

Tema 07

Ondas sonoras



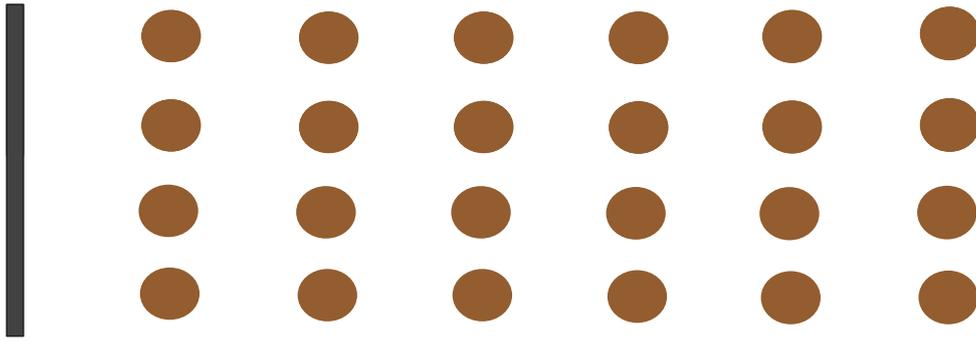
IES Padre Manjón
Prof: Eduardo Eisman

07. Ondas sonoras: índice

CONTENIDOS	
1. Ondas sonoras · 2. Velocidad de propagación del sonido · 3. Intensidad del sonido y sensación sonora · 4. Fenómenos ondulatorios del sonido · 5. Ondas sonoras estacionarias en tubos · 6. Efecto Doppler	
CRITERIOS DE EVALUACIÓN	ESTÁNDARES DE APRENDIZAJE
10. Explicar y reconocer el efecto Doppler en sonidos.	10.1. Reconoce situaciones cotidianas en las que se produce el efecto Doppler justificándolas de forma cualitativa.
11. Conocer la escala de medición de la intensidad sonora y su unidad.	11.1. Identifica la relación logarítmica entre el nivel de intensidad sonora en decibelios y la intensidad del sonido, aplicándola a casos sencillos.
12. Identificar los efectos de la resonancia en la vida cotidiana: ruido, vibraciones, etc.	12.1. Relaciona la velocidad de propagación del sonido con las características del medio en el que se propaga. 12.2. Analiza la intensidad de las fuentes de sonido de la vida cotidiana y las clasifica como contaminantes y no contaminantes.
13. Reconocer determinadas aplicaciones tecnológicas del sonido como las ecografías, radares, sonar, etc.	13.1. Conoce y explica algunas aplicaciones tecnológicas de las ondas sonoras, como las ecografías, radares, sonar, etc.

1.1 Ondas sonoras

- El sonido son ondas **mecánicas longitudinales**



- El sonido requiere:**
 - Una fuente:** altavoces, instrumentos musicales, la voz, etc.
 - Un medio mecánico** por el que se propague la onda sonora que debe presentar propiedades elásticas.
 - Un receptor o detector de sonidos** que transforme la energía transmitida en otro tipo de energía que permita su análisis y su interpretación.
- El **sonido** es la propagación de la vibración de un cuerpo elástico a través de un medio material.

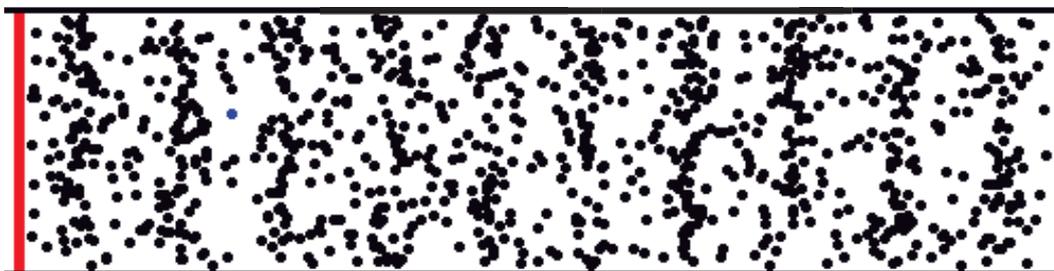
1.2 Ondas sonoras

- ¿Cómo se producen y propagan las ondas sonoras?**

- Las ondas mecánicas longitudinales son **sonoras** cuando se perciben por nuestros oídos, esto es cuando la frecuencia de oscilación se encuentra **entre 20 Hz y 20.000 Hz**.



