

FISICA DE LOS TUBOS SONOROS

Bernardo Zagalaz Lijarcio

En este artículo voy describir como funcionan los tubos sonoros desde el punto de vista acústico, es decir, como se comportan sus columnas de aire dentro del mismo. Expondré la distintas clasificaciones dependiendo de unas características u otras y conoceremos como se obtiene las escalas sobre los diferentes instrumentos.

TUBOS SONOROS

Se llaman tubos sonoros aquellos que contienen una columna gaseosa (columna de aire) capaz de producir sonido al ser convenientemente excitada. El cuerpo sonoro es la columna gaseosa, y no el tubo que la contiene; en efecto, éste tiene la importante función de definir la forma de aquella pero fuera de esto, influye relativamente poco sobre los fenómenos sonoros. Los tubos sonoros pueden ser cerrados, es decir, que poseen

una sola abertura y tubos abiertos, que poseen dos o más.

VIBRACIÓN DE LA COLUMNA DE AIRE CONTENIDA EN UN TUBO

Las columnas de aire contenidas en los tubos sonoros se comportan, desde ciertos puntos de vista, como cuerdas musicales, por lo tanto las columnas de aire vibrantes poseen nodos, o sea puntos donde la vibración es nula, y vientres, equidistantes de los anteriores, donde la vibración alcanza su máxima amplitud.

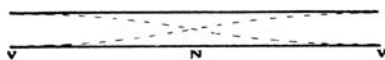
La vibración de las columnas de aire es longitudinal; los nodos serán por tanto, puntos de condensación y los vientres puntos de dilatación o rarefacción; en los extremos cerrados siempre se producen nodos y en los extremos abiertos generalmente se producen vientres. El punto de excitación no puede ser un nodo,

pero no necesita ser un vientre, pudiendo estar en un punto intermedio. No es necesario que las aberturas de un tubo coincidan con los extremos, pudiendo éstos estar cerrados y haber una o más aberturas en otras partes del tubo (la gaita).

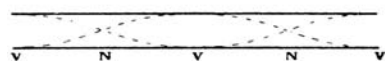
Una columna de aire puede vibrar con toda su longitud o dividida en segmentos iguales lo mismo que las cuerdas; en el primer caso se obtiene el sonido llamado fundamental, y en los otros los armónicos: segundo,

si la columna vibra dividida en mitades; tercero, si vibra en tercios, etc.

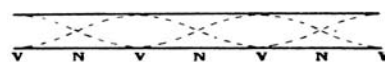
Tomando como punto de partida el que en los extremos de un tubo abierto, sólo pueden haber vientres de vibración, el tubo producirá su fundamental cuando vibre con un nodo único en su centro. Cuando el tubo produce su segundo armónico, producirá dos nodos y tres vientres; cuando produce su tercer armónico, producirá tres nodos y 4 vientres, y así sucesivamente.



Sonido fundamental

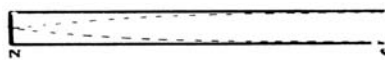


Primer Armónico



Segundo Armónico

En los Tubos Cerrados, la onda se forma con un nodo en el extremo cerrado y un vientre en el extremo abierto.



Sonido fundamental



Primer Armónico



Segundo Armónico

A igualdad de longitud de tubo, el tubo abierto produce un sonido de frecuencia doble que el cerrado. Los tubos abiertos emiten la serie completa de armónicos correspondientes a su longitud, mientras que los cerrados, emiten sólo los armónicos de orden impar. Como tubo cerrado está la Flauta Travesera y como tubos abiertos todos los demás: Clarinetes*, Oboes, Fagotes, Saxofones, Trompetas, Trompas, etc.

CLASIFICACIÓN DE LOS TUBOS SONOROS

Los tubos sonoros se pueden clasificar de las siguientes formas:

1. Según el modo de excitación de la columna de aire
2. Según la obtención de la escala
3. Según su forma interior

1.- Según el modo de excitación de la columna de aire pueden ser: tubos de embocadura, tubos de lengüeta y tubos de lengüeta labial o membranacea.

* El clarinete a pesar de ser un tubo abierto, se comporta acústicamente como un tubo cerrado. Este comportamiento es debido al tipo de embocadura de lengüeta simple en conjunción con un tubo cilíndrico. Se ha comprobado que cambiando de embocadura, por ejemplo una boquilla de trompeta, el clarinete produce todos los armónicos.

