

MICRÓFONOS

BONGIOVANNI, PABLO¹; CASCINO, MARCELO¹ Y SANZO, MARCO¹

¹Estudiante de Ingeniería Electrónica Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Córdoba (UTN. FRC).
Maestro López esq. Cruz Roja Argentina, CP X5016ZAA, Córdoba, Argentina.
pabloabongiovanni@gmail.com; marcelosaul@hotmail.com; sansomarco@gmail.com

Resumen – Los micrófonos pueden definirse, en el sentido más amplio, como sensores ó receptores de sonido. Es decir, dispositivos electroacústicos que convierten las vibraciones acústicas en señales eléctricas. En la actualidad existe una gran variedad de micrófonos desarrollados específicamente para diferentes aplicaciones. El objetivo de este trabajo es analizar los diferentes tipos de micrófonos, su principio de funcionamiento, sus características constructivas, las principales ventajas y desventajas y los parámetros generales especificados por los fabricantes.

1. INTRODUCCIÓN

Los micrófonos, en el sentido más amplio, son receptores de sonido, es decir, dispositivos electroacústicos que convierten las vibraciones acústicas o mecánicas en señales eléctricas [3]. Generalmente los micrófonos tienen un diafragma o superficie móvil sometida a una onda acústica. La salida correspondiente es una señal eléctrica.

Los micrófonos pueden dividirse en tres clases, de acuerdo con sus aplicaciones [2] y [5]:

➤ *Micrófonos de comunicación:* Se trata de micrófonos para una amplia gama de aplicaciones, tales como teléfonos, teléfonos móviles, dictáfonos, radiotelefonos portátiles, aparatos auditivos, etc. Los factores principales para estas aplicaciones son el costo, tamaño y robustez.

➤ *Micrófono para estudios:* Se utilizan para convertir la música y el habla en señales eléctricas para su posterior transmisión y reproducción, por ejemplo: actuaciones en el escenario, la televisión, etc. Algunos de los principales factores para esta clase de micrófonos son el rendimiento, fiabilidad y el diseño.

➤ *Micrófonos de medición:* Sirven como instrumentos de medición, convirtiendo señales acústicas en corrientes eléctricas que pueden medirse por medio de instrumentos indicadores. Usados en las mediciones de laboratorio, medidas ambientales. Los factores principales son la precisión, estabilidad a largo plazo, y calibración.

Las diferencias que estriban entre los diferentes tipos de micrófonos se basan principalmente en la sensibilidad que son capaces de proporcionar, que están directamente ligadas a la capacidad del micrófono de capturar las oscilaciones mecánicas que provienen de la membrana, y transformar

proporcionalmente con éxito dichas oscilaciones en energía eléctrica, intentando conservar la dinámica original de la fuente que deseamos capturar.

2. PARÁMETROS Y ESPECIFICACIONES

2.1. Sensibilidad

Como se mencionó con anterioridad, un micrófono es un transductor capaz de convertir una señal sonora en una señal eléctrica. Con mayor precisión, convierte presión sonora en tensión.

De manera que micrófono, debe tener una tensión de salida con amplitud v que es proporcional a la excitación de presión cuya amplitud es p . Normalmente se llama sensibilidad S a la relación de voltaje de salida con respecto a la presión de entrada [5].

La sensibilidad de un micrófono puede definirse como el cociente entre la tensión producida y la presión que le da origen, es decir [9]:

$$S = v / p \quad (1)$$

La sensibilidad del micrófono depende del diseño del mismo y se mide en V/Pa . Otra manera de expresar la sensibilidad es en dB referidos a $1 V/Pa$. Este caso es llamado sensibilidad de referencia, S_{ref} a $1 V/Pa$:

$$S_{dB} = 20 \log_{10} \frac{S}{S_{ref}} \quad (2)$$

La tensión de los micrófonos es, normalmente, muy pequeña (salvo para niveles de presión sonora muy altos), lo cual implica que está muy expuesta a los ruidos eléctricos. Por esta razón es preciso utilizar cables y conexiones de excelente calidad, como así también, preamplificadores de bajo ruido. En el caso de micrófonos de mediciones sometidos a muy baja amplitudes de presión acústica, si el ruido eléctrico es

muy elevado podrá superar la señal de tensión generada por el micrófono. Cuando la presión de sonido sea de muy altas amplitudes, el desplazamiento del diafragma puede ser tan grande que el voltaje generado ya no es proporcional al desplazamiento. Rompiendo de esta manera la linealidad entre v y p , pudiendo producir daños físicos al micrófono [5].

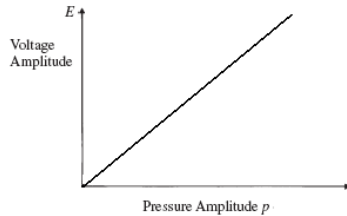


Figura 1: Sensibilidad de un micrófono ideal [5].

La sensibilidad de cualquier micrófono se mide a una frecuencia de 1000 Hz. Los micrófonos de condensador son los más sensibles, después los dinámicos y por último los de cinta. No es aconsejable el uso de los micrófonos cuya sensibilidad sea inferior a 1 mV/Pa [10].

2.2. Rango dinámico

Si a la Figura 1 se la representa en una escala logarítmica, se obtiene la Figura 2. La tensión de referencia, normalmente de 1V, mientras que la presión de sonido de referencia es generalmente de 20μPa. Un micrófono tiene un rango de operación útil, definido por límites de amplitud superior e inferior, indicado como ΔR . Cuando la respuesta del micrófono R es constante se la conoce como rango dinámico [5].

$$R = 20 \log_{10} \frac{V/V_{ref}}{p/p_{ref}} \quad (3)$$

La Figura 2 muestra que el rango dinámico es de unos 100 dB. La mayoría de micrófonos de buena calidad tienen un rango dinámico de aproximadamente 100 a 120 dB. Cuando el diámetro del diafragma del micrófono aumenta, la sensibilidad del transductor es normalmente mayor, por lo que el ruido eléctrico es menor, y el límite inferior de la señal disminuye. Sin embargo, un diámetro del diafragma más grande por lo general da lugar a una desviación mayor de presión sonora y una reducción del límite superior del nivel sonoro de presión.

Los micrófonos de pequeño diámetro no son muy sensibles, pero se puede utilizar para presiones de sonido de gran amplitud sin distorsiones. Sin embargo, su nivel de ruido electrónico es bastante alto. Los micrófonos de gran diámetro son normalmente más sensibles y se pueden utilizar para un nivel de ruido más bajo que los micrófonos de pequeño diámetro. Su nivel de ruido es menor, pero a mayor diámetro se tienen más problemas de difracción en bajas frecuencias, que los micrófonos de pequeño diámetro.

