

## FUENTES SONORAS

Hemos visto que todo cuerpo vibrante es una fuente sonora, siempre y cuando la frecuencia e intensidad de las ondas que produce esté dentro de la gama audible.

La mayoría de las fuentes sonoras funcionan de forma compleja. Pensemos, por ejemplo, en un violín, en un piano, en una persona hablando o en la membrana de un altavoz, que ha de vibrar de modo sumamente complicado para producir la maraña de sonidos de una gran orquesta. Hacer aquí una exposición completa sería imposible, y por ello habremos de limitarnos a examinar las leyes básicas concernientes a las propiedades de los sonidos.

### 1. CALIDAD TONAL. TIMBRE

Del tono y la intensidad ya tratamos en el capítulo anterior, pero aquí interesa explicar lo que significa la calidad tonal. Gran parte del placer experimentado oyendo diversos instrumentos musicales se debe a que cada tipo de éstos posee su «calidad» o «color» tonal propios. Suele usarse la palabra *timbre* para denotar esta característica que nos permite distinguir un instrumento de otro.

Si tomamos un diapasón y observamos su salida en el osciloscopio, comprobaremos que tiene una onda senoidal pura. Hagamos el mismo experimento con un clarinete, tocando una nota igual a la del diapasón. Resultará muy diferente no sólo el sonido, sino su forma de onda. Aunque los ciclos de la nota del clarinete se suceden a la misma velocidad que los del diapasón, la forma de onda, no es igual, presenta irregularidades. Se dice que el sonido del diapasón es «puro», y el del clarinete «complejo». Fig 3.1.

La nota del diapasón se compone de una sola frecuencia, mientras que el sonido del clarinete es una mezcla de varias. Esta diferencia podría demostrarse en el analizador de espectros, aparato que separa las frecuencias presentes en un sonido y las despliega en líneas verticales espaciadas. La altura de cada una de ellas indica la amplitud de cada una de las frecuencias componentes.

El diapasón, sometido a este examen, mostraría una línea nada más, la correspondiente a la frecuencia que lleva marcada. El clarinete, por el contrario, produciría una serie de líneas. La más baja frecuencia de la serie será la misma que la del diapasón, y se denomina *fundamental*. Las otras serán los sobretonos de la fundamental. El espectrograma demostraría que no todos los sobretonos tienen la misma amplitud, siendo unos más fuertes que otros. A la presencia de los sobretonos y de sus respectivas amplitudes debe precisamente el clarinete su tono característico.

