

Acústica

Francisco Vila Doncel
Conservatorio Superior de Badajoz

11 de enero de 2003

Índice general

Introducción	5
I El sonido	6
1. Generalidades	7
1.1. La Acústica	7
1.2. Oscilaciones	7
1.3. Vibraciones	7
1.4. Elongación	8
1.5. Amplitud	8
1.6. Frecuencia	8
1.7. Concepto de onda	9
1.8. Ondas en un medio	9
1.9. Otras ondas	9
1.10. Ondas transversales y longitudinales	10
1.11. El sonido	10
1.12. Problemática de su definición al margen del oído humano	10
1.13. La velocidad del sonido	11
1.14. La barrera del sonido	11
1.15. El tono o altura	11
1.16. Límites del oído humano en la percepción del tono y concepto de ultrasonido	12
1.17. Intensidad	12
1.18. El dB	12
1.19. La escala de los dB	13
2. Propiedades y representación	14
2.1. El timbre	15
2.2. Fundamento del timbre	15
2.3. Vibración fraccionada de los cuerpos. La serie armónica	15
2.4. Mezcla de armónicos	16
2.5. Formas de onda	16
2.6. La onda senoidal. El sonido del diapasón	17
2.7. Teorema de Fourier y análisis armónico	17
2.8. Ondas puras y compuestas	18
2.9. Descripciones de un timbre	18
2.10. Timbre de un instrumento y timbre de un sonido	18
2.11. Timbre estático y timbre dinámico	19

<i>ÍNDICE GENERAL</i>	2
2.12. Transitorios de ataque	19
2.13. Ruido y timbre	19
2.14. La envolvente de intensidad	20
2.15. Tipos de envolvente	20
2.16. Espectros	20
2.17. La teoría del formante	20
2.18. La serie armónica y la armonía	20
II Cuerpos vibrantes	21
3. Cuerdas	22
4. Tubos	23
5. Parches y láminas. Otros cuerpos vibrantes	24
6. Fenómenos sonoros	25
6.1. Generalidades	25
6.2. Reflexión y absorción	25
6.3. Reverberación	25
6.4. Refracción	25
6.5. Difracción	25
6.6. Resonancia	26
6.7. Enmascaramiento	26
6.8. Distorsión	26
6.9. Interferencia y batidos	26
6.10. El efecto Döppler	26
III Afinación y temperamento	27
7. Afinación	28
IV Organología	29
8. Instrumentos de cuerda frotada	30
9. Instrumentos de cuerda pulsada	31
10. Instrumentos de cuerda percutida	32
10.1. El clavicordio	32
10.2. El piano	32
11. Instrumentos de viento	33
11.1. Mecanismos de producción de las perturbaciones	33
11.2. Mecanismos de producción de las notas	33
11.3. Efectos de la temperatura	33
11.4. Lengüeta libre (acordeón)	33

<i>ÍNDICE GENERAL</i>	3
12.La voz humana	34
12.1. Registros	34
13.Instrumentos musicales electrónicos	35
V Acústica arquitectónica	36
14.Propiedades acústicas de una sala	37
15.Adecuación al tipo de música	38
VI La grabación y la sonorización	39
VII Psico-acústica	41
16.El oído humano y la audición	42
17.Psicología de la audición	43
A. Bibliografía	45

Introducción

Propósito

Este libro está destinado a servir como libro de texto para su uso en las clases de la asignatura de Acústica en los Conservatorios de Música.

Ello no impide que pueda interesar a músicos o estudiantes que no llevan esta asignatura en su currículo, o incluso a personas con alguna inquietud por los temas de Acústica, aunque es cierto que existe un buen número de títulos más exhaustivos que éste, que en todo caso yo recomiendo y que se encuentran citados en el apartado de Bibliografía.

Las matemáticas

Cualquier estudiante de música de Grado Superior debería poder cursar esta asignatura con aprovechamiento, sin unos conocimientos muy amplios de matemáticas; en el apéndice nos ocupamos de recordar algunas operaciones que nos serán útiles para ciertos capítulos. Dado el auditorio específico a que está destinado el texto, hemos evitado expresamente el rigor propio de los estudios universitarios de matemáticas, algo que a buen seguro hará sonreír a muchos lectores avezados en esta materia. Pero no debemos perder de vista que este libro está destinado a músicos, personas que de entrada pertenecen a una amplia variedad de niveles de estudios generales. Aquellos que consideren inexactas, por demasiado simplistas, nuestras afirmaciones desde un punto de vista puramente formal, se harán cargo y comprenderán la necesidad de hacerlo de esta manera; al mismo tiempo, los que se encuentren con que algunas materias, quizá algo olvidadas desde el bachillerato, necesitan un repaso, no encontrarán aquí ninguna dificultad insalvable.

Nuestra intención es crear un escrito útil a la mayoría, capaz de despertar el interés por la realidad del sonido, que no es otra cosa que la materia prima de la Música.

Parte I

El sonido

Capítulo 1

Generalidades sobre ondas y propiedades del sonido

1.1. La Acústica

Estudiar acústica es importante para un músico porque le hará comprender qué ocurre en cada uno de los elementos de la cadena musical: los instrumentos musicales, el medio y la sala en que se utilizan, nuestro oído y nuestro cerebro.

Cuando consideramos cada elemento de los que acabamos de relacionar, podemos fijarnos en su interior y en su exterior: así, por ejemplo, observaremos los instrumentos musicales en su aspecto externo tanto como en sus interioridades constructivas. Del mismo modo, distinguiremos entre el sonido que viaja por el aire, inundando el espacio, y las sensaciones que produce en nosotros, prácticamente desde el momento en que incide en nuestro pabellón auditivo.

1.2. Oscilaciones

Un cuerpo oscila cuando va de un lado a otro, como un ventilador o un péndulo. Una oscilación puede ser libre, como cuando dejamos el péndulo suelto. También puede ser forzada, como cuando tomamos el péndulo con la mano y lo movemos de un lado a otro.

En las oscilaciones libres, por lo general no podemos elegir el tipo de movimiento del cuerpo que oscila. En las oscilaciones forzadas podemos determinarlo hasta cierto punto.

Temas relacionados: Resonancia

1.3. Vibraciones

Una vibración no es más que una oscilación rápida.

Tomemos un cuerpo flexible como una regla de plástico y sujetémosla contra el tablero de una mesa. Si golpeamos el extremo libre de la regla, ésta comenzará a vibrar. Visto a cámara lenta, esto es una oscilación. No hay ninguna diferencia aparte de la “rapidez”.

Un cuerpo oscilante tiene un punto de equilibrio o reposo: aquél en que el cuerpo permanece quieto si se lo deja suelto. Llamaremos en adelante *punto cero* a este lugar de equilibrio; en el caso del péndulo, el punto cero está en la mitad del recorrido y su posición es perfectamente vertical.

