Ondas sonoras

Las ondas sonoras consisten en el movimiento oscilatorio longitudinal de las partículas de un medio. Su velocidad de transmisión es:

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

en donde ρ es la densidad del medio y B su módulo volumétrico de compresión. En los gases, esta velocidad se puede reescribir como:

$$v = c\sqrt{\frac{T}{M}}$$

M es el peso molecular (en kg/mol) y c depende del medio. Para el aire, $M = 0.029$ y $c = 3.41$ en el S.I.

La ecuación de una onda sonora que se desplaza en la dirección x es:

$$\Delta x(x_0, t) = x(t) - x_0 = A \operatorname{sen}\left(\omega t - \frac{2\pi x_0}{\lambda}\right)$$

El cambio de presión de una onda sonora vale:

$$p - p_0 = \rho v \frac{dx}{dt}$$

www.yoquieroaprobar.es

Energía e intensidad

La energía de una onda sonora por unidad de volumen es:

$$\frac{E}{V} = \tfrac{1}{2}\omega^2 A^2 \rho.$$

La **potencia** que atraviesa una superficie dada es la energía transportada a través de dicha superficie por unidad de tiempo.

La **intensidad** de una onda en un punto que se define como la potencia por unidad de área en un entorno de dicho punto:

$$\boxed{I = \frac{P}{S} = \frac{E}{St}}$$

La intensidad de una onda plana es entonces igual a:

$$I = \tfrac{1}{2} Z\omega^2 A^2$$

$\rho v = Z$ es la impedancia acústica. En las ondas esféricas, la intensidad disminuye con la distancia:

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

P es la potencia a través de un frente de onda, igual a la de la fuente.

La potencia sonora se mide en W y la intensidad en W/m^2.

www.yoquieroaprobar.es

Nivel de intensidad

El nivel de intensidad es igual a:

$$L = 10\log\left(\frac{I}{10^{-12}}\right)$$

en donde la intensidad I se ha de medir en W/m^2.

El nivel de intensidad se mide en decibelios (dB), y es una magnitud adimensional.

El nivel de intensidad también se utiliza para medir la relación entre la señal y el ruido de cualquier fenómeno. En este caso se define como:

$$L = 10\log\left(\frac{I_{\mathrm{s}}}{I_{\mathrm{r}}}\right)$$

I_{s} e I_{r} son las intensidades de la señal y el ruido.

www.yoquieroaprobar.es

Transmisión entre dos medios

Cuando una onda cambia de medio, su frecuencia y período permanecen constantes.

El cociente entre las amplitudes transmitida e incidente es:

$$\frac{A_{\mathrm{t}}}{A_{\mathrm{i}}} = \frac{2Z_1}{Z_1 + Z_2}$$

Z_1 y Z_2 son las impedancias del primer y segundo medios.

El coeficiente de transmisión es el cociente entre la intensidad transmitida y la incidente, y vale:

$$\frac{I_{\mathrm{t}}}{I_{\mathrm{i}}} = \frac{Z_2 A_{\mathrm{t}}^2}{Z_1 A_{\mathrm{i}}^2} = \frac{4Z_1 Z_2}{(Z_1 + Z_2)^2}$$

El coeficiente de reflexión es igual a:

$$\frac{I_{\mathrm{r}}}{I_{\mathrm{i}}} = 1 - \frac{I_{\mathrm{t}}}{I_{\mathrm{i}}} = \frac{(Z_1 - Z_2)^2}{(Z_1 + Z_2)^2}$$

---

www.yoquieroaprobar.es

El oído

La longitud de onda del modo fundamental de un tubo abierto en un extremo y cerrado en el otro es igual a cuatro veces la longitud del tubo.

Nivel de audición en función de la frecuencia.

---

www.yoquieroaprobar.es

Problema 14.1

Se golpea un raíl de hierro a cierta distancia de nosotros. Si el sonido que nos llega por el aire tarda 0.2 s más que el que nos llega por el raíl, ¿cuál es la distancia a la que se produjo el golpe?

Teoría

Solución

www.yoquieroaprobar.es

Problema 14.2

Una cuerda de 0.5 m oscila en su modo fundamental. La velocidad de las ondas en la cuerda es de 250 m/s. Calcula:

(a) la frecuencia de las ondas,

(b) la longitud de onda del sonido que la cuerda produce en el aire,

(c) la longitud de onda de dicho sonido si penetra en agua.

