

Los sonidos

Armónicos y los sonidos *Parciales* en la flauta



Fotografía José Ramón Rico

Por **Francisco Javier López R.**

Francisco Javier López R. es, Catedrático de flauta travesera Conservatorio Superior de Música "Manuel Castillo" de Sevilla.

Francisco Javier López R.



Los armónicos o, dicho con mayor propiedad, los sonidos parciales de un sonido fundamental, constituyen en sí mismo y en sus diversas relaciones, un material técnico esencial en el estudio de la mayoría de los instrumentos musicales. Los sonidos armónicos son aquellos que resuenan conjuntamente con los sonidos fundamentales, cuyas frecuencias son un múltiplo exacto del número de oscilaciones de estos, frecuencias secundarias que acompañan a una frecuencia fundamental y que son prácticamente inaudibles. Cuando percibimos una fuente sonora, ya sea proveniente de un instrumento musical, de una persona que

habla en voz baja o de un automóvil que acaba de arrancar, lo que en realidad estamos oyendo es un conjunto acústico, una especie de cluster cuya conjunción es susceptible de ser identificada bajo una cierta personalidad, de tal modo que podemos determinar a que instrumento pertenece el sonido producido, reconocer quien susurra y señalar si el vehículo es de gasolina o diésel. La razón por la cual podemos diferenciar estas distintas fuentes sonoras se encuentra en el fenómeno acústico de los sonidos parciales o, dicho más concretamente, en el grado y modo cómo se destacan dentro de su serie, respecto a las demás frecuencias contiguas.

La columna de aire contenida en la flauta puede vibrar en toda su longitud o dividida en fracciones iguales. Cuando la vibración afecta a la longitud total del tubo se genera el sonido fundamental o sonido base, produciéndose los sonidos parciales cuando la columna de aire vibra dividida en mitades, tercios, cuartos, etc. La flauta se considera acústicamente como tubo cilíndrico abierto. Por tal motivo los sonidos parciales que puede emitir desde cualquier posición fundamental son los correspondientes a la serie natural armónica, aunque en número muy limitado dadas las dimensiones del instrumento.

La primera nota de la flauta (tomando como referencia un instrumento con pata de Do) que corresponde a la máxima longitud que puede adquirir la columna de aire contenida en el tubo, sólo produce hasta el octavo parcial. Cuanto más corta sea la longitud del tubo en la producción de un sonido fundamental, menor será el número de parciales que pueda generar.

Rudolf Stephan¹ distingue entre escalas de sonidos parciales y escalas de sonidos armónicos. Mientras en las primeras se incluye a la nota fundamental como primer sonido de la serie, la escala de sonidos armónicos la excluye.

escala de sonidos parciales n° de orden: 1 2 3 4 5 6 7 8
 escala de sonidos armónicos n° de orden: 1 2 3 4 5 6 7

La posición (digitación) de Do, genera los siguientes sonidos parciales:

1 2 3 4 5 6 7 8

Sin embargo la posición de La, sólo puede generar hasta el cuarto sonido de su serie:

1 2 3 4

Un tubo de las características de la flauta travesera, abierto, es susceptible de producir sonidos fundamentales de frecuencia determinada.

Vayamos ahora con los cálculos y fórmulas.

La frecuencia de un sonido se obtiene por el cociente entre la velocidad de propagación del sonido y la longitud de la onda vibrante. Como la longitud de la onda coincide con el doble de la longitud del tubo podemos expresar que:

$$F = V / \lambda \quad \lambda = 2L$$

En donde:

F = Frecuencia del sonido

V = Velocidad de propagación del sonido (340 m/s. a 15 °C)

λ = Longitud de onda

L = Longitud del tubo

Las frecuencias de los sucesivos parciales se obtienen multiplicando el número de orden en la serie de armónicos por la frecuencia del sonido base. El resultado es teórico, pues existen variables que afectan a la baja afinación de los parciales. Baste con recordar el sistema de afinación que poseen los tubos, basados en los armónicos naturales, sistema desafinado si lo observamos desde el punto de vista del temperamento igual. Además, los vientres que se forman en las extremidades del tubo se desplazan ligeramente hacia el exterior del mismo², representando un incremento real de la longitud de onda. Por este motivo, en los cálculos para determinar la longitud real de un tubo se incluye un factor de corrección.

