

### **3 –FUENTE SONORA: INSTRUMENTOS MUSICALES**

#### **3.1 - INTRODUCCIÓN**

Los instrumentos, en interacción con el intérprete, constituyen la fuente sonora que, junto a la voz humana, permiten al hombre producir una serie de sonidos ordenados que forman la música.

Desde la aparición en la prehistoria de la música junto con los primeros instrumentos de percusión y de viento, se ha desarrollado una continua evolución tanto en la música como en los instrumentos. El desarrollo de la música y de los instrumentos está íntimamente ligado. Los instrumentos ven modificadas sus características y sonoridad para adaptarse mejor a las nuevas tendencias musicales, así como, partiendo de las sonoridades creadas por los nuevos instrumentos, aparecen nuevos estilos musicales.

En ocasiones la frontera entre la música instrumental y la vocal ha sido difusa, utilizándose instrumentos para ejecutar pasajes corales sustituyendo a voces, sobre todo cuando los instrumentos y por tanto la orquesta estaban poco desarrollados. Más adelante, en tiempos de Haydn y Mozart se perfeccionaron los instrumentos de madera, pudiendo escribirse música para flautas, oboes, clarinetes y fagotes en acordes y grupos sonoros separados que podían contrastar con los instrumentos de cuerda. Posteriormente, todavía con Brahms y Wagner, los instrumentos de metal, mediante la utilización de las válvulas empezaron a poder tocar pasajes cromáticos en cualquier tonalidad, haciendo posible incluirlos en la orquesta para introducir una nueva sonoridad. En la actualidad encontramos una gran variedad de estilos musicales, además de un gran número de instrumentos diferentes.

### 3.2 - CARACTERÍSTICAS QUE DEFINEN A LOS INSTRUMENTOS MUSICALES

Centrándonos en los instrumentos que participan en la orquesta, describiremos las diferentes familias y los miembros que la forman.

Cada instrumento posee características acústicas propias diferentes a las de los demás. La primera magnitud que caracteriza un instrumento sonoro es el llamado **rango dinámico de potencia**, que nos informa sobre la diferencia entre el valor máximo de la potencia que es capaz de generar y el mínimo valor que produce. La segunda magnitud es la llamada **rango dinámico de frecuencia** de un instrumento sonoro, que es la diferencia entre la frecuencia fundamental más alta y la más baja que es capaz de emitir. La frecuencia fundamental es la que define el tono, la altura o la nota de la escala musical. Además, los instrumentos producen sonidos armónicos, cuyas frecuencias son múltiplos de la fundamental, y sus amplitudes van disminuyendo desde la fundamental a los armónicos más elevados. También se producen sonidos no armónicos, cuyas frecuencias no tienen relación matemática entre sí, denominadas parciales.

El timbre de un instrumento está caracterizado por los armónicos y parciales que acompañan al sonido fundamental (estructura en frecuencia), por lo que éste será característico de un instrumento.

Los instrumentos producen sonido por la vibración de:

1. Cuerdas en tensión.
2. Columnas de aire dentro de tubos de metal o de madera.
3. Piel en tensión.
4. Barras, discos y bloques de madera.
5. Calabazas.

### **3.3 - CLASIFICACIÓN DE LOS INSTRUMENTOS MUSICALES.**

Los instrumentos se dividen, de forma general, por su sistema de emisión de sonido, formando de esta forma tres grandes grupos: cuerda, viento y percusión.

#### **3.3.1 - INSTRUMENTOS MUSICALES DE CUERDA.**

Las vibraciones que se pueden originar en las cuerdas son de diferentes formas, aunque únicamente se considerarán los dos modos más importantes, que son el longitudinal y el transversal. Cuando la dirección de las vibraciones es paralela a la de la cuerda son vibraciones longitudinales, mientras que cuando la dirección es perpendicular a la cuerda son vibraciones transversales.

Las cuerdas musicales vibran de forma transversal. Para que una cuerda pueda ponerse en vibración es necesario que esté en tensión, sujeta por sus dos extremos, siendo las vibraciones isócronas, es decir, de la misma duración cualquiera que sea su amplitud.

Las cuerdas pueden vibrar en toda su longitud, formándose un vientre en el centro y dos nodos en los extremos, produciendo el sonido fundamental, que es el más grave que puede producir la cuerda. Si se divide la cuerda por la mitad, se produce el segundo sonido de la serie armónica, el tercero al dividir la cuerda en tercios y así sucesivamente.

Cuanto mayor sea el peso, la longitud y menor sea su tensión, menor será el número de vibraciones por segundo, y por tanto más grave será el sonido que produzcan, ocurriendo lo contrario a la inversa.

## TOMA DE SONIDO: INSTRUMENTOS MUSICALES

Las cuerdas musicales pueden ser de entonación fija o variable. Al primer grupo pertenecen instrumentos que disponen de un elevado número de cuerdas, pero cada una de ellas únicamente puede producir un sonido como consecuencia de su longitud constante. Instrumentos con cuerdas de entonación fija son: el piano, el clave, el arpa, etc. Al segundo grupo pertenecen aquellos que, disponiendo de un menor número de cuerdas, cada una de éstas puede producir varias frecuencias diferentes, ya que el intérprete puede modificar la longitud efectiva de ellas mediante la pulsación de sus dedos. A este grupo pertenecen: el violín, la viola, el violonchelo, el contrabajo, la guitarra, etc. En todos los casos la afinación de la cuerda depende de la tensión a la que esté sometida, que se regula mediante una clavija a la que se sujeta.

### **3.3.1.1 - Principio de Funcionamiento.**

El mecanismo básico que produce el sonido en todos los instrumentos de cuerda es el mismo, la única diferencia es que para obtener la vibración, en algunos casos la cuerda se frota, en otros se pulsa y en otros se golpea.

Si se pone una cuerda tensa y elástica de longitud  $L$  sujeta en sus dos extremos, condición necesaria para que entre en vibración, y se produce una perturbación en su posición, desplazándola de su estado de equilibrio, como consecuencia de la tensión y de las propiedades elásticas, tenderá a recuperar la posición de equilibrio mediante oscilaciones que, si se consigue una adaptación de impedancias acústicas, perturbarán el aire generando ondas sonoras.

Puesta en vibración una cuerda musical, las vibraciones se propagan a lo largo de la misma, reflejándose en sus extremos, dando lugar a puntos donde la amplitud es nula (nodos), mientras que se alcanzan otros puntos donde la amplitud de vibración es máxima (antinodos o vientres).

Las cuerdas pueden vibrar en toda su longitud, formándose un antinodo en el centro y dos nodos en los extremos, produciendo el sonido llamado fundamental, que es el sonido más grave que puede producir la cuerda. Al provocar que la cuerda vibre en dos

## TOMA DE SONIDO: INSTRUMENTOS MUSICALES

partes (con un nodo en el centro) el sonido producido será una octava superior al fundamental, al dividir la cuerda en tres partes se producirá el tercer armónico (una quinta por encima del segundo) y así sucesivamente.

