



# TRANSDUCTORES Y SENSORES 2021

Ing. Biomédica  
Ing. Electrónica

## UNIDAD X : SONIDO



FCEFN - UNC - Ing. Gabriel Gómez (ggomez@unc.edu.ar)



# Temario

Conceptos físicos. Definiciones

Principales tecnologías

Guía de selección

Algunos cálculos

Aplicaciones

Principales fabricantes

Bibliografía





# CONCEPTOS BÁSICOS

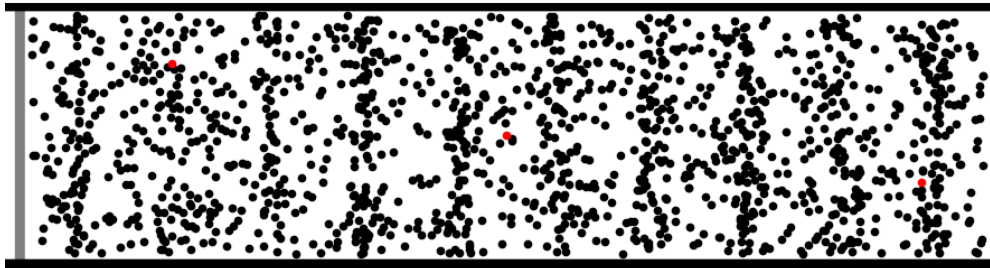
## Conceptos básicos

Las perturbaciones mecánicas se pueden propagar sin transporte de materia en forma de ondas mecánicas planas y longitudinales, a través de un medio elástico y deformable (sólidos, líquidos o gases)

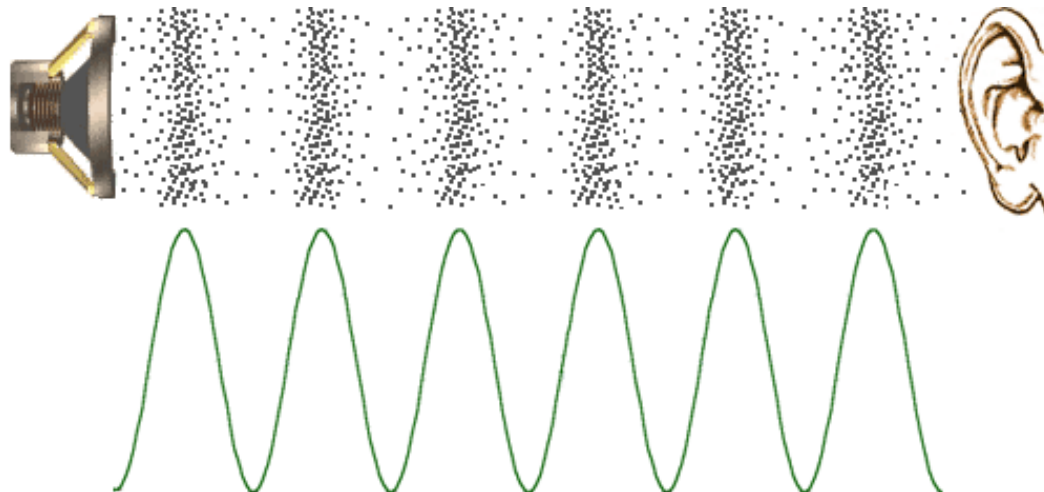
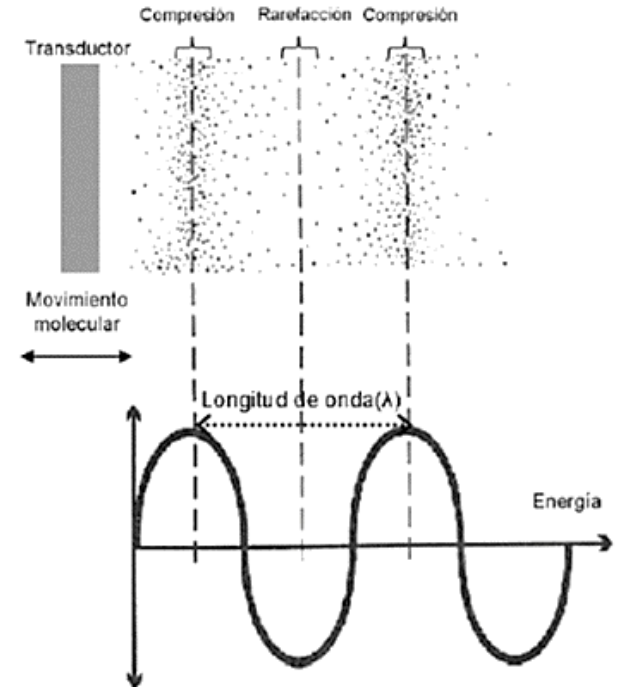
- En los sólidos, la energía se propaga mediante variaciones del estado tensional del medio y la percepción humana, pej a través del tacto, la define como **vibraciones**.
- En los fluidos la energía se transmite como variaciones de presión y nuestra percepción humana a través del oído la califica como **sonido**.

En el vacío no hay propagación de ondas mecánicas porque no hay partículas que puedan vibrar y transmitirlo.

# Conceptos básicos



©2011, Dan Russell



# ■ Parámetros de onda

Toda forma de onda, por compleja que sea, se puede analizar como un ensamble de ondas senoidales simples (Fourier)

En una senoidal simple:

- ▣  $y = A \sin(\omega t + \theta)$  A: amplitud     $\theta$ : fase
- ▣  $\omega = 2\pi f = 2\pi/T$
- ▣  $\lambda \cdot f = v$  (velocidad de propagación)

¿Cómo son estas magnitudes en el caso del sonido?



## **Parámetros de las ondas de sonido:**

1. Frecuencia (y espectro de frecuencia)
2. Longitud de onda
3. Velocidad de propagación
4. Propagación y atenuación
5. Amplitud / Intensidad / Potencia



# 1. Frecuencia del Sonido



Según la frecuencia de las ondas, el sonido se clasifica en:

**Infrasonido:** por debajo de los 20 Hz (por ej. avalanchas, ondas del mar, tornados, terremotos, volcanes, algunos animales como elefantes y pájaros).

**Sonido audible:** entre 20 Hz y 20 kHz. Consiste en ondas acústicas que producen oscilaciones de la presión del aire, son convertidas en ondas mecánicas en el oído humano y percibidas por el cerebro.

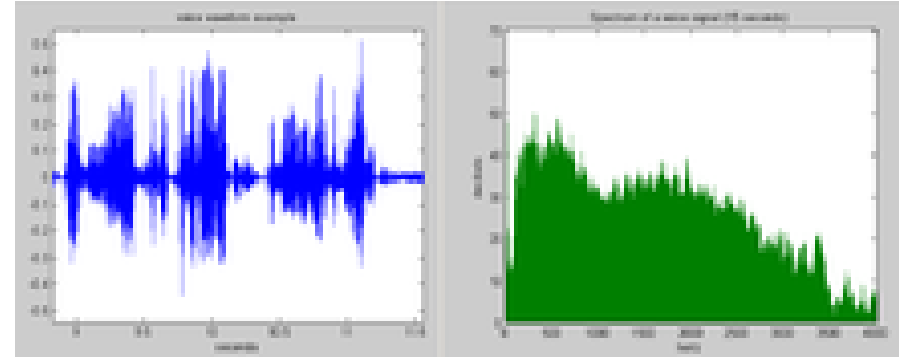
**Ultrasonido:** por encima de los 20 kHz (por ej. SONAR, ecografía, algunos animales como delfines, orcas y pájaros).

La frecuencia del sonido se halla relacionada al tono, frecuencias altas corresponden a sonidos agudos y frecuencias bajas a sonidos graves.