Temas relacionados: Formas de onda

1.4. Elongación

Cuando un cuerpo oscila o vibra, en todo momento hay una cierta distancia al punto cero. Naturalmente, si el cuerpo está en el punto cero, esta distancia es cero. Conforme el cuerpo se aleja del punto cero hacia un lado (p.ej. hacia la derecha), esta distancia es positiva. Si el cuerpo se aleja hacia el lado contrario, hablaremos de distancia negativa.

A esta distancia, positiva o negativa, entre el cuerpo y el punto cero, le llamamos elongación.

Dibujo de la elongación

Figura 1.1: Elongación

1.5. Amplitud

La amplitud es la máxima elongación, es decir: la mayor distancia al punto cero que el cuerpo alcanza cuando oscila (Figura 1.2).

A veces llamamos amplitud a la distancia entre los dos puntos de máxima elongación, el positivo y el negativo. Ésta sería, lógicamente, el doble de la anterior. Esto no es un problema para nosotros, pues al ser una el doble de la otra, son proporcionales y nos podemos referir indistintamente a cualquiera de los dos conceptos por el nombre de “amplitud”.

Dibujo de la amplitud

Figura 1.2: Amplitud

Temas relacionados: Amplitudes que percibe el oído humano. Secciones de un sintetizador. Amplificadores.

1.6. Frecuencia

Las oscilaciones se repiten cíclicamente. Esto significa que, en su movimiento, llegado un cierto momento todo se vuelve a repetir exactamente igual (o casi). En general tenemos cuatro fases:

1. El cuerpo está en un extremo de máxima elongación y se dirige al punto cero.
2. El cuerpo está en el punto cero, y sigue en la misma dirección hacia el punto opuesto de máxima elongación.
3. El cuerpo llega a este extremo opuesto, se detiene, e inicia su camino de retorno.
4. El cuerpo pasa por segunda vez por el punto de equilibrio, camino del punto de partida, donde se detendrá momentáneamente.

A partir de este momento decimos que se ha completado un ciclo y observaremos cómo se repite una y otra vez.

Si, en un lapso fijo de tiempo (como un segundo), contamos el número de ciclos completos que el cuerpo describe, tendremos una medida de su frecuencia vibratoria en ciclos por segundo. La unidad que usamos para expresar frecuencias es el hertzio o hercio, abreviadamente Hz. Una frecuencia de 1 Hz (un hercio) equivale a un ciclo por segundo.

El sonido es producido por vibraciones. La altura del sonido depende de la frecuencia de esta vibración.

Temas relacionados: Frecuencia natural de vibración. Sistemas de afinación. Altura de una cuerda. Altura de un tubo.

1.7. Concepto de onda

¿Qué es una onda?

A veces puede ser más fácil decir qué *no* es una onda.

Una corriente de agua, como un río, *no* es una onda. Las olas del mar serían algo más parecido a una onda.

Pensemos en un medio material, formado por una infinidad de pequeñas partículas, como el agua. Da igual que este medio sea sólido, líquido o gas. Representemos las partículas de este medio mediante una fila de cuatro monedas, colocadas sobre una mesa de forma que se toquen unas a otras. Sujetemos tres monedas consecutivas con sendos dedos de una mano, dejando libre la cuarta moneda. Si lanzamos otra moneda contra la primera de la fila, la que estaba libre al otro extremo saldrá despedida. Nuestras monedas no se han movido: las teníamos firmemente sujetas. Esto es un ejemplo claro de onda. Concretamente, una del tipo mecánico.

Pondremos otro ejemplo: entre dos personas sostienen una cuerda larga, sin que esté tensa. Una de las personas da una sacudida rápida a la cuerda: se verá claramente cómo la sacudida viaja por la cuerda hasta el otro extremo. Ésta también es una onda mecánica.

1.8. Ondas en un medio

Lo que distingue una onda de otros fenómenos naturales en que existe un desplazamiento neto de la materia, es que en las ondas es la energía del movimiento lo que se transmite de partícula en partícula, no las partículas en sí. En un medio material cada partícula tiene un lugar más o menos estable. Si una partícula empuja a su vecina, ésta a su vez empujará a una tercera. Cuando la primera partícula vuelva a su lugar, también lo hará la segunda, más tarde. El movimiento de vaivén se transmite de una a otra. Las partículas no se desplazan netamente, es la perturbación momentánea de su estado de reposo lo que se desplaza. Una onda es un desplazamiento de energía, no de materia.

Cuando una piedra cae sobre la superficie del agua, el estado de equilibrio se perturba. Esta perturbación se transmite en forma de circunferencias concéntricas, en todas direcciones. Un objeto flotando en la superficie, como un corcho, sube y baja al paso de la onda, pero no necesariamente se mueve del sitio.

1.9. Otras ondas

No todas las ondas necesitan un medio para transmitirse. Las ondas de radio se transmiten a la perfección en el vacío absoluto. Aquí el equilibrio perturbado es el de un campo electromagnético. La luz que vemos se comporta en muchas ocasiones como la onda que de hecho es, y también se transmite en el vacío.

Dibujo de una onda longitudinal

Figura 1.3: Onda longitudinal

1.10. Ondas transversales y longitudinales

Ahora compararemos la dirección de desplazamiento de la onda, con la del movimiento de las partículas del medio. Si ambas coinciden, es decir: si las partículas se empujan unas a otras en la misma dirección en que la onda se transmite, esta es una onda longitudinal. Por ejemplo: la fila de monedas sobre una mesa (Figura 1.3).

Si, en cambio, el movimiento de las partículas es perpendicular a la dirección de avance de la onda, es una onda transversal. Por ejemplo: el corcho que flota en la superficie del agua. [onda transversal]

Podemos ya adelantar que el sonido es una onda que se transmite en un medio, que comúnmente es el aire, y que es una onda longitudinal.

Temas relacionados: Vibración de una cuerda. Vibración de la columna de aire contenida en un tubo.

Recuerde: en una onda se desplaza la energía. Las ondas pueden ser transversales o longitudinales.

1.11. El sonido

Hemos visto en el apartado anterior que el sonido es una onda, concretamente una onda *mecánica*, y más concretamente aún: una onda mecánica *longitudinal*.

Cuando un cuerpo vibra en el aire, transmite su vibración a las “partículas de aire” (si se las puede llamar así) que lo circundan. Esto produce pequeñas “olas” que se expanden en forma de esferas concéntricas, en todas direcciones. Tarde o temprano, estas “olas” alcanzan nuestro tímpano y se inicia el mecanismo de la audición.

En ocasiones nos referiremos al sonido como formado por ondas de presión. Esto significa que las partículas, cuando se juntan y se separan, sin alejarse nunca mucho de su posición fija, dan lugar a capas de aire más “concentrado” o más “enrarecido”, respectivamente. Insistimos en que estas capas (bastante estrechas) que alternan alta y baja presión, tienen forma esférica y su radio crece conforme la onda se transmite.

Hemos dicho que estas olas u ondas de presión son bastante estrechas. La anchura de una onda de alta o baja presión es justamente la mitad de la distancia que separa cada una de la siguiente. Son como las crestas y los valles de las ondulaciones de la superficie del agua. El punto cero a que nos referíamos en el primer apartado, corresponde con la presión atmosférica media reinante en la zona. Los instantes de máxima o mínima presión, corresponden a los extremos de máxima y mínima elongación del cuerpo que vibra.