Cuando en un medio finito, como es la cuerda, se generan ondas del tipo descrito anteriormente, como consecuencia de las reflexiones de la perturbación en los extremos, decimos que se han originado ondas estacionarias; la de frecuencia inferior es la fundamental y proporciona el tono del sonido producido y el resto son armónicos que acompañan al fundamental y definen el timbre del instrumento. Las frecuencias de oscilación de la cuerda son equivalentes a las de las ondas producidas en el aire, al perturbarse por el movimiento de las cuerdas, produciendo sonido. El valor de las frecuencias producidas por una cuerda de longitud L son:

$$f_n = \frac{n}{2L} \sqrt{\frac{T}{\mu}} \quad [\text{Hz}] \quad \text{con } n = 1, 2, 3, 4, \dots$$

Donde:

- T es la tensión a la que está sometida la cuerda.
- $\mu$  es la densidad lineal de la cuerda.

Podemos observar en la expresión anterior que si se varía la tensión T de la cuerda, manteniendo su longitud y su masa constante, se obtienen nuevas fundamentales y sus sucesivas series de armónicos; de forma análoga se pueden obtener si variamos su longitud y mantenemos constante su tensión y su masa.

Asimismo, si se aumenta la tensión o disminuimos la longitud, la frecuencia crece. Análogamente, para igualdad de longitud y tensión, las cuerdas pesadas producen frecuencias más graves que las ligeras.

En los instrumentos musicales en los que la fuente sonora son las cuerdas es muy importante la caja de resonancia que forma el cuerpo del instrumento, que sirve para adaptar impedancias acústicas y amplificar el sonido, teniendo una gran importancia en el timbre y la intensidad del sonido resultante. De hecho es la tapa acústica la que, al

## TOMA DE SONIDO: INSTRUMENTOS MUSICALES

vibrar, es capaz de transmitir sonido al medio. La tapa acústica se excita por la vibración de las cuerdas transmitida a través del puente, que está en contacto directo con uno de los extremos de las cuerdas. La tapa acústica posee numerosos modos de vibración por lo que añadirá una importante coloración al sonido, proporcionándole un timbre característico. Los sonidos emitidos por los instrumentos de cuerda tienen una estructura compleja debido a la gran cantidad de armónicos que intervienen en su composición.

### **3.3.1.2 - Clasificación de los instrumentos de cuerda.**

Los instrumentos de cuerda se pueden dividir en tres grupos dependiendo del sistema de producción de la vibración:

#### **- Cuerdas frotadas.**

Compuesto por aquellos instrumentos en los cuales las cuerdas se ponen en vibración al ser frotadas por un arco, que es una varilla de madera flexible y ligeramente curva, con crines de un extremo a otro, cuya tensión puede regularse.

Instrumentos de cuerda frotada son: el violín, la viola, el violonchelo, el contrabajo, la viola da gamba, etc. Como ejemplo de instrumento popular ha que citar el rabel, que también se toca con arco.

## TOMA DE SONIDO: INSTRUMENTOS MUSICALES



**Fig. 3.1: Violín**



**Fig. 3.2: Violoncello**



**Fig.3.3: Contrabajo**

### **- Cuerdas pulsadas.**

A este grupo pertenecen aquellos instrumentos en los que sus cuerdas se ponen en vibración al ser pulsadas mediante los dedos o con algún tipo de púa, plectro o similar. Instrumentos de cuerda pulsada son: el arpa, el clavicémbalo, el clavecín, la cítara, la guitarra, la guitarra bajo, el laúd, la bandurria, etc.



**Fig. 3.4: Guitarra clásica**



**Fig. 3.5: Clavicémbalo**

### **- Cuerdas percutidas.**

En este grupo se logra la vibración mediante un sistema que golpea las cuerdas mediante macillos.

## TOMA DE SONIDO: INSTRUMENTOS MUSICALES

Instrumentos de cuerda percutida son: el címbalo (percusión directa), el clavicordio y el piano (ambos con teclas).



**Fig. 3.6: Piano de cola**

Puesto que las cuerdas pueden vibrar de forma distinta, según la forma de excitación, con los tres procedimientos de pulsación se obtienen series armónicas diferentes que acompañan a la fundamental, por lo que la pulsación influye sensiblemente sobre el timbre.

### 3.3.2 - INSTRUMENTOS MUSICALES DE VIENTO.

Este grupo de instrumentos basa su funcionamiento en el movimiento vibratorio de la columna de aire contenida en un tubo. Análogamente a las cuerdas, en la columna de aire puesta en vibración se forman nodos y antinodos. Si la columna de aire vibra en toda su longitud, se obtiene el sonido fundamental, y si vibra dividida en segmentos se obtienen los diferentes armónicos.

En el caso de los tubos sonoros las vibraciones son longitudinales, mientras que las cuerdas vibran transversalmente con nodos en los extremos. En los tubos se forman vientres o antinodos en los extremos abiertos y nodos en los extremos cerrados. Esto condiciona que en los tubos cerrados en un extremo, como el del clarinete, no se puedan obtener armónicos pares, ya que su obtención obligaría a la formación de un nodo en el extremo abierto del tubo, lo que no es posible.

## TOMA DE SONIDO: INSTRUMENTOS MUSICALES

La frecuencia fundamental en un tubo será más alta cuanto menor sea la longitud de éste. Los tubos abiertos emiten toda la serie de armónicos correspondiente a su fundamental, mientras que los tubos cerrados en un extremo sólo emiten los armónicos impares.

En principio no se considera ni el diámetro, ni el espesor, ni la forma de los tubos, ya que al ser vibraciones longitudinales no se ven afectadas por los parámetros mencionados. Asimismo, tampoco influye el material en el que este construido el tubo ni la forma que adopte.

### **3.3.2.1 - Principio de funcionamiento.**

Generalmente llamamos tubos sonoros a unos tubos de forma cilíndrica o prismática construidos en madera o metal, que son capaces de producir sonido al entrar en vibración la columna de aire que contienen. La vibración de esta columna se origina mediante una corriente de aire, proveniente de la boca de un músico o de un fuelle, que sufre perturbaciones al chocar contra un bisel o al poner en vibración una o dos lengüetas.

La altura del sonido que producen estos instrumentos de viento depende de la longitud de la columna de aire contenida en el interior del tubo. La división en instrumentos de madera y de metal responde más que al material en el que se fabrica el tubo sonoro a la forma que tienen de producir sonidos, así como al timbre que producen.

