

T3. Micrófonos

Características de los micrófonos

Sensibilidad

La sensibilidad de un micrófono es la **relación entre la tensión eléctrica generada y la presión acústica incidente** (en circuito abierto, campo libre, a 1 kHz).

S = (Ec.a. / p) [V Pa^-1]

= 20 log ( (|S| / (1 V Pa^-1)) ) [dB re. 1 V Pa^-1]

La sensibilidad de referencia es la sensibilidad medida en el eje del micrófono.

S0 = S (θ = 0°)

Respuesta en frecuencia

La respuesta en frecuencia de un micrófono es la **variación de la sensibilidad con la frecuencia** [S = S(f)]. Se suele representar la respuesta relativa con respecto a la sensibilidad de referencia en decibelios.

S(f) - S0 = 20 log ( (|S(f)| / |S0|) ) dB

La presencia del micrófono afecta a su respuesta. La respuesta del diafragma en alta frecuencia aumenta la presión frente a la cápsula.

Distorsión lineal

- **Coloraciones.** La respuesta en frecuencia no es plana.
- **Vibraciones parciales del diafragma.** Debidas a modos propios. Los micros de condensador no tienen este problema.
- **Resonancias mecánicas o acústicas.** Sobre todo en micros dinámicos.
- **Ancho de banda limitado por componentes eléctricos.**
- **Distorsión de fase.**

Distorsión no lineal

- **Saturación.** Sobrecarga de presión. Si saturan fácilmente se llaman *micros blandos*. Si no, *duros*.
- **Pop.** Chorros de aire (no sonido). Suele ser por fonemas “explosivos”.

Directividad

Generalmente, su supone simetría cilíndrica de los micrófonos, por lo que la directividad no depende del plano azimutal φ.

- D(θ, φ) ≡ Directividad
- Q(θ, φ) ≡ Factor de directividad
- Qax ≡ Factor de directividad axial (en el eje)
- DI ≡ Índice de directividad
- DIax ≡ Índice de directividad axial (en el eje)
- REE ≡ Eficiencia de energía aleatoria
- DSF ≡ Factor de distancia
- Ed ≡ Tensión directa
- Er ≡ Tensión reverberante
- Ero ≡ Tensión reverberante del equivalente omnidireccional

Si especifican que se ha medido en cámara anecoica, entonces se refiere a que Ec.a. es también el valor de Ed.

pd(r) = (p(1 m) / r)      Ed = pd(r)S

Er = (pr.S0 / sqrt(Qax))      <Ed^2(θ, φ)> = Er^2      Ero = pr.S

La distancia crítica rc es la distancia a partir de la cual la presión reverberante es igual a la directa. En ella la tensión total y presión total serán:

Et = sqrt(Er^2 + Ed^2)      p0 = pr = pd = (pt / sqrt(2))

Et(θ) = p0.S0.sqrt(D^2(θ) + REE)

Recordamos que es suma no coherente por ser campo difuso.

D(θ) = (S(θ) / S0)      Q(θ, φ) = Qax.D^2(θ, φ)

Q(θ, φ) = (S^2(θ, φ) / <S^2(θ, φ)>) = (S^2(θ, φ) / (1/4π ∫\_φ=0^2π ∫\_θ=0^π S^2(θ, φ) sen(θ)dθdφ))

Qax = Q(θ = 0°) = (2 / ∫\_θ=0^π D^2(θ) sen(θ)dθ) ≈ (2 / (π/N ∑\_{i=1}^N D^2(θi) sen(θi)))

Qax = (Er^2 / Er^2) | campo difuso      DI = 10 log [Q(θ, φ)]      DIax = 10 log (Qax)

REE = (1 / Qax)      DSF = sqrt(Qax)

**Nota 1:** En la fórmula de Qax para N valores, si nos dicen que supongamos simetría de revolución se usan los valores entre θ = 0° y θ = 180°, sin incluir este último. Si da tiempo (y en entornos reales), se calculan tanto en el intervalo [0, 180) como en [180, 360) y se hace la media entre ambos Qax obtenidos.

