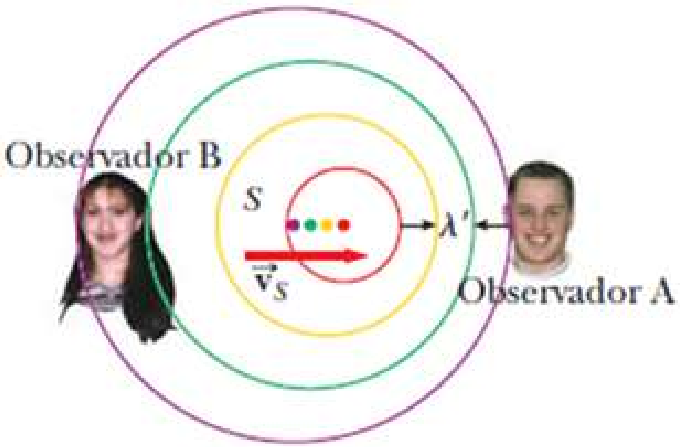
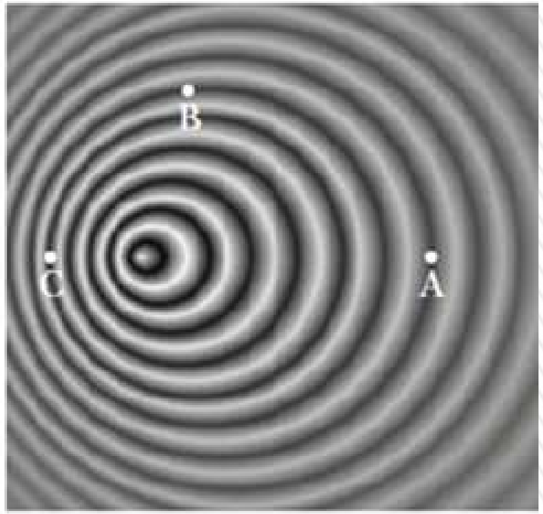
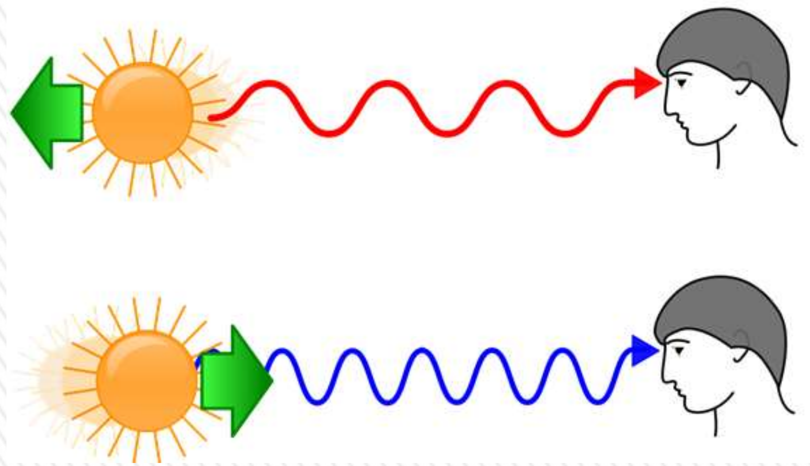
AVISOS:

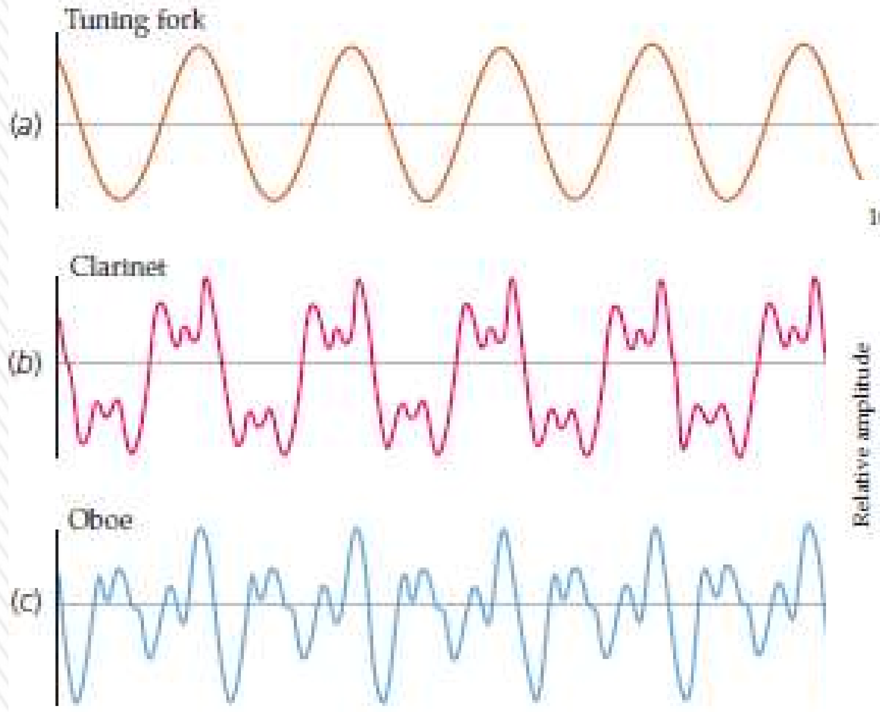
EVALUACIÓN CORTA 3: La realizaremos el martes 28 sobre la hora 10:00. Temas: Unidad 3 y unidad 4 (hasta sonido).