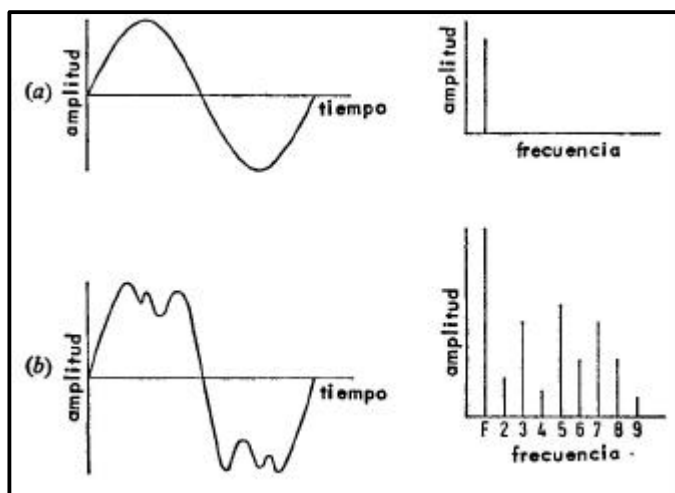


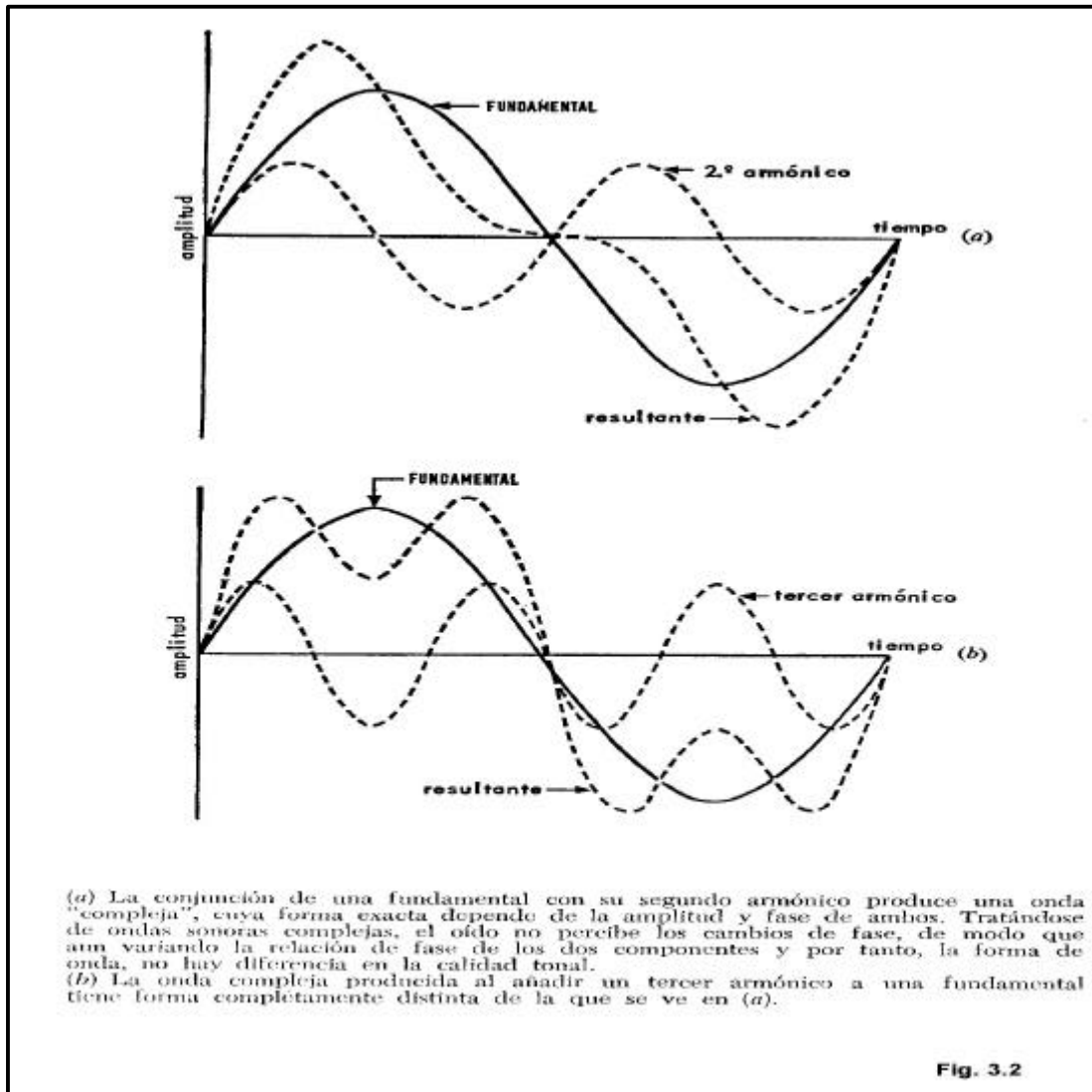
Fig. 3.1.

(a) f.d.o. de una nota pura (diapasón).

(b) Clarinete. Es más complicada como se ve.

### 2. ARMÓNICOS

La mayor parte de los instrumentos musicales producen ondas complejas; cada tipo es distinto en su contenido de sobretonos y por eso cada uno posee su timbre peculiar. Los sobretonos, en algunos casos, son múltiples exactos de la fundamental, y siendo así se llaman *armónicos*. Los instrumentos de cuerda, de metal, de viento y de madera producen una serie de dichos armónicos. En otros instrumentos los sobretonos no son exactamente armónicos de la fundamental; por ejemplo, el xilófono y las campanas tubulares (fig. 3.2).



Otro rasgo particular de los sonidos complejos procedentes de muchos instrumentos es que la duración de los sobretonos varía. En el instante de producirse la nota se generan multitud de sobretonos, pero los más altos tienden a debilitarse y se extinguen pronto. Los sobretonos de frecuencias inferiores son mucho más fuertes y persisten más tiempo. El que los altos sean tan breves produce una calidad tonal en la parte inicial del sonido que difiere de la que tiene la parte mantenida o prolongada. A este efecto se le suele llamar «ataque».

Un método muy interesante de demostrar la importancia que tienen los tonos de ataque y mantenidos sobre la calidad total de un instrumento se manifiesta cuando los productores de la llamada «música electrónica» recortan grabaciones en cinta magnetofónica para obtener nuevos efectos sonoros. Grabando la nota de un piano en cinta y «extirpando» luego de ésta el tono de ataque, queda una nota resultante muy distinta de la original. Otro sistema consiste en invertir el

orden para hacer sonar en primer lugar el tono o mantenido. Estas sencillas transposiciones ofrecen ilimitadas posibilidades para la producción de nuevos sonidos.

Dado que los sobretonos superiores, los cuales constituyen el tono de ataque, se extinguen rápidamente, suele llamárseles transitorios. En acústica hay muchos ejemplos de fenómenos transitorios, o cambios rápidos de amplitud con el tiempo; y como su presencia es esencial para el timbre, todos los sistemas de grabación y de reproducción deben ser capaces de tratarlos con fidelidad. Los transductores electromagnéticos (micrófonos y altavoces) presentan algunos problemas en este aspecto, debido a la inercia mecánica. Se produce entonces un «efecto de enganche», es decir, que la vibración sigue después de haberse desvanecido los transitorios. Los micrófonos modernos no tienen prácticamente distorsión transitoria, pero los altavoces, por sus mayores sistemas móviles, la pueden introducir y de modo considerable.

Esta breve descripción de la calidad tonal o timbre bastará por ahora para comprender en parte cómo se producen los sonidos por diversos métodos de vibración. Al tratar de los instrumentos musicales volveremos sobre este tema.

### 3. ASPECTOS FUNDAMENTALES DE LAS FUENTES SONORAS

Anticipemos que las fuentes sonoras objeto de este epígrafe son las que producen tonos agradables: instrumentos musicales, voz humana, etc. En ciertos aspectos, son comunes con todas las fuentes sonoras. Constan en primer lugar de un medio de excitación, luego de un resonador y finalmente, en muchos casos, de un radiador. La excitación (dedos, corriente de aire, percutores) hace vibrar al cuerpo resonante, y, como algunos resonadores no producen ondas sonoras potentes, van acoplados a un cuerpo que vibra al unísono, el cual mueve una porción mayor de aire y por tanto amplifica las débiles vibraciones del resonador.