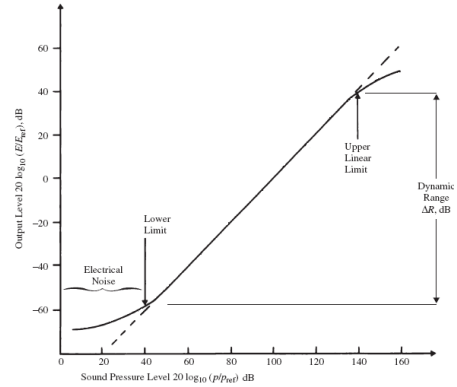


Figura 2: Sensibilidad de un micrófono ideal que muestra los límites superior e inferior [5].

Debido a los problemas de rango dinámico, los micrófonos de pequeño diámetro no puede ser usados para muy bajos sonidos y los micrófonos de gran diámetro no puede ser utilizado para ruido intenso [5].

2.3. Respuesta en frecuencia

La respuesta en frecuencia indica la sensibilidad en función de la frecuencia. La Figura 3(a) muestra la respuesta en frecuencia de un micrófono ideal para utilizarse en mediciones de ruido. En la práctica los micrófonos sólo se acercan la respuesta de frecuencia ideal, vale decir que no es constante con la frecuencia. Los picos de resonancia del diafragma del micrófono se observan generalmente en el rango de alta frecuencia. Estos picos son normalmente suprimidos por la adición de amortiguadores o algún otro medio en el diseño de transductores [5].

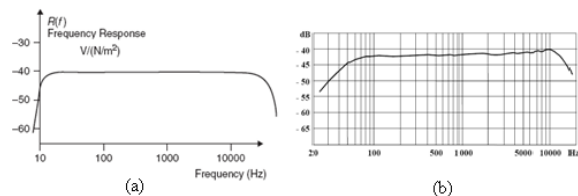


Figura 3: Respuesta en frecuencia: (a) Micrófono ideal [5]; (b) Micrófono real típico [9].

En la Figura 3 (b) se muestra que ante dos sonidos de diferente frecuencia, por ejemplo de 30 Hz y 10 kHz, pero idéntica amplitud, el micrófono generará tensiones diferentes. En este caso, la sensibilidad para 30 Hz es de -50 dB mientras que para 10 kHz es de -40 dB, lo cual hace una diferencia de 10 dB [9].

2.4. Direccionalidad

Debido a la construcción y a los principios de la acústica, la sensibilidad de un micrófono varía según el ángulo respecto de su eje desde donde viene el sonido, como se muestra en la Figura 4.

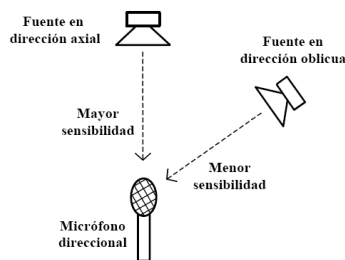


Figura 4: Efecto sobre la sensibilidad de un micrófono direccional [9].

La directividad señala la variación de la respuesta del micrófono dependiendo de la dirección de donde provenga la fuente sonora. Es decir, muestra como varía la sensibilidad respecto a la dirección de procedencia del sonido [10].

Las características direccionales de un micrófono se pueden mostrar mediante diagramas polares, los cuales indican como varía la sensibilidad del micrófono con el ángulo entre la fuente sonora y el eje principal, es decir aquella dirección de máxima sensibilidad [9].

El patrón direccional (forma del diagrama polar) de un micrófono varía con la frecuencia, debido a que para altas frecuencias, la longitud de onda es pequeña, comparada con el tamaño del propio micrófono.

2.4.1. Clasificación

Los micrófonos se clasifican por su patrón de captación o discriminación, dependiendo de las diversas direcciones de donde proviene la fuente de sonido:

2.4.1.1. Unidireccional

Estos micrófonos solo recogen sonidos frontales. Su sensibilidad para sonidos de procedencia frontal es máxima, disminuyendo según varía el ángulo de incidencia en el diafragma, he incluso llegando a ser nula para los sonidos recibidos por su parte posterior. Se construyen combinando la presión y el gradiente de presión [10].

Debido a su característica direccional, estos micrófonos tienen la particularidad de que cuando la fuente se aproxima mucho al micrófono (3 o 4 cm), la respuesta en frecuencia cambia, aumentando la sensibilidad en bajas frecuencias. Esto se denomina efecto de proximidad.

Una de las principales aplicaciones, es la de tomar el sonido de una fuente determinada cuya posición es bastante estable, por ejemplo un instrumento musical, rechazando los posibles sonidos provenientes de otras fuentes. Así, la captación del ruido ambiente se reducirá considerablemente [9].

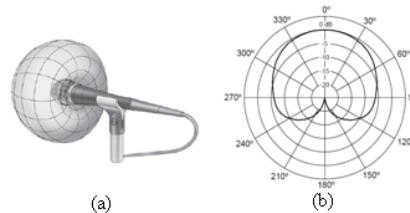


Figura 5: (a) Patrón de captación cardioide [1]; (b) Diagrama polar de un micrófono unidireccional o cardioide [9].

En la Figura 5 (b), se indica como varía la sensibilidad con la dirección de procedencia del sonido, respecto a la sensibilidad máxima (0 dB), que corresponde a la dirección principal del micrófono [9].

El micrófono unidireccional promedio tiene una relación de adelante hacia atrás de 20 a 30 dB, es decir, que tiene una sensibilidad 20 a 30 dB mayor a las ondas sonoras se acercan por el frente que si se acercan por detrás. Estos micrófonos también se los conoce como cardioide porque es en forma de corazón o direccional. Son los más utilizados, ya que discrimina entre señal y ruido no deseado. Esto tiene muchas ventajas, incluyendo [1]:

- ✓ Menos ruido de fondo,
- ✓ Mejor ganancia antes de retroalimentación,
- ✓ La discriminación entre las fuentes de sonido

2.4.1.2. Bidireccional

También conocido como en 8, tienen sensibilidad máxima para los sonidos que inciden frontalmente al diafragma, ya sea por cara anterior o posterior, es fuertemente direccional en las dos direcciones paralelas al eje principal. Los sonidos laterales no son captados, ya que se anulan las ondas que alcanzan las dos caras porque llegan a la vez. Tampoco los emitidos en su parte superior. Este efecto se agudiza también a altas frecuencias. Se emplean para locutores enfrentados o cantantes en coros. Son de gradientes de presión [10].

Como los cardioides, exhiben el efecto de proximidad, aumentando la sensibilidad a los graves cuando la fuente se acerca mucho al micrófono. Debido a que estos micrófonos se caracterizan por rechazar las señales acústicas provenientes de los lados, son útiles para minimizar la captación de la señal proveniente de un músico o cantante que se encuentre al lado del que se quiere tomar con el micrófono [9].

