

## **ACÚSTICA**

**Acústica Numérica.** Es un soporte fundamental de alguno de los campos de la ingeniería acústica, como el control de ruido y vibraciones.

**Electroacústica.** Entendemos por electroacústica como la parte de la ingeniería acústica que estudia las técnicas que permiten realizar la mencionada conversión y las aplica en el diseño de los transductores apropiados a cada caso. Agrupar en electroacústica dispositivos tales como: micrófonos, altavoces, pantallas acústicas, acelerómetros, hidrófonos y transductores ultrasónicos.

**Acústica Arquitectónica.** Esta disciplina trata con dos cuestiones totalmente diferentes y a menudo mezcladas y confundidas:

- **El aislamiento acústico.** Agrupa todas las técnicas de control de ruido en edificios. Para ello, debe tenerse un buen conocimiento de las vías de propagación del sonido en edificios y de qué actuaciones son factibles para controlar la transmisión por cada una de ellas.
- **Acondicionamiento acústico.** Engloba a todas las técnicas necesarias para controlar las características del campo acústico dentro de una sala.

**Psicoacústica.** Estudia cómo reacciona una persona ante determinados estímulos acústicos. Es la fuente de la que beben gran parte de los desarrollos más espectaculares dentro del audio digital de los últimos años.

**El sonido.** Es una perturbación que se propaga a través de un fluido. Esta perturbación puede ser debida a cambios locales de presión, velocidad vibratoria, o densidad. Esta onda vibratoria puede ser percibida por el ser humano en frecuencias comprendidas entre 20 Hz y 20 KHz. Las componentes frecuenciales que quedan por debajo del límite inferior reciben el nombre de Infrasonidos y aquellas que superan el umbral superior se denominan Ultrasonidos.

La velocidad del sonido en el aire, es de 0° C, de 331 m/s, y para el mismo medio, a 20° C, de 343 m/s, con lo que podemos deducir que varía con la temperatura. Normalmente se considera como valor estándar para los cálculos 340 m/s (1224 km/h). Si llamamos a la longitud de onda y la definimos como la distancia entre dos valores máximos sucesivos o entre dos valores mínimos sucesivos de presión de una onda plana (onda que se propaga, alejándose de la fuente, en una única dirección), y sabiendo que la velocidad es igual al cociente entre el espacio recorrido y el tiempo que se tarda, podemos deducir que la velocidad de propagación del sonido en un medio dado es:  $v = \lambda / T$ , donde  $v$  es la velocidad del sonido y  $T$  es el periodo.

**El ruido.** Podemos definir Ruido como todo sonido indeseado que interfiere con la señal que se desea percibir. En este apartado se aborda una clasificación genérica del ruido en dos dominios: tiempo y frecuencia. Hay varios tipos:

### **Caracterización en frecuencia:**

- **Ruido Blanco.** Se trata de un tipo de ruido con espectro plano. Tiene la misma energía en todas las frecuencias.
- **Ruido Rosa.** Se utiliza como señal de referencia para la realización de todas las medidas acústicas en las que se debe realizar una descomposición de la señal en bandas de octava o fracción de octava.
- **Ruido Tonal.** Ruido cuyo espectro presenta una marcada componente tonal. Habitualmente presenta armónicos de la frecuencia fundamental. Dependiendo de la frecuencia fundamental del tono, este tipo de ruido puede llegar a ser muy molesto.

### **Caracterización temporal:**

- **Ruido Estacionario.** En este tipo de ruido el nivel de presión sonora permanece constante en el tiempo.
- **Ruido Fluctuante.** Ruido cuyo nivel de presión sonora varía. Las fluctuaciones pueden ser periódicas o no periódicas.
- **Ruido Intermitente.** Ruido que aparece solamente en determinados instantes.
- **Ruido Impulsivo.** Ruido que presenta impulsos cortos de nivel muy superior al ruido de fondo. Los impulsos pueden presentarse aislados o ser repetitivos.

