

# Capítulo 8

## Micrófonos

### 8.1. Introducción

El primer elemento de la cadena de audio es el **micrófono**, un *transductor* capaz de convertir señal sonora en señal eléctrica. Con mayor precisión, convierte presión sonora en tensión. Estudiaremos algunos parámetros y especificaciones importantes, así como las estructuras constructivas de los micrófonos dinámicos y capacitivos.

### 8.2. Sensibilidad

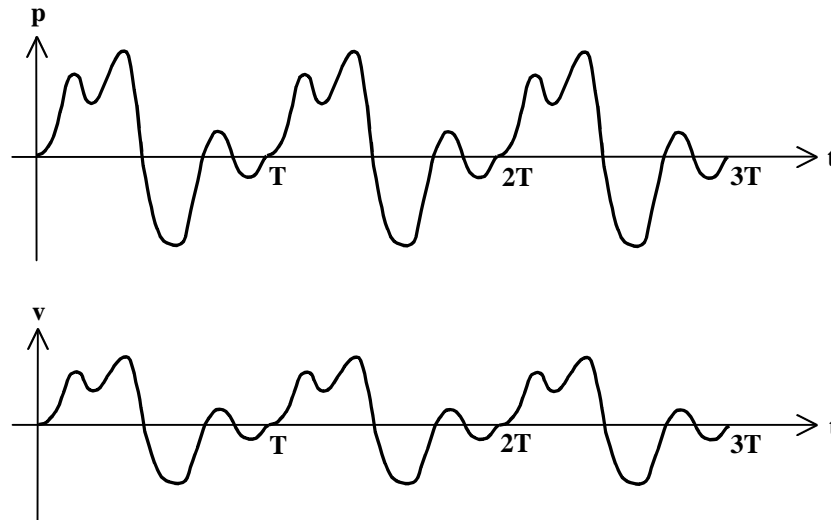
A los fines de conectar un micrófono con el resto de los componentes, es importante conocer cuánta tensión produce ante una dada presión sonora. En el capítulo 6 vimos que ante determinada amplitud de la presión, en los terminales del micrófono se producía cierto valor de tensión. Dijimos en ese momento que no tenía sentido afirmar, por ejemplo, que “la presión es mayor que la tensión”. Pero sí tiene sentido determinar la relación que hay entre la tensión y la presión. Esa relación se denomina **sensibilidad** del micrófono. En la **Figura 8.1** se muestran las formas de onda de la presión y la tensión.

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

$$S = \frac{v}{p} .$$

Recordemos que la unidad que se utiliza internacionalmente para medir la presión es el **pascal**, abreviado **Pa** (que equivale aproximadamente a **10 millonésimas**, es decir **1 cienmilésima**, de la presión atmosférica), de modo que la sensibilidad de un micrófono se expresa en volts por pascal (**V/Pa**). Otra manera muy difundida de expresar la sensibilidad es en **dB** referidos a **1 V/Pa**. En ese caso, llamando **sensibilidad de referencia**,  $S_{\text{ref}}$ , a **1 V/Pa**, se obtiene con esta fórmula:

$$S|_{\text{dB}} = 20 \log_{10} \frac{S}{S_{\text{ref}}} .$$



**Figura 8.1.** Presión sonora y su análogo, la tensión generada por un micrófono.

Por ejemplo, un micrófono que ante una presión sonora de **0,2 Pa** desarrolla una tensión de **1 mV**, tendrá una sensibilidad

$$S = \frac{0,001 \text{ V}}{0,2 \text{ Pa}} = 0,005 \frac{\text{V}}{\text{Pa}} ,$$

que en **dB** será

$$S|_{\text{dB}} = 20 \log_{10} \frac{0,005}{1} = -46 \text{ dB} .$$

El signo (-) es porque la sensibilidad es menor que la de referencia, es decir debe calcularse el logaritmo de un número menor que **1**, que es negativo.

**NOTA:** A veces (especialmente en especificaciones de micrófonos que llevan muchos años en el mercado), en lugar de utilizar como referencia **1 V/Pa** se utiliza **1 V/μbar**. El **μbar** (**microbar**) es una unidad de presión igual a **0,1 Pa**, por lo cual la sensibilidad referida a **1 V/μbar** resulta **20 dB** menor (más negativa) que al referirla a **1 V/Pa**. Así, en el ejemplo anterior tendríamos  $S|_{\text{dB ref 1 V/μbar}} = -66 \text{ dB}$ .

Como segundo ejemplo, nos preguntamos qué tensión proporcionará este mismo micrófono ante un nivel de presión sonora de **94 dB**. Sabemos que

$$94 \text{ dB} = 20 \log_{10} \frac{P}{P_{\text{ref}}} ,$$

donde  $P_{\text{ref}}$  es la presión de referencia, que expresada en **micropascales**, **μPa** (es decir  $1/1.000.000$  de **pascal**), es **20 μPa**. Nos interesa obtener **P**. Para ello, primero escribimos

$$\log_{10} \frac{P}{P_{\text{ref}}} = \frac{94}{20} = 4,7 .$$

De allí, aplicando la operación inversa del logaritmo, que consiste en elevar **10** a una potencia igual al logaritmo, se tiene

$$\frac{P}{P_{\text{ref}}} = 10^{4,7} = 50119 .$$

Entonces

$$P = 50119 \times P_{\text{ref}} = 50119 \times 20 \mu\text{Pa} \cong 1 \text{ Pa} .$$

El valor de **94 dB** es un valor bastante utilizado precisamente porque corresponde a una presión sonora de **1 Pa**. Con este valor, conociendo la sensibilidad, se obtiene la tensión:

$$V = S \times P = 0,005 \times 1 = 0,005 \text{ V} .$$

La señal de 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 para los micrófonos*, así como **preamplificadores** de bajo ruido.

Para simplificar el cálculo de la presión, la **Tabla 8.1**, reproducida del capítulo 1, da la equivalencia entre la presión y el nivel de presión sonora para varios valores.

