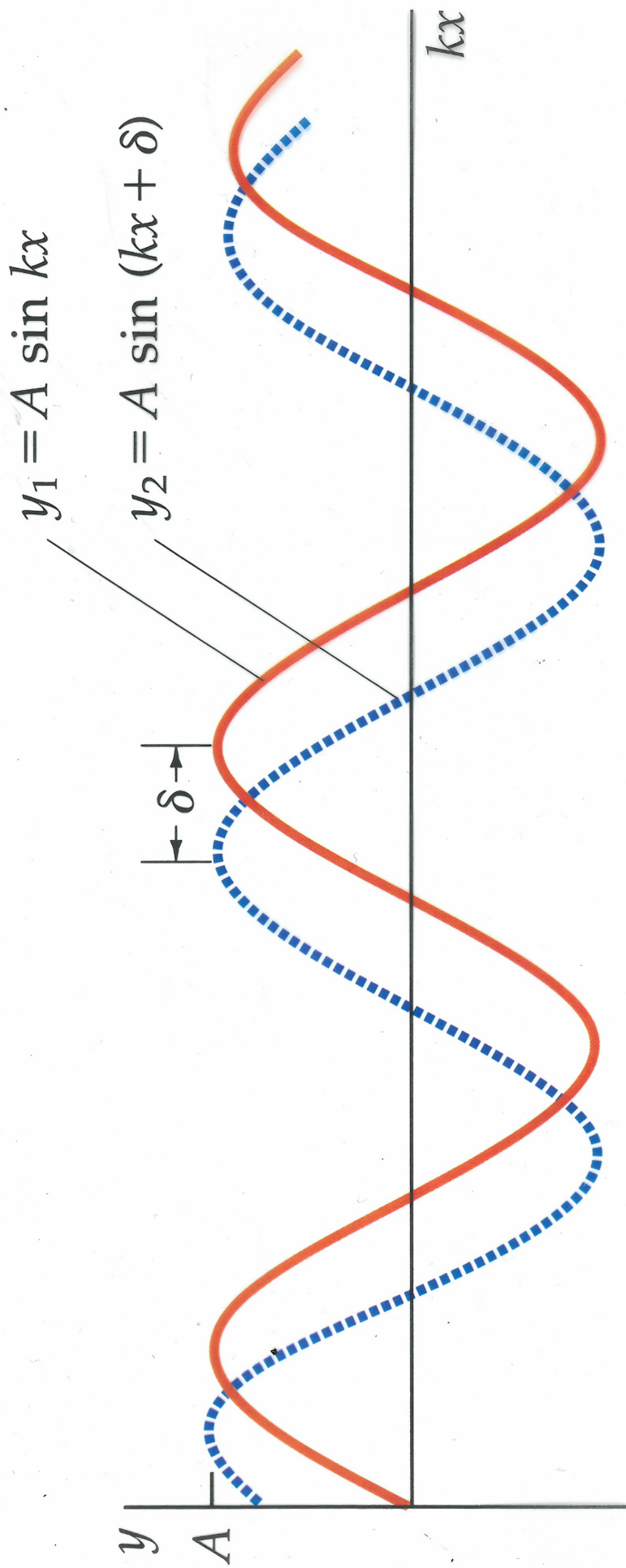
Figure 13-4, page 411

Motion of a particle on a string as a wave passes

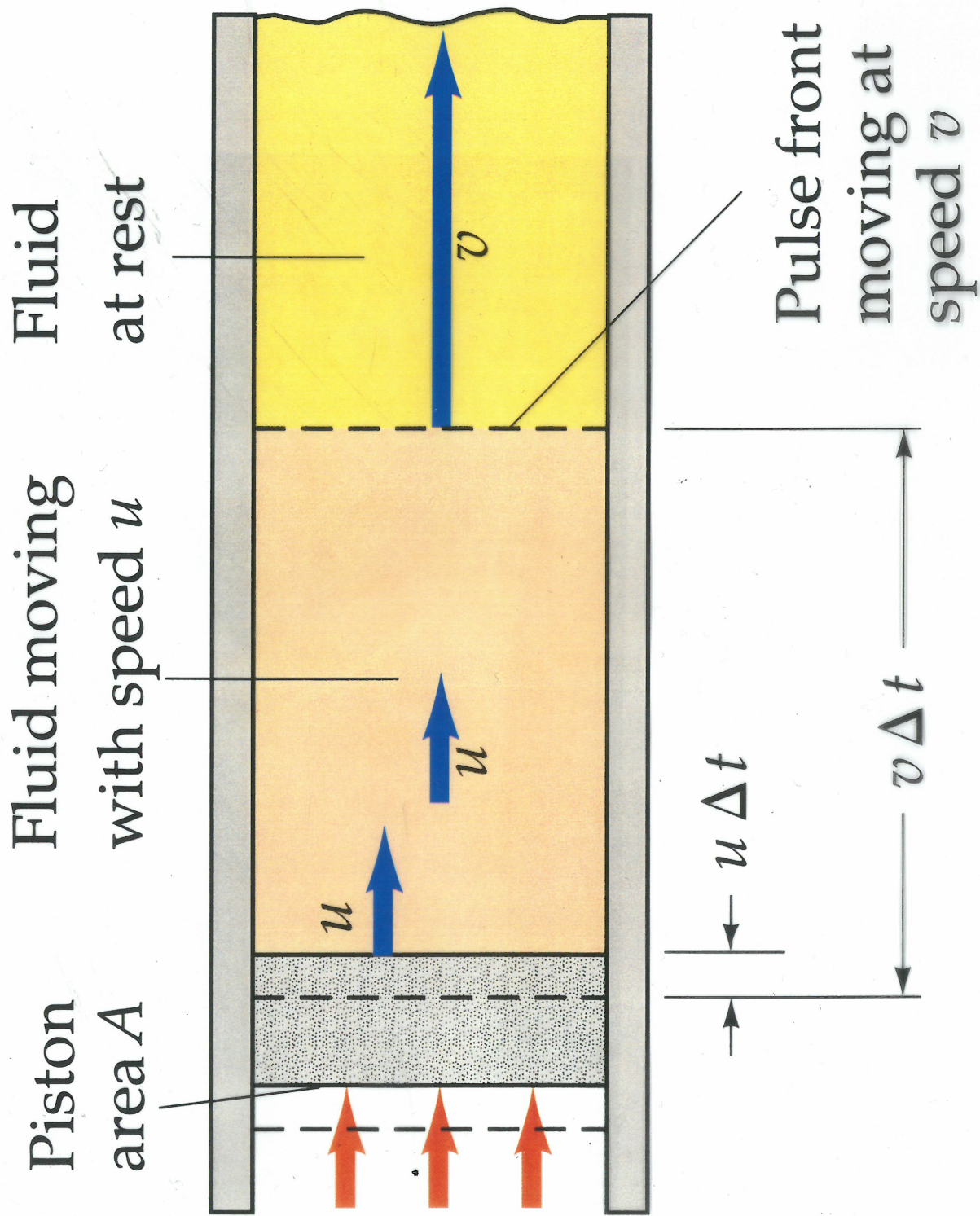
Tipler: **Physics for Scientists and Engineers**
Third Edition, Volume 1

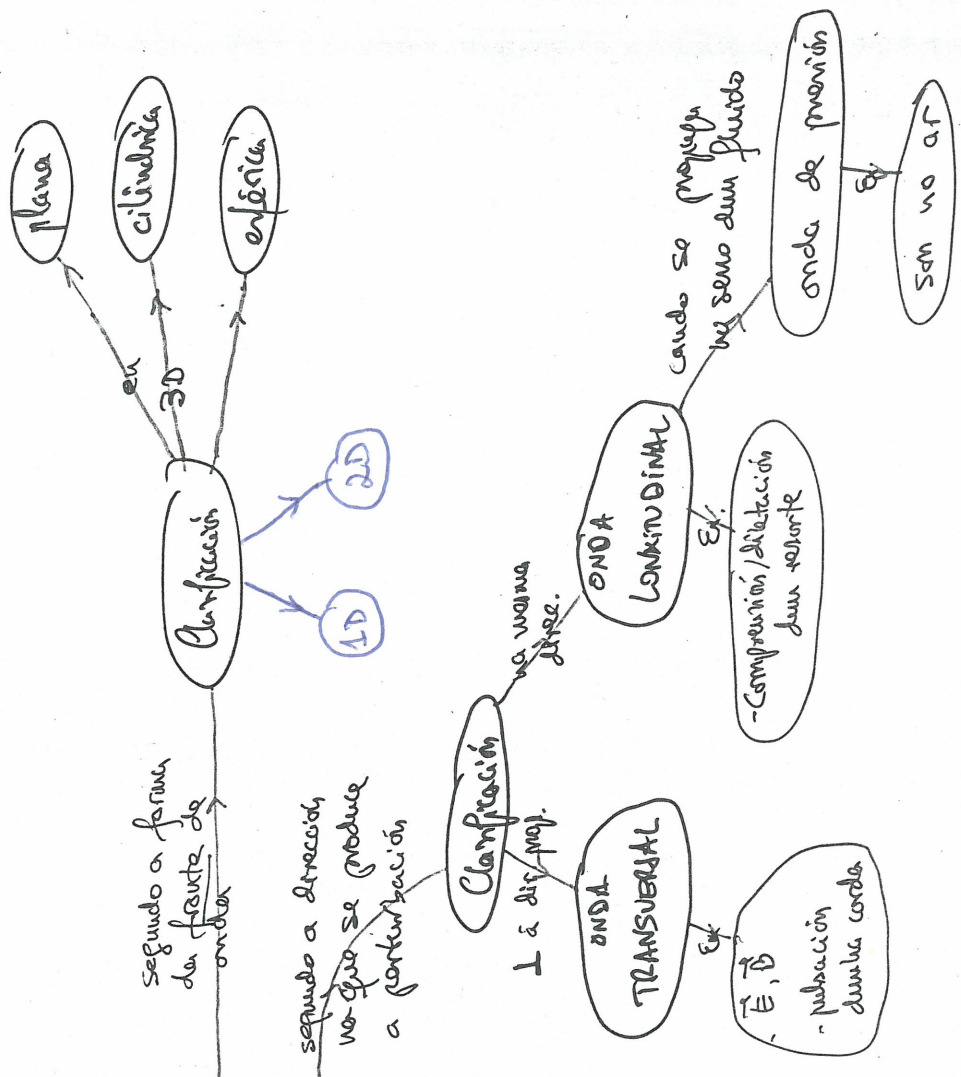
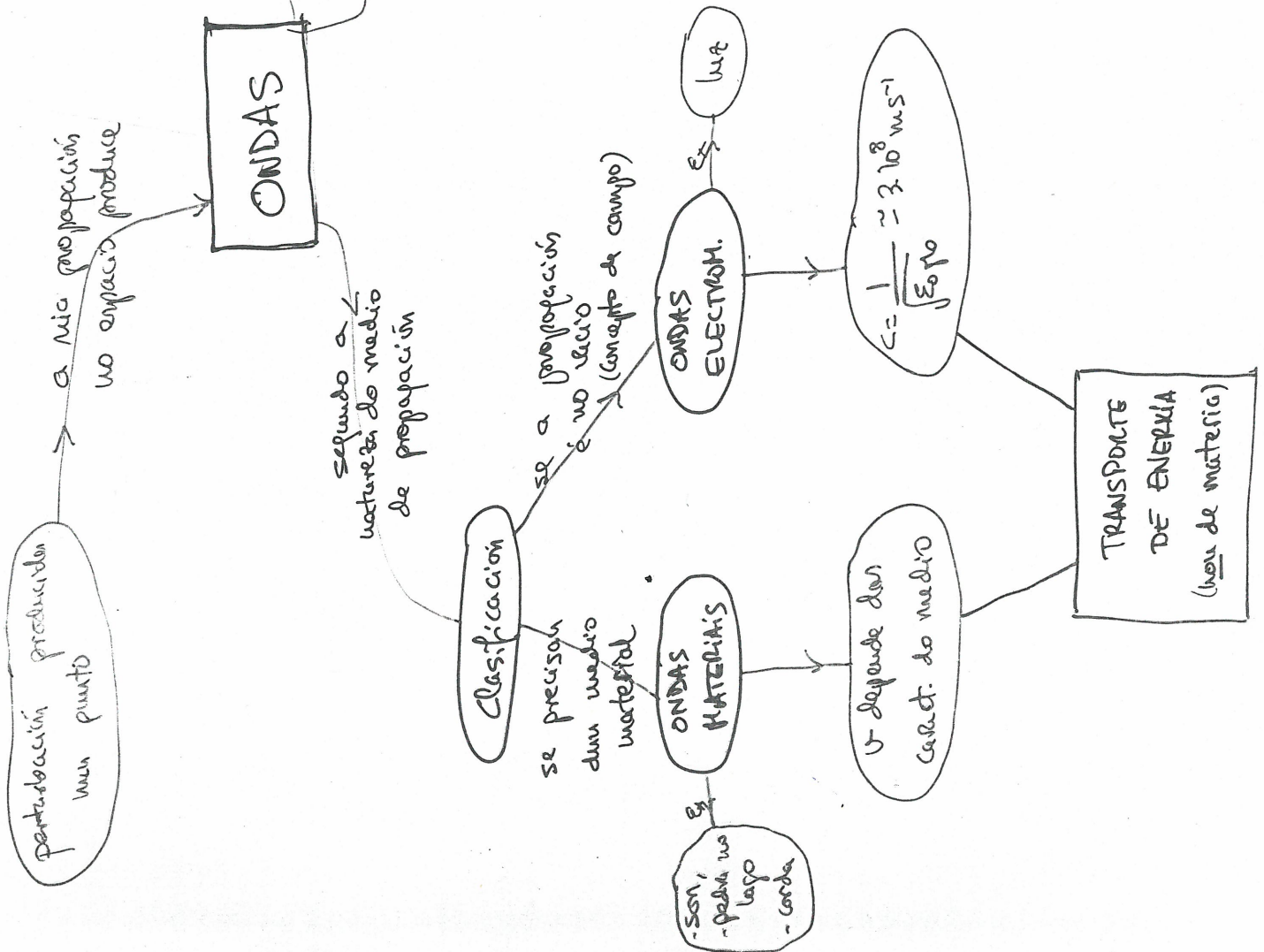
Copyright ©1991 by Worth Publishers, Inc.





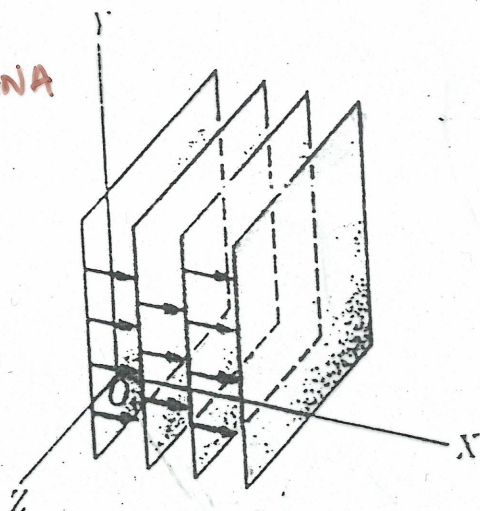
Transparency 62
 Figure 14-1, page 441
 Moving piston producing a longitudinal wave pulse



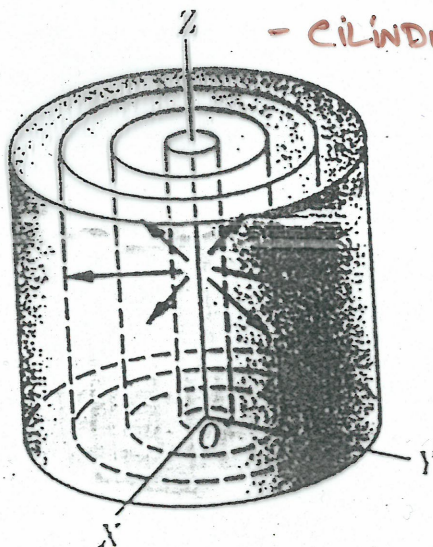


*) ONDAS EN 3D:

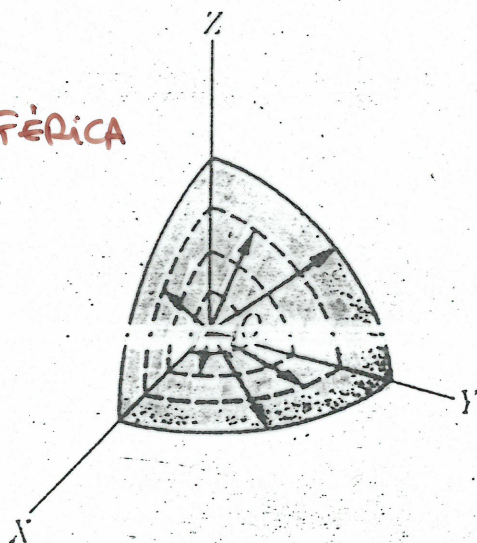
- PLANA



- CILÍNDRICA

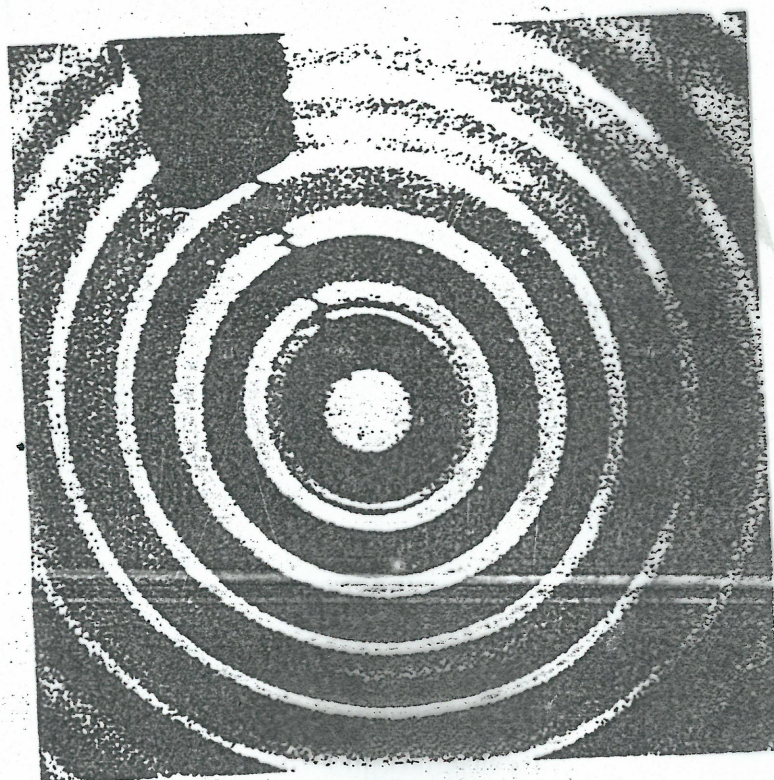
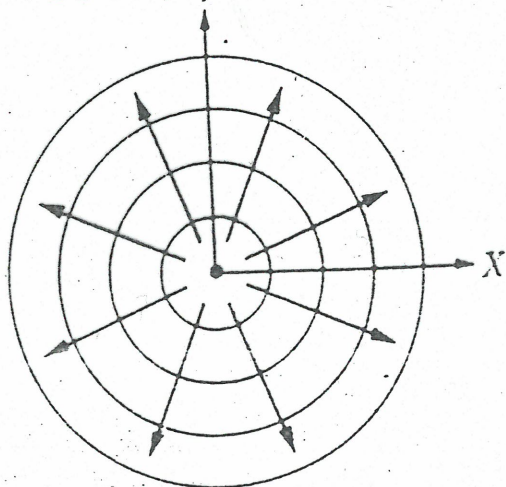


- ESFÉRICA

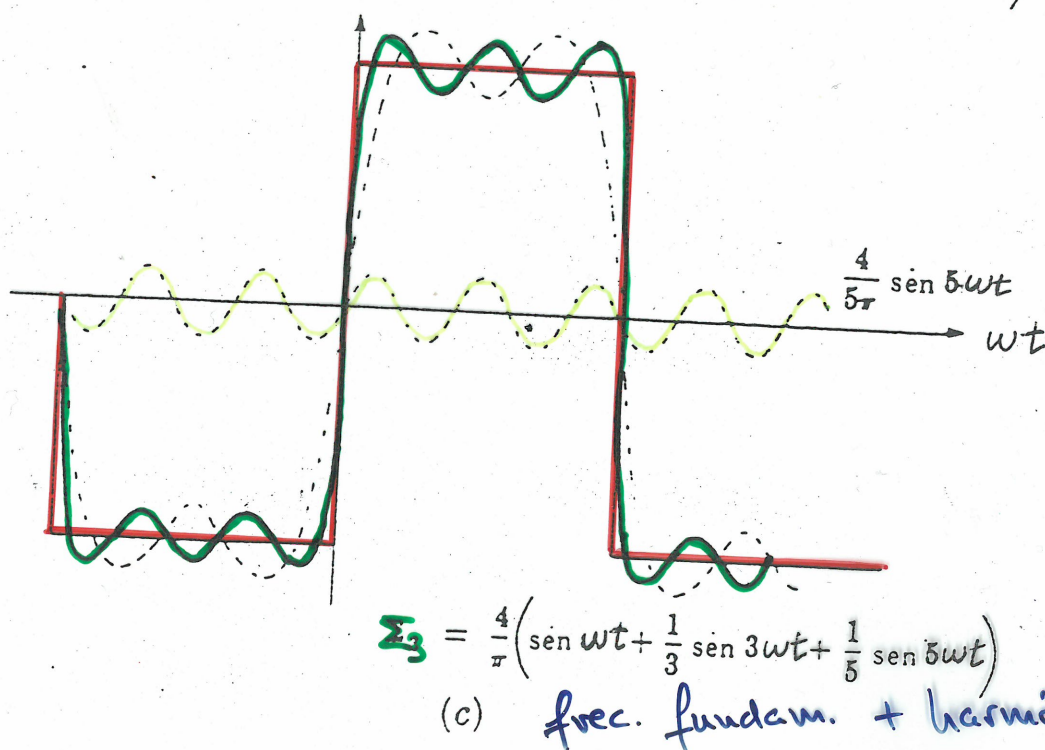
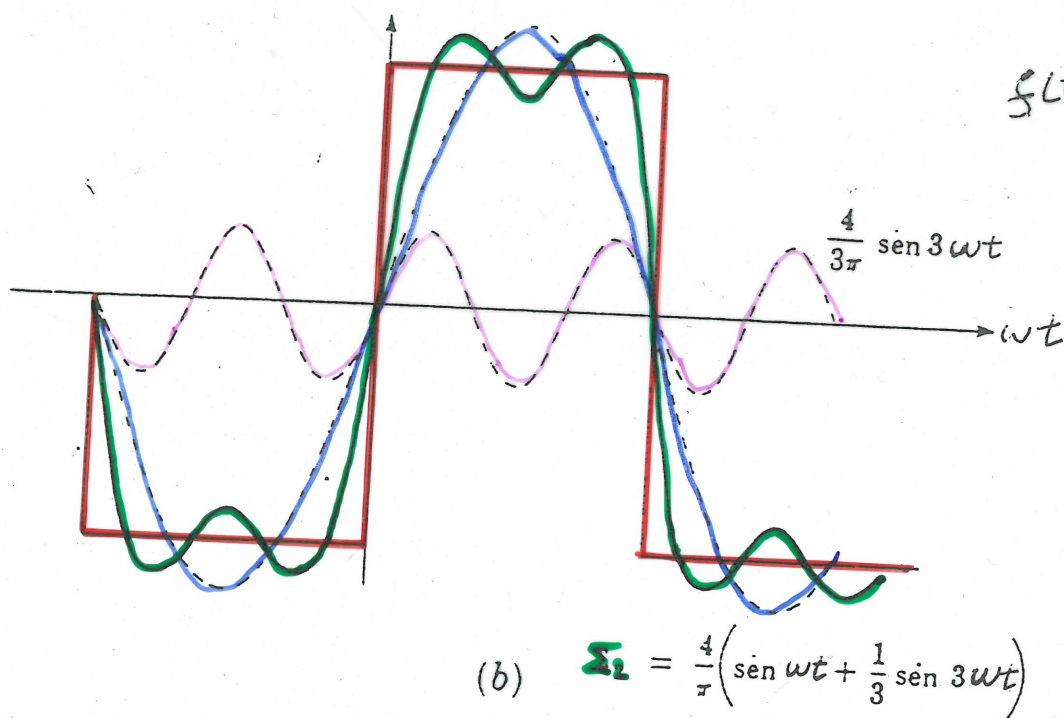
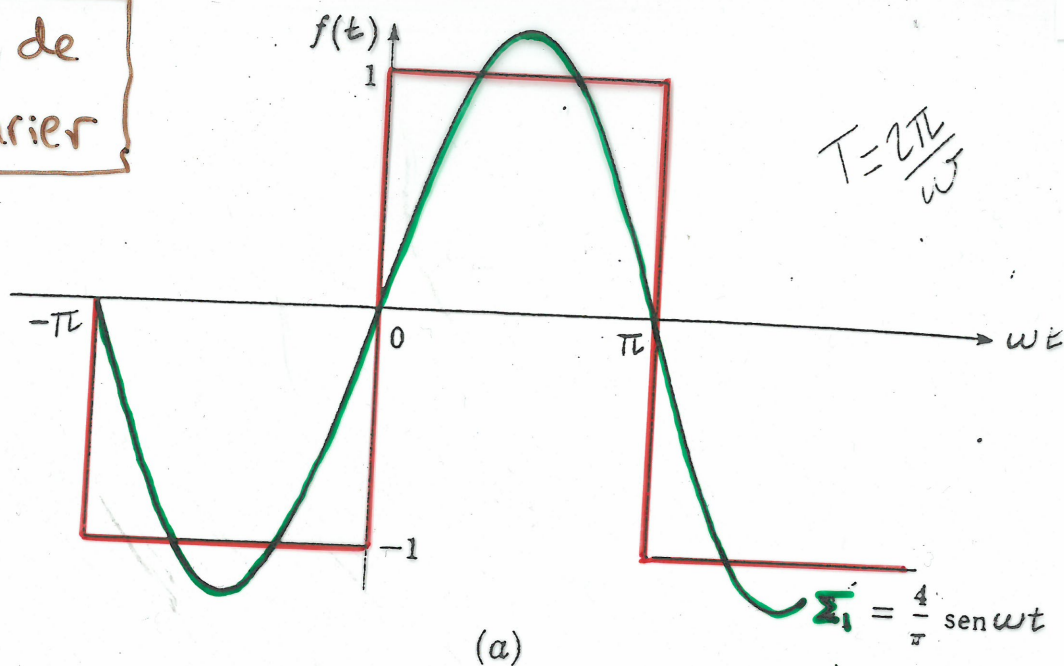