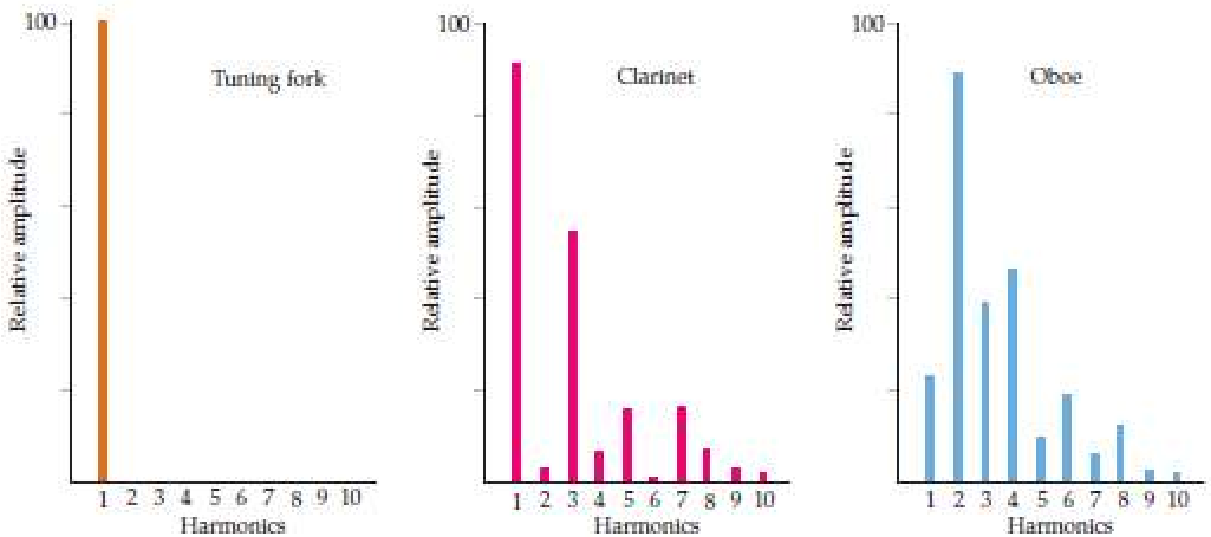
19- ONDAS SONORAS



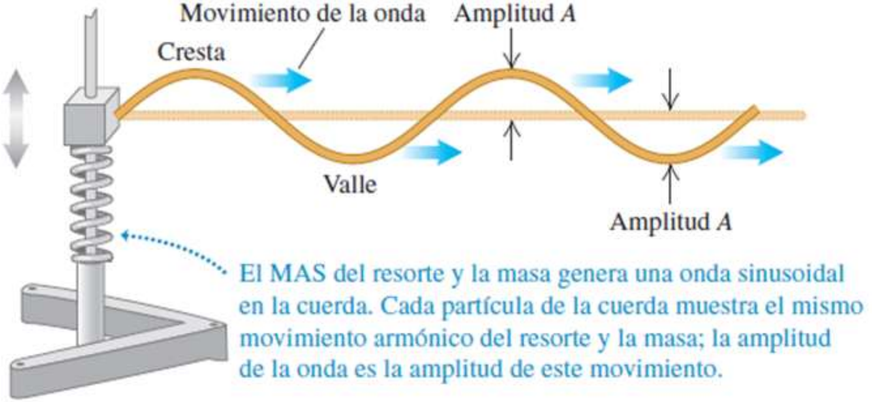






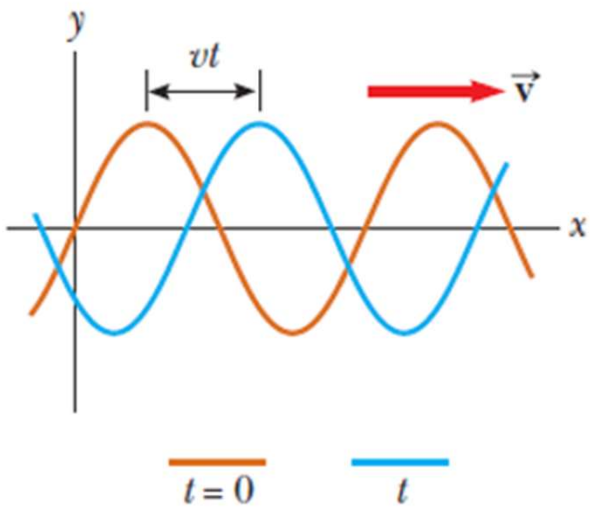


Repaso de lo visto anteriormente



Ondas transversales periódicas

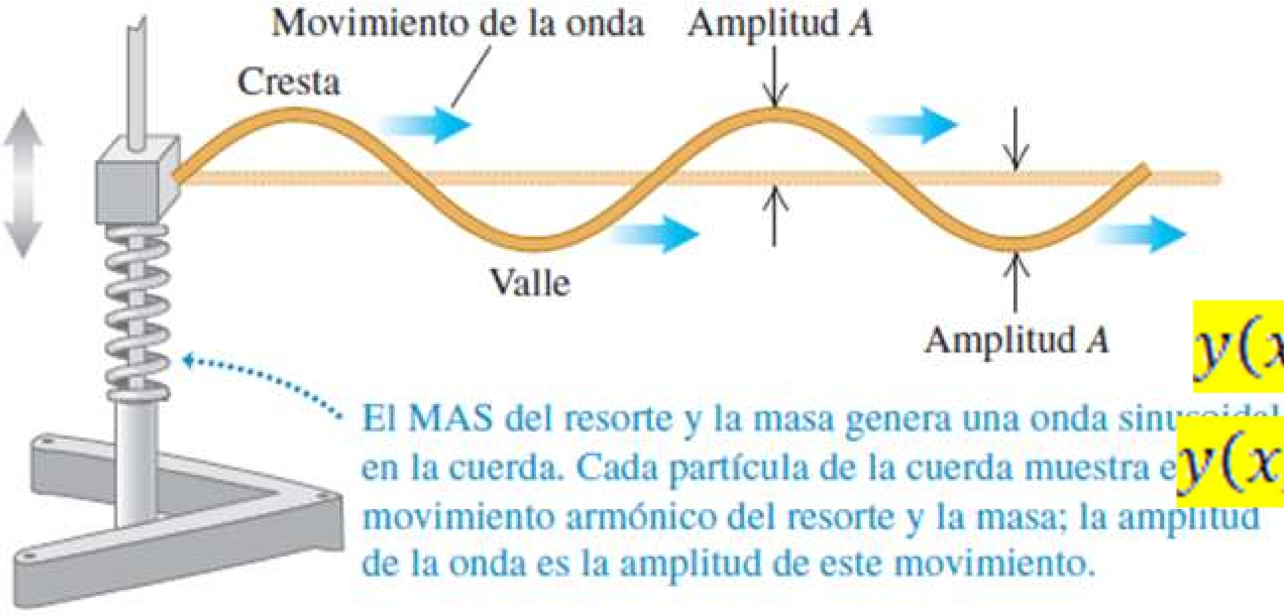
Ejemplo: excitación de la cuerda mediante movimiento hacia arriba y hacia abajo con un ***MAS de amplitud A, frecuencia f:*** la onda producida es una sucesión simétrica de *crestas y valles transversales:* **onda progresiva sinusoidal**



La forma de onda completa se mueve hacia la derecha: **movimiento de la *onda* (*y(x-vt)*)** .
Si vemos un elemento del medio *se tiene que cada* elemento se mueve hacia arriba y hacia abajo a lo largo del eje *y en un MAS*: **movimiento de los *elementos del medio***.
No se debe confundir el movimiento de la *onda transversal a lo largo de la cuerda con el de una partícula de la cuerda.*
La onda avanza con rapidez constante *v a lo largo de la cuerda; mientras que el movimiento de* la partícula es armónico simple y *transversal (perpendicular) a la longitud de la cuerda con una velocidad dada por*

$$v_y = \frac{\partial y}{\partial t}$$

Repaso de lo visto anteriormente



Onda transversal periódica: en una cuerda tensa. Expresiones correspondientes a una onda transversal periódica:

$$y(x,t) = A\sin(kx \pm \omega t + \varphi)$$

$$y(x,t) = A\cos(kx \pm \omega t + \varphi')$$

Parámetros: frecuencia (f), periodo (T), velocidad (v), longitud de onda (λ), amplitud (A); número de onda (k), constante de fase (φ)

Velocidad de la onda *es v = λ/T= λ.f*

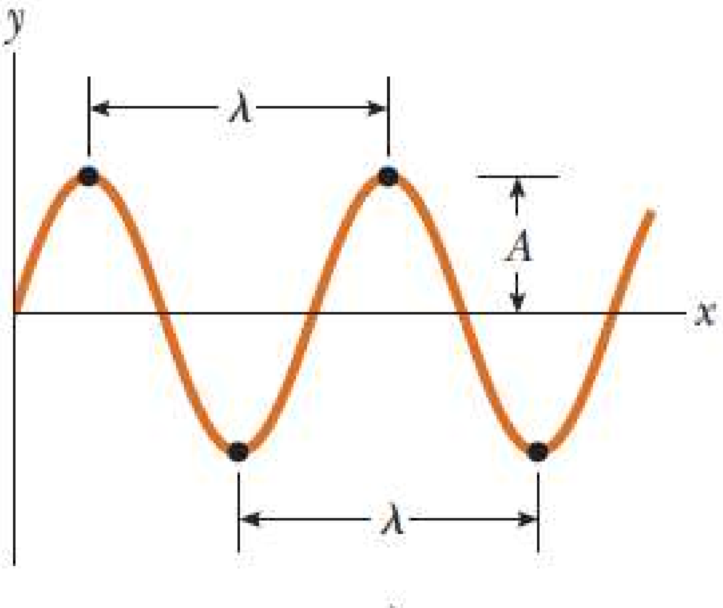
$$k = \frac{2\pi}{\lambda}$$

Cuando una ***onda sinusoidal*** *pasa a través de un medio, todas las partículas del medio experimentan movimiento armónico simple con la misma frecuencia.*

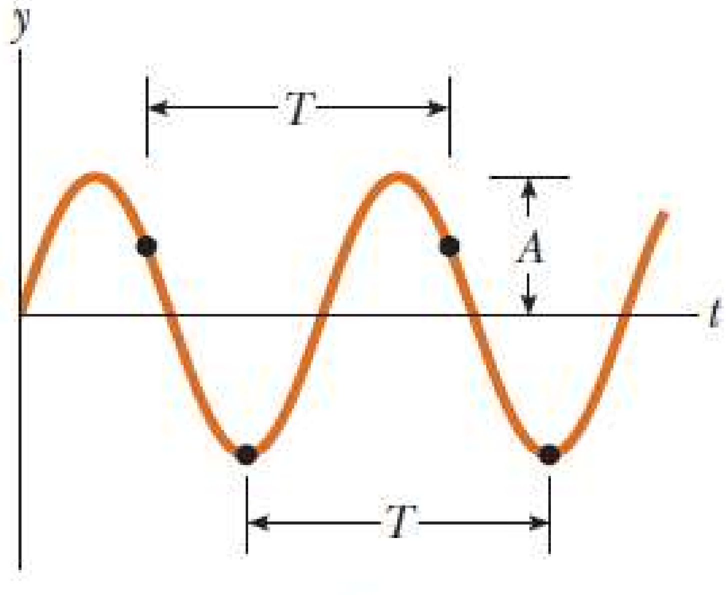
$$y(x,t) = A\cos\left(2\pi\left(\frac{x}{\lambda} - ft\right)\right) = A\cos\left(2\pi\left(\frac{x}{\lambda} - \frac{t}{T}\right)\right) = A\cos(kx - \omega t)$$

$$y(x,t) = A\cos\left[\omega\left(\frac{x}{v} + t\right)\right] = A\cos\left[2\pi f\left(\frac{x}{v} + t\right)\right] = A\cos\left[2\pi\left(\frac{x}{\lambda} + \frac{t}{T}\right)\right] = A\cos(kx + \omega t)$$

Repaso de lo visto anteriormente



a)



b)

Parámetros en la visualización espacial (*x*-*y*) y temporal (*t* - *y*)

Velocidad transversal y aceleración transversal: son las correspondientes a cada elemento de la cuerda en su movimiento vertical, según el eje y.