**Tabla 8.1.** Conversión entre el valor de la presión y el nivel de presión sonora.

| NPS (dB) | P (Pa)   |
|----------|----------|
| 120      | 20,0     |
| 110      | 6,3      |
| 105      | 3,6      |
| 100      | 2,0      |
| 95       | 1,1      |
| 90       | 0,63     |
| 85       | 0,36     |
| 80       | 0,20     |
| 75       | 0,11     |
| 70       | 0,063    |
| 60       | 0,020    |
| 50       | 0,0063   |
| 40       | 0,0020   |
| 30       | 0,00063  |
| 20       | 0,00020  |
| 10       | 0,000063 |
| 0        | 0,000020 |

### 8.3. Respuesta en frecuencia

Una característica importante de cualquier componente de un sistema que procesa señal, en particular de los micrófonos, es su **respuesta en frecuencia**. La **respuesta en frecuencia** de un micrófono es una gráfica que indica la sensibilidad en **dB** en función de la frecuencia. El aspecto típico de la respuesta en frecuencia de un micrófono se muestra en la **Figura 8.2**. Se observa que la respuesta *no es plana*, vale decir que no es

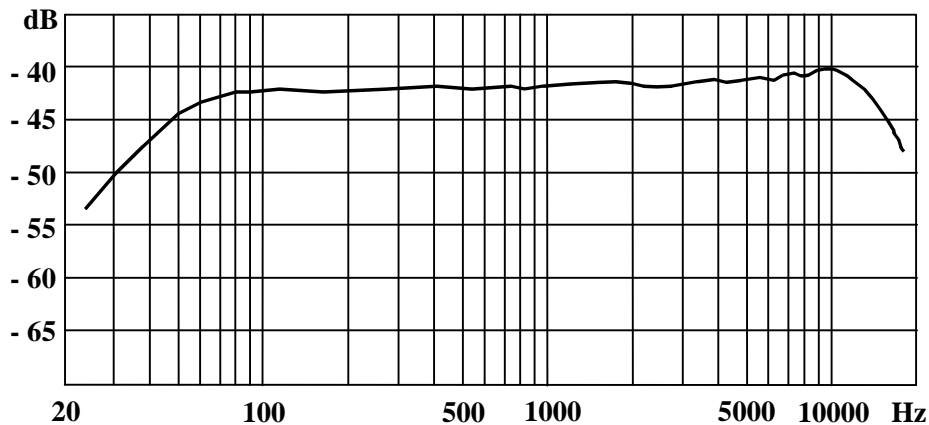


Figura 8.2. Curva de la respuesta en frecuencia de un micrófono típico.

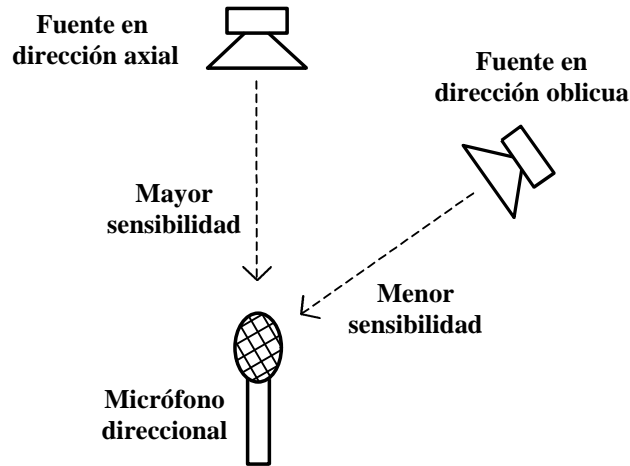
constante con la frecuencia. Esto significa que ante dos sonidos de diferente frecuencia, por ejemplo **30 Hz** y **10 kHz**, pero *idéntica amplitud*, el micrófono generará *tensiones diferentes*. En este ejemplo, la sensibilidad para **30 Hz** es de **-50 dB**, mientras que para **10 kHz** es de **-40 dB**, lo cual hace una diferencia de **10 dB**. Esto implica que la tensión generada por el micrófono a **10 kHz** será (a cálculo hecho) más de **3** veces mayor que la generada a **30 Hz**.

También se nota en la respuesta cierta *irregularidad* (fluctuaciones) en alta frecuencia. Esto es una consecuencia directa de que la longitud de onda a esas frecuencias ya es comparable al tamaño del micrófono (por ejemplo a **10 kHz** la longitud de onda es de **3,45 cm**), lo cual hace que el propio micrófono interfiera en el campo sonoro causando el equivalente de “sombras” acústicas sobre sí mismo, que dependen mucho de la longitud de onda.

Finalmente, se aprecia que existe una banda de frecuencias, que en el ejemplo abarca desde alrededor de **50 Hz** hasta unos **15.000 Hz**, en que la respuesta es bastante plana. Los extremos se denominan respectivamente **frecuencia inferior** y **frecuencia superior**, definidas como aquellas frecuencias por debajo de la cual y por encima de la cual la sensibilidad cae **3 dB** (o en algunas especificaciones, **1 dB**) por debajo del valor a **1 kHz**. Cuando se desea dar una idea rápida de la respuesta en frecuencia de un micrófono, se especifican las frecuencias inferior y superior, lo cual en general es suficiente para decidir si un micrófono es o no adecuado para determinada aplicación.

## 8.4. Direccionalidad

Otra característica importante en los micrófonos es su direccionalidad. Debido a su construcción, y a los principios de la Acústica, la sensibilidad de un micrófono varía según el ángulo respecto a su eje desde donde viene el sonido. En la **Figura 8.3** se ilustra este hecho.



**Figura 8.3.** Efecto sobre la sensibilidad de un micrófono direccional (por ejemplo cardioide) de las diversas orientaciones de la fuente.

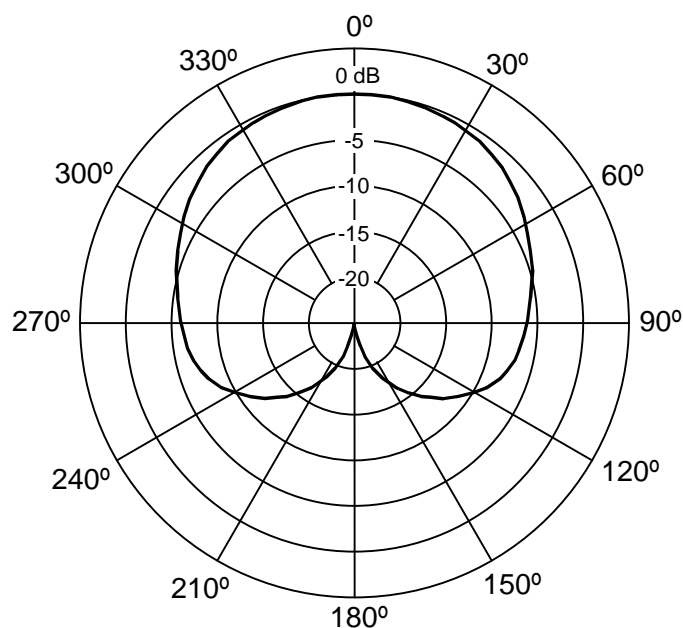
Se pueden indicar las características direccionales de un micrófono por medio de un **diagrama direccional** o **diagrama polar** como el que se muestra en la **Figura 8.4**.