Los sistemas vibrantes usados como resonadores son los siguientes:

- (1) Columnas de aire.
- (2) Cuerdas.
- (3) Varillas.
- (4) Membranas tensadas.
- (5) Placas circulares.
- (6) Cuerdas vocales.

#### 3.1. COLUMNAS DE AIRE

Cerrando por uno de los extremos un tubo cilíndrico y acercando al libre un medio de excitación, un diapasón, por ejemplo, el aire del tubo resonará si la longitud de éste guarda cierta relación con la longitud de onda de la nota producida por el diapasón.

La horquilla, al vibrar, causa compresiones y expansiones que se introducen en el tubo. Puesto que un extremo está cerrado, las mismas se reflejan y desandan su trayectoria, con el resultado de que los movimientos ondulares, al transmitirse en direcciones opuestas, originan un sistema de ondas estacionarias.

Como vimos en capítulos anteriores, sabiendo las condiciones de la superficie reflectante, es posible dibujar un gráfico que muestre cómo se comporta el aire en diversos puntos del espacio. Si la reflexión fuera del 100 %, habría la condición de desplazamiento nulo (un nodo) en la superficie, pero la distancia de un cuarto de longitud de onda, el desplazamiento alcanzaría un máximo (antinodo).

#### 3.2. TUBO CERRADO

Ahora bien, si consideramos el tubo cerrado en uno de sus extremos, en este extremo se formará un nodo forzosamente. En el abierto no sufre el aire ningún constreñimiento y vibrará libre mente; de donde resulta que en esa posición ha de haber un antinodo. Tales son las condiciones necesarias si el aire del tubo queremos que resuene. No es posible imaginar que el aire del extremo abierto permanezca constantemente quieto: ha de existir siempre un antinodo de desplazamiento en tal punto.

La distancia entre un nodo y el próximo antinodo supone un cuarto de longitud de onda; así es que ésta ha de ser la longitud del tubo para que resuene. Es decir:

$$\text{Longitud} = \text{longitud de onda}/4$$

Se deduce de aquí que cuanto más largo es el tubo, más baja es la nota: un resultado que ya lo esperábamos.

La nota más baja producida por el tubo se denomina fundamental. Pueden sonar a la vez sobretonos que sean

armónicos de ella, siempre que existan las condiciones necesarias del sistema de ondas estacionarias dentro del tubo. Por tanto, vemos que los armónicos pares no pueden sonar en un tubo cerrado porque se requieren exactamente las mismas condiciones en cada extremo del tubo, lo cual en nuestro caso es imposible. El segundo armónico, por ejemplo, requeriría un nodo en el extremo cerrado, un antinodo en la mitad del tubo y otro antinodo en el extremo abierto. Pero como esto último no puede ocurrir, el segundo armónico no sonará, ni el cuarto, sexto, etc. El tercero sí, porque implica un antinodo en el extremo abierto. Y lo mismo cabe decir de todos los impares, el quinto, el séptimo y así sucesivamente.

Vemos, pues, que un tubo cerrado en uno de sus extremos resuena cuando su longitud es un cuarto de longitud de onda, y que sólo mantiene los armónicos impares.

### 3.3. TUBO ABIERTO

Un tubo abierto en sus dos extremos también resonará excitado por un cuerpo vibrante. Se establece aquí también un sistema de ondas estacionarias en el aire debido a la reflexión en los extremos abiertos, la cual ocurre porque en éstos hay un cambio de las condiciones de aire. En el interior el aire se halla constreñido por las paredes del tubo; en el exterior, sólo por la presión atmosférica. En la frontera de estas dos condiciones tiene lugar la reflexión.

#### CUERDAS

#### VARILLAS

#### MEMBRANAS TENSADAS

#### PLACAS CIRCULARES

Son bastante parecidas a las membranas tensadas, excepto en un punto importante. Hemos visto que las membranas son flexibles y están tirantes. Esta tensión proporciona una fuerza restablecedora gracias a la cual la membrana vuelve a su posición de reposo cuando se ha desplazado. La cuerda es un ejemplo más de que la tensión es necesaria para que vibre el material flexible.

Con la placa, en cambio, no hace falta tensión, puesto que el material de que se compone tiene la rigidez necesaria para proporcionar la fuerza restablecedora. Como con las membranas y cuerdas, es posible una analogía entre placas y varillas.

A semejanza de la membrana, la placa vibra de modo complicado y da lugar a círculos y diámetros nodales. La frecuencia fundamental depende básicamente del espesor de la placa, de su radio y de su material; pero también de cómo se halle apoyada. Puede estar afianzada en su periferia, descansando en los bordes o en el centro, o encontrarse totalmente libre. Se producen sobretonos no armónicos, cuya relación con la fundamental depende, en este caso también, del modo como esté apoyada o sujeta la placa.

El gong y los platillos pertenecen a la clase de instrumentos que estudiamos. Otro ejemplo es el diafragma usado en los aparatos telefónicos.

Tal como dijimos respecto al diafragma tipo membrana, es ventajoso que la delgada placa se gobierne de manera que las vibraciones no se distribuyan en diámetros ni círculos nodales. Tal caso, según vimos, se evita haciendo que la frecuencia fundamental sea alta en comparación con las frecuencias del sonido. Tratándose de placas delgadas, en cambio, no es fácil conseguir un diafragma ligero que además de ser sensible tenga rigidez bastante para dar una frecuencia fundamental alta. En otros tiempos se usaron diafragmas de placa delgada para micrófonos de condensador, pero, por los motivos expuestos, hoy han dejado paso a las membranas.