Teoría **Solución**

www.yoquieroaprobar.es

Problema 14.3

Obtén la velocidad del sonido en el aire a $10°$C.

Teoría **Solución**

www.yoquieroaprobar.es

Problema 14.4

La presión de una onda sonora viene dada por la ecuación:

$$p(x,t) = 10\,\mathrm{sen}(2000t - 10x) \text{ N/m}^2.$$

Encuentra:

(a) la frecuencia y la frecuencia angular de la onda sonora,

(b) la longitud de onda,

(c) la velocidad de propagación del sonido en el medio considerado.

Teoría

Solución

www.yoquieroaprobar.es

Problema 14.5

¿Qué longitud deberían tener el tubo más corto y el más largo de un órgano que pudiera generar todo el rango de sonidos audibles, suponiendo que los tubos estuvieran abiertos por un extremo y cerrados por el otro?

Teoría

Solución

www.yoquieroaprobar.es

Problema 14.6

Un sonido en el aire y otro en el agua poseen la misma frecuencia y la misma intensidad. Determina la relación entre sus amplitudes de oscilación y entre sus cambios máximos de presión.

Teoría

Solución

www.yoquieroaprobar.es

Problema 14.7

La intensidad de una orquesta es la misma que la de 250 violines. Si el nivel de intensidad de la orquesta es de 80 dB, ¿cuál es el de un violín?

Teoría **Solución**

www.yoquieroaprobar.es

Problema 14.8

El nivel de intensidad a 0.5 m de un altavoz es de 110 dB. ¿Cuál es el nivel de intensidad a 3 m del altavoz?

Teoría

Solución

www.yoquieroaprobar.es

Problema 14.9

Una onda sonora esférica posee un nivel de intensidad en decibelios doble a 1 metro de la fuente que a 2 m. Calcula:

(a) su nivel de intensidad a 1 m de la fuente,
(b) su nivel de intensidad a 4 m,
(c) la potencia de la fuente.

Teoría **Solución**

www.yoquieroaprobar.es

Problema 14.10

Una pared sólo deja pasar el 5 % del sonido de un lado al otro. ¿Con cuántos decibelios oimos un sonido que se genera al otro lado de la pared con 90 dB de nivel de intensidad? (Supón despreciable la atenuación de la onda debida a la distancia.)

Teoría

Solución

www.yoquieroaprobar.es

Problema 14.11

Una onda sonora de 90 dB y 100 rad/s se transmite por el agua. Encuentra su amplitud de oscilación y la variación máxima de la presión.

Teoría

Solución

www.yoquieroaprobar.es

Problema 14.12

Una onda sonora que se propaga en el aire a 20°C viene dada por la expresión:

$$x - x_0 = 10^{-6}\,\mathrm{sen}(1000\pi t - cx_0)\ \mathrm{m}$$

Determina:

(a) el valor de c,
(b) la impedancia acústica del medio,
(c) el valor de la presión en función del tiempo y el espacio,
(d) la relación entre la presión y la velocidad de las partículas del medio,
(e) la intensidad de la onda,
(f) el nivel de intensidad.

Teoría **Solución**

www.yoquieroaprobar.es

Problema 14.13

Demuestra la relación entre la amplitud de la onda transmitida y la incidente en la superficie de separación de dos medios. Como la velocidad de las partículas se ha de mantener constante a través de la superficie, se ha de verificar:

$$\dot{x}_{\mathrm{i}} + \dot{x}_{\mathrm{r}} = \dot{x}_{\mathrm{t}}$$

La conservación de la presión nos dice:

$$p_{\mathrm{i}} + p_{\mathrm{r}} = p_{\mathrm{t}}$$

Los subíndices i, r, t se refieren a las ondas incidente, reflejada y transmitida, respectivamente. Recordemos que $p = Z\dot{x}$, y que para la onda reflejada esta expresión ha de incluir un signo menos.

Teoría **Solución**

www.yoquieroaprobar.es

Problema 14.14

Una onda sonora de 100 dB incide normalmente sobre una superficie de agua. ¿Cuántos decibelios posee la onda transmitida? ¿Y la reflejada?