En este tipo de diagrama se indica cómo varía de la sensibilidad del micrófono con el ángulo entre la fuente sonora y el **eje principal**, es decir aquella dirección de máxima sensibilidad. En el ejemplo de la **Figura 8.4**, por ejemplo, a los **90°** la sensibilidad es unos **6 dB** menor que en el eje principal.

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, comparable al tamaño del propio micrófono, que proyecta sobre sí mismo “sombras” acústicas que dependen de la orientación y de la longitud de onda (y por lo tanto de la frecuencia). En la **Figura 8.5** se repite el diagrama polar de la **Figura 8.4**, incluyendo otras dos frecuencias.

Se han popularizado varios **patrones direccionales**, cada uno destinado a un tipo dado de aplicaciones. El patrón **omnidireccional**, cuyo diagrama polar se ilustra en la **Figura 8.6**, tiene la misma sensibilidad en todas las direcciones, por lo cual no requiere ser enfocado hacia la fuente. Este tipo de micrófono se utiliza precisamente cuando se requiere captar sonido ambiental, sin importar su procedencia. Los micrófonos omnidireccionales, en general tienen menor variación del patrón polar con la frecuencia, razón por la cual no “colorean” el sonido proveniente de direcciones diferentes del eje principal, es decir que no presentan picos importantes en la respuesta en frecuencia.

En la **Figura 8.4** se muestra un patrón **cardioide**. Estos micrófonos son bastante direccionales, reduciéndose muchísimo su sensibilidad en la dirección opuesta a la principal (**180°**). Debido a su característica direccional, los micrófonos cardioides tienen la

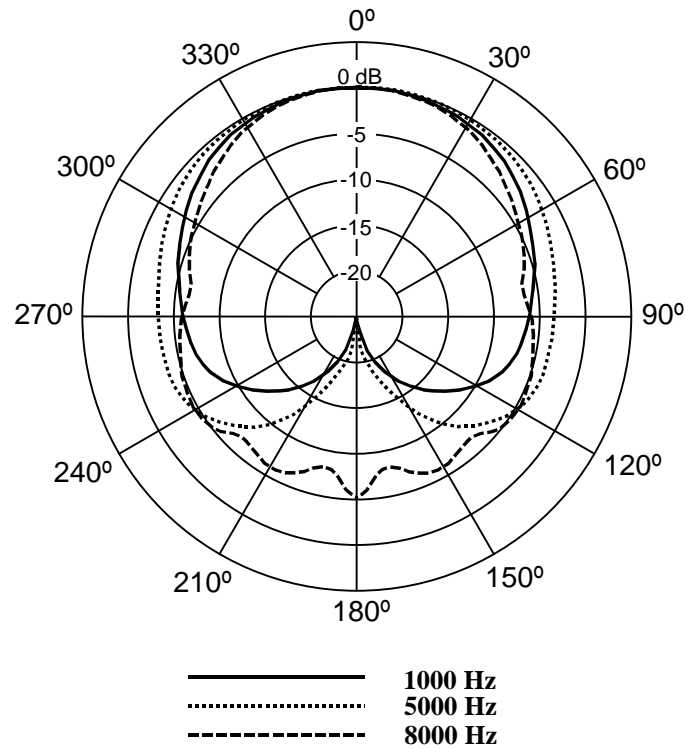


**Figura 8.4.** Un ejemplo de **diagrama direccional** o **diagrama polar** de micrófono. En él se indica cómo varía la sensibilidad con la dirección de procedencia del sonido, respecto a la sensibilidad máxima (**0 dB**), que corresponde a la dirección principal del micrófono. Este ejemplo corresponde a un micrófono **cardioide**.

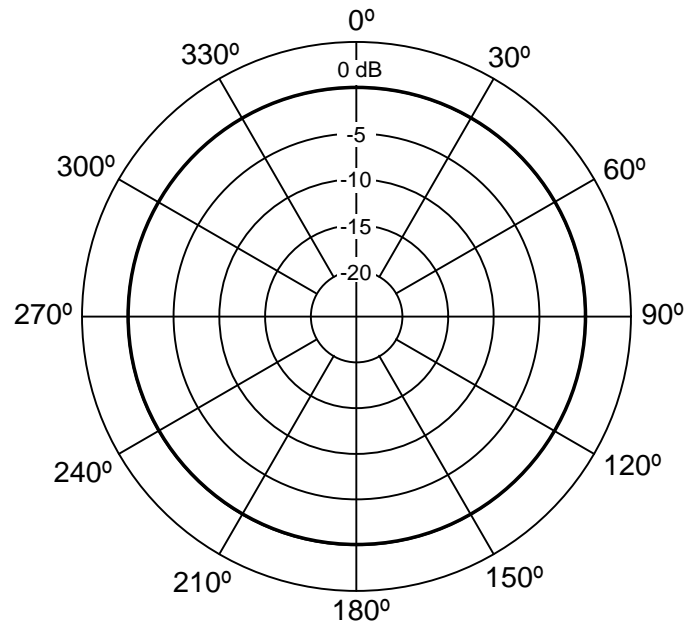
particularidad de que cuando la fuente se aproxima mucho al micrófono (**3 ó 4 cm**), la respuesta en frecuencia cambia, aumentando la sensibilidad en las bajas frecuencias. Esto se denomina **efecto de proximidad**, y es utilizado por los vocalistas para engrosar el tono de su voz.

Una de las principales aplicaciones del patrón cardioide (también llamado **direccional** o **unidireccional**) es la de tomar sonido de una fuente determinada cuya posición es bastante estable, como por ejemplo un instrumento musical, rechazando lo más posible los sonidos provenientes de otras fuentes. Así, la captación del ruido ambiente se reducirá considerablemente, ya que el ruido es *multidireccional*, es decir que proviene de todas las direcciones. Un micrófono omnidireccional, lo captará en su totalidad, mientras que uno cardioide tomará sólo una parte de dicho ruido.