La distancia que media desde el extremo del tubo hasta el comienzo del vientre está en función del diámetro del mismo. Así pues, si restamos a la longitud de la columna vibrante el factor de corrección obtendremos la longitud real del tubo³.

F1 = Frecuencia del sonido fundamental	
F2 = Frecuencia del segundo parcial	F2 = 2 F1
F3 = Frecuencia del tercer parcial	F3 = 3 F1
Fn = Frecuencia del parcial (n)	Fn = n F1

Los parciales 2, 4 y 8 (parciales pares) son octavas sucesivas del sonido base.
 La distancia interválica entre los parciales de una serie es la siguiente:

2 y 1: Octava justa	3 y 2: Quinta justa	4 y 3: Cuarta justa
5 y 4: Tercera mayor	5 y 3: Sexta mayor	6 y 5: Tercera menor
6 y 4: Quinta justa	7 y 6: Tercera menor	7 y 4: Séptima menor
8 y 7: Segunda mayor	8 y 6: Cuarta justa	

En el siguiente cuadro puede verse la relación de frecuencias de cada parcial:

nº de Parcial	1	2	3	4	5	6	7	8
Frecuencia	F	2F	3F	4F	5F	6F	7F	8F
Serie de Do (ejemplo)	Do 1	Do 2	Sol 2	Do 3	Mi 3	Sol 3	Si b 3	Do 4

Veamos las características generales de cada uno de los sonidos de la serie:

El primer sonido de la serie (sonido fundamental), posee una frecuencia equivalente a la nota cuya altura se percibe.

El segundo está dotado de una frecuencia doble de la del primero. Su posición es la 8ª superior.

El tercer sonido tiene una frecuencia triple de la del primero, y está en una proporción de 3/2 con la del segundo. Se sitúa a 5ª justa por encima de éste, y a 12ª (8ª más 5ª) arriba del primero.

El cuarto duplica la frecuencia del segundo. La altura se localiza a una 8ª por encima de éste, y en consecuencia su altura es de dos 8ª por encima del primer sonido de la serie. Cabe destacar que cuando el número de orden serial de un parcial es doble, su altura corresponde siempre una 8ª por encima.

El quinto se encuentra una 3ª por encima del sonido cuarto. En este caso la 3ª mayor que se produce entre los sonidos cuarto y quinto de la serie es perceptiblemente más pequeña que la 3ª mayor del sistema temperado, lo que conviene saber, a priori.

Una situación análoga se produce con los sonidos quinto y sexto, cuya distancia es de 3ª menor: se trata de un intervalo amplio cuando lo comparamos con la 3ª menor del sistema temperado.

El sexto tiene un índice doble del tercero y su altura es una octava sobre él. Forma una proporción 3/2 sobre el sonido cuarto, y por ello está a una distancia de 5ª superior.

El séptimo posee una naturaleza especial ya que la distancia con el sonido sexto de la serie podría considerarse una 3ª menor "muy pequeña" y con el octavo forma una segunda mayor bastante amplia. En el sistema acústico creado por Zarlino4 fue rechazado como válido para construir intervalos.

El sonido octavo tiene un índice que duplica al cuarto y su sonido estará, como se vio arriba, una octava por encima de éste.

Todos los sonidos cuya relación idéntica es una potencia de 2 respecto a la producida por el sonido fundamental (segundo, cuarto y octavo), refuerzan la percepción de altura del conjunto. Los sonidos tercero y sexto aportan un timbre peculiar al conjunto (se suele denominar nasal). El sonido quinto produce un colorido "pleno". El séptimo proporciona un carácter "rudo" al sonido.