La distancia entre una cresta y la siguiente es la longitud de onda.

1.12. Problemática de su definición al margen del oído humano

Se nos plantea la siguiente duda: si el sonido es una sensación, ¿existe sonido cuando no hay nadie allí para oírlo?

Una respuesta es que también podríamos llamar sonido a “aquello que, caso de haber alguien allí que pudiera oírlo, lo oiría”. Otra respuesta es la siguiente: ya que la sensación está producida por un fenómeno físico, una vibración, no debería haber inconveniente en identificar a la propia vibración con el sonido, y de esta forma no es necesario oírlo para que exista objetivamente, ya que es un fenómeno físico real.

Lo cierto es que en Acústica estudiamos el sonido desde dos puntos de vista: por un lado el de la percepción humana (psico-acústica) y por otro el de la física.

1.13. La velocidad del sonido

Todas las ondas avanzan a una cierta velocidad: algunas son extremadamente rápidas, como la luz. Otras son bastante lentas, como una sacudida en la cuerda floja o las olas del mar.

El sonido tiene una velocidad en el aire de unos 340 metros por segundo. Comparado con la velocidad de la luz, ésta es una velocidad francamente lenta. El sonido no sólo se transmite por el aire, sino también por los sólidos y los líquidos. Cuanto más denso es el material, mayor tiene a ser la velocidad del sonido en este medio. Así, en el acero puede llegar a los 5.000 metros por segundo.

Es importante recordar lo siguiente: en aire caliente el sonido viaja más rápido que en aire frío.

Una velocidad de 340 metros por segundo se puede aproximar, sin cometer un error excesivo, por la de un kilómetro cada 3 segundos. De esta forma es fácil calcular la distancia aproximada de un rayo, simplemente dividiendo por 3 el tiempo en segundos que tarda el trueno en llegar, y expresando el resultado en kilómetros.

1.14. La barrera del sonido

Si bien la velocidad de la luz es insuperable, la del sonido es relativamente fácil de superar por parte de un vehículo supersónico, como el avión Concorde. Las dificultades estriban en la transición entre dos situaciones: la infrasónica y la supersónica. Las ondas de presión, que como sabemos se expanden en forma de esferas concéntricas, forman una figura en forma de cono cuando la fuente sonora se desplaza a velocidad supersónica. En el momento del paso de la velocidad infrasónica a la supersónica, las ondas se acumulan en la punta de la aeronave, formando una auténtica barrera de altísima presión. Cuando esta barrera toca el suelo, los habitantes situados en la superficie perciben un gran estruendo.

1.15. El tono o altura

Hemos adelantado ya que la frecuencia de un sonido es lo que determina su altura. Es el momento de precisar algo más esta relación entre el tono y la frecuencia.

La calidad de “agudo” o “grave” de un sonido es lo que llamamos altura o tono. Es una sensación que tendemos a unificar para cada sonido, esto es: siempre que es posible, nuestro oído asigna a un sonido una única altura.

Los sonidos de frecuencia más alta se perciben como más agudos; los de frecuencia más baja, como más graves. ¿Existe alguna otra relación entre las distintas alturas? Efectivamente. Cada vez que la frecuencia es doble, el tono que se percibe es una octava más agudo. El concepto de “octava” no tiene realmente nada que ver con el hecho de que las escalas más comúnmente utilizadas en la música occidental consten de siete notas (la octava nota sería una repetición de la primera). Más bien el nombre de octava, y nada más, proviene de este hecho. Nuestra idea de octava es aproximadamente la siguiente: nuestra percepción del tono sigue un patrón que se repite, es una

sensación que “se enrolla sobre sí misma”. Una sucesión de tonos cuyas frecuencias sean el doble, nota a nota, de otra sucesión, se percibe como teniendo esencialmente las mismas alturas, sólo que más agudas. Decimos que está una octava por encima.

1.16. Límites del oído humano en la percepción del tono y concepto de ultrasonido

¿Qué frecuencias puede tener un sonido? Para que podamos oír un sonido, habrá de tener no menos de 20 Hz. Las vibraciones más lentas no se perciben por el oído, sino más bien por el sentido del tacto, en forma de temblor. Ya que no podemos considerarlos “sonidos”, puesto que no los oímos, las vibraciones de frecuencia menor de 20 Hz se denominan infrasonidos.

Las frecuencias más agudas que podemos oír llegan a los 20.000 Hz. De igual manera, cualquier vibración de una frecuencia superior no podrá ser considerada un sonido, sino un ultrasonido.

Es importante darse cuenta de que estos límites de 20 y 20.000 Hz no son de ninguna manera exactos: en realidad lo que ocurre es que conforme la frecuencia vibratoria considerada es menor (o respectivamente: mayor) los sonidos se van oyendo más débiles, hasta que al llegar al límite inferior (respectivamente: superior) aproximado, no oiremos nada en absoluto.

Tampoco este margen es universal: los recién nacidos perciben sonidos de frecuencia muy superior a 20.000 Hz, y cuando crecemos nuestro límite se reduce, y de igual manera el oído de una persona de edad avanzada tiene un límite superior más reducido aún.

Animales como los perros y los murciélagos, oyen ultrasonidos que nosotros no podemos distinguir del silencio.

1.17. Intensidad

Todos tenemos un sentido de la mayor o menor fuerza de los sonidos que oímos. Es un sentido, como todos, subjetivo.

Cada persona tiene su propia medida para lo que es “fuerte” o “débil”. Y lo mismo ocurre con otras propiedades del sonido. Hasta ahora estamos mezclando dos conceptos que en un próximo apartado vamos a aclarar: las sensaciones que nos produce el sonido y las propiedades físicas de la onda sonora. Por supuesto, hay una relación estrecha, pero no son lo mismo.

1.18. El dB

Para expresar la fuerza o intensidad relativa del sonido, se emplea el decibelio, abreviadamente dB. Decimos que el decibelio es una medida “relativa” de la intensidad porque no expresa por sí sola cuán fuerte es un sonido aislado, sino cuán fuerte es en relación con otro sonido cuya intensidad se toma como referencia. Hacemos el cálculo siguiente: sean M1 y M2 dos magnitudes (en nuestro caso intensidades absolutas) cuya relación queremos expresar en decibelios. De ellas, M1 es nuestro patrón de referencia, y M2 es la magnitud que nos interesa cuantificar.

Dividimos M2 entre M1

Hallamos el logaritmo

El resultado vendrá expresado en “belios”. Aún falta una operación:

Multiplicar por diez

Ahora el resultado está en decibelios (la décima parte del belio).

