

## Niveles del Sonido y el decibel

### El decibel

---

Un entendimiento superficial del deciBel puede obscurecer el estudio de la ciencia del sonido y ser una barrera en el uso apropiado y desarrollo de sus muchas aplicaciones.

El bel es el logaritmo de la razón de dos potencias, y el decibel es la décima parte de un Bel

### Logaritmos

---

Un Nivel es un logaritmo de una razón.

Un Nivel de Potencia de una potencia  $W_1$  puede ser expresado en términos de una referencia de potencia  $W_2$  de la siguiente manera:

$$L_1 = \log_{10} \frac{W_1}{W_2} \text{ bels} \quad (4.1)$$

Debido a que el deciBel (dB) es la décima parte de un Bel (de Alexander Graham Bell). El Nivel en decibeles de una razón de potencia llega a ser:

$$L_1 = 10 \log_{10} \frac{W_1}{W_2} \text{ decibeles} \quad (4.2)$$

La ecuación 4.2 se aplica igualmente a la potencia acústica, potencia eléctrica o cualquier otra clase de potencia. ¿Qué sucede si necesitamos expresar otros niveles que no sean de potencia en términos de decibeles?. Por ejemplo, la *Intensidad Acústica* es la *Potencia Acústica* por unidad de área en una dirección específica. La *Potencia Acústica* es proporcional al cuadrado de la *Presión Acústica*,  $p$ , de aquí que el Nivel de Potencia es:

$$\begin{aligned} L_p &= 10 \log_{10} \frac{p_1^2}{p_2^2} \text{ dB} \\ L_p &= 20 \log_{10} \frac{p_1}{p_2} \text{ dB} \end{aligned} \quad (4.3)$$

La tabla 4.1 nos ayudará a decidir cuando aplicar una ecuación del tipo 4.2 o 4.3

<b>Tabla 4.1 Uso de 10 log y 20 log</b>		
	<b>Ec (4.2)</b>	<b>Ec (4.3)</b>
<b>Parámetro</b>	$L = 10 \log_{10} \frac{a_1}{a_2} dB$	$L = 20 \log_{10} \frac{b_1}{b_2} dB$
<b>Acústica</b>		
Potencia	X	
Intensidad		X
Velocidad de las partículas de aire		X
Presión		X
<b>Eléctrica</b>		
Potencia	X	
Corriente (I)		X
Voltaje (V)		X
<b>Distancia</b>		
(Ley del cuadrado inverso)		X

## Niveles de Referencia

Al usar las ecuaciones 4.2 y 4.3 es necesario especificar los niveles de referencia  $a_2$  y  $b_2$ .

## El dBm

La unidad dBm ha sido usada por muchos años en el audio profesional y broadcast. El nivel de referencia es 1 miliwatt en una impedancia específica.

$$L = 10 \log_{10} \frac{W}{0.001} dBm @ \text{ impedancia específica} \quad (4.4)$$

$W$ : Potencia en watts

La impedancia mas común en el audio profesional y broadcast es 600  $\Omega$  y en algunas ocasiones 150  $\Omega$ . Un valor de 50  $\Omega$  es usado para los sistemas que trabajan con Radio Frecuencia.

Hace unas cuantas décadas, cuando la tecnología del audio estaba basada en tubos de vacío y transformadores de acoplamiento, la mayoría de los equipos

estaban basados sobre el principio de Máxima Transferencia de Potencia. Lo cual se logra cuando la impedancia de salida de cada dispositivo es igual a la impedancia de entrada del dispositivo al cual será conectado. Por ejemplo:

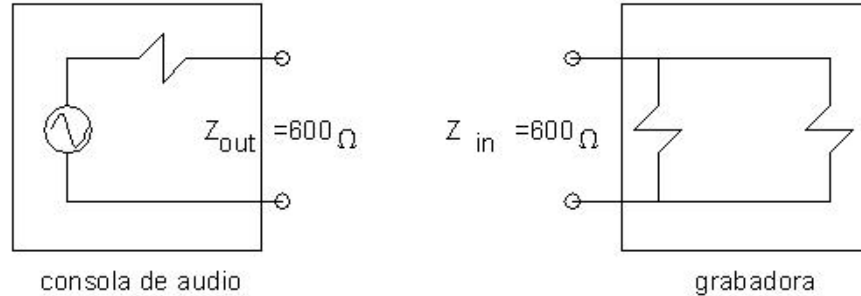


Fig. 4.1 Ejemplo de máxima transferencia de potencia

La mayoría de los equipos modernos de estado sólido raramente operan sobre el principio de máxima transferencia de potencia. Las impedancias de salida de estos equipos son muy bajas, típicamente menor a  $50 \Omega$  y algunas veces cercanas a  $0 \Omega$ . Las impedancia de entrada son relativamente altas, del orden de los  $10\ 000 \Omega$  para equipo profesional y  $100\ 000 \Omega$  para equipo casero. Con esta filosofía de diseño, no se transfiere potencia sino máximo voltaje en circuito abierto, lo que nos consume menos corriente.

