



ISSN 1988-6047 DEP. LEGAL: GR 2922/2007 Nº 13 – DICIEMBRE DE 2008

## “ASPECTOS ACÚSTICOS”

AUTORÍA <b>ANTONIO BERNAL MERCEDES</b>
TEMÁTICA <b>MÚSICA</b>
ETAPA <b>GRADO PROFESIONAL DE MÚSICA</b>

### Resumen

La acústica es la parte de la física que trata de la formación y prolongación del sonido, es la parte científico-técnica del arte musical. La música y todas las artes en general tienen la dualidad arte-ciencia. A esta última es la que vamos a dedicar nuestros conocimientos.

### Palabras clave

Movimiento

Vibraciones

Ondas

Sonido

Elongación

Ciclo

### 1. INTRODUCCIÓN HISTÓRICA.

Data de muchos siglos la preocupación del hombre por conocer las leyes que rigen el sonido. Pitágoras (582-500 a.C) realizó junto a sus discípulos Euricles, Erastótenes, Ptolomeo, las primeras experiencias científicas sobre el sonido. Estos filósofos encontraban en las relaciones entre las longitudes de las cuerdas y los intervalos armónicos más sencillos la base para muchas especulaciones.

Los romanos, herederos de la cultura griega, no aportaron absolutamente nada a las investigaciones acústicas iniciadas por aquellos. Sería en el siglo VI cuando Severiano Boecio codificó en su tratado “De Institución Música” todo la teoría musical de su época. Su autoridad y su influencia fue casi tan grande en el medievo como las de Aristóteles, y sobre los escritos de ambos se apoyan todos los teóricos hasta fines del siglo XIV.



ISSN 1988-6047 DEP. LEGAL: GR 2922/2007 Nº 13 – DICIEMBRE DE 2008

Con el desarrollo de la música instrumental surgen en los siglos XV y XVI teóricos como Ramos de Pareja y Salinas, interesados por problemas relacionados con el temperamento de los instrumentos de teclados. Podríamos decir que en época comienza verdaderamente el estudio científico de la acústica musical. Gassendi descubrió la relación entre la altura de un sonido y la frecuencia del movimiento vibratorio que la origina. Mersenne (1588-1648) estableció las leyes que aún llevan su nombre sobre las vibraciones, realizando estudios sobre el eco. Otto von Guericke descubrió que el sonido no se propaga en el vacío. Posteriormente, Euler y D'Alembert formularon la teoría de las cuerdas vibrantes y Bernoulli estableció la de los tubos sonoros.

Durante el siglo XIX Helmholtz, Rayleigh y Koenig realizaron los estudios que han fundamentado la acústica musical moderna y los experimentos de Young y Edison sobre la inscripción de movimientos vibradores y la invención del gramófono, por éste último, abrieron al arte y a la ciencia perspectivas amplísimas.

## **2. EL SONIDO: DEFINICIÓN Y ELEMENTOS.**

El sonido es la sensación experimentada cuando llega al oído las ondas producidas por determinados movimientos vibratorios.

Estas sensaciones sonoras pueden ser objetivas y subjetivas. Las objetivas son de tipo material o concretas: lugar, distancia, tipo de instrumento que lo produce, si es fuerte o piano, etc... Y las subjetivas entran en el plano de lo abstracto, se refieren a las sugerencias que influyen en cada oído el tipo de sonido. Entramos así en el aspecto psicológico y espiritual que pertenecen al ámbito filosófico de la música.

## **3. VIBRACIÓN.**

La característica básica de nuestro mundo físico en el cual se origina el sonido es la reencarnación de la energía extraordinariamente expansible: la vibración. No toda vibración es una fuente de sonido, sino solo aquellas que reúnen unas características determinadas y concretas. Sin embargo, el sonido puede originarse únicamente por medio de la vibración. A un nivel puramente mecánico el sonido es vibración. Así pues, la vibración es una oscilación sujeta a rozamientos u otras pérdidas de energías, cuyas repercusiones rebotan con una fuerza igual a la fuerza del impulso (acción-reacción).

## **4. ELEMENTOS DEL SONIDO.**

Para que existan sonido son necesarios tres elementos:

- **Movimiento vibratorio:** es aquel que se produce cuando se manipula cualquier objeto susceptible de producir vibraciones. Es el elemento en concreto que lo produce, es decir, el productor del sonido propiamente dicho.