Así que M2 expresado en decibelios es

$$10 \times \log \frac{M2}{M1}$$

Estas operaciones están pensadas para que relaciones muy grandes entre M2 y M1, se expresen con números pequeños en forma de decibelios. Por cada diez veces que aumenta la relación M2/M1, la cantidad de decibelios aumenta en una unidad. Es necesario imaginar los decibelios como una medida del número de ceros que tiene la relación de magnitudes. Así, una relación de un millón de veces se expresa como 60 dB (seis ceros).

Para M1 (la intensidad de referencia) se suele tomar la intensidad umbral, o aquella que apenas somos capaces de percibir, y que es aproximadamente de una *billonésima* de watio de potencia sonora. Vea el apartado de ejercicios para aclarar definitivamente este tema.

Relación M2/M1	dB	Relación M2/M1	dB
1.000.000.000	90 dB	0.1	-10 dB
1.000.000	60 dB	0.01	-30 dB
1.000	30 dB	0.000001	-60 dB
10	10 dB	0.000000001	-90 dB
1	0 dB (M1=M2)		

1.19. La escala de los dB

Es muy útil una tabla que exprese las intensidades en dB de algunos sonidos que nos son familiares.

dB	Sonido
120	Umbral de dolor
50	Centro comercial
45-50	Motor de un coche a 80 Km/h
15	Susurro a 1 m.
0-5	Umbral de audición

Capítulo 2

Propiedades del sonido y representación gráfica de una onda

Imaginemos que queremos representar mediante un gráfico el lugar exacto en que se encuentra situado un cuerpo oscilante, como un péndulo, en cada instante. Trazamos una línea horizontal, que corresponde al punto cero. En nuestra gráfica el tiempo avanza hacia la derecha.

1. El péndulo está inicialmente en un extremo: lo representamos comenzando la curva en un punto relativamente alto.
2. El péndulo se mueve hacia el punto cero y pasa de largo: lo representamos mediante una curva que baja, atravesando la línea del punto cero.
3. El péndulo vuelve al punto de partida después de atravesar de nuevo el punto cero: la curva correspondiente sube hasta el nivel del que partió.

Este trazo que representa el tipo de movimiento del cuerpo que oscila, equivaldría a la curva que dibuja, sobre un papel que se mueve, la plumilla de un polígrafo¹.

El sonido es una onda y tiene las mismas propiedades que cualquier onda. Ahora tenemos trazada una curva en la que podemos observar estas propiedades. Estas son:

La duración del sonido. Esta propiedad es muy trivial: se refleja en que el trazo se extiende hacia la derecha ocupando un mayor o menor espacio horizontal.

La amplitud de la onda (la intensidad del sonido), puede observarse en la mayor o menor distancia que en la curva hay entre los puntos más altos y los más bajos, entre las cimas y los valles.

La frecuencia de la onda (la altura del sonido) se aprecia contando el número de veces que la curva repite el trazo (por ejemplo: subir y bajar), en un período de tiempo fijo representado por un espacio horizontal determinado.

¹Un “detector de mentiras”.

2.1. El timbre

Aún existe una propiedad del sonido que no hemos mencionado, el timbre. Como propiedad del sonido, el timbre es aquello que nos hace distinguir el sonido de los diferentes instrumentos, aunque estos sonidos tengan la misma duración, intensidad y altura. Decimos “timbre de trompeta”, “timbre de violín”, etcétera. Pero, ¿a qué propiedad de la onda, representable gráficamente, corresponde el timbre?

La respuesta es que los timbres del sonido están en función de la forma de la onda. A cada forma de onda le corresponde un timbre distinto. He aquí algunas formas de onda básicas:

Onda Cuadrada

Figura 2.1: Onda cuadrada. Su timbre recuerda al del clarinete.

Onda triangular

Figura 2.2: Onda triangular. Su timbre también recuerda al del clarinete.

Onda en diente de sierra

Figura 2.3: Onda en diente de sierra. Su timbre recuerda al del violín.

Así vemos que a las propiedades del sonido, que son percibidas de forma subjetiva por cada persona, les corresponden ciertas características físicas (objetivas) de la onda sonora.

Objetivas o físicas: amplitud, frecuencia, forma de onda

Subjetivas o auditivas: Intensidad o matiz, tono, timbre.

Diferencias e interrelación entre ambos grupos de propiedades.

2.2. Fundamento del timbre

Las distintas formas de onda, que se reflejan en diferentes timbres del sonido, tienen su origen en la mezcla de armónicos, los que a su vez se deben a la vibración fraccionada de los cuerpos. Aclaremos estos conceptos en ésta y las próximas secciones.

2.3. Vibración fraccionada de los cuerpos. La serie armónica

Cuando un cuerpo vibra, lo puede hacer bien en toda su longitud, o bien por fracciones. Cuando los cuerpos vibrantes como cuerdas y tubos sonoros vibran por fracciones, éstas son iguales entre sí: mitades, tercios, etcétera.

Para ser exactos, los cuerpos suelen vibrar a la vez en toda su longitud y también por mitades, tercios y las subsiguientes subdivisiones. Esto resulta en un movimiento generalmente muy complejo, salvo excepciones, ya que es mezcla de varios modos vibratorios.

Cuando una cuerda (o un tubo) vibra en toda su longitud, este modo es el que tiene la frecuencia más baja, o sea el tono más grave. Le llamaremos a este modo por el número 1.

Cuando vibra por mitades, su frecuencia es doble y su sonido es una octava más aguda que el modo 1. Se denomina modo 2.

Cuando vibra por tercios, la frecuencia es triple a la del modo 1, y su altura está una quinta por encima de la del modo 2 (una octava más una quinta por encima del modo 1). Es el modo 3.

Onda senoidal

Figura 2.4: Onda senoidal. Su timbre recuerda al de la flauta.

Si la relación o proporción entre las frecuencias de los modos 2 y 1 es de 2 a 1, y la del modo 3 con el 1 está en proporción de 3 a 1, entonces los modos 3 y 2 se encuentran en una proporción de frecuencias de 3 a 2.

El modo 4 tiene una frecuencia cuádruple de la del modo 1, y se encuentra en proporción de 2 a 1 respecto al modo 2. Cada vez que la proporción es doble, como en este caso, la altura es una octava más aguda. Por ello tenemos un sonido que es dos octavas más agudo que el sonido 1, y una cuarta por encima del sonido 3.

De esta forma vamos construyendo una sucesión de sonidos que recibe el nombre de serie armónica. Hay que reparar en una serie de puntos importantes acerca de esta serie:

Cada sonido de la serie corresponde a un modo de vibración de un cuerpo sencillo como una cuerda o un tubo.

Los intervalos que forman los sonidos de la serie armónica son los mismos cualquiera que sea el sonido número 1; este sonido corresponde al tono que oímos. Los demás sonidos estarán por encima de éste, guardando las mismas relaciones interválicas.