### **Recomendaciones para el control de ruido estructural**

Si se conectan o intercalan entre materiales más rígidos se puede solucionar en buena medida el problema de la transmisión por vía sólida. Estos materiales absorbentes pueden dividirse en tres grupos:

- **Antivibradores metálicos:** se trata, de muelles de acero al carbono, con gran capacidad de deformación elástica bajo carga. Se recomiendan para aislar frecuencias bajas. Antivibradores de caucho: se componen de material sometido a proceso de vulcanización. Tienen menor capacidad de deformación que los metálicos. Tienen una buena amortiguación interna absorbiendo muy bien los impactos. Se utilizan para frecuencias ligeramente mayores que las de los metálicos.
- **Lanas minerales:** las lanas de vidrio y roca, con las densidades precisas, actúan como elementos amortiguadores con valores aceptables de trabajo para frecuencias superiores a 30 Hz. Esto se consigue gracias a la baja rigidez dinámica de este tipo de materiales.

Después de conocer estos materiales típicamente utilizados pasamos a resumir las recomendaciones básicas para el problema de aislamiento al ruido de transmisión estructural:

- Se tratará de mantener alejadas las posibles fuentes de ruido, de las vías frecuentes de transmisión como son las tuberías, marcos metálicos, vigas, etc.
- Reducción de las vibraciones en la fuente. Esto puede conseguirse poniendo las máquinas sobre estructuras o suelos flotantes, evitando contacto directo con la estructura.
- Evitar la propagación de ondas longitudinales a través de la estructura, introduciendo elementos antivibratorios.
- Dificultando el ruido de impactos, con el diseño adecuado del suelo. Si además cubrimos el suelo con materiales elásticos como gomas o moquetas lograremos reducir los impactos de pisadas u otros que se puedan producir.

Cuando se haya determinado el aislamiento acústico necesario se recomienda incrementar este en 5 ó 10 dB como margen de seguridad para solucionar posibles deficiencias de aislamiento imputables al material o a la forma de montaje.

### **Suelos flotantes**

La instalación de suelos flotantes en el local origen de las molestias por ruido, resulta muy útil, ya que evitan que el forjado, excitado bien por impacto directo o por campo acústico. En la siguiente figura se muestra un esquema en el que se incluye las principales recomendaciones para el montaje del suelo.

### **Falsos techos. Techos acústicos**

La labor de un techo acústico es doble: por una parte mejora el ambiente acústico en el local, si se selecciona un modelo con un coeficiente de absorción acústico alto, y además si se monta adecuadamente permite incrementar el aislamiento a ruido aéreo del forjado. La figura siguiente muestra un esquema del montaje de

un falso techo.

**La presión.** La podemos definir como la fuerza ejercida por unidad de superficie. Por tanto, la presión  $P$  es directamente proporcional a la fuerza ejercida  $E$ , e inversamente proporcional a la superficie  $S$  donde se aplica dicha fuerza. De esta forma se obtiene la siguiente expresión:  $P=E/S$ .

Podemos considerar al sonido en su doble vertiente:

- Fenómeno físico, que consiste en una vibración mecánica que se desplaza por un medio elástico y que es capaz de producir una sensación auditiva.
- Fenómeno fisiológico, en este caso es una sensación auditiva producida por una vibración mecánica que ha utilizado un medio elástico para propagarse.

El movimiento de las partículas del medio portador de la onda vibra perpendicular a la dirección de propagación de las ondas, se trata de una **onda transversal**.

Las **ondas longitudinales** son aquellas en las que el movimiento de las partículas del medio, alrededor de su posición de equilibrio, son vibraciones realizadas a lo largo de la misma dirección en que se propaga el movimiento de las ondas.

#### **Valores instantáneo, eficaz, máximo y medio de una señal sonora**

- **Valor instantáneo.** Es aquel que toma la señal en cada instante de tiempo. La unidad depende del valor instantáneo considerado: tensión, intensidad, presión, etc. Se suelen representar por letras minúsculas  $v$ ,  $i$ ,  $p$ , etc.
- **Valor máximo.** De todos los valores comprendidos en un periodo, se denomina valor máximo al mayor de ellos. A este valor también se le denomina amplitud máxima de la señal alterna y otras veces valor de cresta o de pico.
- **Valor de pico a pico.** En el tratamiento de señales alternas, al valor comprendido entre dos picos consecutivos de polaridad opuesta se le denomina valor de pico a pico.
- **Valor eficaz o RMS.** Existen otros valores para el tratamiento de las ondas sinusoidales como la amplitud eficaz, que matemáticamente se obtiene hallando la raíz cuadrada de la media de los cuadrados de los valores instantáneos que toma la onda sinusoidal durante un periodo. En el tratamiento de las señales alternas, es el valor más importante para operar con ellas, pues con él se obtiene matemáticamente el mismo resultado que operando con valores instantáneos continuamente variables.
- **Valor medio.** Otra magnitud importante es el valor medio, que, junto con el valor eficaz, son los dos valores más utilizados para la comparación de señales alternas, ya que los valores instantáneos se caracterizan por su variabilidad. Matemáticamente, representa la media aritmética de todos los valores instantáneos que toma la onda sinusoidal durante un semiperiodo completo.