- Los sonidos de frecuencia **inferior a 20 Hz** se denominan **infrasonidos**.
 - Los sonidos de frecuencia **superior a 20.000 Hz** se denominan **ultrasonidos**.
- Todo cuerpo que oscile con una frecuencia entre 20 Hz y 20.000 Hz crea una onda sonora en el medio circundante, ya sea sólido, líquido o gaseoso.
- Las ondas sonoras se propagan por un medio gaseoso mediante una secuencia alternada de **compresiones y enrarecimientos**.



2.1 Velocidad de propagación del sonido

- La velocidad de propagación del sonido **depende del medio** a través del cual se propaga.
- En general la velocidad de propagación del sonido es mayor en los **sólidos** que en los **líquidos** y en los líquidos mayor que en los **gases**.

- Velocidad de propagación en los **sólidos**:

$$v = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

E → Módulo de Young
ρ → Densidad

- Velocidad de propagación en los **líquidos**:

$$v = \sqrt{\frac{B}{\rho}}$$

B → Módulo de compresibilidad
ρ → Densidad

- Velocidad de propagación en los **gases**:

$$v = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M}}$$

γ → Coeficiente adiabático
R → Constante universal de los gases
T → Temperatura Kelvin
M → Masa molar del gas

MEDIO	TEMP (°C)	VEL(m/s)
Aire	0	331.7
Aire	15	340
Oxígeno	0	317
Etanol	20	1200
Benceno	20	1300
Agua	15	1450
Aluminio	20	5000
Acero	20	5130
Cobre	20	3750
Vidrio	20	5170

3.1 Intensidad del sonido y sensación sonora

- La **intensidad de una onda** viene dada por:

$$I = \frac{E}{s \cdot t}$$

- Si el medio es isótropo, el frente de onda es esférico y por tanto, como obtuvimos en el tema anterior:

$$I = \frac{\rho w^2 A^2}{2t}$$

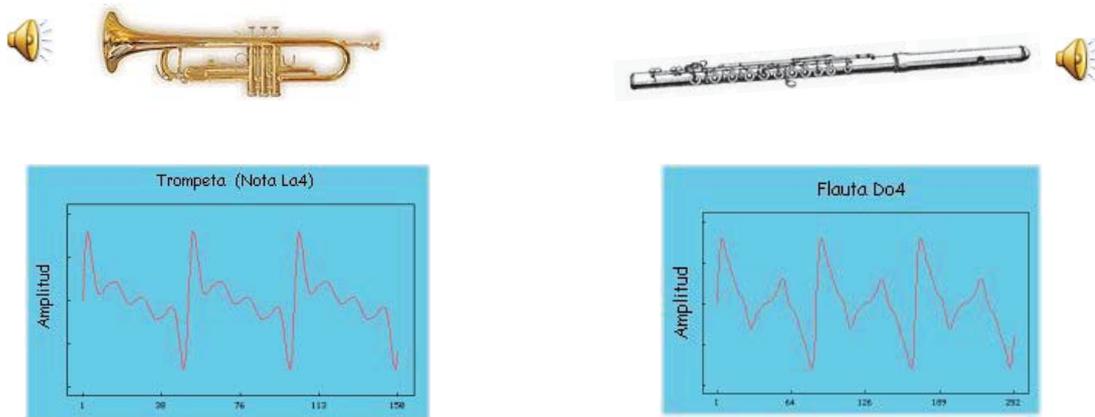
- La intensidad es proporcional al cuadrado de la amplitud y al cuadrado de la frecuencia.
- La intensidad disminuye al alejarse del foco conforme $1/r^2$, debido a que la amplitud es inversamente proporcional a la distancia al foco.

- El sonido se puede interpretar también como **variación de la presión**. Se puede demostrar que:

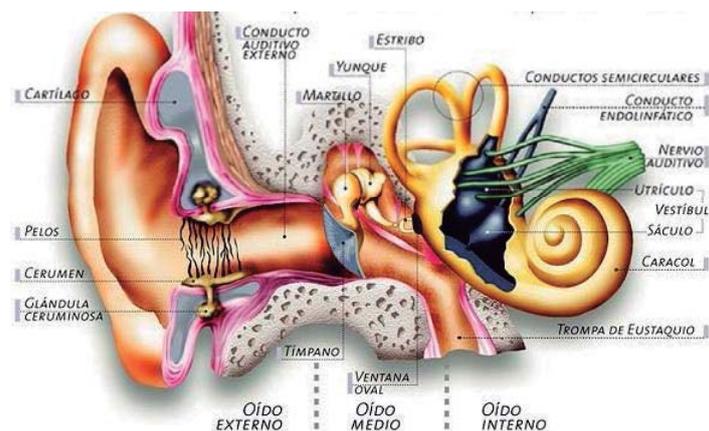
$$I = \frac{\Delta p}{2\rho v}$$

3.2 Cualidades del sonido

- **Intensidad.** Es la energía que se propaga por unidad de área perpendicular a la dirección de propagación: **fuertes y débiles.**
- **Tono.** Relacionado con la frecuencia: **graves (bajas frecuencias) y agudos (altas frecuencias)**
- **Timbre.** Relacionado con la **forma de la onda**, que hace posible distinguir entre los sonidos producidos por los diferentes instrumentos.



3.3 Espectro de intensidades que abarca el oído



- **Espectro de intensidades que abarca el oído humano:**

$$I_0 = 10^{-12} \frac{W}{m^2} \quad \Rightarrow \quad I = 1 \frac{W}{m^2}$$

umbral de audición

sensación auditiva dolorosa

3.4 Escala de nivel de intensidad sonora

- Se define el **nivel de intensidad sonora**:

$$\beta = 10 \log \frac{I}{I_0}$$

I : Intensidad de la onda sonora
 I_0 : Intensidad de la onda sonora de referencia 10^{-12} W/m^2

- El nivel de intensidad sonora se mide en **decibelios (dB)**
- El **umbral de audición** en decibelios:

$$\beta = 10 \log \frac{10^{-12}}{10^{-12}} = 10 \log 1 = 0 \text{ db}$$

- La **sensación auditiva dolorosa** en decibelios:

$$\beta = 10 \log \frac{1}{10^{-12}} = 10 \log 10^{12} = 120 \text{ db}$$

3.5 Escala de nivel de intensidad sonora

Nivel de intensidad de algunos sonidos comunes en decibelios			
	dB		dB
Umbral de audición	0	Tráfico pesado	70
Respiración normal	10	Fábrica	80
Rumor de hojas	20	Camión pesado	90
Murmullo a 5 m	30	Tren suburbano	100
Biblioteca	40	Ruido de construcción	110
Oficina tranquila	50	Concierto de rock	120 (umbral de dolor)
Conversación normal	60	Martillo neumático	130

3.6 Intensidad del sonido y sensación sonora. Ejercicios

1. Considera una fuente sonora que emite a 500 Hz en el aire. Si este sonido se transmite después a un líquido con una velocidad de propagación de 1 800 m/s, determina:

- La longitud de onda del sonido en el aire.
- El período del sonido en el aire.
- La longitud de onda del sonido en el líquido.

2. El nivel de intensidad sonora de una bocina es de 60 dB a 10 m de distancia. Considerando la sirena un foco emisor puntual, determina:

- La intensidad sonora a 100 m y a 1 km de distancia.
- El nivel de intensidad sonora a 100 m y a 1 km de distancia.
- La distancia a la que la sirena deja de ser audible.

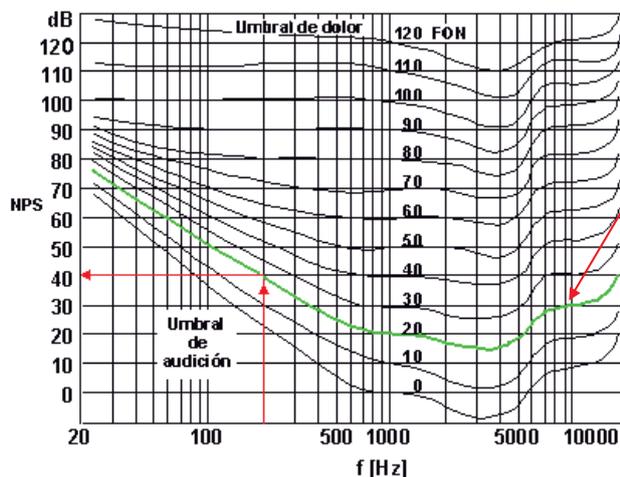
3. Se realizan dos mediciones del nivel de intensidad sonora en las proximidades de un foco sonoro puntual. La primera, a una distancia x del foco, da como resultado 100 dB, y la segunda, realizada 100 m más lejos de x en la misma dirección, da como resultado 80 dB.