ISSN 1988-6047    DEP. LEGAL: GR 2922/2007    Nº 13 – DICIEMBRE DE 2008

- Medio transmisor: es aquel por el que se propagarán las ondas producidas por el movimiento vibratorio anteriormente citado.
- Sujeto receptor: aquel que capta las ondas producidas en el medio transmisor por el movimiento vibratorio transformándolas en sensaciones sonoras mediante un aparato adecuado, el oído. Este selecciona de entre las ondas aquellas que son transformables en sensación sonora.

La ausencia de cualquiera de estos tres elementos hace imposible la existencia del sonido.

## 5. MOVIMIENTO PERIÓDICO.

Se dice que un cuerpo o móvil realiza un movimiento periódico cuando pasa por los mismos puntos a intervalos de tiempo iguales, con idénticos sentidos y velocidades.

Cada movimiento queda definido por sus magnitudes, es decir, datos que le identifican particularmente y le diferencian del resto de los de su grupo. Dichas magnitudes son de dos clases, en función de la característica principal a que se refieren: espacio o tiempo.

Las magnitudes que se refieren al tiempo son ciclo, elongación y amplitud, y las que se refieren al espacio el periodo, la fase y el tiempo de amplitud.

La magnitud que relaciona el espacio y el tiempo se denomina frecuencia.

### 5.1. Magnitudes del espacio.

Ciclo: es el recorrido realizado por el cuerpo desde una posición cualquiera de su trayectoria hasta volver a ella con el mismo sentido. Es independiente la medida del ciclo del punto elegido para su inicio, ya que inexorablemente el cuerpo ha de realizar el recorrido completo. Se mide en unidades de longitud, y la medida es el metro.

Elongación: es la distancia en un instante dado entre el cuerpo y su posición de equilibrio o reposo. Se mide igualmente en unidades de longitud. La elongación es una magnitud variable con el tiempo, es decir, en cada momento es diferente.

Amplitud: es la distancia entre el punto de equilibrio y de cada uno de los punto extremos. Se mide en unidades de longitud. La amplitud es también la elongación máxima, ya que es lo máximo que el cuerpo puede separarse de la posición de equilibrio. Comparando la definición de ciclo con la de amplitud se deduce que el ciclo es igual a cuatro amplitudes.

### 5.2. Magnitudes del tiempo.

Periodo: es el tiempo transcurrido entre dos pasadas consecutivas por el mismo punto en el mismo sentido. Se mide en unidades de tiempo, es decir, en segundos. El periodo es a su vez el tiempo del ciclo.



ISSN 1988-6047 DEP. LEGAL: GR 2922/2007 Nº 13 – DICIEMBRE DE 2008

Fase: es el tiempo necesario para que cuerpo se desplace desde la posición de equilibrio hasta una posición cualquiera de su trayectoria o viceversa, siempre por el camino más corto. Se mide en segundos. La fase es el tiempo de la elongación, y es variable, ya que en cada punto de su trayectoria el tiempo para desplazarse a la posición de equilibrio es distinto. Se denomina fase inicial a la fase en el momento inicial de la observación, que se llamará fase cero. Se denomina diferencia de fase entre dos movimientos periódicos de igual periodo al tiempo que transcurre desde el instante en que las elongaciones de uno de ellos alcanzan el valor cero, (paso por el punto de reposo) hasta el instante en que las elongaciones del otro alcanzan ese mismo valor con idéntico sentido.

Tiempo de amplitud: es el tiempo que tarda el cuerpo en ir desde la posición de reposo a cada uno de los extremos. Es también la mayor fase que dicho cuerpo puede tener en un momento determinado. El periodo es, por tanto, cuatro veces al tiempo de amplitud.

La magnitud que se refiere al espacio y al tiempo es la frecuencia, que es el número de veces que en la unidad de tiempo el cuerpo pasa por una misma posición en el mismo sentido, es decir, el número de veces que se realiza el ciclo en la unidad de tiempo. Se mide en ciclos por segundos, denominado Hertz, en honor al físico alemán Henry Hertz (1857-1894) o hercio:

$$F = n^{\circ} \text{ de ciclos} / 1 \text{ segundo}$$

A mayor vibración mayor frecuencia (más agudo), y a menor vibración menor frecuencia (más grave).