**La potencia sonora.** Se define como la energía irradiada al medio por unidad de tiempo. El símbolo que la define es  $W$ , la unidad en que se mide es el vatio.

**El tono o altura** es la cualidad de los sonidos que permiten distinguir entre las diferentes frecuencias del espectro de audio (graves, medios o agudos). El tono del sonido queda determinado por la frecuencia del mismo o por la frecuencia del sonido fundamental, cuando éste no es puro. Luego el tono o altura es una apreciación subjetiva del oyente.

**El timbre** es la característica que permite identificar los diferentes instrumentos musicales de un mismo tono y de igual intensidad, emitidos por fuentes sonoras de diferente naturaleza.

**La fase.** Llamamos fase al instante o posición en el que estamos analizando la onda.

### **Relación Señal/Ruido**

Esta característica de la señal de audio expresa sencillamente la relación de niveles existente entre la señal útil y el ruido de fondo que inevitablemente le acompaña. Esta relación se puede aplicar también a los equipos electrónicos de tratamiento de la señal de audio, refiriéndose entonces a la calidad de ruido que añaden a la señal útil durante el proceso de tratamiento de la señal de audio por estos equipos.

### **Reflexión del sonido**

Las reflexiones producidas dependen de tres factores:

- De la porosidad y la capacidad de absorción del material con el que chocan las ondas sonoras.
- Del tamaño del objeto que provoca la reflexión, por ejemplo, que tenga unas dimensiones mayores que la longitud de la onda incidente (frecuencia del sonido).
- Del ángulo de incidencia de la onda sonora sobre el material del obstáculo.

### **Refracción**

El mismo efecto de refracción que sucede en las ondas luminosas se da también en las ondas sonoras. La refracción no es más que el cambio de dirección de una onda sonora. Este efecto puede producirse al pasar la onda sonora de un medio de transmisión a otro, o dentro de un mismo medio. Generalmente, se debe a la diferencia de temperatura de éste o por otros factores; como sabemos, a mayor temperatura, mayor velocidad de propagación del sonido. Debido a que la temperatura no es igual en todas las capas del aire, esas diferencias de temperatura son las causantes de que se originen estas perturbaciones en la transmisión de las ondas sonoras.

### **Difracción**

Cuando un haz de ondas sonoras que se propaga por el espacio encuentra a su paso un obstáculo agujereado (rendija en un muro) o un cuerpo aislado cuyas dimensiones son menores que la longitud de la onda incidente, rodeará el objeto, expandiéndose a su alrededor y originando el fenómeno conocido como difracción o dispersión. Si la longitud de onda es del mismo orden que el tamaño del obstáculo la difracción es parcial. Cuando el obstáculo es mayor que la longitud de onda, se convierte en un impedimento insalvable, produciendo detrás de él una zona carente de sonido denominada zona de sombra.

### **El eco y la reverberación**

El eco sólo se percibe cuando el obstáculo en que se reflejan las ondas sonoras está a 17 o más metros del punto emisor. Esto se debe a que se necesitan unas condiciones especiales para que se produzca el eco, ya que el oído humano sólo puede percibir dos sonidos como distintos cuando están separados por un tiempo superior a 0,1 s. Por ello, entre el momento de emitir el sonido y el instante en que percibimos su reflejo o eco debe transcurrir, al menos, un tiempo de 0,1 s. En ese caso podemos considerar que los intervalos de separación entre la onda directa y la reflejada son lo suficientemente amplios para que el oído pueda percibir separadamente cada repetición sucesiva. Igualmente, poco tiempo después de recibir la onda directa llegan las reflexiones desde diversas superficies del recinto, con niveles de intensidad sonora decrecientes y a intervalos de tiempo mucho menores (del orden de milésimas de segundo). La onda directa se superpone parcialmente a la reflejada, lo que da lugar a una pérdida considerable de nitidez, denominada retumbo o reverberación.

