



ISSN 1988-6047 DEP. LEGAL: GR 2922/2007 N° 23 – OCTUBRE DE 2009

“LA ACÚSTICA DEL CLARINETE”

AUTORÍA ÁNGEL MUÑOZ MUÑOZ
TEMÁTICA MÚSICA
ETAPA ENSEÑANZAS PROFESIONALES DE CONSERVATORIO

Resumen

Los instrumentos musicales tienen diferentes comportamientos acústicos según sean de cuerda, viento o percusión. Los instrumentos de viento y entre ellos el clarinete, pertenecen al grupo de los tubos sonoros, con un comportamiento acústico para la producción de sus diferentes sonidos muy particular. Además el clarinete es especialmente particular, y en este artículo voy a tratar ese comportamiento especial desde el punto de vista de la acústica, que hace que el clarinete suene a clarinete.

Palabras clave

Acústica, tubo sonoro, lengüeta simple, armónicos, ondas sonoras, sonido, frecuencia de un sonido.

1. INTRODUCCIÓN.

Todos los clarinetistas pasan muchas horas estudiando y practicando con su instrumento para conseguir una buena técnica y una buena sonoridad, pero en pocas ocasiones se han parado a pensar en el comportamiento acústico del clarinete, así como todo lo que está relacionado con aquello que es lo más importante de su música, *el sonido*.

Todos los instrumentos de viento y entre ellos el clarinete, son denominados dentro de la física como **tubos sonoros**.

El sonido es un efecto físico, y es la física la ciencia encargada de su estudio a través de una de sus partes, *la acústica*. La acústica estudia el sonido y por tanto el producido por los tubos sonoros. Para una buena comprensión del sonido, primero es necesario definir dos conceptos básicos:

- **Sonido**. El sonido es una sensación producida por una energía resultante de la vibración del medio y que impresiona el sentido del oído.
- **Tubo sonoro**. Tubos sonoros son aquellos que contienen una columna de gas, que en los instrumentos musicales es aire, que al ser excitada entra en vibración produciendo las **ondas sonoras**.



ISSN 1988-6047 DEP. LEGAL: GR 2922/2007 N° 23 – OCTUBRE DE 2009

En la producción de las ondas sonoras no hay desplazamiento del aire contenido en el tubo, sino que las moléculas de ese aire chocan con sus vecinas transmitiéndose así la onda a lo largo del tubo. Esto es el llamado **movimiento ondulatorio** que en el caso de los tubos sonoros, y por tanto del clarinete, es longitudinal.

El cuerpo sonoro es la columna de aire de dentro del clarinete, siendo la misión de éste la de definir su forma, ya que las ondas sonoras se comportarán de diferente manera dependiendo de la forma del tubo. Es ésta la razón del particular comportamiento de las ondas que se producen en el clarinete, dándole al instrumento su característica sonoridad.

2. CLASIFICACIÓN DE LOS TUBOS SONOROS.

El comportamiento físico del sonido dependerá de las características de los tubos. Los tubos sonoros se clasifican en:

- Según su forma:
 - *Cilíndricos.*
 - *Cónicos.*
 - *Prismáticos.*
- Según su embocadura o forma de excitación de la columna de aire:
 - De *lengüeta* simple o doble, como el clarinete u oboe.
 - De *boquilla*, como la trompeta.
 - De *bisel*, como la flauta travesera.

Además pueden ser:

- **Tubos abiertos:** son aquellos que disponen de dos o más orificios y emiten la serie completa de armónicos.
- **Tubos cerrados.** Son los que disponen de un solo orificio, solo emiten los armónicos pares y dan como nota fundamental la octava grave de un tubo abierto de igual longitud.

La mayoría de los instrumentos musicales son tubos abiertos, quedando los cerrados para casos muy concretos como los tubos de órgano, flauta de pan y algún otro.

Tengo que señalar que en el caso del clarinete, este se comporta como un tubo cerrado, cerrado por el extremo de la caña, cuando en realidad no lo es.

3. PRODUCCIÓN DEL SONIDO EN UN TUBO SONORO.

En primer lugar es necesario hacer una explicación de cómo se comportan las ondas sonoras en un tubo sonoro en general, para más adelante centrarme en el caso concreto del clarinete, y ver así las diferencias que existen en la producción de un sonido en un tubo “normal” con respecto al clarinete.