# 1. Espectro de frecuencias

- Espectro de emisión de la voz humana registrada durante 15 seg, señal de audio y espectro →
- Espectro de recepción de un micrófono típico →
- El medio que atraviesa el sonido también presenta un espectro de transmisión
- He oído humano analiza el contenido espectral de los sonidos y lo define como timbre, lo que permite diferenciar a las personas por su voz



## 2. Longitud de onda

La amplitud es máxima en los picos que ocurren a  $\frac{1}{4}$  del período o longitud de onda  $\lambda$

Por eso, la forma de antena más elemental para emitir ondas de radio es un dipolo de  $\frac{1}{4}\lambda$

Tomemos un ejemplo en AM, pej Radio Mitre 810 Khz:

$$\lambda \cdot f = c, \quad \lambda = c/f = 3 \times 10^8 \text{ m/s} / 810.000(1/\text{s}) = 370 \text{ m}$$

o sea, una antena de  $\frac{1}{4}\lambda = 90 \text{ m}$

## 2. Longitud de onda

¿Y en sonido, como funcionan las “antenas” ?

Repitamos el mismo cálculo para 1 kHz y velocidad sonido en aire

$$\lambda = v/f = 340 \text{ m/s}/1000(1/\text{s}) = 0,340 \text{ m}$$

o sea, una antena de  $1/4\lambda = 7 \text{ cm}$ , la oreja (promedio) humana !

Si la oreja de un elefante africano tiene 1 m de diámetro y rehacemos el cálculo:  $1/4\lambda = 1\text{m}$ , o sea  $\lambda = 4 \text{ m}$  y  $f=v/\lambda=340/4=85 \text{ Hz}$

¡¡El elefante escucha infrasonidos !! ¿Se anima a la ballena ?

### 3. Velocidad de propagación

La velocidad de propagación de la onda sonora en un medio determinado es constante, y depende de la  $T^\circ$ , la densidad y la elasticidad del medio. Dicha velocidad se modifica cuando la onda pasa de un medio a otro.

Mediante las *ecuaciones de Newton-Laplace* se puede determinar a qué velocidad se propaga el sonido en los diferentes medios:

En los sólidos

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

$E$  = módulo de Young  
del sólido

$d$  = densidad del sólido

En los líquidos

$$v = \sqrt{\frac{Q}{d}}$$

$Q$  = módulo de compresibilidad  
del líquido

$d$  = densidad del líquido

En los gases

$$v = \sqrt{\frac{\gamma \cdot P}{d}} \quad v = \sqrt{\frac{\gamma \cdot R \cdot T}{M}}$$

$\gamma$  = Coeficiente adiabático del gas

$P$  = presión del gas

$d$  = densidad del gas

$T$  = temperatura absoluta del gas

$R$  = Constante de los gases

$M$  = Masa molar del gas



### 3. Algunas velocidades en distintos medios

¿Por qué los indios de las películas pegan el oído a las vías del ferrocarril para saber cuándo viene, mucho antes que aparezca el humo en el horizonte ?

¿Por qué razón en un día sin viento de invierno a veces en los lagos podemos escuchar una conversación que ocurre en un bote lejos de la costa ?

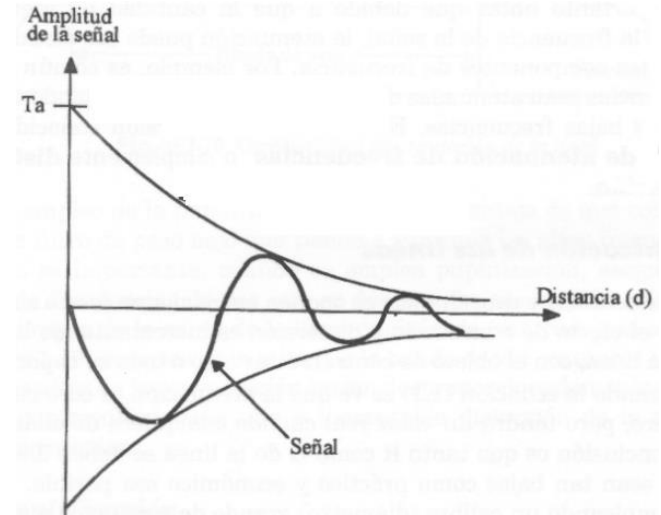
Nos falta un parámetro: ***la atenuación del sonido...***

Material	Speed of sound (m/s)	Material	Speed of sound
Aluminium	5100	Copper	3700
Glass	4500 (average)	Sea water	1510
Air	343	Helium	965
Hydrogen	1284	Nitrogen	334



## 4. Propagación del sonido

Al propagarse, el sonido se atenúa por dos razones: la dispersión geométrica y la absorción en el medio.



En campo libre y lejano y para una fuente sonora puntual con propagación esférica se cumple que el nivel de presión sonora decae a razón de 6 dB cada vez que se dobla la distancia entre la fuente y el receptor, lo que se representa en la siguiente ecuación:

$$L_{P1} - L_{P2} = 20 \log \left( \frac{d_2}{d_1} \right)$$

$L_{P1}$  nivel de presión en un punto dado cercano a la fuente.

$L_{P2}$  nivel de presión en otro punto.

$d_2$  distancia del punto 2 a la fuente de ruido.

$d_1$  distancia del punto 1 a la fuente de ruido.

## 4. Atenuación por absorción

-El **coeficiente de absorción o de atenuación** se define como el cociente entre la energía absorbida y la energía incidente por una superficie o sustancia, en escala de 0 a 1.

-Las propiedades absorbentes de sonido de un material se expresan en el coeficiente de absorción de sonido,  $\alpha$ , (alfa) en función de la frecuencia.  $\alpha$  oscila de 0 (reflexión total) a 1.00 (absorción total)

-Para cada material dependerá de la frecuencia y de la cantidad (espesor  $x$ ) de material siguiendo una ecuación de tipo

$$I = I_0 \cdot e^{-\alpha x}$$

	$\alpha_m$
Hormigón visto	0,04
Hormigón pintado	0,07
Bloque de hormigón visto	0,09
Bloque de hormigón pintado	0,09
Ladrillo cerámico vistos	0,04
Ladrillo cerámico pintados	0,02
Enfoscado de mortero	0,06
Enlucido de yeso	0,01
Placa de yeso laminado	0,06
Placas de escayola	0,05
Piedra	0,02
Madera y paneles de madera	0,08
Parquet	0,05
Tarima	0,09
Tarima sobre rastreles	0,05
Corcho	0,16
Metales	0,02
Revestimientos textiles	0,17
Moqueta, espesor $\leq 10$ mm	0,17
Moqueta, espesor $\geq 10$ mm	0,30
PVC	0,05
Linóleo	0,03
Caucho	0,03
Terrazo	0,02
Baldosas, plaquetas.	0,02
Vidrio	0,04

## 5. Amplitud / intensidad / potencia

**Amplitud** es la diferencia entre los valores máximos y mínimos del movimiento ondulatorio en un punto. Representa la variación de presión existente en ese punto, y se relaciona con **la intensidad** del sonido

**Intensidad sonora** se define como la **potencia acústica** transferida por una onda sonora por unidad de área normal a la dirección de propagación.

Debido a que el rango de presiones sonoras que el oído humano detecta es muy amplio, se utiliza una escala logarítmica.

Por definición, el nivel (en dB) es el logaritmo del cociente de una cantidad dada respecto a otra que se toma como referencia. Por convención, se emplea como nivel de referencia el umbral de audición.

En gral;  $1 B = \log A_1/A_2$

$1 dB = 10 \log A_1/A_2$

En electrónica:  $1 dB = 10 \log W_1/W_2 = 10 \log (V_1^2/R)/(V_2^2/R) = 20 \log V_1/V_2$



# || Potencia y presión sonora

## ¿Qué son la potencia sonora y la presión sonora?

La **potencia sonora** es la energía sonora que irradia una fuente sonora por unidad de tiempo y que se transmite a través del aire. En cambio, la **presión sonora**, es el efecto que producen las fuentes sonoras cuando irradian energía sonora, esta se transmite a un entorno acústico específico y se mide en un punto concreto. Por tanto, la potencia sonora es la causa y la presión sonora es el efecto.



# Potencia y presión sonora

## Relación entre potencia sonora y presión sonora

Se puede hacer una analogía sencilla para entender la relación entre la potencia sonora y la presión sonora: pensemos en el calor.