Teoría

Solución

www.yoquieroaprobar.es

Problema 14.15

Un aparato musical posee una relación señal–ruido de 30 dB. Si deseamos oír música con una intensidad de 10^{-3} W m^{-2}, ¿con qué nivel de intensidad tendremos que percibir el ruido?

Teoría **Solución**

www.yoquieroaprobar.es

Problema 14.16

¿Cuál es la potencia sonora que se transmite a través de un tímpano de 10^{-4} m^2 de sección cuando recibe un sonido de 80 dB, sabiendo que no se produce reflexión?

Teoría **Solución**

www.yoquieroaprobar.es

Problema 14.17

Una fuente sonora emite sonidos de diversas frecuencias con un nivel de intensidad de 10 dB. ¿Qué rango de frecuencias percibirá el oído humano?

Teoría

Solución

www.yoquieroaprobar.es

Problema 14.18

Un avión que vuela a 800 m de altura emite un ruido de 100 Hz, aproximadamente, que llega a la superficie terrestre con un nivel de intensidad de 50 dB. ¿A qué altura ha de volar para que el oído humano no lo perciba en la superficie terrestre?

Teoría **Solución**

www.yoquieroaprobar.es

Problema 14.19

Se tiene una cuerda de 80 cm de longitud y 40 g/m oscilando con un período de 0.1 ms. Calcula la frecuencia y la longitud de onda del sonido que dicha oscilación produce en el aire. Si dicho sonido pasara al agua, ¿con qué longitud de onda lo haría?

Teoría

Solución

www.yoquieroaprobar.es

14.1 Se golpea un raíl de hierro a cierta distancia de nosotros. Si el sonido que nos llega por el aire tarda 0.2 s más que el que nos llega por el raíl, ¿cuál es la distancia a la que se produjo el golpe?

Como el tiempo es la distancia dividida por la velocidad, tenemos:

$$d = v_{\mathrm{r}} t_{\mathrm{r}} = v_{\mathrm{a}}(t_{\mathrm{r}} + 0.2)$$

y despejando llegamos a:

$$t_{\mathrm{r}} = \frac{0.2\, v_{\mathrm{a}}}{v_{\mathrm{r}} - v_{\mathrm{a}}} = \frac{0.2 \cdot 340}{5100 - 340} = 0.014 \text{ s.}$$

La distancia es:

$$d = v_{\mathrm{r}} t_{\mathrm{r}} = 5100 \cdot 0.014 = 73 \text{ m.}$$

---

www.yoquieroaprobar.es

14.2 Una cuerda de 0.5 m oscila en su modo fundamental. La velocidad de las ondas en la cuerda es de 250 m/s. Calcula:

(a) la frecuencia de las ondas,

(b) la longitud de onda del sonido que la cuerda produce en el aire,

(c) la longitud de onda de dicho sonido si penetra en agua.

(a) La frecuencia de oscilación de la cuerda es:

$$\nu = \frac{v}{\lambda} = \frac{250}{2 \cdot 0.5} = 250 \text{ Hz.}$$

(b) La longitud de onda del sonido viene determinada por la velocidad de propagación de éste:

$$\lambda = \frac{v}{\nu} = \frac{340}{250} = 1.36 \text{ m.}$$

(c) En el agua tenemos:

$$\lambda = \frac{v}{\nu} = \frac{1480}{250} = 5.92 \text{ m.}$$

---

www.yoquieroaprobar.es

14.3 Obtén la velocidad del sonido en el aire a $10°$C.

La velocidad del sonido en el aire viene dada por:

$$v = c\sqrt{\frac{T}{M}} = 3.41\sqrt{\frac{283}{0.029}} = 339 \text{ m/s.}$$

www.yoquieroaprobar.es

14.4 La presión de una onda sonora viene dada por la ecuación:

$$p(x,t) = 10\,\mathrm{sen}(2000t - 10x) \text{ N/m}^2.$$

Encuentra:

(a) la frecuencia y la frecuencia angular de la onda sonora,

(b) la longitud de onda,

(c) la velocidad de propagación del sonido en el medio considerado.