[comentario de cada armónico de la serie en forma de tabla]

2.4. Mezcla de armónicos

Es muy importante darse cuenta de lo siguiente: la vibración de los cuerpos es compleja y se compone de una combinación o mezcla de otros modos de vibrar más sencillos. Puesto que a cada modo de vibrar le corresponde un sonido de la serie armónica, estos sonidos están presentes a la vez en un timbre concreto; si no oímos normalmente cada armónico en particular es porque en nuestro sentido del oído los “fundimos” en uno solo, cuya altura es la del sonido número 1 de la serie. De todas formas, con un poco de concentración es posible distinguir los primeros armónicos de una nota grave del piano (por ejemplo), tocada con fuerza. De hecho, si recorremos la serie ascendentemente y vamos tocando suavemente los distintos sonidos, tendremos la sensación de que de alguna manera aquellos ya estaban sonando antes de tocarlos; ahora podemos decir tranquilamente que, efectivamente, estaban sonando.

Otro punto fundamental para comprender el fundamento del timbre, es que los armónicos, su cantidad y su intensidad relativa, son los responsables de las diferencias entre unos timbres y otros. Para un timbre dado, los armónicos son sonidos con unas alturas fijas pero unas intensidades que dependen del tipo de timbre. Así:

[acompañar del mapa de armónicos]

Un timbre de flauta tiene un primer armónico fuerte, el armónico 2 es mucho más débil y los restantes casi no existen.

Un timbre de clarinete tiene principalmente armónicos impares.

Un timbre de violín tiene armónicos pares e impares.

Además el timbre depende de la forma de onda: podemos ver ahora cómo los tres conceptos están íntimamente relacionados: timbre, forma de onda, armónicos.

2.5. Formas de onda

La forma de onda es un resultado directo de los armónicos presentes en un sonido, y a su vez esto determina el timbre que percibimos. Los timbres más “claros”, brillantes o incluso chillones o

estridentes, tienen gran cantidad de armónicos agudos, o dicho de otra forma: los armónicos que corresponden a números de orden elevado en la serie, tienen una intensidad relativamente alta. Por otro lado, los sonidos con “cuerpo”, apagados, dulces o de color “oscuro”, son pobres en armónicos agudos.

A la vista de una determinada *forma de onda*, la presencia de ángulos, esquinas y segmentos más o menos rectilíneos, es síntoma de abundancia en armónicos agudos; las formas de onda más suaves o redondeadas, son más pobres en armónicos agudos.

2.6. La onda senoidal. El sonido del diapasón

De todas las formas de onda, unas más “puntiagudas” y otras de curvas más suaves, la que con mayor propiedad pertenece al segundo grupo es la onda senoidal. Esta onda tiene muchos significados físicos y tiene importancia por su carácter de onda pura. Cuando veamos el teorema de Fourier en los apartados siguientes, esperamos que quede esto perfectamente aclarado. Los tonos senoidales son extremadamente insípidos al oído. Un diapasón de horquilla, cuando se golpea, da un sonido con forma de onda senoidal, aunque no en el momento mismo del golpe, sino después de que hayan transcurrido unos segundos. Los sonidos agudos de flauta también son aproximadamente senoidales.

Para los que quieran algo más de precisión diremos que la onda senoidal es físicamente una representación temporal de la altura de un punto que gira a velocidad constante alrededor de un punto fijo (por ejemplo: la proyección o sombra del mango de una manivela).

2.7. Teorema de Fourier y análisis armónico

El análisis de los armónicos presentes en un sonido que tiene un determinado timbre, se realiza mediante análisis de Fourier. El teorema de Fourier es viene a decir algo parecido a lo siguiente:

Cualquier forma de onda, a condición de que sea periódica (se repita siempre igual) se puede descomponer en una serie más o menos larga (quizá infinita) de ondas puras (senoidales) llamadas armónicos. Estos armónicos son tales que su combinación o mezcla dan lugar de nuevo al sonido original, y sus frecuencias son múltiplos enteros de la del sonido fundamental.

Por supuesto, según esta lógica, los armónicos ya no se pueden descomponer más en otros sonidos distintos, ya que son puros.

El análisis de Fourier de una onda *periódica* da lugar al mapa de armónicos que vimos en la página anterior, compuesto de líneas. Cada línea representa un armónico.

Los armónicos son sonidos. Un timbre puro (una onda senoidal) consta de un solo sonido, igual a sí mismo. Un timbre complejo (una forma de onda periódica distinta a la senoidal) consta de una serie de ondas senoidales *mezcladas, sumadas o combinadas* entre sí. Todos estos sonidos nos llegan fundidos en uno solo de forma que normalmente no podemos distinguir unos de otros. Como ya dijimos en la sección 2.4, al escuchar con una cierta concentración una onda compleja como una nota de un piano, podremos identificar, o aislar, los sonidos armónicos que componen dicho timbre. Nuestro oído es una especie de *analizador de Fourier*.

¿Qué ocurre si la onda no es periódica? En este caso tenemos una representación en la forma de un mapa de frecuencias que no está formado por líneas situadas a unas distancias fijas, sino que hay *algo* entre las líneas. Nuestro oído percibe estos sonidos como ruidos.

2.8. Ondas puras y compuestas

Así pues, a modo de resumen podemos decir que desde el punto de vista del análisis de Fourier, la única onda pura que existe es la que tiene forma senoidal. Todas las demás con compuestas, es decir: son el resultado de una combinación o mezcla de una serie de componentes puros. Estos componentes puros, llamados armónicos, forman los intervalos de la serie armónica, a partir de la altura del sonido principal. Cada armónico se corresponde con un modo de vibración del cuerpo sonoro.

2.9. Descripciones de un timbre

Cuando queremos describir un timbre, normalmente empleamos términos que, curiosamente, no corresponden al sentido del oído, sino que están *prestados* o *importados* de otros sentidos. Así, decimos que un timbre es “dulce” y estamos empleando una metáfora en referencia al sentido del gusto. O decimos que es “brillante” o “áspero” y estamos refiriéndonos, respectivamente, al sentido de la vista y el tacto. Vemos que el timbre tiene una cierta cualidad escurridiza como propiedad del sonido, y normalmente escapa a la posibilidad de una descripción exacta.

Desde un punto de vista algo simple, se puede decir que si un timbre no es ruidoso, entonces corresponde a una onda periódica y se encuentra perfectamente determinado por las líneas que se observan en su espectro: las líneas que están y las que no están, y también cuán altas son. Esto corresponde, aunque sea obvio decirlo, a armónicos presentes o ausentes, y con qué intensidad suena cada uno de ellos.

2.10. Timbre de un instrumento y timbre de un sonido

La forma anteriormente expuesta de caracterizar un timbre por sus armónicos o por su espectro, no es muy realista por su excesiva simplicidad. Veamos esta definición de timbre, que podemos encontrar en textos de teoría musical:

Timbre es aquella propiedad del sonido de un instrumento musical, que nos permite distinguirlo del sonido de otros instrumentos aunque coincidan en su frecuencia, fuerza y duración.

(Lo mismo se puede aplicar a cualquier sonido).

Analizando un sonido en *profundidad*, descubriremos que su espectro (y su contenido en armónicos) varían continuamente en el tiempo. Es decir: no es igual al comienzo que al final, y tampoco en su parte media. Por tanto el concepto de timbre ha de expresarse de alguna forma que haga justicia a su carácter dinámico.