Para efectuar el estudio teórico vamos a considerar varias hipótesis simplificadoras:

1. El diámetro de los tubos se considera lo suficientemente grande como para despreciar los efectos debidos a la viscosidad.
2. El diámetro será pequeño en relación a la longitud del tubo y a la longitud de la onda sonora.
3. Las superficies que forman los tubos se supondrán rígidas.

## TOMA DE SONIDO: INSTRUMENTOS MUSICALES

Los instrumentos musicales pueden basarse en dos configuraciones diferentes de tubo sonoro (la configuración cerrado-cerrado no tiene aplicación en el ámbito musical):

- Tubo abierto en ambos extremos.
- Tubo abierto-cerrado.

También existen tres grupos bien diferenciados atendiendo a su sistema de producción de sonido:

- Con bisel o embocadura de flauta.
- Con embocadura de lengüeta.
- Con boquilla o embocadura de trompeta.

En los tubos con embocadura de flauta el sonido se produce al chocar una columna de aire estática contra una arista afilada (bisel) produciéndose unos torbellinos provocando la oscilación, en régimen de audiofrecuencia, de la columna de aire que, cíclicamente, entra y sale del tubo. El extremo opuesto a la embocadura puede ser abierto o cerrado.

En los instrumentos con embocadura de lengüeta el aire provoca una vibración en una lengüeta simple o doble que produce pulsaciones en régimen de audiofrecuencia que provocan modificaciones de la presión en la columna de aire contenida en el tubo y por tanto sonido. En estos instrumentos el extremo opuesto a la embocadura ha de ser abierto para permitir la salida del aire insuflado.

Cuando el instrumento dispone de boquilla, son los labios del instrumentista los que entran en vibración produciendo una corriente de aire pulsante que provocará la vibración de la columna de aire encerrada en el tubo y, por tanto, sonido.

En los instrumentos de viento, la longitud efectiva de tubo resonante se varía mediante orificios, correderas y pistones para obtener la frecuencia deseada.

## TOMA DE SONIDO: INSTRUMENTOS MUSICALES

Los orificios son perforaciones laterales realizadas en el tubo sonoro, tapando o destapando estos orificios, el instrumentista modifica la longitud de la columna de aire vibrante y, por tanto, la frecuencia del sonido producido. Generalmente, para adaptar mejor el instrumento a la morfología del instrumentista, se utilizan llaves que al ser accionadas actúan sobre los agujeros abriéndolos (llaves cerradas) o cerrándolos (llaves abiertas). Las propiedades sonoras del instrumento estarán caracterizadas por el número de orificios, su posición, así como la relación entre el diámetro del orificio y el del tubo.

Las correderas desplazan axialmente el tubo sobre otro en contacto con él, por lo que permiten variar la longitud de los tubos de una forma directa. Los pistones son mecanismos que permiten desviar el aire que llega de la embocadura al interponer, según se desee, un pequeño tubo de latón y aumentando, por tanto, la longitud efectiva del tubo.

Si en el extremo de un tubo se hace incidir tangencialmente una corriente de aire, ésta origina una presión en el aire del tubo que avanza como una onda de compresión; si el otro extremo del tubo es abierto, la onda al salir al exterior provoca una disminución de presión denominada enrarecimiento, que vuelve a través del tubo, repitiéndose el ciclo. Si el extremo está cerrado, la onda de compresión se refleja con un cambio de fase de  $180^\circ$ , llegando a la embocadura de la que se expulsa al exterior por la corriente incidente, que a su vez se desvía también hacia el exterior, como resultado de los empujes de la onda reflejada y la incidente. Esta fuerza resultante se convierte en un enrarecimiento, que avanza hacia el fondo del tubo, se refleja y retorna a la embocadura, y el enrarecimiento origina una nueva desviación e la corriente incidente, aunque esta vez es hacia el interior, restableciéndose las condiciones iniciales, por lo que el ciclo se inicia de nuevo. En los tubos abiertos, de acuerdo con lo expuesto  $\lambda = 2L$ , mientras que en los cerrados los desplazamientos son el doble  $\lambda = 4L$ . La velocidad de propagación de las ondas en el tubo será la del sonido ( $c = 343 \text{ m/s}$ ), ya que es una perturbación en el aire.

Por tanto, la frecuencia fundamental en los tubos abiertos será:

## TOMA DE SONIDO: INSTRUMENTOS MUSICALES

$$f_a = \frac{c}{2L}$$

y en los cerrados:

$$f_c = \frac{c}{4L}$$

luego  $f_a = 2 \cdot f_c$ .

Si el aire insuflado tiene suficiente intensidad, se superpondrán las ondas, apareciendo ondas estacionarias. En los tubos abiertos, la formación de armónicos será de tipo simétrico, apareciendo simultáneamente vientres en los dos extremos del tubo, mientras que en los tubos cerrados, en el extremo abierto siempre existirá un vientre y en el extremo cerrado un nodo, por lo que los armónicos serán asimétricos.

La ecuación que representa el movimiento de aire en un tubo es la de la propagación unidimensional de una onda progresiva armónica.

En los tubos abiertos en ambos extremos, la expresión de las frecuencias propias de vibración, para los diferentes valores de  $n$ , formando una serie armónica, viene dada por:

$$f_n = \frac{nc}{2L} \quad \text{con } n = 1, 2, 3, \dots$$

## TOMA DE SONIDO: INSTRUMENTOS MUSICALES

En tubos cerrados en un extremo la ecuación de los modos propios viene dada por:

$$f_n = \frac{(2n-1)c}{4L} \quad \text{con } n = 1, 2, 3, \dots$$

Donde:

- L es la longitud del tubo.
- c la velocidad de propagación del sonido en el aire.

Según se puede apreciar, en los tubos abiertos aparecen todos los armónicos, mientras que en los cerrados sólo los impares, por lo que el timbre conseguido será más rico en los primeros que en los segundos.

Para poder realizar el estudio de la vibración de las columnas de aire en los diferentes tipos de tubos, se han adoptado varias hipótesis para poder simplificar el tema, que en realidad es muy complicado:

- Se ha supuesto que las expresiones relativas a las ondas planas se pueden aplicar a los tubos sonoros, lo que no es absolutamente correcto, ya que las paredes del tubo no son nunca perfectamente rígidas y, además, la velocidad de propagación de la onda no es constante, sino que disminuye progresivamente.

- Los fluidos que llenan los tubos (generalmente aire) no son fluidos perfectos jamás y poseen siempre una viscosidad que debe tenerse en cuenta, además, existen intercambios de calor entre el gas y las paredes, por lo que las transformaciones no pueden considerarse como perfectamente adiabáticas. Luego existe disipación de energía en el curso de la propagación, por lo que hay amortiguamiento de la onda, no siendo semejantes las velocidades de las diversas partes de la misma, existiendo una deformación de la forma inicial de vibración.

