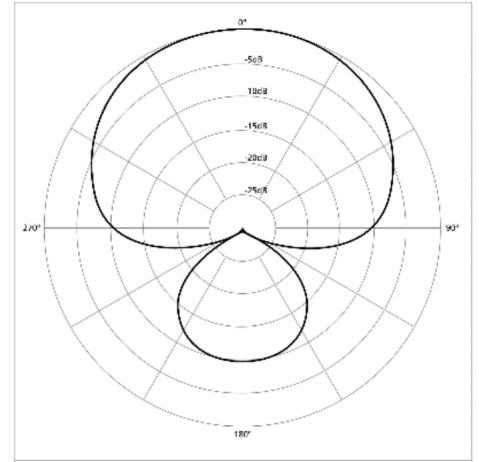


# Problemas de examen

## Problema de examen 1:

Un micrófono con la siguiente característica polar genera  $0.0002 \text{ V}$  de tensión cuando recibe presión sonora de una fuente que emite  $1 \text{ kHz}$  con una dirección de  $90^\circ$  con respecto al eje del mismo. La fuente tiene una potencia de  $40 \text{ W}$  eléctricos, una eficiencia del  $1\%$ , y está situada a  $7 \text{ metros}$ .

- 1.- ¿Cuál es la presión sonora eficaz (rms) recibida por el micrófono?
- 2.- ¿Cuál es la sensibilidad del micrófono que aparecería en su especificación?
- 3.- Si el micrófono genera una tensión  $0.01 \text{ mV}$  en completo silencio, ¿cuál es su nivel de Ruido de Entrada Equivalente (EIN)?



- 1) ¿Cuál es la presión sonora eficaz (rms) recibida por el micrófono?

$$P_{acustica} = P_{electrica} \cdot Eficiencia$$

$$P_{acustica} = 40 \text{ W} \cdot 0.01 = 0.4 \text{ W}$$

A continuación obtenemos la Intensidad rms:

$$I_{rms} = \frac{P_{acustica}}{4\pi r^2} = \frac{0.4}{4\pi \cdot 7^2} = 6.49 \cdot 10^{-4} \text{ W/m}^2$$

Con la Intensidad podemos ya obtener la presión sonora:

$$I_{rms} = \frac{P_{ef}^2}{Z_0}$$

$$P_{ef} = \sqrt{I_{rms} \cdot Z_0} = \sqrt{6.49 \cdot 10^{-4} \cdot 414}$$

$$P_{ef} = 0.5185 \text{ Pa}$$

- 2) ¿Cuál es la sensibilidad del micrófono que aparecería en su especificación?

$$Sensibilidad = \frac{V_{rms}}{P_{ef}} \rightarrow S_{90^\circ} = \frac{0.0002 \text{ V}}{0.5185 \text{ Pa}} = 3.86 \cdot 10^{-4} \text{ V/Pa}$$

No es lo que pide porque está en  $90^\circ$ , queremos en su especificación, es decir, con  $0^\circ$ . Como en  $90^\circ$  es  $-10 \text{ dB}$  (mirando el dibujo), para  $0^\circ$  habrá que sumarle  $10 \text{ dB}$ . Lo pasamos a  $\text{dBv}$  para poder sumarle los  $10 \text{ dB}$ .

$$S_{90^\circ} = 20 \log_{10} \left( \frac{3.86 \cdot 10^{-4} \text{ V/Pa}}{1 \text{ V/Pa}} \right) = -68.28 \frac{\text{dBv}}{\text{Pa}}$$

$$S_{0^\circ} = -68.28 \frac{\text{dBv}}{\text{Pa}} + 10 \text{ dB} = -58.28 \frac{\text{dBv}}{\text{Pa}}$$

Una alternativa sería usando:

$$10 = \log_{10} \left( \frac{S_{0^\circ}}{S_{90^\circ}} \right)$$

3) Si el micrófono genera una tensión  $0.01 \text{ mV}$  en completo silencio, ¿cuál es su nivel de Ruido de Entrada Equivalente (EIN)?