Dado que en estos micrófonos el patrón polar *cambia bastante con la frecuencia* (**Figura 8.5**), al captar sonidos laterales, estos resultarán “filtrados”, acentuándose algunas frecuencias por sobre otras, lo cual implicará que dichos sonidos laterales estarán bastante distorsionados, o “coloreados”. Los micrófonos cardioides de mejor calidad están diseñados para evitar lo más posible estas fluctuaciones con la frecuencia de sus patrones polares.



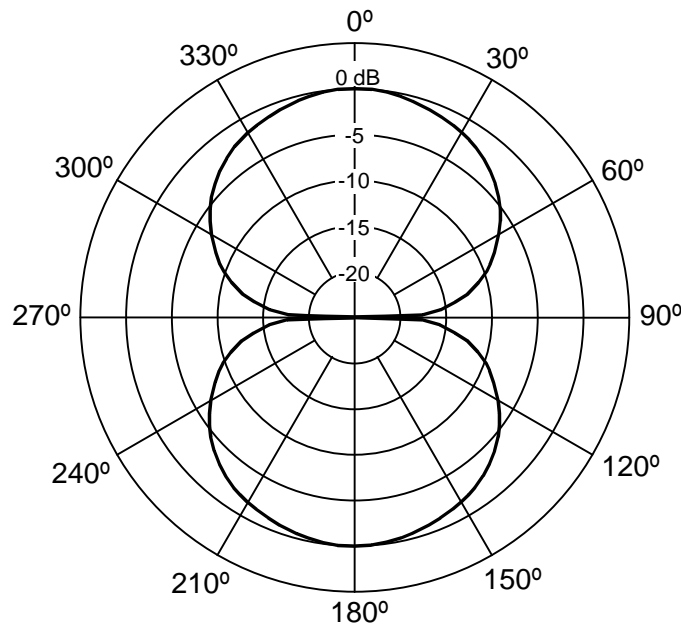
**Figura 8.5.** Variación con la frecuencia del diagrama polar del micrófono cardioide de la **Figura 8.4**. Las diferentes curvas responden al diferente patrón de “sombras” acústicas para cada longitud de onda.



**Figura 8.6.** Patrón polar **omnidireccional**

Otro patrón polar difundido es la **figura de ocho**, llamada así por tener la forma de un 8 (**Figura 8.7**). Este tipo de micrófono podría denominarse también **bidireccional**, ya que es fuertemente direccional en las dos direcciones paralelas al eje principal. En la dirección perpendicular a este eje, por el contrario, la sensibilidad es nula, por lo que permite eliminar casi por completo la captación de ruidos provenientes de dichas direcciones.

Como los cardioides, exhiben también el efecto de proximidad, aumentando la sensibilidad a los graves cuando la fuente se acerca mucho al micrófono.



**Figura 8.7.** Patrón polar **figura de ocho**.

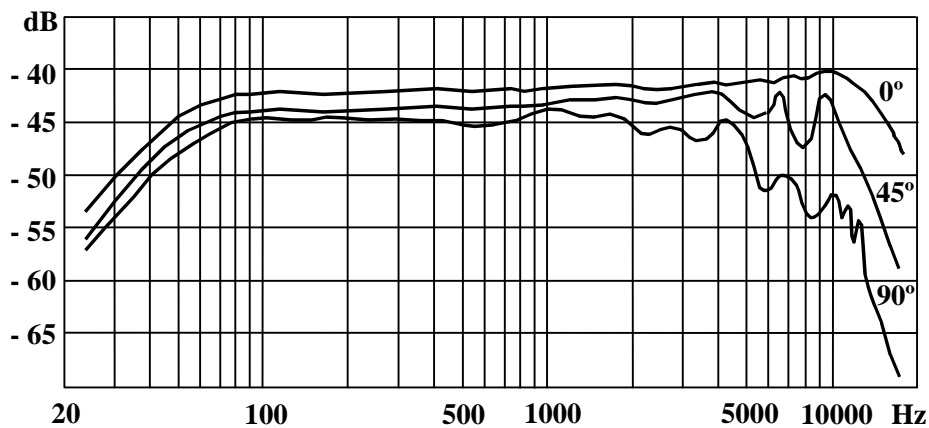
Dado que estos micrófonos se caracterizan por rechazar las señales acústicas provenientes de los lados de una fuente, son útiles para minimizar la captación de señal proveniente de un músico o cantante que se encuentra al lado del que se pretende tomar con el micrófono. También se utilizan para grabaciones estereofónicas (cuando se pretende crear la imagen sonora estéreo directamente desde la grabación y no por mezcla posterior), colocando para ello dos micrófonos a **90°** entre sí. Esta configuración se denomina **X-Y**. De esta forma, la señal captada por cada micrófono será rechazada por el otro, contribuyendo a crear una mayor independencia o separación de los canales.

Además de los tipos principales descriptos, existen en el mercado micrófonos con otros patrones polares, como por ejemplo el **subcardioide** (menos direccional que el cardioide), **hipercardioide** (similar al cardioide pero con un ángulo de captación todavía menor, a costa de la existencia de un pequeño lóbulo en la dirección opuesta a la principal), 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 indicaciones del fabricante.

En general, los micrófonos direccionales (cardioides, figura de ocho, hipercardioides, etc.) tienen peor respuesta en frecuencia que los omnidireccionales. Esto se



debe a que según se mostraba en la **Figura 8.5**, el patrón polar de los direccionales varía con la frecuencia, y por lo tanto para direcciones diferentes de la principal la respuesta en frecuencia tiene fluctuaciones más importantes que para la dirección principal. El resultado de esto es que el sonido proveniente de los costados no sólo estará más atenuado que el que proviene del frente (precisamente por la direccionalidad) sino que se verá más afectado en frecuencia, es decir estará “coloreado” (por ejemplo, tendrá tendencia a enfatizar los graves, u otras frecuencias específicas, produciendo respectivamente un sonido más sordo o algo metálico), como se muestra en el ejemplo de la **Figura 8.8**. En los mejores micrófonos, este detalle es tenido en cuenta, de modo que el patrón polar resulte más uniforme con la frecuencia, con lo cual el sonido proveniente de los costados sólo sonará más débil, y no además distorsionado.