Determina:

- Las distancias al foco desde donde se hacen las mediciones.
- La potencia sonora del foco emisor.

3.7 Sensación sonora

- La sensación sonora es un factor subjetivo** que involucra procesos fisiológicos y psicológicos que tienen lugar en el oído y en el cerebro.
- Los ruidos se pueden clasificar en débiles, fuertes, desagradables, etc.**
- La sensación no solo depende de la intensidad, sino también de la frecuencia.



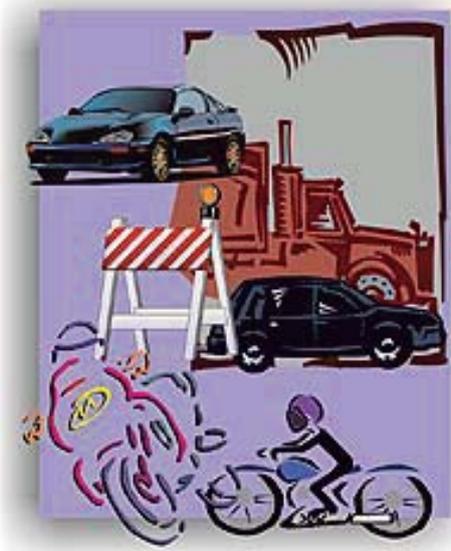
- A lo largo de la curva, sonidos de diferente frecuencia son percibidos de igual manera.**

- El oído es mucho más sensible a medias y altas frecuencias que a bajas frecuencias.
- A niveles bajos de intensidad, el oído es más sensible a bajas frecuencias.
- A niveles altos de intensidad, el oído tiende a responder de una manera más homogénea en todo el rango de frecuencias.

3.8 Contaminación acústica y calidad de vida

- Definimos la **contaminación acústica** como sonidos y vibraciones nocivos o no deseados, generados por la actividad humana.

- Fuentes de contaminación acústica**
- Efectos del ruido sobre la salud**



- Automóviles
- Motocicletas
- La cultura del ocio
- Aviones
- Ferrocarril
- Obras
- Otras fuentes
- Trastornos del sueño
- Malestar y estrés
- Perdida de atención
- Dificultad de comunicación
- Trastornos psicofísicos
- Perdida de oído

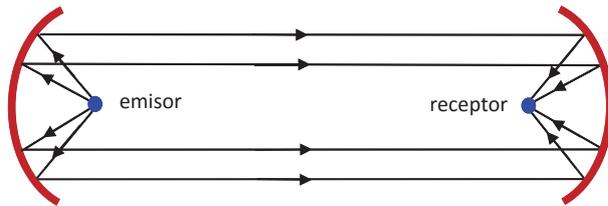
3.9 Medidas contra la contaminación acústica

- Medidas contra la contaminación acústica**

Fuente	Transmisión	Receptor
<ul style="list-style-type: none"> Reducir o eliminar la intensidad del sonido <ul style="list-style-type: none"> Sistemas amortiguadores del ruido Disminuir la rugosidad en tuberías Disminuir tiempo de funcionamiento al mínimo Reducir la frecuencia para minimizar efectos <ul style="list-style-type: none"> En ventiladores, menos aspas y menor frecuencia de giro Directividad de la fuente <ul style="list-style-type: none"> Dirigir la fuente en otra dirección 	<ul style="list-style-type: none"> Separar la fuente del receptor <ul style="list-style-type: none"> La intensidad $1/r$ Se produce amortiguación del ruido debido a la disipación Aislamiento sonoro de la fuente Barreras de ruido 	<ul style="list-style-type: none"> Sistemas de protección individual Disminución del tiempo de exposición

4.1 Fenómenos ondulatorios del sonido

• La reflexión del sonido

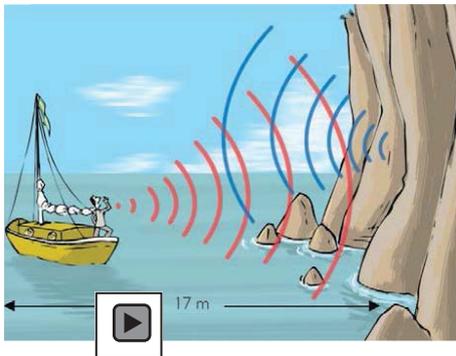


- Con las antenas parabólicas el sonido se dirige en una misma dirección, evitando la amortiguación con la distancia

• Eco

- El oído humano distingue entre dos sonidos que lleguen con 0,1 s de diferencia:

$$d = 340 \text{ m/s} \cdot 0,1 \text{ s} = 34 \text{ m}$$



• Reverberación

- Si el tiempo es menor de 0,1 s no se produce eco, sino reverberación.