Si: $y(x,t) = A\sin(kx \pm \omega t + \varphi)$ $\quad v_y = \frac{\partial y}{\partial t} = \pm\omega A\cos(kx \pm \omega t + \varphi)$

$$a_y = \frac{\partial v_y}{\partial t} = -\omega^2 \sin(kx \pm \omega t + \varphi)$$

Si: $y(x,t) = A\cos(kx \pm \omega t + \varphi)$ $\quad v_y = \frac{\partial y}{\partial t} = \mp\omega A\sin(kx \pm \omega t + \varphi)$

$$a_y = \frac{\partial v_y}{\partial t} = -\omega^2 \cos(kx \pm \omega t + \varphi)$$

Velocidad de propagación de una onda en una cuerda:

$$v = \sqrt{\frac{F}{\mu}}$$

F es la tensión de la cuerda y *μ* la densidad de masa lineal (m/L)

Repaso de lo visto anteriormente

INTERFERENCIA DE ONDAS

Interferencia: fenómeno en el que dos o más ondas se superponen para formar una onda resultante. Se cumple el principio de superposición o linealidad:

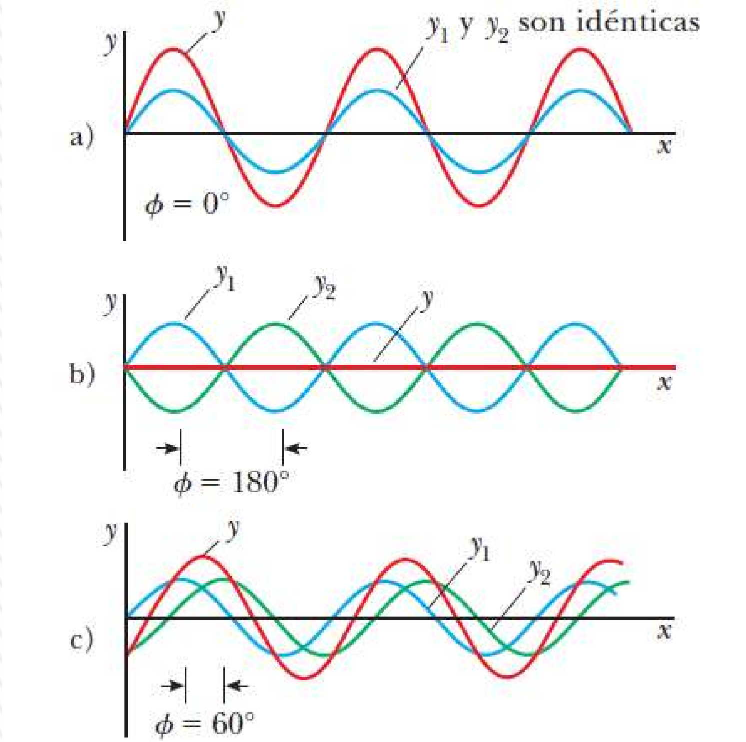
$y(x,t) = y_1(x,t) + y_2(x,t)$

SUPERPOSICIÓN DE ONDAS SINUSOIDALES

$$y_1 = A\sin(kx - \omega t)$$

$$y_2 = A\sin(kx - \omega t + \phi)$$

$$y = 2A\cos\left(\frac{\phi}{2}\right)\sin\left(kx - \omega t + \frac{\phi}{2}\right)$$

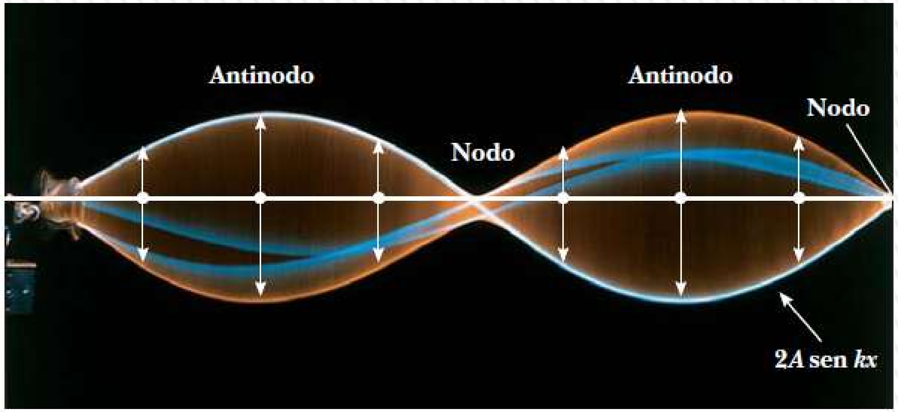


EFECTO DE LOS LÍMITES

Extremo FIJO: reflexión INVERTIDA
Extremo LIBRE: reflexión NO INVERTIDA

ONDAS ESTACIONARIAS

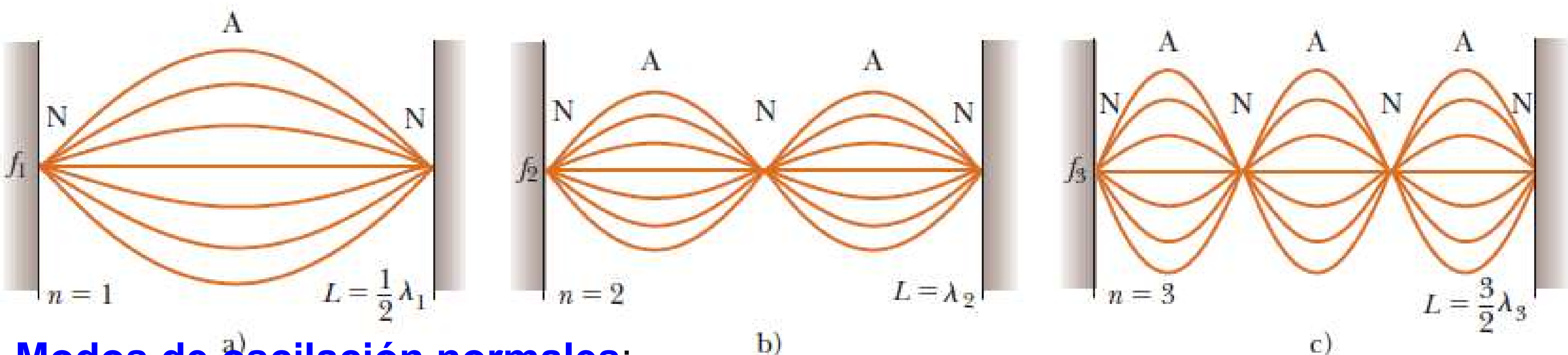
Interferencia de dos ondas idénticas que viajan en direcciones opuestas en el mismo medio: $y_1 = A$ sen $(kx - \omega t)$ $y_2 = A$ sen $(kx + \omega t)$



$y = (2A\ \mathrm{sen}(kx))\cos(\omega t)$

Repaso de lo visto anteriormente

ONDAS ESTACIONARIAS EN CUERDA FIJA EN AMBOS EXTREMOS



Modos de oscilación normales:

1er. modo normal: 2 nodos en extremos y 1 antinodo en medio (1 bucle): $\lambda_1 = 2L$.

2do.modo normal: cuerda vibra en dos bucles. $\lambda_2 = L$.

3er. modo normal $\lambda_3 = 2L/3$; *cuerda vibra en 3 bucles.*

$$\lambda_n = \frac{2L}{n} \qquad n = 1,2,3 \ldots$$

Frecuencias naturales (f_n) asociadas con los modos de oscilación ($f = v/\lambda$) *donde la rapidez de onda v es la misma para todas las frecuencias.*

$$f_n = \frac{v}{\lambda_n} = n\frac{v}{2L} = \frac{n}{2L}\sqrt{\frac{F}{\mu}} \qquad n = 1, 2, 3, \ldots$$

$$f_1 = \frac{1}{2L}\sqrt{\frac{F}{\mu}}$$

Frecuencia fundamental

Frecuencias modos restantes: son múltiplos enteros de la frecuencia fundamental:

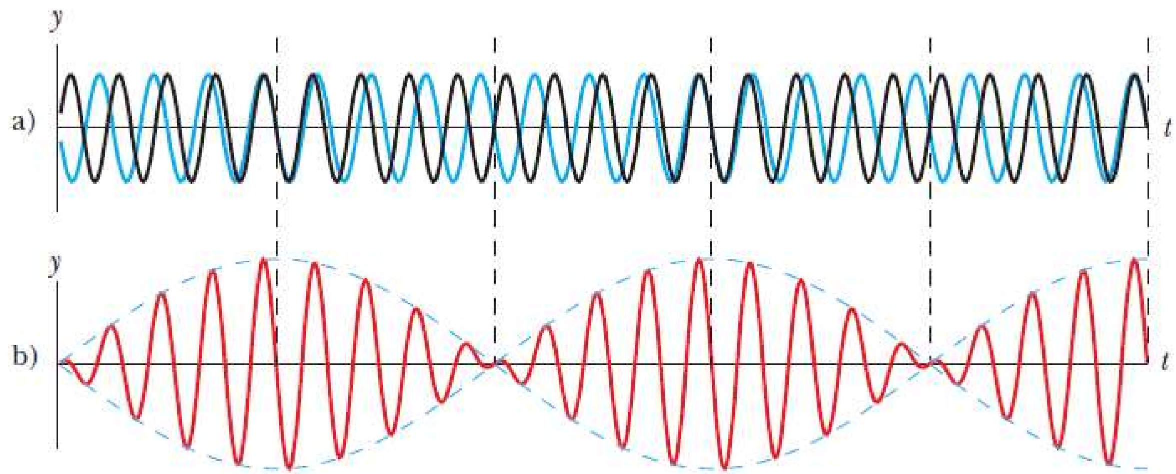
$f_n = n.f_1$

$$f_1 = \frac{v}{2L} \qquad f_n = n\frac{v}{2L}$$

Forman una **serie armónica, los modos normales se llaman armónicos.**

Repaso de lo visto anteriormente

Batido **o pulsación: variación periódica en intensidad en un punto dado debido a la superposición de dos ondas que tienen frecuencias ligeramente diferentes.** Es una interferencia temporal y no espacial.



Superposición de dos ondas de igual amplitud que viajan a través de un medio con frecuencias ligeramente diferentes f_1 *y* f_2*; la* **onda resultante** tiene una frecuencia efectiva igual a la **frecuencia promedio** $(f_1 + f_2)/2$ *multiplicada por una* ***onda*** **envolvente**

$$y = \left[2A\cos 2\pi\left(\frac{f_1 - f_2}{2}\right)t\right]\cos 2\pi\left(\frac{f_1 + f_2}{2}\right)t$$

$$y_{envolvente} = 2A\cos 2\pi\left(\frac{f_1 - f_2}{2}\right)t$$

$$f_{batido} = |f_1 - f_2|$$

Para el sonido, nuestro sistema auditivo no es capaz de percibir separadamente las dos frecuencias presentes, sino que se percibe una frecuencia única promedio $(f_1 + f_2)/2$, pero que cambia en amplitud a una frecuencia de $f_2 - f_1$.

