



FACULTAD DE MEDICINA
UNIVERSIDAD DE CHILE



PROF. JOCELYN DUNSTAN

SONIDO

-Física II, Tecnología Médica 2018

-

OBJETIVOS DE ESTA CLASE

- ▶ Sonido como una onda longitudinal
- ▶ Rapidez del sonido
- ▶ Como funciona el oído
- ▶ Ondas periódicas
- ▶ Intensidad del sonido
- ▶ Efecto Doppler

¿QUÉ ES EL SONIDO?

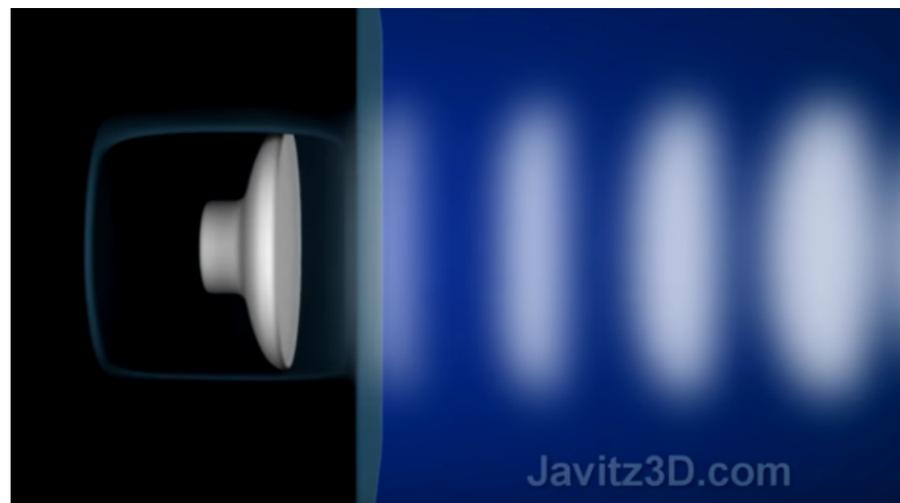
Perturbaciones que se transmiten en un medio



Si escuchamos el celular, es porque tiene un parlante, que consiste en un diafragma y un soporte fijo. Las vibraciones del diafragma se transmiten a las moléculas de aire alrededor, las cuales son detectadas en el oído!

DEFINICIÓN DE SONIDO

- Las ondas sonoras son perturbaciones longitudinales
- Requiere un medio para propagarse, y la rapidez de propagación depende de las propiedades del medio
- Cuando viaja en el aire, el sonido es una propagación de cambios de densidad y presión



CARACTERÍSTICAS DEL SONIDO

Volumen



Amplitud de la
vibración

Tono



Frecuencia a la que
vibra el medio

RAPIDEZ DEL SONIDO

La rapidez del sonido depende de la compresibilidad (modulo volumétrico, B , que da cuenta de la rigidez del medio) y de la densidad (ρ):

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

Que al igual que en las velocidades de propagación de ondas en cuerdas, depende de una propiedad elástica y una inercial.

En el aire, la rapidez depende de la temperatura (T_c), ya que el aire más caliente tiene menos densidad:

$$v = \left(331 \frac{m}{s}\right) \sqrt{1 + \frac{T_c}{273^\circ C}}$$

A 20 grados celsius, la rapidez es 343 m/s.