Un calefactor eléctrico emite energía y la irradia a una sala. Como resultado, la temperatura de la sala aumenta. La emisión de energía del calefactor es independiente de la sala en la que se encuentre. Sin embargo, la temperatura de la sala varía según la distancia con respecto al calefactor y también dependiendo de las características de la sala; por ejemplo, su tamaño o la cantidad de calor que absorben o transfieren las paredes y el suelo.

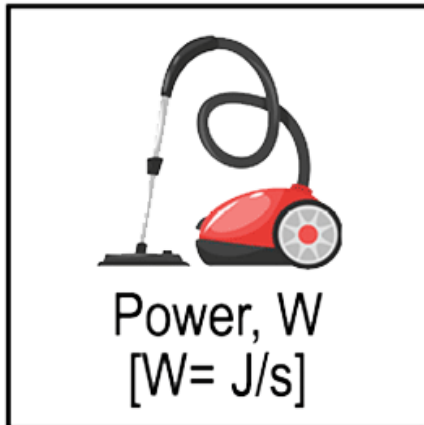


# Potencia y presión sonora

La relación entre la salida de potencia sonora de una fuente de sonido y los niveles de presión sonora en una habitación es similar. La energía sonora que irradia la fuente eleva el nivel de presión sonora de la sala. El nivel de potencia sonora de la fuente es independiente de la sala. En cambio, los niveles de presión sonora dependen de la distancia con respecto a la fuente y de determinadas características de la sala; en especial, su tamaño y la cantidad de sonido que reflejan o absorben las superficies de la sala.



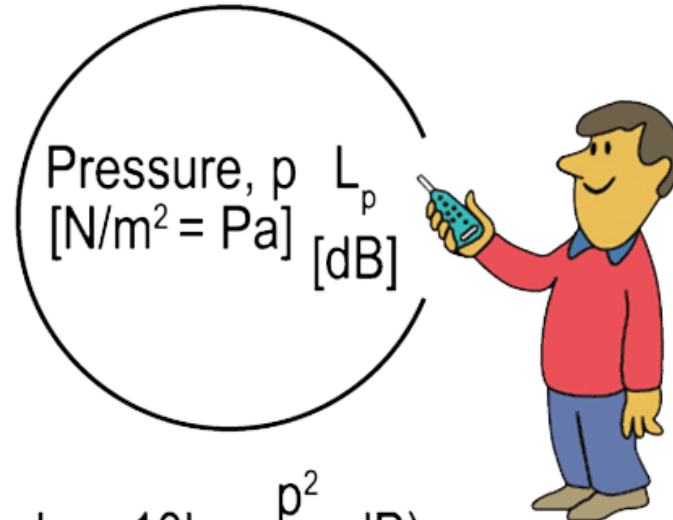
## Sound Power



$$L_w = 10 \log \frac{W}{W_0} \text{ dB}$$

$$(W_0 = 1 \text{ pW})$$

## Sound Pressure



$$L_p = 10 \log \frac{p^2}{p_0^2} \text{ dB}$$

$$(p_0 = 20 \text{ } \mu Pa)$$

# El decibel acústico dB<sub>A</sub>

- El nivel de **potencia sonora** viene dado por la expresión:  $L_w(dB)=10\log W/W_o$

Donde W representa la potencia de la fuente y W<sub>o</sub> la potencia de referencia, ambas en vatios. La referencia habitual de la potencia sonora es 1 pW.

- El nivel de **presión sonora** tendrá por expresión:  $L_p(dB)=20\log P/P_o$

- Y el nivel de **intensidad sonora** SPL por la expresión:  $L_I(dB)=10\log I/I_o$


- El valor de referencia es I<sub>o</sub>=10<sup>-12</sup> W/m<sup>2</sup>, que corresponde, aproximadamente, a la presión de 20 µPa.

- SPL: Sound Pressure Level (dB<sub>A</sub>)

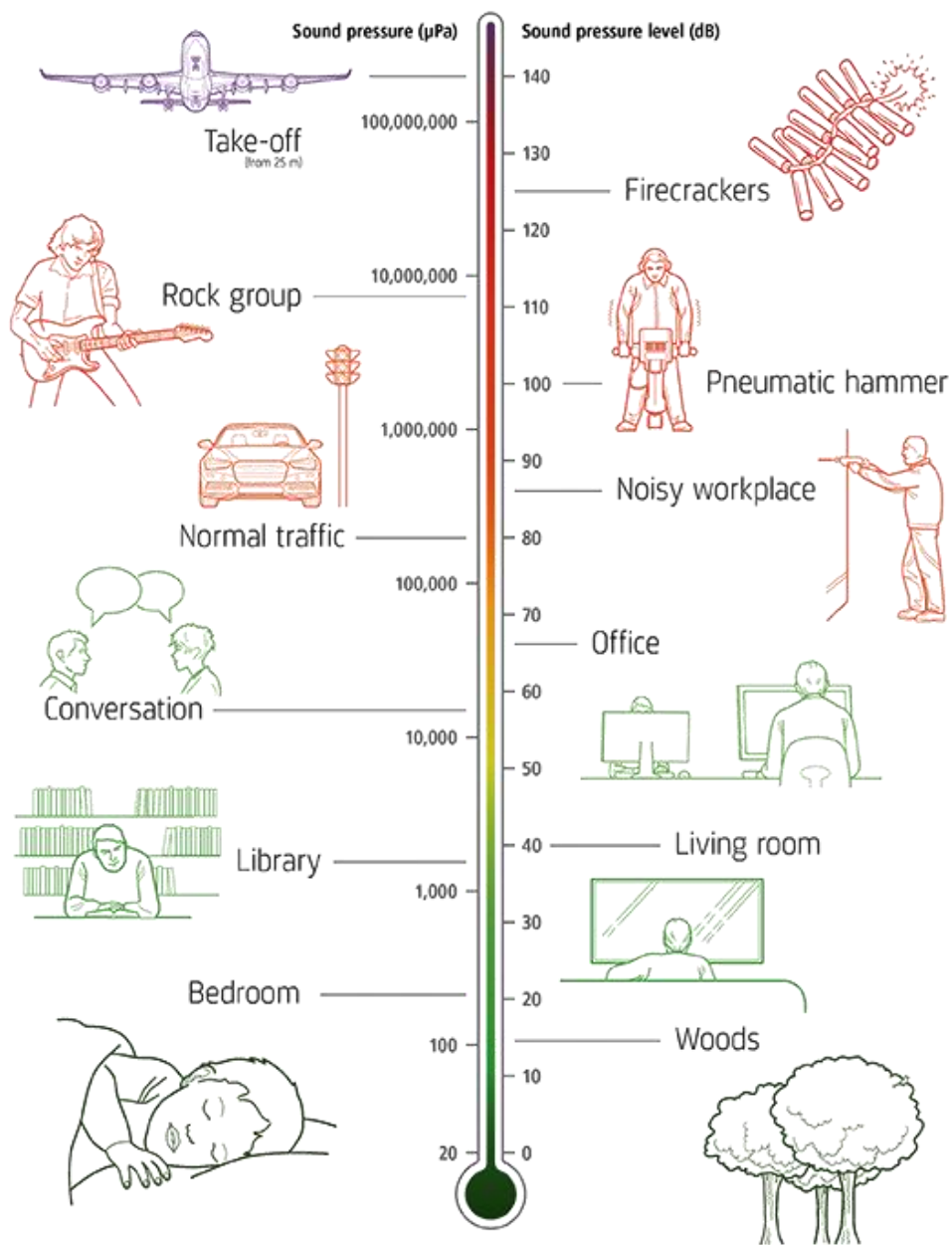
L <sub>p</sub> (dB)	Comentario
130	Más allá del dolor
<b>120</b>	<b>Umbral del dolor</b>
110	Martillo neumático a 1 m
100	Prensas de estampación
90	Orquesta sinfónica
80	Calle de mucho tráfico
70	Interior de un vehículo
60	Conversación a 1 m
50	Ruido de fondo de oficina
40	Sala de estar
30	Dormitorio
20	Estudio de grabación
10	Laboratorio de acústica
<b>0</b>	<b>Umbral de audición</b>



Tanto la presión sonora como la potencia sonora se suelen expresar en decibelios. En ocasiones, eso da lugar a confusión, sobre todo si se omite el valor de referencia. El valor de referencia para los niveles de presión sonora es de  $20 \mu\text{Pa}$ , mientras que el valor de referencia para los niveles de potencia sonora es de  $1 \text{ pW}$ .