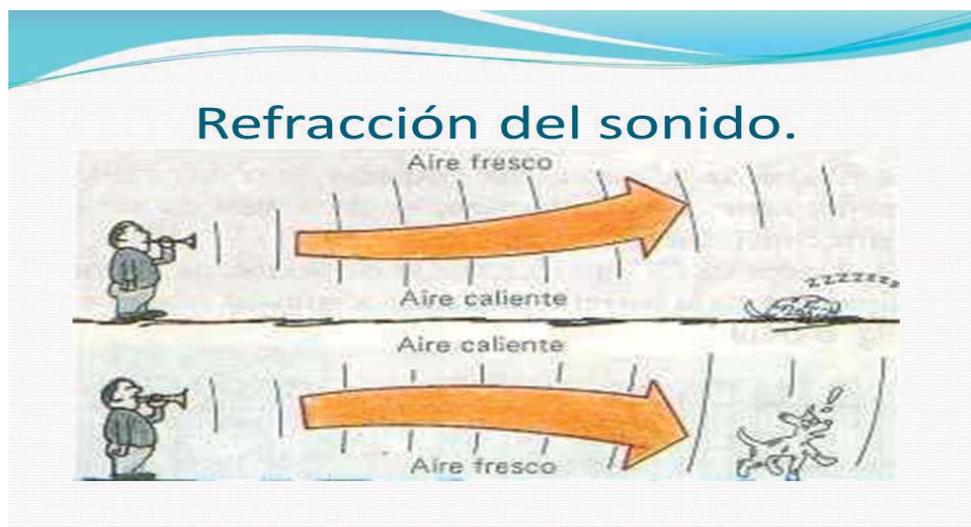


4.2 Fenómenos ondulatorios del sonido

4. Una persona situada entre dos montañas oye ecos al cabo de 3,2 s y 5 s.

- ¿A qué distancia se encuentran ambas montañas?
- ¿Cuándo se oirá el tercer eco? ¿Y el cuarto? ¿Y el quinto?

Dato: velocidad del sonido = 340 m/s



5. Una persona situada entre dos montañas oye ecos al cabo de 3,2 s y 5 s.

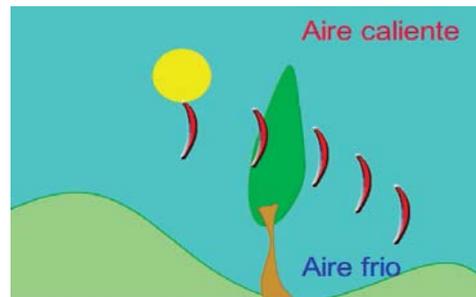
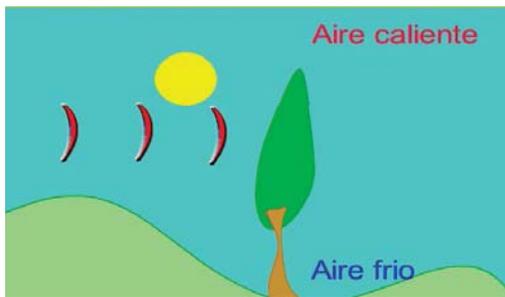
- ¿A qué distancia se encuentran ambas montañas?
- ¿Cuándo se oirá el tercer eco? ¿Y en cuarto? ¿Y el quinto?

Dato: velocidad del sonido = 340 m/s

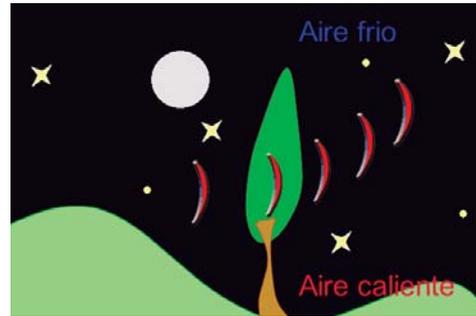
4.3 Fenómenos ondulatorios del sonido

• La refracción del sonido

- Cuando la temperatura del aire cambia, lo hace la velocidad del sonido, esto provoca desviaciones de la dirección de propagación.