SONIDO EN LÍQUIDOS Y SÓLIDOS

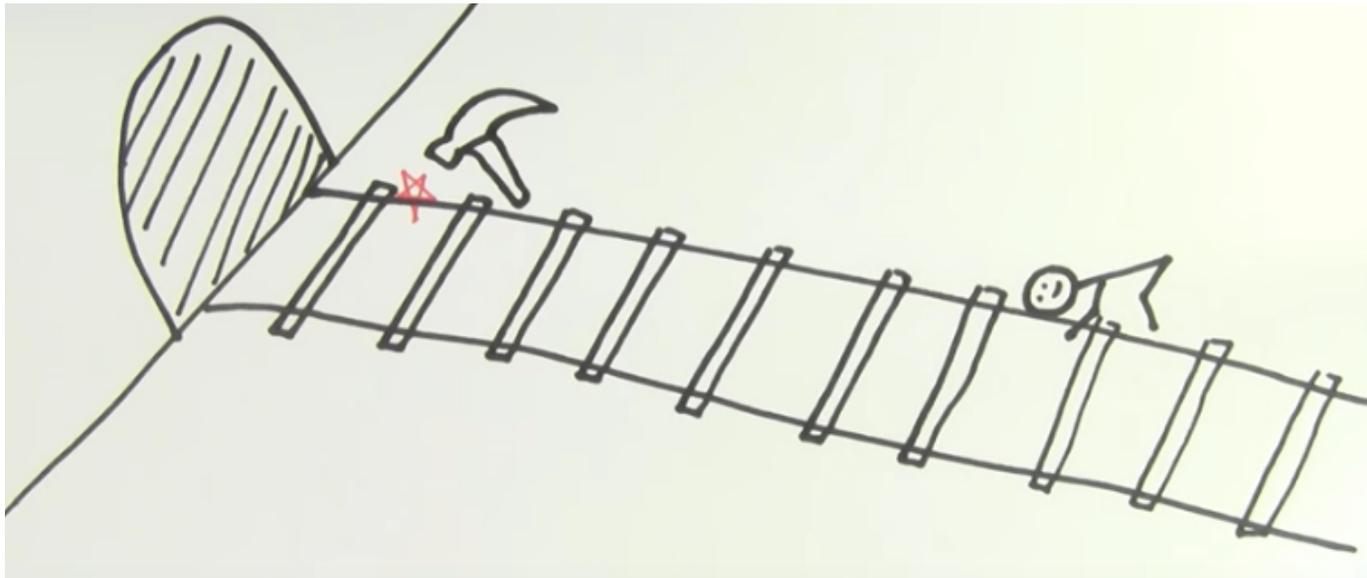
En líquidos, la densidad es mayor, pero también lo es la rigidez. Del mismo modo, la densidad de los sólidos es mayor que líquidos, pero también son más rígidos. En general se cumple que:

$$v_{gas} < v_{liquido} < v_{solido}$$

En agua pura a 20 grados celsius, la rapidez es 1481 m/s.

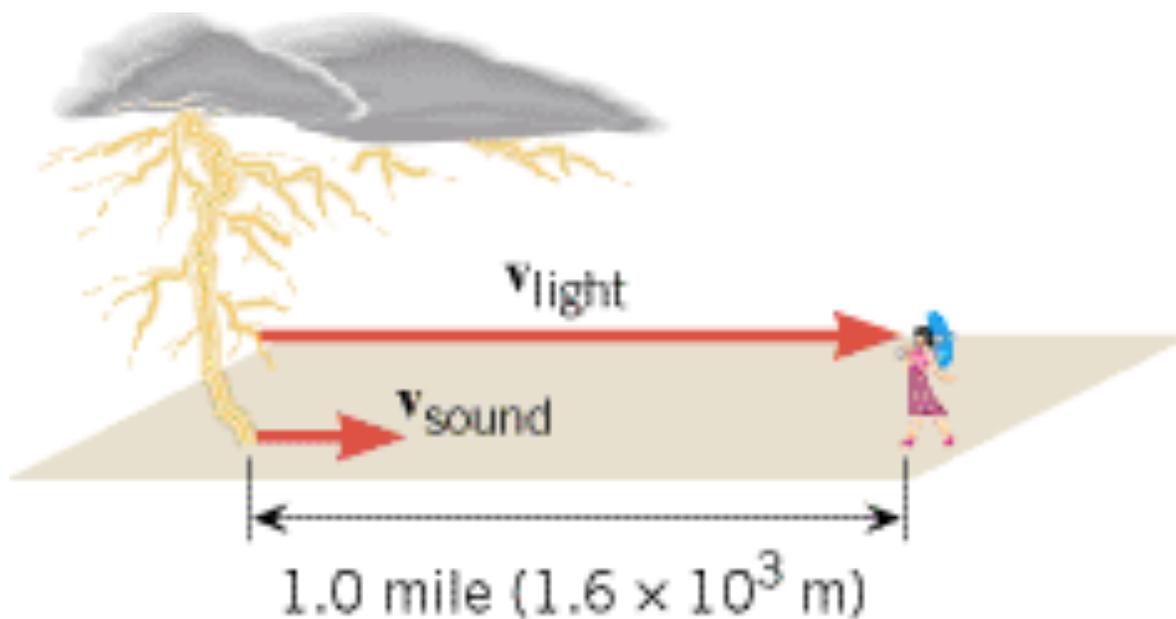
SONIDO EN SÓLIDOS

La rapidez del sonido en el hierro es 14 veces mayor que en el aire, por lo que poniendo un oído en el riel se escucharía antes un martillazo que por el otro oído.