Estos valores de referencia se han elegido de manera que, en un campo libre perfecto y a una distancia con un área de propagación de  $1 \text{ m}^2$ , el nivel de presión sonora sea idéntico al nivel de potencia sonora.





## **¿Para qué se calculan los niveles de potencia sonora?**

Conocer el nivel de potencia sonora de un aparato es algo muy útil, porque permite comparar de forma objetiva la emisión sonora de diferentes aparatos, sin que importe el entorno en el que se hagan las pruebas o la distancia a la que se mida. Por eso, los niveles de potencia sonora son ideales para el etiquetado de productos, para definir límites de emisión de ruido para toda clase de aparatos... y para verificar que esos límites se cumplen.







Por ejemplo, un consultor acústico puede utilizar el nivel de potencia sonora de una máquina para calcular el nivel de presión sonora que puede producir en una vivienda cercana si se instala en una determinada ubicación. A partir de ahí, el consultor puede determinar si la inmisión de ruido resultante en la vivienda cumple la normativa aplicable o si, por el contrario, deben diseñarse medidas de mitigación o debe instalarse una máquina distinta, más silenciosa.





Para seguir leyendo:

<https://www.bksv.com/es/knowledge/blog/sound/sound-power-sound-pressure>

<https://www.bksv.com/es/knowledge/blog/sound/sound-intensity>

## Resumen de conceptos:

Cuando se habla de sonido, los descriptores más relevantes son la **frecuencia**, **amplitud** y **fase** de la onda sonora.

**La frecuencia** de una onda de sonido está relacionada con la rapidez con la que vibra el objeto que genera el sonido. Los objetos que vibran muy rápidamente generan ondas sonoras de frecuencia más alta y, cuando los oye el oído humano, los sonidos con una frecuencia más alta tienen un tono más alto.



## Resumen de conceptos:

**La amplitud** de una onda de sonido es una medida de cuán fuerte es la onda de sonido. Las ondas sonoras de alta amplitud serán más fuertes cuando las escuche el oído humano.



## Resumen de conceptos:

Por último, la fase de una onda de sonido tiene que ver con la diferencia en el tiempo de dos o más ondas de sonido. En pocas palabras, dos ondas sonoras que están en fase entre sí combinarán sus amplitudes para crear una onda que suene dos veces más fuerte. Dos ondas sonoras que están completamente desfasadas se cancelarán entre sí y amortiguarán el sonido. Las diferencias de fase dan lugar a interferencias de sonido que pueden utilizarse inteligentemente en dispositivos como auriculares con cancelación de ruido.



## Resumen de conceptos:

Estas medidas de frecuencia, amplitud y fase caracterizan las propiedades de una onda de sonido en un momento dado. Al observar cómo cambian estas propiedades con el tiempo, se puede obtener información útil sobre el entorno a través del cual viaja una onda de sonido.





# TECNOLOGÍAS

# ■ Sensores de sonido

De acuerdo al medio, los sensores de sonido pueden ser:

***Geófono***, para detectar ondas sonoras en un medio sólido, tal como la tierra. Los geófonos son transductores de desplazamiento, velocidad o aceleración que convierten el movimiento del suelo en una señal eléctrica.

***Micrófono***, para detectar ondas sonoras propagadas a través de un medio gaseoso (aire). Estos transductores utilizan inducción electromagnética, cambio de capacitancia o piezoelectricidad para producir una señal eléctrica a partir de las variaciones de la presión de aire.

***Hidrófono***, para detectar ondas sonoras en un medio líquido, tal como el agua.





# Tecnologías de sensores de sonido

El sensor de sonido recibe un nombre propio: micrófono (al igual que presión  $\rightarrow$  manómetro y  $T^\circ \rightarrow$  Termómetro, etc...).

En el rango audible del sonido:

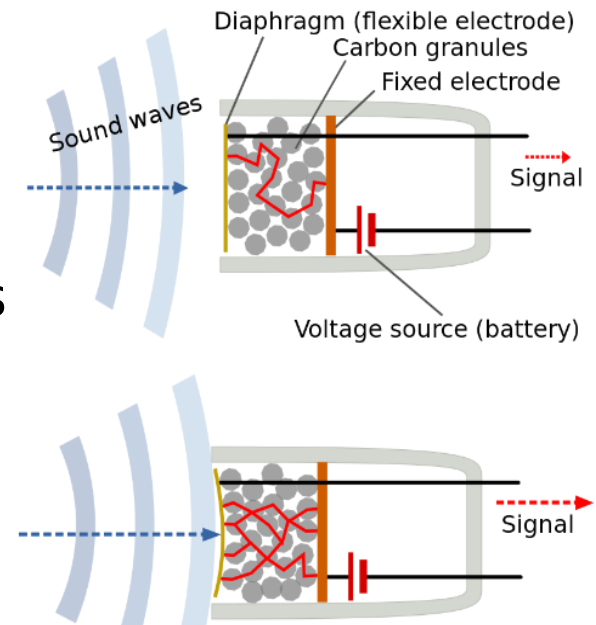
1. Micrófono a carbón (o resistivo)
2. Micrófono dinámico (o electrodinámico)
3. Micrófono capacitivo (a condensador)
4. Micrófono electret
5. Micrófono piezoeléctrico
6. Micrófono de cinta



# 1. Micrófono resistivo o a carbón

Se colocan pequeños gránulos de carbón en un circuito eléctrico. Al impactar la onda sonora, las vibraciones varían la resistencia del carbón, variando de este modo la corriente eléctrica.

- Son poco sensibles y de baja fidelidad, pero son muy resistentes y de bajo costo. Se utilizaban en los primeros micrófonos de teléfonos y aplicaciones similares, pero ya no son muy usados.





## 2. Micrófono dinámico

Con este nombre genérico se aprovecha la variación de flujo magnético con el movimiento o deformación de un diafragma que produce una fem proporcional a la presión.

En definitiva, un micrófono es en última instancia un sensor de muy bajas presiones dinámicas

Los podemos agrupar en dos grandes categorías:

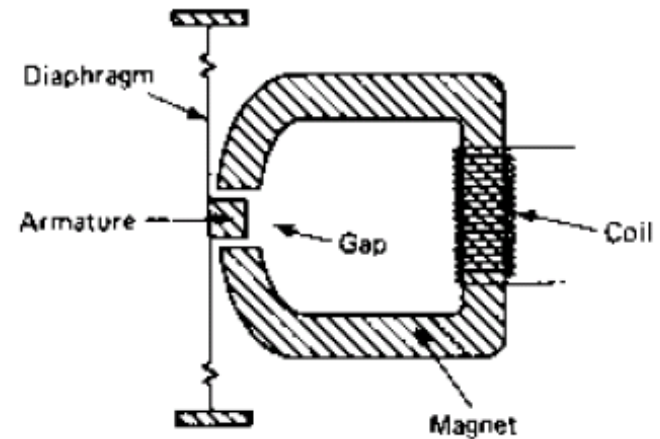
1. De imán permanente o hierro móvil
2. De bobina móvil o electrodinámicos



## 2.1 Micrófono de hierro móvil

Un imán completa su circuito magnético con una pequeña parte de la armadura adherida a un diafragma que vibra con la una onda sonora. Al variar la reluctancia del circuito magnético, se alterando el flujo magnético total en el circuito y se genera una fem de salida

