

# Conservatorio Superior de Badajoz

## Contenido de los cursos de Acústica I y II

Profesor: Francisco Vila

6 de octubre de 2008

### 1. Acústica I

#### Generalidades sobre ondas y propiedades del sonido

Importancia de la acústica para el músico: entender lo que pasa dentro y fuera de los instrumentos y del oído humano.

Qué es una oscilación. Vibraciones. Elongación. Amplitud. Frecuencia.

Concepto de onda. Ondas en un medio. Otras ondas. Ondas transversales y longitudinales.

El sonido. Problemática de su definición al margen del oído humano.

Velocidad del sonido. Experimento: tiempo del trueno y distancia de la tormenta. La barrera del sonido.

El tono o altura. La unidad de frecuencia: el Hz. Límites del oído humano en la percepción del tono y conceptos de infrasonido y ultrasonido.

La intensidad. El dB. La escala de los dB.

Propiedades del sonido y representación gráfica de una onda.

Propiedades objetivas o físicas: amplitud, frecuencia, forma de onda

Propiedades subjetivas o auditivas: Intensidad o matiz, tono, timbre.

Diferencias e interrelación entre ambos grupos de propiedades.

Fundamento del timbre. Vibración fraccionada de los cuerpos. Los sonidos armónicos. La serie armónica.

Distintas formas de onda. Importancia de la onda senoidal. Teorema de Fourier y análisis armónico. Ondas puras y compuestas. El sonido del diapasón.

Caracterización del timbre frente a otras propiedades: términos importados de otros sentidos: brillantez, dulzura, aspereza, etc.

Extensión del concepto de timbre: timbre de un instrumento frente a timbre de un sonido.

Timbre estático y timbre dinámico.

Transitorios de ataque.

Ondas no periódicas: el ruido como componente del timbre.

La envolvente de intensidad: Ataque, decaimiento, sostenimiento y relajación. Envolventes tipo “órgano”, “viento/cuerda”, “percusión larga/corta”, “piano”.

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

Espectros. Estudio descriptivo.

La teoría del formante.

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

## 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 en una cuerda.

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.

## Tubos

Significado de nodo y vientre dentro de un tubo.

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

Ley cualitativa del tono principal que da un tubo: efecto positivo o negativo de la longitud, presión, temperatura y si el tubo es abierto o cerrado. Armónicos que puede dar cada tipo.

Efecto de los orificios.

## 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. Generalización o abstracción de los conceptos de longitud y tensión.

## Fenómenos sonoros

Caracterización de los fenómenos sonoros como causas de falseamiento de las propiedades de un sonido.

La audición entendida como fenómeno sonoro: los sentidos son subjetivos.

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

Salas elípticas y el efecto de 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.

Reverberación. Influencia de la misma en las propiedades del sonido. Tiempo de reverberación. Tiempo de la primera reflexión y tamaño aparente de la sala.

Absorción. Propiedades reflectantes o absorbentes de las distintas superficies.

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

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

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

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

Distorsión o coloración de una onda. Coloración de un ruido. Ruidos blanco, rosa, marrón. La distorsión como fenómeno derivado de la resonancia.

Interferencia. Batidos. Consonancia y disonancia: choque de armónicos.

Efecto Döppler. Influencia en las propiedades del sonido.

## 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  $\frac{1}{4}$  de coma y el mesotónico menor de  $\frac{1}{3}$  de coma.

El temperamento igual de  $\frac{1}{53}$  de octava (coma Holder): Sistema de Holder.

El temperamento igual de  $\frac{1}{12}$  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.

## 2. Acústica II

### 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.

## 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 inexpressividad 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.

## Cuerda percutida

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.  
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.

## Viento

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 membranácea”.  
Mecanismos de producción de las notas: longitud acústica, longitud real, armónicos.  
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.  
Lengüeta libre (acordeón)

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

## 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.

## Acústica arquitectónica

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.  
Camino que puede recorrer el sonido.  
Diferencia práctica entre eco y reverberación.  
Parámetros de la reverberación y tamaño aparente de la sala: 1ª reflexión, tiempo total, timbre de la reverberación.  
Resonancia y equalización de una sala para controlar el timbre de la reverb.  
Aislamiento del exterior (sala silenciosa)  
Difusión del sonido a todas las butacas y todas las frecuencias.  
Propiedades más esenciales. Para el público: oír. Para los músicos: oírse a sí mismos.  
La acústica “seca”.  
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.  
Salas anecoicas. El “mareo acústico”.

## 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

## El oído humano y la audición. Psicología de la audición o psico-acústica

Partes del oído humano. Funcionamiento de cada parte.  
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.

## 3. 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 nº 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 nº 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 nº 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 nº 40.

Su interés es histórico aunque incluye referencias interesantes para comprender los fenómenos del timbre y las envolventes.

**Martin Raskin/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 en niveles elemental y medio.

**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.