Luego podemos indicar que el fenómeno de la reverberación se percibe cuando el obstáculo en que se reflejan las ondas sonoras está a menos de 17 m de la fuente emisora.

Esa falta de nitidez en la emisión se debe a que el oído no puede distinguir sonidos que le llegan tan poco separados en el tiempo. Dicho efecto puede ser beneficioso o perjudicial para la audición, según su intensidad y la naturaleza del sonido. Debe evitarse en las salas destinadas a reuniones o espectáculos, tales como teatros, pabellones deportivos, aulas, iglesias..., puesto que una reverberación excesiva haría incomprensibles los diálogos que en ellas se desarrollan. Sin embargo, este efecto es explotado en otro tipo de recintos, como son los destinados a la reproducción musical. Por ejemplo, en un auditorio de música orquestal un determinado nivel de reverberación es agradable al oído por la sensación de grandiosidad que le transmite a la música. Para evitar dicho efecto, se colocarán en las paredes de los recintos acústicos diversos materiales absorbentes del sonido, aunque no en todas las superficies, ya que la reverberación desaparecería totalmente y el local resultaría sordo o muerto. Igualmente, para evitar el eco, causa de muchos problemas en sonorizaciones en recintos abiertos, es importante orientar bien los altavoces para evitar las superficies reflectantes (fachadas de edificios) que se encuentren a más de 17 m. La totalidad de la energía producida por las reflexiones tempranas que llegan dentro de los 0,05 s después de llegar el sonido directo contribuyen a mejorar la inteligibilidad de la palabra. Las reflexiones tardías que llegan después de 0,1 s reducen la inteligibilidad.

### **Interferencias**

Las interferencias son los efectos que se producen cuando sonidos procedentes de diversas reflexiones inciden sobre la onda directa. Esto producirá incrementos y cancelaciones de la señal sonora con relación a la fase en cada momento considerada por el oyente, llegando incluso a producir la falta de inteligibilidad; es decir, que no se comprenda el mensaje sonoro emitido por la fuente.

### **Absorción sonora**

La absorción sonora se produce cuando una onda directa provocada por una fuente sonora o un frente de onda reflejado choca con una superficie u obstáculo y ésta refleja una nueva onda, pero de menor amplitud que la original o directa. Por tanto, podemos deducir que los obstáculos no reflejan toda la energía que reciben, sino que absorben parte de ella y reflejan el resto. La diferencia entre la onda reflejada y la directa es la energía absorbida.

### **Resonancia**

Cuando se da un golpe seco en cualquier material, éste tiene tendencia a vibrar a una frecuencia dominante que se amortigua muy rápidamente. La frecuencia de las oscilaciones depende esencialmente de las dimensiones y de la composición del objeto en cuestión. Por el contrario, el coeficiente de amortiguamiento del material depende de la inercia y de la masa. Se comprende fácilmente que una pared de piedra maciza tendrá más dificultad para entrar en vibración que un panel de madera de contrachapado de madera.

### **MICRÓFONOS**

El micrófono es un transductor electroacústico, es decir, un dispositivo capaz de transformar en energía eléctrica la energía acústica que recibe.

El micrófono está considerado como un importante elemento de toda cadena de sonido, ya que debe captar las señales deseadas con la máxima precisión y evitar las indeseadas, de forma que se obtenga una reproducción con la máxima fidelidad posible. Básicamente un micrófono está constituido por una membrana, que se mueve por efecto de las variaciones de presión acústica, y que actúa sobre un convertidor eléctrico.

### **Clasificación de los micrófonos**

Desde el punto de vista de las características operativas de la membrana y de la transformación, los micrófonos pueden clasificarse en dos grandes grupos:

- Micrófonos de presión.
- Micrófonos de velocidad.

En los micrófonos de presión la membrana o diafragma cierra una cavidad rígida. El desplazamiento del diafragma es proporcional a la presión instantánea de la onda sonora que incide sobre él. En los micrófonos de velocidad la membrana está libre por los dos lados y, como consecuencia, se desplaza de delante a atrás siguiendo las vibraciones acústicas.

Los micrófonos activados por presión son los siguientes:

- Micrófonos de carbón.
- Micrófonos de cristal.
- Micrófonos dinámicos.
- Micrófonos de condensador.
- Micrófonos electre.

Los micrófonos de cinta pertenecen al grupo de los micrófonos activados por velocidad.