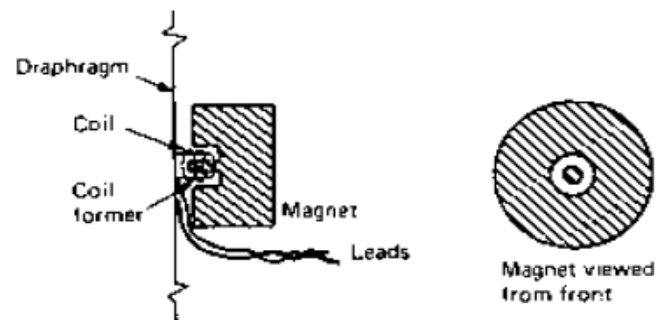
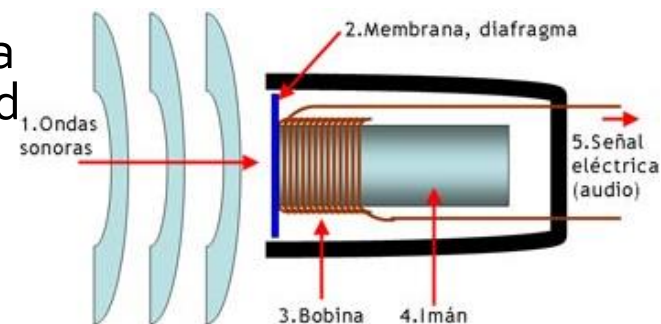
- La linealidad de la conversión es muy buena para movimientos de armadura de baja amplitud , pero es bastante pobre para grandes amplitudes de ondas sonoras.
- La linealidad puede ser mejorada con un tratamiento especial de la armadura , dándole una forma adecuada y haciéndola vibrar en una dirección específica.
- El nivel de salida de este tipo de micrófono es del orden de 50mV , un valor considerable y una impedancia de salida de unos cientos de Ohms.
- Otra característica constructiva de este tipo de sensores es su peso , siendo mucho mas pesado que cualquier otro tipo de micrófono.



## 2.2 Micrófono de bobina móvil

El ruido puede ser suprimido compensando la señal inyectando a través de una bobina fija, denominada en contratas con el ruido para eliminarlo

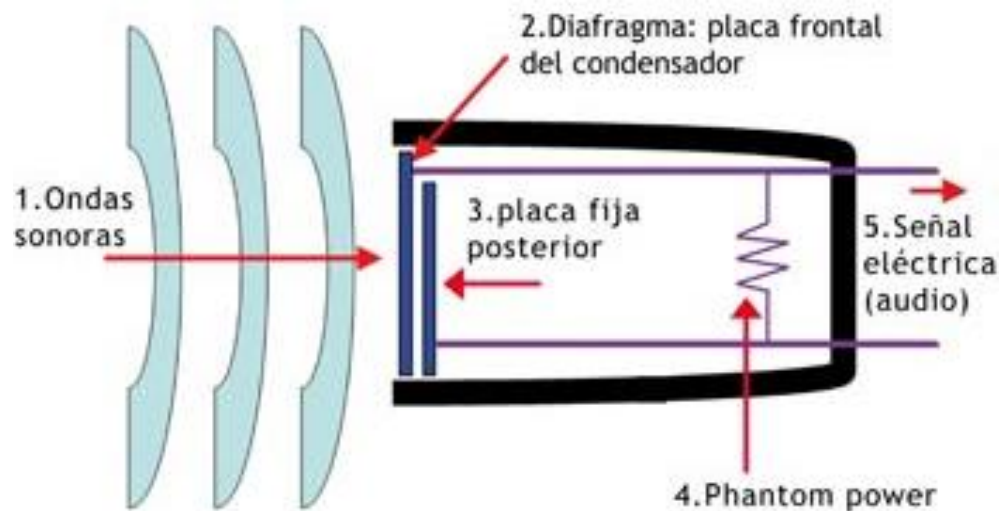
- La membrana o diafragma está adherida a una bobina colocada alrededor (fig arriba) o dentro (abajo) de un imán, ésta, al moverse impulsada por la onda sonora, generará una fem de salida
- La bobina móvil suele ser muy pequeña en este tipo de micrófonos y el movimiento también lo es, entonces se obtiene muy buena linealidad en la respuesta.
- La impedancia de la bobina es muy baja produciendo un nivel de salida bajo, entonces se debe tener especial cuidado con los niveles de ruido.



### 3. Micrófono capacitivo

- Una cantidad de carga eléctrica entre dos placas enfrentadas es constante y una de la cuales, el diafragma, es libre de vibrar cuando incide una onda sonora.
- Esta vibración altera la distancia entre placas produciendo un cambio en la capacidad, que a su vez produce una onda de tensión entre las placas.

$$q = C.V = \epsilon.S/x . V \rightarrow V = q.x/\epsilon.S \rightarrow dV/dt = (q/\epsilon.S).dx/dt$$



### 3. Micrófono capacitivo

- La impedancia de salida de este tipo de micrófonos es muy alta y la salida baja por lo que generalmente incluye un amplificador integrado (built-in).
- El micrófono a condensador debe ser alimentado con una fuente de tensión, a través de una resistencia elevada para así poder obtener la carga eléctrica constante.
- Son caros pero su respuesta en frecuencia es casi plana, lo que los hace preferidos para aplicaciones técnicas o de calidad

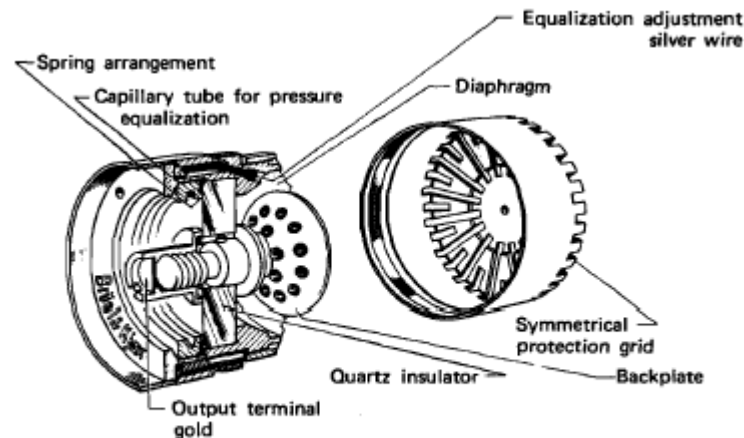


FIGURE 16-1. Cutaway and sectional view of condenser microphone. (Courtesy of Brüel & Kjær Instruments, Inc.)

## 4. Micrófono electret

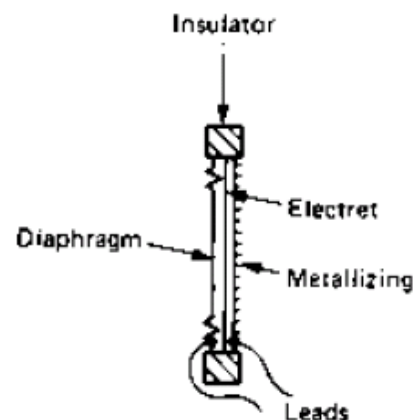
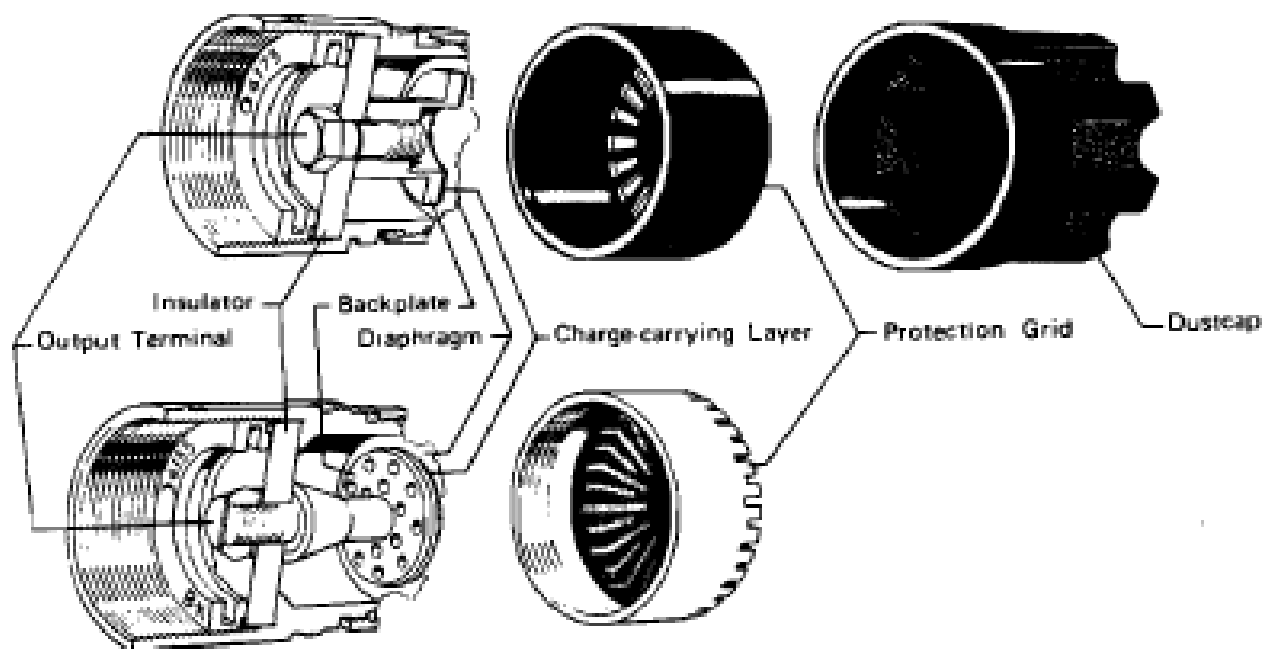
Un electret es el equivalente electrostático de un imán, un trozo de material aislado que mantiene una carga eléctrica constante sin necesidad de una fuente de alimentación.