- Si el aire frío está más cerca de la tierra y el caliente está por encima el sonido se propaga hacia abajo; esto es lo que ocurre durante el día.



- Por el contrario de noche se invierte la situación y el sonido se desvía hacia arriba.

4.4 Fenómenos ondulatorios del sonido. Difracción

• Difracción del sonido

- Para que exista difracción debe ocurrir que el tamaño del obstáculo sea del orden de la longitud de onda.
- El espectro audible se encuentra entre 20 y 20.000 Hz y la velocidad del sonido es de unos 340 m/s.
- El tamaño del obstáculo debe ser del orden:

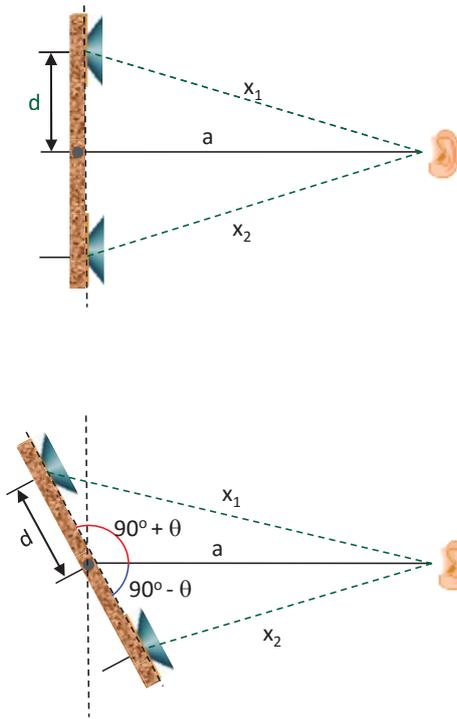
$$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{340 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}}{20 \text{ Hz}} = 17 \text{ m}$$

$$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{340 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}}{20.000 \text{ Hz}} = 0,017 \text{ m}$$



4.5 Fenómenos ondulatorios del sonido. Interferencias

• Interferencias sonoras



- Dos altavoces conectados a un mismo generador por lo que **vibran en fase** y envían ondas al aire idénticas.
- Pueden girar en torno a un eje vertical que pasa por su centro.
- La distancia entre los altavoces es lo suficientemente pequeña para considerar que las amplitudes de las dos ondas sean iguales en un punto alejado.
- Al hacerlos girar se irán obteniendo interferencias **constructivas y destructivas** determinadas por la diferencia de caminos.
- La condición de máximo viene dada por:

$$x_1 - x_2 = n\lambda \quad n=0,1,2,\dots$$

- El primer máximo es para $n=1$: $x_1 - x_2 = \lambda$

$$x_1^2 = d^2 + a^2 - 2da \cos(90^\circ + \theta)$$

$$x_2^2 = d^2 + a^2 - 2da \cos(90^\circ - \theta)$$

4.6 Fenómenos ondulatorios del sonido. Interferencias

• Interferencias sonoras: batidos o pulsaciones



$$p_1 = p_m \text{ sen } 2\pi f t$$

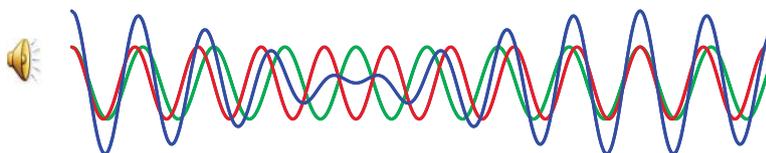


$$p_2 = p_m \text{ sen } 2\pi f' t$$

$$p = \left(2p_m \cos 2\pi \frac{f - f'}{2} t \right) \text{ sen } 2\pi \frac{f + f'}{2} t$$

- El sonido será máximo cuando:

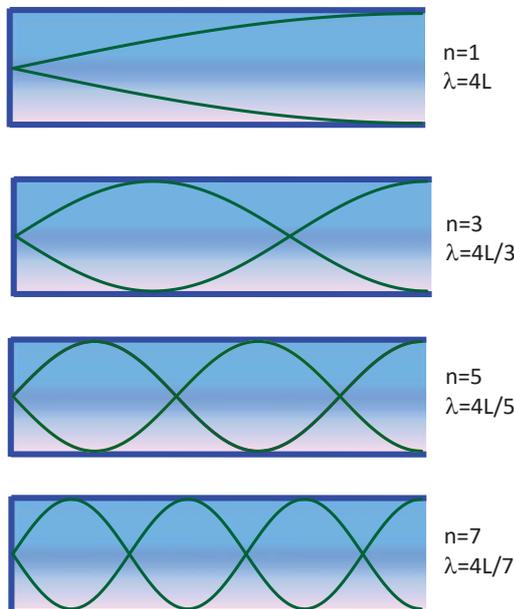
$$\cos 2\pi \frac{\Delta f}{2} t = \pm 1$$



Δf es la **frecuencia de pulsación**.

5.1 Ondas estacionarias en tubos

- **Ondas sonoras estacionarias en un tubo abierto por uno de los extremos**
- En la **parte cerrada** las moléculas de aire no oscilan por lo que se produce un **nodo de desplazamiento** pero la presión es máxima.
- En la **parte abierta** las moléculas de aire pueden oscilar por lo que se produce un **vientre de desplazamiento** pero la presión es mínima.



- La distancia entre un vientre y un nodo es $\lambda/4$, la longitud L del tubo debe ser:

$$L = \frac{\lambda}{4}, 3\frac{\lambda}{4}, 5\frac{\lambda}{4} \dots$$

- En general:

$$L = (2n + 1)\frac{\lambda}{4} \quad n = 0, 1, 2, \dots$$

- Las **longitudes de onda** estacionarias que pueden formarse:

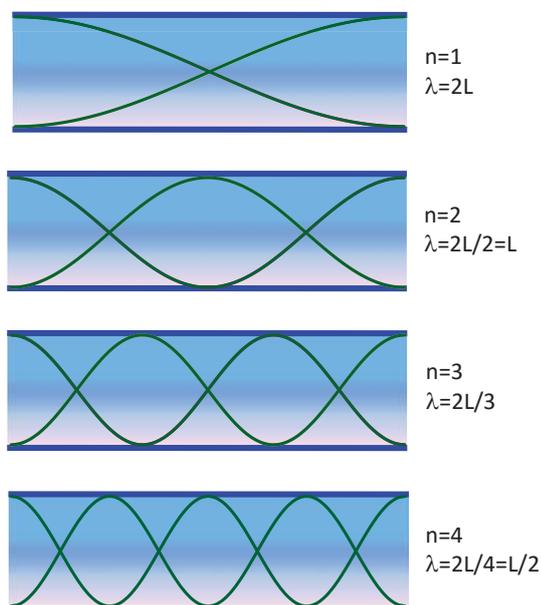
$$\lambda = \frac{4L}{(2n + 1)}$$

- Frecuencias o **armónicos permitidos**:

$$f = (2n + 1)\frac{v}{4L}$$

5.2 Ondas estacionarias en tubos

- **Ondas sonoras estacionarias en un tubo abierto por ambos extremos**
- En ambos extremos las moléculas de aire pueden oscilar por lo que se produce un **vientre de desplazamiento** pero la presión es mínima.



- La distancia entre dos vientres es $\lambda/2$, la longitud L del tubo debe ser:

$$L = \frac{\lambda}{2}, \lambda, 3\frac{\lambda}{2} \dots$$

- En general:

$$L = n\frac{\lambda}{2} \quad n = 1, 2, 3, \dots$$

- Las **longitudes de onda** estacionarias que pueden formarse:

$$\lambda = \frac{2L}{n} \quad n = 1, 2, 3, \dots$$

- Frecuencias o **armónicos permitidos**:

$$f = n\frac{v}{2L}$$

6.1 El efecto Doppler

- Se conoce como **efecto Doppler** al fenómeno debido al movimiento relativo de la fuente sonora y el observador por el que cambia la frecuencia que se percibe de un sonido.