## TOMA DE SONIDO: INSTRUMENTOS MUSICALES

· En el caso del tubo cerrado en uno de sus extremos el desarrollo anterior es correcto si la pared del extremo cerrado es suficientemente rígida ya que entonces no puede vibrar y el nodo se forma prácticamente en el plano de cierre.

· En el caso del tubo abierto la teoría anterior no es del todo correcta, ya que se produce una onda acústica exterior al tubo, con origen en el extremo abierto, por lo que el antinodo no se encuentra exactamente en el plano de la abertura y es preciso tener en cuenta este desplazamiento del antinodo cuando se quiere determinar la frecuencia fundamental, haciendo intervenir un antinodo virtual.

· Si el tubo es de forma cilíndrica, es necesario introducir una modificación en las expresiones anteriores de los modos propios del tubo. Debe tenerse en cuenta que las correcciones en los extremos varían ligeramente con la frecuencia y con la amplitud de las oscilaciones que tienen origen en los tubos. En los tubos de sección pequeña, la corrección depende poco de la frecuencia, no ocurre así en los de sección grande. Con relación a la amplitud de las oscilaciones se ha observado la existencia de fenómenos de remolinos a la salida de los tubos, para presiones suficientemente intensas.

· La naturaleza de las paredes no influye teóricamente sobre el valor de las frecuencias emitidas por los tubos, sólo difiere el timbre, lo que se debe a las amplitudes relativas de los armónicos emitidos, que son función de la naturaleza de esas paredes.

· Como se ha podido apreciar anteriormente, la sección de los tubos no interviene en la expresión de la frecuencia, lo que significa que tubos de igual longitud pero sección diferente (rectangular, cuadrada, cilíndrica, etc.), emitirán las mismas frecuencias. Pero hay que recordar que existen correcciones que, según el extremo, modifican la longitud efectiva de tubo y, por tanto, la frecuencia.

· La velocidad de propagación de las ondas sonoras en el aire depende de la temperatura, aumentando si ésta aumenta.

Hasta ahora hemos hecho referencia al comportamiento de tubos cilíndricos, pero existe un gran número de instrumentos musicales que utilizan un tubo cónico. Para el

## TOMA DE SONIDO: INSTRUMENTOS MUSICALES

caso más común de tubos cónicos de pequeño ángulo, se puede seguir considerando que las ondas en el interior del tubo se propagan paralelamente a las paredes de éste, por lo que las expresiones tanto para condiciones frontera de abierto-abierto como abierto cerrado continúan siendo las mismas.

### **3.3.2.2 - Clasificación de los instrumentos de viento.**

Los instrumentos de viento pueden clasificarse en dos grandes grupos atendiendo al material de fabricación. Instrumentos de **viento madera** e instrumentos **de viento metal**. Aunque actualmente hay instrumentos de viento madera que se construyen en metal, como la flauta travesera, pero pertenecen a este mismo grupo debido a que la clasificación atiende en gran medida al timbre y sonoridad.

#### **- Instrumentos de viento madera.**

De forma similar a las cuerdas vibrantes, los instrumentos de viento se basan en la vibración de columnas de aire. La teoría de los tubos abiertos explica la forma de vibrar el aire en la flauta, la de los cerrados sirve para el clarinete y los tubos cónicos permiten el estudio del fagot y del oboe.

Dentro de los instrumentos de viento madera, podemos definir tres grupos bien diferenciados por su sistema productor de sonido:

## TOMA DE SONIDO: INSTRUMENTOS MUSICALES

1. Con embocadura con bisel, sin lengüeta: flauta travesera, flauta de pico, ocarina, etc.



**Fig. 3.7: Flauta travesera**



**Fig. 3.8: flautín**



**Fig. 3.9: Flauta de pico**



**Fig. 3.10: Ocarina**

2. Con lengüeta simple como: clarinetes, saxos, etc.



**Fig. 3.11: Clarinete**



**Fig. 3.12: Clarinete bajo**



**Fig. 3.13: Saxo soprano**



**Fig. 3.14: Saxo alto**



**Fig. 3.15: Saxo tenor**



**Fig. 3.16: Saxo barítono**

3. Con doble lengüeta como: oboe, fagot, corno inglés, etc.



**Fig. 3.17: Fagot**



**Fig. 3.18 : Corno inglés**



**Fig. 3.19 : Oboe**

En el capítulo referente a la flauta travesera, se explica detenidamente el funcionamiento de los instrumentos que basan su producción de sonido en el choque de una columna de aire contra un bisel. Además casi todos los instrumentos de viento madera utilizan un sistema de llaves similar, ideado por Boehm para la flauta, que facilita la producción de las diferentes frecuencias.

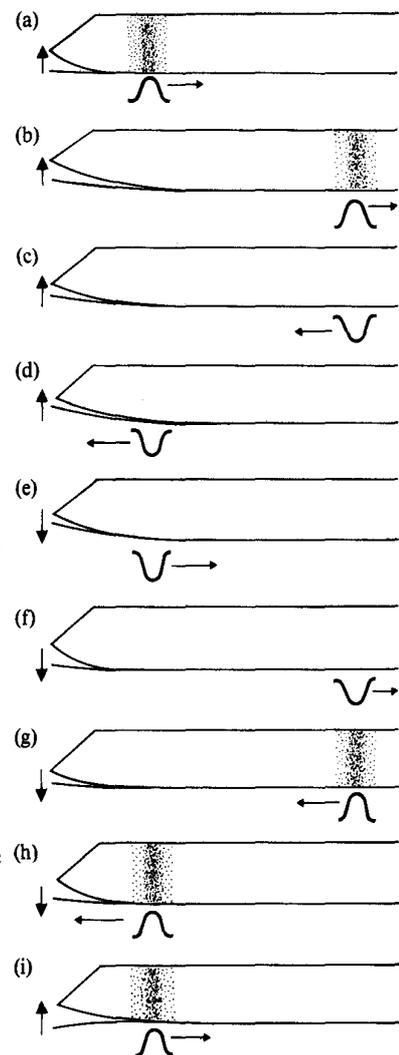
La fundamental diferencia entre los distintos instrumentos de viento madera estriba, por tanto, en el sistema de producción de sonido que a su vez condiciona las condiciones frontera del tubo, puesto que los que utilizan lengüeta han de tener un extremo cerrado. Por tanto, al contrario que la flauta, el clarinete, fagot, etc. sólo presentan armónicos impares en la composición de su sonido.

## TOMA DE SONIDO: INSTRUMENTOS MUSICALES

Los instrumentos con lengüeta disponen de una o dos laminas flexibles, generalmente de caña, montadas sobre una porción de tubo construida al efecto, de manera que pueden vibrar modificando la cantidad de aire que entra en el tubo según su posición. Cuando el instrumentista aplica una corriente de aire, la lengüeta entra en vibración, interrumpiendo, en régimen de audiofrecuencia, dicha corriente de aire. La vibración de la lengüeta describe un ciclo que se detalla a continuación:

Supongamos una embocadura de lengüeta unida a un tubo de manera que la longitud acústica total es  $L$ .