En los aparatos telefónicos, la gama de frecuencias necesaria es mucho más restringida que en el caso de micrófonos de condensador, y la respuesta no uniforme del diafragma de placa delgada carece de importancia en gracia a la sencillez y robustez del mismo.

## 4. CUERDAS VOCALES

Las cuerdas vocales están situadas en la parte superior de la laringe, que cierra la tráquea o conducto procedente de los pulmones.

No son exactamente cuerdas, sino membranas que vibran y regulan el tamaño y forma de la abertura de la laringe.

Cuando estamos sencillamente respirando, las cuerdas vocales se hallan muy separadas en un extremo y forman una abertura triangular. Para producir sonidos, las cuerdas han de acercarse, y entonces vibran por efecto de la corriente de aire que sube de los pulmones por la tráquea. El resultado es una fluctuación de dicha corriente, con lo cual comienzan las variaciones necesarias para producir ondas sonoras. La corriente de aire fluctuante pasa por la garganta, boca y nariz, cavidades que resuenan y acentúan por tanto ciertas frecuencias.

Se producen así los sonidos que llamamos vocales, la «a» por ejemplo.

En otros sonidos, por el contrario, las cuerdas vocales tienen muy poco que intervenir. Las ondas sonoras producidas por ellas son modificadas mediante cambios en las aberturas y pasajes que tienen que atravesar. La «S» es un ejemplo de este segundo grupo.

#### 5. RESONADORES, CAJAS SONORAS, ETC.

Con muchas fuentes de sonido - una cuerda vibrante, por ejemplo- hay poco movimiento de aire porque el vibrador en sí y el sonido producido son débiles. Este defecto encuentra solución acoplándolos un cuerpo que resuene al unísono y que, al originar más vibraciones del aire, incremente la salida sonora.

Tomando como ejemplo a dos instrumentos cuyos vibradores son cuerdas, el violín y el piano, se podrá comprobar cómo se comportan los resonadores.

Las cuerdas del violín están tensadas a través del puente. Al vibrar hacen que vibren también el interior de la caja y la caja misma. Las cuerdas del piano están tensadas mediante un bastidor de acero a través de dos puentes, el uno formado por el bastidor mismo y el otro situado sobre una caja sonora. Cuando una cuerda percutida por el macillo, las vibraciones resultantes se acoplan a la caja y ésta vibra a su vez.

Existen muchos otros ejemplos que ilustran la idea básica de cómo se refuerzan los sonidos por una caja o cuerpo resonante. Ya hemos visto que las cavidades de la garganta, boca y nariz constituyen sistemas resonantes para la voz. En el xilófono, las varillas vibrantes están adosadas a tubos, cuyas columnas de aire «suenan» al golpear las varillas.

#### 6. CAJAS DE ALTAVOCES

Una caja para altavoz provista de abertura es un ejemplo más. El aire de la caja y el de la abertura forman un sistema resonante gobernado por la radiación sonora procedente de la parte trasera del altavoz. Cuando hay resonancia, el aire de la abertura vibra en fase con la radiación directa del frente del altavoz y así se incrementa la salida.

La caja del altavoz es una versión de un tipo de resonador muy común en acústica, el resonador de Helmholtz, llamado así en memoria del físico del siglo pasado que lo empleó para analizar los sonidos musicales. En el principio de Helmholtz se basan muchos resonadores de instrumentos de música, y asimismo se saca partido de él para construir micrófonos con buena respuesta de frecuencia. Funcionando de manera inversa, los resonadores de Helmholtz se utilizan en el moderno tratamiento acústico de los estudios, para eliminar la reverberación mediante la absorción.

Volviendo a la caja del altavoz, digamos que lo esencial es un volumen de aire encerrado en comunicación con el aire libre por un cuello o abertura. El volumen de aire del cuello es mucho menor que el de aire encerrado. La caja puede tener cualquier forma y ser de cualquier material siempre que sea rígido y que no vibre, pues en caso contrario, es evidente que se modificaría la acción del resonador.

El aire del cuello actúa lo mismo que un pistón compresor del aire encerrado. Si una onda sonora afecta inicialmente al resonador, al encontrar el aire de la abertura formará una compresión que entrará en la caja, puesto que el aire en ella encerrado está a la presión atmosférica normal. Dicha compresión de la onda sonora irá seguida de una expansión, y entonces el aire comprimido interno expulsará hacia afuera al aire de la abertura. En este caso, el aire vibrará convirtiéndose él mismo en una fuente de sonido (fig. 3.3).

Este fenómeno sólo ocurre si la frecuencia de la onda sonora es igual que la frecuencia resonante natural del resonador. Vemos que, si el aire comprimido dentro intentara forzar el émbolo hacia afuera antes de que hubiera pasado completamente la compresión de la onda sonora, el aire del cuello no sería capaz de vibrar tanto.

La frecuencia del resonador depende del volumen del aire existente en el cuello o abertura, y del encerrado en la caja. Así, pues, variándolos se puede modificar la frecuencia de resonancia.

Ciertamente, el efecto de una caja resonante o resonador no es simplemente la amplificación del sonido. Puede tener lugar una variación grande de la calidad, sin contar con que el resonador también es capaz de afectar la dirección en que el instrumento radia su energía.