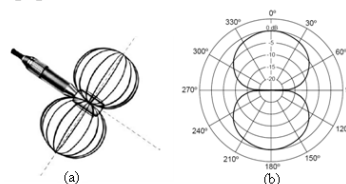


Figura 6: (a) Patrón de captación bidireccional [1]; (b) Diagrama polar de un micrófono en 8. El sonido se recibe igual por ambos lados [9].

2.4.1.3. Omnidireccional

Son aquellos en los cuales el nivel de la señal eléctrica proporcionada por el micrófono es independiente de la dirección de la cual provenga el sonido. La omnidireccionalidad depende de la frecuencia [10].

También se los conoce como esférica, en la Figura 7(a), se muestra que el diafragma sólo se expone a la onda acústica en la parte frontal. Por lo tanto, no se producen cancelaciones por no tener las ondas de sonido golpeando la parte delantera y trasera del diafragma, al mismo tiempo. El diámetro de los micrófonos omnidireccionales son del orden de la longitud de onda incidente, por lo tanto, el micrófono debe tener el diámetro lo más pequeño posible, si las características omnidireccionales se requieren en altas frecuencias. La característica que permite a las ondas doblar alrededor de los objetos se conoce como la difracción y sucede cuando la longitud de onda es larga en comparación con el tamaño del objeto [1].

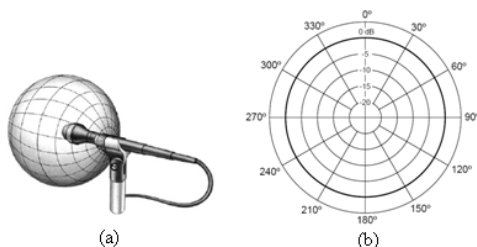


Figura 7: (a) Patrón de captación omnidireccional [1]; (b) Diagrama polar [9].

Los micrófonos omnidireccionales son capaces de tener una respuesta de frecuencia uniforme en todo el espectro de audio completo, ya que sólo la parte frontal de la membrana se expone a la fuente, la eliminación o cancelación de fase se encuentran en los micrófonos unidireccionales. El único inconveniente es que cuanto menor sea el diafragma, menor es la sensibilidad del micrófono, por lo tanto, más pobre es la relación señal/ruido (SNR).

Los micrófonos omnidireccionales tienen muy poco efecto de proximidad [1].

2.4.1.4. Otros

Además de los tipos principales descriptos, existen en el mercado micrófonos con otros patrones polares, como por ejemplo el **supercardiode** (más direccional que el cardiode), **hipercardiode** (similar al supercardioid pero con un ángulo de captación todavía menor, a costa de la existencia de un pequeño lóbulo en dirección opuesta a la principal, es decir capta mejor de manera directa pero también capta señal por la parte posterior. Este se consigue combinando dos cardioides de diferentes sensibilidad), o el **lobular** (muy direccional, con un lóbulo que abarca ángulos de captación tan cerrados como 90°). La aplicación de estos micrófonos es bastante específica, y conviene, en cada caso, aplicarlos según las especificaciones de los fabricantes [9].

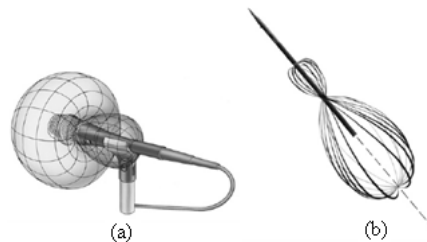


Figura 7: (a) Patrón de captación supercardioid; (b) patrón de captación Hipercardioid.

Resumiendo tenemos la Figura 8:

Microphone	Omnidirectional	Bidirectional	Directional	Supercardioid	Hypercardioid
Directional Response Characteristics					

Figura 8: patrones de captación y las características direccionales de respuesta de los distintos tipos de micrófonos [1].

2.5. Impedancia

La impedancia interna de un micrófono esta vinculada con su modelo eléctrico, que esta constituido por una fuente de tensión y una impedancia como muestra la Figura 9(a). Existen micrófonos de alta impedancia, superiores a los 10kΩ y de baja impedancia, menor de 500Ω. En el sonido profesional se utilizan micrófonos de baja impedancia, porque son menos ruidosos y ofrecen menos dificultades para el cableado. El nivel de la tensión de salida es generalmente muy pequeño, del orden de los μV, por lo que se requiere utilizar preamplificadores para elevar la tensión al nivel requerido por las consolas de audio.

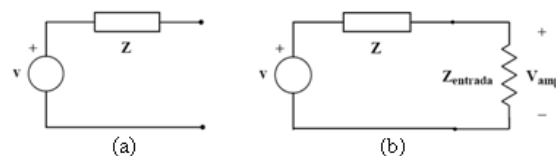


Figura 9: (a) Modelo eléctrico de un micrófono, formado por una fuente de tensión V y una impedancia Z [9]; (b) modelo eléctrico de la conexión entre un micrófono y su preamplificador. El micrófono tiene una impedancia Z y el preamplificador tiene una impedancia de entrada Z_{ent} .

La impedancia de entrada de los preamplificadores, Figura 9(b), debe ser mucho mayor que la del micrófono, para no ocasionar un efecto de divisor de tensión, lo cual provocaría una disminución de la tensión de entrada del preamplificador. Resulta entonces:

$$V_{amp} = \frac{Z_{ent}}{Z + Z_{ent}} \cdot V \quad (4)$$

Y por lo tanto cuando más grande sea Z_{ent} menor será la disminución de la tensión que recibe el preamplificador. En la práctica la impedancia de los micrófonos suele ser de unos 200 Ω y la de las de entrada de un micrófono de unos 1000 Ω [9].

2.6. Ruido

En los micrófonos hay dos tipos de producción de ruido:

Ruido ambiental: obedece el mismo principio de conversión de energía sonora en energía eléctrica. La reducción de este ruido esta ligada a la reducción del propio ruido ambiente, y al aprovechamiento de la propiedad de direccionalidad de los micrófonos.

Ruido eléctrico: es característico de cualquier componente de un circuito, es decir, es un ruido intrínseco del micrófono. Este ruido no puede ser eliminado pero puede reducirse, diseñando el micrófono de modo que posea muy baja impedancia ($100\ \Omega$), y además utilizando materiales de gran calidad. Un micrófono de $100\ \Omega$ tiene como mínimo un ruido eléctrico de $0,18\ \mu V$, y este ruido se duplica cada vez que la impedancia se cuadruplica [9].

Existen dos formas de especificar el ruido eléctrico:

La primera consiste en asociarlo a un nivel sonoro equivalente, por ejemplo 17 dB.