QUICK QUIZ - CUESTIONARIO RÁPIDO

Una onda sinusoidal de frecuencia ***f*** viaja a lo largo de una cuerda estirada.
La cuerda llega al reposo, y en la cuerda se establece una segunda onda viajera de frecuencia ***2f***. Considere que no cambian las condiciones de la cuerda (se mantiene la tensión, el largo y su masa)

i) ¿Cuál es la rapidez de onda de la segunda onda?

a) el doble de la primera onda

b) la mitad de la primera onda

c) igual que la de la primera onda

d) imposible determinar

ii) A partir de las mismas opciones, describa la longitud de onda de la segunda onda.

a) el doble de la primera onda

b) la mitad de la primera onda

c) igual que la de la primera onda

d) imposible determinar

QUICK QUIZ - CUESTIONARIO RÁPIDO

La amplitud de una onda se duplica, sin que se hagan otros cambios a la onda. Como resultado de esta duplicación, ¿cuál de los siguientes enunciados es correcto?

a) La rapidez de la onda cambia,

b) La frecuencia de la onda cambia.

c) La máxima rapidez transversal de un elemento del medio cambia.

d) Los enunciados del inciso **(a)** al **(c)** son todos verdaderos.

e) Ninguno de los enunciados del inciso **(a)** al **(c)** es verdadero.

QUICK QUIZ - CUESTIONARIO RÁPIDO

Cuando una onda estacionaria se establece en una cuerda fija en ambos extremos, ¿cuál de los siguientes enunciados es verdadero?

a) El número de nodos es igual al numero de antinodos.

b) La longitud de onda es igual a la longitud de la cuerda dividida por un entero.

c) La frecuencia es igual al número de nodos por la frecuencia fundamental.

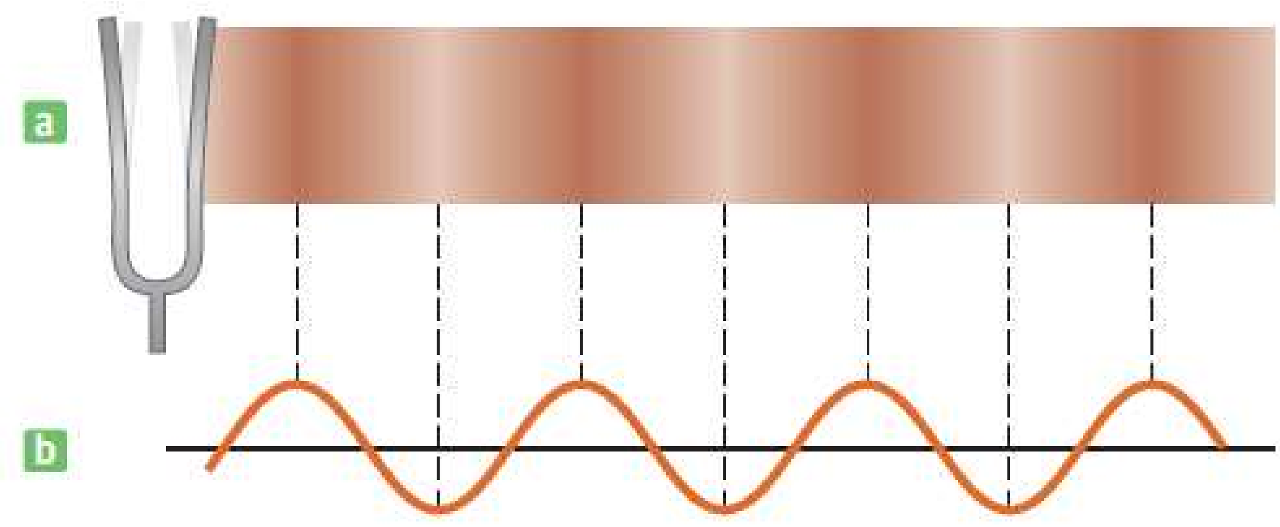
d) La forma de la cuerda en cualquier instante muestra una simetría en torno al punto medio de la cuerda.

ONDAS SONORAS

Las **ondas de sonido o acústicas** son el ejemplo más importante de **ondas mecánicas longitudinales.**

Viajan por un medio, por ejemplo el aire, con una rapidez que depende de las propiedades del mismo, haciendo vibrar los elementos del medio produciendo cambios en la densidad y presión en la dirección del movimiento de la onda.

Cualquier onda acústica tiene su fuente en un objeto que vibra: un clarinete por una lengüeta que vibra, un tambor por la vibración del parche tenso en la parte superior, un piano por las cuerdas que vibran y un cantante por la vibración de las cuerdas vocales.



A medida que el diapasón vibra, se forma una sucesión de compresiones y rarefacciones que salen del diapasón.

El patrón resultante en el aire es parecido al de la figura.

Se puede usar una curva sinusoidal para representar una onda acústica.

Hay crestas en la onda sinusoidal en los puntos donde la onda acústica tiene compresiones, y depresiones donde tiene rarefacciones.

ONDAS SONORAS

Si la fuente de las ondas sonoras vibra sinusoidalmente, las variaciones de presión también son sinusoidales.
La descripción matemática de ondas sonoras sinusoidales es muy parecida a las ondas sinusoidales en cuerdas.

1) Ondas audibles *dentro intervalo sensibilidad oído* humano (20 Hz a 20 Khz)

2) Ondas infrasónicas *frecuencias por abajo del* intervalo audible.

Elefantes usan ondas infrasónicas para comunicarse mutuamente, aún cuando estén separados por varios kilómetros.

3) Ondas ultrasónicas *tienen frecuencias* por arriba del alcance audible.

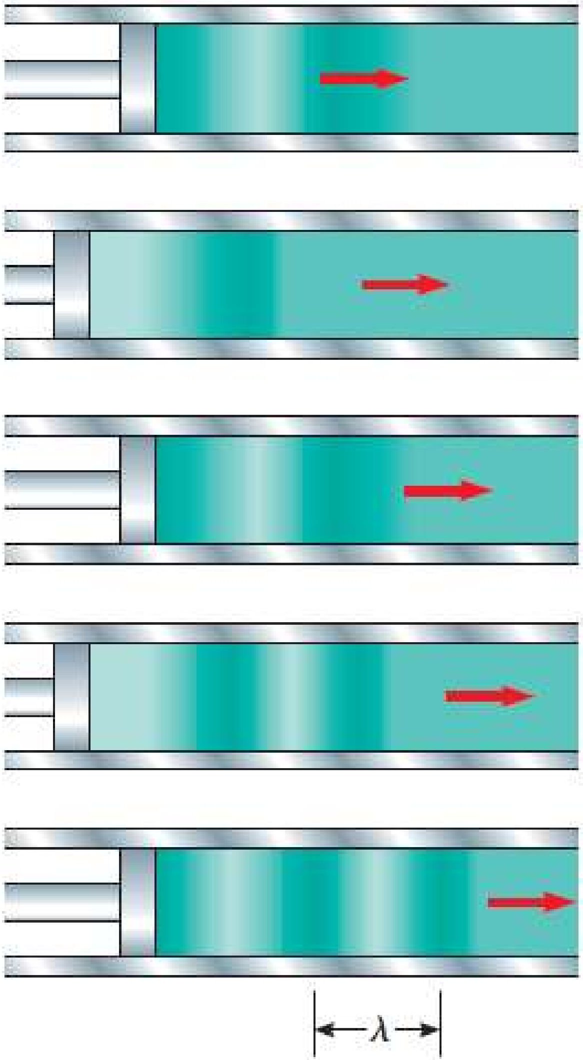
Los perros escuchan el sonido ultrasónico que emite un silbato, para los humanos es imposible detectarlo. Se usan para la formación de imagen médica (ecografías).

Murciélagos y la ecolocalización- Son casi ciegos y evitan los obstáculos y localiza sus presas mediante ondas sonoras.
Emite una serie de chillidos de alta frecuencia y detecta el tiempo que demora las ondas en volver después de ser reflejadas por el objeto.
Un murciélago puede detectar sonido a frecuencias de 120 KHz.
La longitud de onda correspondiente vale: $\lambda = v/f = (340)(120.000 \text{ Hz}) = 2{,}87\times 10^{-3}$ m

¿Por qué usan frecuencias tan altas y longitudes de ondas tan cortas?

Una onda sólo puede ser perturbada por objetos comparables a una longitud de ondas o mayores, mientras que objetos más pequeños no originan ninguna perturbación.