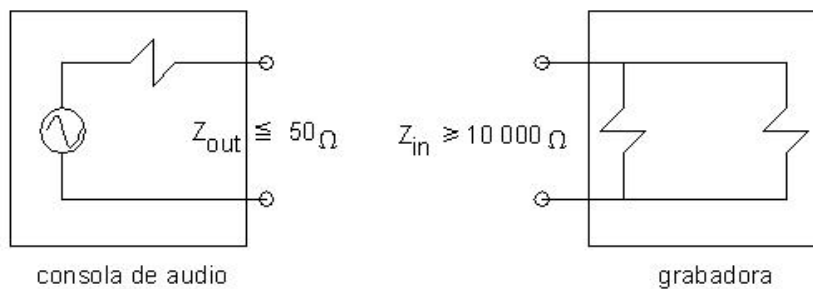


Fig. 4.2 Ejemplo de máxima transferencia de voltaje, menor consumo de corriente

Siempre que se especifique un valor en dBm deberá indicarse la impedancia en la cual fue medido como un subíndice, por ejemplo:  $-6 \text{ dBm}_{600}$  indica una lectura de  $-6 \text{ dBm}$  en una impedancia de carga de  $600 \Omega$

## El dBu

---

La unidad dBu es una unidad de deciBel basada en voltaje. El nivel de referencia es 0.7746 volts rms.

$$L = 20 \log_{10} \frac{V}{0.7746} dBu \quad (4.5)$$

$V$ : Voltaje en volts rms

A diferencia de la unidad dBm, el dBu no asume ningún valor de impedancia. El dBu es la unidad apropiada para usarse en la mayoría de las aplicaciones de audio profesional y de broadcast.

## El dBV

---

La unidad dBV es una unidad de deciBel basada también en voltaje. El nivel de referencia es 1 volt rms.

$$L = 20 \log_{10} \frac{V}{1} dBV \quad (4.6)$$

$V$ : Voltaje en volts rms

Su uso es más común en los equipos de audio caseros y menos frecuente en los sistemas de audio profesional y broadcast.

## El dBr

---

La unidad dBr se usa para establecer dB relativos. Esto es, podemos establecer cualquier valor de dBu, dBV y dBm como nuestro cero dBr. El uso de los dBr es muy útil para especificar mediciones de Ganancia, Relación Señal-a-Ruido (SNR) y Razón de Rechazo en Modo Común (CMRR).

En el caso de los ecualizadores, la ganancia especificada en dB es en realidad una ganancia dada en dBr, siendo el 0 dBr el valor de +4 dBu. Luego entonces un valor de +15 dBr reportará un valor de +19 dBu.

La unidad dBr puede ser usada también para mediciones de distorsión en los sistemas digitales, como una unidad absoluta. En tales sistemas podemos saber

el valor del Piso de Ruido (Noise Floor) y el valor teórico mínimo de distorsión si sabemos el número de bits y el valor de salida de escala completa (Full Scale). Nuestro valor de 0 dBr será el nivel de salida del equipo en escala completa. Con un medidor de distorsión, el equipo mostrará en términos de dB de “exceso de distorsión y ruido” por arriba del valor teórico.