La segunda es a través del concepto de relación señal/ruido, definida como el cociente entre la señal y el ruido, expresada en dB:

$$S/R_{dB} = 20 \log_{10} \frac{\text{señal}}{\text{ruido}} \quad (5)$$

Para que esta especificación tenga sentido es muy importante también especificar el nivel de señal que se está utilizando. Normalmente la especificación de la señal se da en Pa (presión) o en dB (nivel de presión sonora), y se incluye la frecuencia de la señal. Una posible especificación podría ser:

S/R: 50 dB a 1 kHz; 0.1 Pa

O bien

S/R: 50 dB a 1 kHz; 74 dB NPS

Estas especificaciones son idénticas, ya que una presión de 0,1 Pa corresponde a un nivel de presión sonora de 74 dB.

2.7. Distorsión

La distorsión se diferencia del ruido en que es una deformación de la onda, mientras que el ruido es una señal independiente que se agrega a la señal fundamental. Cuando la señal es una onda senoidal, la distorsión se manifiesta como la aparición de cierta cantidad de armónicos. Se define la distorsión total armónica (THD) como el cociente entre el valor eficaz de los armónicos generados por la distorsión y el valor eficaz de la fundamental, y suele expresarse en porcentaje. Por ejemplo, supongamos que se expone un micrófono a un sonido senoidal, y que como resultado produce una tensión que tiene $5\ mV$ de primera armónica y $0,05\ mV$ de las restantes armónicas, entonces la distorsión total armónica será:

$$THD = \frac{0,05\ mV}{5\ mV} = 0,01 = 1\% \quad (5)$$

Dado que el fenómeno de la distorsión se da normalmente para niveles altos de señal, la especificación se suele dar asociada con el máximo nivel de presión sonora que admite el micrófono:

THD: 1 % a 125 dB NPS

O bien

Máximo NPS; 125 dB a 1% THD

El valor máximo representa un nivel operativo, es decir un nivel donde el micrófono todavía funciona razonablemente bien [9].

3. TIPOS DE MICROFONOS

Los diferentes tipos de micrófonos se pueden dividir según al principio de conversión utilizado para convertir la propiedad del sonido a una señal eléctrica.

3.1. Micrófonos electrostáticos

Inventado en 1917 por E. C. Wente y desde entonces ha sido el más desarrollado [5].

Estos micrófonos, también denominados de capacitor, o de condensador, o electrostáticos, se basan en la utilización de un campo eléctrico en lugar de un campo magnético. Están formados por un diafragma muy delgado (típicamente, 5 micrones de espesor) bañado en oro, y una placa posterior metálica que normalmente está perforada o ranurada, como muestra la Figura 10. Ambos forman un condensador cuya capacidad C varía con la distancia entre sí, y esta distancia varía al vibrar el diafragma impulsado por las variaciones de presión de la onda sonora [9].

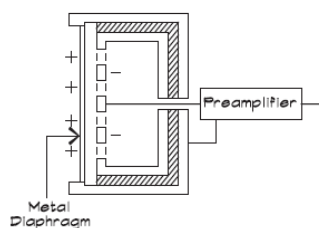


Figura 10: Diagrama esquemático constructivo de un micrófono de condensador.

Las variaciones de presión causadas por una onda sonora imprimen movimiento al diafragma, y al variar consecuentemente la distancia entre éste y la placa posterior, varía también la capacidad del condensador formado por ambos. Si previamente se ha aplicado una carga eléctrica a ambas placas, la variación de capacidad implicará una variación de tensión eléctrica v entre los terminales $+$ y $-$ del micrófono [9].

La manera de cargar las placas del condensador es por medio de una polarización externa, lo cual se logra conectando el micrófono a una fuente de tensión constante a través de una resistencia, como se muestra en la Figura 11(a). Esta fuente puede tener un valor comprendido entre $1,5\ V$ y $48\ V$ según el modelo de micrófono.

Estos micrófonos son muy sensibles y precisos, y tienen excelentes características respuesta en frecuencia. Son menos resistentes que los dinámicos [6].

Algunas de las ventajas de los micrófonos de condensador son los siguientes [1]:

- ✓ Diafragmas pequeños, rígidos de baja masa que reducen la vibración recogida,
- ✓ Amplio rango de respuesta en frecuencia,
- ✓ Robusto, capaces de medir los niveles de presión sonora muy elevados,
- ✓ Bajo nivel de ruido,
- ✓ Tamaño de cabeza pequeña, que proporciona baja interferencia de difracción.

Varios de los factores que deben tenerse en cuenta son: la tensión del diafragma, las fuerzas electrostáticas que actúa sobre el diafragma, el cumplimiento de la cámara de aire detrás del diafragma, y la amortiguación causada por la capa de aire entre el diafragma y placa posterior con sus orificios [4].

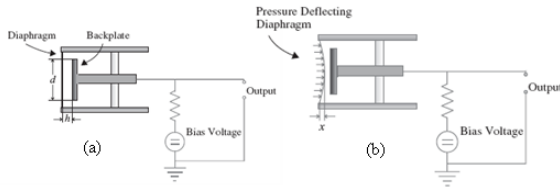


Figura 11: (a) Principio del condensador de micrófono; (b) deformación del diafragma [5].

La capacidad del condensador C_m viene dada por:

$$C_m = \frac{\epsilon_0 \pi b^2}{h} \quad (6)$$

Donde ϵ_0 es la constante dieléctrica del aire, b es el radio de la placa, y h es la distancia entre la placa y el diafragma.

Este condensador se carga por una fuente de tensión V_c a través de una resistencia R_c en serie, de modo que la carga Q_c sobre el micrófono se convierte en:

$$Q_c = C_m V_c = V_c \frac{\epsilon_0 \pi b^2}{h} \quad (7)$$

Si la presión fuera del micrófono es diferente de la presión en el interior del micrófono, el diafragma se desplaza de su posición de equilibrio. Si el diafragma es desplazado por una cantidad x , esto, de acuerdo con la ecuación (6), causa un cambio en la capacidad del micrófono:

$$C_{m\Delta} = \frac{\epsilon_0 \pi b^2}{h + x} \quad (8)$$

La resistencia en serie R_c y el preamplificador de alta impedancia de entrada asegura que la carga de la ecuación (7) se mantenga constante. El cambio en la

capacidad por lo tanto, da lugar a un cambio en el voltaje V_{out} a través del condensador del micrófono:

$$Q_c = C_m V_c = C_{m\Delta} V_{out} = V_{out} \frac{\epsilon_0 \pi b^2}{h + x} \quad (9)$$

La combinación de las ecuaciones (7) y (9):

$$V_{out} = V_c \frac{h + x}{h} \quad (10)$$

Una diferencia de presión p entre el interior y el exterior del micrófono dará una fuerza resultante F :

$$F = pA \quad (11)$$

Donde A es el área eficaz del diafragma. Si Z_m es la impedancia mecánica del diafragma, y con un desplazamiento de la membrana, Figura 11(b) tenemos:

$$x = \frac{F}{j\omega Z_m} = \frac{A}{j\omega Z_m} p \quad (12)$$

y la señal de salida del micrófono es:

$$V_{out} = V_c \frac{h + p(A/j\omega Z_m)}{h} \quad (13)$$

Esta ecuación muestra que, por un exceso de presión fuera del micrófono, donde desvía el diafragma hacia la placa posterior, la señal de salida bajará.