El caso más importante de movimiento periódico es aquel en que el móvil se desplaza siguiendo una trayectoria rectilínea o curvilínea, recorriéndola alternativamente en un sentido y en sentido contrario. Este tipo de movimiento periódico se llama oscilatorio y puede ser rectilíneo o curvilíneo.

En estos tipos de movimientos el paso del móvil por un mismo punto en el mismo sentido se denomina oscilación en lugar de ciclo. La frecuencia, es pues, el número de oscilaciones por segundo, a la que también se le llama hercio. Cuando las oscilaciones son muy pequeñas se le denomina vibraciones, dando lugar al movimiento vibratorio.

Podemos definir el movimiento vibratorio como el movimiento periódico oscilatorio de oscilaciones muy pequeñas.

## 6. MOVIMIENTO ARMÓNICO SIMPLE

Se dice que un movimiento es armónico cuando los desplazamientos del cuerpo son directamente proporcionales a las fuerzas que provocan dichos desplazamientos.

Cuando un cuerpo vibra siguiendo una sola trayectoria se llama movimiento armónico simple, en caso contrario, complejo o compuesto. El movimiento vibratorio armónico simple es el que deben realizar todos los cuerpos y fuentes sonoras. En las cuerdas las partículas de estas vibran perpendicularmente a la misma, denominándose vibración transversal. El aire de los tubos sonoros lo hacen en direcciones paralelas al tubo, denominándose en este caso vibraciones longitudinales. Hay otros cuerpos como las placas y membranas cuyas vibraciones se producen en las dos direcciones.



ISSN 1988-6047 DEP. LEGAL: GR 2922/2007 Nº 13 – DICIEMBRE DE 2008

## 7. MOVIMIENTO ARMÓNICO COMPLEJO.

Prácticamente todos los sonidos son producidos por movimientos vibratorios complejos, es decir, por la composición de movimientos de distintas direcciones. El teorema de Fourier relaciona los movimientos vibratorios, cualquiera que sea su grado de complejidad, con movimientos armónicos simples. Su enunciado es el siguiente: “Un movimiento vibratorio cualquiera de periodo  $T$  y frecuencia  $F$  es siempre expresable como una suma de movimientos armónicos simples, cuyos periodos son  $T, T^1, T^2, T^3, \dots$  y frecuencias  $F^1, F^2, F^3, \dots$ , es decir, cualquiera que sea la forma de la curva periódica compleja, puede ser descompuesta en un número indefinido de sinusoides. La inversa también será cierta, la suma de varios movimientos armónicos simples de distintos periodos da como resultado un movimiento vibratorio complejo. Para ello es suficiente con sumar algebraicamente las coordenadas de las curvas para cada abscisa, resultando una curva periódica no senoidal, como respondería a un movimiento armónico simple, sino a un movimiento vibratorio complejo”.

## 8. MOVIMIENTO VIBRATORIO AMORTIGUADO.

Hasta ahora se ha supuesto que el movimiento vibratorio se mantenía con igual característica indefinidamente, es decir, que el movimiento vibratorio tal como lo hemos estudiado no corresponde al movimiento real de los cuerpos oscilantes o vibrantes, sino que sería el movimiento cumplido por cuerpos ideales, sin que intervengan factores como el roce y la resistencia del medio en el cual se cumple la oscilación. En la práctica los cuerpos vibran según las leyes del movimiento oscilatorio amortiguado. La amplitud en el movimiento vibratorio amortiguado es la máxima elongación de la primera vibración, la elongación máxima disminuye para cada vibración sucesiva de un modo tal que la primera elongación máxima es a la segunda como la segunda es a la tercera y así sucesivamente. Este modo de decrecimiento se llama “decrecimiento logarítmico”.

## 9. CUALIDADES DEL SONIDO.

Las cualidades que se distinguen habitualmente en el sonido, o más bien en las sensaciones sonoras, son tres: altura, intensidad y timbre.

La altura de un sonido es la cualidad que queremos expresar cuando decimos que un sonido es más agudo o más grave que otro. Depende principalmente de la frecuencia del movimiento vibratorio que lo origina, correspondiendo los sonidos agudos a las frecuencias elevadas, y a los graves a las frecuencias bajas.