*) ONDAS EN 2D

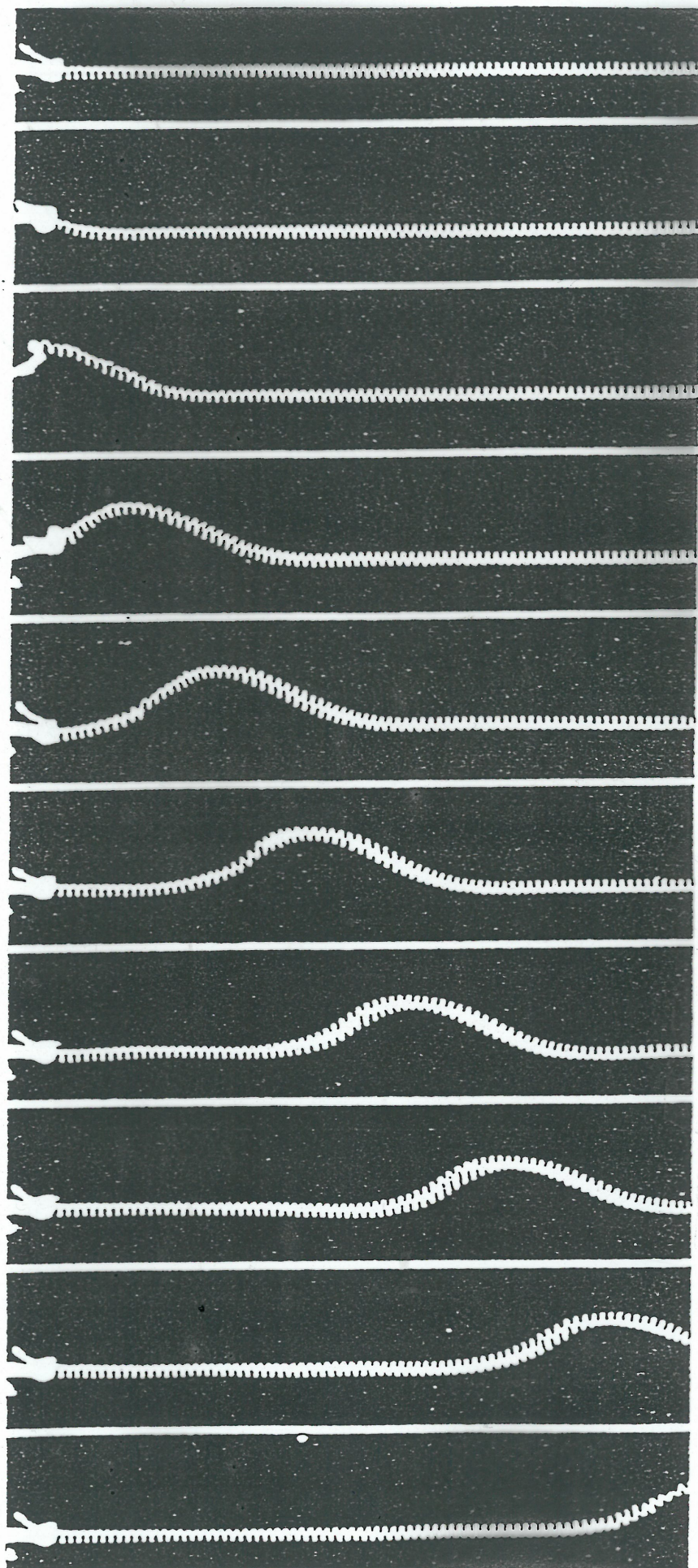
- CIRCULAR



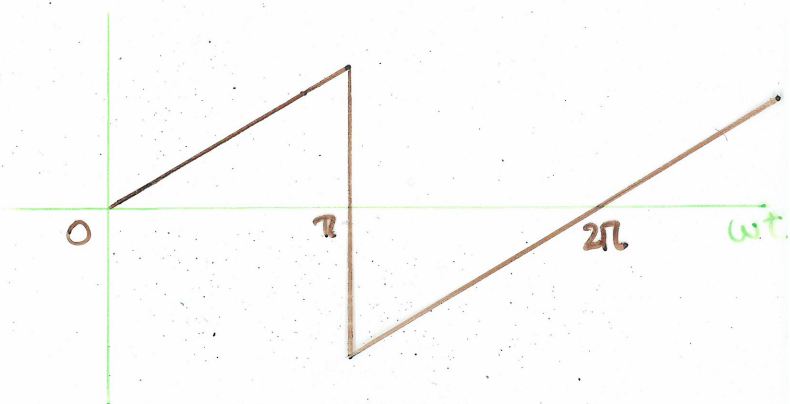
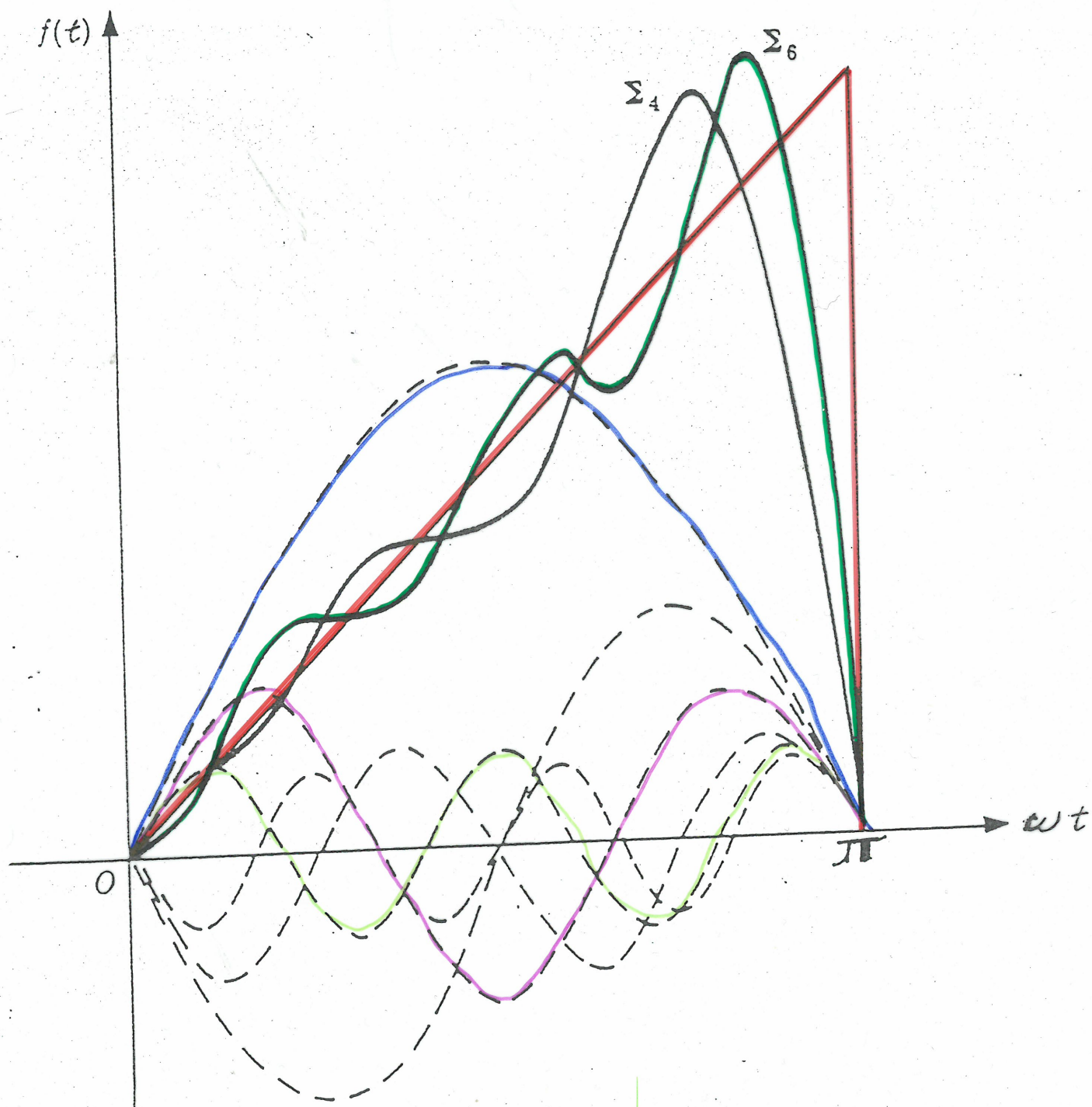
Tema de Fourier



Geración e movemento dun pulso sobre un resorte.



Tma de Fourier

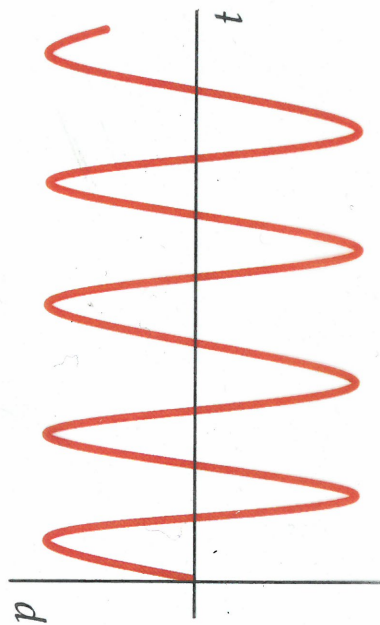


Transparency 66

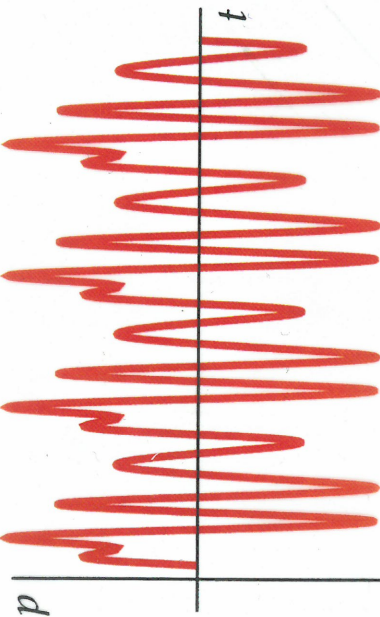
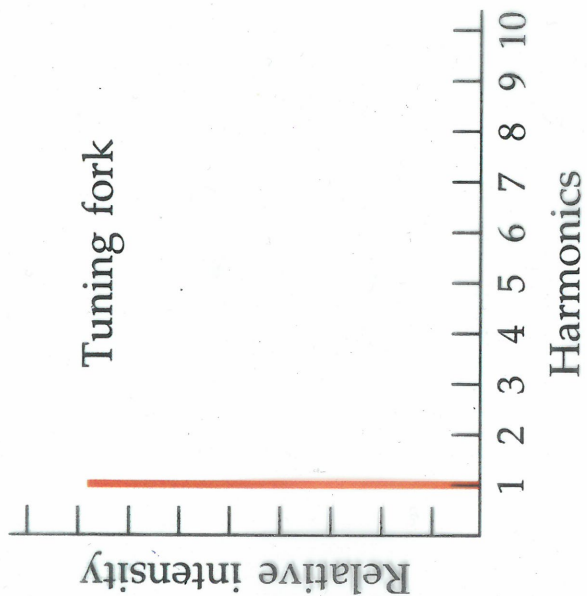
Figure 14-21, page 458, Figure 14-22, page 458

Waveforms of a tuning fork, clarinet, and cornet (top) and relative intensities of the corresponding harmonics (bottom)

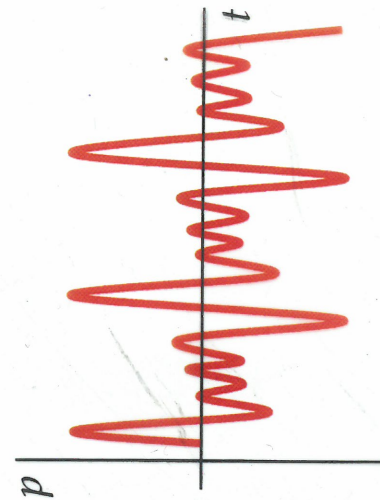
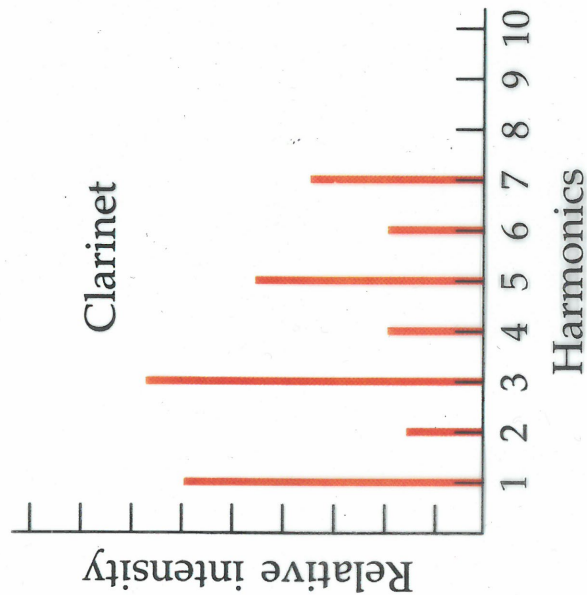
Tipler: Physics for Scientists and Engineers
Third Edition, Volume 1
Copyright © 1991 by Worth Publishers, Inc.