ONDAS SONORAS PERIÓDICAS

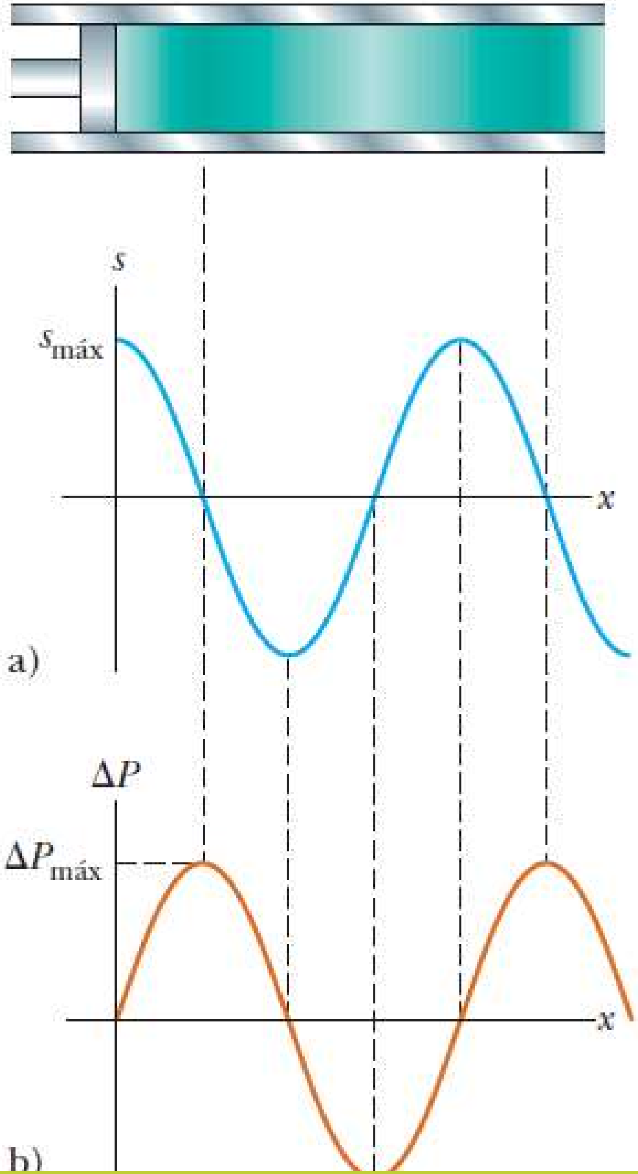


Onda sonora periódica unidimensional en tubo con gas, generado por pistón en oscilación en un extremo.
Región comprimida se forma cuando el pistón empuja en el tubo, se mueve a través del tubo, y comprime continuamente la región justo enfrente de ella misma.
Cuando el pistón retrocede, el gas enfrente de él se expande y la presión y la densidad en esta región caen por abajo de sus valores de equilibrio **(enrarecimiento).**
Ambas regiones se mueven a la rapidez del sonido en el medio.
La distancia entre dos compresiones sucesivas (o dos enrarecimientos sucesivos) es igual a la longitud de onda λ de la onda sonora.

Cualquier elemento pequeño del medio se mueve con movimiento armónico simple paralelo a la dirección de la onda.
s(x, t) posición de un elemento pequeño en relación con su posición de equilibrio:

$$s(x,t) = s_{max}\cos(kx - \omega t)$$

ONDAS SONORAS PERIÓDICAS



$$s(x,t) = s_{max}\cos(kx - \omega t)$$

Variación en la presión del gas ΔP *vista desde el valor de equilibrio también es* periódica

$$\Delta P(x,t) = \Delta P_{max}\sin(kx - \omega t)$$

la amplitud de presión *$\Delta P_{máx}$, que es el cambio máximo en presión desde el valor* de equilibrio, vale:

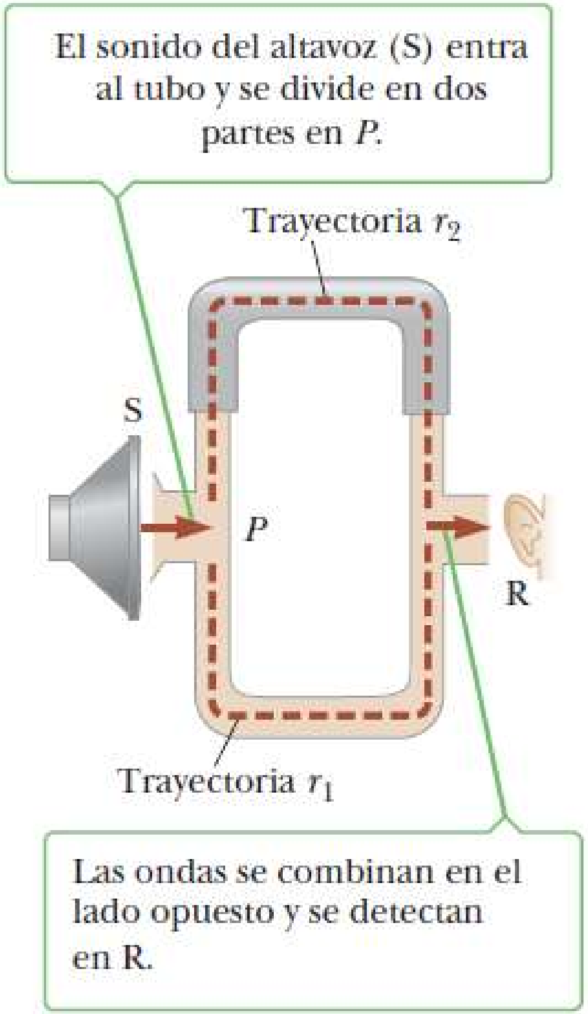
$$\Delta P_{max} = \rho v \omega s_{max}$$

La onda de presión está 90° fuera de fase con la onda de desplazamiento, es decir ¼ de ciclo (es decir un desfasaje de $\pi/2$).

ΔP es un máximo cuando el $s = 0$,
$s = s_{max}$ es un máximo cuando $\Delta P = 0$

a) Amplitud de desplazamiento y
b) b) amplitud de presión en función de la posición para una onda longitudinal sinusoidal

INTERFERENCIA DE ONDAS SONORAS



Las ondas de sonido pueden interferir una con otra. El sonido de un parlante en S se envía a un tubo *P, donde se divide y sigue dos trayectorias separadas r_1 y r_2* y finalmente se unen en una abertura donde una persona coloca su oído.

Si las dos trayectorias *tienen la misma longitud se* produce ***interferencia constructiva*** *y, por lo tanto, la persona escucha un sonido fuerte.*

Si la trayectoria superior se ajusta a toda una longitud de onda más larga que la trayectoria inferior, vuelve a ocurrir la interferencia constructiva de las dos ondas.

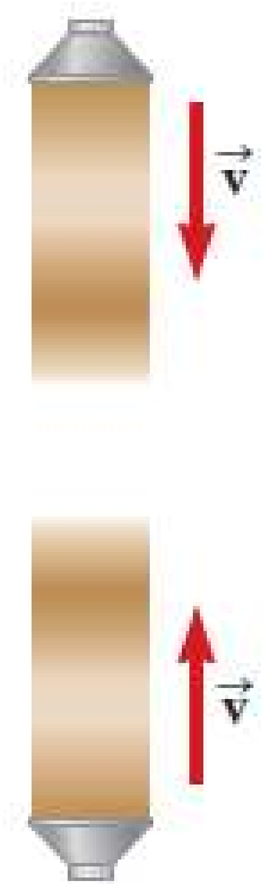
En general, **si la diferencia de trayectoria $r_2 - r_1$ es cero o un múltiplo entero de longitudes de onda,** entonces hay **interferencia constructiva**:

$$|r_2 - r_1| = n\lambda \quad (n = 0, 1, 2, 3 \ldots)$$

Si en cambio ***la diferencia de trayectorias $r_2 - r_1$ es ½, 1 ½. 2 ½, …*** **longitudes de onda, ocurre interferencia destructiva**: (*interferencia destructiva total, y no se detecta sonido en el receptor*

$$|r_2 - r_1| = \left(n + \frac{1}{2}\right)\lambda \quad (n = 0, 1, 2, 3 \ldots)$$

ONDAS ESTACIONARIAS de SONIDO



Supongamos que tenemos dos parlantes y que emiten ondas sonoras de la misma frecuencia y amplitud pero se propagan en sentidos opuestos en el mismo medio.
Estas ondas se combinan de acuerdo con el modelo de ondas en interferencia.
Puedo considerar funciones de onda para dos ondas sinusoidales transversales que tengan la misma amplitud, frecuencia y longitud de onda pero que viajen en sentidos opuestos en el mismo medio:

$$y_1 = A\sin(kx - \omega t) \qquad y_2 = A\sin(kx + \omega t)$$

Como vimos anteriormente, la superposición de estas dos ondas nos da:

$$y = (2A\sin kx)\cos\omega t$$

Esta ecuación representa la función de onda de una **onda estacionaria.**
Una onda estacionaria, como la de una cuerda, que representa un patrón de oscilación *con un contorno estacionario que resulta de la superposición de dos ondas idénticas* que viajan en sentidos opuestos.

ONDAS ESTACIONARIAS de SONIDO

Es posible generar ondas estacionarias en un tubo de aire; por ejemplo un tubo de órgano, como resultado de la interferencia entre ondas acústicas que se desplazan en sentidos opuestos.

La relación entre la onda incidente y la onda reflejada depende de que el extremo reflector del tubo esté abierto o cerrado.

Una parte de la onda acústica es reflejada hacia el tubo incluso en un extremo abierto.

Si un **extremo** está **cerrado,** debe existir un **nodo de desplazamiento** en él porque el movimiento de aire está restringido.

Si e**l extremo** está **abierto**, los elementos de aire tienen completa libertad de movimiento y existe un **antinodo de desplazamiento.**

Extremo cerrado (de columna de aire)**:** es un **nodo de desplazamiento** y **antinodo de presión** (punto de máxima variación de presión).

Extremo abierto (de columna de aire)**:** es un **antinodo de desplazamiento** (aproximadamente) y un **nodo de presión** (la presión en este extremo permanece constante a presión atmosférica).