- Al aplicarse una presión de aire, la lengüeta permite la entrada de un pulso de presión positiva dentro del tubo a la vez que comienza a cerrarse aproximándose a la boquilla.(a)
- El pulso de presión viaja a lo largo del tubo hasta llegar al extremo abierto, donde la presión desciende rápidamente al nivel atmosférico.(b)
- El descenso de la presión provoca la propagación de un pulso de presión negativa hacia el extremo donde se encuentra la lengüeta.(c)
- Cuando alcanza la lengüeta, ésta está justo completando su movimiento de aproximación a la boquilla y el pulso negativo “tira” de ella se parándola de la boquilla.(d)
- Puesto que la válvula que forma la lengüeta está prácticamente cerrada, casi no entra aire, se forma un pulso de baja presión que viaja hacia el extremo abierto del tubo.(e)
- El pulso de baja presión viaja hacia el final del tubo. (f)
- Cuando alcanza el extremo abierto, la presión desciende rápidamente, provocando que un pulso de sobrepresión comience a viajar hacia el extremo donde se encuentra la lengüeta.(g)
- Cuando alcanza a la lengüeta, ésta se está abriendo, y el pulso la abre aún ,más. (h)
- La apertura de la lengüeta permite una nueva entrada de aire que provoca un pulso de presión positiva, cerrándose el ciclo. (i)



### - Instrumentos de viento metal.

## TOMA DE SONIDO: INSTRUMENTOS MUSICALES

Como se ha referido anteriormente, estos instrumentos basan la producción de sonido en la vibración de los labios en contacto con la boquilla del instrumento. El tubo resonante es de metal y suele ser posible modificar su longitud mediante pistones o varas deslizantes. Para la producción de las diferentes frecuencias es preciso que la columna de aire contenida en el tubo vibre en un régimen de armónicos elevado, de hecho, en sus orígenes, este tipo de instrumentos no disponía de ningún sistema para modificar la longitud efectiva del tubo pero era posible interpretar melodías con diferentes notas correspondientes a la serie físico-armónica (en regímenes elevados éstas están cada vez más próximas entre sí).

A este grupo de instrumentos pertenecen: la trompeta, el trombón, la trompa, la tuba, etc.



**Fig. 3.20 : Trompeta**



**Fig. 3.21 : Trompa**



**Fig. 3.22 : Trombón**



**Fig. 3.23 : Tuba**

## TOMA DE SONIDO: INSTRUMENTOS MUSICALES

Desde el punto de vista acústico, los instrumentos de metal se clasifican dentro de los de viento, pero las diferencias con los de madera son muy importantes. Se describen a continuación las diferencias más importantes:

- Las vibraciones de la columna de aire se mantienen por las vibraciones de los labios del instrumentista, en lugar de lengüetas o por el choque de corrientes de aire contra una arista afilada.

- Los instrumentos de viento metal utilizan muchos más modos de resonancia de la columna de aire que los de madera.

- Para obtener notas pertenecientes a diferentes series de armónicos (diferente tamaño de la columna de aire en vibración), los instrumentos de metal, emplean sistemas (pistones o correderas) que modifican la longitud del tubo de forma real, no como los de madera que se valen de orificios practicados en el tubo que producen un alargamiento o acortamiento ficticio.

La boquilla es una pequeña copa con un reborde para acomodar los labios y está acoplada a un tubo de pequeño diámetro en relación con el resto del instrumento. En baja frecuencia, donde las ondas tienen una mayor longitud de onda en comparación con el tamaño de la boquilla, ésta introduce un alargamiento en el tubo que es igual al que produciría un tubo abierto que tuviera el mismo volumen de la boquilla y un diámetro igual al del extremo de ésta, por lo que en baja frecuencia la boquilla introduce una distorsión en el tono real producido por los labios. En frecuencias altas, sin embargo, no existe este problema y la boquilla prácticamente no introduce una variación en la nota producida por el instrumento.

La colocación de la campana en el extremo de los instrumentos de metal está justificada para obtener los modos altos de vibración de la columna de aire. La campana consiste en un incremento progresivo del diámetro en el final del tubo, lográndose un aumento en la producción de armónicos, por lo que la adición de la campana influye de una manera notable en la parte alta de la respuesta en frecuencias y su forma exponencial proporciona una radiación óptima. Los instrumentos de metal se tocan, a

## TOMA DE SONIDO: INSTRUMENTOS MUSICALES

veces, con sordinas que se encajan en la campana el instrumento, cambiando por tanto el timbre del sonido. Mediante la sordina se atenúan los armónicos más bajos de la nota emitida, mientras que los superiores casi no varían en su sonoridad. Por esto el timbre del instrumentos aparece más velado y distante.

Los instrumentos de viento metal generan una potencia acústica tan sólo superada por los de percusión. El trombón, por ejemplo, pone en el aire 5 W de potencia acústica. En un fortísimo los instrumentos de metal pueden llegar a enmascarar a los demás instrumentos de la orquesta, sin embargo las ondas estacionarias que se generan en su interior son muy similares a las de los instrumentos de viento madera. La importante diferencia en la potencia acústica emitida es debida al efecto de la campana y las condiciones de directividad, muy acusada en los instrumentos de metal.

### **- Listado de los Instrumentos de Viento**

Debido a la enorme variedad de instrumentos de viento que participan en la banda y en la orquesta, a continuación incluyo un listado de todos los instrumentos de viento, el cual nos permite conocer todos los miembros de la familias anteriormente citadas. Los instrumentos incluidos a continuación son los considerados por la denominada música culta (no populares), es decir, los que aparecen en los tratados de composición.