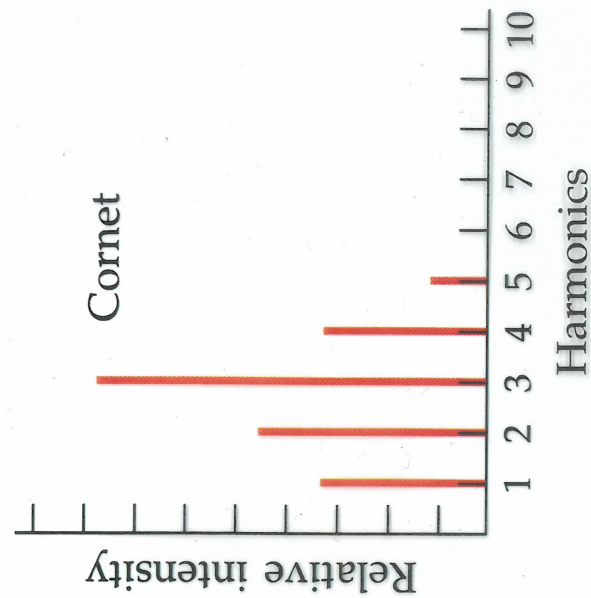
Tuning fork

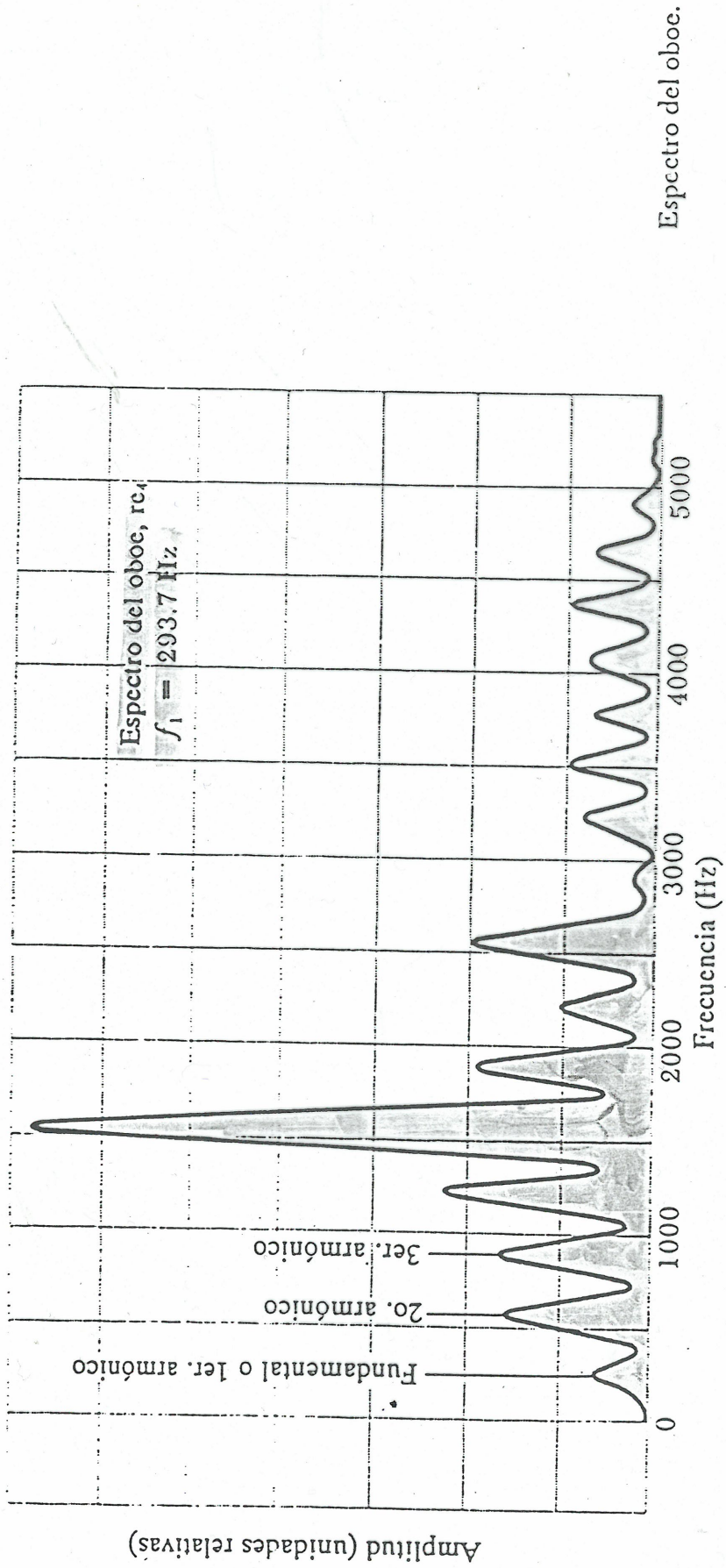


Clarinet

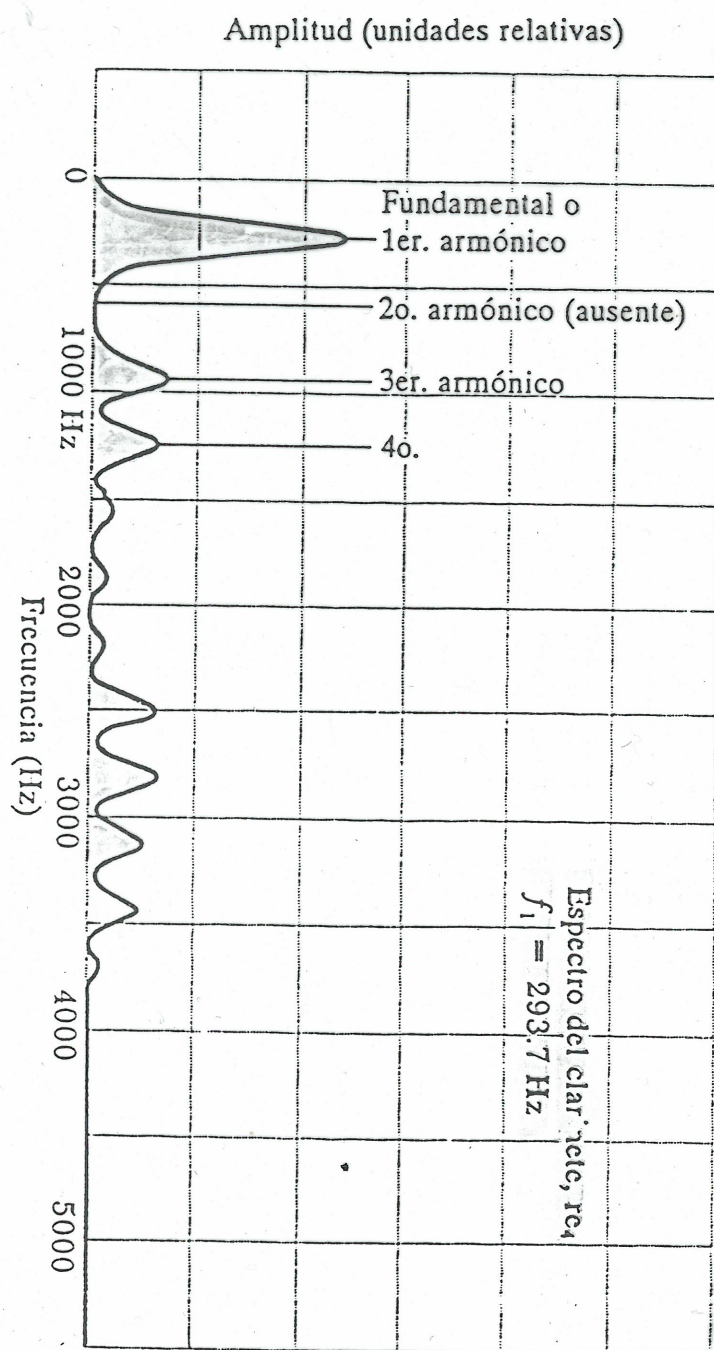


Cornet

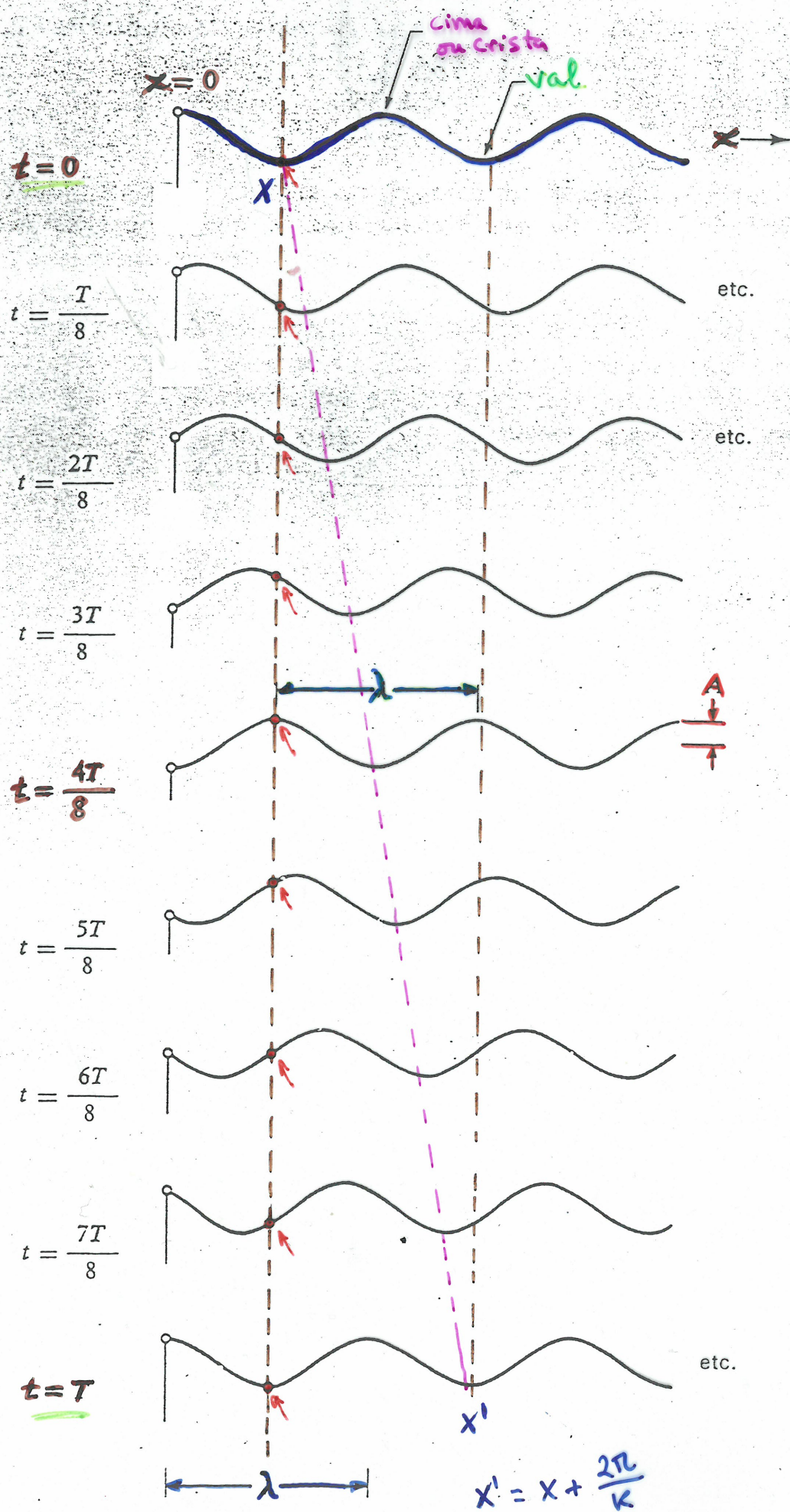




Espectro del clarinete.



PERIODICIDADE ESPACIAL (λ) / TEMPORAL (T)



- Descripción matemática da propagación:

$$\xi(x, t) = f(x \mp vt)$$

- Ondas harmónicas:

$$\xi(x, t) = A \operatorname{sen}[k(x - vt)]$$

$$\xi(x, t) = A \operatorname{sen}\left[\frac{2\pi}{\lambda}(x - vt)\right]$$

$$\xi(x, t) = A \operatorname{sen}\left[2\pi\left(\frac{x}{\lambda} - \frac{t}{T}\right)\right]$$

$$\xi(x, t) = A \operatorname{sen}(kx - \omega t)$$

- Onda plana harmónica:

$$\xi(\vec{r}, t) = A \operatorname{sen}(\vec{k} \cdot \vec{r} - \omega t)$$

- Ecuación de ondas en 1D:

$$\frac{\partial^2 \xi(x, t)}{\partial t^2} = v^2 \frac{\partial^2 \xi(x, t)}{\partial x^2}$$

- Ecuación de ondas en 3D:

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

- Relaciones entre parámetros:

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \quad ; \quad k = \frac{2\pi}{\lambda}$$

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

*) ENERGÍA DA ONDA. INTENSIDADE. ATENUACIÓN. ABSORCIÓN

→ Medio Homoxéneo e Isótropo (HHI)

- DENSIDADE DE ENERGÍA:

Onda harmónica: $w = c \cdot A^2$

→ Onda Mecánica: $w_m = \frac{1}{2} \rho \omega^2 A^2$

→ Onda EM: $w_{EM} = \epsilon E^2 = \frac{1}{\mu} B^2$

- INTENSIDADE DA ONDA: Cantidade de enerxía que atravesa, por unidade de tempo, a unidade de superficie normal á dirección en 1 punto.

$$I = \frac{dE}{S dt}$$

$$[I] = W \cdot m^{-2}$$

onda harmónica: $I = c' \cdot A^2$

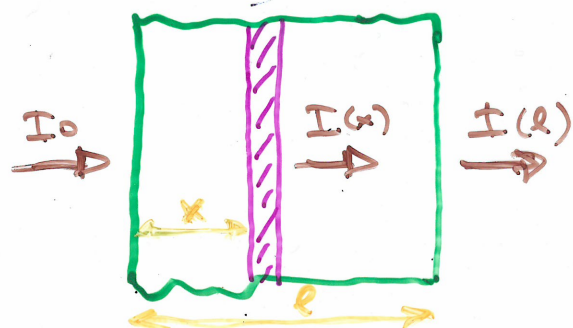
- ATENUACIÓN DA ONDA:

→ ondas esféricas: $\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2^2}{R_1^2}$ Harmónicas $\frac{A_1}{A_2} = \frac{R_2}{R_1}$

→ ondas cilíndricas: $\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_1}$

→ ondas planas: $I_1 = I_2 = cte$

- ABSORCIÓN DA ONDA:



$$I(x) = I_0 e^{-\beta x}$$

$\beta = \text{coef. absorción}$

OIDO HUMANO:

FII-12/97

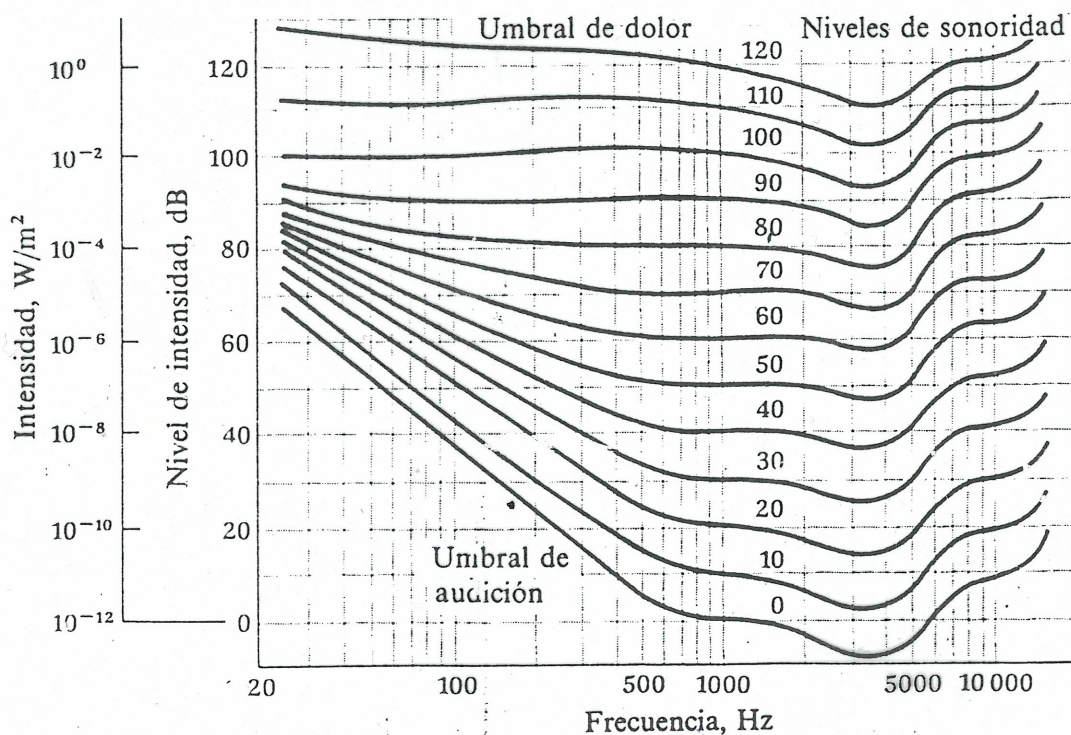
Nivel de intensidad: $\beta = 10 \cdot \log \frac{I}{I_0}$

$I \equiv$ Intensid. de son.

β midese en decibelios (dB)

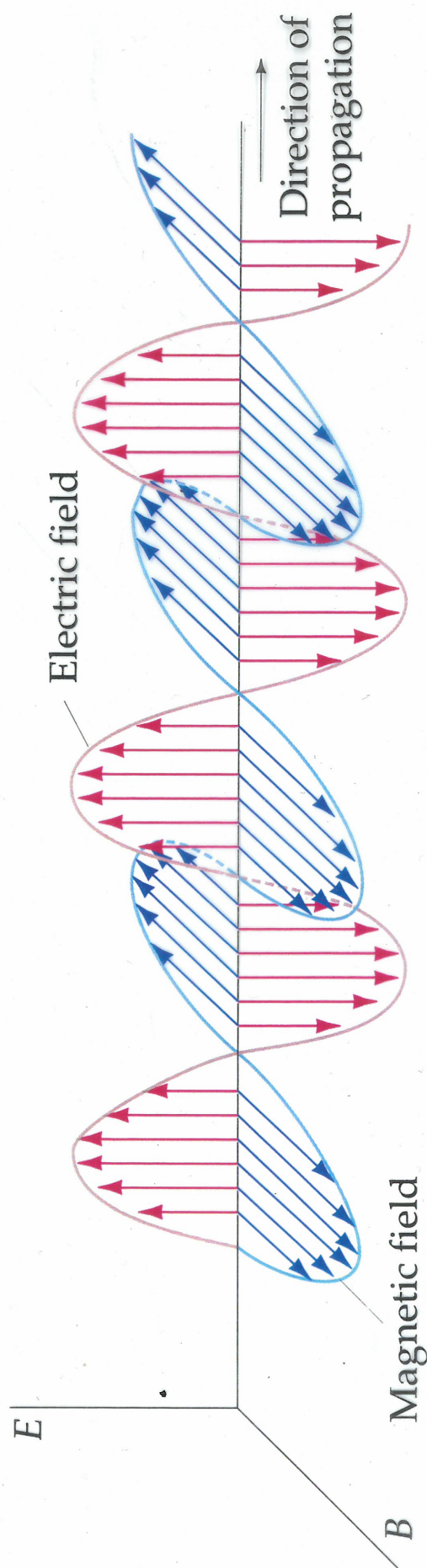
Tabla 14-1 Intensidad y nivel de intensidad sonora de algunos sonidos comunes
($I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$)

Fuente	I/I_0	dB	Descripción
	10^0	0	Umbral de audición
Respiración normal	10^1	10	Escasamente audible
Rumor de hojas	10^2	20	
Conversación en voz muy baja (a 5 m)	10^3	30	Apenas ruidoso
Biblioteca	10^4	40	
Oficina tranquila	10^5	50	Roco ruidoso
Conversación normal (a 1 m)	10^6	60	
Tráfico denso	10^7	70	
Oficina ruidosa con máquinas			
fábrica de tipo medio	10^8	80	
Camión pesado (a 15 m): Cataratas del Niágara	10^9	90	La exposición constante daña al oído
Tren de metro antiguo	10^{10}	100	
Ruido de construcción (a 3 m)	10^{11}	110	
Concierto de rock con amplificadores (a 2 m); despegue de un reactor (a 60 m)	10^{12}	120	Umbral de dolor
Remachadora neumática; ametralladora	10^{13}	130	
Despegue de un reactor (cercano)	10^{14}	150	
Motor de cohete grande (cercano)	10^{15}	180	



Intensidad y nivel de intensidad de algunos sonidos comunes, $I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$

Fuente de sonido	I/I_0	dB	Descripción
Respiración normal	10^0	0	Umbral de audición
Rumor de hojas	10^1	10	Escasamente audible
Murmullo suave (a 5 m)	10^2	20	
Biblioteca	10^3	30	Muy suave
Oficina tranquila	10^4	40	
Conversación normal (a 1 m)	10^5	50	Suave
Tráfico pesado	10^6	60	
Oficina ruidosa con máquinas de escribir; fábrica de tipo medio	10^7	70	
Camión pesado (a 15 m); Cataratas del Niágara	10^8	80	
Tren subterráneo	10^9	90	La exposición constante hace peligrar el oído
Ruido de una construcción (a 3 m)	10^{10}	100	
Concierto de rock con amplificadores (a 2 m); despegue de avión a reacción (a 60 m)	10^{11}	110	
Martillo neumático; ametralladora	10^{12}	120	<u>Umbral de dolor</u>
Despegue de avión a reacción (próximo)	10^{13}	130	
Motor cohete grande (próximo)	10^{14}	140	
	10^{15}	150	
	10^{16}	160	
	10^{17}	170	
	10^{18}	180	



Transparency 120

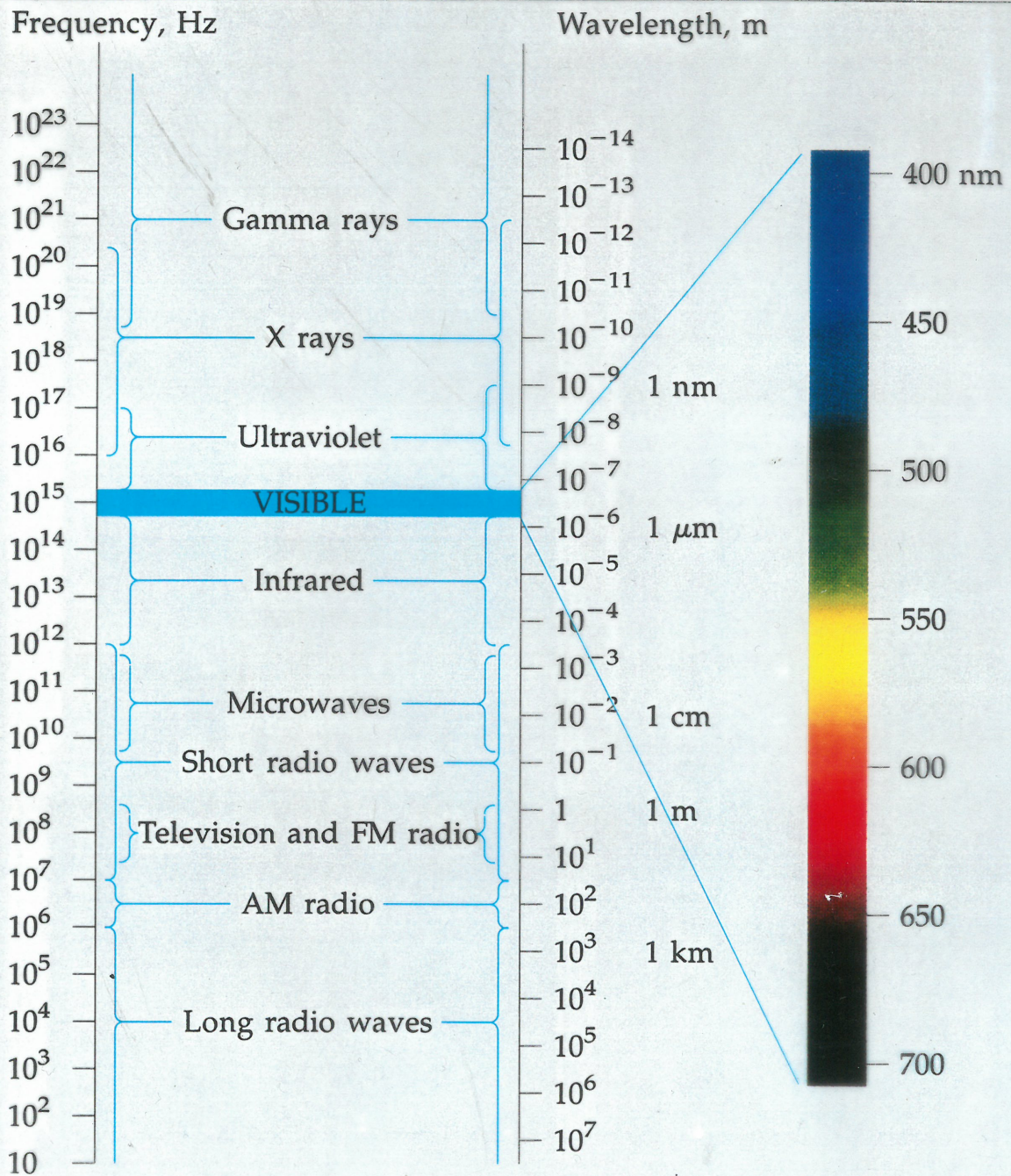
Figure 29-1, page 958

The electromagnetic spectrum

Tipler: Physics for Scientists and Engineers
Third Edition, Volume 2

Copyright ©1991 by Worth Publishers, Inc.

Table 29-1 The Electromagnetic Spectrum

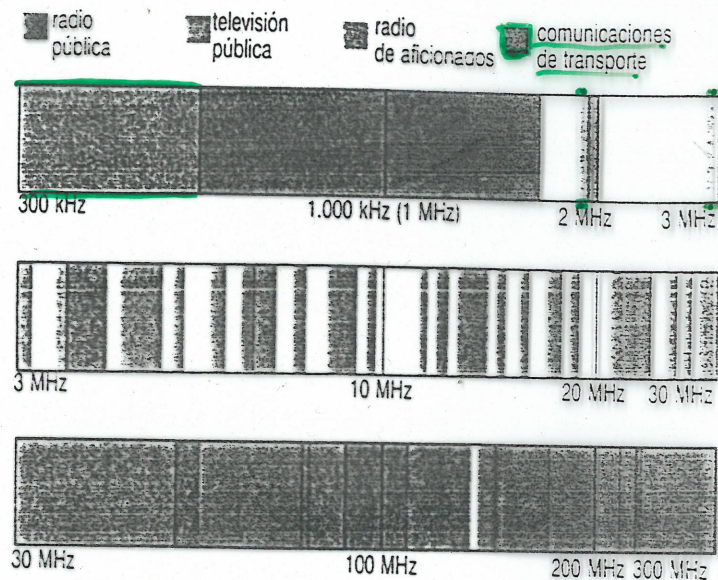


Ondas radioeléctricas

Las ondas radioeléctricas forman parte del espectro de las ondas electromagnéticas. Dentro del mismo grupo de ondas radioeléctricas hay una gama amplia (un espectro) de frecuencias y propiedades de dichas ondas.

Las ondas radioeléctricas de frecuencias diferentes tienen propiedades diferentes y por eso las ondas de una sección tienen propiedades diferentes de las de otras secciones.

Cada parte del espectro de las ondas radioeléctricas tiene unas ventajas respecto a las otras partes. Estas ventajas determinan el uso primordial de esa parte concreta del espectro.