(a) La frecuencia y la frecuencia angular de la onda sonora son:

$$\omega = 2000 \text{ rad/s} \qquad \nu = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{2000}{2\pi} = 318 \text{ Hz.}$$

(b) La longitud de onda vale:

$$\frac{2\pi}{\lambda} = 10 \qquad \Longrightarrow \qquad \lambda = \frac{2\pi}{10} = 0.63 \text{ m.}$$

(c) La velocidad de propagación es:

$$v = \lambda\nu = 0.63 \cdot 318 = 200 \text{ m/s.}$$

---

www.yoquieroaprobar.es

14.5 ¿Qué longitud deberían tener el tubo más corto y el más largo de un órgano que pudiera generar todo el rango de sonidos audibles, suponiendo que los tubos estuvieran abiertos por un extremo y cerrados por el otro?

La longitud de onda del modo fundamental de un tubo abierto por un extremo y cerrado por el otro es $\lambda = 4L$. La longitud que produce la frecuencia audible más baja, 20 Hz, es:

$$L = \frac{\lambda}{4} = \frac{v}{4\nu} = \frac{340}{4 \cdot 20} = 4.25 \text{ m}.$$

La longitud correspondiente a la frecuencia mayor, igual a 20 kHz, será:

$$L = \frac{v}{4\nu} = \frac{340}{4 \cdot 20000} = 0.00425 \text{ m}.$$

---

www.yoquieroaprobar.es

14.6 Un sonido en el aire y otro en el agua poseen la misma frecuencia y la misma intensidad. Determina la relación entre sus amplitudes de oscilación y entre sus cambios máximos de presión.

La intensidad de una onda sonora es $Z\omega^2 A^2/2$. Así, las amplitudes de las ondas en el aire y en el agua verificarán:

$$\frac{A_{\text{aire}}}{A_{\text{agua}}} = \sqrt{\frac{Z_{\text{agua}}}{Z_{\text{aire}}}} = \sqrt{\frac{1.48 \cdot 10^6}{0.0004 \cdot 10^6}} = 60.8.$$

Los cambios de presiones son proporcionales a la amplitud y a la impedancia:

$$\frac{\Delta p_{\text{aire}}}{\Delta p_{\text{agua}}} = \frac{A_{\text{aire}} Z_{\text{aire}}}{A_{\text{agua}} Z_{\text{agua}}} = \frac{1}{60.8} = 0.0164.$$

---

www.yoquieroaprobar.es

14.7 La intensidad de una orquesta es la misma que la de 250 violines. Si el nivel de intensidad de la orquesta es de 80 dB, ¿cuál es el de un violín?

La intensidad de la orquesta será:

$$I = I_0 10^{L/10} = 10^{-12+8} = 10^{-4}\ \mathrm{W/m^2}.$$

La intensidad de un violín es 250 veces menor que la de la orquesta y el nivel de intensidad correspondiente vale:

$$L = 10 \ln \frac{10^{-4}}{250 \cdot 10^{-12}} = 56\ \mathrm{dB}.$$

---

www.yoquieroaprobar.es

14.8 El nivel de intensidad a 0.5 m de un altavoz es de 110 dB. ¿Cuál es el nivel de intensidad a 3 m del altavoz?

Como la intensidad es inversamente proporcional al cuadrado del radio, la intensidad a 3 m será:

$$I_3 = I_{0.5}\left(\frac{0.5}{3}\right)^2 = \frac{I_{0.5}}{36}.$$

El nivel de intensidad a 3 m será entonces:

$$L_3 = L_{0.5} - 10 \ln 36 = 110 - 10 \cdot 1.56 = 94.4 \text{ dB}.$$

---

www.yoquieroaprobar.es

14.9 Una onda sonora esférica posee un nivel de intensidad en decibelios doble a 1 metro de la fuente que a 2 m. Calcula:

(a) su nivel de intensidad a 1 m de la fuente,

(b) su nivel de intensidad a 4 m,

(c) la potencia de la fuente.