### **Grupo de viento madera**

· De embocadura lateral y cuerpo cilíndrico:

#### *Familia de las flautas*

Flauta

Flautín

Flauta en Sol o alto

Flauta baja en Do

Flauta contrabajo en Sol

## TOMA DE SONIDO: INSTRUMENTOS MUSICALES

Flauta contrabajo en Do

Flauta sub-contrabajo en Sol

· De caña doble y tubo cónico:

### *Familia de los oboes*

Oboe

Corno inglés

### *Familia de los fagotes*

Fagot

Contrafagot

· De caña simple y tubo cilíndrico:

### *Familia de los clarinetes*

Requinto en La b (muy poco usado)

Requinto en Mi b

Clarinete soprano en Si b

Clarinete alto en Mi b

Clarinete bajo en Si b

Clarinete contrabajo en Si b

· De caña simple y tubo cónico:

### *Familia de los saxofones*

Saxofón soprano en Si b

Saxofón alto en Mi b

Saxofón tenor en Si b

Saxofón barítono en Mi b

Saxofón bajo en Si b

### **Grupo de viento metal**

· De boquilla cónica, tubo estrecho y largo. ( La forma de la boquilla influye en gran medida en el timbre del instrumento):

*Familia de las trompas*

Trompa en Mi b

Trompa en Fa

· De boquilla curvilínea, tubo cónico y corto:

*Familia de los cornetines*

Cornetín en Si b

· De boquilla curvilínea y tubo cilíndrico en sus dos terceras partes:

*Familia de las trompetas*

Trompeta en Mi b o en Fa

Trompeta en Si b o en Do

*Familia de los trombones*

Trombón tenor

Trombón bajo

· De boquilla cónica, tubo cónico, corto y ancho:

*Familia de los saxhorns*

Todos los instrumentos de esta familia recibieron modificaciones por parte de los fabricantes que sucedieron a su inventor (Adolfo Sax) y cambiaron su denominación, aunque compartan muchas similitudes y podría denominarse a todos saxhorns. Para que

## TOMA DE SONIDO: INSTRUMENTOS MUSICALES

tenga un mayor sentido práctico a continuación se hará referencia a los nombres vulgares que comúnmente se utilizan.

### *Bugles o fliscornios*

Trombino en Mi b

Fliscornio en Si b

Onnoven en Mi b

Barítono en Si b

### *Tubas*

Bombardino en Si b o en Do

Tuba bajo en Mi b o en Fa

Tuba contrabajo en Si b o en Do

### **3.3.3 - INSTRUMENTOS MUSICALES DE PERCUSIÓN.**

Debido a su simple sistema de producción sonora, basta golpear algún material para que se produzca sonido, los instrumentos de percusión fueron los primeros en ser utilizados por los hombres prehistóricos, aparte de la voz humana. El término percusión implica que el intérprete golpea, sacude o frota la superficie resonadora del instrumento, ya sea directamente con las manos o mediante utensilios como baquetas, mazas, etc.

Dentro de los instrumentos de percusión es posible diferenciar, fundamentalmente, dos grupos: aquellos que producen sonido con una afinación definida y los que no. Esta clasificación está muy relacionada con el sistema vibratorio que entra en juego al ser percutido. Los sistemas vibratorios pueden estar basados en membranas tensadas sobre un bastidor (bombo, caja, timbales, congas, bongos, tambores africanos, etc.) barras

## TOMA DE SONIDO: INSTRUMENTOS MUSICALES

(vibráfono, metalófono, xilofón, celesta, glockenspiel, triángulo, etc.), discos metálicos (platillos o gongs), tubos metálicos (campanas tubulares), etc. Como norma general, los que disponen de barras suelen proporcionar una afinación determinada, aunque los timbales, las congas y otros instrumentos con parche pueden también ser afinados para producir una frecuencia determinada.

### **3.3.3.1 - Principios de Funcionamiento.**

Comenzaremos con las **barras** puesto que su forma de vibrar se asemeja mucho a la de los tubos. En las barras o varillas se pueden propagar ondas longitudinales a través de ellas, siendo su frecuencia de vibración inversamente proporcional a su longitud.

Si consideramos una barra rígidamente fija en sus extremos o libre en los mismos, las frecuencias de los modos de vibración son:

$$f_n = \frac{nc}{2L} \quad \text{con } n = 1, 2, 3, \dots$$

Si la barra esta fija en un extremo y libre en el otro, las frecuencias de vibración se obtendrán de la expresión:

$$f_n = \frac{(2n-1)c}{4L} \quad \text{con } n = 1, 2, 3, \dots$$

Donde:

- L es la longitud de la barra.
- c la velocidad de propagación del sonido en el material de la barra.

## TOMA DE SONIDO: INSTRUMENTOS MUSICALES

Las vibraciones transversales de las varillas o barras están regidas por leyes diferentes a las anteriores, puesto que las frecuencias de vibración de los modos transversales son inversamente proporcionales al cuadrado de la longitud de la barra.

La vibración de **membranas** se basa en los mismos principios que la vibración de las cuerdas, ya que son materiales elásticos tensados. La diferencia estriba en que la cuerda se trata de una línea de puntos vibrando, mientras, que la membrana es una superficie. De esta forma los puntos nodales existentes en las cuerdas se transformarán en líneas nodales en las membranas. Por tanto las ondas lineales en la cuerda son de tipo superficial en la membrana, por lo que las ondas estacionarias son de tipo bidimensional.

Cuando toda la superficie oscila en forma de casquete la línea nodal se encuentra en el borde de la membrana, emitiendo un sonido que será el fundamental, dependiendo del tamaño y de la tensión a la que se encuentra sometida. En el segundo modo, aparece una línea nodal, según un diámetro; en el siguiente, dos líneas nodales según dos diámetros, formando un ángulo recto y, a continuación aparece una línea nodal concéntrica al perímetro.

Es posible calcular las frecuencias de los modos propios de una membrana vibrante mediante la expresión:

$$f_{n_x n_y} = \frac{c}{2} \sqrt{\left(\frac{n_x}{L_x}\right)^2 + \left(\frac{n_y}{L_y}\right)^2} \quad \text{con: } n_x = 0, 1, 2, \dots$$

$$n_y = 0, 1, 2, \dots$$

Donde  $c$  es la velocidad del sonido en la membrana  $L_x$  y  $L_y$  las longitudes de los lados de la membrana rectangular.

La frecuencia fundamental se obtiene al sustituir  $n_x = 1$  y  $n_y = 1$ , siendo los sobretonos correspondientes a  $n_x = n_y$  armónicos de la fundamental. En el caso de

## TOMA DE SONIDO: INSTRUMENTOS MUSICALES

vibraciones transversales de las membranas circulares los sobretonos no son armónicos de la fundamental.

### 3.3.3.2 - Clasificación de los Instrumentos de Percusión

Los instrumentos de percusión pueden clasificarse en dos grandes grupos: el primero formado por aquellos que producen notas de una frecuencia determinada y el segundo formado por aquellos cuyo sonido no presente una frecuencia determinada. Al primer grupo pertenecen los timbales, celesta, xilófono, vibráfono, etc. y al segundo el bombo, la caja, los tambores, etc.

Según la clasificación de E. Hornsbostel y Curt, los idiófonos y los membranófonos son los dos grupos en los que se puede diferenciar a los instrumentos de percusión.

#### · **Idiófonos:**

- 1- Idiófonos percutidos: litófonos, xilófonos, marimbas, metalófonos, lira celesta, tambores de madera, txalaparta, platillos, gongs, campanas, carillón, triángulo, cencerros, castañuelas, crótalos, maracas, etc.
- 2- Idiófonos punteados: Arpa de boca y sansas.
- 3- Idiófonos por fricción: Vasos musicales y armónica de cristal.