**Nota 2:** Si nos piden sacar la directividad sabiendo que es de familia cardioide y no dicen nada más, debemos suponer orden n = 1.

Directividad de la familia cardioide

A es el componente omnidireccional, B el componente bidireccional y n el orden de la directividad.

{ D(θ) = [A + B cos(θ)] cos^{n-1}(θ)

  A + B = 1

A	B	Tipo
0.50	0.50	Cardioide
0.75	0.25	Subcardioide
0.25	0.75	Hipercardioide

Si n = 1, el valor de Qax viene dado por la resolución de la integral de su definición, el resultado es este:

Qax = 3 / (4B^2 - 6B + 3)

Ruido eléctrico

- **Ruido eléctrico.** Tensión de salida del micrófono cuando no recibe excitación acústica. Causado por:
  - Agitación térmica de moléculas de aire o del diafragma.
  - Agitación térmica electrónica, debi principalmente a resistencias altas.

EN = sqrt(4kTRΔf) [V]

Donde k es la constante de Boltzmann, T la temperatura, R la resistencia y Δf el ancho de banda. Se suele expresar en dBspl y se denomina “nivel de presión sonora equivalente al ruido”:

ENL = 20 log ( (pN / preff) ) = 20 log ( (EN / (preff.S0) )

Donde preff = 20 μPa. Para usar esta expresión, mencionar que se debería filtrar EN con un filtro de ponderación A.

- **Ruido por zumbido electromagnético (hum).**
- **Ruido por viento.**

Márgenes dinámicos

Margen dinámico      DR = SPLmáx - ENL

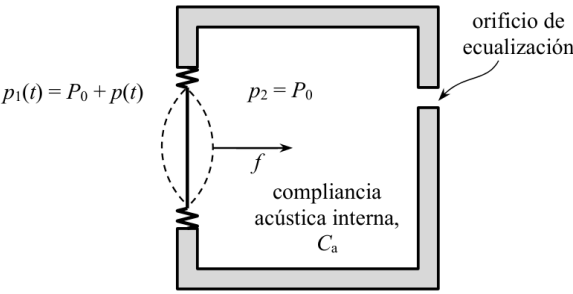
Margen de sobrecarga      HR = SPLmáx - 94 (viene de preff)

Relación señal a ruido      SNR = DR - HR = 94 - ENL

Tipos de micrófonos

TAM: Micrófonos de presión

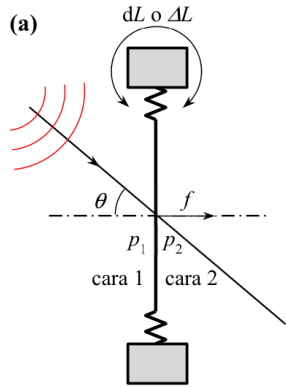
La cápsula está compuesta por un diafragma y un pequeño orificio de equalización, que sirve para regular la presión interna. La vibración del diafragma es proporcional a la presión acústica externa ejercida sobre el diafragma.



Presentan un comportamiento omnidireccional, excepto a alta frecuencia debido a difracción cuando λ ≫ D, siendo D la mayor dimensión del micrófono. Para θ = ±90°, la directividad disminuye ligeramente por falta de uniformidad. Para θ = 180°, la directividad disminuye ligeramente por la sombra que genera la cápsula.

TAM: Micrófonos de gradiente de presión

La presión en la cara interna del diafragma es aproximadamente igual que en la cara externa. La diferencia de caminos acústicos entre ambas caras es la que hace que no sean iguales. Por lo tanto existe un incremento muy pequeño de presión entre ambas caras, es decir, un diferencial. De ahí viene el término gradiente de presión.