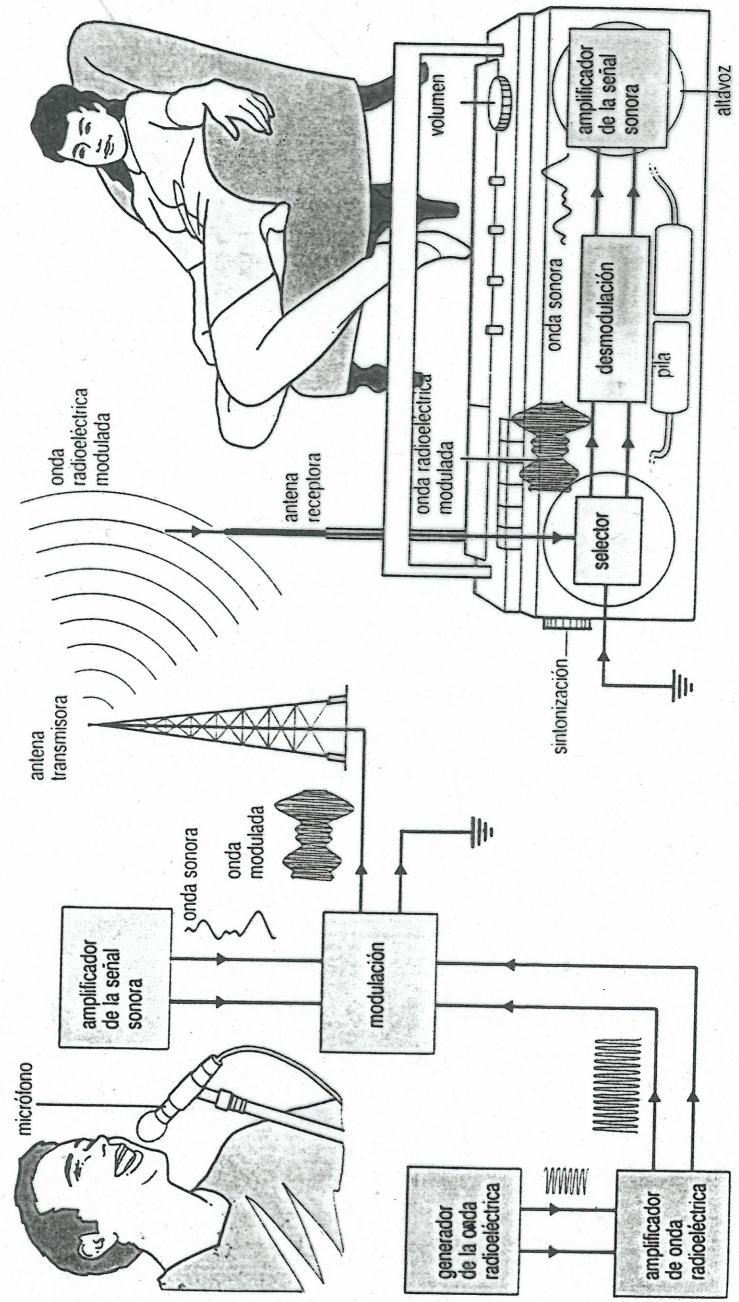
Banda de frecuencias	Denominación de la frecuencia	Longitud de ondas (m)	Denominación de las ondas	Alcance aprox. (km)	Usos más importantes
30 Hz-3 kHz	sumamente baja ELF	> 100.000			enlaces con submarinos
3-30 kHz	muy baja VLF	100.000-10.000		> 1.500	flota de largo alcance, para uso del ejército
30-300 kHz	baja, LF	10.000-1.000	onda larga	> 1.500	flota de largo alcance para uso del ejército
300 kHz-3MHz	media, MF	1.000-100	onda media	< 1.500	radiodifusiones sonoras
3-30 MHz	alta, HF	100-10	onda corta	mundial	radiodifusiones sonoras
30-300 MHz	muy alta VHF	10-1	onda ultracorta	sólo más allá del horizonte	sonido de alta calidad
300-3.000 MHz	sumamente alta UHF	1-0,1		horizonte	enlace por televisión o móvil
> 3.000 MHz		< 0,1	microondas	36.000	enlaces por microondas, e.g. para satélites

Una división del espectro de las ondas radioeléctricas.

nd
del
ien
F sc
qu
a s
un

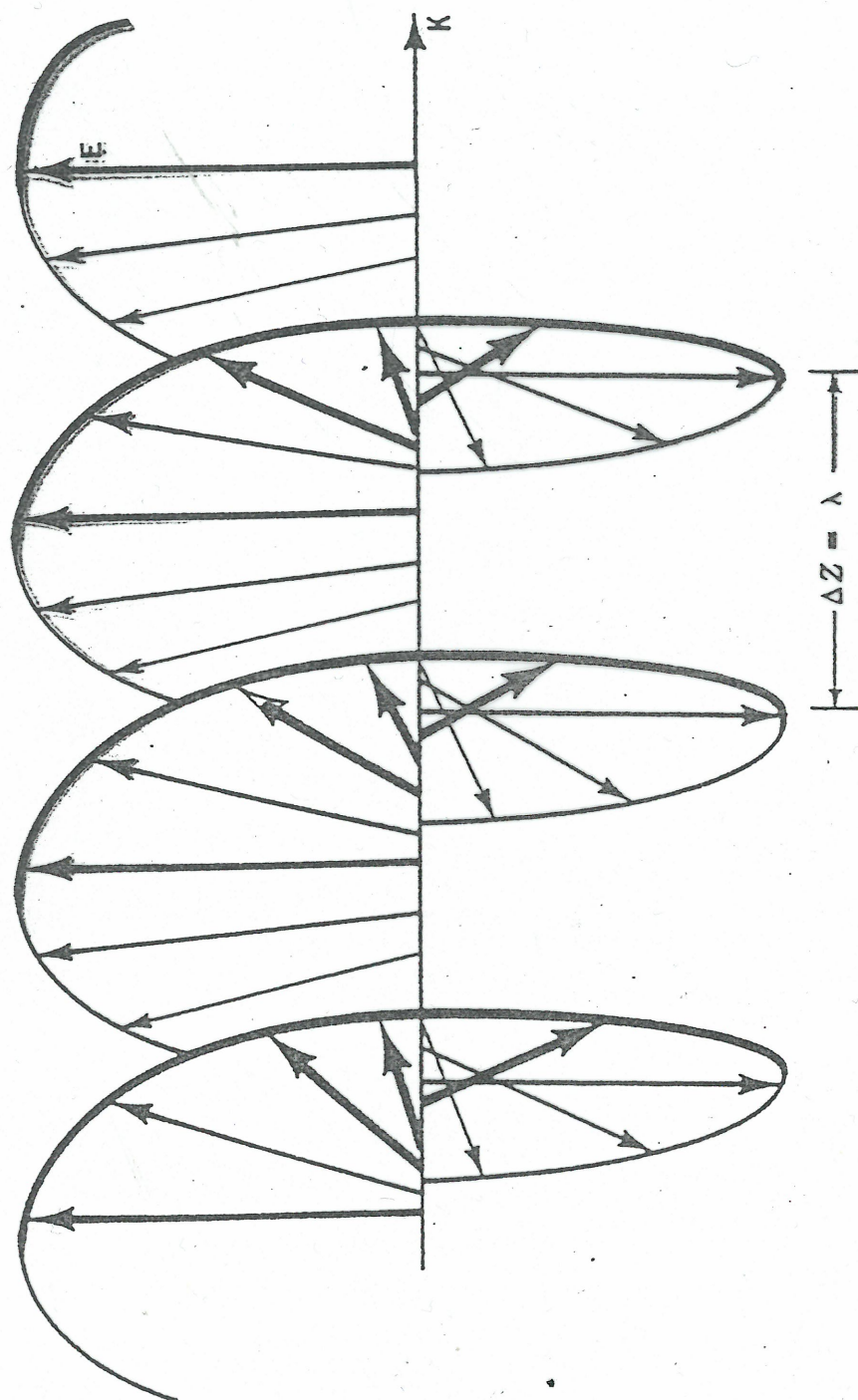
que la luz, se despla
Muchas emisoras de
AM como de FM. E
dias y largas y el m
en ondas de frecuer
gente con receptores
del país a donde no
También proporcionar
a otros con receptor

El silencio es oro
Las ondas radioeléct
detectarlas los seres
cio (a no ser que te



El funcionamiento de un receptor de radio

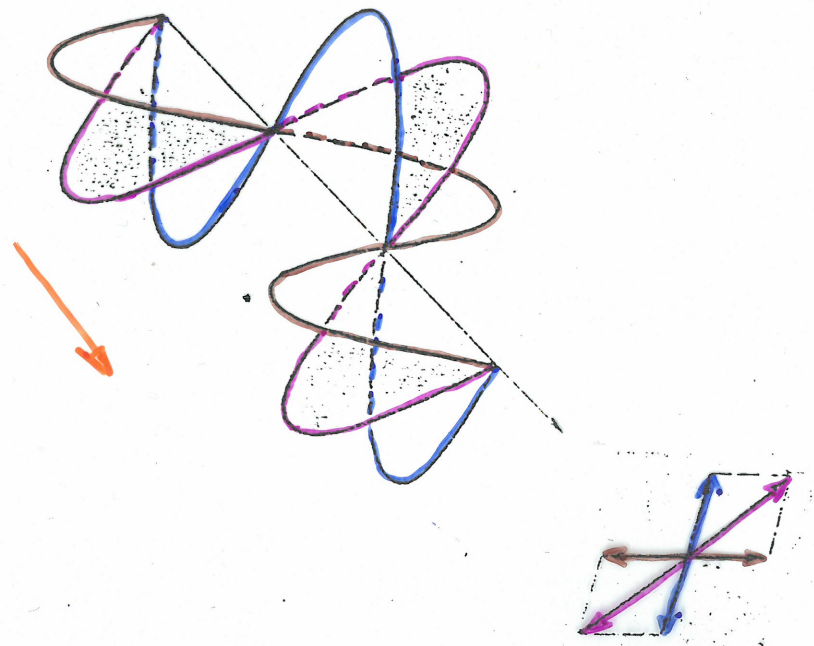
- Polarización Circular:



-POLARIZACIÓN LINEAR:

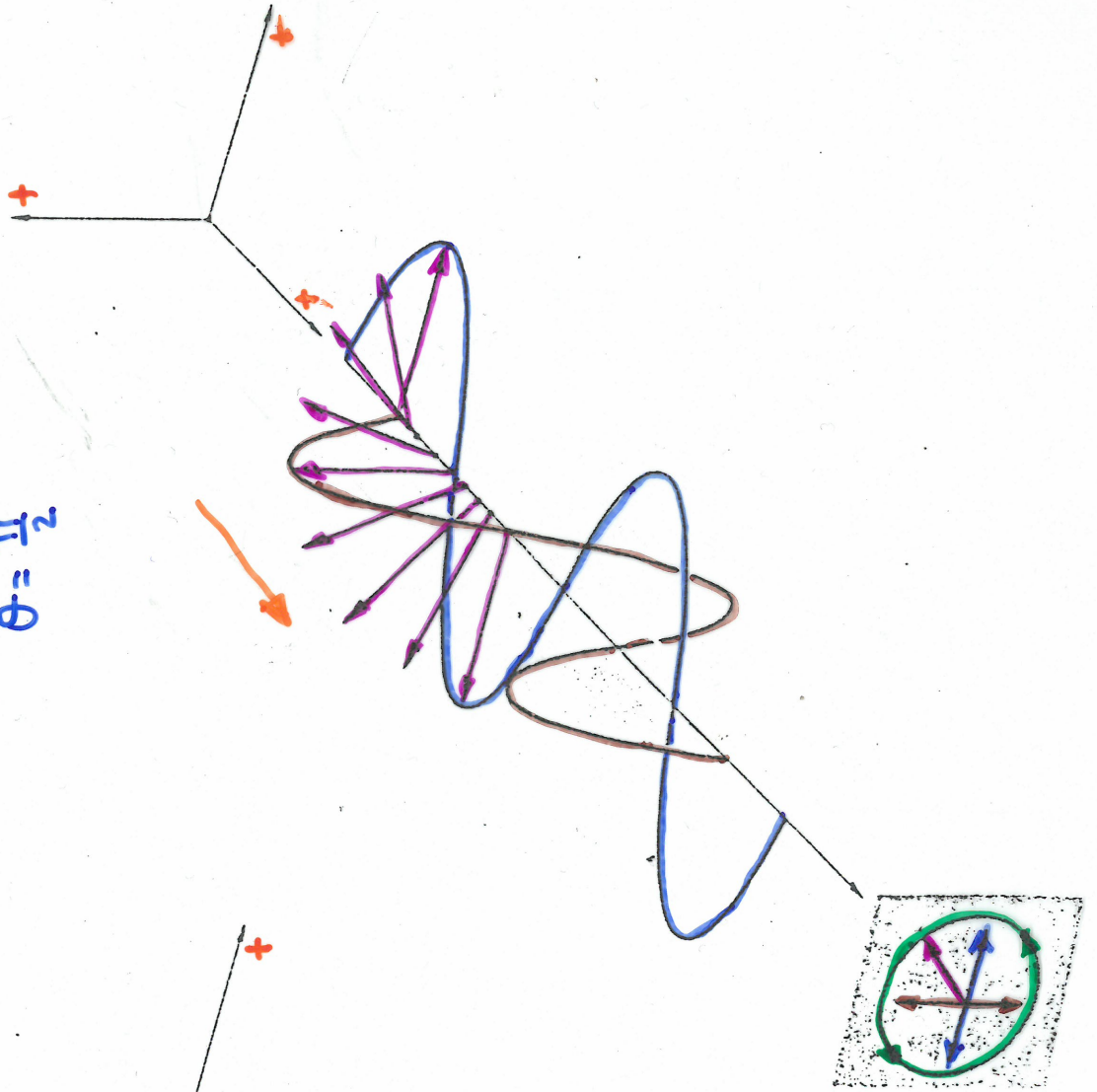
EN "OPPOSICIÓN DE FASE"

$$\theta = \pi$$

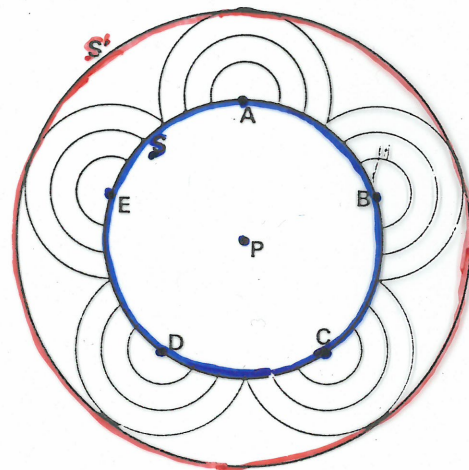
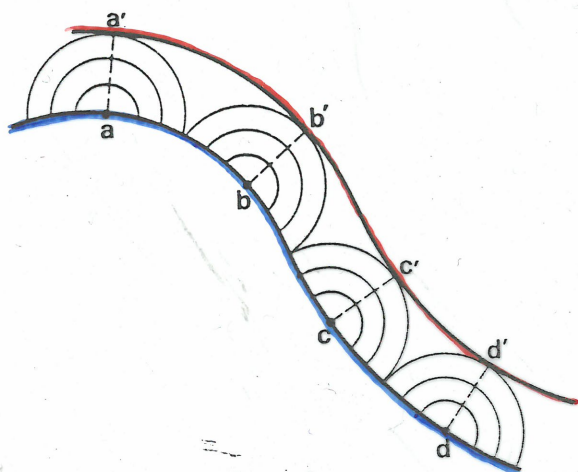


-POLARIZACIÓN CIRCULAR:

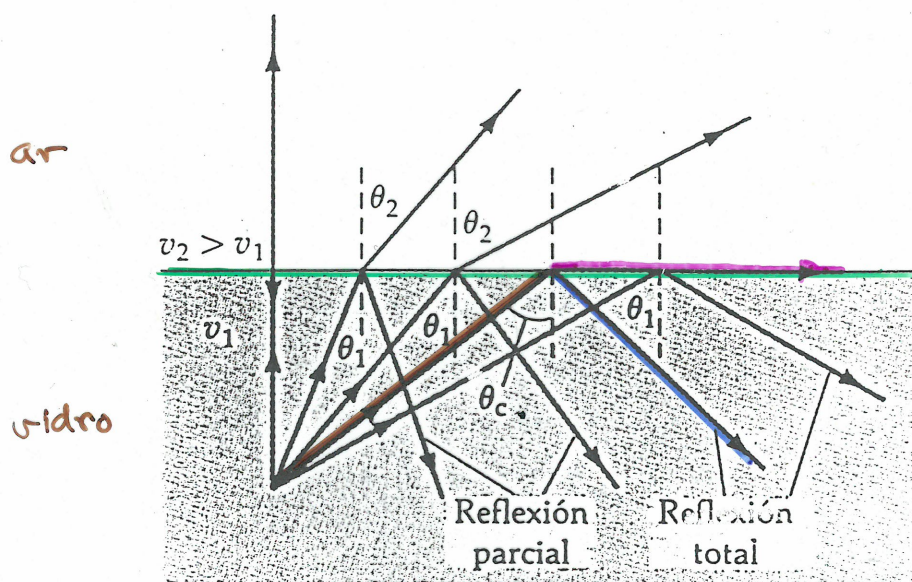
$$\theta = \frac{\pi}{2}$$



*1) Construcción de Huygens



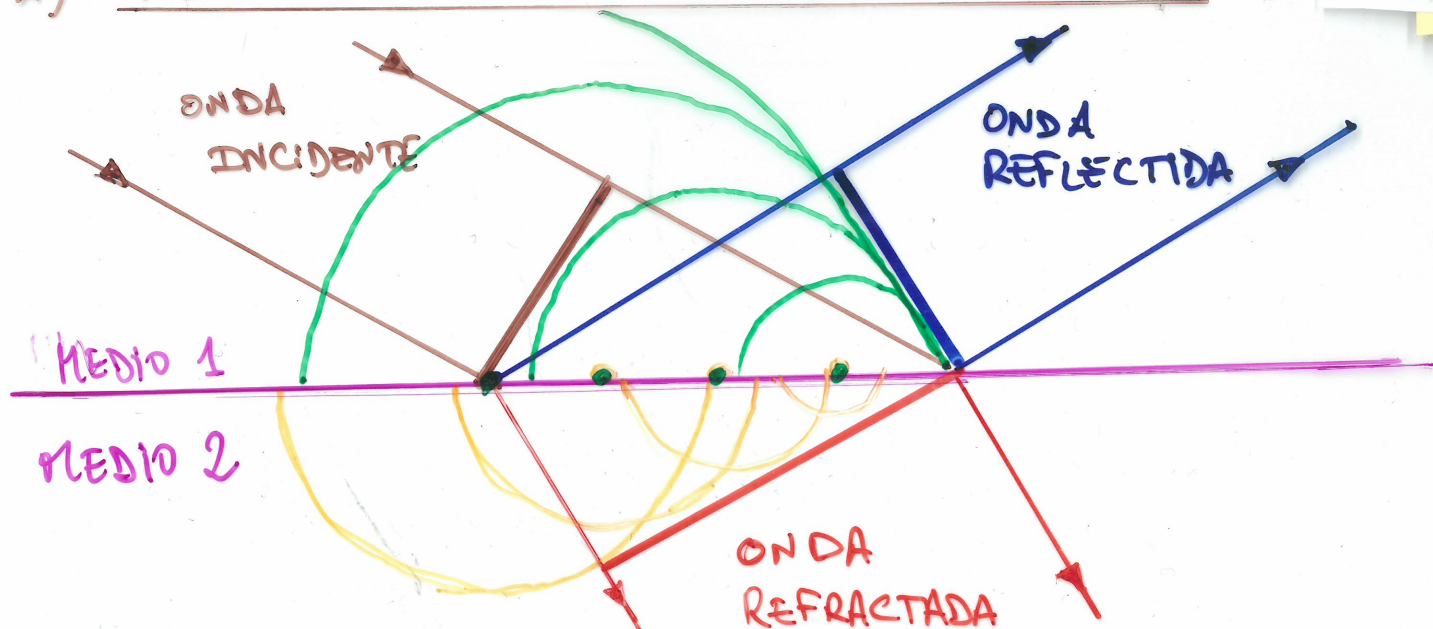
*2) Reflexión total interna



Para $\theta_i > \theta_c$ no existe rayo refractado.
Toda la energía reflectise.

*) REFLEXIÓN E REFRACCIÓN DE ONDAS

FII-40/97



*) REFLEXIÓN E REFRACCIÓN DE ONDAS PLANAS

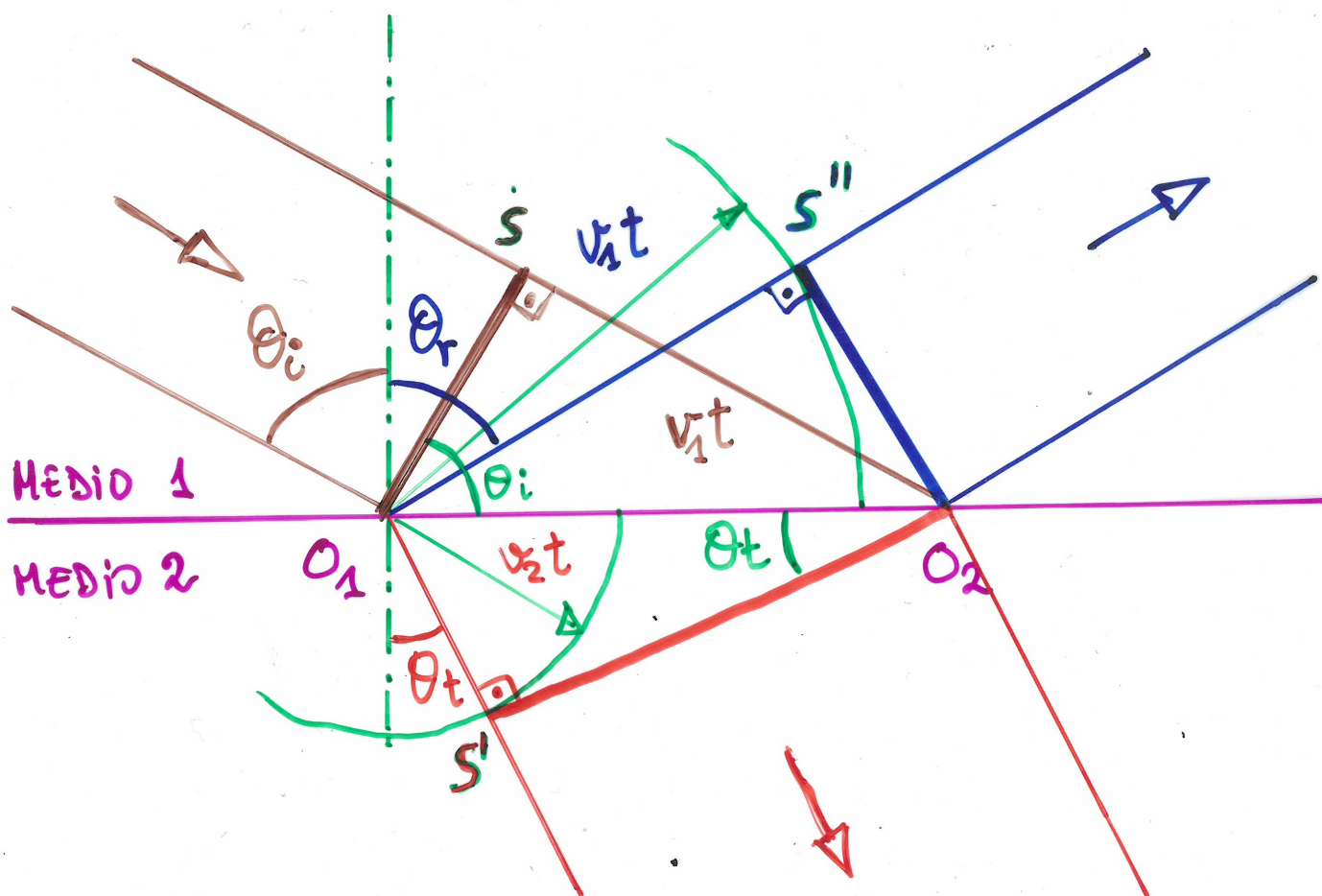
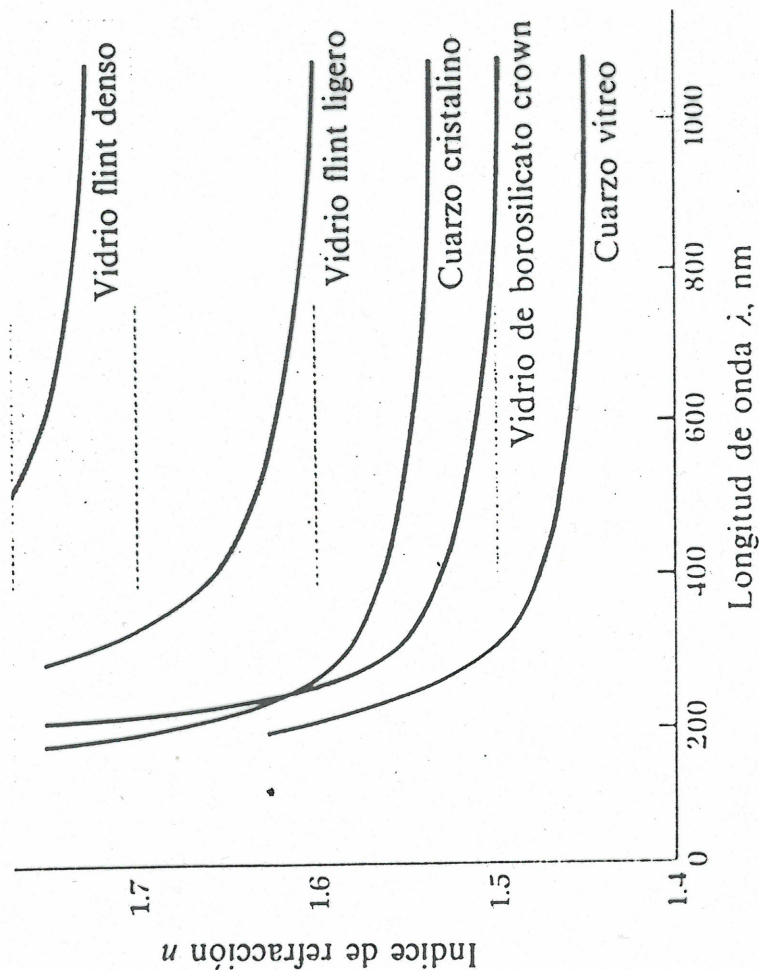