#### · **Membranófonos:**

- 1- Membranófonos percutidos: timbales, cajas, bombo, tambores militares, bongos, tumbadoras, tabla indú, panderos, etc.
- 2- Membranófonos por fricción: zambomba, Ion, roar.
- 3- Membranófonos por doplo: mirlitón.



**Fig. 3.24 : Xilófono**



**Fig. 3.25 : Timbales**



**Fig. 3.26 : Congas**

### **3.4 - CARACTERÍSTICAS ESPECTRALES Y TEMPORALES DE LOS INSTRUMENTOS MUSICALES.**

#### **3.4.1 - REPRESENTACIÓN DEL ANÁLISIS DE SEÑALES MUSICALES**

El sonido producido por un instrumento musical puede caracterizarse por la evolución temporal de su espectro durante todo el proceso de emisión. Por lo tanto, el

## TOMA DE SONIDO: INSTRUMENTOS MUSICALES

análisis de las notas musicales debe realizarse exhaustivamente en los dominios del tiempo y de la frecuencia. De este análisis surgen los llamados espectrogramas, mediante los cuales pueden obtenerse imágenes visuales de las distintas notas musicales de un instrumento. El espectrograma representa el análisis del sonido sobre un gráfico tridimensional, cuyos ejes son: amplitud, tiempo y frecuencia. También puede optarse por la representación en dos dimensiones, utilizando los ejes de frecuencia y tiempo. En este caso, la amplitud se representa mediante un código de colores o simplemente por el grosor del trazo en la gráfica.

La clasificación de los instrumentos según su espectrograma responde perfectamente a la clasificación tradicional según su principio de funcionamiento: instrumentos de viento, de cuerda y de percusión. Los dos primeros grupos se dividen en subgrupos dependiendo del tipo de excitación aplicada: viento-madera y viento-metal; cuerda frotada, cuerda pulsada y cuerda percutida,

### **3.4.1.1 - Instrumentos de Cuerda**

En función de la forma de excitación puede dividirse a esta gran familia de instrumentos en tres subgrupos:

**Instrumentos de cuerda frotada:** la señal que origina la excitación de una cuerda por un arco está formada por la suma de señales sinusoidales armónicas. Su espectrograma en dos dimensiones presenta, por tanto, líneas frecuencia-tiempo equidistantes entre sí y aproximadamente del mismo grosor, que se amortiguan una vez cesada la excitación, casi al mismo tiempo. El ataque está caracterizado por la aparición simultánea y suave de todos los armónicos, así como la generación de un ruido de poca amplitud, casi blanco, debido al frotamiento de la cuerda por el excitador. Ejemplos de este tipo de instrumentos lo son todos aquellos pertenecientes a la familia del violín.

**Instrumentos de cuerda pulsada:** el espectro es casi armónico, donde las componentes espectrales se van amortiguando sucesivamente en el tiempo,

## TOMA DE SONIDO: INSTRUMENTOS MUSICALES

extinguiéndose primero las de alta frecuencia. La generación de cada una de las componentes del espectro tiene lugar simultáneamente en un tiempo de ataque muy breve y brusco, en el que también, debido al choque inicial de la cuerda con el cuerpo del instrumento, se origina un ruido débil de banda ancha que desaparece rápidamente. Ejemplos de instrumentos en este caso lo son: la guitarra y el clavicordio.

**Instrumentos de cuerda golpeada:** el aspecto que presenta su espectrograma es muy parecido al de las cuerdas pulsadas, si bien su espectro presenta cierto grado de inarmonicidad. En este caso, la excitación durante el tiempo de ataque es mucho más intensa, por lo que las rayas frecuencia-tiempo son más gruesas y el ruido de impacto más fuerte. La extinción de las componentes es irregular, tendiendo a desaparecer primero las de alta frecuencia. Entre los instrumentos más característicos de este grupo está el piano. En la figura 1.3 se muestran los espectrogramas característicos de esta familia de instrumentos.

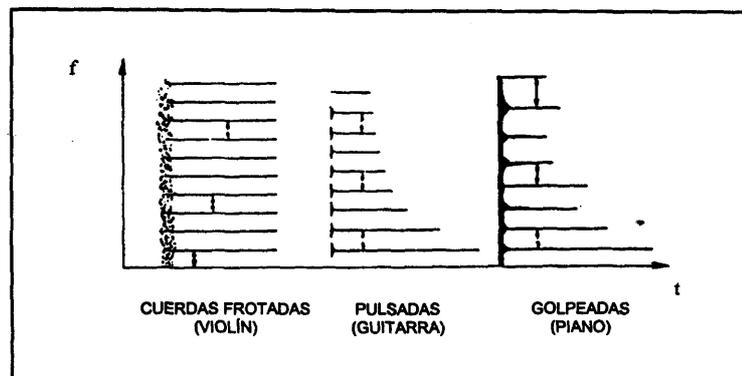


Fig. 3.27 : Espectrogramas característicos de instrumentos de cuerda

### 3.4.1.2 - Instrumentos de Viento

Se subdividen a su vez en instrumentos de:

**Instrumentos de viento madera:** su espectro es armónico, por lo que las rayas frecuencia-tiempo son equidistantes, si bien el número de ellas es restringido, siendo los armónicos graves más intensos que los agudos. A menudo aparece cierta dosis de ruido, originada por el soplido en sí. Los transitorios de ataque son en general muy característicos: el ataque de cada armónico es suave y su orden de aparición es irregular. El amortiguamiento de todos ellos, sin embargo, suele ser suave y simultáneo. Como ejemplo de instrumento perteneciente a esta familia está la flauta travesera.

**Instrumentos de viento metal:** existen diversos tipos, pero una característica común es la riqueza en armónicos de su espectro. La aparición de tales armónicos durante el ataque es suave y tiene lugar de manera irregular. La extinción en cambio, es suave y prácticamente simultánea para todos ellos. Otra característica destacable es la fuerte coloración de su espectro en algunas zonas de frecuencias formantes.