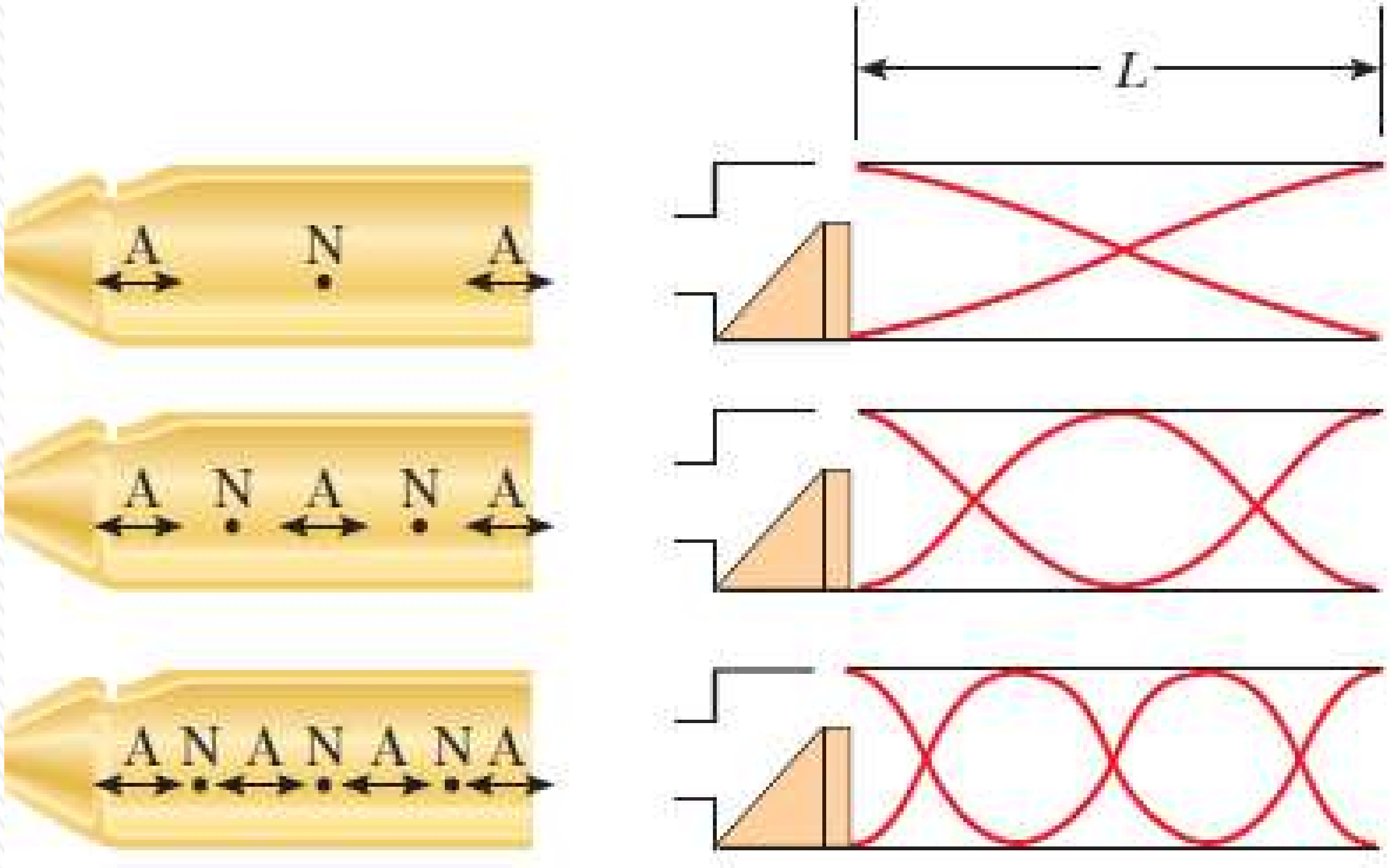
Con las **condiciones frontera** de nodos o antinodos en los extremos de la columna de aire, se tiene un **conjunto de modos normales de oscilación** (como para la cuerda fija en ambos extremos)

Por lo tanto, la **columna de aire tiene frecuencias cuantizadas**

ONDAS ESTACIONARIAS EN COLUMNAS DE AIRE

Tubo abierto en ambos extremos

Si el **extremo está abierto**, los elementos de aire tienen completa libertad de movimiento y existe **un antinodo de desplazamiento**.
Ambos extremos son antinodos de desplazamiento.



1er. modo normal: dos antinodos adyacentes equivale a media longitud de onda:
$\lambda_1 = 2L = 2L/1$

2do. modo normal:

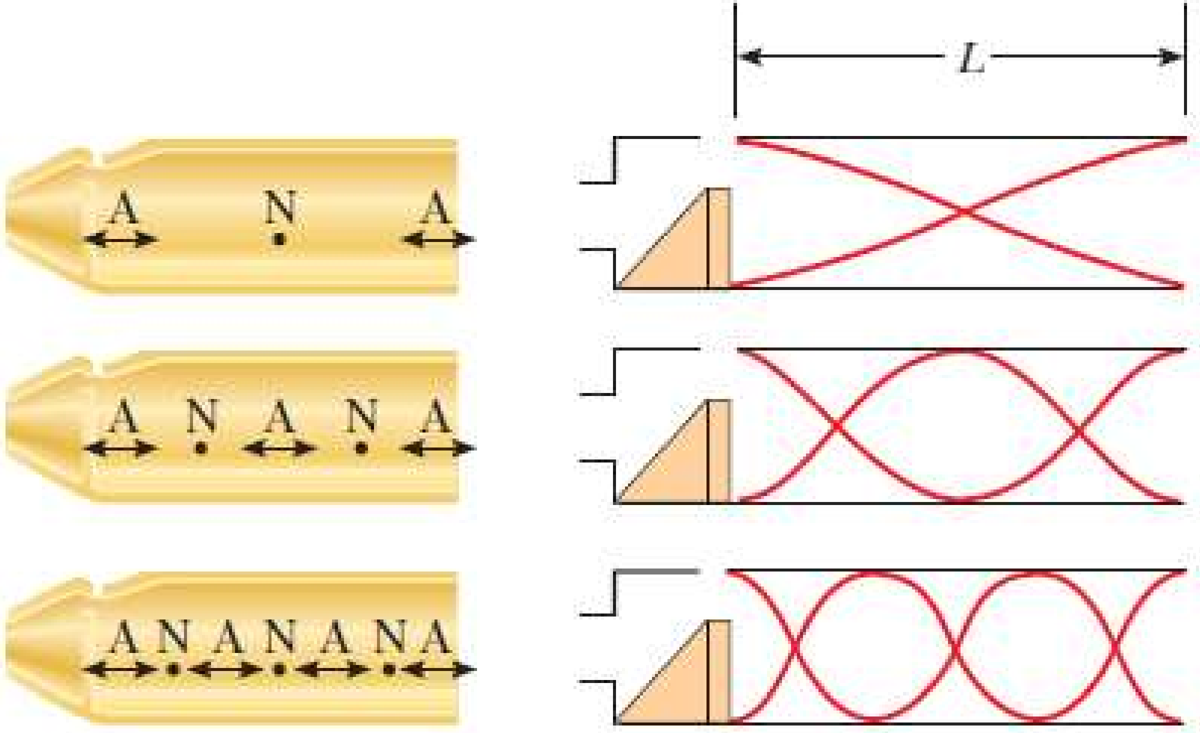
$\lambda_2 = L = 2L/2$

3er. modo normal:
$\lambda_3 = 2L/3$

$$f_1 = \frac{v}{\lambda_1} = \frac{v}{2L} \qquad f_2 = \frac{v}{\lambda_2} = \frac{v}{L} \qquad f_3 = \frac{v}{\lambda_3} = \frac{3v}{2L}$$

ONDAS ESTACIONARIAS EN COLUMNAS DE AIRE

Tubo abierto en ambos extremos



$\lambda_1 = 2L$

$f_1 = \frac{v}{\lambda_1} = \frac{v}{2L}$

Primer armónico

$\lambda_2 = L$

$f_2 = \frac{v}{L} = 2f_1$

Segundo armónico

$\lambda_3 = \frac{2}{3}L$

$f_3 = \frac{3v}{2L} = 3f_1$

Tercer armónico

a) Abierto en ambos extremos

$$f_1 = \frac{v}{2L} \qquad f_n = nf_1 = n\frac{v}{2L} \qquad n = 1, 2, 3, \ldots$$

$$\lambda_n = \frac{2L}{n} \qquad f_n = n\frac{v}{2L}$$

Las frecuencias naturales de oscilación forman una serie armónica que incluye todos los múltiplos enteros de la frecuencia fundamental.

Idéntico a las frecuencias de una cuerda con extremos fijos, pero *v en esta ecuación es la rapidez* del sonido en el aire.