RAPIDEZ DE LA LUZ Y EL SONIDO EN EL AIRE

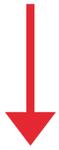
La rapidez de la luz en el aire es 299.700 km/s , y la del sonido es $0,343 \text{ km/s}$. Eso explica porque el rayo se ve antes de que se escucha la tormenta!



En este ejemplo, la luz se demora $5.3 \times 10^{-6} \text{ [s]}$, mientras que el sonido 5 [s]

TIPOS DE ONDAS SONORAS DE ACUERDO A SU FRECUENCIA

Audibles



En el intervalo
de sensibilidad
del oído

ej: instrumentos
musicales

Infrasónicas



Frecuencia por
debajo de lo
audible

ej: los elefantes
se comunican así

Ultrasónicas



Frecuencia
por encima de
lo audible

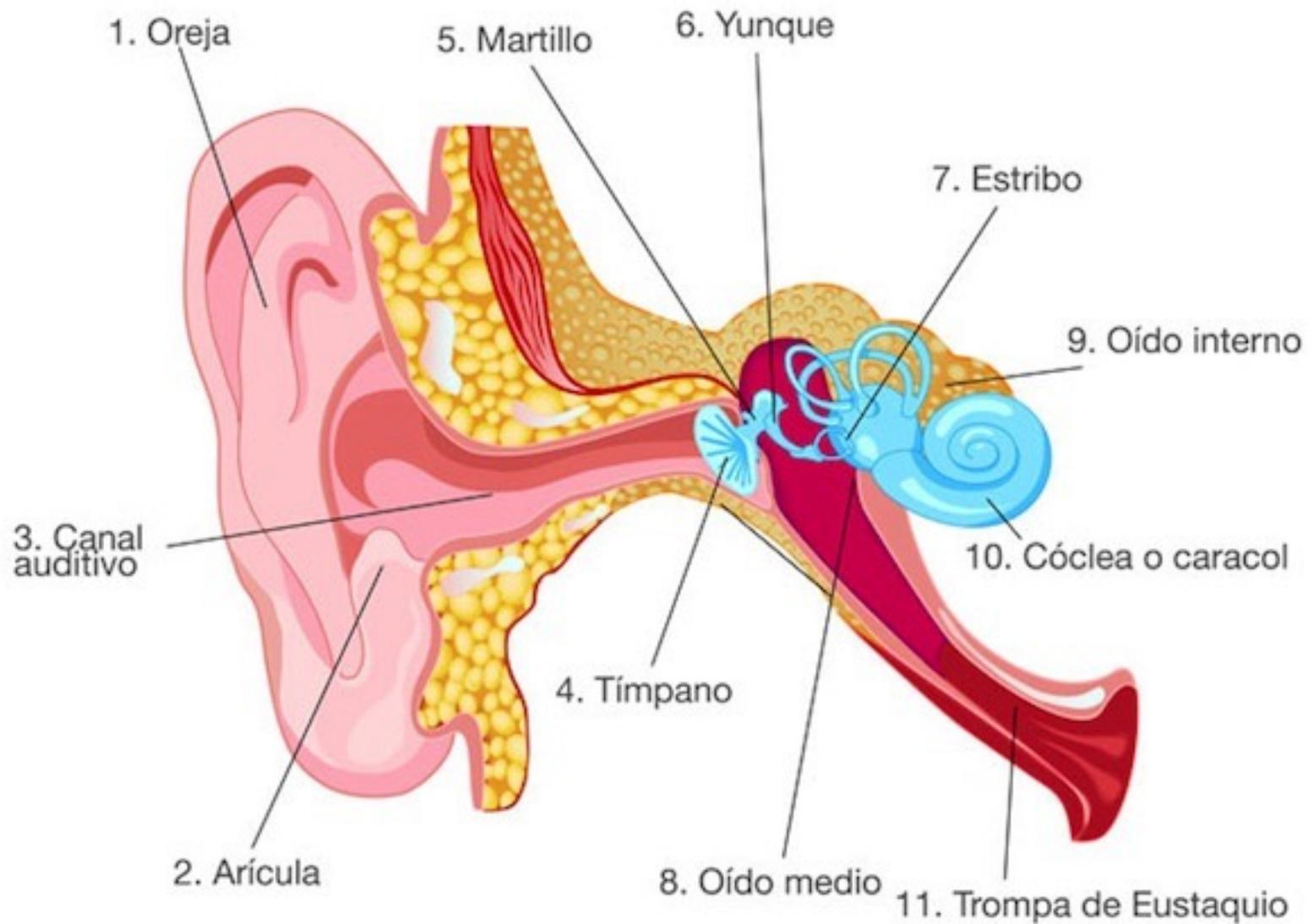
ej: ultrasonido
en ecografías

¿CÓMO ESCUCHAMOS?