Si el timbre de una nota musical evoluciona con el tiempo, también es cierto que una nota suena distinta según se toque con mayor o menor fuerza. Además las distintas notas de un instrumento, tienen distinto timbre. Distintos instrumentos (de igual o distintas marca y modelo) suenan también de forma diferente. Así podríamos seguir hasta el infinito. ¿Cómo vamos a identificar un instrumento por su timbre, dadas las grandes diferencias que existen de un sonido al siguiente?

Nuestro cerebro parece solucionar el problema de forma muy inteligente, integrando todas las propiedades comunes a los sonidos de todas las notas de todos los instrumentos parecidos, tocadas con todas las intensidades posibles, de forma que quedan agrupadas en grandes conjuntos de timbres que asociamos con un instrumento musical.

Por esta razón el timbre viene determinado por la forma de onda y por algo más, necesariamente.

2.11. Timbre estático y timbre dinámico

Cuando nos limitamos a decir que una determinada forma de onda corresponde a un timbre, nos estamos limitando al concepto estático del mismo. De igual modo una foto de carnet no *es* la persona fotografiada, tan sólo es *una foto*. Puesto que el timbre es algo en constante evolución, ya que la forma de onda no es igual entre cada instante y el siguiente, hablaremos del timbre como de una propiedad *dinámica* del sonido, caracterizada, no por un solo factor, sino por un conjunto de ellos (entre los cuales se encuentra, por supuesto, la forma de onda).

Caracterizamos el timbre por los siguientes elementos: Forma de onda básica, transitorios, ruido y envolvente. Veremos a continuación una descripción de los tres últimos.

2.12. Transitorios de ataque

A pesar de que es corriente simplificar el concepto de timbre, diciendo que está determinado por la forma de onda, lo cierto es que *eso* es demasiado simplificar. Ya hemos comenzado a explicar por qué. Para empezar, en el momento del ataque, generalmente la onda es más rica en armónicos que cuando ha transcurrido un cierto tiempo. Así pues hay armónicos que están en el ataque y que más tarde desaparecen; éstos son los armónicos transitorios de ataque, o simplemente “transitorios”. Los transitorios caracterizan el sonido de un instrumento de forma determinante: por ejemplo, al golpear un diapasón que da la nota “la” se escucha claramente un “mi” considerablemente agudo. En concreto, lo que oímos no es otra cosa que el armónico tercero del “la”, que es un “mi” situado una doceava por encima. Este armónico da una forma de onda al sonido del diapasón, que dista mucho de ser la simple onda senoidal que tantas veces hemos visto representada. No es sino al cabo de dos o tres segundos, cuando este armónico desaparece (se amortigua, pierde la energía del golpe), cuando oímos el dulce tono puro del diapasón. El timbre de un golpe de diapasón no se entiende sin este armónico transitorio, a pesar del tópico que lo identifica con la forma senoidal de su onda. Ahora sabemos que este tópico es cierto sólo en parte.

2.13. Ruido y timbre

El timbre de un instrumento no está descrito de forma completa si se ignora el ruido. Al definir el ruido, podemos al mismo tiempo caracterizar dos tipos de espectros: los de líneas y los continuos, si bien esto será explicado con algún detalle más adelante. Por ahora baste decir que un sonido cualquiera, por lo general no es perfectamente periódico (su onda no se repite siempre de forma idéntica) y por tanto existe una componente “caótica” que bajo el prisma del análisis de Fourier no corresponde a ningún armónico. Sin embargo, esta componente caótica puede tener una importancia relativamente grande respecto de la parte armónica, tanto que caracteriza al sonido como proveniente de un determinado instrumento, de forma muy clara. Por ejemplo, el soplido de la flauta o el golpe de los macillos en las notas agudas del piano.

En ocasiones, la parte no periódica es prácticamente la única que existe, y entonces no es posible encontrar un patrón de repetición que corresponda a la frecuencia del sonido. Esta frecuencia nos daría una sensación de tono que ahora no vamos a tener. Estamos, pues, ante un ruido propiamente dicho y que corresponde a los instrumentos de percusión comúnmente llamados “de sonido indeterminado”.

2.14. La envolvente de intensidad

Aún existe otra propiedad de los sonidos de los distintos instrumentos, que los caracteriza y nos permite distinguir unos de otros: se trata de la envolvente. Si observamos la representación gráfica de una onda, desde el mismo momento del ataque hasta el final de la nota, podemos unir los picos más altos entre sí mediante una línea, y por otro lado los valles más profundos con otra (que debe ser aproximadamente simétrica a la anterior respecto a la línea del cero). Esta doble línea que hemos trazado, de alguna manera “envuelve” a la onda, y en sus subidas y bajadas describe la forma en que el sonido crece o decrece en amplitud (o sea, en intensidad) conforme el tiempo transcurre.

Pues bien, esta envolvente llamada “de intensidad” (ya que podrían existir otras curvas que describan alguna otra propiedad del sonido a lo largo del tiempo), tiene una forma que es característica del instrumento. Al haber una gran variedad de curvas envolventes, es costumbre resumir sus propiedades más relevantes en una serie de segmentos que se nombran mediante las cuatro letras A (ataque), D (decaimiento), S (parte sostenida) y R (relajación). La parte A de ataque lleva la intensidad hasta un punto máximo, después del cual a veces la intensidad disminuye algo: es la parte D. La parte sostenida S sólo existe si el instrumento puede mantener el sonido. La parte R comienza justo cuando la nota termina, en el sentido solfístico de la palabra, de manera que después de haber terminado la nota, aún queda una pequeña “cola” del sonido hasta su extinción total.

Así, tenemos las siguientes envolventes ADSR típicas:

Tipo cuerda

Tipo percusión larga/corta

Tipo órgano

Tipo piano

2.15. Tipos de envolvente

Tipo “órgano”, “viento/cuerda”, “percusión larga/corta”, “piano”.

Cómo influye la envolvente en el timbre a la hora de distinguir los instrumentos entre sí.

2.16. Espectros

Estudio descriptivo.

2.17. La teoría del formante

2.18. La serie armónica y la armonía

Propiedades de las relaciones de frecuencia en la serie armónica como origen de la armonía.

Parte II

Cuerpos vibrantes

Capítulo 3

Cuerdas

Frecuencia natural de vibración de un cuerpo.

El monocordio de Pitágoras.

Ley cualitativa del tono de una cuerda: Efecto positivo o negativo de la longitud, tensión, masa, grosor.

Nodos y vientres.

Armónicos en una cuerda vibrante. Vibración en toda su longitud y vibración fraccionada.

Modo de provocar un armónico en una cuerda.

Ley de Young: donde se ataca no hay nodo.

Influencia del modo de ataque en el timbre: aceleración rápida o lenta y balance de armónicos.

Capítulo 4

Tubos

Significado de nodo y vientre dentro de un tubo.

Situación de nodos y vientres en un tubo abierto y cerrado.