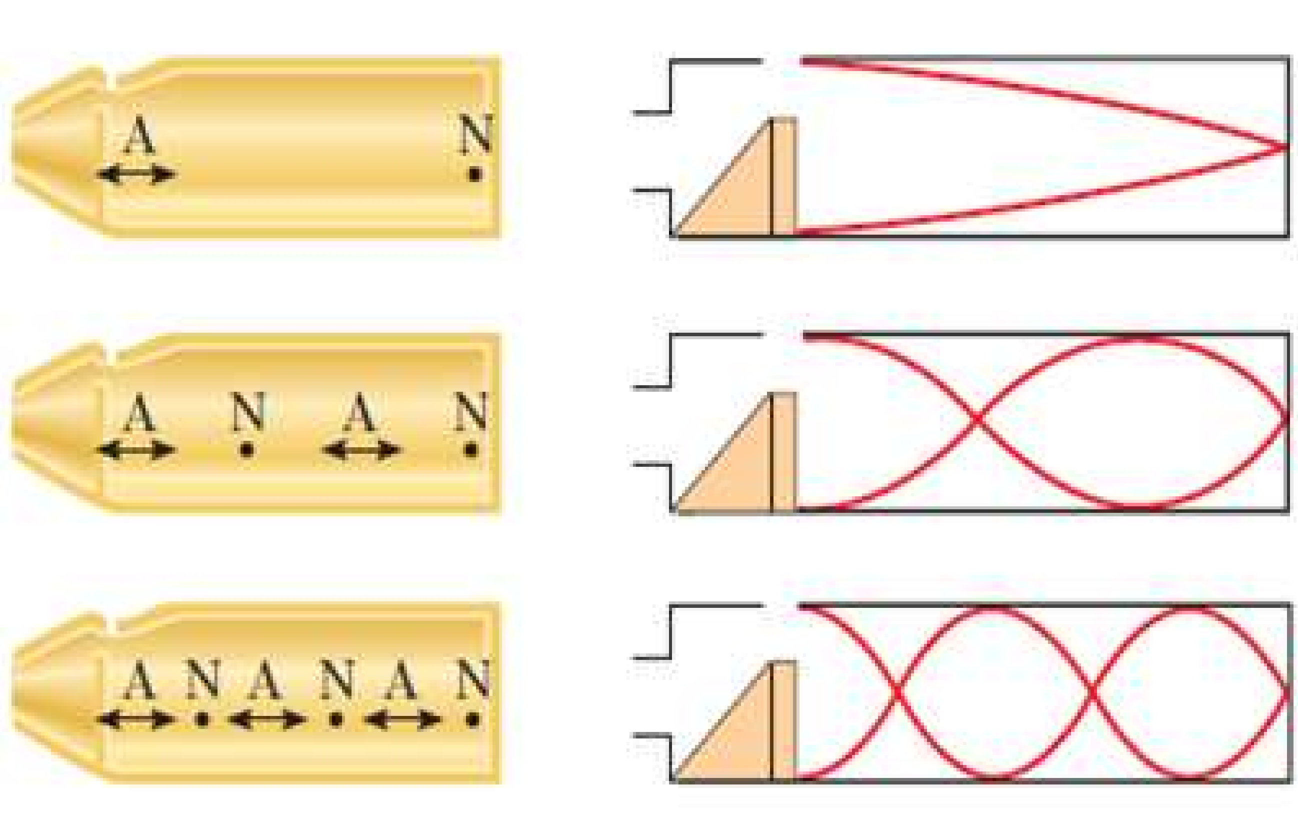
ONDAS ESTACIONARIAS EN COLUMNAS DE AIRE

Tubo con un extremo abierto y otro cerrado

Extremo cerrado: debe existir un **nodo** en él porque el movimiento de aire está restringido.

Extremo abierto: elementos de aire tienen completa libertad de movimiento y existe un **antinodo**

Nodo de desplazamiento en extremo cerrado y antinodo en el abierto.



1er. modo normal: nodo y antinodo adyacentes equivale a cuarta longitud de onda: $\lambda_1 = 4L$

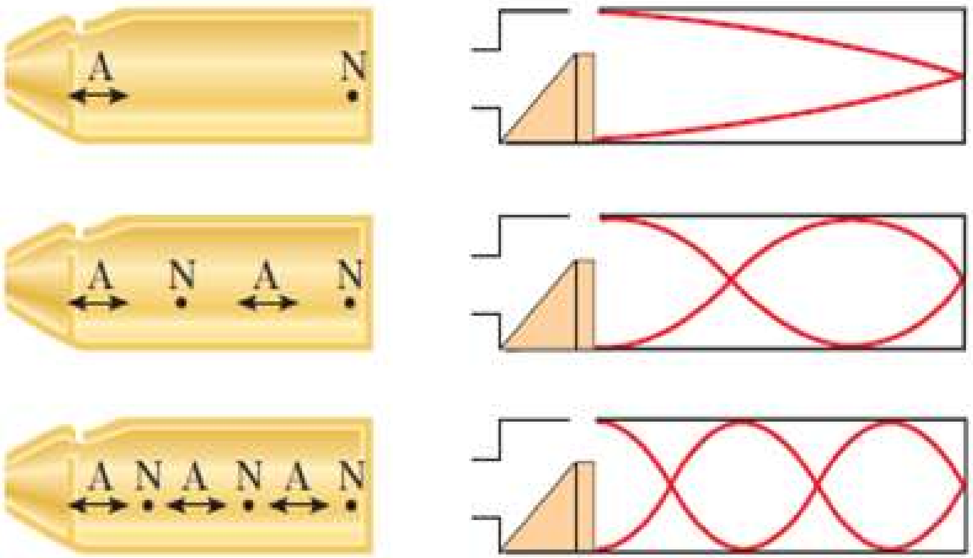
2do. modo normal:
$L = 3\lambda_2/4$
$\lambda_2 = 4L/3$

3er. modo normal:
$L = 5\lambda_3/4$
$\lambda_3 = 4L/5$

$$\lambda_1 = 4L\ ;\ \lambda_2 = \frac{4L}{3}\ ;\ \lambda_3 = \frac{4L}{5} \ldots \lambda_n = \frac{4L}{2n-1} \qquad n = 1,2,3\ldots$$

ONDAS ESTACIONARIAS EN COLUMNAS DE AIRE

Tubo con un extremo abierto y otro cerrado



$\lambda_1 = 4L$ $\quad f_1 = \frac{v}{\lambda_1} = \frac{v}{4L}$ Primer armónico

$\lambda_3 = \frac{4}{3}L$ $\quad f_3 = \frac{3v}{4L} = 3f_1$ Tercer armónico

$\lambda_5 = \frac{4}{5}L$ $\quad f_5 = \frac{5v}{4L} = 5f_1$ Quinto armónico

$$\lambda_1 = 4L\,;\ \lambda_2 = \frac{4L}{3}\,;\ \lambda_3 = \frac{4L}{5} \dots\ \lambda_n = \frac{4L}{2n-1} \qquad n = 1,2,3\dots$$

$$f_1 = \frac{v}{\lambda_1} = \frac{v}{4L}\,;\ f_2 = \frac{v}{\lambda_2} = \frac{3v}{4L}\,;\ f_3 = \frac{5v}{4L} \dots\ f_n = \frac{(2n-1)v}{4L} \qquad n = 1,2,3\dots$$

$$f_{2n-1} = (2n-1)\frac{v}{4L} \qquad n = 1,2,3,\dots$$

Los armónicos superiores tienen frecuencias $3f_1$, $5f_1$, . .

Tubo cerrado en un extremo, frecuencias naturales forman una serie armónica que incluye sólo múltiplos enteros impares de la frecuencia fundamental.

ONDAS ESTACIONARIAS EN COLUMNAS DE AIRE

Los instrumentos musicales de “viento” se excitan mediante resonancia. La columna de aire recibe una onda sonora que tiene muchas frecuencias, la misma responde con una oscilación de mayor amplitud a las frecuencias que coinciden con las frecuencias cuantizadas en su conjunto de armónicos.

En muchos instrumentos de viento hechos con madera, el sonido rico inicial lo proporciona una lengüeta que vibra.

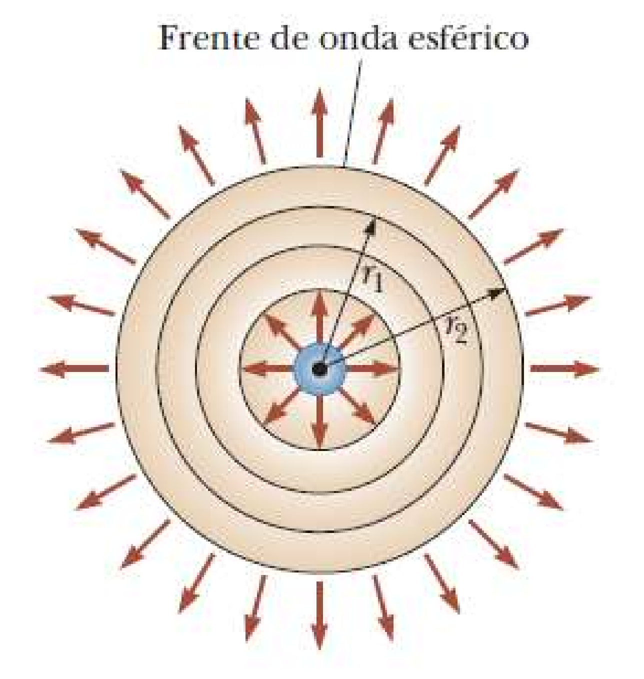
En los instrumentos metálicos, dicha excitación la proporciona el sonido proveniente de la vibración de los labios del intérprete.

En una flauta, la excitacion inicial proviene de soplar sobre un borde en la boca del instrumento, en forma similar a soplar a través de la abertura de una botella con un cuello estrecho.
El sonido del aire que corre a través del borde tiene muchas frecuencias, incluída una que pone en resonancia la cavidad de aire en la botella.

https://www.youtube.com/watch?v=o62aR0rgtuE

Video: Los armónicos en un tubo

ONDAS ESFÉRICAS Y PUNTUALES



Si un pequeño objeto esférico oscila de manera que su radio cambia periódicamente, se produce una **onda esférica.**
La onda se mueve hacia fuera de la fuente con velocidad constante.
Debido a que todos los puntos en una esfera que vibra se comportan de la misma forma, concluimos que la energía en una onda esférica se propaga igualmente en todas direcciones. Esto significa que ninguna dirección tiene preferencia sobre otra.