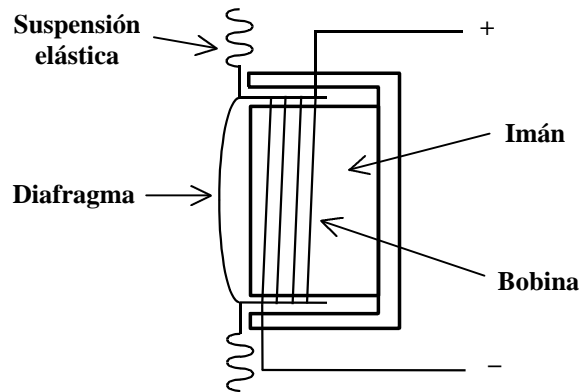


**Figura 8.8.** Respuesta en frecuencia de un micrófono direccional típico para diferentes ángulos respecto a la dirección principal:  $0^\circ$ ,  $45^\circ$  y  $90^\circ$ . Según se puede apreciar, las irregularidades en alta frecuencia se hacen mayores, introduciendo una mayor distorsión de frecuencia en la señal.

## 8.5. Micrófonos dinámicos

Existen varios mecanismos de conversión de energía sonora en energía eléctrica utilizados en los micrófonos. Los más habituales corresponden a los micrófonos dinámicos y los micrófonos capacitivos.

Los **micrófonos dinámicos**, también denominados **de bobina móvil**, están constituidos por una bobina con varias espiras de alambre de cobre que se desplaza en forma oscilante a lo largo de un núcleo cilíndrico de imán. La bobina es impulsada por un diafragma que vibra en concordancia con las variaciones de presión de una onda sonora (**Figura 8.9**). De la física se sabe que cuando una bobina se mueve dentro de un campo magnético (en este caso el del imán) se genera en sus terminales una tensión eléctrica denominada **fuerza electromotriz**, y éste es precisamente el principio de operación de los micrófonos dinámicos (véase el capítulo 23 para mayores detalles).



**Figura 8.9.** Diagrama esquemático constructivo de un micrófono **dinámico** o de **bobina móvil**. Las variaciones de presión causadas por una onda sonora imprimen movimiento al diafragma, el cual arrastra consigo a la bobina. El movimiento de la bobina respecto al imán genera una tensión eléctrica entre los terminales + y - del micrófono.

Los micrófonos dinámicos generan tensiones bastante pequeñas, del orden de **1 a 4 mV/Pa** (milivolt por pascal). 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 (sería equivalente a intentar sacudir rápidamente un objeto muy pesado). De todas maneras, aún con pocas espiras (y por lo tanto baja sensibilidad) el comportamiento en alta frecuencia está limitado en general a unos **16 kHz**. Actualmente, 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.

Otra desventaja de los micrófonos dinámicos es que el denominado **ruido de manipulación** (es decir el 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 para mejorar la respuesta en las altas y bajas frecuencias. El primer factor (inercia de la bobina) implica que al mover el micrófono la bobina tiende a permanecer inmóvil, creándose un movimiento relativo entre la bobina y el imán (ya que éste se ha desplazado junto con el cuerpo del micrófono) 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 (agregado de resonancias) implica que el ruido que se produce al tocar el micrófono se vea amplificado, especialmente en baja frecuencia, generando también ruido eléctrico.

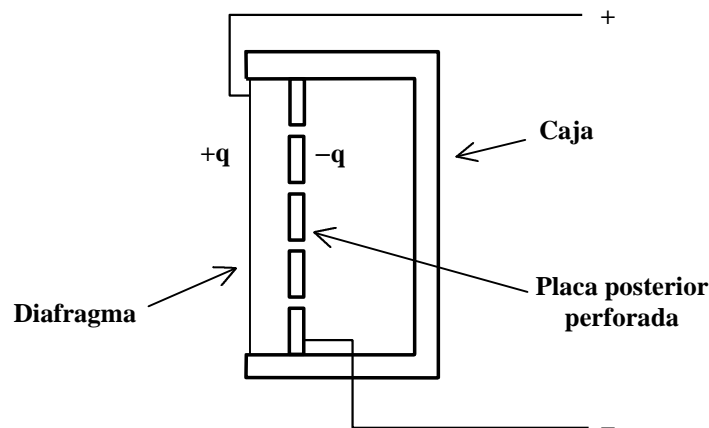
La ventaja principal de este tipo de micrófonos es su robustez y tolerancia a condiciones adversas de operación, como variaciones de temperatura o humedad, grandes niveles de presión sonora, golpes y sacudidas, etc., por lo cual son especialmente aptos para el sonido en vivo. Otra ventaja es que no requieren fuentes de alimentación propias para generar señal eléctrica en respuesta a un sonido.

## 8.6. Micrófonos capacitivos

Los **micrófonos capacitivos** (también denominados **de capacitor, 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 (**Figura 8.10**). 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. La ecuación fundamental de un condensador es

$$V = \frac{q}{C}$$

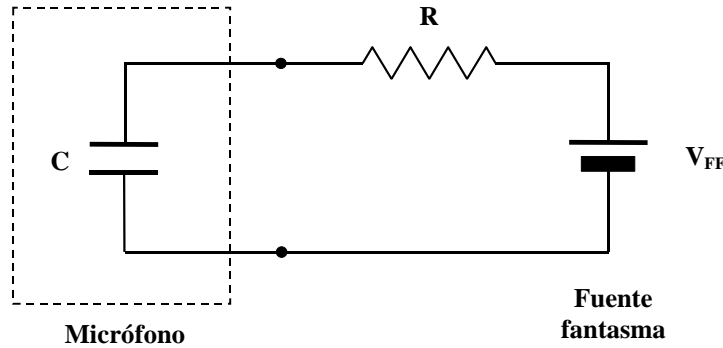
donde  $V$  es la tensión en sus terminales,  $q$  es la carga eléctrica en sus terminales, y  $C$  es el valor de la capacidad asociada al condensador. Si de alguna manera se consigue cargar las placas del condensador con una carga fija  $q$ , al variar la capacidad  $C$  variará también la tensión  $V$  que se mide entre los terminales. Este es el principio físico de funcionamiento de los micrófonos capacitivos.



**Figura 8.10.** 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.

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 8.11**. Esta fuente puede ser o

bien una pila o batería incorporada al propio cuerpo del micrófono, o una fuente remota ubicada en la consola o en el preamplificador, denominada **fente fantasma (phantom power)**. Esta fuente puede tener un valor comprendido entre **1,5 V** y **48 V** según el modelo de micrófono.