### **Características técnicas de los micrófonos**

Las características técnicas de los micrófonos son las siguientes:

- Sensibilidad.
- Fidelidad.
- Directividad.
- Impedancia interna.
- Tensión de ruido.
- Dinámica.
- Factor de sensibilidad a los campos magnéticos.
- Polaridad.

### **Directividad**

La directividad o característica de respuesta directa es la variación del nivel de salida del micrófono para cada uno de los ángulos de incidencia de la presión acústica.

La directividad se representa mediante los denominados diagramas polares de campo, los cuales no son otra cosa que una representación empleando coordenadas polares, para mostrar la magnitud de una cualidad en una o en todas las direcciones 360° alrededor de un punto dado.

Básicamente se representan cuatro curvas de directividad:

- Omnidireccional.
- Semidireccional.
- Bidireccional o en ocho.
- Unidireccional o cardioide.

### **Dinámica**

La separación existente entre el sonido más débil que se transforma en señal eléctrica en el micrófono y el sonido más fuerte que se traduce en señal eléctrica sin distorsión, recibe el nombre de dinámica.

El micrófono de cinta y el electrostático se saturan con elevados niveles, por lo que dan origen a notables distorsiones. Los micrófonos de electret se saturan por efecto de una presión elevada, por lo que limitan la dinámica. El micrófono electrodinámico se comporta excelentemente ante niveles de presión.

### **Polaridad**

Al utilizar varios micrófonos para el registro estereofónico, es importantísimo que todos los micrófonos tengan la misma polaridad, es decir, estén en fase. Así, si sobre dos micrófonos se aplica una misma señal sonora, que origina un desplazamiento de la membrana de ambos micrófonos en el mismo sentido, dicho desplazamiento de las membranas han de producir dos señales de la misma polaridad (positiva o negativa). Si la polaridad de uno de ellos se invierte, debido a un conexionado equivocado, la calidad del registro disminuye considerablemente, obteniéndose una pérdida apreciable de las frecuencias bajas.

### **Conexión a masa de los micrófonos**

La correcta conexión a masa de los micrófonos y sus cables es muy importante, ya que cualquier frecuencia de zumbido o ruido captado por los cables será amplificado junto con la señal de audio.

La señal procedente del micrófono pasa por dos de los cables hasta el transformador de entrada del preamplificador. El tercer conductor está conectado a la masa del preamplificador y a la pantalla.

Obsérvese que en el extremo opuesto del cable no se ha conectado una segunda masa, ya que esto provocaría un flujo de corrientes de masa entre los dos puntos.

### **Acoplamiento acústico o efecto Larsen**

En ocasiones uno de los más importantes a la hora de elegir y situar adecuadamente los micrófonos, es la posibilidad de que aparezca la realimentación acústica. Este fenómeno se produce cuando el sonido reproducido por los altavoces es captado de nuevo por el micrófono para ser amplificado nuevamente, y se conoce como efecto Larsen, tan conocido como irritante y omnipresente en cualquier instalación de sonido donde hayamos colocado en una misma estancia micrófonos y altavoces.

### **Ruido de fondo**

Todas las fuentes de señal producen un ruido propio generado por diversas causas en su interior. Los criterios de valoración del ruido producido por los micrófonos son los que afectan a aquellas frecuencias que son audibles por el oído humano despreciando aquellas que no lo son. Es importante para la valoración del ruido el grado en que éste afecta a la relación señal/ruido en la entrada del preamplificador (para que exista una buena relación SIR la señal de entrada debe ser muy grande comparada con la señal de ruido. por lo que dicha relación será también elevada).

### **El ALTAVOZ**

El altavoz es el elemento que transforma la señal eléctrica en señal acústica. Es, por tanto, un transductor electroacústico y uno de los elementos más importantes dentro de todo sistema de alta fidelidad (HI-FI). Estos dispositivos han evolucionado bastante en los últimos años con la aparición de nuevos materiales. A la hora de comprar un buen equipo de HI-FI se debe prestar la máxima atención a las pantallas acústicas, que son los recintos que alojan a estos últimos, si se desea obtener unos resultados satisfactorios.

Reciben el nombre de pantalla acústica el con junto del recinto acústico formado por el altavoz o altavoces y filtro divisor de frecuencias, que constituye el elemento final de toda etapa amplificadora de sonido.