(a) Las relaciones entre los niveles de intensidad y entre las intensidades son:

$$L_1 = 2L_2 \qquad I_1 = I_2 \left(\frac{2}{1}\right)^2 = 4I_2$$

y de aquí deducimos

$$2(L_1 - 10\ \ln 4) = L_1 \qquad \Longrightarrow \qquad L_1 = 20 \ln 4 = 12 \text{ dB}.$$

(b) El nivel de intensidad a 4 m vale:

$$L_4 = L_1 - 10 \ln \left(\frac{4}{1}\right)^2 = 12 - 12 = 0 \text{ dB}.$$

(c) La potencia de la fuente es igual a:

$$\begin{aligned} P &= 4\pi r^2 I = 4\pi r_1^2 I_0 10^{L_1/10} \\ &= 4\pi\, 1^2\, 10^{-12+1.2} = 2.0 \cdot 10^{-10} \text{ W}. \end{aligned}$$

---

www.yoquieroaprobar.es

14.10 Una pared sólo deja pasar el 5 % del sonido de un lado al otro. ¿Con cuántos decibelios oimos un sonido que se genera al otro lado de la pared con 90 dB de nivel de intensidad? (Supón despreciable la atenuación de la onda debida a la distancia.)

El nivel de intensidad vale:

$$L_2 = 10 \ln \frac{I_1\, 5}{I_0\, 100} = L_1 - 10 \ln \frac{100}{5} = 90 - 10 \cdot 1.3 = 77 \text{ dB}.$$

Vemos que el nuevo nivel de intensidad es igual al antiguo menos el decaimiento debido a la amortiguación.

---

www.yoquieroaprobar.es

14.11 Una onda sonora de 90 dB y 100 rad/s se transmite por el agua. Encuentra su amplitud de oscilación y la variación máxima de la presión.

La intensidad sonora de la onda es:

$$I = I_0 10^{L/10} = 10^{-12+9} = 10^{-3}\ \mathrm{W/m^2}.$$

La intensidad en función de la amplitud del movimiento oscilatorio de las moléculas es:

$$I = \tfrac{1}{2} Z\omega^2 A^2.$$

De aquí despejamos la amplitud del movimiento:

$$A = \sqrt{\frac{2I}{Z\omega^2}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 10^{-3}}{1.48 \cdot 10^6\, 100^2}} = 3.68 \cdot 10^{-7}\ \mathrm{m}.$$

La máxima variación de presión será igual a:

$$\Delta p_{\max} = A\omega Z = 3.68 \cdot 10^{-7}\, 100 \cdot 1.48 \cdot 10^6 = 54.4\ \mathrm{N/m^2}.$$

---

www.yoquieroaprobar.es

14.12 Una onda sonora que se propaga en el aire a 20°C viene dada por la expresión:

$$x - x_0 = 10^{-6}\,\mathrm{sen}(1000\pi t - c x_0)\ \text{m}$$

Determina:

(a) el valor de c,

(b) la impedancia acústica del medio,

(c) el valor de la presión en función del tiempo y el espacio,

(d) la relación entre la presión y la velocidad de las partículas del medio,

(e) la intensidad de la onda,

(f) el nivel de intensidad.

(a) La velocidad del sonido en el aire a $20°$C es de 343 m/s. Por tanto:

$$c = \frac{\omega}{v} = \frac{1000\pi}{343} = 9.16\ \text{m}^{-1}.$$

(b) La impedancia acústica del aire a esa temperatura es:

$$Z = \rho v = 1.20 \cdot 343 = 412\ \text{kg/s m}^2.$$

(c) La presión viene dada por:

$$\begin{aligned} p - p_0 &= Z\frac{dx}{dt} = 412 \cdot 10^{-6}\,1000\pi\cos(1000\pi t - 9.16 x_0) \\ &= 1.30\cos(1000\pi t - 9.16 x_0)\ \text{N/m}^2. \end{aligned}$$

(d) La relación entre la presión (respecto de la atmosférica) y la velocidad de las partículas es la impedancia acústica, calculada en el segundo apartado.