- ▶ La aurícula sirve para recolectar ondas sonoras
- ▶ El tímpano vibra con las ondas sonoras, lo cual hace vibrar los pequeños huesos en el oído medio.
- ▶ Estos huesos (martillo, yunque y estribo) están inmersos en fluido, por lo cual la onda es amplificada por el tímpano.

<https://www.youtube.com/watch?v=qgdqp-oPb1Q>

EL OÍDO



Javitz3D.com

ONDAS SONORAS PERIÓDICAS

De la misma manera que estudiamos ondas periódicas en cuerdas, lo hacemos en sonido. Sea $s(x,t)$ la posición de un elemento en el gas, frente a una oscilación periódica:

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

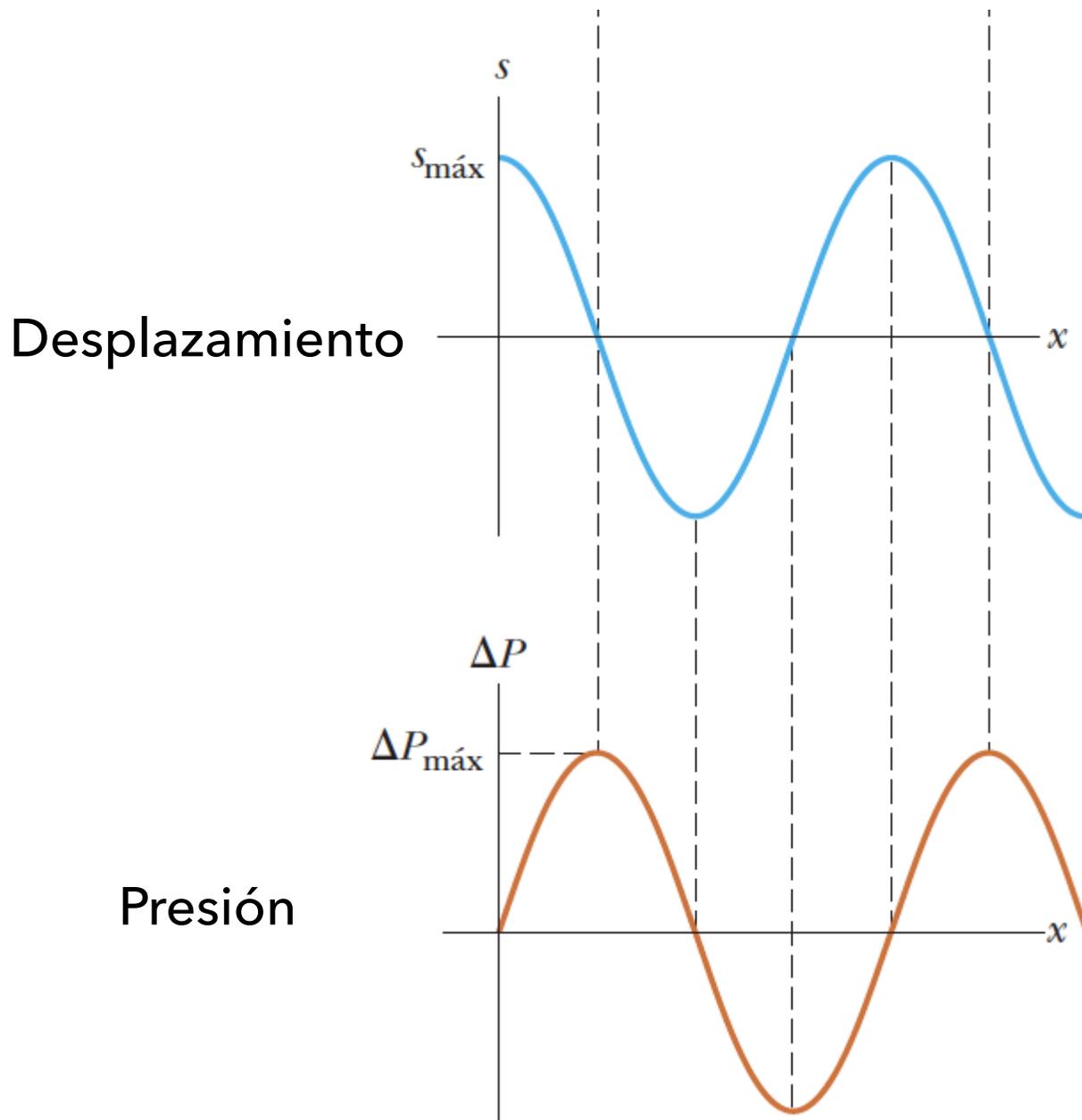
Note que las partículas en el aire no viajan a la velocidad del sonido, sino que es la perturbación la que se desplaza!