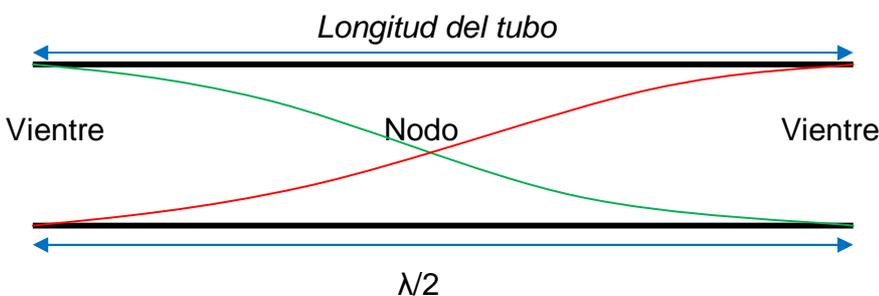
Si en el extremo de un tubo hacemos una compresión súbita, se origina una *onda*, que por definición es la vibración periódica del medio. Esta onda recorre la longitud del tubo y se refleja en el otro extremo rebotando hacia atrás, produciéndose lo que se denomina *reflexión* y originando otra onda de igual amplitud pero de sentido contrario, creándose lo que se denomina una *onda estacionaria*.

Una columna de aire dentro de un tubo sonoro puede vibrar en toda su longitud o dividida en segmentos iguales, lo mismo que ocurre en los instrumentos de cuerda cuando ponemos el dedo sobre ella dividiendo su longitud. En el primer caso se obtiene el *sonido fundamental* y en el segundo caso se obtienen los diferentes *armónicos*, que serán de segundo orden si la columna de aire vibra en dos mitades, de tercer orden si vibra en tres partes iguales y así sucesivamente. Es decir, armónico es cada uno de todos aquellos sonidos que acompañan al fundamental cuya frecuencia es “n” veces la frecuencia de esa fundamental. Para aclarar esto tengo que decir que ningún sonido es puro, sino que todo sonido va acompañado de otros más agudos aunque resaltan menos que son los armónicos.

El sonido fundamental será más o menos grave dependiendo de la longitud del tubo sonoro, a mayor longitud, sonido más grave.

Las ondas estacionarias tienen puntos donde la vibración es nula, son los *nodos*, y puntos donde la vibración alcanza su máxima amplitud, son los *vientres*.

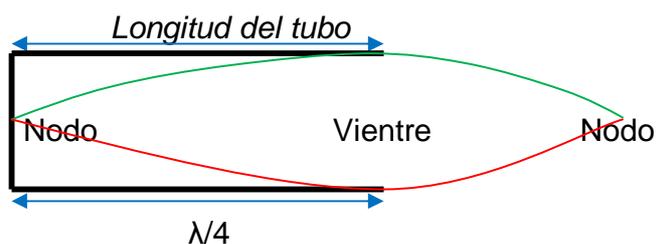
Figura 1. Tubo abierto produciendo su sonido fundamental.



La reflexión de la onda será diferente si se produce en un tubo cerrado o tubo abierto.

Cuando la reflexión de la onda ocurre en un extremo cerrado, en este se produce un nodo. Esto impide la producción de armónicos pares y es particular de los tubos cerrados.

Figura 2. Tubo cerrado produciendo su sonido fundamental.





ISSN 1988-6047 DEP. LEGAL: GR 2922/2007 N° 23 – OCTUBRE DE 2009

Ocurre que para obtener el sonido fundamental en un tubo cerrado, se necesita un nodo en el extremo cerrado y un vientre en el abierto, por lo que el otro nodo necesario para completar la onda se produce fuera del tubo, como se puede ver en la figura 2.

Cuando la reflexión de la onda ocurre en un extremo abierto, en este se produce un vientre. En un tubo abierto se produce el sonido fundamental cuando en el centro hay un nodo, como se puede ver en la figura 1.

Para obtener un sonido de una determinada frecuencia, es necesario que la onda sonora recorra el tubo un cierto número de veces o **ciclos**. Un ciclo es el recorrido completo de la onda en el tubo, es decir, ida, reflexión y vuelta. Así para obtener el sonido LA3, que tiene una frecuencia de 440 Hz o ciclos, la onda tiene que recorrer $440 \times 2 = 880$ veces el tubo.