## **El altavoz dinámico**

Consiste en el proceso inverso al de los micrófonos dinámicos, En estos altavoces, la parte motora que transforma la energía eléctrica en energía mecánica y ésta a su vez en ondas sonoras, está compuesta por el elemento motor, constituido por un imán permanente en cuyo núcleo se forma el entrehierro por donde se introduce en parte la bobina móvil. Los extremos de esta bobina se conectan a la salida de un amplificador de baja frecuencia y en su salida se produce una señal alterna, variable en frecuencia y en amplitud. Ambas magnitudes dependen de la señal de la fuente sonora que se va a reproducir.

Como consecuencia de la señal aplicada a la bobina móvil por el amplificador, se produce un paso de corriente variable a través de ella, generando a su alrededor un campo magnético cuya polaridad y fuerza es proporcional a ésta.

Si colocamos la bobina móvil inmersa dentro de este campo magnético producido por un imán permanente, se obtendrá, según la ley de Laplace, una fuerza mecánica perpendicular  $F$  proporcional al producto  $B \cdot L \cdot I$ , donde  $B$  es el flujo magnético creado en el entrehierro,  $L$  es la longitud del hilo de la bobina que se encuentra dentro del entrehierro, e  $I$  es la intensidad que circula por el hilo de la bobina. De acuerdo con esta ecuación, podemos deducir que el funcionamiento del altavoz será tanto más correcto y uniforme cuando el producto mencionado se mantenga más constante; es decir, cuando el número de espiras dentro del entrehierro del altavoz permanezca constante, al igual que se puede afirmar que cuanto mayor sea la superficie de la bobina sumergida en el entrehierro, tanto más grande será el factor  $B \cdot L$  y, por tanto, mayor será la fuerza de desplazamiento.

Debido a que la polaridad del imán permanente es siempre la misma, la bobina móvil se sentirá atraída o repelida por el imán, produciéndose el movimiento de ésta hacia adelante o hacia atrás, de acuerdo con la magnitud y la frecuencia de la corriente aplicada por el amplificador. Dado que la bobina móvil se encuentra solidariamente unida al cono del altavoz por su vértice, éste producirá las compresiones y descompresiones del aire que se encuentra situado a su alrededor, originando ondas acústicas capaces de excitar nuestro sistema auditivo.

Para que el funcionamiento del altavoz se considere eficaz y lineal, es importante mantener uniforme el producto  $B \cdot L \cdot I$ . Este es de vital importancia en la reproducción de las bajas frecuencias, ya que es cuando mayor desplazamiento se exigirá al cono del altavoz. Evidentemente, supongamos un sistema motor que se encuentra en reposo, es decir, en ausencia de señal de entrada, donde el número de espiras dentro del entrehierro es considerable.

Ahora bien, si la señal de BF aplicada a éste procedente del amplificador no tiene una amplitud excesivamente grande, la bobina se desplazará hacia fuera reproduciendo el primer semiperiodo, pero siempre existirá un número considerable de espiras de la bobina dentro del entrehierro del imán permanente, por lo que no se producirá distorsión alguna.

Si la señal procedente del amplificador es de mayor amplitud que la aplicada con anterioridad, la bobina será impulsada parcialmente fuera del entrehierro, con lo que el número de espiras dentro del campo magnético producido por el imán será prácticamente inexistente, y se producirá un recorte de la señal de salida, puesto que, una vez se encuentra la bobina móvil fuera, ésta suspende su desplazamiento al no existir campo magnético que influya sobre ella. En resumen, nos encontramos con una distorsión de la señal debida a la falta de linealidad del producto  $B \cdot L \cdot I$ .

Para dar solución a este problema, se suele utilizar una bobina móvil lo suficientemente larga como para conseguir que cuando se produzcan los mayores desplazamientos del cono para las bajas frecuencias se encuentren en el entrehierro un número considerable de espiras dentro del campo magnético producido por el imán. Esta solución presenta el inconveniente de que las espiras de la bobina que no se hallen dentro del



entrehierro influenciadas por el campo magnético presentarán una resistencia eléctrica pura que se encontrará en serie con las espiras que sí lo están, reduciendo el rendimiento del altavoz.

### **Altavoces electrostáticos**

Los altavoces electrostáticos están formados por un diafragma grande y plano muy ligero, generalmente de poliéster, colocado entre dos placas fijas acústicamente transparentes que reciben la señal de audio ya través de las cuales se permite el paso del sonido. Su estructura es similar a la de un condensador, pero con unas superficies mucho mayores.