En general, la impedancia mecánica del diafragma se puede expresar como:

$$Z_m = j\omega m_m + r_m + \frac{1}{j\omega C_m} \quad (14)$$

Donde m_m es la masa del diafragma, r_m es la amortiguación en el micrófono, y C_m es la rigidez del diafragma.

En la práctica, la capacidad del micrófono se carga por las capacidades parásitas, y esto dará lugar a situaciones no ideales con limitaciones en el rendimiento.

3.2. Micrófonos de carbón

En 1877, Thomas A. Edison inventó el micrófono de carbón. Este fue uno de los primeros micrófonos de los tipos de resistencia variable [5].

El micrófono de carbón fue el micrófono estándar en técnicas de comunicación telefónica. Esto se debe a su alta sensibilidad y su robustez mecánica, propiedades que se consideraban más importantes en su funcionamiento práctico que una alta fidelidad. Hoy en día, sin embargo, ha sido sustituido por otros tipos de micrófonos, y sólo pueden ser encontrados en aparatos viejos telefónicos [3].

El funcionamiento se puede ver en la Figura 12. Cientos de pequeños granos de carbón se mantienen en contacto estrecho en un recinto de latón llamado

botón, el cual se adjunta en el centro de un diafragma metálico. Las ondas sonoras chocan contra la superficie de la membrana generando una perturbación de los granos de carbón, cambiando la resistencia de contacto entre sus superficies. Una batería o fuente de alimentación de CC está conectada en serie con el botón de carbón y el primario de un transformador. El cambio en la resistencia de contacto hace que la corriente de la fuente de alimentación varíe en amplitud, dando lugar a una corriente similar a la forma de onda acústica incidente en el diafragma.

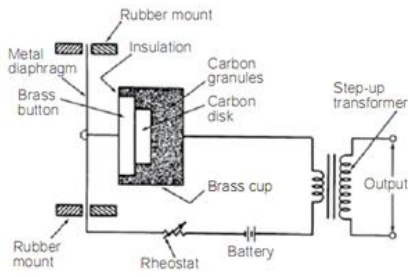


Figura 12: Conexión y construcción de un micrófono de carbón [1].

La impedancia del botón de carbón es baja por lo que un transformador elevador se utiliza para aumentar la impedancia y el voltaje de salida del micrófono y eliminar CC del circuito de salida [1].

Las desventajas principales de los micrófonos de carbón son:

- ✓ Necesitan alimentación, lo que obliga a disponer en los amplificadores donde se insertan, tensión rectificada de 4, 6 ó 12 voltios.
- ✓ El acoplamiento del micrófono de carbón al amplificador se hace a través de un transformador que adapte la baja impedancia del micrófono a la de entrada del amplificador. Generalmente se emplean transformadores de relación 1/20. Debido a esto se introducen transitorios que se ponen muy de manifiesto si se quieren transmitir sonidos muy cortos que no dan tiempo a que se establezca el régimen permanente.
- ✓ Tienen eficacias variables (distorsión lineal de amplitud).
- ✓ Introducen distorsión lineal (armónicos).
- ✓ Tienen frecuencias de resonancias bajas.

Frente a estas desventajas presentan a su favor la particularidad de proporcionar un rendimiento medio bastante elevado. El nivel de salida en audiofrecuencia de un micrófono de carbón es de unos -50 dB tomando como nivel cero el de seis miliwatios [8].

3.3. Micrófonos de cristal o piezoeléctricos

El fenómeno de la piezoelectricidad, descubierto en 1880 por Curie, consiste en la propiedad que tienen algunos cuerpos cristalinos de dar polarizaciones eléctricas cuando son solicitados por fuerzas mecánicas en direcciones determinadas. El fenómeno es recíproco, y así, al aplicar una diferencia de tensión entre dos caras del cristal éste se

deforma mecánicamente, y si la tensión es alterna, el cristal entra en vibración a esa frecuencia [8].

Los micrófonos de cristal fueron populares porque eran baratos y su salida de alto nivel de alta impedancia permite que se conecten directamente a la entrada de un amplificador de válvulas. Fueron muy usados con las grabadoras hogareñas donde los cables del micrófono son cortos y de alta impedancia de entrada [1].

Los micrófonos piezoeléctricos emplean cristales o dieléctricos que, accionados por fuerzas adecuadas, producen potenciales eléctricos linealmente relacionados con la deformación de la sustancia [2].

Entre los materiales comerciales que se usan hoy en día, como el fosfato de amonio dihidrógeno (ADP), sulfato de litio (LN), tartrato dipotásico (DKT), fosfato dihidrógeno de potasio (KDP), zirconato de plomo y de titanato de plomo (PZT) han sido desarrolladas por sus cualidades piezoeléctricas [1].

Un elemento piezoeléctrico con destino a ser utilizado en un micrófono está formado por dos plaquitas de cristal convenientemente talladas que se pegan entre sí. Las caras opuestas se cubren con unas láminas metálicas flexibles que hacen de electrodos. Estos elementos, llamados dimorfos, pueden obtenerse en dos formas distintas, según como se corten los cristales, y así se señalan las Figura 13, donde se indica por medio de flechas las direcciones en que deben hacerse las presiones para que la tensión recogida sea máxima. Las caras de las plaquitas se hacen corresponder de modo que las caras externas tienen la misma polaridad, y las dos internas que están en contacto también la misma, de signo contrario.

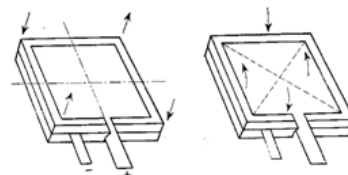


Figura 13: Elemento piezoeléctrico.

Los micrófonos de cristal pueden ser de dos tipos distintos, según la forma en que actúa la onda acústica sobre los elementos dimorfos: serán de acción directa y de diafragma. Los primeros están formados por una o varias células que se unen en serie o paralelo para tener un aumento de sensibilidad y sobre las cuales actúa el sonido directamente; en los segundos se emplea una sola célula, pero ésta se dispone de tal modo que apoyada por tres vértices de una cara a la caja soporte, queda el otro vértice de la cara opuesta a un diafragma. De este modo se aumenta mucho la sensibilidad, pero no son tan fieles y son algo direccionales. En la Figura 14 se observa el esquema de principio de un micrófono del segundo tipo [8].