El oído selecciona las vibraciones aptas para ser transformadas en sonidos, por lo que a la frecuencia se refiere, producen sonidos los movimientos vibratorios que se hallan entre 16 y 20000 ciclos/segundos.



ISSN 1988-6047 DEP. LEGAL: GR 2922/2007 Nº 13 – DICIEMBRE DE 2008

Los sonidos cuya frecuencia sobrepasa los 12000 ciclos ocurren raramente en la práctica musical. Los movimientos vibratorios cuya frecuencia es insuficiente para producir sonidos se llama infrasonidos, por otro lado, los ultrasonidos son aquellos que sobrepasan el límite de las frecuencias audibles.

La intensidad de un sonido es la cualidad que queremos expresar cuando decimos que un sonido es más fuerte o más débil que otro. Depende de la amplitud, del movimiento vibratorio que la origina.

El timbre es la cualidad que permite diferenciar dos sonidos de igual altura e intensidad, pero de diversa procedencia. Depende del grado de complejidad del movimiento vibratorio que origina el sonido. Un cuerpo que vibra según las leyes del movimiento armónico simple produce un sonido puro. La mayoría de los sonidos provienen de movimientos vibratorios complejos. Sabemos por el teorema de Fourier que si un cuerpo realiza un movimiento vibratorio complejo, podemos considerar que realiza simultáneamente los movimientos armónicos simples en que este movimiento puede descomponerse, por lo tanto, si el movimiento vibratorio complejo produce un sonido, este se puede descomponer en los sonidos puros que provienen de los movimientos armónicos simples componentes.

Cada sonido puro se llamará armónico, denominándose fundamental o primer armónico al sonido más grave correspondiente al movimiento armónico simple de periodo  $T$  (frecuencia  $N$ ), y segundo armónico, tercer armónico,...a los siguientes cuyos periodos serán  $T^2$ ,  $T^3$ ,...El conjunto de las sensaciones sonoras producidas por los armónicos producirán la sensación de timbre del sonido que compone.

Un mismo cuerpo sonoro puede producir varios sonidos, según en las condiciones en las que vibre. El más grave de estos sonidos se llama también fundamental, pero los demás deben ser llamados parciales en lugar de armónicos, pues la serie de sonidos parciales obtenible sobre un cuerpo sonoro puede ser semejante o no a la serie armónica derivada de la misma fundamental. En el primer caso, los parciales serán parciales concordantes, y se les puede designar como armónicos sin gran error. El segundo caso serán parciales discordantes, y será incorrecto designarlos como armónicos.

El número de armónicos que forman el timbre de cada sonido depende del cuerpo sonoro que lo produce y la manera de excitar a este. Por esta razón el timbre de un sonido permite precisar su procedencia y el modo de obtención.

Hemos empleado hasta ahora la palabra sonido para todas las sensaciones sonoras, pero pueden clasificarse en dos grupos: sonido y ruido.

El sonido, tomando esta palabra en su sentido restringido, es la sensación agradable producida por movimientos vibratorios periódicos de altura definida y de proveniencia fácil de establecer. El ruido, en cambio, es una sensación frecuentemente desagradable, producida por movimientos periódicos irregulares, de altura imprecisa y proveniencia incierta.

La mayoría de los instrumentos musicales producen sonidos y ruidos simultáneamente. Desde luego, la intensidad de los ruidos es muy pequeña, comparada con la de los sonidos, pero contribuyen a caracterizarlos.

## 10. CUERPOS Y FUENTES SONORAS.



ISSN 1988-6047 DEP. LEGAL: GR 2922/2007 Nº 13 – DICIEMBRE DE 2008

Se llaman cuerpos sonoros a aquellos que mediante una excitación adecuada vibran de manera tal que producen sonidos. Cuando las moléculas que forman un cuerpo sonoro son desalojadas de su posición de equilibrio, se originan debido a las fuerzas elásticas movimientos compensatorios que tienden a devolverles su posición inicial, produciéndose así las vibraciones.

Los cuerpos sonoros utilizados en música pertenecen por su estado físico a los sólidos y a los gases. Los cuerpos sólidos pueden tener muy variados orígenes (madera, metal, tripa, plástico...), por su forma se dividen en varillas, placas, cuerdas y membranas. Las varillas y las cuerdas son cuerpos en que la longitud es mucho mayor que las otras dos dimensiones, mientras que en las placas y membranas el largo y el ancho son notablemente mayores que el espesor. Cabe hacer notar que los cuerpos rígidos como las varillas y las placas necesitan sólo de un cuerpo de sostén para actuar como cuerpos sonoros, mientras que las cuerdas y membranas como cuerpos sensibles deben ser previamente puestas en tensión.