Tabla 35.1. Índice de refracción aproximado para varios compuestos

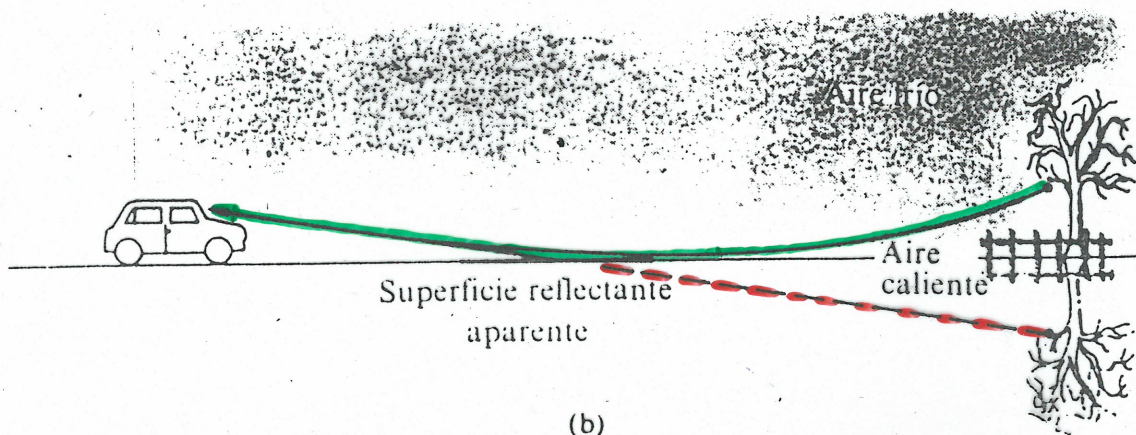
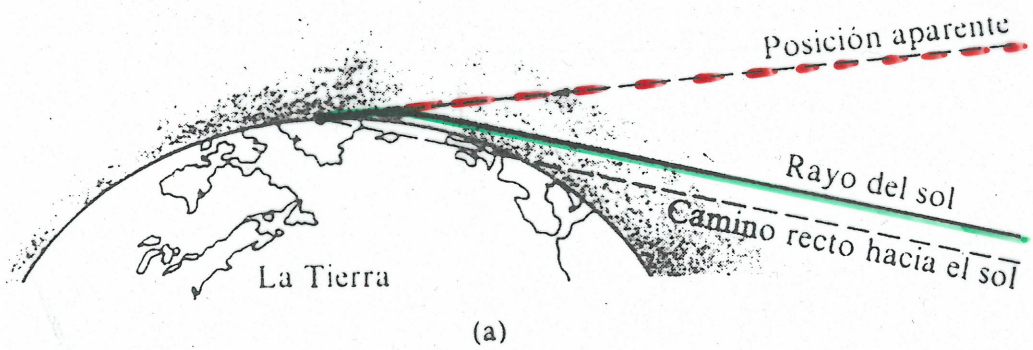
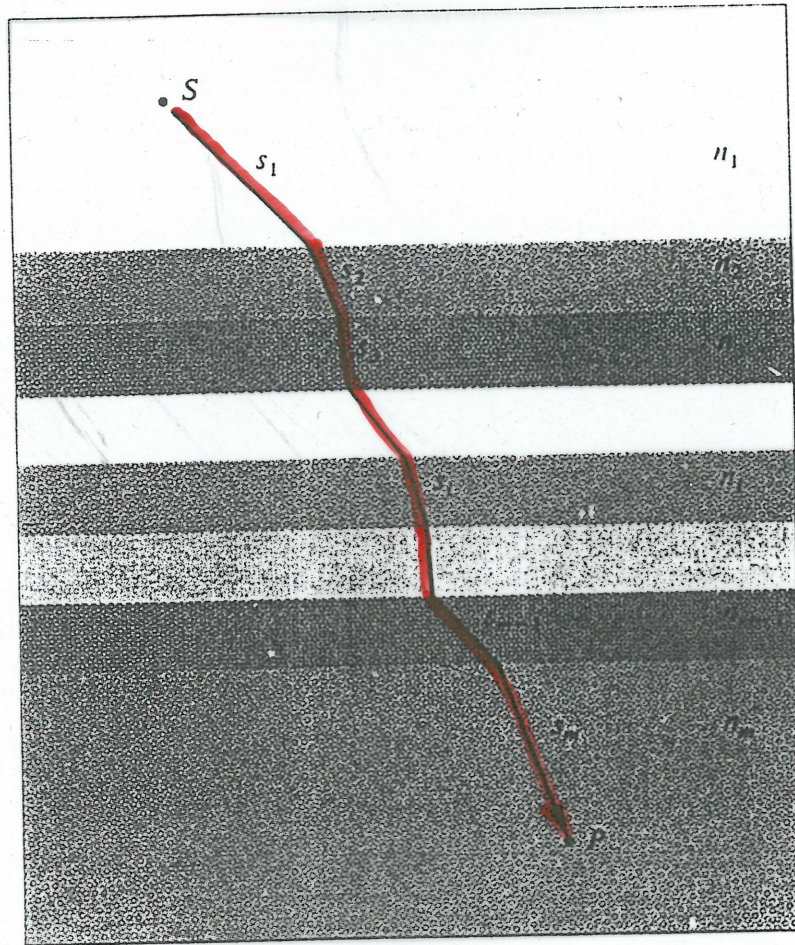
Compuestos	n^*
Gases (a 0 °C)	
Aire	1.000293
Amoniaco	1.000376
Dióxido de carbono	1.000451
Cloro	1.000773
Hidrógeno	1.000132
Metano	1.000444
Dióxido de azufre	1.000686
Líquidos	
Benceno	1.501
Sulfuro de carbono	1.625
Etanol	1.362
Metanol	1.329
Ioduro de metileno	1.726
Agua	1.333
Sólidos	
Zafiro, rubi (Al_2O_3)	1.767
Diamante	2.417
Vidrios:	
Cuarzo fundido	1.458
Cal de soda	1.512
Pyrex	1.474
Flint denso	1.655
Hielo (0 °C)	1.310
Lúcita plástica	1.491
Rutilo, E (470 nm)	3.095
Sal (NaCl)	1.544

* Valores a temperatura ambiente y presión atmosférica para luz de longitud de onda 589 nm, salvo en los casos indicados.

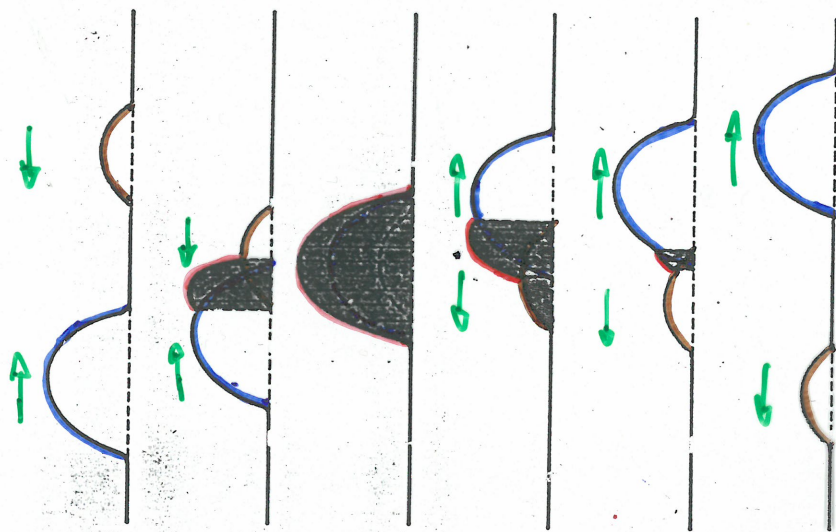


PRINCIPIO DE FERMAT:

T32/94



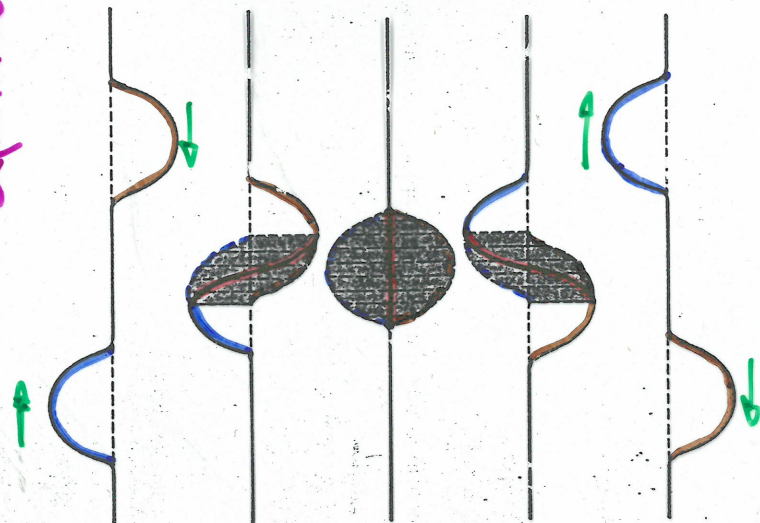
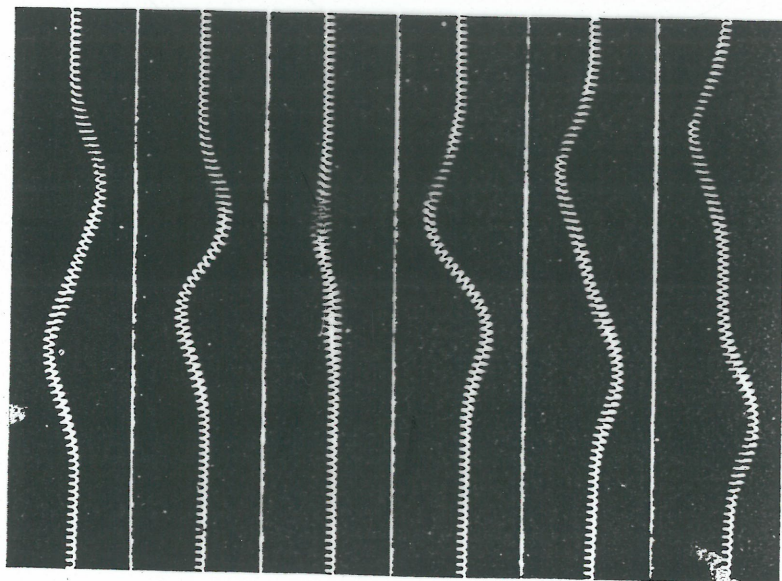
Principio de Superposición:



Int. Constructiva

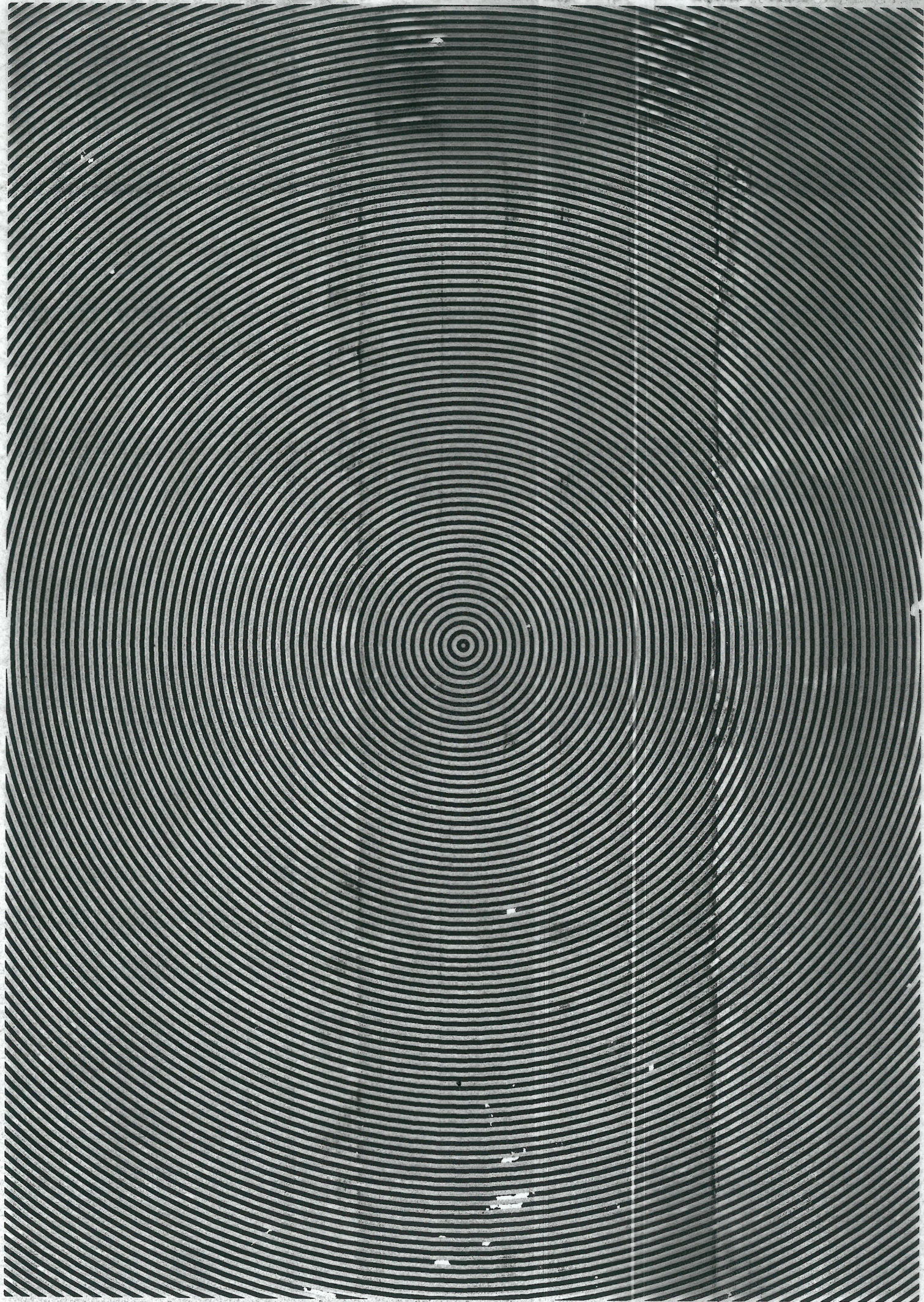
(a perturb. resultante supón un reforte)

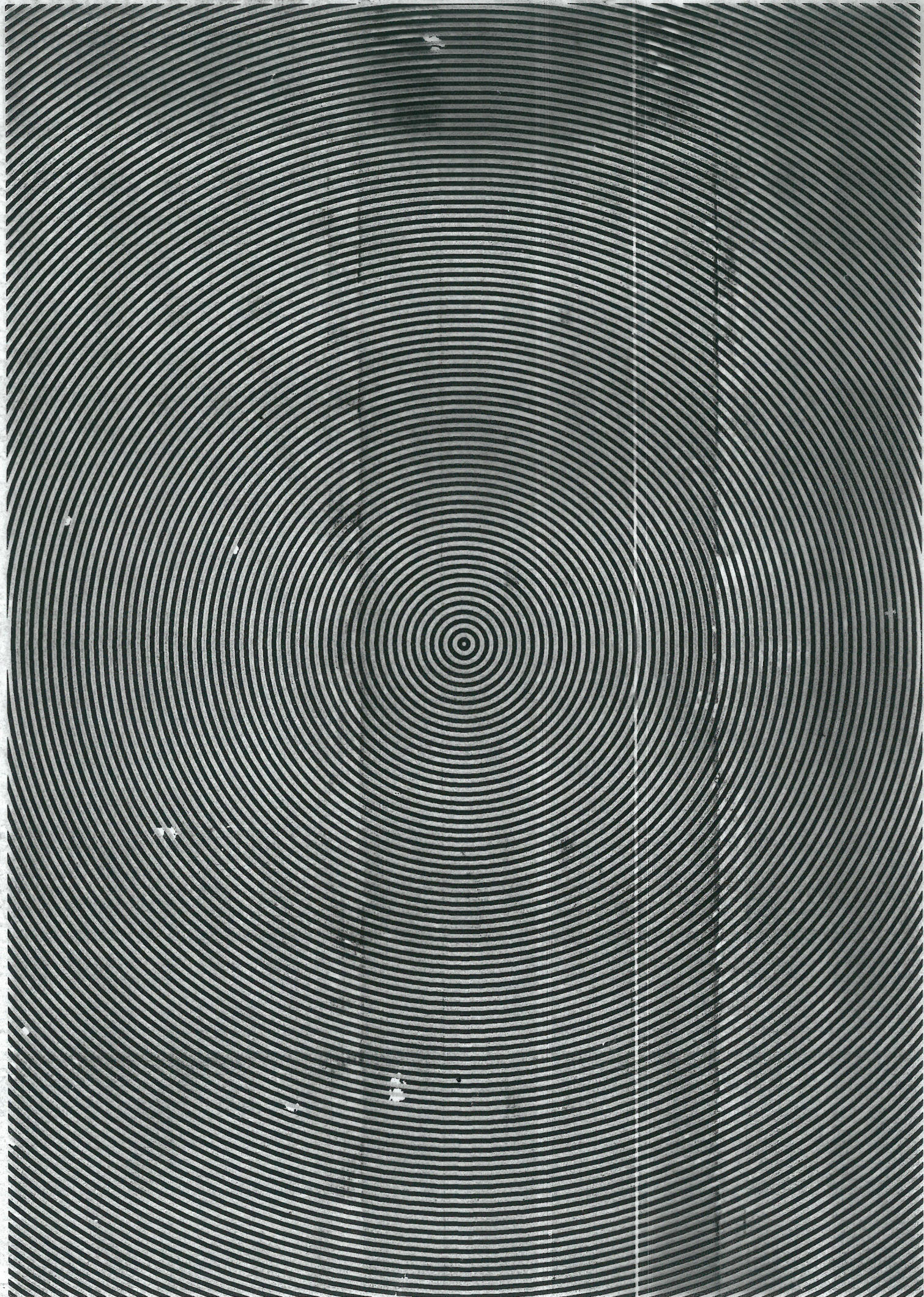
"Cando dúas ou máis ondas se propagan nunha mesma rexión do espazo se atopan, a perturbación resultante é simplemente a suma das perturbacións que se producían por separado."