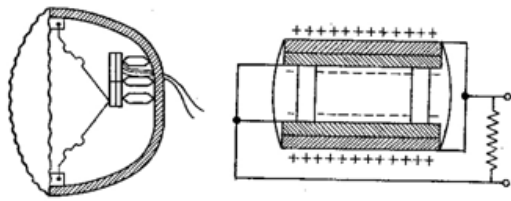


Figura 14: Esquema teórico de un micrófono a cristal, utilizando dos pares de cristales [8].

La figura 15 muestra una vista en sección transversal de un micrófono electrostático comercial:

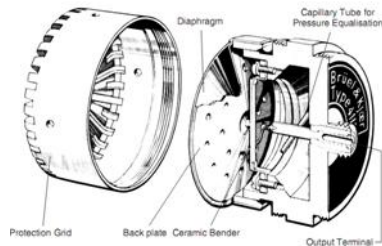


Figura 15: Sección transversal de un micrófono electrostático Brüel & Kjaer.

3.4. Micrófonos dinámicos o de bobina móvil

En 1876, Alexander Graham Bell creó su primer teléfono con un micrófono usando la inducción magnética para convertir la entrada de voz en una señal eléctrica en la salida. Desde las distintas versiones de sonido de presión, sólo el diseño de bobina móvil se encuentra todavía en producción en masa para el habla y la aplicación de música. Estos micrófonos se han clasificado como electrodinámicos correctamente, pero comúnmente se los llama como micrófono dinámico [4].

Estos micrófonos utilizan la propiedad de que cuando un conductor se mueve en un campo magnético, produciéndose, por tanto, variación de flujo abrazado, se crea en él una fuerza electromotriz inducida [8].

Sólo cuatro partes son necesarias para construir una versión simple de este principio (Figura 16). La membrana o diafragma, la bobina, un imán y una cápsula de hierro que define la frontera exterior del espacio de la bobina móvil y también permite fijar el borde del diafragma [4].

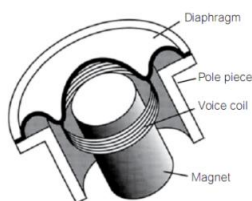


Figura 16: Micrófono dinámico [1]

La bobina de los mismos está constituida con varias espiras de alambre de cobre que se desplaza en forma oscilante a lo largo de un núcleo cilíndrico de imán. Dicha bobina es impulsada por el diafragma que vibra en concordancia con las variaciones de presión de una onda sonora.

Los micrófonos dinámicos generan tensiones bastantes pequeñas, del orden de 1 a 4 mV/Pa. Para lograr mayores sensibilidades sería necesario que la bobina tuviera muchas espiras, lo cual implicaría aumentar su masa. Esto repercutiría negativamente en la respuesta en alta frecuencia, dado que a mayor masa, mayor inercia, es decir mayor dificultad para que una onda de alta frecuencia ponga en movimiento al conjunto diafragma-bobina. De todas maneras, aun con pocas espiras el comportamiento en alta frecuencia está limitado en general a unos 16 kHz. Actualmente, con el uso de potentes imanes de neodimio permite reducir la cantidad de espiras, permitiendo en algunos modelos extender la frecuencia a la banda completa de audio [9].

Una respuesta en frecuencia bastante plana, sin sacrificar demasiado la sensibilidad se logra acoplando el volumen de aire que se encuentra inmediatamente detrás del diafragma por medio de una abertura a otra cámara que, donde dicha cámara con la abertura de acoplamiento, forman una cavidad resonante amortiguada por las pérdidas que ocurren en la apertura. A veces, un micrófono de bobina móvil contiene más cavidades de resonancia [3].

Una de las desventajas de estos micrófonos es que el denominado ruido de manipulación (es decir ruido ocasionado al mover o tocar el micrófono) es importante, debido a dos factores: la gran inercia del conjunto diafragma-bobina y el agregado de resonancias artificiales.

El primer factor implica que al mover el micrófono la bobina tiende a permanecer inmóvil, creándose un movimiento relativo entre la bobina y el imán equivalente a que el diafragma se moviera y el imán estuviera fijo. Se genera así una tensión similar a la que produciría un ruido acústico. Esta tensión indeseada se denomina ruido eléctrico.

El segundo factor implica que el ruido que se produce al tocar el micrófono se vea amplificado, especialmente en baja frecuencia, generando también ruido eléctrico [9].

Dentro de las ventajas de este tipo de micrófonos podemos decir que a pesar de producir un voltaje de salida muy bajo, al tener una impedancia de salida eléctrica es baja, el micrófono puede estar ubicado relativamente lejos del preamplificador. Los micrófonos dinámicos son resistentes y se utilizan principalmente en aplicaciones de refuerzo de sonido, donde la fidelidad es baja, y son lo suficientemente buenos [6]. Halla sus principales usos en las aplicaciones en que se necesita un cable largo o hay fluctuaciones rápidas o valores extremos de temperatura y humedad [2].

Otra ventaja es que no requieren fuentes de alimentación propias para generar señal eléctrica en respuesta a un sonido [9].

3.5. Micrófonos de cinta

Dicho micrófono se construye usando una muy fina cinta de lámina de metal. Dicha cinta tiene

pliegues o corrugaciones para reducir su rigidez longitudinal.

Como se ve en la Figura 17 la cinta está suspendida en la ranura de una pantalla deflectora. Hay un campo magnético transversal a la cinta, de modo que el movimiento de ésta causa la aparición de una corriente eléctrica entre sus extremos. De esta manera, el conductor móvil sirve al mismo tiempo como diafragma [2].

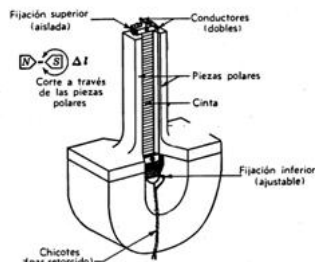


Figura 17: Micrófono de cinta.

Ambos lados de la cinta están expuestos al campo de sonido, y por lo tanto, el micrófono responde al gradiente de la presión acústica.

También se llaman micrófonos de velocidad o de gradiente de presión. Estos nombres vienen debido a la acción física de las partículas de aire al golpear en la cinta. El movimiento de la cinta es proporcional a la velocidad de las partículas de aire. Visto de otro modo, responde a la diferencia de presión de aire entre los dos lados de la cinta la que hace que la misma se mueva [11].

Se lo usa mucho en los estudios de radiodifusión y en las instalaciones de refuerzo acústico para eliminar ciertos sonidos indeseados, según la ubicación de su fuente respecto del micrófono. Lo utilizan los cantantes para obtener algunos efectos vocales. Una desventaja del micrófono de cinta es que resulta a menudo ruidoso cuando se lo usa puertas afuera a menos que se lo proteja contra el viento por medio de pantallas especiales [2].