En la flauta, para conseguir el fraccionamiento vibratorio es necesario regular la presión del aire que se emite cuando ejecutamos sobre el instrumento. La menor presión posible para obtener un sonido nos proporciona el primer parcial (fundamental de la serie) o lo que es igual, la nota más grave posible. Esta imagen muestra de forma esquemática la nota más grave que se puede emitir con una flauta:

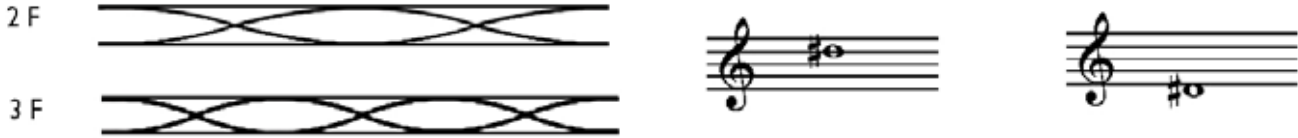


Cuando aumentamos la presión de salida del aliento, que se traduce en una mayor velocidad de impacto contra el bisel, produciremos los sucesivos parciales. También se originan dando salida al aire del tubo por algún orificio lateral intermedio, allí donde se forme un nodo entre el agujero de la embocadura y el primer orificio lateral abierto más próximo, manteniendo durante la emisión una presión de aliento constante.

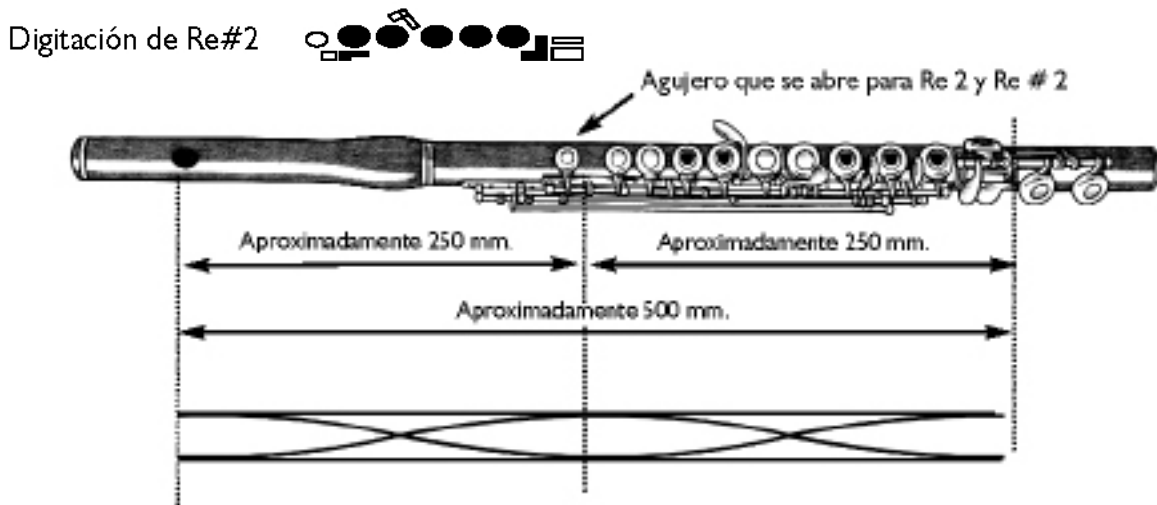
En los ejemplos siguientes pueden apreciarse el segundo y tercer parcial cuyas frecuencias son el doble y triple respectivamente del sonido fundamental:

Si el sonido fundamental es Re 1, 2F corresponde a Re2 y 3F a La2

En el caso de Re# 2 (segunda octava), la digitación es diferente a la de su octava inferior:



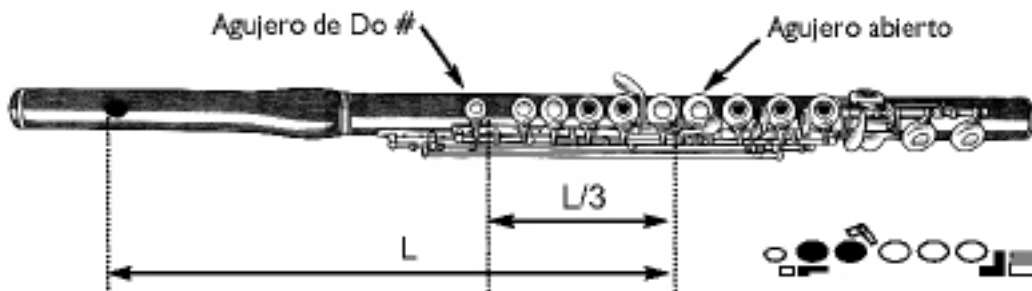
Puede observarse que el agujero abierto está situado en el punto medio de la columna vibrante correspondiente al sonido fundamental, aproximadamente en donde se encuentra un nodo.



Como consecuencia de abrir un agujero en el centro teórico de la onda, en cada extremo abierto del agujero, embocadura y última llave abierta, se forma un vientre.

Boehm denominó a este agujero intermedio, en este caso el de Do #, semiagujero de escape, cuya utilidad se extiende a la obtención de las notas Re, Re # de la segunda octava, además de Re y Sol de la tercera. Esto explica algunas digitaciones de la octava superior empleadas en la práctica ordinaria como digitaciones reales.

La nota Re de la tercera octava se obtiene con digitación básica de Sol, lo cual quiere decir que la columna sonora vibra en tres segmentos, estando situado el orificio de Do # en un tercio aproximadamente de la longitud total del tubo efectivo, calculado sobre la distancia entre el agujero de la embocadura y la llave de sol.



También se puede observar este principio con Mi, Fa, Sol y en general con todas las posiciones de la tercera octava, solo hay que razonarlas en función de las digitaciones de los sonidos fundamentales, segundos y terceros parciales de su serie.

Algunos consejos que justifican el estudio de los sonidos parciales.

La utilización frecuente de los sonidos parciales favorece la flexibilidad y reforzamiento de los músculos de los labios, agudiza el sentido de la afinación y el control de los sonidos de la tercera octava, desarrolla la sensibilidad en el juego de la embocadura para la obtención de diferentes timbres e inicia en la práctica de otros recursos técnicos muy empleados en la música actual, tales como sonidos multifónicos, cambios de timbre y whistle-tone.

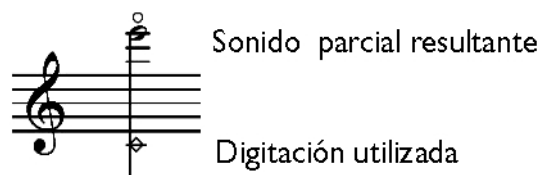
Al practicarlos, los labios estarán bien juntos y muy relajados dejando pasar el mínimo de aire. Para obtener los parciales sucesivos, resulta de gran ayuda avanzar ligeramente la mandíbula inferior, sacar algo los labios y, si fuera necesario, girar la flauta sobre su eje hacia adelante levemente para descubrir el agujero de la embocadura. Cuando percibimos que la posición es correcta debemos enfocar lo más certeramente el aire que emitimos.

El apoyo del aliento es aquí tanto o más importante que durante la emisión de un sonido normal, por lo que cuidaremos especialmente el control de la pared abdominal para no sustentarnos exclusivamente en la presión que puedan proporcionar los labios.