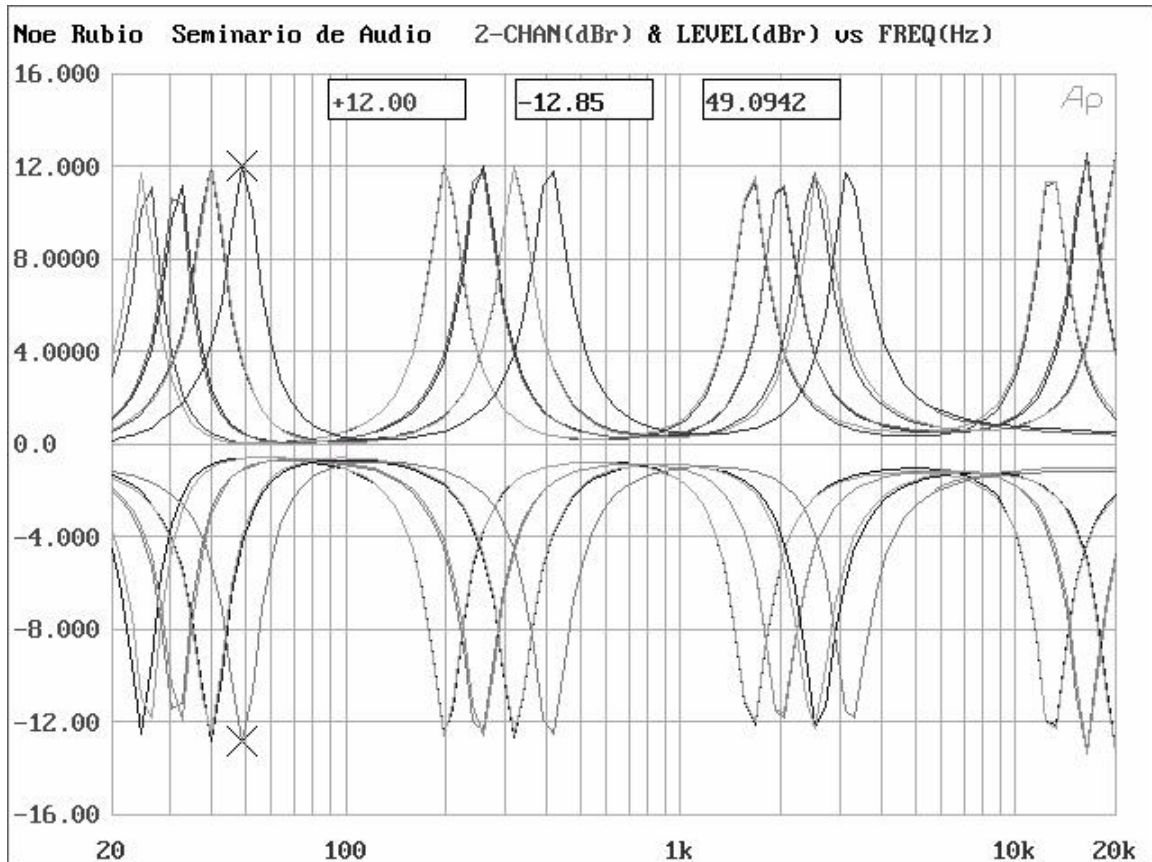


Fig. 4.3 *Uso de los dBr. Ganancia y Atenuación de +12 dBr y -12 dBr en diferentes bandas de un ecualizador gráfico. 0 dBr = +4 dBu.*

## El dBSPL

La unidad dBSPL es una unidad de Presión. El nivel de referencia es 20 microPascales ( $\mu\text{Pa}$ )

$$L = 20 \log_{10} \frac{P}{20 \times 10^{-6}} \text{ dBSPL} \quad (4.7)$$

$P$ : Presión en Pascales

La figura 4.4 y la Tabla 4.2 ejemplifican la presión Sonora (en Pascales) y los Niveles de Presión Sonora (en dBSPL) de algunos sonidos más comunes