Tal circunstancia era de esperar, pues los resonadores, gobernados y hechos vibrar por las vibraciones originales, imprimirán sus propias características a la salida final. Su efecto está en función de lo amplias o agudas que sean sus resonancias. Si es amplia, responderá a una ancha banda de frecuencias; si es aguda sólo serán amplificados los sonidos próximos a la frecuencia de resonancia.

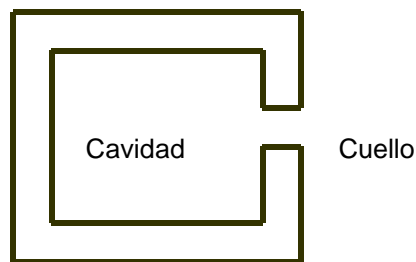


Fig. 3.3. Resonador básico de Helmholtz

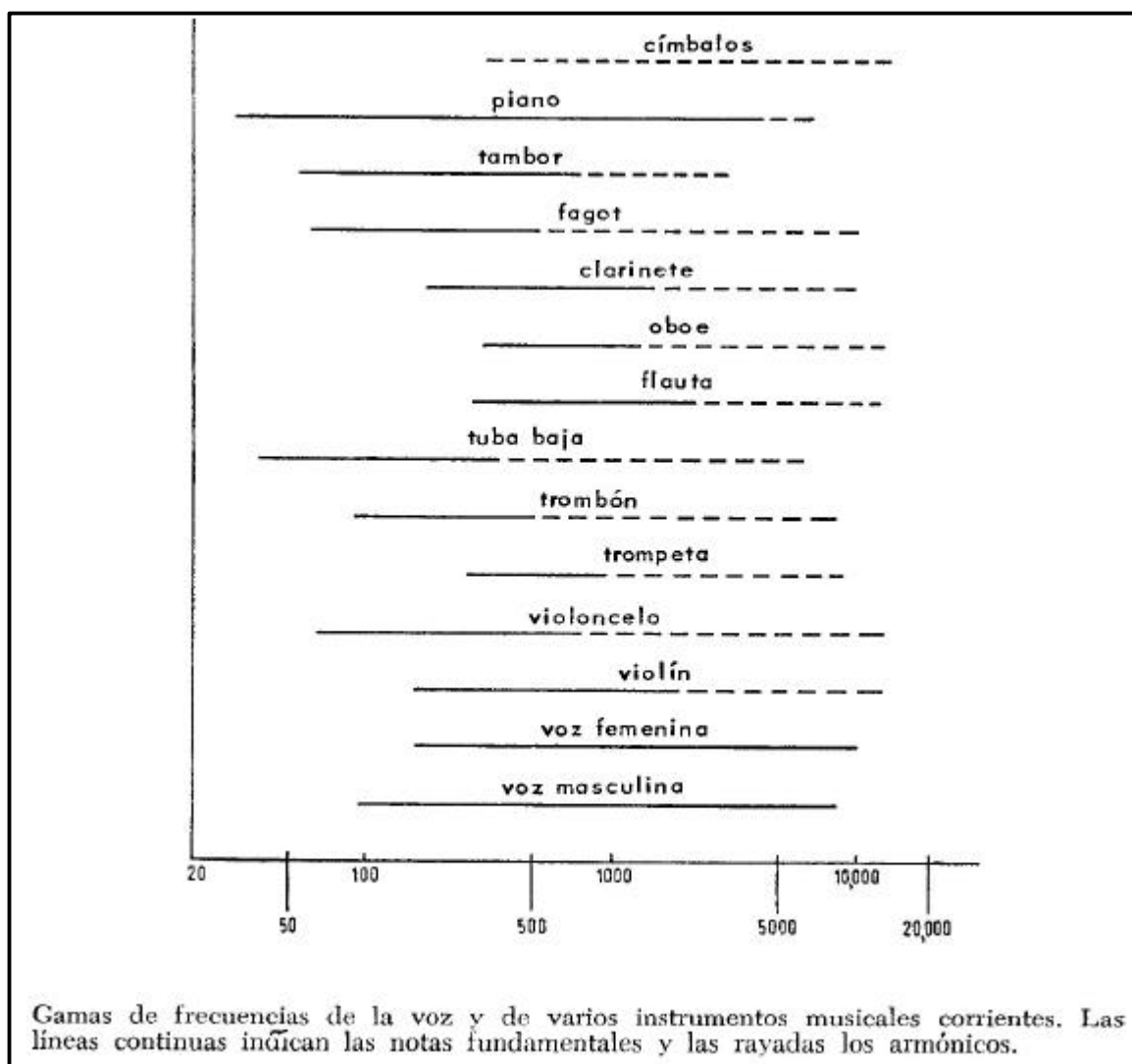
## 7. CARACTERÍSTICAS DE LA PALABRA Y DE LA MUSICA

En el presente apartado vamos a tratar de las características la palabra y de la música, en qué consisten desde el punto de vista de la frecuencia e intensidad, y los requisitos que dichas características imponen a los sistemas de grabación y reproducción. Veremos asimismo la manera en que las diversas fuentes, la voz y los instrumentos musicales, distribuyen sus sonidos en el espacio circundante.

### 7.1. EL HABLA

Cuando oímos hablar a otra personas advertimos perfectamente su peculiar tono de voz. El de la voz masculina es más bajo que el de la femenina, y éste a su vez todavía más bajo que el de la voz de un niño. El tono en medio del hombre oscila alrededor de los 130 Hz; el de la mujer supone cerca del doble. No hace falta decir que tales valores medios varían bastante según el individuo.