(e) La onda posee una intensidad igual a:

$$I = \tfrac{1}{2}\,Z\omega^2 A^2 = \tfrac{1}{2}\,412 \cdot 10^6\,\pi^2\,10^{-12} = 2.03 \cdot 10^{-3}\ \text{W/m}^2.$$

www.yoquieroaprobar.es

(f) El nivel de intensidad correspondiente es:

$$L = 10 \ln \frac{I}{I_0} = 10 \ln \frac{2.03 \cdot 10^{-3}}{10^{-12}} = 93.1 \text{ dB.}$$

www.yoquieroaprobar.es

14.13 Demuestra la relación entre la amplitud de la onda transmitida y la incidente en la superficie de separación de dos medios. Como la velocidad de las partículas se ha de mantener constante a través de la superficie, se ha de verificar:

$$\dot{x}_{\mathrm{i}} + \dot{x}_{\mathrm{r}} = \dot{x}_{\mathrm{t}}$$

La conservación de la presión nos dice:

$$p_{\mathrm{i}} + p_{\mathrm{r}} = p_{\mathrm{t}}$$

Los subíndices i, r, t se refieren a las ondas incidente, reflejada y transmitida, respectivamente. Recordemos que $p = Z\dot{x}$, y que para la onda reflejada esta expresión ha de incluir un signo menos.

Suponemos que las ondas incidente, reflejada y transmitida están dadas por:

$$\begin{aligned} x_{\mathrm{i}} &= A_{\mathrm{i}} \operatorname{sen}\left(\omega t - \frac{2\pi x_o}{\lambda_1}\right) + x_0 \\ x_{\mathrm{r}} &= A_{\mathrm{r}} \operatorname{sen}\left(\omega t + \frac{2\pi x_o}{\lambda_1}\right) + x_0 \\ x_{\mathrm{t}} &= A_{\mathrm{t}} \operatorname{sen}\left(\omega t - \frac{2\pi x_o}{\lambda_2}\right) + x_0 \end{aligned}$$

en donde $\lambda_1 = v_1 T$ y $\lambda_2 = v_2 T$. La superficie corresponde a $x_0 = 0$. La conservación de la velocidad en ella, $\dot{x}_{\mathrm{i}} + \dot{x}_{\mathrm{r}} = \dot{x}_{\mathrm{t}}$, nos dice:

$$A_{\mathrm{i}}\omega\cos(\omega t) + A_{\mathrm{r}}\omega\cos(\omega t) = A_{\mathrm{t}}\omega\cos(\omega t),$$

y llegamos a:

$$A_{\mathrm{i}} + A_{\mathrm{r}} = A_{\mathrm{t}}$$

La conservación de la presión, $p_{\mathrm{i}} + p_{\mathrm{r}} = p_{\mathrm{t}}$, se traduce en:

$$A_{\mathrm{i}}\omega Z_1\cos(\omega t) - A_{\mathrm{r}}\omega Z_1\cos(\omega t) = A_{\mathrm{t}}\omega Z_2\cos(\omega t),$$

lo que nos lleva a:

$$A_{\mathrm{i}} Z_1 - A_{\mathrm{r}} Z_1 = A_{\mathrm{t}} Z_2$$

www.yoquieroaprobar.es

Eliminamos A_r de las dos ecuaciones que involucran a las amplitudes y llegamos a:

$$2A_\mathrm{i}Z_1 = A_\mathrm{t}(Z_1 + Z_2) \qquad \Longrightarrow \qquad \frac{A_\mathrm{t}}{A_\mathrm{i}} = \frac{2Z_1}{Z_1 + Z_2}.$$

www.yoquieroaprobar.es

14.14 Una onda sonora de 100 dB incide normalmente sobre una superficie de agua. ¿Cuántos decibelios posee la onda transmitida? ¿Y la reflejada?

La intensidad de la onda incidente es:

$$I = I_0 10^{L/10} = 10^{-12+10} = 10^{-2}\ \mathrm{W/m^2}.$$

La onda transmitida posee una intensidad igual a:

$$I_\mathrm{t} = \frac{2Z_1 Z_2}{(Z_1+Z_2)^2} = \frac{4\cdot 400\cdot 1.48\cdot 10^6}{(400+1.48\cdot 10^6)^2} = 1.08\cdot 10^{-5}\ \mathrm{W/m^2}$$

lo que corresponde a un nivel de intensidad de:

$$L_\mathrm{t} = 10\ln\frac{I_\mathrm{t}}{I_0} = 10\ln\frac{1.08\cdot 10^{-5}}{10^{-12}} = 70.3\ \mathrm{dB}.$$