Los instrumentos musicales de viento, (a excepción del órgano que tiene un tubo para cada nota), poseen una serie de agujeros a lo largo del tubo. Cuando tapamos todos los agujeros se produce la fundamental más grave, y cuando vamos destapando los agujeros es como si fuésemos acortando el tubo o mejor dicho, acortamos la longitud acústica, produciendo así los demás sonidos fundamentales, más agudos cuanto más corto se va haciendo el tubo. Luego se pueden producir los armónicos de esas fundamentales para completar la tesitura del instrumento.

Algunos tubos abiertos pueden comportarse como cerrados. En esta clase de tubos se forma un vientre en el extremo abierto y un nodo en el extremo cerrado (cerrado por la embocadura). Esto influye en la producción de los armónicos, quedando eliminados los de orden par y resaltando más los de orden impar. Este es el caso del clarinete, que es un tubo abierto como el oboe o el saxofón, pero que su comportamiento acústico es el de un tubo cerrado, cerrado por el extremo de la caña.

4. FRECUENCIA DEL SONIDO PRODUCIDO EN UN TUBO SONORO.

En este punto explicaré con exactitud cómo se comportan las ondas sonoras dentro de un tubo abierto y de un tubo cerrado y demostraré porqué los abiertos producen todos los armónicos que acompañan el sonido y los cerrados sólo los de orden impar de la serie completa. Para esto es inevitable hacer uso de algunas operaciones matemáticas y formulas físicas, pero que no son demasiado complicadas.

4.1. Tubos abiertos.

La onda estacionaria que se produce proporciona vientres en los dos extremos, como tubo abierto que es, por tanto el sonido fundamental se producirá cuando en el centro se forme un nodo. Ver figura 1.

Ahora definiré los conceptos que voy a utilizar en los cálculos:

- "L", es la longitud del tubo.
- λ (lambda) es la longitud de onda, es decir el recorrido que hace la onda en un ciclo. Como el ciclo de la onda es ida y vuelta, entonces la longitud del tubo corresponde con la mitad de la longitud de onda. Esto es: $L = \lambda/2$

- “C” es la velocidad de propagación de la onda, que en el aire es de 330 m/s.
- “f” será la frecuencia.

Comenzamos los cálculos:

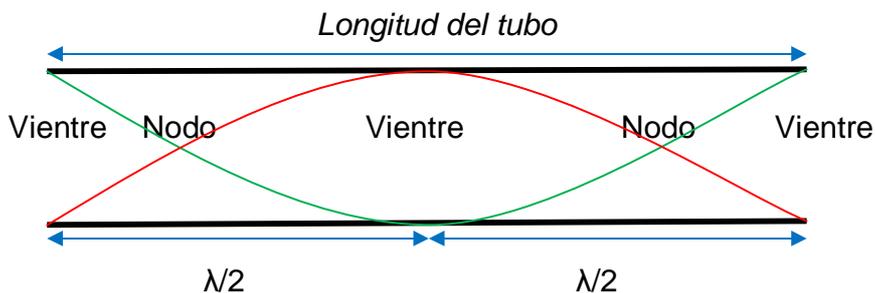
La frecuencia de la fundamental (f1) será la relación entre la velocidad de propagación de la onda en el medio (C), y su longitud de onda (λ). Así tenemos:

$$f_1 = C / \lambda \quad \text{y si} \quad \lambda/2 = L$$

Operando: $\lambda = 2L$ y sustituyendo queda que **$f_1 = C/2L$**

El **segundo armónico** se produce cuando en el interior del tubo aparecen dos nodos.

Figura 3. Tubo abierto produciendo su segundo armónico.



Entre cada vientre habrá $\lambda/2$, luego $L = \lambda/2 \times 2$ simplificamos y queda $L = 2 \lambda/2$, de donde obtenemos que $\lambda = 2L/2$.

Por tanto la frecuencia del segundo armónico, será:

$$f_2 = \frac{C}{2L/2}$$

Operamos y $f_2 = 2C/2L$. Luego, si $f_1 = C/2L$ queda: **$f_2 = 2f_1$** o lo que es igual, la **Octava Justa**.