Ciertos materiales si son sometidos a un campo eléctrico intenso cuando son calentados y este se mantiene durante el enfriamiento el desplazamiento de cargas se mantiene al remover el campo produciendo una polarización permanente sin necesidad de alimentación

Al no necesitar polarización y requerir electrónica más simple, los torna baratos, pequeños y muy populares en aplicaciones que toleren pobre calidad como la mayoría de los mini portables y los de computadora.

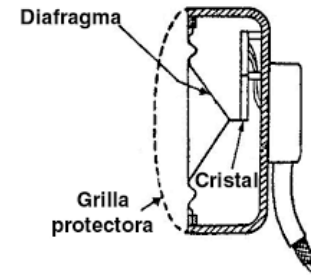


## 4. Micrófono electret



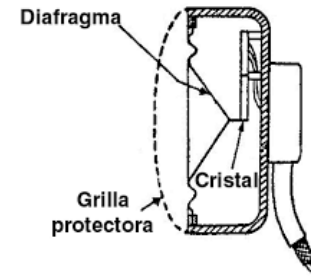
**FIGURE 16-3.** Prepolarized (electret) condenser microphones, with frequency response to 12 kHz (upper unit) and 20 kHz (lower unit). (Courtesy of Brüel & Kjær Instruments, Inc.)

## 5. Micrófono piezoeléctrico



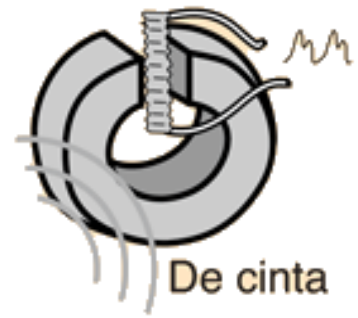
- Se basan en el efecto del mismo nombre por el cual ciertos cristales presentan una distribución heterogénea de cargas que, al deformarse, generan un nivel de salida mucho mayor que el de cualquier otro tipo de micrófono, aunque con una alta impedancia (del orden de  $M\Omega$ ).
- Este tipo de micrófono puede ser utilizado no solo en aire sino en cualquier tipo de material no conductor. Puede ser inmerso en algún líquido (hidrófonos) o simplemente estar adherido a algún sólido donde se quiere sensar la presencia de algún sonido o vibración.

## 5. Micrófono piezoeléctrico



- Puede ser utilizado en el rango del ultrasonido hasta señales de unos cuantos MHz de frecuencia.
- La linealidad en la respuesta de este tipo de micrófonos es variable con el tipo de material a utilizar.
- Un material muy utilizado es la sal de Rochelle , con un nivel de salida alto de hasta 100mV, pero con la desventaja que se desactiva si es sometido a moderadamente altas temperaturas o humedad.
- En la actualidad los materiales que se utilizan son mayormente sintéticos que cristales naturales

## 6. Micrófono a cinta



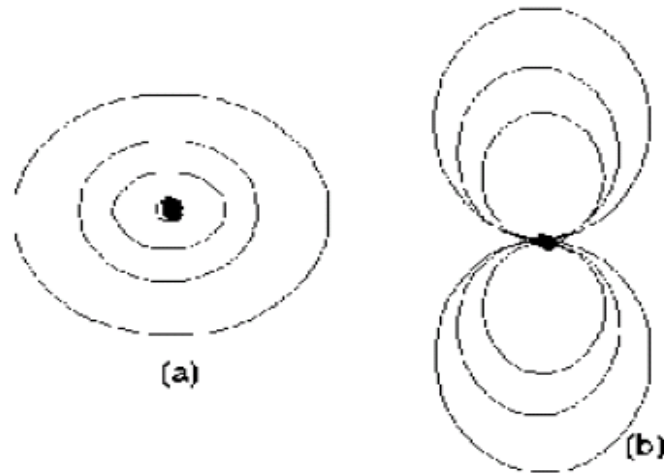
Es un tipo de micrófono dinámico que usa una cinta conductora colocada entre los polos de un imán. Las vibraciones que producen las ondas sonoras hacen que la lámina vibre y, al estar en un campo magnético, se genera una señal eléctrica.

- Los micrófonos de cinta son habitualmente bidireccionales, capturan el sonido procedente de delante y detrás del micrófono, pero no de los lados. Son delicados y caros, pero de muy alta calidad.



# Especificaciones de sensores: direccionalidad

Si el principio de operación de un micrófono es el de sensor presión de una onda sonora, entonces se dice que el micrófono es *omni-direccional*, tomando sonido en cualquier dirección. Si el micrófono responde frente a la velocidad de la onda sonora, se dice que el micrófono es *direccional*.

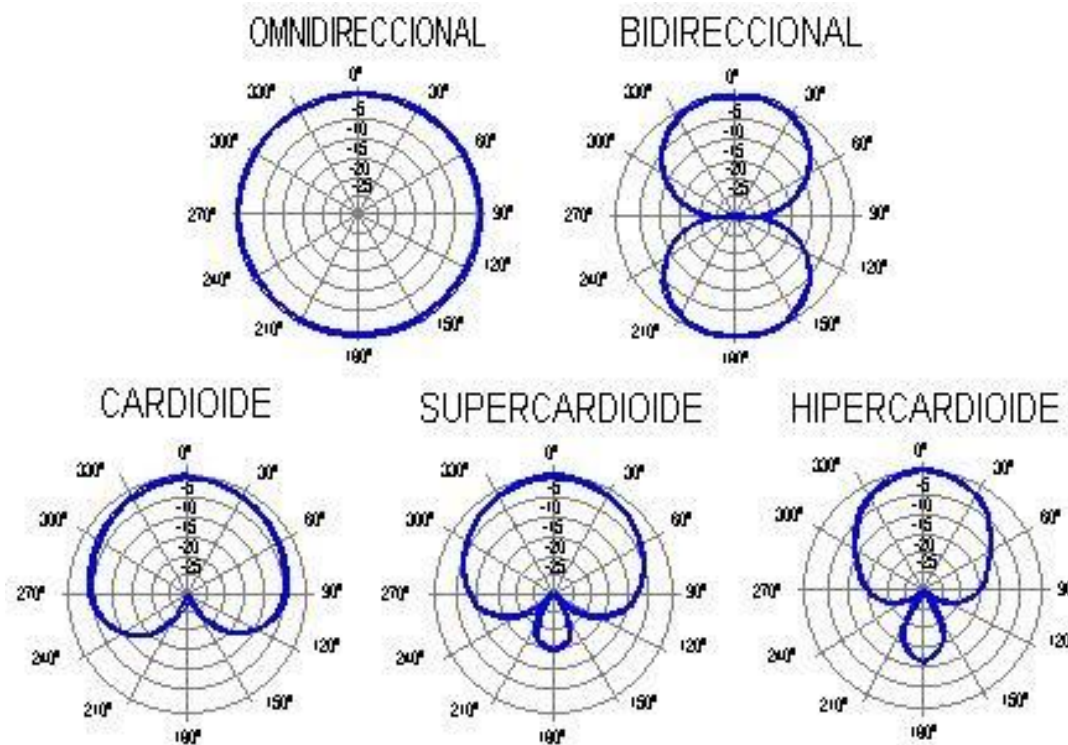


En la figura se ven dos clases de micrófonos:  
**a)** omnidireccional y **b)** direccional (velocidad)