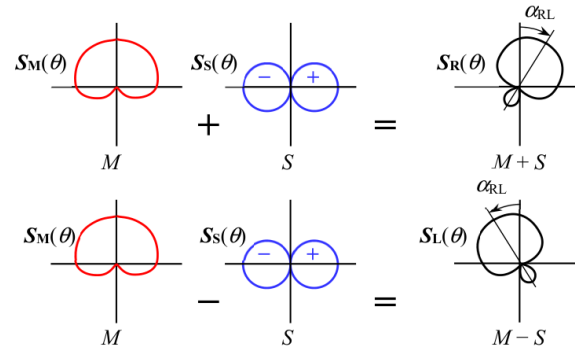


$$\begin{cases} kdL \ll 1 \rightarrow D(\theta) = \frac{K + \cos(\theta)}{K + 1} \\ kdL \gg 1 \rightarrow |D(\theta)| = \left| \sin\left(\frac{k\Delta L [\cos(\theta) + K]}{2}\right) \right| \end{cases}$$

$$\begin{cases} K = 1 \rightarrow \text{cardioid} \\ K = \frac{1}{3} \rightarrow \text{hipercardioid} \\ K = 0 \rightarrow \text{bidireccional} \\ K > 1 \rightarrow \text{subcardioid} \end{cases} \quad A = \frac{K}{K + 1} \quad B = \frac{1}{K + 1}$$

$$F = 2jpe^{-\frac{jk\Delta L \cos(\theta)}{2}} \sin\left(\frac{k\Delta L \cos(\theta)}{2}\right) S_d$$

**TME: Micrófonos de bobina móvil**  
**TME: Micrófonos de cinta**  
**TME: Micrófonos electrostáticos de condensador**  
**TME: Micrófonos electrostáticos de electret (o prepolarizados)**  
**TME: Micrófonos MEMS**  
**Especiales: Micrófonos de doble diafragma**  
**Especiales: Micrófonos superdirectivos**  
**Especiales: Micrófonos lavalier**  
**Especiales: Micrófonos de superficie o de zona de presión**  
**Especiales: Micrófonos inalámbricos**  
**Técnica M/S**



Un micro cardiode y otro bidireccional. El ángulo  $\alpha$  (que en las figuras aparece como  $\alpha_{RL}$ ) representa el ángulo del cardiode producido con respecto al eje del conjunto de micrófonos.

$$S_R(\theta) = S_M(\theta) + S_S(\theta)$$

$$S_L(\theta) = S_M(\theta) - S_S(\theta)$$

$$S_0 = S_{M0} \left( A_M + \frac{B_M}{\cos(\alpha)} \right)$$

$$\tan(\alpha) = \frac{S_{S0}}{B_M S_{M0}}$$

$$B = \frac{B_M}{A_M \cos(\alpha) + B_M}$$

$$S_{M0} = 2S_0 [A_M + B_M \cos(\alpha)]$$

$$S_{S0} = 2S_0 B \sin(\alpha)$$

$$S_M(\theta) = S_R(\theta) + S_L(\theta) = S_{M0} [A + B \cos(\theta)]$$

$$S_S(\theta) = S_R(\theta) - S_L(\theta) = S_{S0} \sin(\theta)$$

## Técnica XY

Micros coincidentes, con ángulo de separación  $\alpha$ .