El **tercer armónico** será: **$f_3 = 3f_1$** o lo que es igual, la **Doceava**. Y así sucesivamente.

4.2. Tubos cerrados.

Al hacer la fundamental se producirá un nodo en el extremo cerrado y un vientre en el extremo abierto.

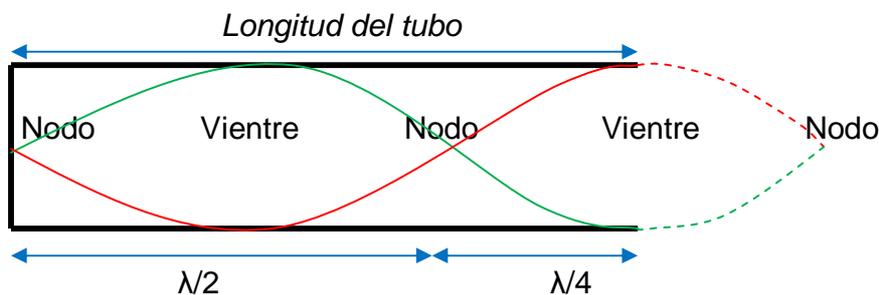
Si tenemos un tubo de longitud “L”, la longitud de onda será la distancia desde el nodo al vientre. Es decir: $\lambda/4$ (ver figura 2). Entonces: $\lambda/4 = L$ de donde despejando λ , tenemos: $\lambda = 4L$

La frecuencia del **sonido fundamental** será:

$$f_1 = C / \lambda \quad \text{Por tanto y sustituyendo, tenemos que } f_1 = C/4L$$

El **segundo armónico** produce dos nodos y dos vientres dentro del tubo.

Figura 4. Tubo cerrado produciendo su segundo armónico.



Ahora la longitud de onda será $\lambda/2 + \lambda/4 = 3\lambda/4$. Por tanto la longitud del tubo será: $L = 3\lambda/4$

Despejando λ , tenemos: $\lambda = 4L/3$. La frecuencia será: $f_2 = C / \lambda$ y si ahora sustituimos λ , tendremos

$$f_2 = \frac{C}{4L/3}$$

Operamos y nos queda $f_2 = 3C/4L$. Pero si $C/4L = f_1$ Tendremos que **$f_2 = 3f_1$** , o lo que es lo mismo la **doceava** de la fundamental o *tercer armónico de la serie completa*, quedando demostrado que la octava de la fundamental o *segundo armónico de la serie completa no aparece*.

La frecuencia del **tercer armónico** será:

$$L = \lambda/2 + \lambda/2 + \lambda/4 = 5\lambda/4 \quad \text{de donde } \lambda = 4L/5$$

Luego $f_3 = C/\lambda = 5C/4L$ y como $f_1 = C/4L$ tenemos que **$f_3 = 5f_1$** o lo que es lo mismo el *armónico número cinco de la serie completa*, no apareciendo el armónico número cuatro.

Con todo esto queda demostrado la imposibilidad de producir los armónicos de orden par en los tubos cerrados.

5. EL CLARINETE. TUBO ABIERTO O TUBO CERRADO.

El clarinete es un instrumento con un comportamiento desde el punto de vista acústico, un tanto especial, ya que como he dicho anteriormente, es un tubo abierto pero su producción de armónicos lo aproximan a un tubo cerrado. El clarinete es un tubo un poco irregular puesto que es mayormente cilíndrico pero con partes cónicas. Con todo esto, las ondas dentro del clarinete se comportan de una manera particular desde el punto de vista físico.



ISSN 1988-6047 DEP. LEGAL: GR 2922/2007 N° 23 – OCTUBRE DE 2009

5.1. Las ondas en el clarinete.

La vibración del aire dentro del tubo, se produce cuando al soplar sobre la caña del clarinete, se cierra rápidamente. La vibración del aire de dentro del tubo produce una onda que viaja a lo largo del tubo hasta encontrar el aire libre en el extremo de la campana, aquí la presión de la propia atmosfera ofrece una resistencia haciendo que la onda rebote (reflexión) y cambie de sentido creándose una onda estacionaria. En la figura cuatro aparece la onda en ida y vuelta en color rojo y verde.