El micrófono que se muestra en la Figura 18 es simétrico respecto al eje vertical. Utiliza un yugo helicoidal Y y la cinta R se puede ver entre las piezas polares P. La respuesta en frecuencia es muy plana, y la respuesta direccional está muy cerca de la perfecta figura de ocho, aunque una pequeña asimetría provoca una diferencia marginal por encima de 10 kHz.

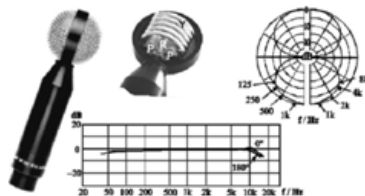


Figura 18: Micrófono bidireccional.

3.6. Micrófonos electret

En la década de 1970, un nuevo tipo de micrófono de precisión se empezó a comercializar. Este micrófono es básicamente un micrófono de

condensador. Sin embargo, no es necesaria una tensión de polarización ya que el electret polariza permanentemente al diafragma de aluminio y/o a la placa posterior [5]. El campo de polarización es creado por un “electret”, es decir, por un material dieléctrico que tiene una polarización eléctrica permanente, muy similar a la polarización magnética de un imán. Si el espacio entre dos electrodos de un condensador de placas paralelas se llena parcialmente con el material electret, un campo eléctrico constante será producido en el espacio vacío como se muestra en la Figura 19 (a).

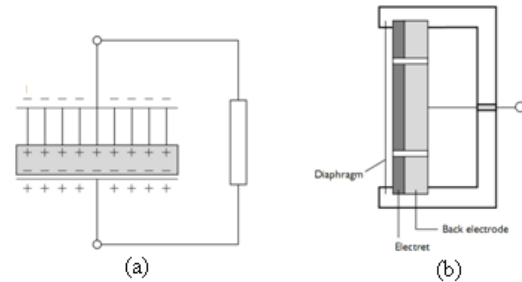


Figura 19: Electret en paralelo con un capacitor; (b) Micrófono Electret [3].

Por lo general, los materiales electret son adecuados polímeros que deben ser polarizados antes de ser utilizados. Esto se logra mediante la exposición del material a elevadas temperaturas y a un fuerte campo eléctrico, el cual que se mantiene durante el proceso de enfriamiento posterior. Otra manera es disparar partículas cargadas en el polímero las cuales quedan encerradas dentro de él. La distribución no homogénea de las cargas también corresponde a una polarización dieléctrica.

Hay dos tipos principales de micrófonos electret que se encuentran en uso: en uno de ellos una lámina delgada metalizada electret forma el diafragma del micrófono. En la otra alternativa, el material electret se puede colocar en la placa posterior del micrófono de condensador como se muestra en la Figura 19 (b) [3].

Entre las ventajas que presenta un micrófono electret enunciamos las siguientes: (a) No se necesita tensión de polarización, por ende no se utiliza ninguna fuente fantasma, (b) su construcción es robusta, (c) tienen una alta capacitancia (alrededor de 500 pF), y por lo tanto, la carga es un problema menor que con el micrófono de condensador, (d) son de bajo costo [5].

Además, a diferencia de los micrófonos de condensador, éstos son poco sensibles a la humedad y a los cambios de temperatura, por lo que se pueden emplear en exteriores. Su impedancia es mayor que la de los micrófonos de condensador (1000 a 1500 ohmios). Tienen una respuesta en frecuencia aceptable para ciertos usos, entre 50 y 15000 Hz, y su sensibilidad es inferior a la de los micrófonos de condensador [10].

3.7. Micrófonos de presión

El micrófono de presión es el que responde a las variaciones de presión sonora. Es un ejemplo común el formado por un diafragma flexible que termina por una de sus caras en una cavidad cerrada. Un fino agujero practicado a través de la pared de la cavidad sirve para mantener la presión media dentro de la cavidad igual a la presión atmosférica. Sin embargo, los cambios rápidos de presión, como los producidos por una onda sonora, hacen que el diafragma se mueva hacia adentro o afuera como se ve en la Figura 20 [2].

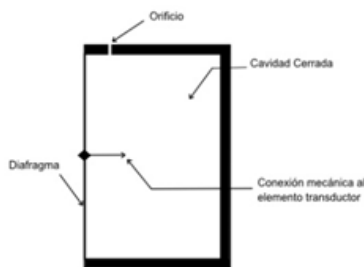


Figura 20: Esquema de un micrófono de presión [2].

La fuerza que la presión exterior (variable) ejerce sobre el diafragma es:

$$F = p \cdot s \quad (15)$$

Siendo S la superficie del diafragma y p la presión sonora. El aire de la cavidad interna de la caja de volumen V actúa elásticamente y el movimiento que la fuerza F imprime al diafragma, venciendo su impedancia mecánica, la del transductor electromecánico unido a él y la elástica de la cámara interna, dará lugar a la producción de un voltaje.

Si un micrófono de presión se coloca dentro de una pequeña caja dentro de la cual se hace variar la presión, la tensión de salida será la misma independientemente de la posición del micrófono dentro de la caja, Figura 21 (a).

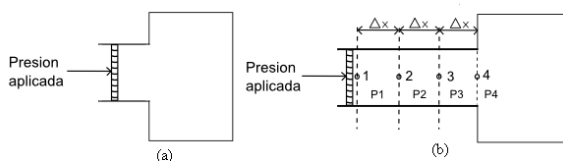


Figura 21: (a) Esquema de una cámara de presión;
(b) Para posiciones diferentes.

Por otra parte, si un micrófono de presión se coloca en posiciones sucesivas 1, 2, 3 y 4, este responderá de forma diferente en cada uno de estos puntos porque las caídas de presión P_1 , P_2 , P_3 y P_4 son distintas y difieren en la cantidad Δp si el espaciado Δx es constante, Figura 21 (b) [2].

Si un micrófono de presión se coloca en el campo de una onda sonora plana de intensidad constante 1 (watt por unidad de área en el plano del frente de onda), la fuerza que tiende a mover el diafragma es independiente de la frecuencia, por cuanto [2]:

$$p = \sqrt{i \rho_0 c} \quad (16)$$

donde:

p = Presión sonora.
i = Intensidad sonora
 ρ_0 = Densidad del aire
c = Velocidad del sonido

Intensidad sonora: es la velocidad media en el tiempo con que la energía acústica fluye a través del área unitaria de un medio acústico. En el sistema internacional, la unidad de intensidad es el watt/m². La intensidad es en realidad el producto de la presión sonora por la componente en fase de la velocidad de las partículas.