En cuanto a la onda reflejada tenemos:

$$I_\mathrm{r} = I_\mathrm{i} - I_\mathrm{t} = 10^{-2} - 1.08\cdot 10^{-5} = 9.99\cdot 10^{-3}\ \mathrm{W/m^2}.$$

El nivel de intensidad correspondiente es:

$$L_\mathrm{r} = 10\ln\frac{I_\mathrm{r}}{I_0} = 10\ln\frac{9.99\cdot 10^{-3}}{10^{-12}} = 99.99\ \mathrm{dB}.$$

---

www.yoquieroaprobar.es

14.15 Un aparato musical posee una relación señal–ruido de 30 dB. Si deseamos oír música con una intensidad de 10^{-3} W m^{-2}, ¿con qué nivel de intensidad tendremos que percibir el ruido?

La intensidad del sonido será 1000 veces mayor que la del ruido ya que:

$$L = 30 = 10 \ln \frac{I_s}{I_r} \qquad \Longrightarrow \qquad \frac{I_s}{I_r} = 10^3.$$

$$\Longrightarrow \qquad I_r = \frac{I_s}{1000} = 10^{-6} \text{ W/m}^2.$$

El ruido tendrá un nivel de intensidad igual a:

$$L_r = 10 \ln \frac{I_r}{I_0} = 10 \ln \frac{10^{-6}}{10^{-12}} = 60 \text{ dB}.$$

---

www.yoquieroaprobar.es

14.16 ¿Cuál es la potencia sonora que se transmite a través de un tímpano de 10^{-4} m^2 de sección cuando recibe un sonido de 80 dB, sabiendo que no se produce reflexión?

La intensidad del sonido es:

$$I = I_0 10^{L/10} = 10^{-12+8} = 10^{-4}\ \text{W/m}^2.$$

La potencia que se transmite a través del timpano es:

$$P = IS = 10^{-4}\,10^{-4} = 10^{-8}\ \text{W}.$$

---

www.yoquieroaprobar.es

14.17 Una fuente sonora emite sonidos de diversas frecuencias con un nivel de intensidad de 10 dB. ¿Qué rango de frecuencias percibirá el oído humano?

De la figura 14.13 se deduce que el oído humano medio percibirá las frecuencias comprendidas entre 400 y 11000 Hz, para un nivel de intensidad de 10 dB.

---

www.yoquieroaprobar.es

14.18 Un avión que vuela a 800 m de altura emite un ruido de 100 Hz, aproximadamente, que llega a la superficie terrestre con un nivel de intensidad de 50 dB. ¿A qué altura ha de volar para que el oído humano no lo perciba en la superficie terrestre?

De la figura 14.13 se deduce que el oído deja de percibir sonidos de 100 Hz para un nivel de intensidad de aproximadamente 35 dB, o sea para una intensidad de:

$$I_{\mathrm{m}} = I_0 10^{L/10} = 10^{-12+3.5} = 3.16 \cdot 10^{-9}\ \mathrm{W/m^2}.$$

Esta intensidad se recibe cuando el avión está a una distancia dada por:

$$\frac{I_{\mathrm{m}}}{I_{800}} = \frac{800^2}{d^2}$$

y despejando llegamos a:

$$d = 800\sqrt{\frac{I_{800}}{I_{\mathrm{m}}}} = 800\sqrt{\frac{10^{-12}\,10^5}{3.16 \cdot 10^{-9}}} = 4500\ \mathrm{W}.$$

---

www.yoquieroaprobar.es

14.19 Se tiene una cuerda de 80 cm de longitud y 40 g/m oscilando con un período de 0.1 ms. Calcula la frecuencia y la longitud de onda del sonido que dicha oscilación produce en el aire. Si dicho sonido pasara al agua, ¿con qué longitud de onda lo haría?

La frecuencia del sonido es la misma que la de las ondas en al cuerda:

$$\nu = \frac{1}{T} = \frac{1}{10^{-4}} = 10^4 \text{ Hz.}$$

La longitud de onda del sonido en el aire será:

$$\lambda = vT = 340 \cdot 10^{-4} = 0.034 \text{ m.}$$

En el agua la longitud de onda es la correspondiente a la velocidad de propagación del sonido en el agua:

$$\lambda = vT = 1480 \cdot 10^{-4} = 0.148 \text{ m.}$$

---

www.yoquieroaprobar.es