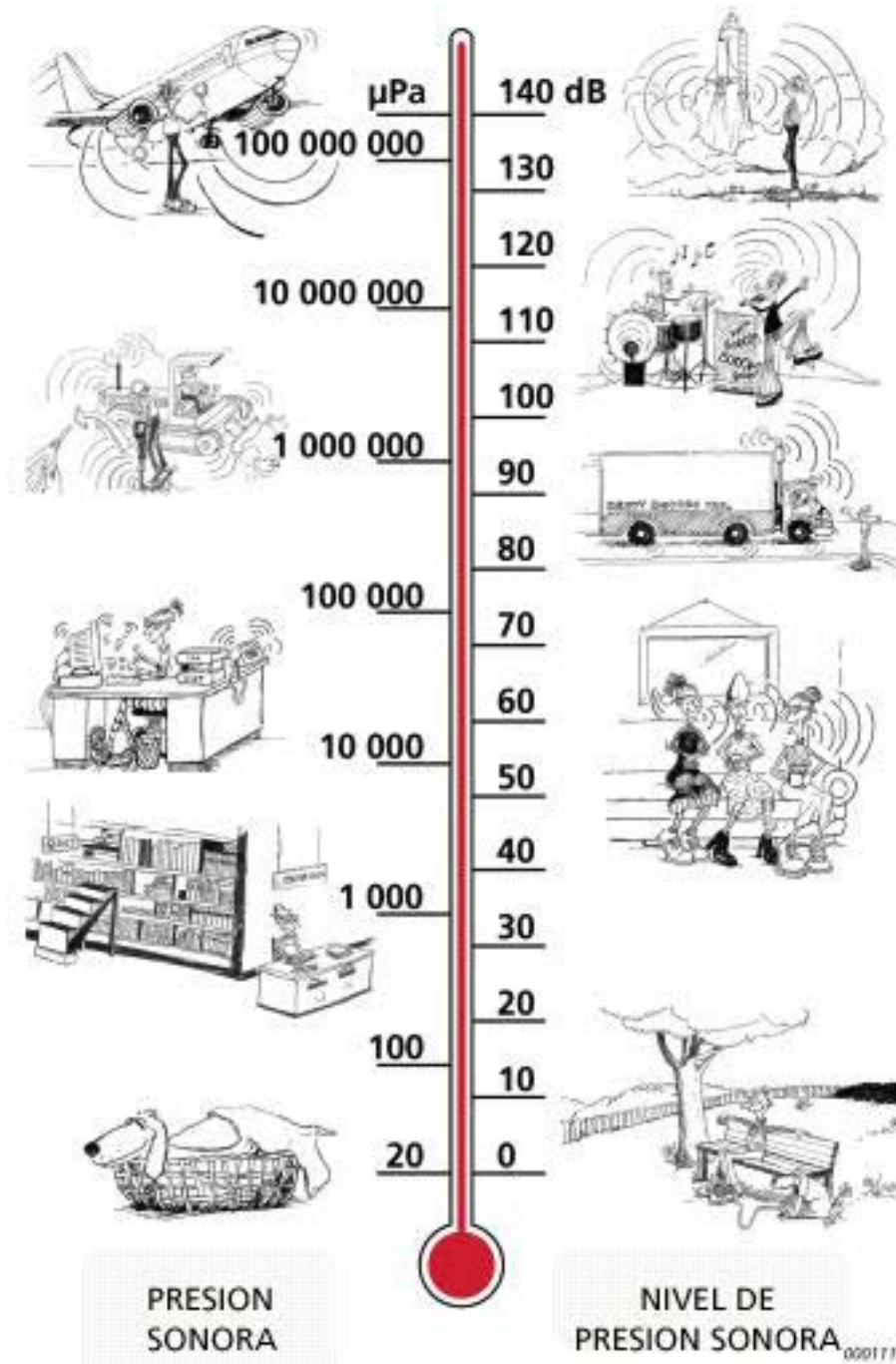


Fig. 4.4 Fuentes Sonoras y su valor en Presión Sonora y Niveles de Presión Sonora

Tabla 4.2 Presión Sonora y Niveles de Presión Sonora de algunos sonidos comunes		
Fuente de Sonido	Presión Sonora (Pa)	Nivel de Presión Sonora (dBSPL)
1 Atmósfera	100 000	194
<b>Umbral del Dolor</b>		135
Tráfico Intenso	0.2	80
Estudio de Grabación	0.0002	40
<b>Umbral de Audición</b>	0.000002	0

### Midiendo el Nivel de Presión Sonora

Un medidor de Nivel de Sonido se diseña para dar lecturas del Nivel de Presión Sonora. El medidor da lecturas en decibeles de Presión Sonora (dB SPL) referidos al nivel de referencia estándar de 20  $\mu$ Pa. Los medidores profesionales ofrecen una selección de redes de filtros de ponderación denominados A, B y C, teniendo la respuesta en frecuencia mostrada en la Fig. 4.5. La selección de la red de filtros se basa en el nivel general de sonidos que han de ser medidos. Así que:

- Para Niveles de Presión Sonora de 20 a 55 dB SPL usar la Red de Ponderación tipo A
- Para Niveles de Presión Sonora de 55 a 85 dB SPL usar la Red de Ponderación tipo B
- Para Niveles de Presión Sonora de 85 a 140 dB SPL usar la Red de Ponderación tipo C