Se los utiliza en los sistemas de medición acústica y la toma de música y palabra en los estudios de radiodifusión, en las instalaciones de refuerzo acústico y en los otófonos. Muchos ingenieros y artistas afirman que la música reproducida a partir de la salida de un micrófono de presión bien diseñado es superior a la que proveen otros tipos de micrófono más direccionales por el hecho de que los primeros preservan las cualidades de la reverberación del auditorio o estudio, porque la distorsión del frente de onda es mínima, y porque la calidad del sonido reproducido no depende tanto como en los otros tipos de la distancia entre el micrófono y la fuente del sonido. En los estudios de radiodifusión, en las instalaciones de refuerzo acústico y en los otófonos, se encuentran tres tipos principales de micrófono de presión: el electromagnético, el electrostático y el piezoeléctrico.[2]

3.8. Micrófonos de gradiente de presión

El micrófono de gradiente de presión es el que responde a una diferencia de presión entre dos puntos separados por una distancia muy pequeña. Un ejemplo común de este tipo de micrófono posee un diafragma cuyas caras están expuestas a la onda sonora. Esta construcción está ilustrada en la Figura 22 [2].

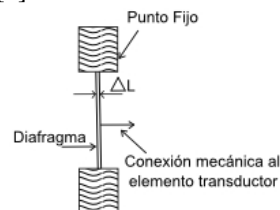


Figura 22: Esquema de un micrófono de gradiente de presión formado por un diafragma móvil, cuyas dos caras están expuestas a la onda sonora conectado al elemento transductor [2].

Si un micrófono de gradiente de presión se coloca en la caja de la Figura 20, no hay fuerza neta actuante sobre el diafragma y el movimiento de éste es nulo. Esto se debe a que no hay gradiente de presión en la caja. En cambio, si un micrófono de gradiente de presión se coloca en

las posiciones sucesivas indicadas en la Figura 21 (a), produce una tensión de salida proporcional al gradiente de presión $\Delta p / \Delta x$. En otros términos, si Δx es la misma para todos los puntos sucesivos, la salida del micrófono es independiente de la posición que ocupa de las cuatro marcadas en la Figura 21 (b) [2].

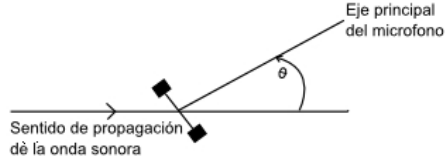


Figura 23: Micrófono de gradiente de presión con su eje principal formando el ángulo θ con la dirección de propagación de la onda sonora [2].

Si un micrófono de gradiente de presión muy pequeño se dispone en el campo de una onda sonora que se propaga en la dirección del eje de las x, la fuerza eficaz compleja f_D que tiende a mover el diafragma viene a ser [2]:

$$f_D = -S \frac{dp}{dx} \Delta L \cos \theta \quad (17)$$

Donde:

$\frac{dp}{dx} \Delta L \cos \theta$: Componente de gradiente de presión según x que actúa a través de las caras del diafragma

P : Presión sonora eficaz

θ : Ángulo que la normal del diafragma forma con la dirección de propagación.

ΔL : Distancia efectiva entre las dos caras del diafragma. Ver Figura 20.

S = Área del Diafragma.

La inspección de la Figura 23 es suficiente para convencernos de que la fuerza es cero cuando $\theta = 90^\circ$, dado que las condiciones de simetría exigen que la presión sea la misma sobre las dos caras del diafragma. La fuerza efectiva que actúa sobre el diafragma es proporcional a la frecuencia y al valor eficaz de la presión sonora [2].

3.9. Micrófonos combinados de las dos clases anteriores

El micrófono combinado de presión y gradiente de presión responde, a la vez, a la presión y al gradiente de presión de la onda sonora. Un ejemplo común de este tipo de micrófono tiene una cavidad dispuesta detrás del diafragma y provista de una abertura al aire exterior, la que contiene a su vez una resistencia acústica (Figura 24) [2].

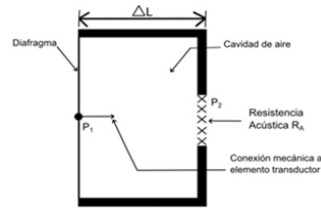


Figura 24: micrófono combinado de presión y gradiente de presión [2].

4. CONCLUSION

Existe un punto muy importante a la hora de estudiar el sonido: su captación. Por ello fueron inventados los micrófonos, que en la actualidad son utilizados diariamente por la mayoría de los técnicos de sonido en múltiples situaciones.

En cualquier grabación, se debe tener en cuenta algunos factores imprescindibles en cuanto a la utilización de micrófonos: como la selección, posicionamiento y técnica de utilización.

Además, otros factores que influyen notablemente en el campo sonoro son: el ruido ambiental, tiempo de reverberación, etc. Seleccionar un micrófono implica conocer no solo sus características, sino también el campo sonoro al cual va a ser expuesto.

5. REFERENCIAS

- [1] Ballou G., "Electroacoustic Devices: Microphones and Loudspeakers".
- [2] Beranek L. L. "Acústica". Segunda edición Editorial H.A.S.A., Bs As, 1954.
- [3] Kuttruff H., "Acoustics An introduction", Editorial Elsevier, 2000
- [4] Havelock D, Kuwano S., Vorlander M., "Handbook of Signal Processing in Acoustics".
- [5] Crocker M. J., "Handbook of Noise and Vibration Control". 2007.
- [6] Marshall Long, "Architectural Acoustics", 2006.
- [7] "Springer Handbook of Acoustics", Springer 2007.
- [8] Ramil Moral J. J., "La Escuela del Radiotécnico. Megafonía y Electroacústica" Tomo III.
- [9] Miyara F., "Acústica y Sistemas de Sonido", Editorial UNR, Segunda Edición, 1999.
- [10] Cuenca David I., Gomez Juan, E. "Tecnología Básica del Sonido I"
- [11] <http://www.rane.com/par-r.html>

6. DATOS BIOGRAFICOS

Pablo Ariel Bongiovanni, nacido en Las Varillas el 11/11/1985. Estudiante de ingeniería en electrónica, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Córdoba. Argentina. Actualmente trabaja en Policía de la Provincia de Córdoba, perteneciente al cuerpo técnico de la misma. Sus intereses son: Electroacústica y acústica de recintos.

E-mail: pabloabongiovanni@gmail.com.

Marcelo Saúl Cascino, nacido en Realicó (La Pampa) 23/03/1983. Estudiante de ingeniería en electrónica, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Córdoba. Argentina. Sus intereses son: Electroacústica y acústica de recintos.

E-mail: marcelosaul@hotmail.com.

Marco Sansó, nacido en Córdoba el 03/04/1984. Estudiante de ingeniería en electrónica, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Córdoba. Argentina. De Junio del 2008 a diciembre del 2008 fue becario de investigación y desarrollo en el Centro Universitario de Desarrollo en automatización y Robótica (CUDAR), Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Córdoba. Actualmente trabaja en forma independiente en Reparación de PC y Redes Informáticas. Sus intereses son: Electroacústica y acústica de recintos.

E-mail: sansomarco@gmail.com