Por otra parte, la onda de presión que acompaña este desplazamiento está dado por:

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

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

ONDAS SONORAS PERIÓDICAS



Cuando de que la presión alcanza su máximo, las moléculas en el gas se expanden

ENERGIA EN UNA ONDA SONORA

Se puede demostrar que la energía total transmitida en una longitud de onda es:

$$E_{\lambda} = \frac{1}{2} \rho A \omega^2 s_{max}^2 \lambda$$

Por lo tanto, la potencia (E/T) es:

$$P = \frac{1}{2} \rho A \omega^2 s_{max}^2 v$$

Y la intensidad (I/A) es:

$$I = \frac{1}{2} \rho \omega^2 s_{max}^2 v = \frac{\Delta P_{max}}{2 \rho v}$$

INTENSIDAD DE UNA ONDA SONORA PUNTUAL

La intensidad de una onda es inversamente proporcional al cuadrado de la Por lo tanto, la potencia es:

$$I = \frac{\text{Potencia}}{4\pi r^2}$$

Por lo que una persona alejada el doble de la fuente escuchará con una intensidad cuatro veces menor.

PROBLEMA

Si una fuente emite a 80 W, encuentre la distancia a la que la intensidad del sonido es $1 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2$

INTENSIDAD DEL SONIDO

El rango audible en los humanos es entre $I_0=10^{-12}$ W/m² y 1 W/m², que son 12 órdenes de magnitud! Es por esto que es más conveniente medir en escala logarítmica.

El nivel sonoro β , medido en decibeles, se define como:

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

Usando esta medida, el umbral del dolor 1 W/m² es 120 dB.

PROBLEMA

¿Qué intensidad tiene una fuente si el nivel sonoro es 53 dB?

$$\beta = 10 \log_{10} \left(\frac{I}{I_0} \right) = 53 \implies \log_{10} \left(\frac{I}{I_0} \right) = 5.3$$