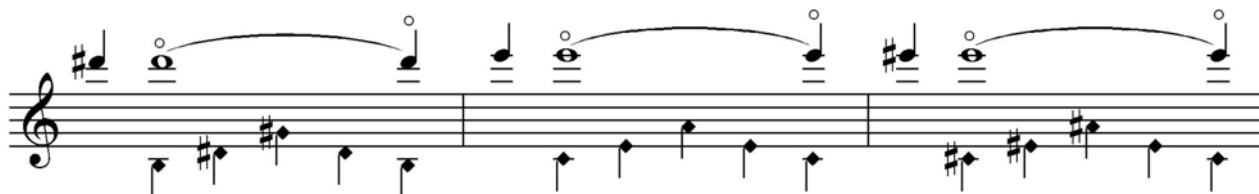
El tempo de ejecución durante su estudio, necesariamente debe ser lento, como corresponde a un trabajo sobre sonoridad, aunque cuando se tenga asimilado el procedimiento, puedan alcanzarse cifras metronómicas mayores, con respiraciones amplias y tan frecuentes como sean necesarias. Cuando aparecen sonidos reales junto a sonidos parciales, debemos intentar obtenerlos con el mismo color (timbre), matiz y afinación que los sonidos reales, aunque resulta muy difícil de cumplir en todos los casos, ya que los sonidos reales se encuentran en el ámbito de la escala temperada y los parciales en el de la escala natural.

Al principio se encontrará dificultad en la obtención de determinados parciales muy agudos, en este caso lo mejor sería pasar al siguiente parcial hasta que los labios estén entrenados y puedan ejecutarse con toda facilidad. La estrategia a seguir en los primeros intentos puede consistir en acceder a los sonidos agudos de modo progresivo, sin fatigarse excesivamente para no caer en la desmotivación.

La notación básica de los sonidos parciales es:



Y aquí algún modelo para ejercitarse 5:



De interés y como resumen:

La diferencia entre armónicos y parciales estriba en que en los armónicos, la frecuencia de vibración de cada onda sinusoidal es exactamente proporcional a su sonido fundamental. Obedece a un modelo matemático teórico (armónicos puros) y en su serie (o escala de armónicos) no se incluye el primer sonido (fundamental), numerándose (primer armónico) desde el segundo sonido de la serie. En las series de parciales, las frecuencias de cada sonido no son tan proporcionales respecto al sonido fundamental, puesto que responden a modelos prácticos reales que dependen

de diversos factores particulares. Los parciales análogos ejecutados por la voz humana, instrumentos de cuerda, percusión o viento, son diferentes entre sí, incluso aquéllos resultantes de un mismo instrumento tocados por personas diferentes, por ejemplo en la flauta, ya que la distinta presión del aire al ejecutarlos modifica su frecuencia. La energía de los parciales va cambiando dependiendo de la tesitura del instrumento, del lugar del sonido en la serie y de la manera de excitar la vibración. Cuando se numera la serie, el sonido fundamental ocupa el primer lugar.

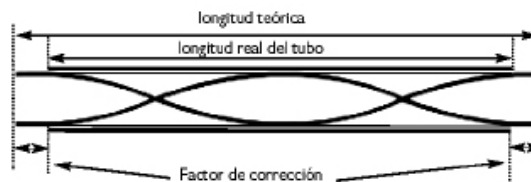
© Francisco Javier López R.

Notas.

(1) Stephan, Rudolf, Enciclopedia Moderna del Conocimiento Universal; (Das Fischer Lexikon), Bs. Aires, Compañía General Fabril Editora S.A., 1964.

(2) Queda demostrado con la siguiente experiencia. Una persona toca el sonido más grave que pueda emitir la flauta. Simultáneamente, otra sitúa una tarjeta (como las de crédito) lo más próxima que pueda al extremo inferior del tubo sin tocarlo. El resultado es que el sonido se ve afectado de tal modo como si se tratase de una flauta cerrada por el extremo inferior.

(3)



(4) Gioseffo Zarlino (1517-1590). Propuso la división de la octava en doce espacios y describió de manera precisa una forma de temperamento mesotónico, explicándolo en detalle en su obra, Istitutioni harmoniche (1558). En otra obra, titulada Dimonstratióni harmoniche (1571), examinó los diferentes modos existentes y recomendó como más adecuado el de Do mayor (modo jónico). Se acercó así al sistema armónico y melódico fundamentado en la tonalidad, posibilitando a los modos mayor y menor un amplio desarrollo en detrimento de los modos antiguos.

(5) Extraído del cuaderno, Francisco Javier López, Estudio de los sonidos parciales en la flauta travesera, 2004, Sevilla, flautaandalucia@hotmail.com