Su principio de funcionamiento está basado en la variación de la distancia (efecto de la capacidad) de las placas de un condensador. Este tipo de transductor necesita una tensión de polarización continua del orden de unos cientos de voltios (300–800 voltios) que se aplica al terminal central de un transformador adaptador entre el diafragma y las placas fijas. Unas placas se mantienen fijas y son alimentadas con la señal procedente de una fuente de señal (amplificador) a través del transformador elevador, y la otra, el diafragma, que se encuentra entre estas dos, se deja libre y móvil. Al aplicar entre las placas fijas una tensión sinusoidal de amplitud y frecuencia variables, se producirán unas fuerzas de atracción y repulsión entre las placas fijas y la móvil que hacen variar la posición de un diafragma al que se encuentra unida mecánicamente la lámina móvil que vibra con ella, y, por tanto, dicho diafragma produce una vibración acorde con la tensión de salida de la fuente de señal que las alimenta, produciéndose un sonido en el medio.

Entre sus características destacamos su baja distorsión y su buena respuesta de frecuencia frente a los altavoces piezoeléctricos, posee igualmente una buena reproducción de las señales transitorias y no utilizan caja acústica.

Como inconvenientes, destacamos que la alta impedancia que presentan es eminentemente capacitiva, motivo por el que pocos amplificadores pueden trabajar con ellos. Se necesitan amplificadores especialmente diseñados para trabajar con este tipo de cargas. Otro inconveniente es que no utilizan caja acústica, por lo que se reduce el rendimiento de la señal sonora reproducida (se produce un cortocircuito acústico entre las señales emitidas anterior y posteriormente por el altavoz al no encontrarse dichas señales aisladas y ser de signo contrario, como tendremos oportunidad de estudiar al tratar la Unidad sobre cajas acústicas). Debido a esto, su diagrama polar es bidireccional.

### **Altavoces piezoeléctricos**

El altavoz piezoeléctrico o de cristal basa su funcionamiento en el llamado efecto piezoeléctrico, el cual tiene la propiedad de que cuando a algunos cristales (cristal de cuarzo) se les aplica una señal eléctrica entre dos de sus caras aparece una vibración mecánica en las caras opuestas; sobre una de estas caras se fija el cono del altavoz que va a vibrar debido a las deformaciones mecánicas que experimenta la cara del cristal a la que se encuentra unido el cono del altavoz.

Efectivamente, la tensión, variable en amplitud y frecuencia, presente a la salida de un amplificador se le aplica a las caras laterales de una lámina de cristal piezoeléctrico, mediante unos terminales de contacto. El cristal va unido mecánicamente a través de unas varillas a un cono muy ligero, el cual entra en vibración con las deformaciones producidas por el cristal, produciéndose así el sonido.

Entre sus características destacan su elevada impedancia, su limitación dentro del espectro de audio (queda limitada a las frecuencias agudas) y su fragilidad, que sólo lo hace apto para reproducir pequeñas potencias. Se utiliza en audífonos y en los pequeños receptores de radio.

Podemos considerar ahora las condiciones que deben satisfacer los diferentes tipos de altavoces para una, reproducción acústica de alta calidad. Hasta ahora se ha considerado que tenemos un único altavoz para

reproducir todo el margen de frecuencias con la misma calidad y se han estudiado sus características y su comportamiento, pero no se ha indicado cómo utilizar las características constructivas y eléctricas para obtener el máximo de rendimiento y calidad para cada tipo de altavoz.

Un factor a tener muy en cuenta es la relación existente entre la fuerza ejercida en el sistema móvil y el desplazamiento producido por el cono o diafragma del altavoz. Esta relación no es lineal, lo que da lugar a distorsión, siendo más considerable cuanto mayor es el desplazamiento del cono.

De las consideraciones expuestas anteriormente sobre los requisitos para frecuencias altas y bajas, sabemos que un altavoz para reproducir frecuencias bajas debería tener un cono grande y pesado, y un altavoz para frecuencias altas tendrá un cono pequeño y ligero, no despreciándose un altavoz intermedio entre estos dos.

Esto es exactamente lo que se precisa para obtener un sonido de alta calidad. En el mercado hay diferentes tipos de altavoces según su utilidad, que podemos dividir en: *woofer* (graves), *squawker* (medios) y *tweeter* (agudos). Esto permite la especialización de cada altavoz al sonido que ha de reproducir.