Forma 1:

Para calcular el SNR (Relación Señal-Ruido)

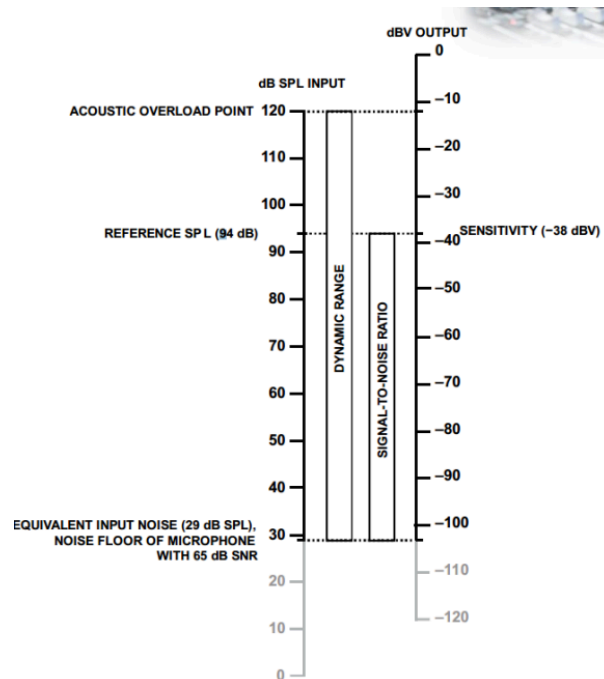
$$SNR = 20 \cdot \log_{10} \left( \frac{S}{V_{\text{ruido}}} \right)$$

Como tenemos  $S_{0^\circ}$  en  $\text{dBv/Pa}$  del apartado anterior, tenemos que pasarlos a  $\text{V/Pa}$  para aplicar el SNR que trabaja con  $\text{dB}$ .

$$S_{0^\circ} = 10^{-58.28/20} = 0.0012 \text{ V/Pa}$$

Ahora con la sensibilidad de su especificación en  $\text{V/Pa}$  ya podemos obtener el SNR:

$$SNR = 20 \log_{10} \left( \frac{0.0012 \text{ V/Pa}}{0.01 \cdot 10^{-3} \text{ V}} \right) = 41.72 \text{ dB}$$



Como la referencia de SPL es  $94 \text{ dB}$ . Para calcular el EIN, a la referencia SPL se le resta la sensibilidad obtenida:

$$EIN = 94 - 41.72 = 52.28 \text{ dB}$$

Forma 2:

Vamos a partir de  $S_{0^\circ}$  obtenido de la Forma 1 (ya en  $\text{V/Pa}$ ).

$$S_{0^\circ} = \frac{V_{rms}}{P_{ef}} \rightarrow P_{ef} = \frac{V_{rms}}{S_{0^\circ}}$$

$$P_{ef} = \frac{0.01 \cdot 10^{-3}}{0.0012} = 0.0083 \text{ Pa}$$

Una vez obtenida la Presión de referencia, calculamos el SPL:

$$SPL = 20 \log_{10} \left( \frac{P_{ef}}{P_{ref}} \right)$$

$$SPL = 20 \log_{10} \left( \frac{0.0083 \text{ Pa}}{20 \cdot 10^{-6} \text{ Pa}} \right) \approx 52 \text{ dB}$$

Usamos  $20 \cdot 10^{-6}$  porque es el sonido mínimo que puede captar el oído humano.

## Problema 2

Un amplificador con impedancia de salida  $0.1 \Omega$  se conecta a un altavoz de  $8 \Omega$  de impedancia. El altavoz tiene una sensibilidad de  $80 \text{ dB/W @ } 1\text{m}$  y está catalogado con  $50 \text{ W}$  de potencia.

1.- ¿Cuál es el máximo nivel SPL que podría generar el altavoz a  $1 \text{ metro}$  de distancia, independientemente del amplificador?