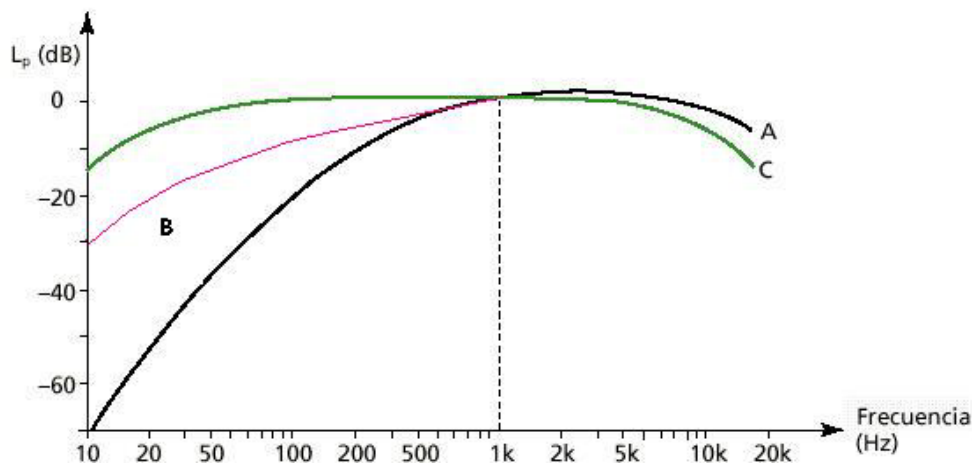


Fig. 4.5 Características de la Respuesta de los Filtros de Ponderación A, B y C para los medidores de Nivel de Sonido (ANSI S1.4 1971)

Ejemplo de este tipo de medidores es el Medidor de Nivel Presión Sonora 2232 fabricado por la compañía Bruel and Kjaer.



*Fig. 4.6 Medidor de Nivel de Presión Sonora Bruel and Kjaer modelo 2232*

Como podemos observar los filtros de ponderación no tienen respuesta plana en sus características. Los filtros de ponderación se diseñan para dar mediciones que se correlacionen mejor en la forma en que percibimos los humanos. Es bien sabido que la sensibilidad del oído humano no es plano con respecto a la frecuencia. Y mas aun sabemos que la respuesta en frecuencia del oído humano varía con respecto a la amplitud del nivel de sonido. La Fig. 4.7 muestra las curvas clásicas de la sensibilidad del oído humano típico.