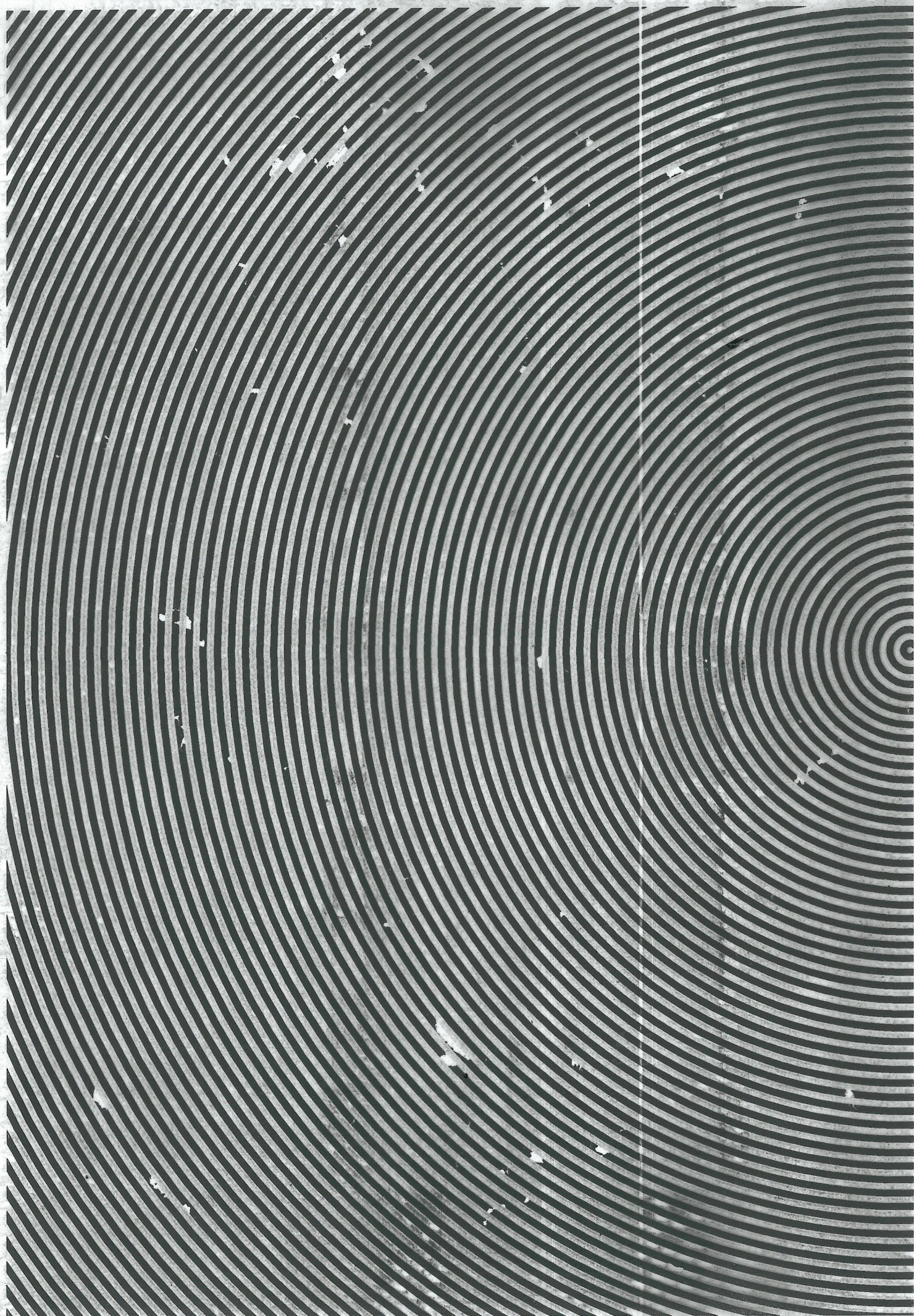


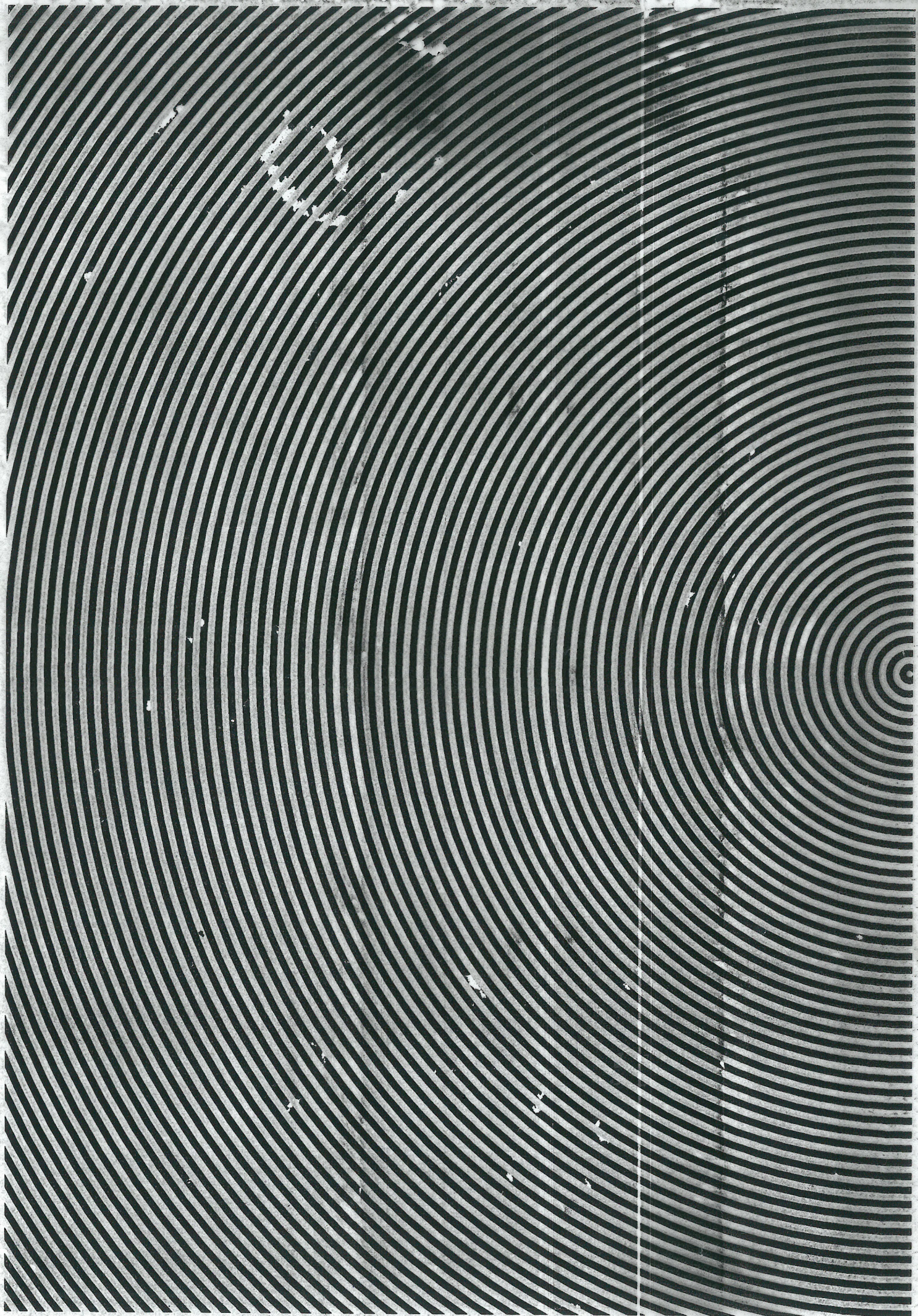
Int. destructiva

(a perturbación resultante é menor cás orixinais)

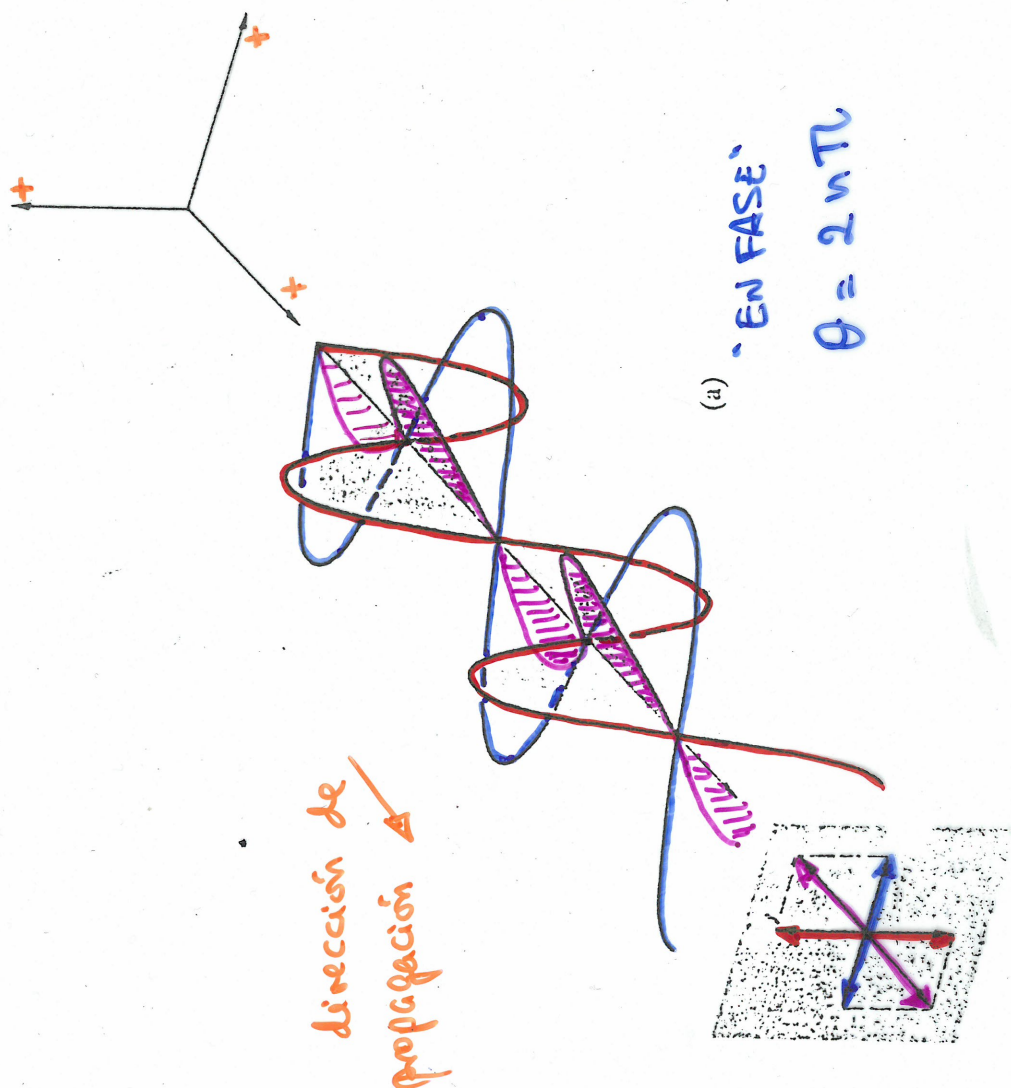




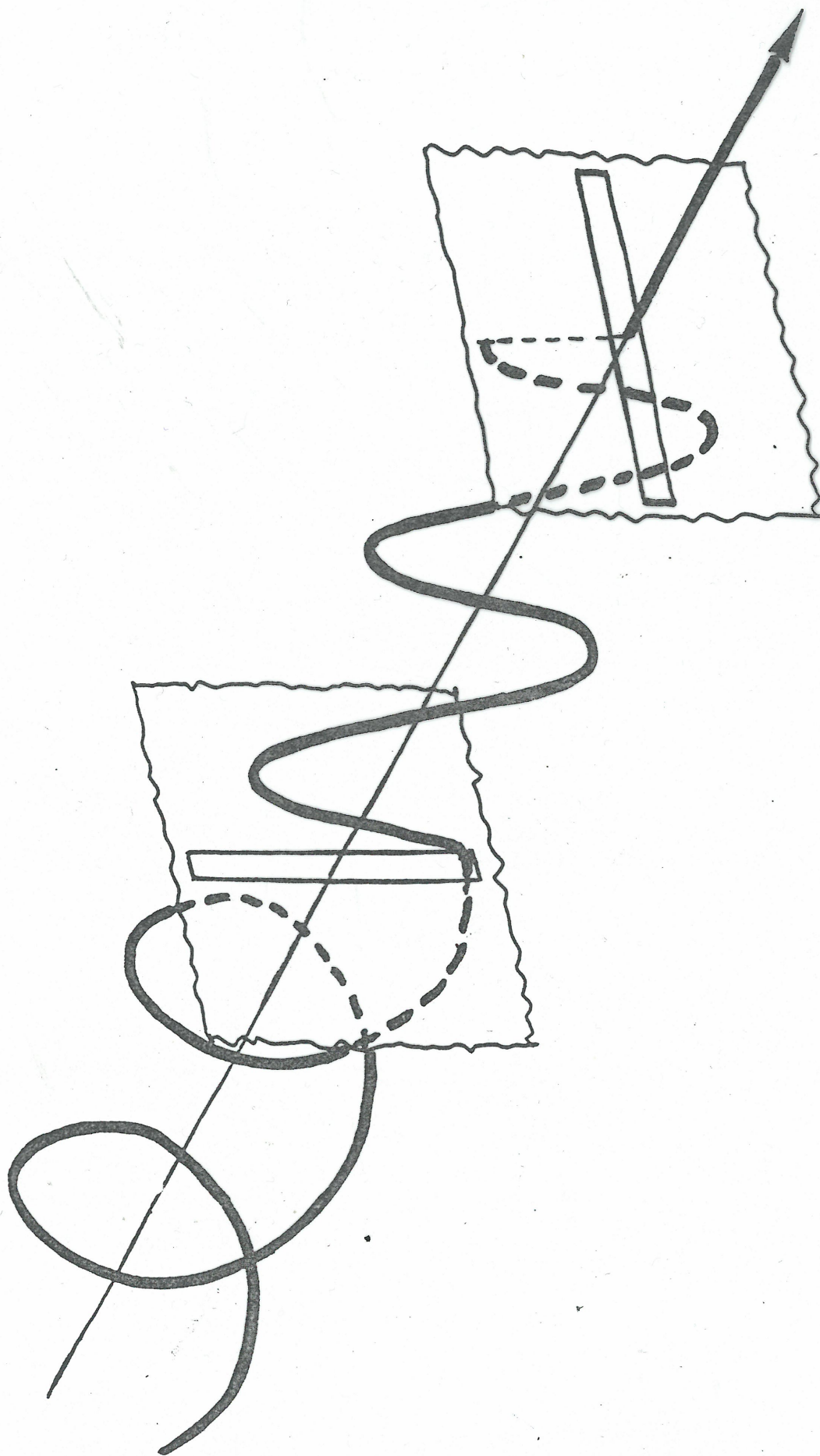




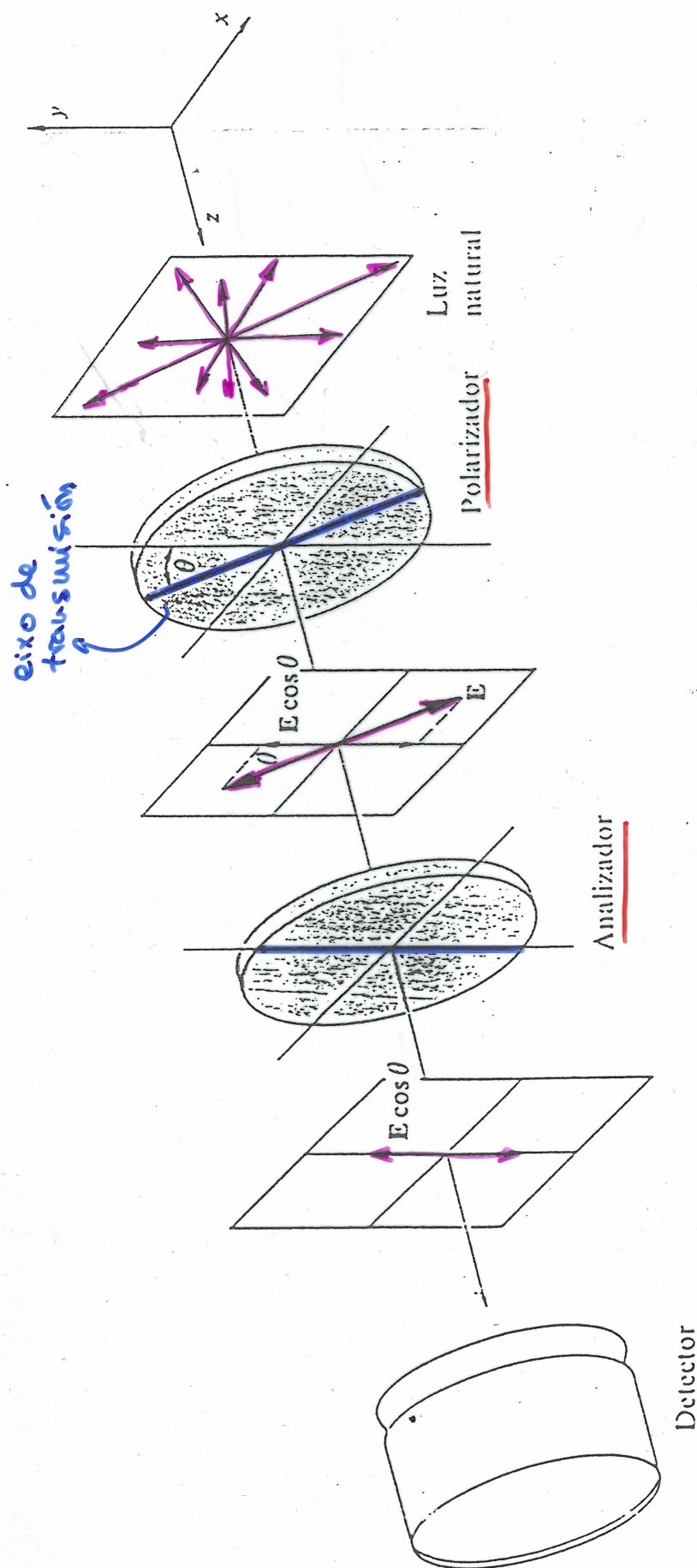
POLARIZACIÓN LINEAR:



- POLARIZACIÓN DE ONDAS TRANSVERSAS EN CORDAS MEDIANTE FENDAS:



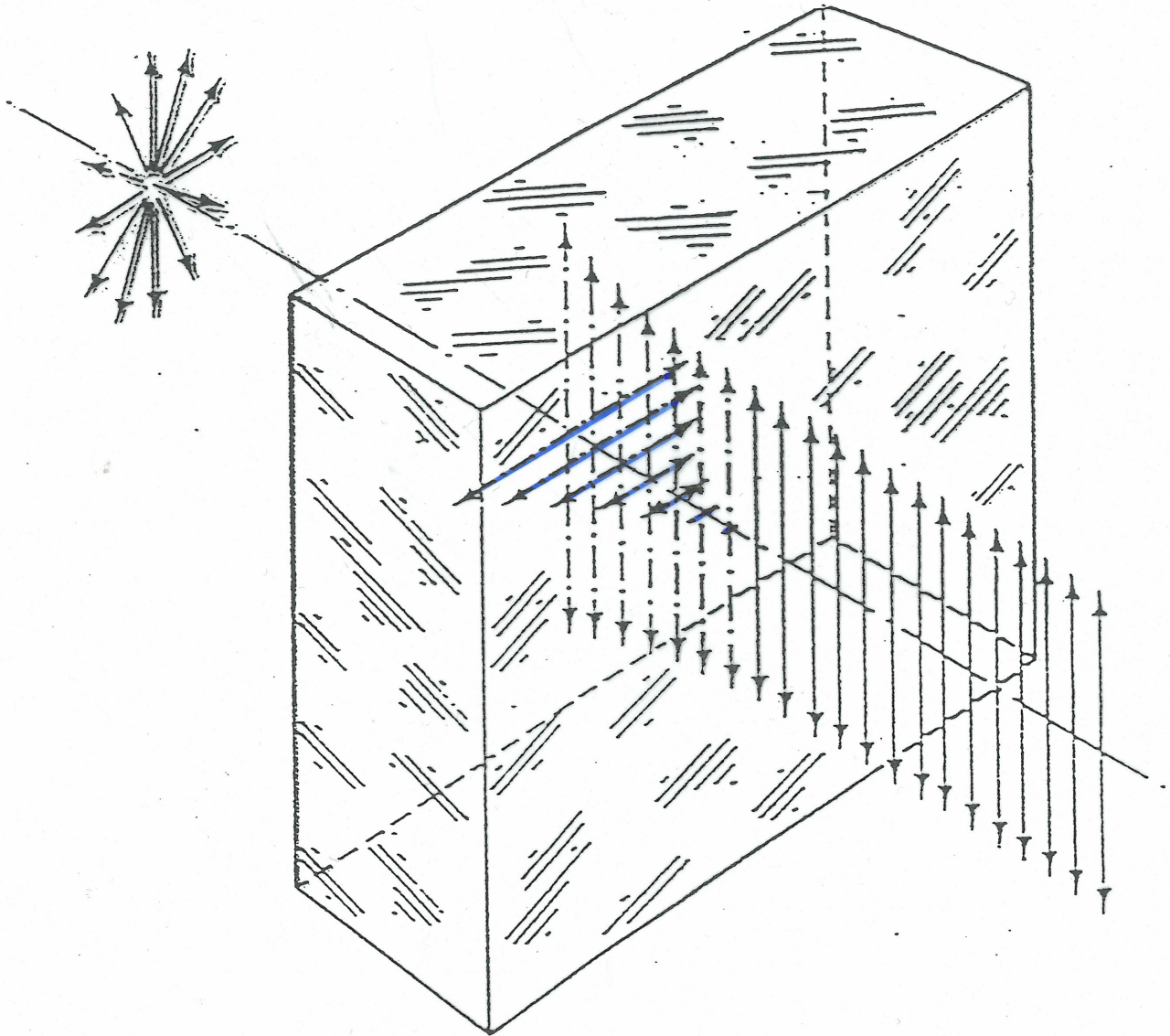
LEI DE MALUS:



$$I(\theta) = I_0 \cos^2 \theta$$

$$E_{\text{tr}}(\theta) = E_0 \cos \theta \Rightarrow$$

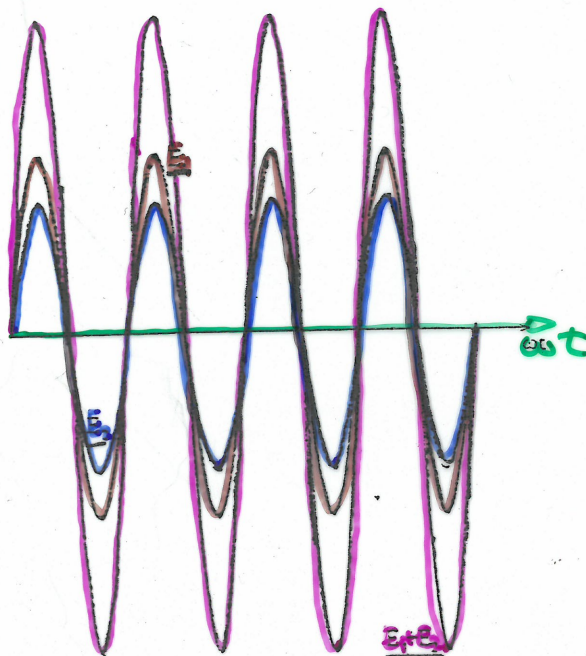
► POLARIZADOR DE CRISTAL DICROICO.