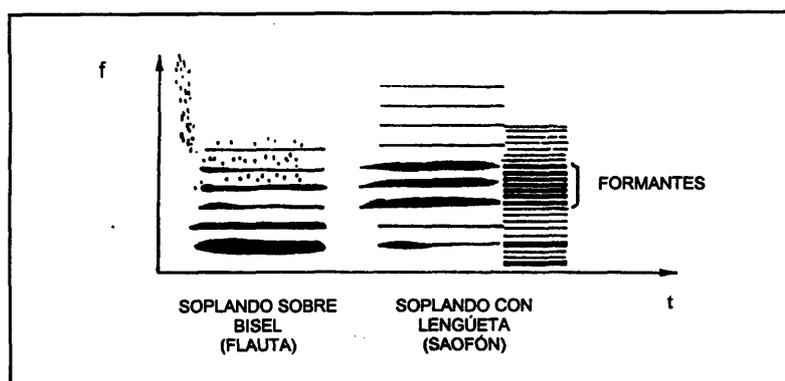


Fig. 3.28 : Espectrogramas característicos de instrumentos de viento

### 3.4.1.3 - Instrumentos de Percusión

Se caracterizan todos ellos por sus transitorios de ataque que generalmente son muy breves y muy intensos, lo que da lugar a un espectro casi plano en frecuencia. Dependiendo de lo que ocurra después de este tiempo de ataque, pueden clasificarse en:

**Instrumentos de una dimensión:** existe una gran variedad de instrumentos pertenecientes a este grupo. Al tener una sola dimensión, se caracterizan por el aspecto armónico de su espectro, independientemente del espectro casi continuo y de banda

ancha que aparece durante el ataque. La aparición de los armónicos durante el ataque es muy rápida y simultánea. Su extinción, en cambio, es larga e irregular. Ejemplos típicos son: el xilófono, campanas tubulares, etc. A este grupo pertenecen también sistemas muy amortiguados, contruidos en madera, que generan ruido de impacto en el sentido usual de la palabra. Su espectrograma se traduce en una franja vertical de muy corta duración y espectro casi plano.

**Instrumentos de dos dimensiones:** dentro de este grupo hay que diferenciar entre aquellos cuyo espectro es continuo y presenta algunas frecuencias formantes bien diferenciadas y, aquellos cuyo espectro es totalmente discreto e inarmónico. Como ejemplo del primer grupo está el tambor, que presenta una o varias resonancias graves de tono definido. Como ejemplo del segundo grupo están el triángulo, los platillos, las placas metálicas, etc. En estos instrumentos el espectro es inarmónico, las componentes nacen simultáneamente durante el ataque y se extinguen de forma irregular en el tiempo. Generalmente, los primeros armónicos de más baja frecuencia tienen tiempos de relajación bastante grandes.

**Instrumentos de tres dimensiones:** su espectro es discreto e inarmónico. El ataque y la relajación son similares a los de los instrumentos bidimensionales. Como ejemplo más representativo está la campana. En la figura se presentan algunos ejemplos de los espectrogramas mencionados.

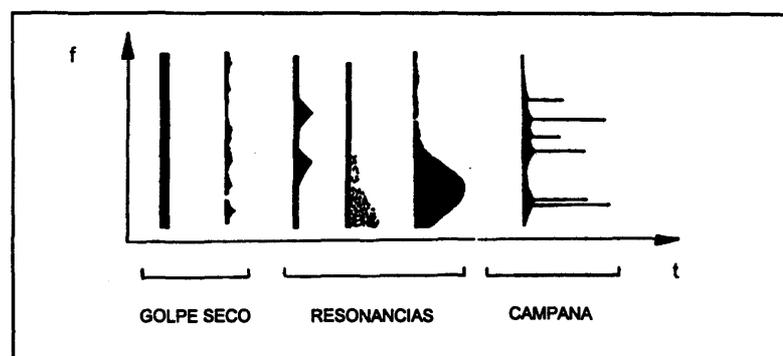


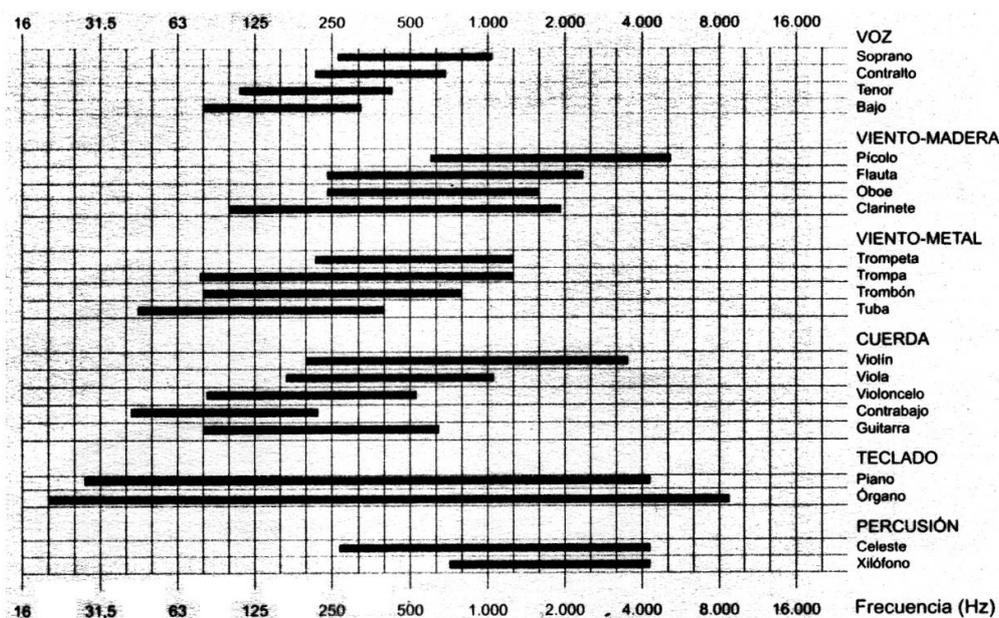
Fig. 3.29 : Espectrogramas característicos de instrumentos de percusión

### 3.5 - MÁRGENES DE VARACIÓN DE LA FRECUENCIA FUNDAMENTAL

## TOMA DE SONIDO: INSTRUMENTOS MUSICALES

Cada instrumento musical tiene la capacidad de producir una serie de notas determinadas cuya frecuencia depende de las características constructivas del instrumento. La diferencia entre la frecuencia fundamental más grave que es capaz de emitir y la más aguda, definirá la tesitura del instrumento. La función del instrumento en la orquesta esta relacionada con la tesitura que éste presenta. Cada familia de instrumentos tiene componentes que abarcan diferentes tesituras, este hecho se aprecia inmediatamente en la figura 3.30 al observar los componentes de la familia de las cuerdas frotadas (violín, viola, celo y contrabajo), pero, aunque no están representados en la figura por no participar en la orquesta, existen clarinetes más graves, flautas más graves (como se verá en el capítulo dedicado a este instrumento), así como contrafagots etc.

En la figura se representan los márgenes de variación de la frecuencia fundamental emitida por los diferentes instrumentos y voces que participan en la orquesta. Es muy conveniente que el ingeniero de sonido conozca la tesitura de los instrumentos que desea grabar, con objeto de utilizar los micrófonos y tratamiento más adecuados en cada caso.



**Fig. 3.30 : Márgenes de variación de la frecuencia fundamental correspondientes a diferentes instrumentos de la orquesta.**