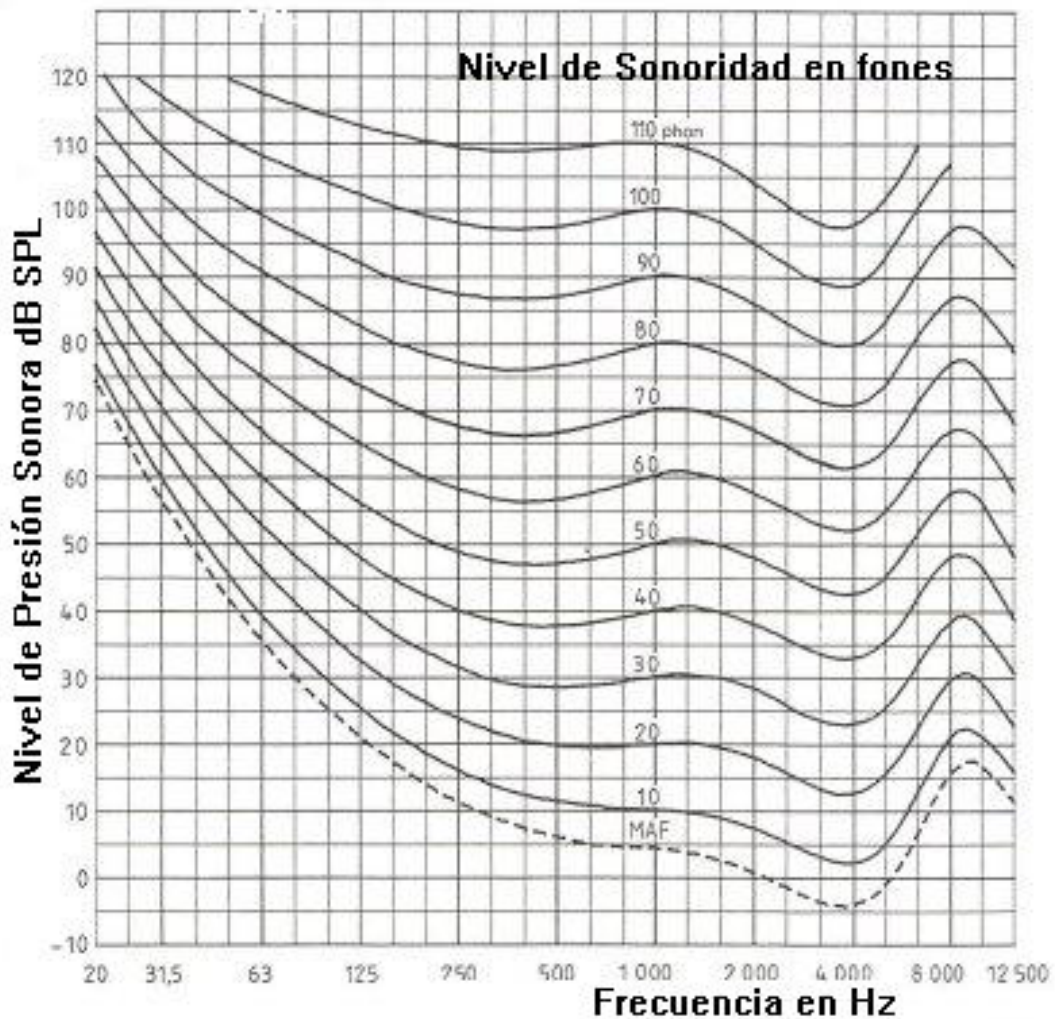


Fig. 4.7 *Contornos de Igual Sonoridad del oído humano. Esos contornos revelan la baja sensibilidad del oído en los tonos graves, especialmente en los niveles de sonido muy bajos. Invertiendo estas curvas nos da la respuesta en frecuencia del oído en términos de nivel de sonoridad. (I.S.O. 226)*

El trabajo sobre sonoridad fue hecho en los Laboratorios Bell por Fletcher y Munson en 1933. Desde entonces se han hecho nuevas investigaciones, una de ellas por Robinson y Dadson. cuyas gráficas de la figura 4.7 se han adoptado como el estándar internacional.

Cada contorno de igual sonoridad está identificado por su valor en 1000 Hz., y de aquí se define el término de *Nivel Sonoro* en fones. Por ejemplo, el contorno de igual sonoridad de un nivel de presión sonora de 40 dB SPL en 1000 Hz., es llamado un contorno de 40 fones.

## Sonoridad: Fones y Sones

El Fon es la unidad de sonoridad que está asociada al nivel de presión sonora en 1000 Hz. como hemos visto. Esto es útil hasta cierto punto, pero nos dice muy poco con respecto a la reacción humana de la sonoridad del sonido. Necesitamos alguna unidad subjetiva de sonoridad. Muchos experimentos han sido realizados con diferentes tipos de personas y de sonidos. Todos ellos han revelado que un incremento de 10 dB SPL , la persona reporta que la sonoridad es el doble. Algunos investigadores dicen que este incremento debería ser 6 dB SPL y otros que 10 dB SPL. La polémica continua hasta nuestros días. Sin embargo, a pesar de estas discusiones, se ha adoptado una unidad subjetiva de sonoridad llamada el Son. El Son se define como la sonoridad que experimenta una persona que escucha un un tono de un nivel de sonoridad de 40 fones. Un nivel de 2 sones es el doble de fuerte que un son. Ver Fig. 4.8