# Diagramas polares de directividad

Todos los micrófonos exhiben algún grado de direccionalidad que se describe en las especificaciones con su diagrama polar





# Especificaciones de micrófonos: sensibilidad [mV/Pa]

Cartridge Type No.	Di-am-eter	Sensitivity (mV/Pa)	Pol. Voltage (V)	Frequency Range (±2 dB)	Frequency Response Characteristic	Associated Preamplifier No.	Dynamic Range* (dB)	Application Areas
4138	1/8"	1	200	6.5 Hz – 140 kHz –	Pressure and Random	2633 + UA 0160 2639/45/60 + UA 0036	2633: 56 – 168 2639: 55 – 168	Very high frequency, high level and pulse measurements
4135	1/4"	4		4 Hz – 100 kHz –	Free Field and Random	2633 or 2639/45/60 + UA 0035	2633: 39 – 164 2639: 36 – 164	High level, high frequency measurements and model work
4136		1.6		4 Hz – 70 kHz	Pressure		2633: 47 – 172 2639: 43 – 172	High level, high frequency and coupler measurements
4129	1/2"	50	0**	6.5 Hz – 8 kHz –	Free Field and Random	2639/45/60	2639: 15 – 142	General SPL measurements – IEC/ANSI – Type 2
4130		10	28			2642 or 2639/45/60	2642: 26 – 142 2639: 22 – 142	
4133,4149		12.5	200	4 Hz – 40 kHz	Free Field	2639 2645 2660	2639: 22 – 160	4133: Electroacoustic measurements 4149: (Semi) permanent outdoor installations. 4134: Lab. & coupler measurements
4134				4 Hz – 20 kHz –	Pressure and Random		2639: 21 – 160	
4147		1.6	28	6.5 mHz■ – 18 kHz –	Pressure and Random	2639	2639: 38 – 160	Low frequency and sonic boom measurements
4155		50	0**	4 Hz – 16 kHz	Free Field	2639 2645 2660	2639: 15 – 146	SPL measurements IEC–Type 1
4165			200	2.6 Hz – 20 kHz	Free Field		2639: 15 – 146	
4166				2.6 Hz – 10 kHz –	Pressure and Random		2639: 15 – 146	SPL measurements ANSI–Type 1
4176			0**	6.5 Hz – 12.5 kHz –	Free Field and Random		2639: 14 – 142	SPL measurements IEC/ANSI–Type 1
4180		12.5	200	4 Hz – 20 kHz	Pressure	2645	2645: 21 – 160	Lab. std., precision calibration
4194		0.45		2 Hz – 3 kHz	Pressure	2639/45/60	60 – 188	Very high level, corrosive atmospheres
4144	1"	50	200	2.6 Hz – 8 kHz	Pressure	2639/45/60	2645: 10 – 146	Lab. std., low level measurements
4145				2.6 Hz – 18 kHz	Free Field		2645: 11 – 146	General lab. use, low level measurements
4160		47		4 Hz – 8 kHz***	Pressure	2645 + UA 0786	2645: 10 – 146	Lab. standard, precision calibration
4179		100		10 Hz – 10 kHz	Free Field (compensated)	2660	2660: –2.5 – 102	System for very low SPL measurements (–2.5 dB(A))

\* From A-weighted noise floor to 3% distortion (dB re 20 µPa)

■ 0.4 Hz with Type 2639

\*\* Prepolarized microphone requiring 0V external polarization voltage

\*\*\* ±1 dB



# GUÍA DE SELECCIÓN





## Guía de selección de micrófonos:

<https://www.bksv.com/es/knowledge/blog/sound/microphone-selection-guide>





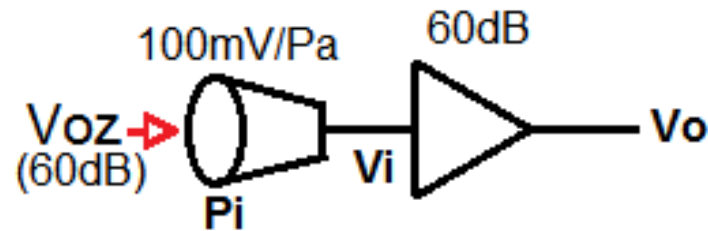
# EJEMPLOS DE CALCULO

## ■ Ejemplo de cálculo

Diseñar un amplificador de voz humana teniendo en cuenta:

- Conversación: 60 dB
- Sensibilidad: 100 mV/Pa
- Presión de referencia: 20  $\mu$ Pa

## Ejemplo de cálculo



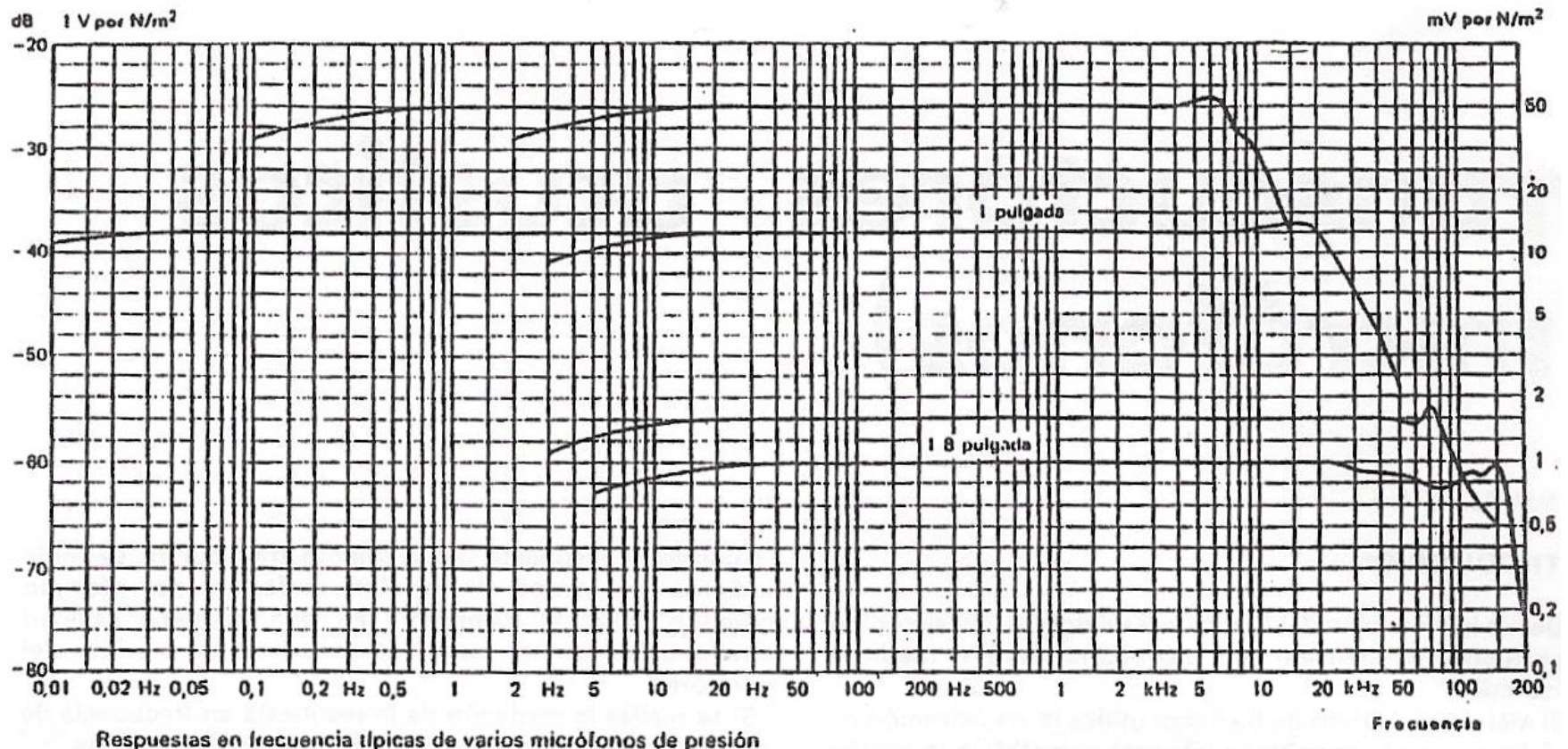
$$L_P(\text{dB}) = 20 \log \left( \frac{P}{P_{\text{ref}}} \right) \rightarrow P = P_{\text{ref}} \cdot 10^{\frac{L_P}{20}} = 20\mu\text{Pa} \cdot 10^{\frac{60\text{dB}}{20}} = 0,02 \text{ Pa}$$