Partiendo de la fórmula:

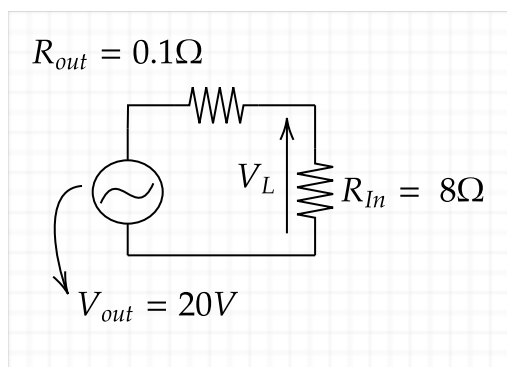
$$SPL = \text{Sensibilidad} + \text{Ganancia} = \text{Sensibilidad} + 10 \log_{10}(W)$$

$$SPL_{max} = 80 \text{ dB/W} + 10 \log_{10}(50)$$

$$SPL_{max} = 96.99 \text{ dB}$$

2.- Si el amplificador genera  $20 \text{ V}$  de tensión, ¿Qué presión SPL generará el altavoz a  $1 \text{ metro}$  de distancia?

Sustituimos en la fórmula:



$V_L \rightarrow$  Voltaje entrada altavoz

$$V_L = V_{out} \cdot \frac{8 \text{ (Resistencia in)}}{0.1 + 8 \text{ (Suma resistencias)}} = 19.75V$$

Con el Voltaje podemos obtener la Presión:

$$P_L = \frac{V_L^2}{R_{in}} = \frac{19.75^2}{8} = 48.76 \text{ watts}$$

Partiendo de la fórmula de Ganancia de potencias:

$$\text{Ganancia} = 10 \log_{10} \left( \frac{P_{salida}}{P_{entrada}} \right) =$$

$$\text{Ganancia} = 10 \log_{10} \left( \frac{48.76}{1} \right) = 16.88 \text{ dB}$$

Una vez obtenida la ganancia podemos obtener el nivel de presión sonora:

$$SPL = 80 + 16.88 = 96.88 \text{ dB}_{SPL}$$

La fórmula de  $V_L$  viene:

$$I = \frac{V}{R_T} \rightarrow V_{in} = I \cdot R_{in} = V_{out} \cdot \frac{R_{in}}{R_T}$$

### Problema 3

Considere un sistema de audio con una eficiencia de conversión electroacústica del 1%. Cuando la fuente de sonido está activa, se mide un nivel de presión sonora de  $98 \text{ dB}$  cuando nos situamos a una distancia de  $10 \text{ metros}$ .

1. (1.2 puntos) - ¿Qué potencia eléctrica se está suministrando a esta fuente?

Sabiendo el SPL (nivel de presión sonora), solo tenemos que sacar la intensidad y de ahí la potencia acústica, para sacar la potencia eléctrica.

$$SPL = 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{I}{I_0} \right) \rightarrow I = 10^{SPL/10} \cdot I_0$$

$$I = 10^{98/10} \cdot 10^{-12} \rightarrow I = 10^{-2.2} \text{ w/m}^2 \equiv 0.0063 \text{ w/m}^2$$

Obtenida la intensidad podemos obtener la Potencia acústica:

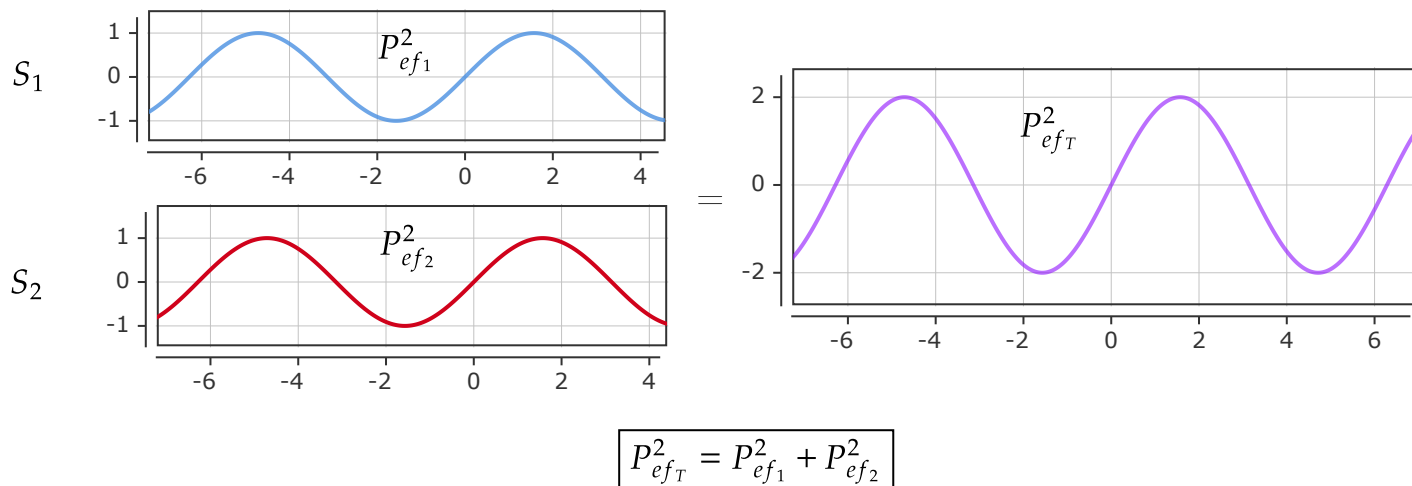
$$I = \frac{P_{acustica}}{4\pi r^2} \rightarrow P_{acustica} = I \cdot 4\pi r^2 = 10^{-2.2} \cdot 4\pi 10^2$$