**Figura 8.11.** Polarización de un micrófono capacitivo mediante una fuente externa o **fente fantasma (phantom power)**. La fuente  $V_{FF}$  suministra la carga necesaria para que las variaciones de capacidad permitan obtener variaciones de tensión.

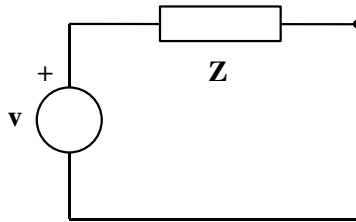
En la actualidad se encuentra muy difundido un tipo de micrófono a condensador **prepolarizado**, es decir con una polarización interna intrínseca, que en principio no requiere la utilización de una fuente fantasma. Son los denominados **electret**, y se caracterizan porque una de las placas contiene una película aislante especial en la cual se han introducido, durante la fabricación, cargas eléctricas que quedan atrapadas en la estructura interna sin posibilidad de escapar.

De todas maneras, todos los micrófonos capacitivos vienen con un amplificador interno que requiere algún tipo de alimentación. Esto se debe a que la impedancia interna (ver próximo párrafo) de un micrófono capacitivo básico es demasiado alta, por lo cual se utiliza un preamplificador sencillo (habitualmente formado por un transistor de efecto de campo) para reducir la impedancia (amplificador de corriente). Esto es necesario para minimizar la captación de ruidos en los cables largos.

## 8.7. Impedancia

La impedancia interna de un micrófono está vinculada con su modelo circuital o modelo eléctrico, que está constituido por una fuente de tensión y una impedancia, como se muestra en la **Figura 8.12**. Existen micrófonos de alta impedancia (superior a los **10.000  $\Omega$** , es decir **10 k $\Omega$** ) y de baja impedancia (menor de **500  $\Omega$** ). En sonido profesional se utilizan casi exclusivamente los micrófonos de baja impedancia, porque son menos ruidosos, y ofrecen menos dificultades para el cableado, en especial cuando están involucradas grandes distancias (algunas decenas de metros), como suele suceder en el sonido en vivo. El nivel de la tensión de salida es, en general, muy pequeño, (del orden de algunos  **$\mu\text{V}$**  hasta unos **100 mV**), especialmente en los micrófonos de baja impedan-

cia, razón por la cual se requiere utilizar **preamplificadores** para elevar la tensión hasta el nivel normalmente requerido por las mezcladoras (consolas) de audio. Dichos preamplificadores por lo común están incorporados en las consolas de mezcla, y aparecen en las entradas de micrófono. *No deben confundirse estos preamplificadores con los amplificadores de conversión de impedancia incluidos en los micrófonos capacitivos (tanto los no prepolarizados como los prepolarizados o electret).*

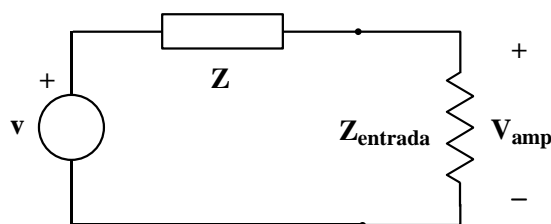


**Figura 8.12.** Modelo eléctrico de un micrófono, formado por una fuente de tensión  $v$  y una impedancia  $Z$ .

La impedancia de entrada de los preamplificadores debe ser mucho mayor que la del micrófono, para no ocasionar un efecto de divisor de tensión, lo cual redundaría en una disminución de la tensión efectiva en la entrada del preamplificador. El efecto de divisor de tensión se da siempre en conexiones como la indicada en la **Figura 8.13**. Resulta

$$V_{\text{amp}} = \frac{Z_{\text{entrada}}}{Z + Z_{\text{entrada}}} v ,$$

y por lo tanto cuanto más grande sea  $Z_{\text{entrada}}$  menor será la disminución de la tensión que recibe el preamplificador. En la práctica la impedancia de los micrófonos suele ser de unos  $200 \Omega$  y la de las entradas de micrófono de alrededor de  $1000 \Omega$ .



**Figura 8.13.** 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  $Z_{\text{entrada}}$ .

## 8.8. Ruido

En los micrófonos hay dos mecanismos de producción de ruido. El más evidente es la captación del **ruido ambiental**, y obedece al mismo principio de conversión de energía sonora en energía eléctrica que tiene lugar para los sonidos útiles. La reducción de este ruido está ligada a la reducción del propio ruido ambiente, y al aprovechamiento del patrón direccional para reducir los ruidos que provienen de direcciones distintas de la de la señal útil (una voz o instrumento).

El otro mecanismo es el característico de cualquier componente de un circuito, es decir el **ruido eléctrico**. Es un ruido intrínseco del micrófono, y aparecería aún ubicándolo en una cámara totalmente insonorizada (silenciosa). Este ruido sólo puede reducirse (pero no eliminarse) diseñando el micrófono de modo de que posea muy baja impedancia (por ejemplo **100 Ω**), y además utilizando en su fabricación materiales de gran calidad y procesos de manufactura sumamente refinados. Es interesante saber que un micrófono de **100 Ω** tiene como mínimo un ruido eléctrico de **0,18 μV**, y que este ruido se duplica cada vez que la impedancia se cuadruplica. En la especificación de un micrófono sólo tiene sentido especificar el ruido eléctrico, ya que el otro depende del nivel de ruido acústico del ambiente en donde se usa el micrófono, y por lo tanto no es atribuible del micrófono.