$$V_i = S.P = 100 \frac{\text{mV}}{\text{Pa}} 0,02 \text{ Pa} = 2\text{mV}$$

$$L_V = 20\log(V_o/V_i) \rightarrow V_o = V_i \cdot 10^{\frac{L_V}{20}} = 2 \text{ mV} \cdot 10^{\frac{60\text{dB}}{20}} = 2\text{V}$$

# Respuesta en frecuencia de micrófonos

Se puede apreciar que tanto el ancho de banda como la sensibilidad cambian con el diámetro (tamaño) del micrófono. Ello es coherente con el “famoso”  $\lambda/4$  de las “antenas”, nuestras orejas incluido...

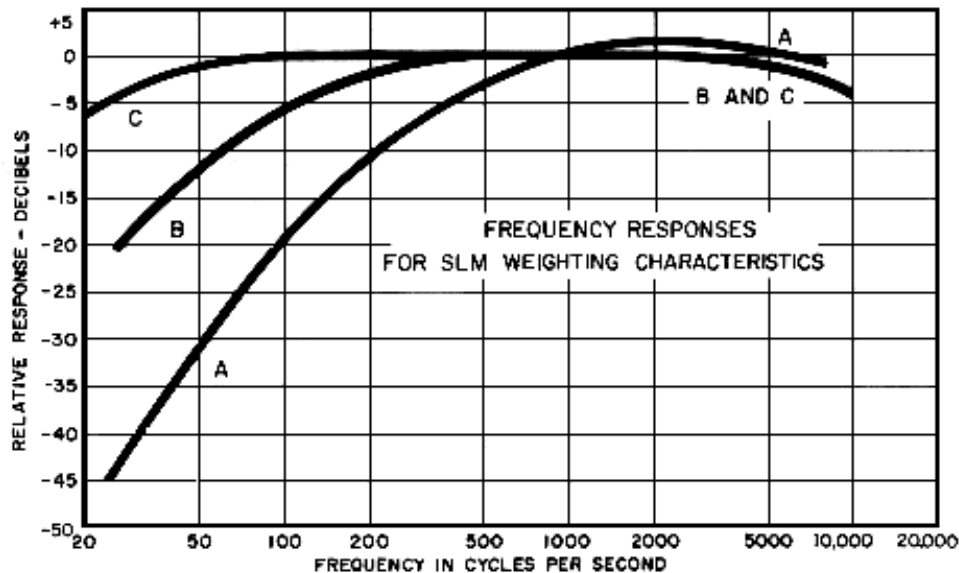


# Medición "legal" de sonido

El nivel de sonido es una medida ponderada por SPL

La red de ponderación permite opciones planas o A, B, C como se muestra en la figura de abajo a la derecha.

La red A es la más utilizada, ya que se asemeja a la respuesta del oído humano y se usa comúnmente para evaluar el ruido y se denomina dBA.



Sonómetro



# Audiometría

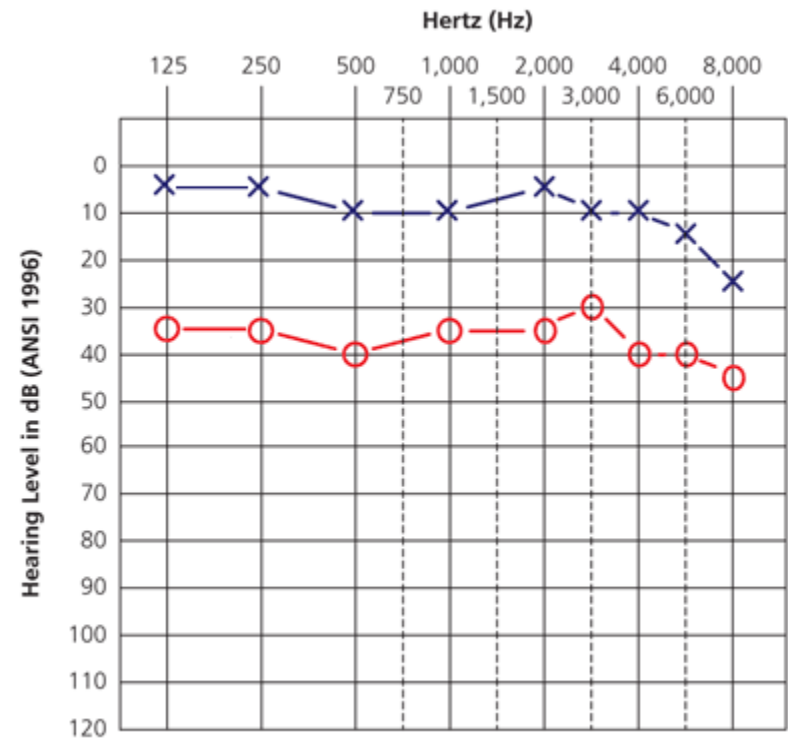
La **audiometría** se refiere a la medición de la capacidad de cada oído de percibir las vibraciones de diversas bandas del espectro audible. Hay varias clases de estudio con esa denominación, la audiometría tonal es la mas parecida a lo que llamamos respuesta en frecuencia

Los audiogramas se establecen con frecuencia en hercios (Hz) en el eje horizontal, más comúnmente en una escala logarítmica, y una escala lineal dBHL en el eje vertical.

Para los humanos, la audición normal está entre -10 dB (HL) y 15 dB (HL), aunque 0 dB de 250 Hz a 8 kHz se considera una audición normal 'promedio'.



# Audiometría







# APLICACIONES



## **Análisis de segmento de producto**

- Telecomunicaciones
- Defensa
- Sector médico
- Sector industrial
- Informática
- Electrónica de consumo
- Automotor
- Inalámbrica
- Otros





## **Mercado de sensores de sonido**

- Hidrófono
  - Direccional
  - Omnidireccional
- Micrófono
  - Micrófonos de condensador
  - Micrófonos piezoeléctricos
  - Micrófonos dinámicos / magnéticos
  - Micrófonos Electret



# ■ Principales aplicaciones

- Productos electrónicos de consumo como teléfonos, computadoras, sistemas de música.
- Sistemas de vigilancia y seguridad como alarmas antirrobo, alarma de puerta, etc.
- Automatización del hogar, como iluminar su casa al detectar silbidos / aplausos en lugar de accionar físicamente el interruptor de la luz
- Reconocimiento de sonido ambiental y reconocimiento de nivel de sonido

A vertical bar on the left side of the page, composed of several colored segments: a thin black line at the top, followed by a thin white line, a thin grey line, a thin olive green line, and a thick dark red line at the bottom.

**FABRICANTES**



## Principales fabricantes:

1. [Brüel & Kjaer GmbH](#)
  2. [CTS Corporation](#)
  3. [Maxbotix, Inc.](#)
  4. [ST Microelectronics, Inc.](#)
  5. [Teledyne Technologies Incorporated](#)
  6. [Toposens](#)
  7. [Robert Bosch](#)
- 



# BIBLIOGRAFÍA



# Bibliografía

- The physics of sound
- Conceptos fundamentales de sonido - SINTEC
- Cap 16 – Handbook of transducers, Norton
- Microphone handbook (Brüel & Kjær)
- Measuring sound booklet (Brüel & Kjær)
- Sound intensity booklet (Brüel & Kjær)