Pero en el caso del clarinete y para la producción de sus diferentes fundamentales, esta onda de ida y vuelta no acaba ahí, sino que una vez que ha realizado su vuelta y ha llegado al extremo cerrado de la caña, la vibración vuelve otra vez hacia el extremo abierto de la campana y de nuevo rebota volviendo hacia el extremo de la caña. De este modo, en el clarinete se producen cuatro ondas, dos que salen y dos que entran, mientras que en un tubo abierto solo se producen dos ondas, una de ida y otra de vuelta.

Por esto podemos explicar el porqué la flauta travesera con una longitud de tubo prácticamente igual al clarinete, produce su Do₃, que es su nota más grave, con todo el tubo cerrado, mientras que el clarinete necesita la mitad de longitud de tubo para producir el mismo sonido, puesto que la longitud de onda es el doble pero en la mitad de tubo.

Las ondas en el clarinete se comportan como si este fuera un tubo cerrado, cerrado por la extremidad donde se encuentra la caña y el sonido por tanto se acerca a un instrumento de tubo cerrado, y digo se acerca porque su comportamiento no es totalmente de tubo cerrado.

En el clarinete cuando suena produciendo sus diferentes fundamentales, se forma un nodo cerca de la caña y un vientre un poco más allá de la campana, caso particular de los tubos cerrados y como quedó demostrado en el punto 4.2, incapaz de producir los armónicos pares. Esto debería ser así si el clarinete fuese un instrumento de tubo cerrado completamente, pero la realidad es que en el clarinete se registran algunos armónicos pares, cosa que sería totalmente imposible si fuese un tubo cerrado.

En la actualidad y con aparatos electrónicos concretos, se puede comprobar que lo que ocurre en realidad es que el segundo armónico no aparece en absoluto, el cuarto se registra débilmente y el sexto y octavo aparecen de manera normal.

Este comportamiento tan extraño se debe principalmente a dos cosas, al tipo de embocadura, de lengüeta simple y al taladro del tubo, que es cilíndrico pero con algunas partes cónicas. Precisamente en estas partes cónicas es donde el clarinete emite algunos armónicos pares.

Lo que si es curioso es lo que observó **Johann C. Denner** allá por el año 1700, cuando hizo un taladro en la parte posterior del clarinete con el fin de conseguir las octavas de las fundamentales, es decir el segundo armónico, como ocurre en la flauta o el oboe, pero el resultado fue que surgieron las doceavas, esto es, el tercer armónico, ya que el segundo por las características del tubo no podía salir.

También se ha comprobado que el tipo de embocadura influye mucho en todo esto. Si al clarinete le ponemos una boquilla de trompeta por ejemplo, observaremos que se producen los armónicos pares.



ISSN 1988-6047 DEP. LEGAL: GR 2922/2007 N° 23 – OCTUBRE DE 2009

En el extremo inferior del clarinete, donde se reflejan las ondas, estas pierden parte de su energía, esto se debe a que el aire situado fuera del tubo y cerca de la campana también entra en vibración, casi igual que si el tubo fuera más largo, por esto la afinación del sonido producido es más bajo de cómo debería ser en realidad. A este caso se le llama *corrección de finalidad*, y por supuesto es algo muy tenido en cuenta en la fabricación del instrumento, haciendo que la campana sea de gran importancia para que ayude a la salida de las ondas.

La corrección de finalidad también se tiene en cuenta en los agujeros a lo largo del tubo para la producción de los diferentes sonidos, por lo que es importante la distancia de la zapatilla al agujero, de manera que se permita una buena reflexión.

El clarinete por tanto, se convierte en un instrumento con grandes posibilidades de sonoridad, ya que por lo agudo puede rivalizar con instrumentos como la flauta travesera y sin embargo es capaz de bajar seis tonos más en el registro grave, produciendo unos sonidos realmente fascinantes con una longitud de tubo relativamente corta. Esta es una cualidad bien conocida por los compositores, los cuales le han dado al clarinete un puesto importante en sus composiciones.

6. BIBLIOGRAFÍA.

- Vercher, J. (1983). *El Clarinete*. Gandía: Gráficas Hnos. APARISI, S.L.

Autoría

- Nombre y Apellidos: **Ángel Muñoz Muñoz**
- Centro, localidad, provincia: **Conservatorio Profesional de Música de Córdoba. Córdoba**
- E-mail: angelm2005@yahoo.es