Existen dos formas de especificar el ruido eléctrico. La primera consiste en asociarlo a un nivel de presión sonora equivalente, por ejemplo **17 dB**. En otras palabras, se asimila el ruido eléctrico, que corresponde a un valor pequeño de tensión, a la respuesta hipotética de un micrófono sin ruido propio ante un ruido ambiente del valor indicado. Esta especificación sugiere cuál es el mínimo nivel sonoro para el cual tendrá sentido utilizar este micrófono. Si se intentara captar con ese micrófono un sonido de menor nivel, el ruido propio del micrófono sería más intenso que el sonido a captar, con un serio deterioro de la calidad sonora, o hasta el franco enmascaramiento de la señal por el ruido. (*Obsérvese que el solo hecho de que un sonido sea menor que otro no necesariamente implica que sea enmascarado por aquél, aunque sí severamente degradado. Como regla general, un sonido debe estar en la misma banda de frecuencias y entre 15 y 20 dB por debajo de otro para resultar enmascarado.*)

La segunda forma de especificar el ruido de un micrófono, es a través del concepto de **relación señal/ruido**. Se define la relación señal/ruido como el cociente entre la señal y el ruido, y a menudo se la expresa en **dB**:

$$S/R|_{dB} = 20 \log_{10} \frac{\text{señal}}{\text{ruido}} .$$

Si, por ejemplo, la señal es de **2 mV** y el ruido de **1 μV (= 0,001 mV)**, resulta

$$S/R|_{dB} = 20 \log_{10} \frac{2 \text{ mV}}{0,001 \text{ mV}} = 20 \log_{10} 2000 = 66 \text{ dB} .$$

El mismo valor se obtendría si, por ejemplo, el nivel de la señal fuera de **200 mV** y el nivel de ruido de **100 μV (= 0,1 mV)**.

Como puede deducirse, para que esta especificación tenga sentido es muy importante incluir el nivel de la señal que se está utilizando en la especificación. Así, la mis-

ma cifra de **66 dB** representaría una muy buena relación señal/ruido si la señal utilizada fuera muy pequeña, y en cambio sería muy mala si la señal fuera la máxima que puede manejar el micrófono.

Normalmente la especificación de la señal no se da en **mV**, sino en **Pa** (presión) o en **dB** (nivel de presión sonora), y se incluye la frecuencia de la señal. Una posible especificación podría ser:

$$\text{S/R: } 50 \text{ dB a } 1 \text{ kHz; } 0,1 \text{ Pa}$$

o bien

$$\text{S/R: } 50 \text{ dB a } 1 \text{ kHz; } 74 \text{ dB NPS .}$$

(Obsérvese que estas especificaciones son idénticas, ya que una presión de **0,1 Pa** corresponde a un nivel de presión sonora de **74 dB**). En el segundo caso es fácil obtener el nivel de presión sonora equivalente al ruido eléctrico:

$$\text{NPS}_{\text{equivalente}} = 74 \text{ dB} - 50 \text{ dB} = 24 \text{ dB} .$$

Esto significa que el límite inferior de utilidad del micrófono es de **24 dB** de nivel de presión sonora.

## 8.9. Distorsión

Otra especificación de interés en los micrófonos es la 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. Cuando la señal es una onda senoidal, la distorsión se manifiesta como la aparición de cierta cantidad de armónicos. Así, si la señal (en este caso una presión sonora) era de **500 Hz**, por ejemplo, la señal resultante (en este caso la tensión eléctrica generada por el micrófono) contendrá principalmente una onda senoidal de **500 Hz** pero también contendrá armónicos de dicha frecuencia, vale decir, senoides de frecuencia **1000 Hz, 1500 Hz, 2000 Hz**, etc. 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 se suele expresar 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:

$$\text{THD} = \frac{0,05 \text{ mV}}{5 \text{ mV}} = 0,01 = 1\%$$

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. Una posible especificación podría ser:

$$\text{THD: } 1 \% \text{ a } 125 \text{ dB NPS .}$$

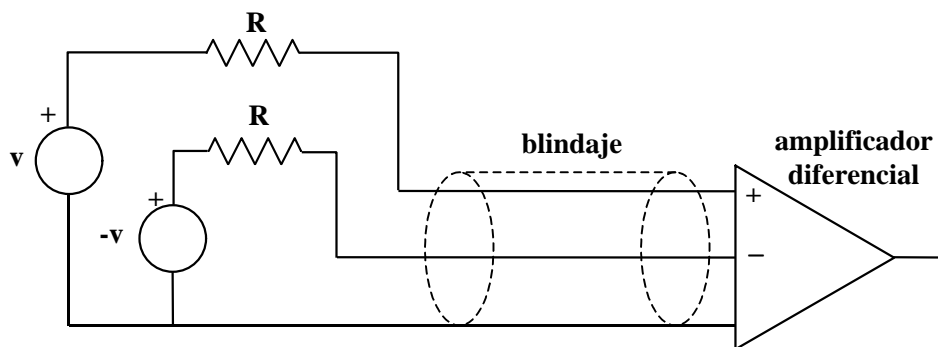
Otra forma de expresar lo mismo sería:

**Máximo NPS: 125 dB a 1% THD .**

El valor máximo, salvo que se indique lo contrario, representa un **nivel operativo**, y no un **nivel de seguridad**. La diferencia entre ambos es que el nivel operativo es un nivel para el cual el micrófono todavía está funcionando razonablemente bien, mientras que el nivel de seguridad es aquel superado el cual el micrófono puede deteriorarse. No superar este valor asegura que el dispositivo no se destruye, pero no que funcione satisfactoriamente. Si se reduce la señal hasta el nivel operativo, el funcionamiento volverá a ser correcto.

## 8.10. Conexión balanceada

A las especificaciones relativas a la performance del micrófono, se agregan otras de carácter más administrativo que operativo. Una de ellas es el tipo de conexión y cableado. Existen dos tipos de conexión clásicas. La más básica es la conexión **simple** o **no balanceada**, que consiste en dos conductores que unen la cápsula del micrófono al amplificador. Por regla general uno de los conductores rodea al otro formando un mallado o blindaje electrostático cuya finalidad es minimizar la captación de ruido eléctrico por **efecto antena**. Dicho conductor se conecta normalmente a la masa de la alimentación del amplificador. La otra conexión es la de tipo **balanceado**. En este caso se utilizan tres conductores. Uno de ellos forma también un mallado y actúa como blindaje para los otros, que van por dentro. La característica más importante es que estos conductores llevan señales de signo opuesto con respecto a la malla. Es decir que si en determinado momento uno tiene una tensión de **1 mV**, el otro tendrá una tensión de **-1 mV**. La finalidad de esto es reducir mucho más la captación de ruido eléctrico por los cables, particularmente el ruido inducido por acoplamiento electromagnético, que no es fácil de controlar debido a las dificultades para implementar un adecuado blindaje magnético. Esta inmunidad se logra utilizando como preamplificador un amplificador diferencial, es decir un amplificador que amplifica la diferencia entre las tensiones de sus dos entradas (**Figura 8.14**).