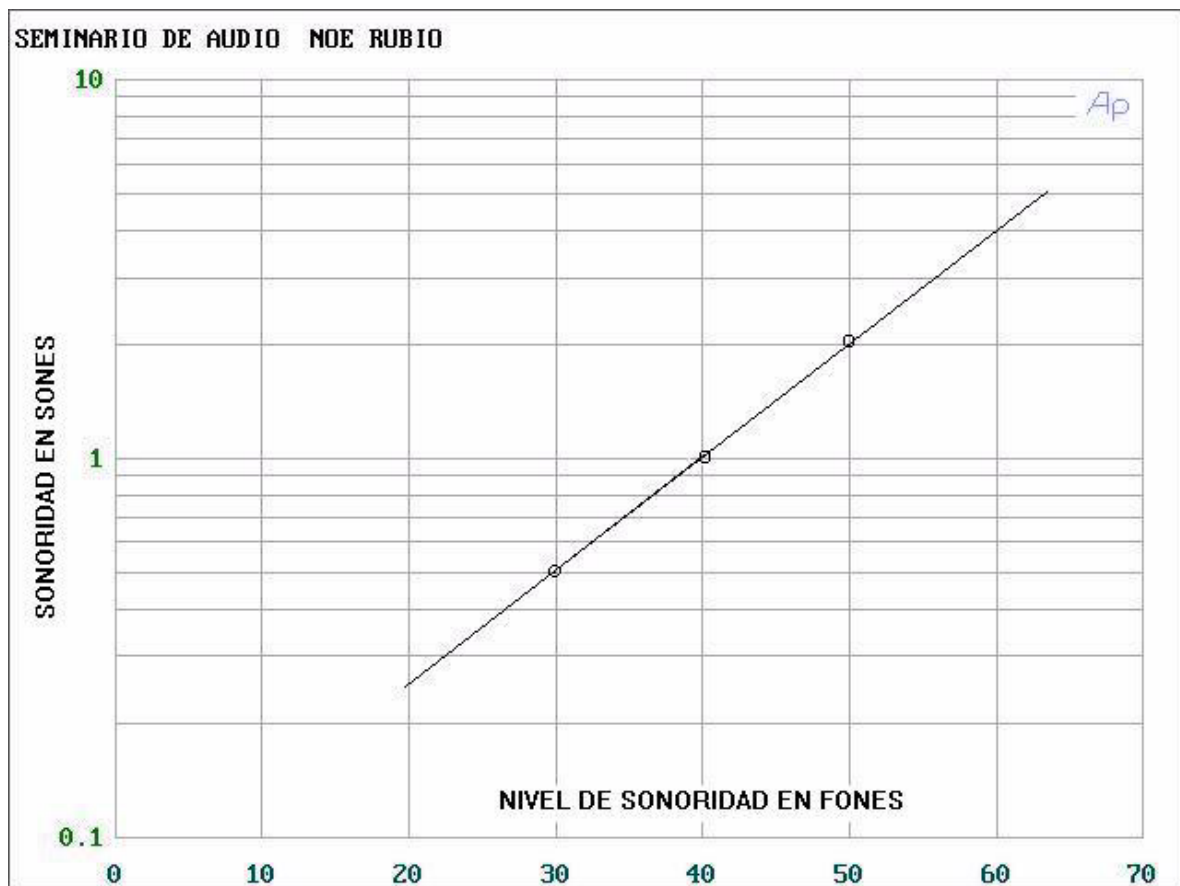


Fig. 4.8 La relación gráfica entre el nivel de sonoridad física en fones y la sonoridad subjetiva en sones.

## Ejemplos

---

### Ejemplo 4.1 : Nivel de Presión Sonora

¿Cuál es la presión sonora de un sonido de 94 dB SPL?

$$94dB SPL = 20 \log_{10} \frac{P}{20 \times 10^{-6}}$$

despejando a  $P$

$$\frac{94}{20} = \log_{10} \frac{P}{20 \times 10^{-6}}$$

$$10^{\frac{94}{20}} = \frac{P}{20 \times 10^{-6}}$$

$$P = 10^{\frac{94}{20}} * 20 \times 10^{-6}$$

$$P = 1Pa$$

### Ejemplo 4.2 : Altavoz

La entrada de 1 Watt en un altavoz produce un SPL de 115 dB a 1 metro de distancia. ¿Cuál será el nivel en SPL a 6 metros?

De la tabla 4.1 usamos la fórmula de distancia. Además consideramos que el altavoz está operando en condiciones de campo libre, sin reflexiones, por lo tanto se aplica la Ley del Cuadrado Inverso:

$$SPL = 115 - 20 \log_{10} \frac{6}{1}$$

$$SPL = 115 - 15.6$$

$$SPL = 99.4$$

### Ejemplo 4.3 : Altavoz

Las especificaciones de un altavoz nos dicen que tiene un nivel de 115 dB SPL cuando es medido a 1 metro de distancia y cuando a su entrada es excitado con 1 Watt. La impedancia del altavoz es de 8  $\Omega$ . Si la entrada decrece de 1 watt a 0.22 watts, ¿Cuál sería el valor SPL del altavoz en 1 metro de distancia?

$$SPL = 115 - 10 \log_{10} \frac{1}{0.22}$$

$$SPL = 115 - 10 \log_{10} 4.54$$

$$SPL = 115 - 6.6$$

$$SPL = 108.4$$

Note que se usa 10 porque estamos tratando con potencias.

#### **Ejemplo 4.4 : Micrófono**

Las especificaciones de un micrófono Shure modelo SM58, especifican que tiene un voltaje en circuito abierto de  $-80$  dB para una impedancia de  $150 \Omega$ . También especifican que  $0$  dB es igual a  $1$  volt/ $\mu$ bar. ¿Cuál es el voltaje en circuito abierto,  $v$ , en volts?

$$-80 = 20 \log_{10} \frac{V}{1}$$

despejando  $V$ :

$$-\frac{80}{20} = \log_{10} \frac{V}{1}$$

$$10^{-4} = \frac{V}{1}$$

$$V = 0.0001V$$

#### **Ejemplo 4.5 : Amplificador**

Las especificaciones de un amplificador nos dicen que tiene una impedancia de entrada y de salida de  $600$  ohms. También especifica que tiene una ganancia de  $37$  dB. ¿Cuál es el voltaje de salida si a su entrada se presenta un voltaje de  $0.2$  v?

$$37dB = 20 \log_{10} \frac{V}{0.2}$$

$$\log_{10} \frac{V}{0.2} = \frac{37}{20}$$

$$\frac{V}{0.2} = 10^{\frac{37}{20}}$$

$$V = 0.2 * (10^{\frac{37}{20}})$$

$$V = 14.16V$$

### Ejemplo 4.6 : Sala de Conciertos

El asiento #30 de una sala de concierto esta situado a 25 metros del violoncelo El ejecutante del violoncelo toca una nota musical. El nivel de presión sonora del sonido directo de la nota en el asiento #30 medida es de 55 dB SPL. La primera reflexión de la pared más cercana llega al asiento #30 105 milisegundos después del arribo del sonido directo.