$$P_{acustica} = 7.98 \text{ W}$$

Obtenida la Potencia acústica podemos obtener la Potencia eléctrica:

$$P_{electrica} \cdot Eficiencia = P_{acustica}$$
$$P_{electrica} = \frac{P_{acustica}}{Eficiencia} = \frac{7.98}{0.01} = \boxed{798.88 \text{ w}}$$

**2.1.** Otra fuente incoherente de las mismas características comienza a emitir desde una distancia de 5 metros, ¿qué nivel de presión sonora mediremos entonces si no nos movemos?



$$P_{efT}^2 = P_{ef1}^2 + P_{ef2}^2$$

Partiendo del apartado anterior tenemos que:

$$I_{m1} = 0.0063 \text{ w} / \text{m}^2$$

Entonces como son las mismas características que en el apartado anterior pero con 5m de radio:

$$I_{m2} = \frac{P_{acustica}}{4\pi r^2} = \frac{7.98}{4\pi 5^2} = 0.025 \text{ w} / \text{m}^2$$

Aplicamos la fórmula de la Intensidad media para sacar la Presión de cada una:

$$I_m = \frac{P_{ef}^2}{z_0} \rightarrow P_{ef1}^2 = I_m \cdot z_0$$

$$P_{ef1}^2 = 0.0063 \cdot 414 = 2.61 \text{ Pa}^2$$

$$P_{ef2}^2 = 0.025 \cdot 414 = 10.35 \text{ Pa}^2$$

$$P_{efT}^2 = 2.61 + 10.35 = 12.96 \text{ Pa}^2$$

Una vez obtenida la Presión eficaz o rms total, podemos obtener el nivel de presión sonora:

$$SPL = 20 \cdot \log_{10} \left( \frac{P_{ef}}{P_{ref}} \right) = 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{P_{ef}^2}{P_{ref}^2} \right) = 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{12.96}{(20 \cdot 10^{-6})^2} \right)$$

$$SPL = 105.11 \text{ dB}$$

**2.2.** (1.8 puntos) - Asuma ahora que la potencia acústica de la fuente es de 15 Watts y que otra fuente incoherente de las mismas características comienza a emitir desde una distancia de 5 metros. ¿Qué nivel de presión sonora mediremos entonces si no nos movemos? (Nota: asuma los valores típicos para el aire a temperatura de 20°C)

Tenemos que sacar las dos presiones eficaces para poder sumarlas y así sacar el nivel de presión sonora.

Para la primer fuente:

$$I_1 = \frac{P_{acustica}}{4\pi r_1^2} = \frac{15}{4\pi 10^2} = 0.012 \text{ W/m}^2$$

$$P_{ef1}^2 = I_1 \cdot z_0 = 0.012 \cdot 414 = 4.94 \text{ Pa}$$

Para la segunda fuente:

$$I_2 = \frac{P_{acustica}}{4\pi r_2^2} = \frac{15}{4\pi 5^2} = 0.0477 \text{ W/m}^2$$

$$P_{ef2}^2 = I_2 \cdot z_0 = 0.0477 \cdot 414 = 19.77 \text{ Pa}$$

Como ya tenemos ambas presiones, se pueden sumar y sacar el nivel de presión sonora:

$$P_{efT}^2 = P_{ef1}^2 + P_{ef2}^2 = 24.71 \text{ Pa}$$

$$SPL = 10 \cdot \log\left(\frac{P_{efT}^2}{P_{ref}^2}\right) = 10 \cdot \log\left(\frac{24.71}{(20 \cdot 10^{-6})^2}\right) = 10 \cdot 10.79$$