La corriente de aire fluctuante que sale de la boca tiene una compleja forma de onda. Según hemos visto en el capítulo anterior, ésta se compone de una nota fundamental con sus armónicos. La frecuencia de dicha fundamental es la que determina el tono de la voz.



Las cavidades de la cabeza resuenan y acentúan grupos particulares de armónicos de la corriente de aire fluctuante. A estas frecuencias se las llama *formantes*. Variando el tamaño de las mencionadas cavidades al mover la lengua, mandíbulas, labios, etc., se altera la frecuencia de resonancia que tienen los diversos sonidos del habla.

La voz normal del hombre posee una gama total de frecuencias comprendida entre 100 y 8.000 Hz. En la mujer viene a ser de 200 a 10.000 Hz. Dentro de estas gamas existen algunas frecuencias que son más importantes que otras para la comprensión de lo que se habla. La energía de la voz, en su mayor parte, está contenida en las bajas frecuencias, pero éstas contribuyen muy poco a la comprensión de lo hablado. En otros términos: tales frecuencias bajas no colaboran en la «inteligibilidad» del habla. Si escucháramos solamente frecuencias bajas, digamos de hasta 500 Hz, el habla sonaría sorda y apagada, sin que pudiéramos entender el sentido de lo que nos decían.

La inteligencia oral se debe a las altas frecuencias. Escuchando un habla con las frecuencias graves muy restringidas, aún somos capaces de comprender lo que dice el interesado, pero desde luego a su voz le falta potencia y suena «delgada».

## 7.2 INTELIGIBILIDAD

La cuestión estriba en qué gama de frecuencias estricta se necesita para entender la voz. Problema sin duda vital para el diseño económico de los sistemas telefónicos, ya que el costo de un sistema de comunicación depende de la gama de frecuencias - llamada también ancho de banda- requerida. En telefonía, lo esencial es que los abonados se entiendan entre sí cuando usan el aparato. Para verificar esto se emplean «pruebas de articulación». Un resultado del 100 % en tales pruebas significa que el oyente entiende a la perfección todas las palabras que se le digan.

Se pueden obtener muy buenos resultados de articulación con un ancho de banda muy reducido: más del 80 % se consigue con una gama de 1.000 a 2.500 Hz. No hace falta decir que con tan estrecha banda resulta pobre la calidad de la escucha. Uno puede entender lo que oye pero quizá no sea capaz de identificar a su interlocutor. Todo esto se mejora aumentando el ancho de banda, y así es posible llegar a distinguir el carácter de la voz transmitida.

El ancho de banda de 2.700 Hz, comprendido entre los 30 y los 3.000 Hz, se usa generalmente en los sistemas telefónicos. Además; de una razonable economía, se logra la fiel reproducción de las frecuencias que importan para la inteligibilidad. Desde el punto de vista de la gama de frecuencia, todo sistema reproductor de alta calidad sujeto a las normas actuales debe tratar con fidelidad las señales de la voz.

En cuanto al volumen, el habla utiliza sólo una parte reducida de la gama de intensidades audibles. Una gama de volumen de unos 40 dB abarca todo lo requerido para la fiel reproducción.

## 7.3 DIRECCIONALIDAD

Claro está que consignando exclusivamente la frecuencia y la intensidad de la voz humana no tenemos un cuadro completo del fenómeno. Existe además el factor importante de cómo se distribuyen en el espacio los sonidos que salen de la boca. Este factor se expresa gráficamente mediante «gráficos de direccionalidad», obtenidos midiendo las presiones de los sonidos que se producen en puntos equidistantes de la cabeza, pero en diferentes ángulos. Tomando como referencia la presión que existe delante exactamente de la cabeza a la distancia de medición (2 pies ha sido la empleada en algunas investigaciones), se ve por las variaciones en la lectura a diferentes ángulos la distribución la energía sonora.

Considerando en primer término el plano horizontal, la distribución frente al locutor viene a ser igual para todas las frecuencias en un ángulo total de 120° aprox. En el restante de 240°, detrás de la cabeza principalmente, se produce por el contrario una considerable atenuación del



contenido de altas frecuencias. Las bajas se reducen muy poco desde delante de la cabeza hasta detrás de la misma. A 5.000 Hz, la presión debida a la onda sonora se rebaja en 20 dB. A 2.000 Hz, la disminución no llega a 5 dB (véase fig. 3.4). En el plano vertical, la distribución tampoco es uniforme a frecuencias altas. A partir de los  $45^\circ$  por debajo de la horizontal, a la derecha y por encima de la cabeza, difiere algo la distribución de las bajas y altas frecuencias. Suponiendo aquí también que la frecuencia es de 5.000 Hz, la reducción es de 7 dB. A 200 Hz, sólo 2 dB. Por detrás de la cabeza, como es de esperar, las altas frecuencias se atenúan mucho más seriamente que las bajas (véase fig. 3.4).

Tales variaciones en directividad de la voz son por supuesto de importancia en la técnica microfónica usada en grabaciones y radiodifusión. Para que los sonidos se reproduzcan bien, el micrófono no debe hallarse demasiado distante de una línea enfrente directamente de la cabeza.