- ¿Qué tan lejos viaja la reflexión para alcanzar el asiento #30?
- ¿Cuál es el valor en SPL de la reflexión, considerando que no hay absorción en la pared?
- Cuanto tiempo transcurre en que la reflexión llegue después que el sonido directo arribe al asiento #30?

a) De la fórmula de velocidad

$$v = \frac{d}{t}$$

$$d = v * t$$

$$d = 344 * 0.105$$

$$d = 36.12m$$

b) Primero debemos saber el nivel en SPL que produce el violoncelo a 1 m.

$$55dB SPL = L - 20 \log_{10} \frac{25}{1}$$

$$L = 55 + 20 \log_{10} \frac{25}{1}$$

$$L = 83dB SPL @ 1m$$

Ahora, el Nivel de Presión Sonora de la reflexión en el asiento #30 es:

$$dB SPL = 83 - 20 \log_{10} \frac{36.12}{1}$$

$$dB SPL = 83 - 31.15$$

$$dB SPL = 51.85$$

c). De la fórmula de velocidad:

$$V = \frac{d}{t}$$

$$t = \frac{d}{V}$$

$$retardo = \frac{(36.12-25)}{344}$$

$$retardo = 32milisegundos$$

### Ejemplo 4.7 : Sumando decibeles

- a) Un medidor fabricado por la compañía Dorrough tiene la opción de sumar las entradas A y B. Si en ambas entradas se tiene +4 dBu, ¿cuál será el valor de la suma reportado por el equipo?

Para este caso, usaremos la ecuación 4.8

$$\sum = 20 \log_{10} (10^{a/20} + 10^{b/20} + \dots 10^{n/20}) \quad (4.8)$$

$$\begin{aligned} \sum &= 20 \log_{10} (10^{4/20} + 10^{4/20}) \\ \sum &= 10 \text{ dBu} \end{aligned}$$

Note que usamos el numero 20 en la ecuación 4.8 porque se trata de dBu, los cuales están referidos a voltaje.

- b) ¿Cuál es la suma de 4 dBm y 4 dBm?

Para este caso, usaremos la ecuación 4.9

$$\sum = 10 \log_{10} (10^{a/10} + 10^{b/10} + \dots 10^{n/10}) \quad (4.9)$$

$$\begin{aligned} \sum &= 10 \log_{10} (10^{4/10} + 10^{4/10}) \\ \sum &= 7 \text{ dBm} \end{aligned}$$

Note que usamos el numero 10 en la ecuación 4.9 porque se trata de dBm, los cuales están referidos a potencia.

### Ejemplo 4.8 : Micrófonos inalámbricos

Un sistema de micrófono inalámbrico especifica 17 dBm de potencia de transmisión.

- a) ¿ A cuanto equivale este valor en watts?  
 b) ¿A cuanto equivale este valor en voltaje? Considere que la impedancia de salida es de 50  $\Omega$ .

a)

$$17dBm = 10 \log_{10} \frac{P}{0.001}$$

$$\log_{10} \frac{P}{0.001} = \frac{17}{10}$$

$$P = 10^{\frac{17}{10}} * 0.001$$

$$P = 50mW$$

b) De la fórmula de potencia de la Ley de Ohm

$$P = \frac{E^2}{Z}$$

$$E = \sqrt[2]{P * Z}$$

$$E = \sqrt[2]{0.050 * 50}$$

$$E = 1.58v$$

## Bibliografía

---

1. **Acoustic Noise Measurements**  
5 ed  
ISBN 87 87355 21 3  
Hassall, J.R. & Zaveri, K.  
Bruel and Kjaer, 1988
  
2. **The Master Handbook of Acoustics**  
3 ed  
ISBN 0 8306 4438 5 ISBN 0 8306 4437 7  
Alton Everest, F  
TAB Books, 1994
  
3. **Audio Measurement Handbook**  
1 ed  
Metzler, Bob  
Audio Precision Inc, 1993