## 11. ÍNDICES ACÚSTICOS: LA NORMAL Y LA MEDIANTE.

Para fijar la altura de los diversos sonidos empleados en música sin recurrir a la notación musical corriente han sido ideados diversos sistemas de índices acústicos, que consisten en ordenar todos los sonidos en sentido ascendente, y atribuir a cada “do” un subíndice u otra señal convencional que se conservan para todas las notas de la octava que le sigue.

Es costumbre afinar las orquestas e instrumentos en general tomando como base la afinación del “La4”, la cual ha variado considerablemente desde 363 ciclos por segundo (observado por Messenne, 1648) hasta 461 ciclos, desde el siglo pasado en América. En el siglo XVII el desorden en lo referente a la afinación en el “La4” era tal que se afinaba a distinta altura, según se ejecutara música sagrada o profana.

La tendencia general de la afinación ha sido ascendente buscando el brillo que trae consigo el ascenso. Pero desde fines del siglo pasado esta ascenso ha sido contenido y estabilizado, pues la altura excesiva perjudica al timbre de todos los instrumentos, volviéndolos estridentes. En Viena se reunió en 1885 un congreso que fijó la frecuencia del “La4” en 435 ciclos llamándose el La normal o internacional. Actualmente se utiliza el “La4” de 440 ciclos, denominado brillante o de concierto, con el cual afinan casi todas las orquestas de importancia. Establecido por una convención internacional reunida en Londres en 1939 fue definitivamente adoptada en 1953 por el congreso técnico- internacional de acústica.

Las frecuencias de los diversos “do” fueron fijadas por los físicos para mayor simplicidad como potencias sucesivas de Do:Do<sup>0</sup> = 16 ciclos/segundos, Do<sup>1</sup> = 32 ciclos /segundos, Do<sup>2</sup> = 64 ciclos/segundos, y así sucesivamente...A esta afinación llamada aritmética o filosófica corresponde un La 4 de 427 c/s, no ha sido utilizada nunca en la práctica instrumental, pero es necesario conocerla, pues aparece frecuentemente en algunas obras científicas.

## 12. INTERVALOS: SU EXPRESIÓN COMO COCIENTE DE FRECUENCIAS.



ISSN 1988-6047 DEP. LEGAL: GR 2922/2007 Nº 13 – DICIEMBRE DE 2008

Los intervalos musicales, ya sean melódicos o armónicos, se expresan habitualmente en acústica musical por el cociente de las frecuencias de los sonidos que los componen. Para expresar los intervalos como cociente de frecuencia, se ha convenido en colocar como denominador la frecuencia del sonido a partir del cual se cuenta el intervalo. Según este sistema la 5ª J (La4- Mi5) será 660/440, la 4ª J (La4-Mi4) será 330/440.

La gran ventaja que presenta este método estriba es que cada especie de intervalo se caracteriza por una relación que le es propia. Si simplificamos la fracción que corresponde a la 5ª J obtendremos la relación 3/2, que no sólo corresponde a esta 5ª J, sino a todas las 5ª J cualquiera que sea la altura de los sonidos que las compongan. Por lo tanto, las fracciones 660/440, 150/100, 900/600, 300/200... que simplificadas dan 3/2 corresponderían siempre a sonidos que forman un intervalo de 5ª J. De igual modo a la 8ª J le corresponderá la relación 2/3 y a la 4ª J la relación 4/3.

### 13. BIBLIOGRAFÍA.

- Calvo Manzano, A. (1991). *Acústica físico-musical*. Madrid: Real Musical.
- Savioli, V. (2004). *Introducción a la acústica*. Buenos Aires: Alsina.
- Olazábal, T. (1954). *Acústica musical y organología*. Buenos Aires: Ricordi.
- Rosado, C. (1974). *Acústica*. México: Trillas.

#### Autoría

---

- Nombre y Apellidos: Antonio Bernal Mercedes
- Centro, localidad, provincia: Cádiz
- E-mail: momuaso@yahoo.es