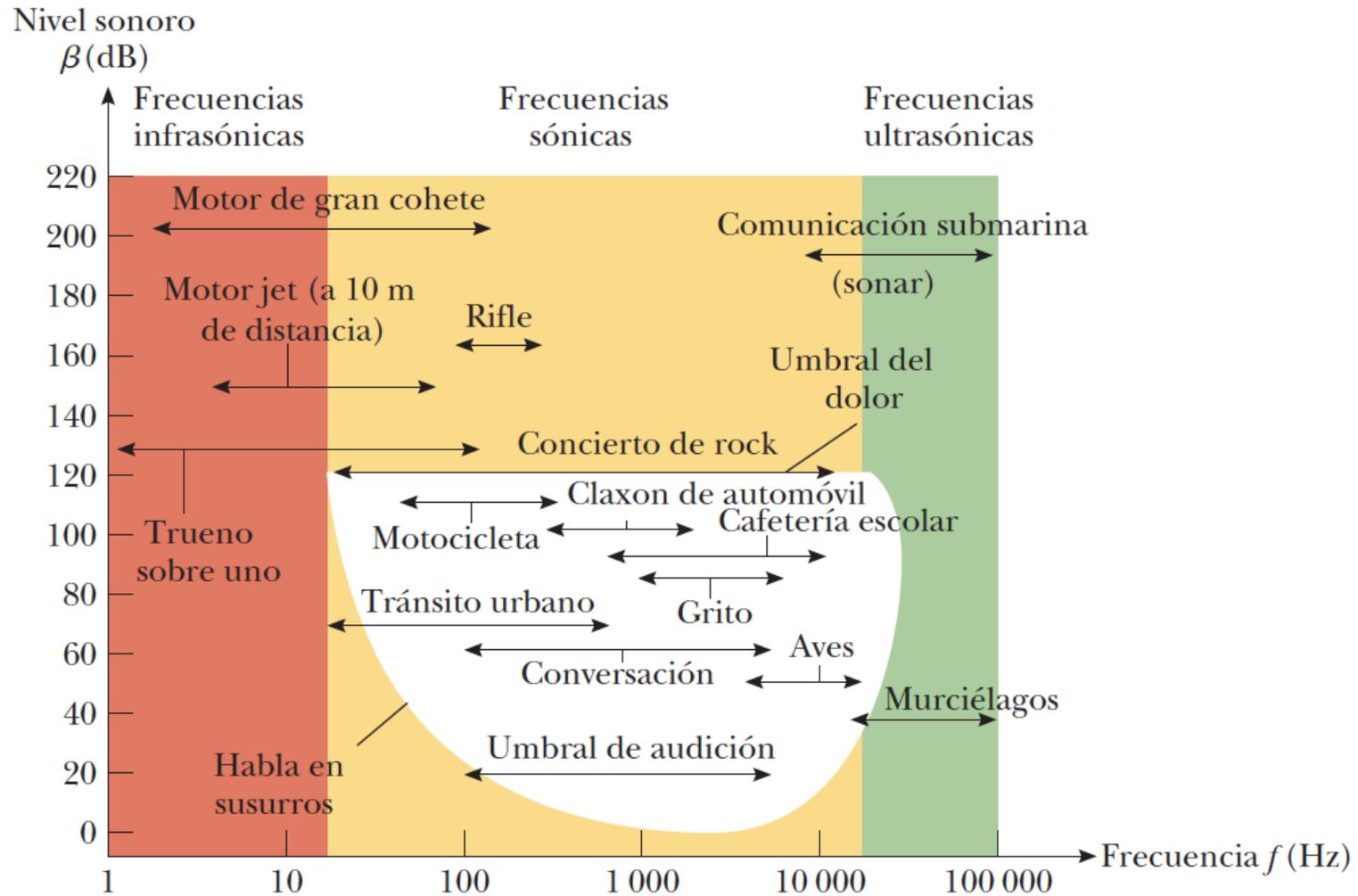
Para poder despejar el valor de I necesitamos primero cambiar de base para poder aplicar la función inversa de logaritmo natural (la exponencial). Usando la fórmula de cambio de base:

$$\log_a x = \frac{\log_b x}{\log_b a}$$

Con $a = e$ (número de Euler) y $b=100$,

$$\ln \left(\frac{I}{I_0} \right) = 12.2 \implies I = 2 \times 10^{-7} \frac{W}{m^2}$$

INTENSIDAD DEL SONIDO



En blanco el rango humano de audición

PROBLEMA

Calcule el cambio en nivel sonoro de pasar de estar a distancia R de una fuente sonora a estar a $2R$

EFECTO DOPPLER: MOVIMIENTO DEL RECEPTOR

Es el cambio de frecuencia debido al movimiento entre la fuente que emite el sonido y el receptor

Considere una fuente emite a frecuencia f , longitud de onda λ y velocidad v . Si el observador se mueve hacia la fuente, la rapidez de la onda es $v' = v + v_o$, no cambiando λ . Por lo tanto, la frecuencia aumentada es:

$$f' = \frac{v'}{\lambda} = \frac{v + v_o}{\lambda}$$

Si por otra parte, el receptor se aleja de la fuente:

$$f' = \frac{v'}{\lambda} = \frac{v - v_o}{\lambda}$$

EFEECTO DOPPLER: MOVIMIENTO DE LA FUENTE

Si ahora la fuente se acerca y el receptor está en reposo, éste notará una disminución en la longitud de onda dada por v_s/f ,

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

Si ahora la fuente se aleja del receptor,

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

EFECTO DOPPLER

Estas fórmulas pueden ser combinadas en:

$$f' = \left(\frac{v + v_o}{v - v_s} \right) f$$

Con la convención de que $v_o > 0$ cuando el observador se acerca a la fuente, y $v_s > 0$ cuando la fuente se mueve hacia el observador.

PROBLEMA

Un submarino A viaja a 8 m/s y emite un sonar a 1400 Hz. Otro submarino (B) viaja con rapidez 9 m/s hacia A.

¿Qué frecuencia detecta B?