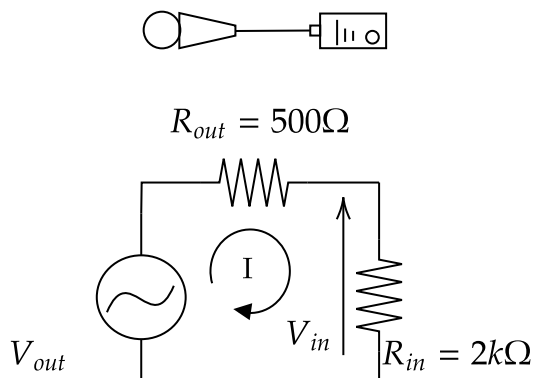
$SPL = 107.79 \text{ dB}$

## Problema 4

Las especificaciones de un micrófono nos dan como referencia una impedancia de salida del mismo de  $500\ \Omega$ . De forma similar, las especificaciones de un interfaz de audio dan como información que la impedancia de las entradas de micrófono del mismo es de  $2000\ \Omega$ . Si conectamos el micrófono al interfaz y el micrófono capta un sonido de forma que da como salida  $50\ mV$  de tensión:

1. ¿Qué tensión se medirá en la entrada del interfaz?

Sacamos la intensidad del sonido que se está captando y luego con la resistencia a la entrada del interfaz medimos el voltaje.



Partiendo de la ley de Ohm:

$$I_T = \frac{V}{R_T} = \frac{(50 \cdot 10^{-3}) V}{(500 + 2000)\ \Omega} = 20 \cdot 10^{-6} A$$

Para obtener el voltaje de entrada de interfaz:

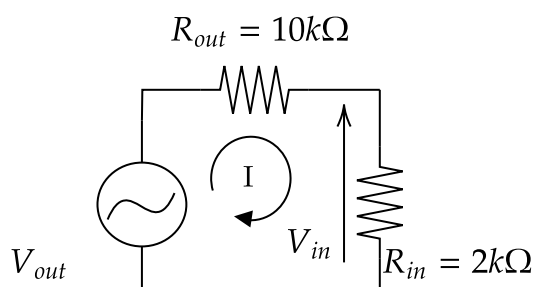
$$V_{in} = I \cdot R = 20 \cdot 10^{-6} \cdot 2000\ \Omega = \boxed{40\ mV}$$

$R_{interfaz} \nearrow$

1.2 ¿Qué ganancia en dB tenemos en dicha conexión?

$$Ganancia = 20 \cdot \log_{10} \left( \frac{V_{in}}{V_{out}} \right) = 20 \cdot \log_{10} \left( \frac{40\ mV}{50\ mV} \right) = \boxed{-1.94\ dB}$$

2.1 Si en lugar de conectar el micrófono conectamos a esta misma entrada un instrumento de alta impedancia ( $10.000\ \Omega$ ), ¿qué tensión mediremos a la entrada del interfaz?



Partiendo de la ley de Ohm:

$$I_T = \frac{V}{R_T} = \frac{(50 \cdot 10^{-3}) V}{(10000 + 2000)\ \Omega} = 4.16 \cdot 10^{-6} A$$

Para obtener el voltaje de entrada:

$$V_{in} = I \cdot R = 4.16 \cdot 10^{-6} \cdot 2000\ \Omega = \boxed{8.33\ mV}$$

$R_{interfaz} \nearrow$

2.2 ¿Qué ganancia en dB tendremos en este último caso?

$$Ganancia = 20 \cdot \log_{10} \left( \frac{V_{in}}{V_{out}} \right) = 20 \cdot \log_{10} \left( \frac{8.33\ mV}{50\ mV} \right) = \boxed{-15.6\ dB}$$