**Figura 8.14.** Estructura de una conexión balanceada. El cable de conexión tiene tres conductores, uno de los cuales es el blindaje.

Supongamos que  $v = 1 \text{ mV}$ , y que a causa del efecto antena se genera en cada cable de conexión una tensión de ruido de **10 mV**. Entonces la tensión que llega al ter-



minal **no inversor** (+) es de **11 mV**, mientras que la que llega al terminal **inversor** (-) es de **9 mV**. El amplificador diferencial amplifica la diferencia,

$$11 \text{ mV} - 9 \text{ mV} = 2 \text{ mV} ,$$

que es *la misma tensión* que se obtendría si los cables no captaran ruido:

$$1 \text{ mV} - (-1 \text{ mV}) = 2 \text{ mV} .$$

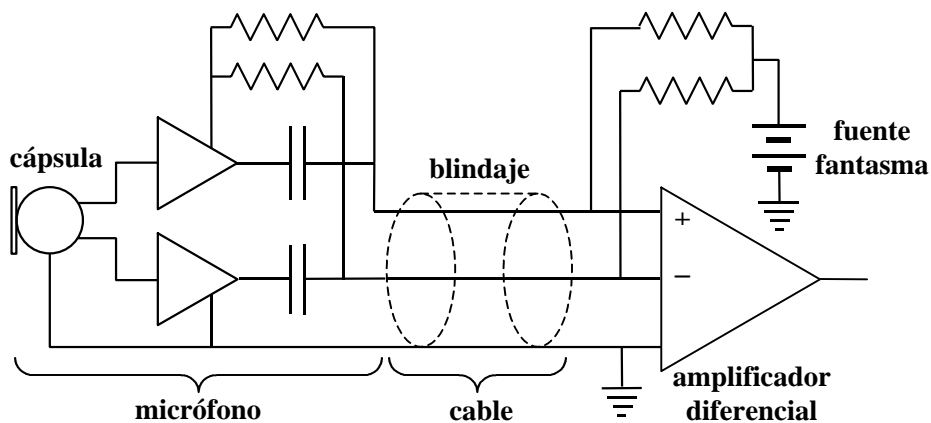
Debe observarse que el hecho de que se genere en los dos terminales *la misma* tensión (en el ejemplo, **10 mV**) se debe a que los dos conductores se encuentran físicamente muy próximos entre sí, y por lo tanto están prácticamente a la misma distancia del elemento que ocasiona el campo electrostático (un cable de distribución domiciliar de **220 V**, un tubo fluorescente, un motor, etc.). Esta tensión idéntica en ambos conductores balanceados se denomina tensión de **modo común**.

**NOTA:** Podría preguntarse por qué no sucede lo mismo en el cable de masa (la malla). Ello se debe a que el cable de masa está siempre conectado a circuitos de *muy baja impedancia*, lo cual atenúa mucho la captación de ruido.

El conector para lograr la conexión balanceada se denomina habitualmente **XLR**, aunque también se lo conoce como **Cannon**, que fue la primera marca comercial que lo introdujo.

## 8.11. Fuente fantasma

Finalmente, en los micrófonos capacitivos (a condensador), se especifica la alimentación, que puede ser con pila o batería ubicada en el mismo cuerpo del micrófono,



**Figura 8.15.** Esquema del conexionado de la **fuente fantasma**. La salida de la cápsula (condensador) se conecta a unos amplificadores cuya finalidad es la de reducir la impedancia naturalmente muy alta del condensador. El usuario sólo debe preocuparse por el cableado, ya que la conexión interna del micrófono y del amplificador diferencial de entrada de la consola ya vienen ensambladas de fábrica.

o con **fente fantasma** o remota. La fuente fantasma se utiliza en los micrófonos con conexión balanceada, y su estructura circuital se muestra en la **Figura 8.15**. Las salidas de la cápsula (condensador) ingresan a unos amplificadores cuya única finalidad es la de reducir la impedancia excesivamente alta del condensador hasta los niveles requeridos (según vimos, algunos cientos de ohm). Estos amplificadores, así como la propia cápsula, requieren alimentación, la cual llega de la consola por medio de sendas resistencias (como la potencia requerida es pequeña, estas resistencias no implican un inconveniente). Luego siguen dos capacitores cuya finalidad es eliminar las corrientes continuas, y dejar pasar sólo las frecuencias de audio. Estos capacitores son de valor mucho más alto que los de la cápsula, por lo que su impedancia es muchísimo menor, y por lo tanto no destruyen el efecto de los amplificadores mencionados. Los capacitores se conectan (por medio del conector **XLR**) al cable y luego a la consola, donde las dos señales complementarias ingresan al amplificador diferencial. La fuente fantasma, que hoy en día se encuentra habitualmente incorporada a la consola, aplica la misma tensión a las líneas de señal por medio de otro par de resistencias. Dado que el amplificador es diferencial, la tensión agregada no influye por ser igual en ambas entradas (por la misma razón por la cual la conexión balanceada rechaza el ruido de modo común).

Debido que no todos los micrófonos son de condensador, es lógico preguntarse qué sucede cuando se conecta un micrófono dinámico, por ejemplo, a la entrada de micrófono con fuente fantasma. Si el micrófono es balanceado (se supone que todos los de buena calidad profesional lo son), no sucede nada, ya que se aplica la misma tensión a ambas partes de la cápsula, con lo cual la tensión aplicada es nula. Pero si el micrófono fuera no balanceado, la tensión estaría aplicada directamente a la bobina, lo cual sería potencialmente muy perjudicial para el micrófono, pudiendo fácilmente destruirse. Existen algunos micrófonos dinámicos pseudobalanceados, es decir que por compatibilidad de conexión tienen conector **XLR**, pero no son realmente balanceados. Habitualmente, las consolas tienen un interruptor que permite conectar o desconectar la fuente fantasma, por lo cual, ante la duda, siempre convendrá desconectarla si no se están empleando micrófonos de condensador. Lamentablemente, no todas las consolas tienen una fuente fantasma por cada canal, por lo cual este interruptor habilita o deshabilita la fuente fantasma para todos los canales simultáneamente.

Antes de abandonar el tema de los micrófonos, comentemos que existen otros tipos de micrófonos, como los piezoeléctricos, los de cinta y los de carbón. Los de cinta han encontrado algún lugar en el audio profesional, pero en general los más utilizados son los ya estudiados de condensador y dinámicos.