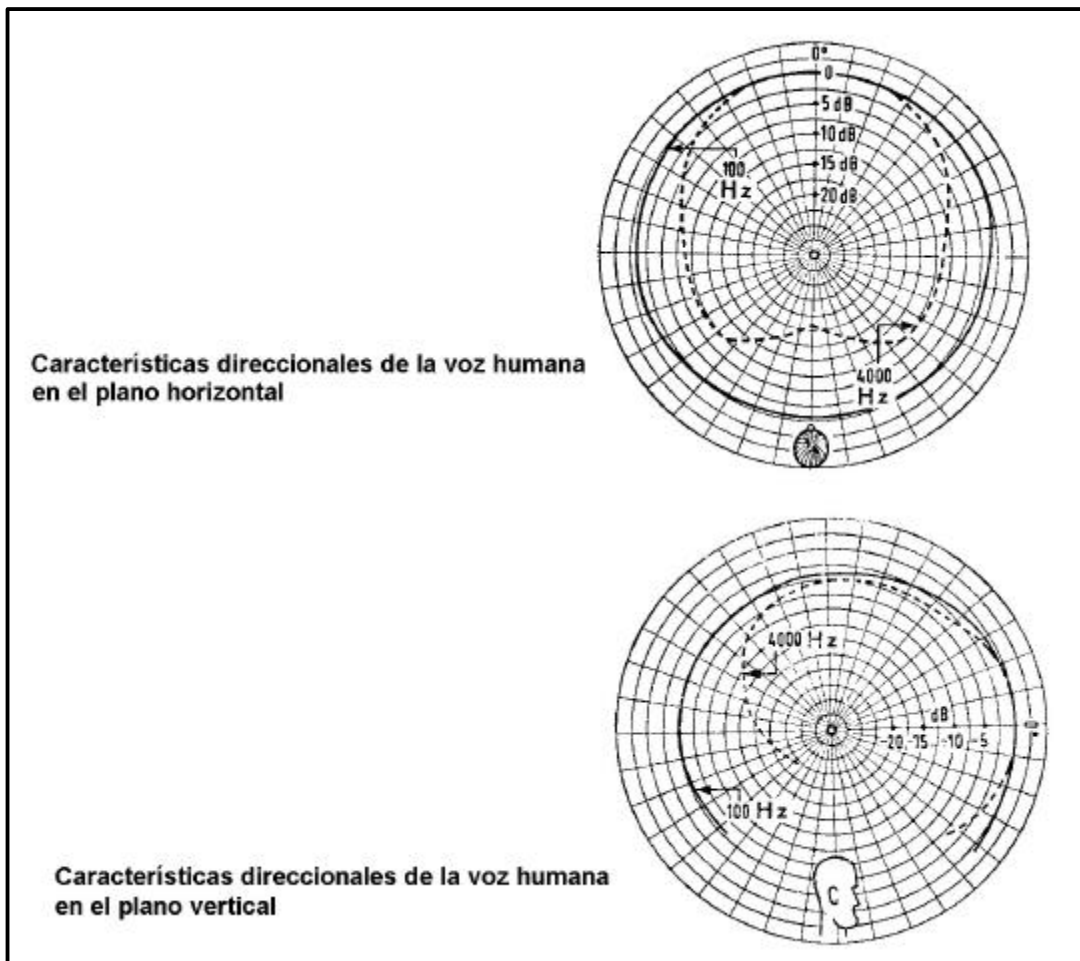


Fig. 3.4

## 8. MUSICA

La música tiene gamas de frecuencia e intensidad mucho más amplias que la voz. Un sistema reproductor de alta fidelidad para música debe contar con una gama de 30 a 15.000 Hz. La gama máxima de intensidades de la música oída de modo directo es de unos 70 dB. Siendo demasiado amplia para la mayoría de los sistemas de grabación o radiodifusión, hace falta realizar alguna compresión.

La gama de frecuencias acabada de citar se refiere desde luego a toda la serie completa de sonidos que producen los instrumentos musicales usados comúnmente. Aquélla puede ser interrumpida, primero formando gamas individuales para los diversos instrumentos, y luego, en el caso concreto de uno de éstos, formando la gama de las notas fundamentales y los sobretonos que produce.

*Niveles de energía de sonidos musicales.*

| Origen del sonido                                  | Energía                       |          |
|--|-------------------------------|----------|
|  | Vatios                        |          |
| Orquesta de 75 profesores, a plena potencia        | 70                            |          |
| Bombo, a plena potencia                            | 25                            |          |
| Tubo de órgano, a plena potencia                   | 13                            |          |
| Trombón, a plena potencia                          | 6                             |          |
| Piano, a plena potencia                            | 0,4                           |          |
| Trompeta, a plena potencia                         | 0,3                           |          |
| Orquesta de 75 profesores, a media potencia        | 0,09                          |          |
| Piccolo, a plena potencia                          | 0,08                          |          |
| Clarinete, a plena potencia                        | 0,05                          |          |
| Voz humana {                                       | Bajo, cantando fortísimo      | 0,03     |
|  | Contralto, cantando pianísimo | 0,001    |
|  | habla normal                  | 0,000024 |
| Violín a la menor intensidad usada en un concierto | 0,0000038                     |          |

La mayoría de las notas musicales son complejas, componiéndose de una fundamental y una serie de armónicos. En el oboe, la gama de notas fundamentales va de 233 a 1.574 Hz., aproximadamente. Los armónicos extienden su gama hasta unos 11.000 Hz.

### 8.1 CARACTERÍSTICAS DIRECCIONALES

Hemos visto que la distribución espacial de la energía que tiene la voz, forma un gráfico complicado dependiente a la vez del ángulo y de la frecuencia. Si éstas son bajas (longitudes de onda largas) la distribución es casi uniforme. Si son altas - longitudes de onda más corta - el sonido se concentra en una región frontal reducida. Ver Figura 3.5.