Tono principal que dan los dos tipos de tubos. Armónicos que puede dar cada tipo.

Efecto de los orificios.

Armónicos en un tubo sonoro.

Capítulo 5

Parches y láminas. Otros cuerpos vibrantes

Complejidad de las vibraciones de un cuerpo bi-dimensional.

Vibración fraccionada de un parche: Líneas nodales y zonas ventrales. Figuras de Chladni.

Modo de forzar los armónicos en un timbal.

Cuerpos vibrantes tridimensionales.

Capítulo 6

Fenómenos sonoros

6.1. Generalidades

Causas de falseamiento de las propiedades de un sonido: los fenómenos sonoros.
La audición entendida como fenómeno sonoro: los sentidos son subjetivos.

6.2. Reflexión y absorción

Reflexión.

Absorción. Propiedades reflectantes o absorbentes de las distintas superficies.

Ángulo incidente y ángulo de reflexión. Reflexión difusa y reflexión nítida.

Salas elípticas y el efecto bóveda.

El eco como fenómeno derivado de la reflexión. Tiempo mínimo para que haya eco. Distancia de la superficie reflectante para que haya eco.

Eco simple y múltiple.

6.3. Reverberación

Qué es la reverberación.

Influencia de la reverberación en las propiedades del sonido.

Tiempo de reverberación.

Tiempo de la primera reflexión y tamaño aparente de la sala.

6.4. Refracción

Refracción. El espejismo sonoro. Aprovechamiento de la refracción para el aislamiento acústico.

6.5. Difracción

Difracción. Direccionalidad, rodeamiento de obstáculos, comportamiento de los sonidos graves y agudos frente a aberturas y obstáculos pequeños.

6.6. Resonancia

Qué es la resonancia.

Frecuencia natural de oscilación de un cuerpo. Resonancia amplia y aguda. Resonancia de una sala.

6.7. Enmascaramiento

Qué es el enmascaramiento. Banda de enmascaramiento. Sonidos que se enmascaran. Efecto del vibrato, trémolo y transitorios de ataque como medios para evitar el enmascaramiento.

6.8. Distorsión

Distorsión o coloración de una onda. Coloración de un ruido. Ruido blanco/ruido rosa. La distorsión como fenómeno derivado de la resonancia. Influencia en las propiedades del sonido.

6.9. Interferencia y batidos

Qué es la interferencia.

Los batidos.

Consonancia y disonancia: choque de armónicos.

6.10. El efecto Döppler

Qué es y cómo influye en las propiedades del sonido.

Parte III

Afinación y temperamento

Capítulo 7

Sistemas de afinación y búsqueda de la frecuencia de una nota

Fracción o factor característico de un intervalo.
Operaciones fundamentales con la frecuencia de las notas.
El Sistema de Pitágoras: La quinta perfecta.
La espiral de quintas. El círculo de quintas, la coma pitagórica y la quinta del lobo.
Los semitonos y los tonos del sistema de Pitágoras.
Fundamento de las escalas justas: mayor y menor.
La coma sintónica.
Los tonos del sistema justo: tono grande, tono pequeño.
Los semitonos del sistema justo: cromático y diatónico.
Los temperamentos mesotónicos: repartición de la coma sintónica.
El sistema mesotónico mayor de $1/4$ de coma y el mesotónico menor de $1/3$ de coma.
El temperamento igual de $1/53$ de octava (coma Holder): Sistema de Holder.
El temperamento igual de $1/12$ de octava (semitono temperado): Sistema temperado.
El semitono temperado como compromiso de utilidad práctica.
Las notas enarmónicas en el sistema temperado.
Demostración de la existencia de batidos entre las quintas temperada y pitagórica.
Ventajas e inconvenientes de cada sistema de afinación: pitagórico, justo, mesotónicos, Holder, temperado.
Índices de numeración de las octavas.
Pasos para hallar la frecuencia de una nota.
Notas alteradas cromáticamente: cómo buscarlas por el sistema justo.
La afinación de los instrumentos en la práctica. Problemas derivados de la audición humana y de la construcción de los instrumentos. Afinación brillante y afinación plana.

Parte IV

Organología

Capítulo 8

Instrumentos de cuerda frotada

Fundamento del arco y efecto de la resina.

Forma de onda de las vibraciones de las cuerdas frotadas.

Misión del puente y del alma.

Resonancia de las tapas.

Misión de las efes. Fenómenos que se producen en las mismas.

Efecto del vibrato.

Efecto del lugar de ataque y los términos “sul ponticello” y “sul tasto”.

Pizzicato. Col Legno.

Armónicos en estos instrumentos.

La viola frente al violín: el grosor de sus cuerdas como compromiso frente al tamaño del instrumento.

Capítulo 9

Instrumentos de cuerda pulsada

Fundamento de la variedad tímbrica de la guitarra. Constitución y forma de la caja.

El trasteado del mástil. Explicación de las distintas separaciones.

Misión del agujero.

Los armónicos y su grafía en la notación musical.

El laúd, la guitarra de 10 cuerdas y las cuerdas de resonancia.

El clave. La dialéctica entre su inexpresividad y su variedad tímbrica. Los registros del clave moderno.

El arpa. Anclaje de las cuerdas en la caja de resonancia. Mecanismo de alteración del tono de las cuerdas y propósito de los pedales.

Forma de hacer armónicos en el arpa.

Capítulo 10

Instrumentos de cuerda percutida

10.1. El clavicordio

Distinción del mismo frente a la familia del clave. Mecanismo de acción de las tangentes.

Aprovechamiento de la misma cuerda para varias notas. Sistema de apagado de las cuerdas. Situación de los nodos frente al punto de ataque. Posibilidad de vibrato en el clavicordio.

10.2. El piano

Distinción y semejanza frente al clavicordio.

Los órdenes de cuerdas simples, dobles y triples. Fenómenos que se pueden producir.

La tabla armónica.

El timbre y la dureza de los macillos. Efecto de la velocidad del golpe sobre el timbre.

El mecanismo del escape.

Los parciales no armónicos del piano.

El pedal de resonancia. Efecto sobre el timbre.

El pedal una corda. La vibración en oposición de fase. Vibraciones laterales de la cuerda. Efecto sobre el sonido.

Capítulo 11

Instrumentos de viento

11.1. Mecanismos de producción de las perturbaciones

Bisel (flauta travesera, flauta dulce)

Lengüeta simple batiente (clarinete, saxofón)

Lengüeta doble (oboe, corno inglés, fagot)

Embocadura (instrumentos de viento metal). La “lengüeta membranacea”.

11.2. Mecanismos de producción de las notas

longitud acústica, longitud real, armónicos.

11.3. Efectos de la temperatura

Los dos efectos antagónicos de la temperatura en el tono.

Propósito de las válvulas y pistones.

Notas que puede dar un instrumento sin pistones o natural.

Efecto de las diferentes formas de embocadura en el timbre.

Propósito del pabellón.

11.4. Lengüeta libre (acordeón)

Capítulo 12

La voz humana

Partes del aparato fonador. Fisiología de la fonación.