*) INTERFERENCIA DE DUAS ONDAS EM
UN PUNTO

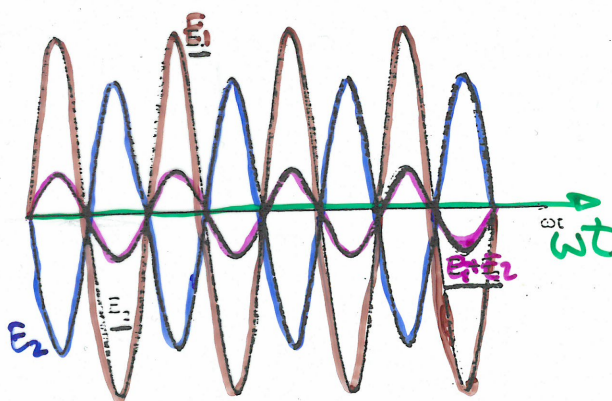
INTERFERENCIA CONSTRUCTIVA

$$\phi_1 - \phi_2 = 2m\pi$$



INTERFERENCIA DESTRUCTIVA

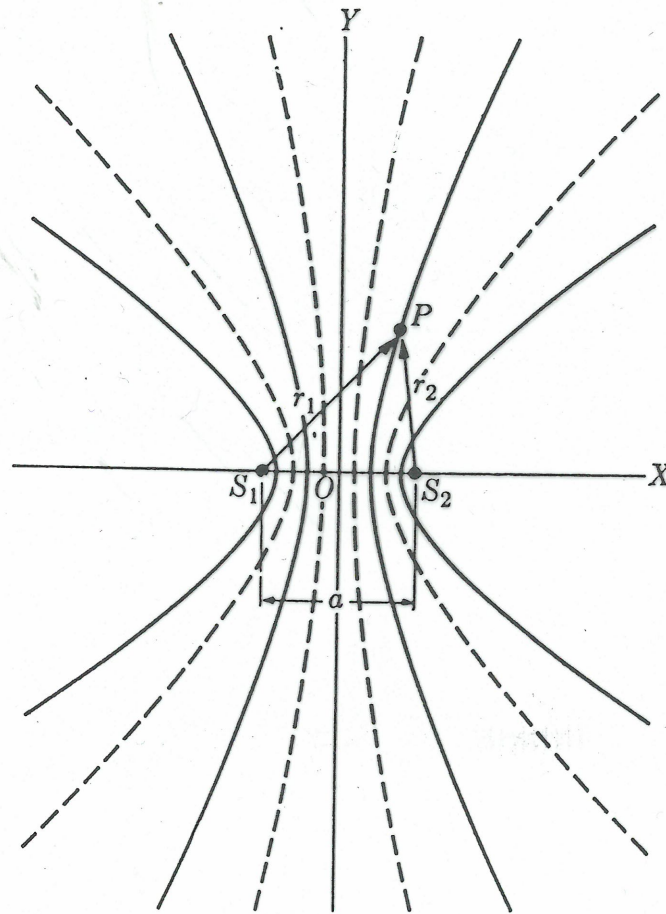
$$\phi_1 - \phi_2 = (2m+1)\pi$$



*) INTERFERÊNCIA DE DUAS ONDAS

- LINHAS VENTRAIS E NODAIS RESULTADO DA INTERFERÊNCIA

2D
 $\Downarrow$
 hipérbolas



$$r_1 - r_2 = \text{cte}$$

• Interf. Constructive

$$r_1 - r_2 = n\lambda$$

(ventres)

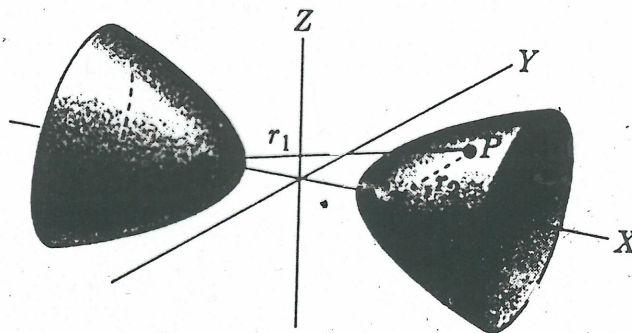
• Interf. destruct.

$$r_1 - r_2 = (2n+1)\frac{\lambda}{2}$$

($n \in \mathbb{Z}$) (nodos)

- SUPERFÍCIES:

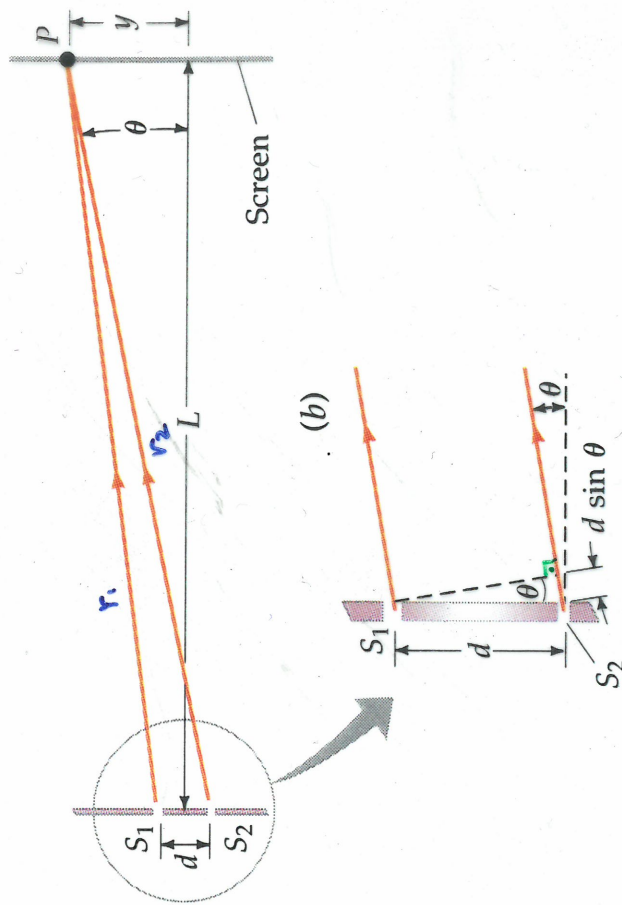
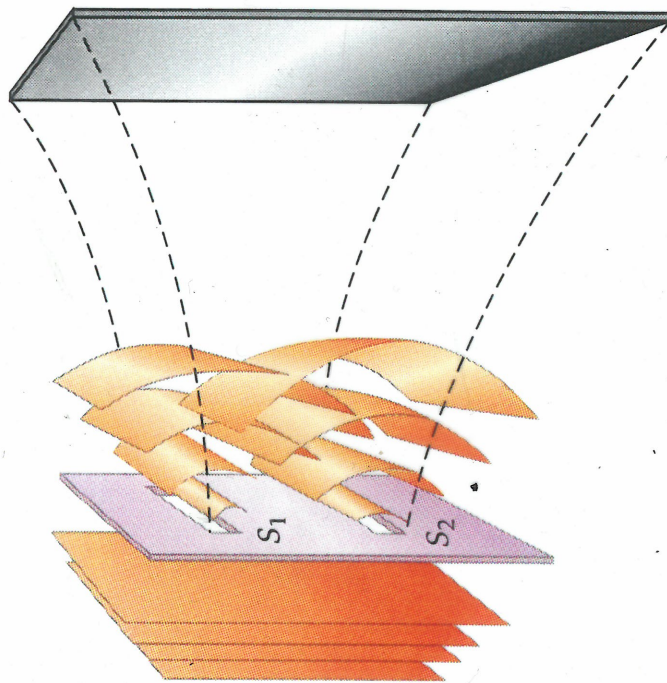
3D
 $\Downarrow$
 hiperboloides



* EXPERIMENTO DE JOUNG DA DOBLE FENDA:

Transparency 132

Figure 33-8, page 1069, Figure 33-9, page 1070
 Geometry for relating path differences to separation of two slits (top) and graph of intensity versus $\sin \theta$ two-slit interference (bottom)

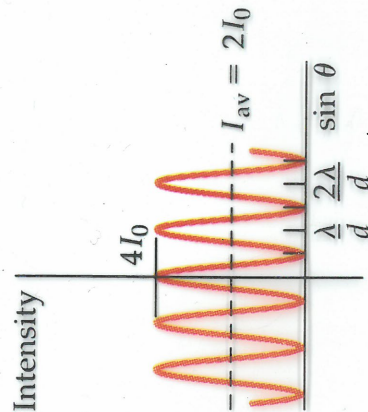


Se $L \gg d$: $r_2 - r_1 = d \sin \theta$

$$I_p = 4I_0 \cos^2 \left(\frac{\pi d \sin \theta}{\lambda} \right)$$

$I_{\max} = 4I_0$, se $\frac{d \sin \theta}{\lambda} = n$

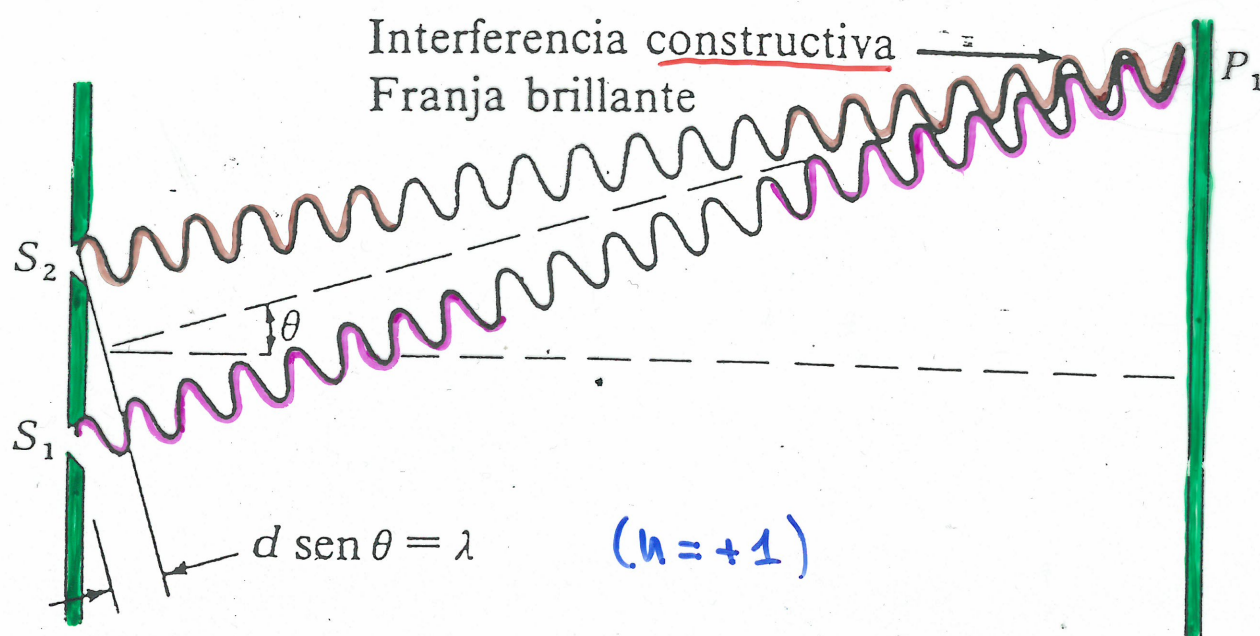
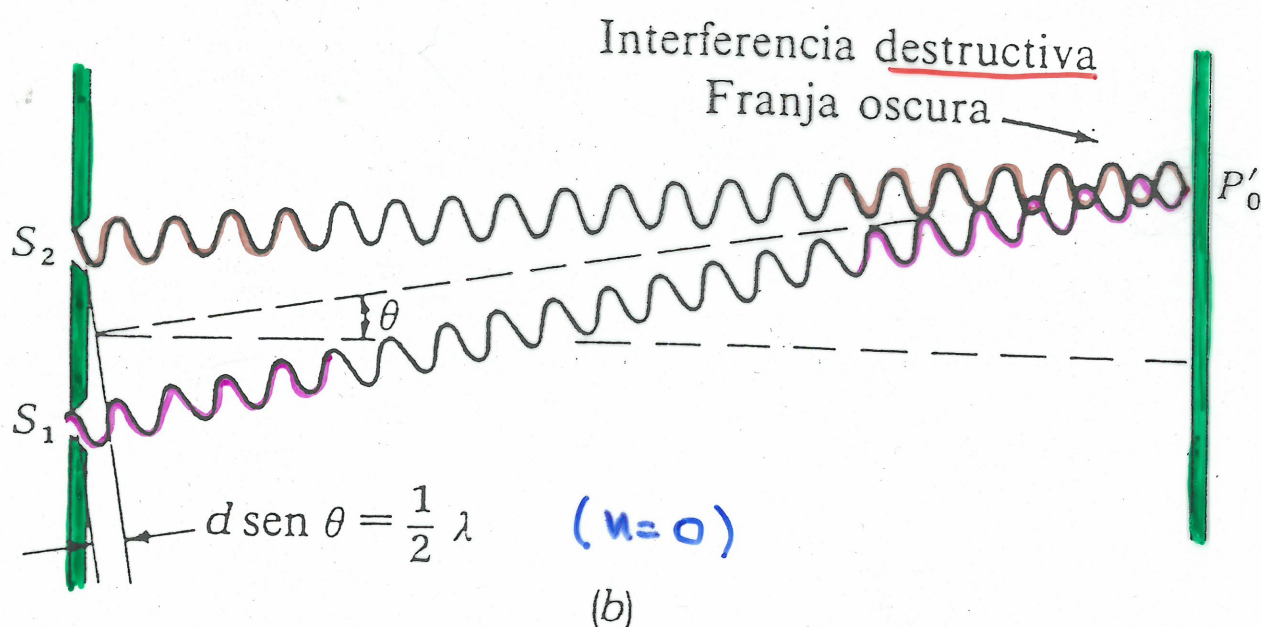
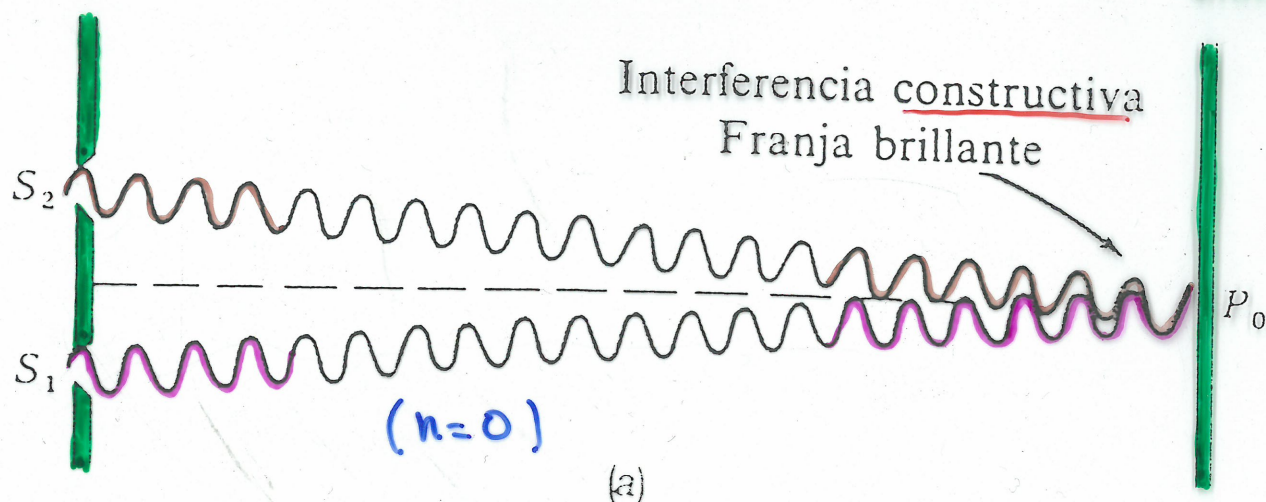
$I_{\min} = 0$, se $\frac{d \sin \theta}{\lambda} = \frac{2n+1}{2}$ ($n \in \mathbb{Z}$)



*) EXPERIMENTO DE YOUNG DA DOBRE FENDA

FII-49/97

(1801)



• CONSTRUCTIVA :

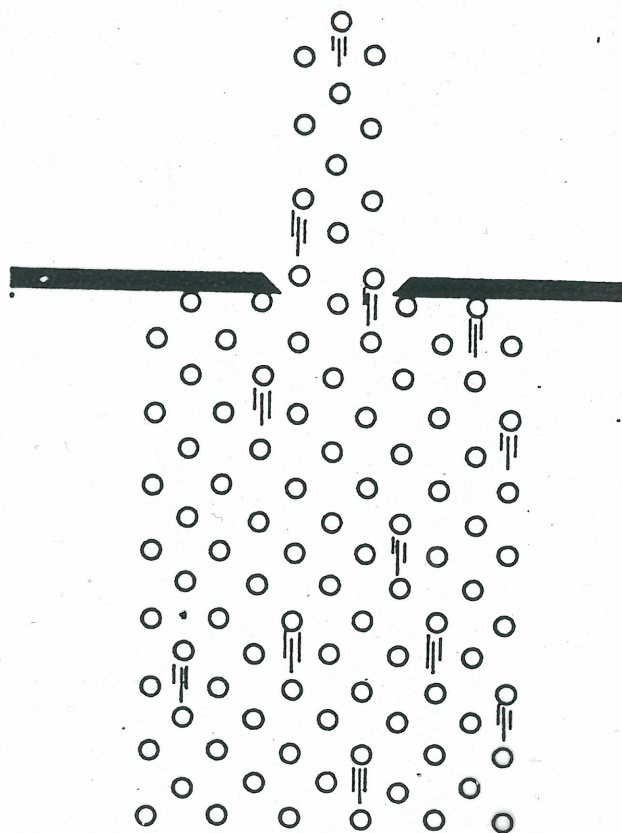
$(n \in \mathbb{Z}) \quad \sin \theta = n \frac{\lambda}{d}$

• DESTRUTIVA

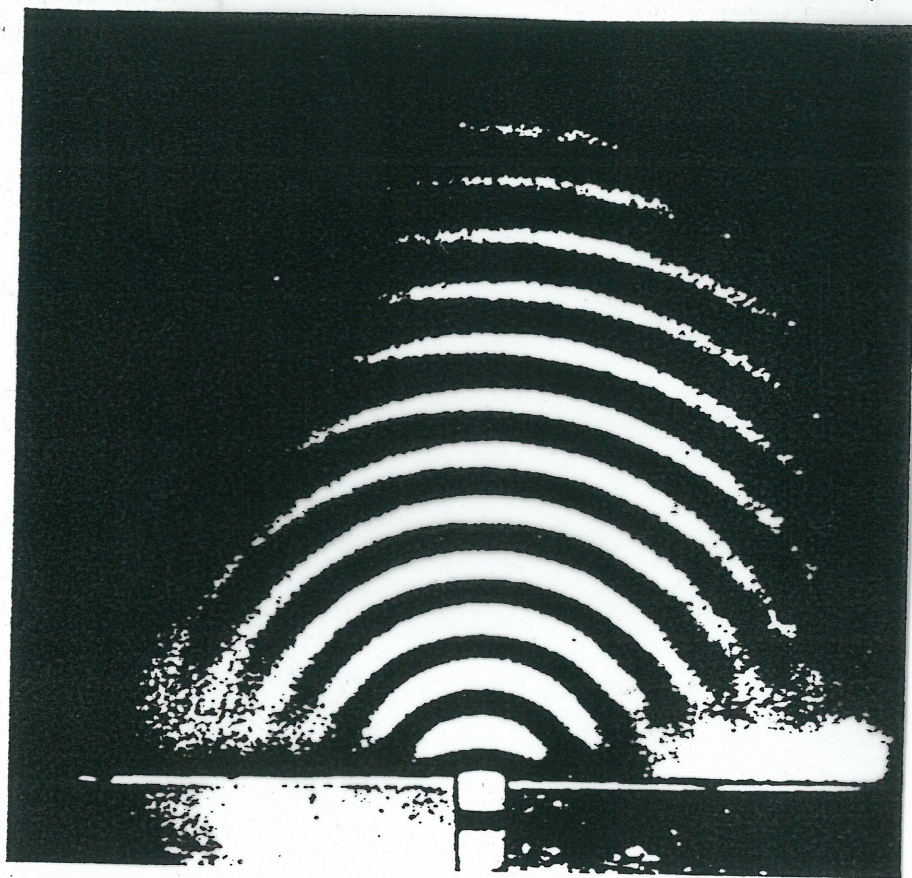
$\sin \theta = \frac{2n+1}{2} \frac{\lambda}{d}$

*/ Incidencia sobre una pantalla que ten una pequena abertura

• Comportamento
corpuscular



• Comportamento de ondas



* DIFRACCIÓN POR UNA ABERTURA:

Transparency 135

Figure 33-19, page 1076

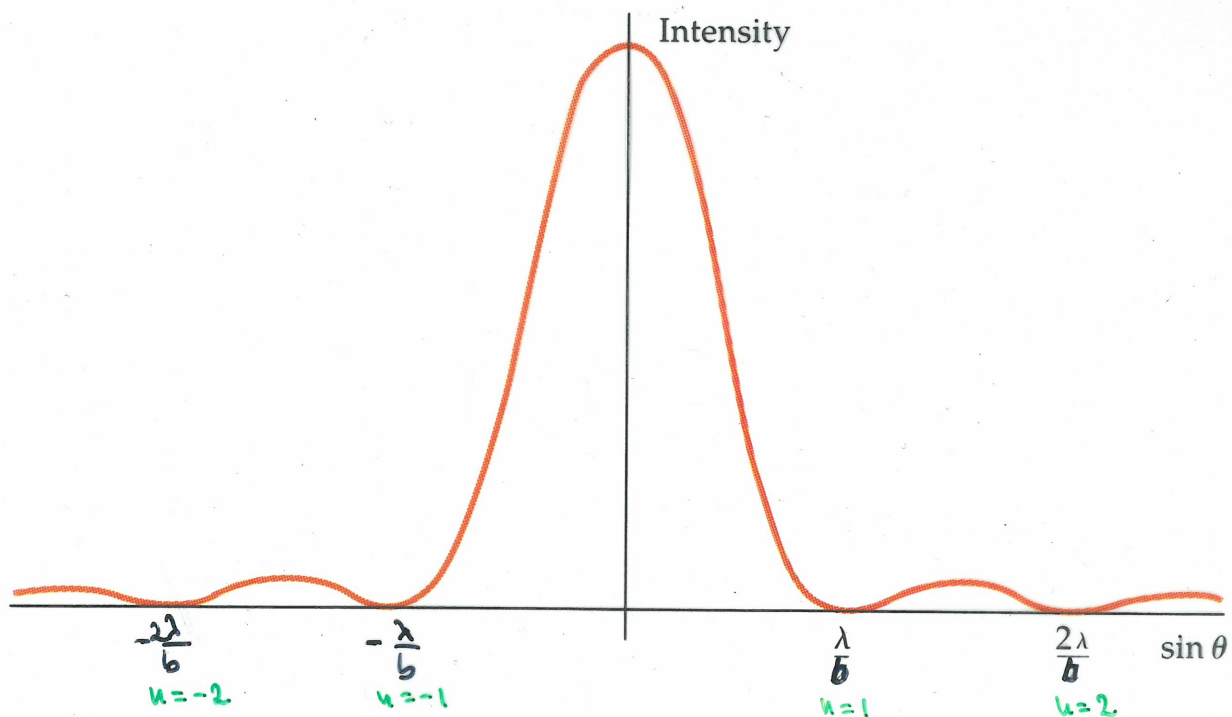
Single-slit diffraction pattern (top) and graph of intensity versus $\sin \theta$ for single diffraction (bottom)

Tipler: Physics for Scientists and Engineers
Third Edition, Volume 2

Copyright © 1991 by Worth Publishers, Inc.

$$I = I_0 \left[\frac{\sin\left(\frac{\pi b \sin \theta}{\lambda}\right)}{\frac{\pi b \sin \theta}{\lambda}} \right]^2, \quad \text{con } I_0 = I(\theta = 0)$$

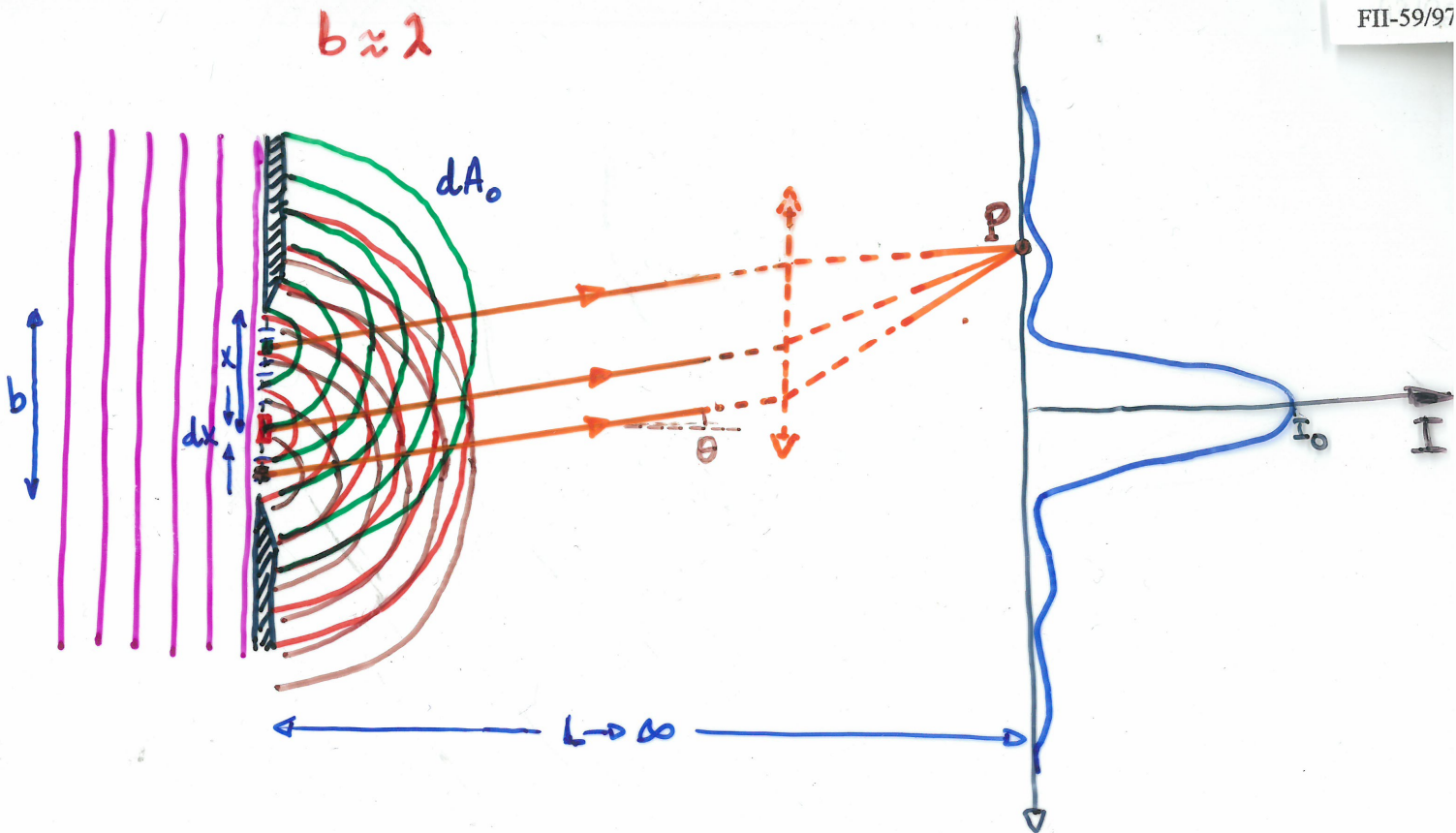
• Patrón de difracción de una fenda:



- Máximo Principal: $\sin \theta = 0$ ($I = I_0$)

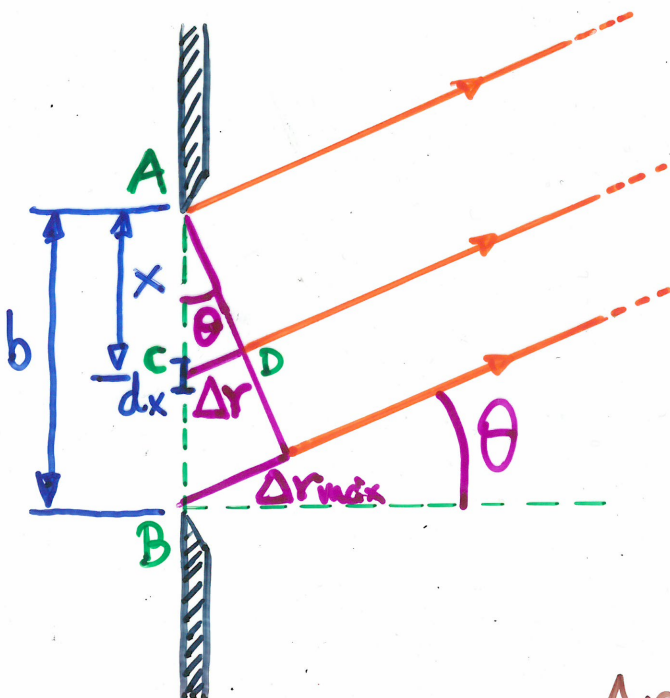
- Máx. sucesivos: $\sin \theta = \left(\frac{2n+1}{2}\right) \frac{\lambda}{b}$ ($I = \frac{I_0}{\left[(2n+1)\frac{\pi}{2}\right]^2}$)

- Mínimos: $\sin \theta = n \frac{\lambda}{b}$, após $n \neq 0$ ($I = 0$)



Ondas secundarias (ondas difractadas) de amplitude dA_0 en P ($y_i = dA_0 \sin(\omega t - kr_i)$)

Amplitude resultante da superposición en P:
 suma vectorial dos factores correspondentes ás
 infinitas ondas secundarias



• Entre cada 2 raios consec.:

$$dr = dx \cdot \sin \theta \Rightarrow d\delta = \frac{2\pi}{\lambda} dx \sin \theta$$

• Se as fontes separadas x :

$$\Delta r = x \cdot \sin \theta \Rightarrow \delta(x) = \frac{2\pi}{\lambda} x \sin \theta$$

• Se a separación é b :

$$\Delta r_{\max} = b \cdot \sin \theta \Rightarrow \delta_{\max} = \frac{2\pi}{\lambda} b \sin \theta$$

Como $I \propto A^2$:

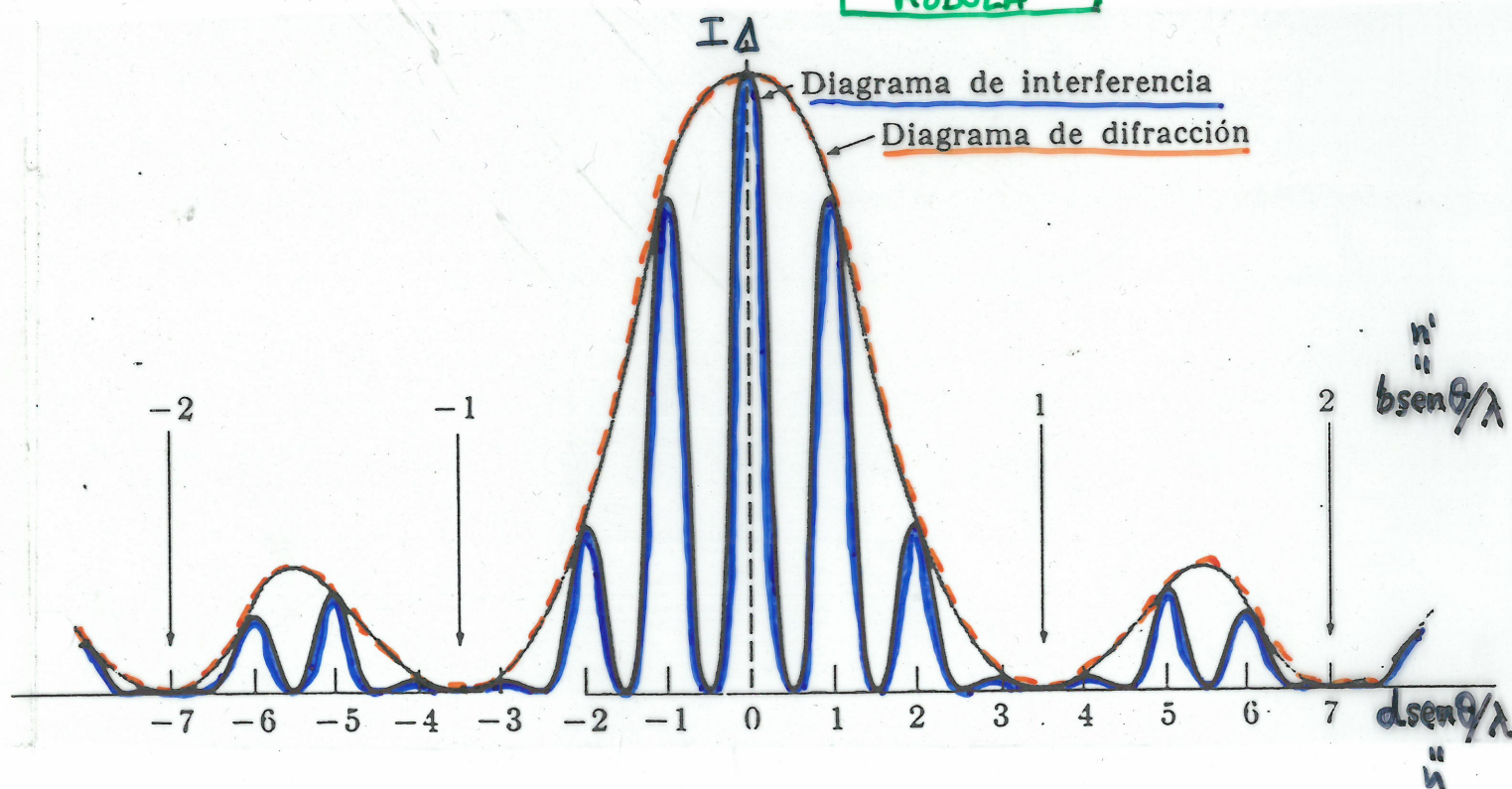
$$I = 4 I_0 \left[\frac{\sin \frac{\pi b \sin \theta}{\lambda}}{\frac{\pi b \sin \theta}{\lambda}} \right] \cos^2 \left(\frac{\pi d \sin \theta}{\lambda} \right)$$

$I_0 = I(\theta=0)$

FACTOR DIFRACCIONAL

FACTOR INTERFERENCIAL

MODULA



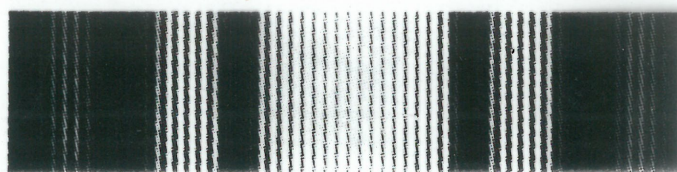
- máximos do diagrama de interferencia:

$$\frac{\pi d \sin \theta}{\lambda} = n \pi \Rightarrow \boxed{\frac{d \sin \theta}{\lambda} = n}$$

- mínimos do diagrama de difracción (moduladora):

$$\frac{\pi b \sin \theta}{\lambda} = n' \pi \Rightarrow \boxed{\frac{b \sin \theta}{\lambda} = n', n' \neq 0}$$

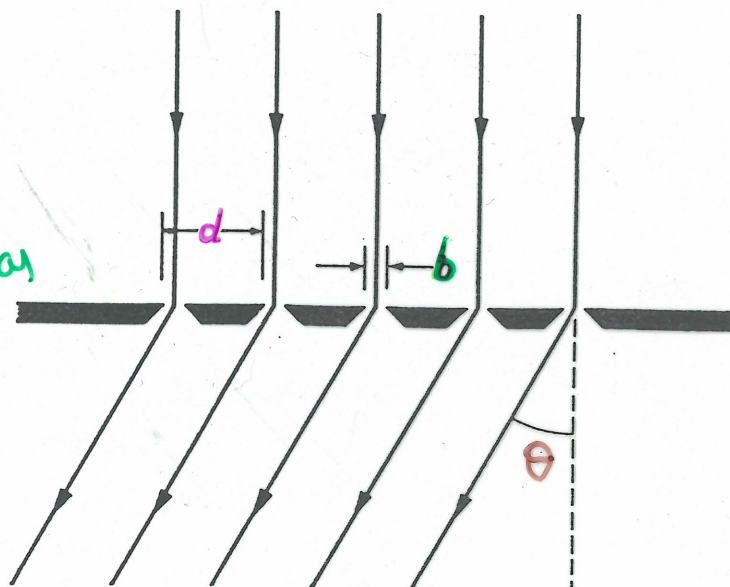
- Patrón de difracción de duas fendas:



*.) Rede de difracção:

⇔ Interferência de N fontes síncronas modulada pela difracção em cada abertura

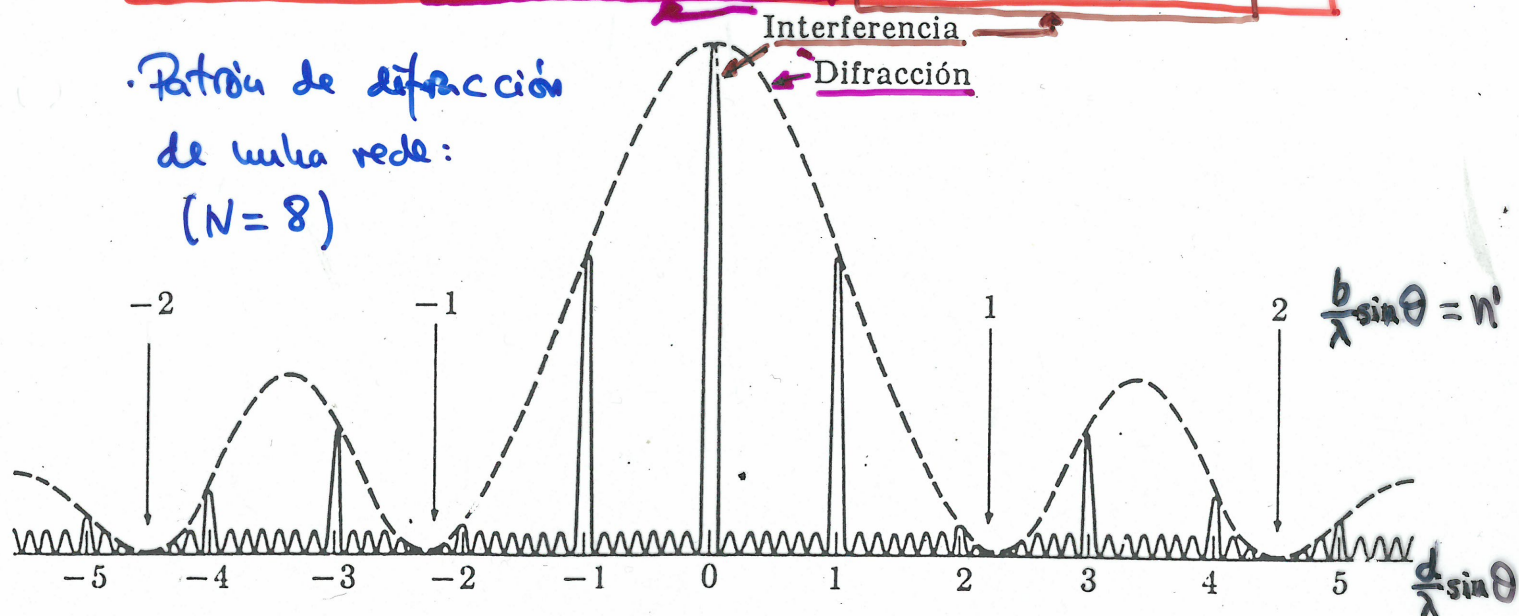
N fendas
iguais e
equidistantes



• Distribuição de Intensidade:

$$I = I_0 \left[\frac{\text{sen} \left(\frac{\pi b \text{sen} \theta}{\lambda} \right)}{\frac{\pi b \text{sen} \theta}{\lambda}} \right]^2 \left[\frac{\text{sen} \left(\frac{N \pi d \text{sen} \theta}{\lambda} \right)}{\text{sen} \left(\frac{\pi d \text{sen} \theta}{\lambda} \right)} \right]^2$$

• Patrão de difracção
de uma rede:
($N=8$)



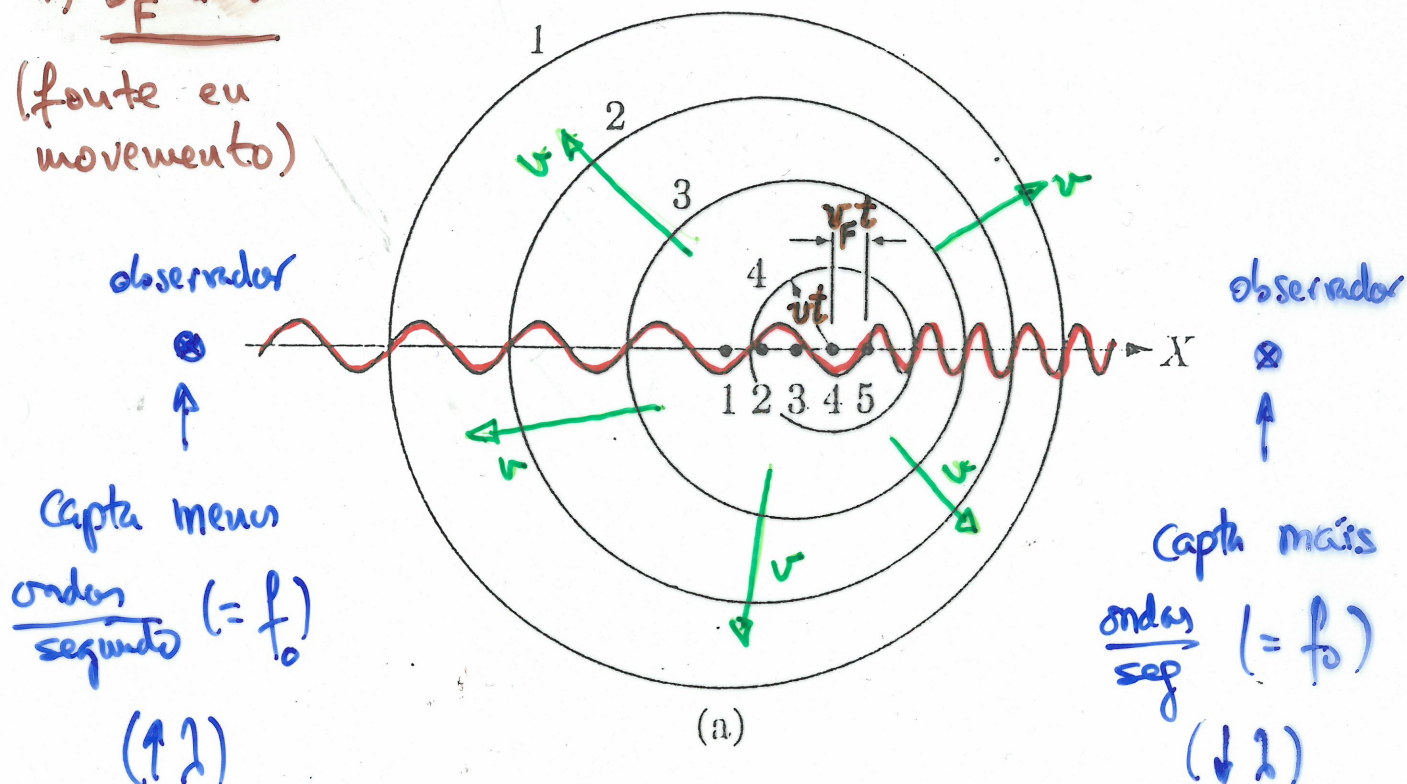
Os máximos principais denominam-se ORDE DE DIFRACÇÃO, segundo o valor de n

$\boxed{n}$

* EFEITO DOPPLER:

Aparece cando existe un mov. relativo entre un observador e un foco emisor de ondas

* $v_F < v$
(fonte en movemento)



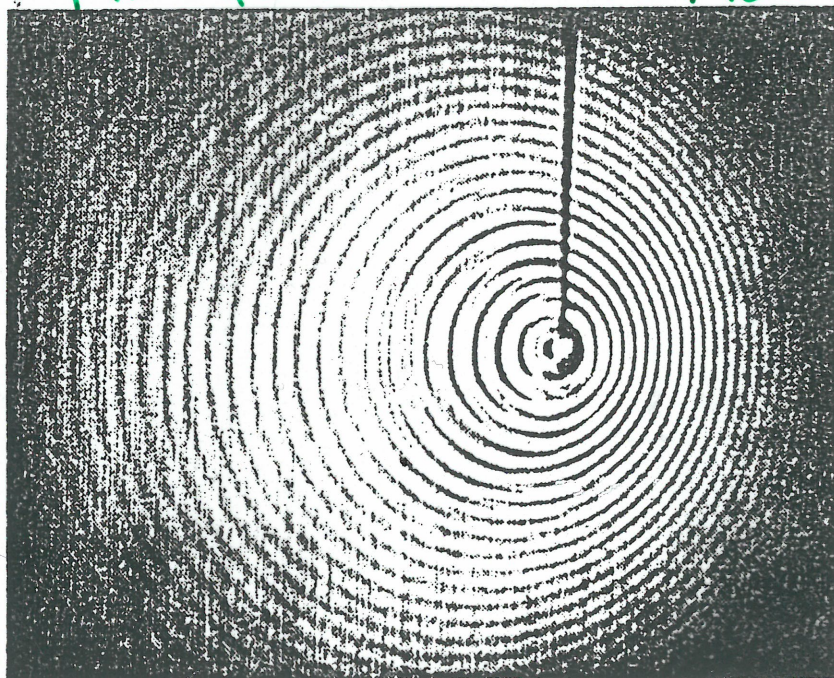
$v \equiv$ vel. propag. ondas

$v_F \equiv$ veloc. do foco

$v_O \equiv$ veloc. do observador

$f_F \equiv$ frecuencia de emisión

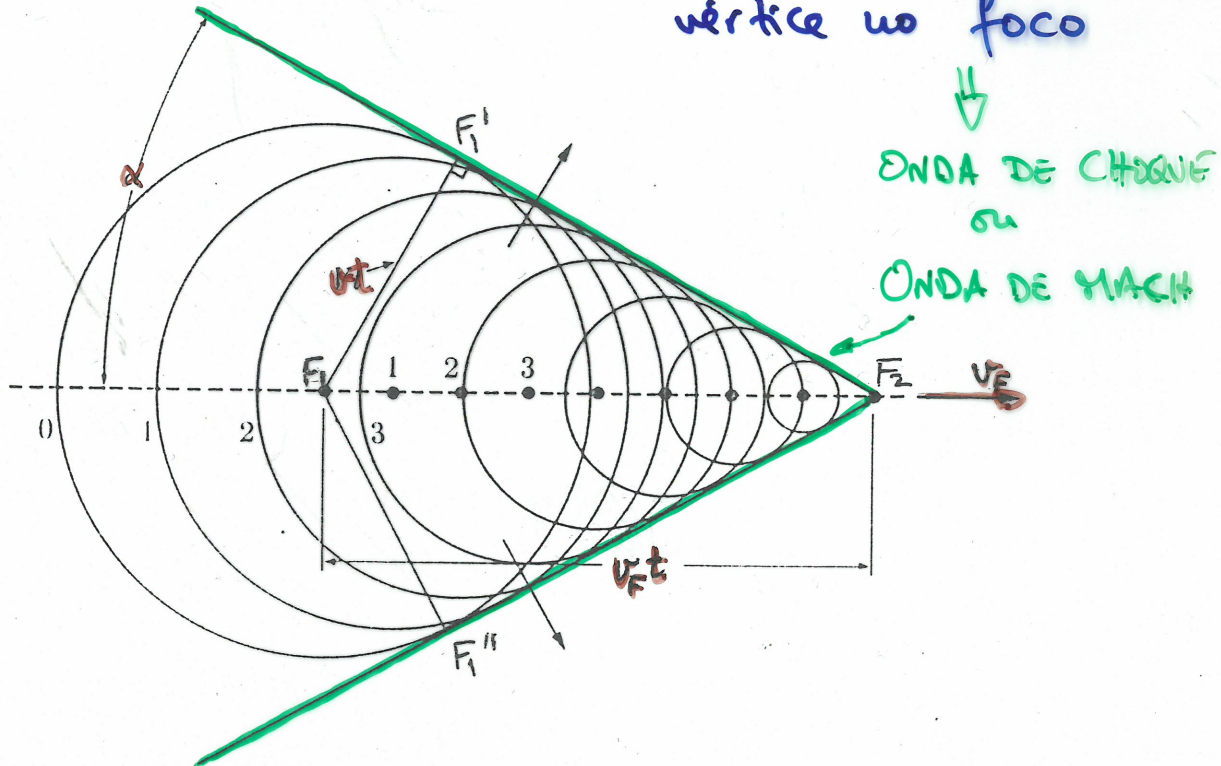
$f_O \equiv$ frec. percibida polo observador



(b)

*1) $v_F > v$: ONDA DE CHOQUE:

O foco adianta às frentes de onda e a envoltória destas forma uma frente de onda cônica com vértice no foco



$$\text{sen } \alpha = \frac{v t}{v_F t} = \frac{v}{v_F} \Rightarrow \alpha = \text{arc.sen } \frac{v}{v_F} \quad \text{Ângulo do Mach}$$

$$M = \frac{v_F}{v} \quad \text{Número de Mach}$$