### **De tonos graves (woofer)**

Los altavoces para tonos graves poseen una frecuencia de resonancia muy baja, entre 20 y 50 Hz, de forma que pueda reproducir todas las notas más bajas de audio. Ya hemos señalado que la frecuencia de resonancia disminuye al aumentar las dimensiones del diafragma del altavoz, motivo por el cual los altavoces de graves serán los que posean las mayores dimensiones en su diafragma. Las medidas ideales son, como mínimo, de alrededor de unos 30 cm, aunque aparecen en el mercado unidades con dimensiones inferiores que proporcionan excelentes resultados.

La curva de respuesta entregada por los fabricantes para los altavoces de graves suele comprender el margen de frecuencias entre 20 Hz y 3 kHz. La frecuencia de corte superior está alrededor de 4 kHz.

### **De tonos medios (squawker)**

Estos altavoces reproducen el espectro de frecuencias comprendido entre una frecuencia de resonancia no superior a los 300 Hz y una frecuencia de corte superior comprendida entre los 5 y los 8 kHz. El diámetro de su diafragma puede estar comprendido entre 13 y 22 cm.

### **De tonos agudos (tweeter)**

La frecuencia de resonancia de estos altavoces se sitúa entre 3 y 4 kHz, con una frecuencia de corte superior por encima de los 20 kHz. Los diafragmas de estos altavoces son de pequeñas dimensiones, entre 3 y 6 cm. Este tipo de altavoces está diseñado para la reproducción de altas frecuencias y pueden fabricarse del tipo trompeta (una trompeta es, básicamente, un transformador acústico que acopla el aire existente en la superficie del diafragma con el aire de la sala de audición), diseñadas especialmente para la buena reproducción de las altas frecuencias.

### **Características técnicas de un altavoz**

Las características técnicas más importantes de un altavoz podemos resumirlas en las siguientes:

- Impedancia.
- Frecuencia de resonancia.
- Respuesta de frecuencia.
- Potencia admisible.
- Potencia mínima.

- Directividad.
- Distorsiones.
- Rendimiento
- Sensibilidad
- Resistencia de la bobina móvil.
- Campo magnético del imán permanente.

### **Frecuencia de resonancia**

Llamamos frecuencia de resonancia de un altavoz a la frecuencia característica de vibración de los elementos mecánicos formados por el diafragma, la bobina móvil y los elementos de suspensión. Esta frecuencia tiene una gran importancia, pues marca el límite inferior de la curva de respuesta del altavoz, es decir, el punto donde el altavoz es inoperante para frecuencias inferiores a la de resonancia.

Entre los factores constructivos que afectan a la frecuencia de resonancia podemos enumerar su rigidez, la suspensión y el diámetro del diafragma que tiene una relación inversamente proporcional con la citada frecuencia, motivo por el cual los altavoces de graves conviene que tengan unas dimensiones considerables en el diámetro de su cono, para así ampliar su curva de respuesta sobre la zona inferior de graves.

### **Distorsión**

En la actualidad, los altavoces son los elementos que mayor índices de distorsión presentan, junto con los micrófonos, dentro del sistema de ID–FI. Principalmente en bajas frecuencias, no es extraño que un buen altavoz produzca un 5 por 100 de distorsión. Afortunadamente, en frecuencias medias y altas, donde el oído es más sensible a la distorsión, los valores típicos suelen estar entre 0,5 y 2 por 100.

En cualquier altavoz este factor puede ser causado por la falta de linealidad en el sistema de suspensión del cono, y también por el propio cono. Además, la falta de uniformidad del campo magnético en el cual se mueve la bobina móvil puede producir también distorsión. Un valor idóneo de distorsión se considera el 1 por 100, pero esta magnitud es sobrepasada fácilmente cuando se aumenta la potencia nominal del altavoz.

### **Resistencia de la bobina móvil**

Este es otro de los datos importantes que debe conocerse de un altavoz y que suele encontrarse en los catálogos proporcionados por los fabricantes.

La resistencia de la bobina móvil es la resistencia, en corriente continua, del hilo que constituye el devanado de la bobina móvil. Esta resistencia determina la potencia disipada en calor por efecto Joule el paso de la corriente. Normalmente el valor de esta resistencia oscila entre 2 y 8  $\Omega$ , aunque pueden encontrarse altavoces con resistencia de la bobina móvil mucho más elevada.