Si P_{prom} *es* la potencia promedio emitida por la fuente, entonces a cualquier distancia *r de la fuente,* esta energía se debe distribuir sobre una superficie esférica de área $4\pi r^2$, *suponiendo que* no hay ninguna absorción por el medio.

Intensidad del sonido a una distancia *r de la fuente es:*

$$I = \frac{P_{prom}}{A} = \frac{P_{prom}}{4\pi r^2}$$

Esta ecuación muestra que la intensidad de una onda decrece con el incremento de la distancia a la fuente.
El hecho de que *I varíe en relación con* $1/r^2$ es un resultado del supuesto de que una pequeña fuente (algunas veces llamada **fuente puntual**) emite una **onda esférica.**

INTENSIDAD DE LAS ONDAS SONORAS

Intensidad *I de una onda, o potencia por unidad de área* *se define como la* rapidez a la cual la energía (es decir la potencia) transportada por la onda se transfiere a través de una unidad de área *A perpendicular a la dirección de viaje de la onda:*

$$I \equiv \frac{\mathcal{P}}{A}$$

Fuente puntual: emite ondas sonoras por igual en todas direcciones. La intensidad del sonido disminuye conforme uno se aleja de la fuente. Cuando una fuente emite sonido por igual en todas direcciones, el resultado es una **onda esférica**.

La potencia promedio emitida por la fuente debe tener una distribución uniforme sobre cada frente de onda esférica:

$$I = \frac{\mathcal{P}}{A} = \frac{\mathcal{P}}{4\pi r^2}$$

NIVEL SONORO EN DECIBELES

Sonidos más débiles que el oído humano puede detectar a una frecuencia de 1.000 Hz : intensidad de aproximadamente **$1{,}00\times10^{-12}$ W/m^2** (***umbral de audición)***.

Los sonidos más fuertes que el oído tolera a esta frecuencia corresponden a una intensidad de aproximadamente **1,00 W/m^2**, el ***umbral de dolor***.

Como el intervalo es tan amplio, es conveniente usar una escala logarítmica, donde el **nivel sonoro β** se define mediante la ecuación:

$$\beta \equiv 10\log\left(\frac{I}{I_0}\right)$$

I_0 es la intensidad de referencia (*umbral de audición*) (***I_0*= $1{,}00\times10^{-12}$ W/m^2**)
I intensidad en W/ m^2 que corresponde el nivel de sonido β, donde **β** se mide en **decibeles (dB).**
En esta escala, el umbral de dolor (*I_0= 1,00 W/m^2) corresponde a un nivel sonoro de* 120 dB.

La exposición prolongada a niveles sonoros altos puede dañar seriamente el oído humano. Siempre que los niveles sonoros superen los 90 dB, se recomienda el uso de tapones de oídos.

INTENSIDAD DE LAS ONDAS SONORAS

Niveles sonoros

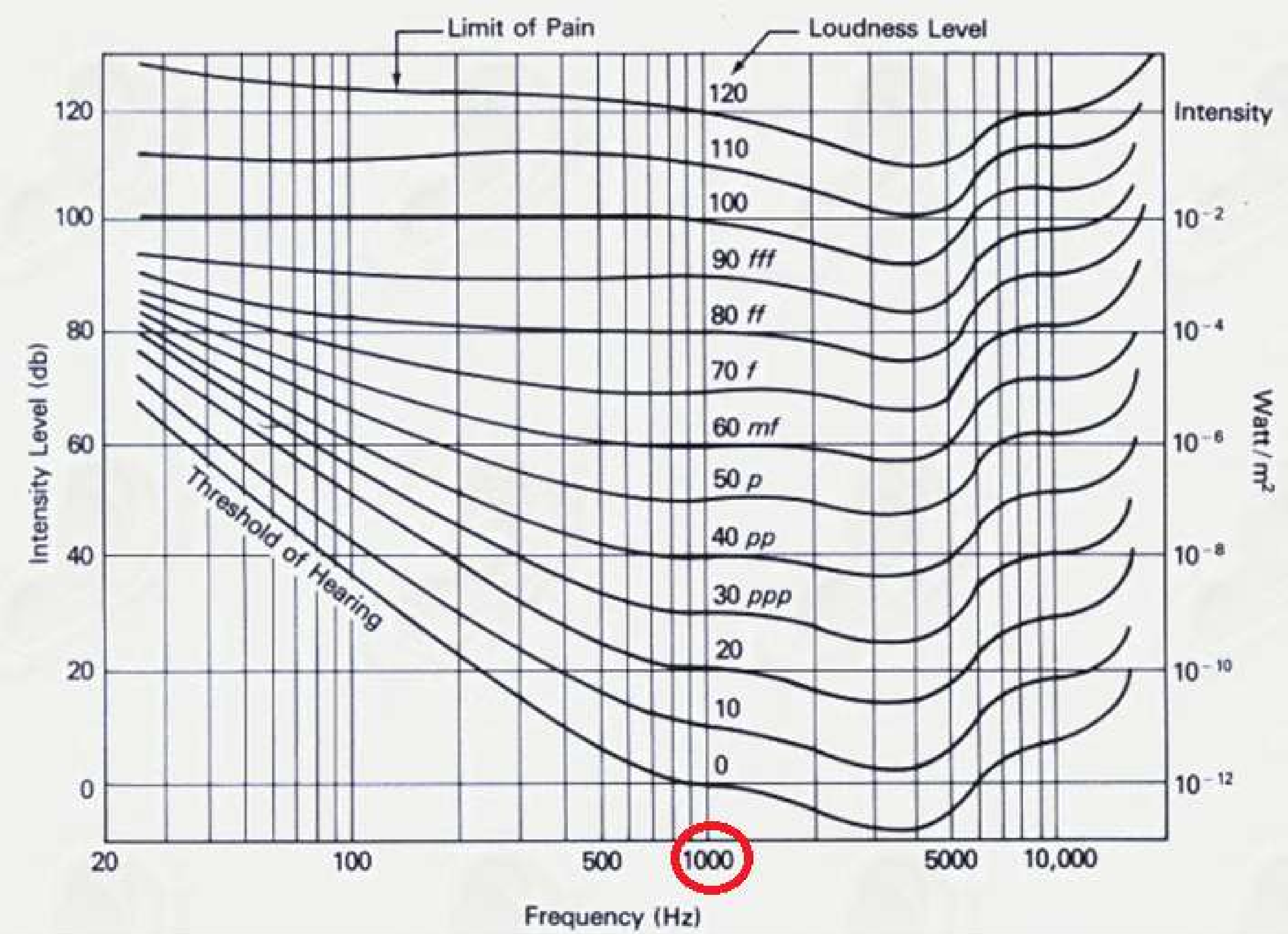
Fuente del sonido	β (dB)
Avión jet cercano	150
Martillo hidráulico; ametralladora	130
Sirena; concierto de rock	120
Transporte subterráneo; podadora potente	100
Congestionamiento de tránsito	80
Aspiradora	70
Conversación normal	50
Zumbido de mosquito	40
Susurro	30
Hojas meciéndose	10
Umbral de audición	0

Límite higiénico laboral para 8 hs.: 80 dBA

En Montevideo se consideran ruidos molestos los que superan los 45 dB (decibeles) entre las 7.00 y las 22.00 horas, y 39 dB entre las 22.00 y las 7.00, medidos dentro de una casa

Decibelio A (dBA): unidad de nivel sonoro medido con un filtro previo que quita parte de las bajas y las muy altas frecuencias. De esta manera, después de la medición se filtra el sonido para conservar solamente las frecuencias más dañinas para el oído, razón por la cual la exposición medida en dBA es un buen indicador del riesgo auditivo y vital.

RESPUESTA AUDITIVA



Umbral de audición: intensidad mínima necesaria para que un sonido de una frecuencia dada empiece a ser audible (curva inferior).

Umbral de sensación dolorosa: se experimenta una sensación de cosquilleo cuando los huesecillos vibran en forma tan fuerte que chocan con las paredes del oído medio. El intervalo de la audición normal se halla entre estas dos curvas.

EJEMPLOS- Ejercicios del repartido

4.2.3- Si el nivel de intensidad del habla de una persona es de 50 dB, ¿cuál es el nivel de intensidad cuando 10 personas a la vez hablan de la misma manera?

$$\beta_1 = 10\log\left(\frac{I_1}{I_0}\right) = 50\ dB$$

La intensidad del sonido de 10 personas será 10 veces que el de una persona (I_1): $I_2 = 10\ I_1$.

$$\beta_2 = 10\log\left(\frac{I_2}{I_0}\right) = 10\log\left(\frac{10I_1}{I_0}\right) = 10\log 10 + 10\log\left(\frac{I_1}{I_0}\right) = 10 + \beta_1 = 60\ dB$$

4.2.4- Una persona hablando emite sonido con una potencia de 10^{-5} W. ¿Cuál es la máxima distancia a la cual otra persona puede escuchar su voz? (Supongamos que no hay otro sonido tapándolo ni absorción del sonido por el aire).

El límite auditivo corresponde a una intensidad $I_0 = 1{,}0\times10^{-12}\ W/m^2$

$$I_0 = \frac{\mathcal{P}}{4\pi r^2} \quad \Rightarrow r = \sqrt{\frac{\mathcal{P}}{4\pi I_0}} = \sqrt{\frac{10^{-5}}{4\pi 10^{-12}}} = \sqrt{\frac{10^7}{4\pi}} = 892\ m$$