El mismo gráfico general de distribución lo producen los instrumentos musicales. Cuando la longitud de onda es grande comparada con las dimensiones de la fuente, hay muy poca concentración de energía. Al aumentar la frecuencia se acorta la longitud de onda. Al aproximarse a las dimensiones de la fuente o hacerse menor que ellas, se vuelve direccional la distribución, de modo muy manifiesto en ciertos casos.

La compleja construcción de algunos instrumentos es causa de que sus gráficos de directividad tengan muchos lóbulos, que pueden cambiar rápidamente de intensidad y dirección. Se deben a la interferencia entre las ondas sonoras procedentes de más de una fuente de sonido. Tratándose de instrumentos de viento de madera, tales como el clarinete, óboe, etc., el sonido proviene de los agujeros y del pabellón o boca de salida. La parte frontera y trasera de la caja del violín vibran en toda una amplia gama de frecuencias, lo cual produce lóbulos. En cambio, en los instrumentos de metal, como por ejemplo la trompeta y el trombón, el sonido procede sólo del pabellón, y la distribución es mucho más regular.

La gama fundamental del violín supone cerca de 1.000 Hz., comenzando por su cuerda más baja, de 200 Hz. Con los armónicos incluidos, la más alta frecuencia llega hasta unos 14.000 Hz. Pasa lo mismo con todas las fuentes de sonidos musicales, voz humana e instrumentos. Y para oírlos bien, no sólo han de estar presentes todas las frecuencias -fundamentales y armónicas-, sino que han de guardar sus debidas amplitudes relativas entre sí.

Hasta aquí se ha tratado de la frecuencia. En cuanto a la intensidad hay que destacar dos factores. La gama máxima, que como hemos visto es de 70 dB, va del pianísimo al fortísimo. No toda la música que oímos en la práctica explota esta gama plena de intensidades. La gama depende de cómo usa los instrumentos que tiene a disposición el compositor.

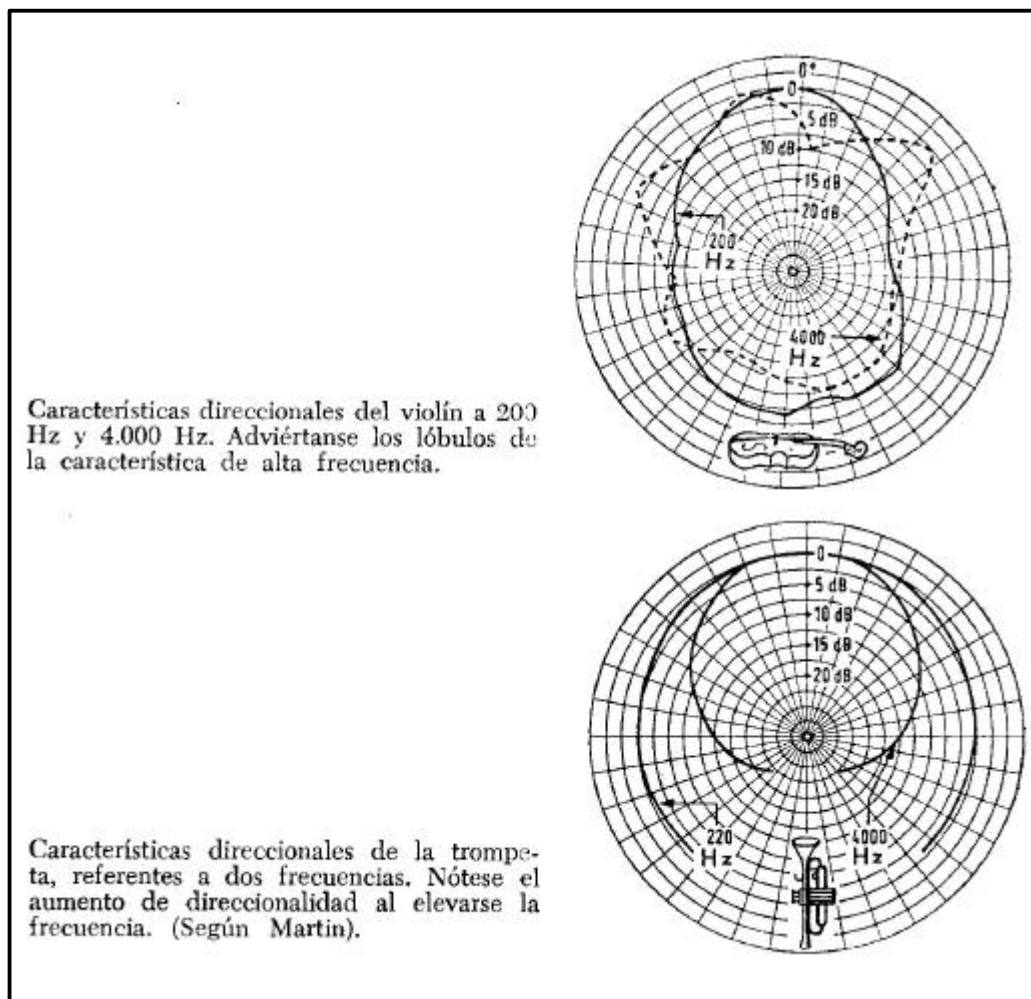


Fig. 3.5