- Fuente sonora y observador en reposo relativo**



- Fuente sonora en movimiento y observador en reposo**



- Fuente sonora y observador en reposo relativo**

- Fuente sonora se acerca/aleja de observadores que se encuentran en reposo relativo**

6.2 El efecto Doppler

- Fuente sonora en movimiento y observador en reposo**

- Si v_F es la velocidad del foco y v es la velocidad del sonido, la velocidad aparente de propagación de las ondas será $v - v_F$, la longitud de onda y la frecuencia para el observador O serán:

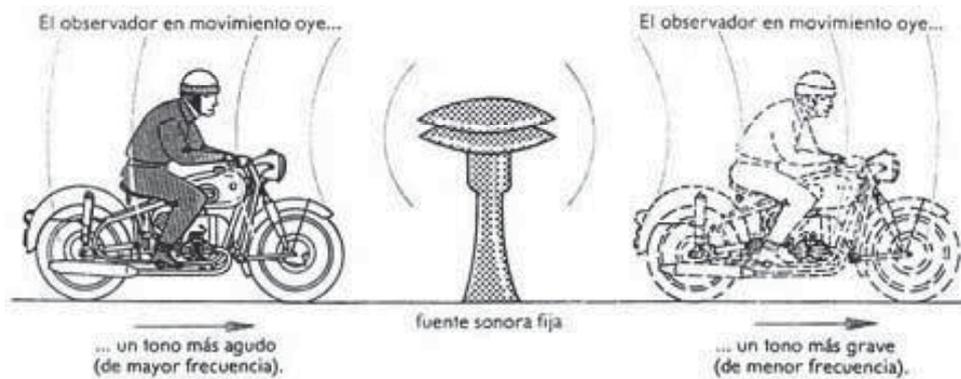
$$\lambda' = (v - v_F)T = \frac{(v - v_F)}{f} \quad f' = \frac{v}{\lambda'} = f \frac{v}{(v - v_F)} \quad f' > f$$

- Para el observador O' la velocidad aparente de propagación de las ondas será $v + v_F$, la longitud de onda y la frecuencia serán:

$$\lambda' = (v + v_F)T = \frac{(v + v_F)}{f} \quad f' = \frac{v}{\lambda'} = f \frac{v}{(v + v_F)} \quad f' < f$$

6.3 El efecto Doppler

- **Fuente sonora en reposo y observador en movimiento**



- **Se acerca:**

$$f' = \frac{v'}{\lambda} = \frac{v + v_0}{v/f} = f \left(\frac{v + v_0}{v} \right)$$
$$f' > f$$

- **Se aleja:**

$$f' = \frac{v'}{\lambda} = \frac{v - v_0}{v/f} = f \left(\frac{v - v_0}{v} \right)$$
$$f' < f$$

6.4 El efecto Doppler

- **Fuente sonora y observador en movimiento**

- Combinando los casos anteriores:

- **Se acercan:**

$$f' = f \left(\frac{v + v_0}{v - v_F} \right)$$

- **Se alejan:**

$$f' = f \left(\frac{v - v_0}{v + v_F} \right)$$

- **Aplicaciones del efecto Doppler**

- **Sistemas de radar** aplicados al tráfico. Midiendo las pulsaciones que se producen al interferir las ondas emitidas y reflejada.
- **Efecto Doppler cosmológico** Midiendo el “corrimiento hacia el rojo” si el objeto se aleja o el “corrimiento hacia el azul” si el objeto se acerca.

6.5 El efecto Doppler. Ejercicios

6. Determina las tres frecuencias más bajas de un tubo de 2 m que está abierto por un extremo si la velocidad del sonido es de 340 m/s.

7. Determina las tres frecuencias más bajas de un tubo de 2,5 m que está abierto por ambos extremos si la velocidad del sonido es de 340 m/s.

8. El tren AVE, que se desplaza a 220 km/h, hace sonar su silbato con una frecuencia de 520 Hz. Halla la frecuencia que percibe un observador en reposo cuando el tren se aproxime y se aleje.

9. Una sirena emite un sonido a 500 Hz. Calcula la frecuencia que percibe un observador en los siguientes casos:

- El observador está en reposo y la sirena se aproxima a él a 30 m/s.
- El observador se aleja a 10 m/s de la sirena, que está en reposo.
- El observador y la sirena se aproximan uno hacia el otro a 10 m/s y 20 m/s respectivamente.

6.6 El efecto Doppler

• Romper la barrera del sonido

- Si v_F es igual a la velocidad de propagación v del sonido, los frentes de onda constituyen una barrera que opone una gran resistencia a ser atravesada.

•

■

- Si v_F es superior a la velocidad de propagación v del sonido, los frentes de onda aparecerán superpuestos y formarán un frente de onda cónico conocido como **onda de choque u onda de Mach**. La relación entre la velocidad de la fuente y la del sonido se conoce como **número de Mach (v_F/v)**