$$S_R(\theta) = S(\theta - \alpha)$$

$$S_L(\theta) = S(\theta + \alpha)$$

$$S_M(\theta) = S_R(\theta) + S_L(\theta)$$

$$S_S(\theta) = S_R(\theta) - S_L(\theta)$$

## Conexión eléctrica de los micrófonos

### Impedancias características

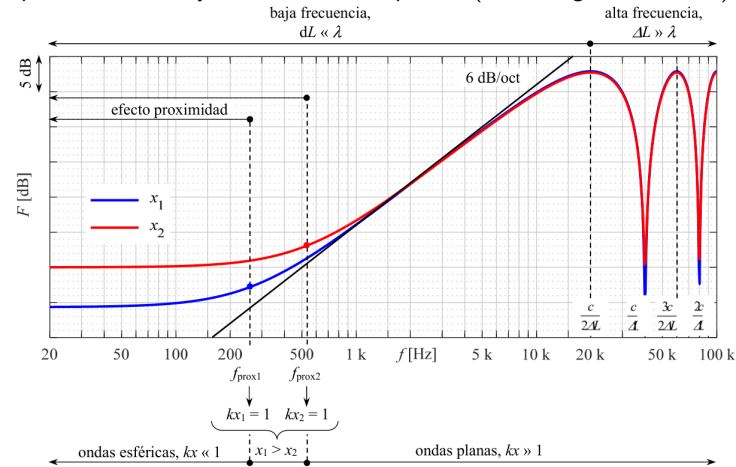
Efecto del cable en la banda de frecuencias transmitida

Línea microfónica balanceada

Alimentación de micrófonos electrostáticos

Adaptadores, conversores y distribuidores microfónicos

El **efecto proximidad** sucede cuando  $kx \ll 1$  e implica que para bajas frecuencias (o micro muy cerca de la fuente) las ondas presentan divergencia esférica. Es decir, acercarse al micro incrementará la tensión generada. Esto no sucede para agudos porque  $kx \gg 1$  y las ondas son planas (sin divergencia esférica).



$$\begin{cases} \lambda \gg \Delta L \rightarrow D(\theta) = \cos(\theta) \\ \lambda \ll \Delta L \rightarrow |D(\theta)| = \left| \sin\left(\frac{k\Delta L \cos(\theta)}{2}\right) \right| \end{cases}$$

Como el efecto proximidad sucede si  $kx \ll 1$ , entonces  $f_{prox} = \frac{c}{2\pi x}$ . Teniendo que  $F$  es la fuerza ejercida sobre el diafragma, entonces:

$$F = 2jpe^{-\frac{jk\Delta L \cos(\theta)}{2}} \sin\left(\frac{k\Delta L \cos(\theta)}{2}\right) S_d$$

$$G_{prox} = \frac{F}{F_{ondas planas}} = \frac{1 + jkx}{jkx}$$

## TAM: Micrófonos combinados de presión/gradiente de presión

Son como los micrófonos de presión cambiando el orificio de equalización por una abertura de mayor tamaño, conformando un sistema acústico. El principio de funcionamiento es el mismo que los micrófonos de gradiente de presión.

$$(kdL \ll 1) \equiv (dL \ll \lambda)$$

## T4. Sistemas de Refuerzo Sonoro

---

### Niveles acústicos

Niveles de presión directo y reverberante

Constante acústica de la sala

Modificadores acústicos

Distancia crítica

Campo semirreverberante

Niveles debidos a varias fuentes

Potencia acústica

### Respuesta temporal

Molestia por ecos

Efecto precedencia

Respuesta temporal mediante simulación

Auralización

### Inteligibilidad

Índice de inteligibilidad del habla

Pérdida de articulación de consonantes

Índice de transmisión del habla

### Configuraciones de altavoces

Sistema centralizado con un altavoz o un cluster

Clusters y arrays de altavoces

Sistema distribuidos de altavoces

### Realimentación acústica

Modelo

Realimentación por un solo camino y en campo libre

Realimentación cuando existe reverberación

Condición de oscilación según los niveles acústicos en los micrófonos

Respuesta temporal de la realimentación

Control de la realimentación acústica

### Ganancia acústica

Distancia acústica equivalente

Ganancia acústica necesaria y ganancia acústica potencial

Uso de la ganancia acústica para el diseño de un sistema de refuerzo sonoro

### Amplificación

Amplificación de baja impedancia

Amplificación de alta impedancia, líneas de tensión constante

Conexión de amplificadores

Clases de amplificación

Fuentes de alimentación