La palabra hablada y el canto. Fenómenos principales que intervienen. Repaso a la teoría del formante.

12.1. Registros

Voz de cabeza. Voz de pecho. Tipos de voz, características acústicas de cada una.

Capítulo 13

Instrumentos musicales electrónicos

Síntesis analógica: Robert Moog y el sintetizador modular de 1963.

Síntesis sustractiva.

Elementos sobre la representación eléctrica del sonido.

Esquema de bloques: Teclado → VCO → VCF → VCA → Altavoz.

VCO: Oscilador con 1 ó 2 formas de onda

VCF: Filtro controlado por voltaje: recorta los armónicos, redondea la forma de onda

VCA: Amplificador controlado por voltaje.

Generadores de envolvente. Van al VCO, VCF, VCA

Mejoras:

Generador de ruido blanco (18–22.000 Hz) / rosa (18–1.000 Hz)

Filtros pasa bajos y pasa altos

LFO (Oscilador de Baja Frecuencia) →VCO: Vibrato. →VCF: *Wah-wah*. →VCA: Trémolo

Polifonía: capacidad de emitir distintas notas simultáneamente

Multitimbricidad: *ídem* distintos timbres

Control digital (permite memorizar las configuraciones)

Otros métodos de síntesis: aditiva, FM, resíntesis, modelado físico

El concepto “analógico” frente al “digital” o numérico.

Los sintetizadores digitales y el ordenador. Muestreadores.

El MIDI (Musical Instrument Digital Interface) y los secuenciadores. Los cables MIDI. Mensajes MIDI. Canales MIDI. Maestros. Esclavos. Configuración básica: 1 maestro - 1 esclavo. Cadenas de esclavos. Secuencias MIDI. Programas secuenciadores.

Tipos de controladores MIDI: teclado, viento, guitarra digital, parches de percusión.

Parte V

Acústica arquitectónica

Capítulo 14

Propiedades acústicas de una sala

Sabine y los comienzos de la acústica de las salas.
Enfoque estadístico y psicológico de la acústica de salas.
Fenómenos que intervienen en la audición en salas.
Caminos que puede recorrer el sonido.
Diferencia práctica entre eco y reverberación.
Parámetros de la reverberación y tamaño aparente de la sala:
Primera reflexión, tiempo total, timbre de la reverberación.
Resonancia y ecualización de una sala para controlar el timbre de la reverb.
Aislamiento del exterior (sala silenciosa)
Difusión del sonido a todas la butacas y todas las frecuencias.
Propiedades más esenciales: Público Oír, Músicos Oírse.
La acústica “seca”.

Capítulo 15

Adecuación al tipo de música

Necesidades acústicas de cada situación y tipo de música:

Teatro y palabra hablada

Música clásica

Interpretación de un solista

Interpretación de conjunto

Problemática de la audición al aire libre.

Las “nubes”: qué son, para qué sirven.

Modelización y tipos: maquetas, simulaciones numéricas.

Efectos de la escala en los modelos.

Las nubes móviles y las salas afinables

Problemas añadidos de las salas de grabación.

Acústicas especiales. Salas anecoicas. El “mareo acústico”.

Parte VI

La grabación y la sonorización

Elementos de sonorización: altavoces, micrófonos, amplificadores. Descripción de cada uno.
La HI-FI o Alta Fidelidad: concepto antiguo y superación del concepto en la actualidad.
Medios de grabación y reproducción del sonido:
mecánicos (del fonógrafo de Edison al disco microsurco)
magnéticos (del hilo sonoro a la cinta de caset)
ópticos (de la banda sonora al disco compacto).
Características y defectos de una cadena de sonido:
Respuesta en frecuencia. Linealidad/ecualización. Relación señal/ruido. Distorsión. Lloro y fluctuación. Acoplo. Desfases. Distorsión y sus tipos.
La grabación profesional.
Digitalización. Convertidores D/A y A/D. Fundamento del CD

Parte VII

Psico-acústica

Capítulo 16

El oído humano y la audición

Partes del oído humano. Funcionamiento de cada parte.

Capítulo 17

Psicología de la audición

Mecanismos que intervienen en la audición. Los fenómenos sonoros desde el punto de vista de la fisiología del oído. Idem desde el punto de vista de la psicología de la audición.

Medida de los parámetros sonoros de umbral de sensación, diferencial y de dolor.

La percepción subjetiva de las propiedades del sonido: Duración, Intensidad, tono, timbre.

La audición binaural y la imagen estereofónica. Percepción de la tercera dimensión sonora.

Apéndices

Apéndice A

Bibliografía

- Tirso de Olazábal: Acústica musical y organología. Ed. Ricordi.
Este libro es muy exhaustivo pero se ha quedado bastante anticuado en algunos temas.
- Joaquín Zamacois: Teoría de la música. Libro II, cap. 7. Ed. Labor.
Lo básico que hay que saber sobre acústica para empezar
- Robert Donington: La música y sus instrumentos. Alianza Editorial. El libro de bolsillo n° 1192
Este libro es una reescritura de otro anterior del mismo autor, llamado “Los instrumentos de música”. Es muy interesante para tener una idea de las familias instrumentales y su evolución histórica.
- J. Javier Goldáraz Gaínza: Afinación y temperamento en la música occidental. Alianza Música n° 58.
Estudio muy completo de los sistemas de afinación utilizando como marco común el esquema del círculo de quintas.
- Juan G. Roederer: Acústica y Psicoacústica de la Música. Ed. Ricordi.
Profundiza en la percepción humana del sonido y en los fenómenos sonoros de origen sensorial.
- Varios autores: Acústica Musical. Colección Temas n° 21 de Investigación y Ciencia.
Recopilación de artículos sobre acústica aparecidos en la revista Investigación y ciencia.
- John R. Pierce: Los sonidos de la música. Biblioteca Scientific American. Prensa Científica. Ed. Labor.
Curioso libro que trata de psico-acústica y que contiene numerosas referencias a la práctica habitual de la música. Su formato es más bien de divulgación que de estudio científico riguroso. Profusamente ilustrado. Contiene dos discos (de vinilo) con ejemplos musicales.
- Pierre Schaeffer: Tratado de los objetos musicales. Alianza Música n° 40.
Su interés es histórico aunque incluye referencias interesantes para comprender los fenómenos del timbre y las envolventes.

- Martin Rasskin/S.G.A.E.: Música Virtual. Anaya Multimedia. Col. Ars Futura nº 1.
Muy recomendable para tener una panorámica del mundo de los instrumentos electrónicos y el MIDI.
- Varios autores: Construyendo instrumentos musicales. Biblioteca técnica juvenil. Ed. Marcombo - Boixareu
Puede ser útil para su empleo en la docencia.
- Leopold Stokowski: Música para todos nosotros. Ed. Espasa-Calpe. Col. Austral nº 591.
Como el libro de Schaeffer, tiene un interés histórico su capítulo sobre acústica.

Índice alfabético

oscilación, 4
 forzada, 4
 libre, 4