Tubos de embocadura son tubos sonoros que poseen una abertura convenientemente dispuesta llamada embocadura, uno de cuyos bordes es biselado. Contra este borde incide una corriente de aire que se divide en dos ramas; la rama que penetra en el tubo origina pequeñas vibraciones que a su vez excitan por resonancia la columna aérea contenida en el tubo. Estos se pueden dividir en:

Tubos de embocadura directa. Los tubos de embocadura directa son aquellos en que la corriente de aire es dirigida sobre la embocadura directamente por los labios del ejecutante. La siguiente figura muestra una embocadura de flauta travesera que es el prototipo de los instrumentos de embocadura directa.



Embocadura de flauta travesera

Tubos de embocadura indirecta son aquellos donde la corriente de aire, produ-

cida mecánicamente o por el ejecutante, pasa por un tubo llamado *portaviento* antes de incidir sobre el bisel de la embocadura. Las siguientes figuras representa la parte superior de una flauta de pico y a un tubo de órgano, el órgano tiene varias clases de tubos, siendo uno de ellos “tubos de bisel”.



Flauta de pico

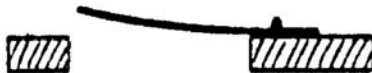


*Tubo de embocadura
Indirecta (órgano)*

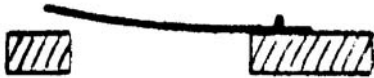
La forma de los tubos de embocadura es muy variada: los hay cónicos, cilíndricos, prismáticos y de tipos intermedios. Se construyen siempre rectos, aunque no hay ningún inconveniente teórico que impida doblarlos. Pueden ser abiertos o cerrados.

Tubos de lengüeta están formados por pequeñas laminillas elásticas, generalmente de metal o de madera (caña) que sujetas a un soporte de manera conveniente, vibran al paso de una corriente aérea, produciendo sonido; se las clasifica según su mayor o menor libertad de movimiento en dos tipos diferentes: libres y batientes.

Tubos de lengüetas libres aquellas que vibran libremente a uno y otro lado del plano que determinan cuando están en reposo; esto se obtiene con un soporte cuyos únicos puntos de contacto con la lengüeta son aquellos en que ésta se halla fijada a aquel. Las lengüetas libres son siempre de metal; se utilizan en el armonio, el acordeón, la armónica y otros aerófonos libres.



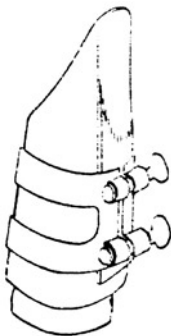
Tubos de lengüetas batientes aquellas que baten contra el soporte al cual están sujetas. En estas las vibraciones se hallan restringidas por la presencia del soporte, cosa que no ocurre con las lengüetas libres.



Las lengüetas batientes se dividen a su vez en simples y dobles, según el tipo de soporte que utilizan.

Tubos de lengüetas batientes simples, llamadas corrientemente lengüetas simples (cañas), son aquellas que se colocan sobre los bordes de una abertura contra los cuales baten.

Son utilizadas por los clarinetes, saxofones y por los juegos de lengüeta del órgano, siendo de metal en este instrumento y de madera (caña) en los primeros.



Lengüeta del clarinete unida a la boquilla

Tubos de lengüetas batientes dobles, llamadas corrientemente lengüetas dobles, son aquellas que utilizan como soporte otra lengüeta contra la cual baten, batiendo ésta a su vez contra la primera.

Las lengüetas batientes dobles se construyen siempre de madera (caña) siendo utilizadas por los oboes y fagotes. También utilizan lengüetas dobles algunos instrumentos como la gaita (la gaita presenta la particularidad de utilizar simultáneamente lengüetas simples y dobles).



Lengüeta de oboe

La frecuencia de los sonidos que produce una lengüeta batiente aislada, varía enormemente con la presión del aire que la excita; esto se observa fácilmente soplando a través de una lengüeta de oboe sin asociarla al tubo del instrumento. En cambio, la frecuencia de los sonidos que producen las lengüetas libres no depende de la presión del aire

que las excita, variando sólo su intensidad.

Tubos de lengüeta labial o membranacea. Los principales son trompas, trompetas, trombones y tuba, en este tipo de instrumentos los labios del ejecutante actúan del mismo modo que una lengüeta batiente doble, por lo cual se dice que forman una lengüeta doble membranacea.

En estos instrumentos la boquilla es muy diferente a la los instrumentos de lengüeta y de embocadura, pues se la construye con el objeto de ser adosada a los labios del ejecutante en lugar de ser introducida entre ellos.

2.- Según la obtención de las escalas. Si se ordenaran según su frecuencia los parciales que pueden obtenerse con un tubo sonoro, la escala sería, en el mejor de los casos, igual a la serie de armónicos de la fundamental del tubo. Es evidente que los recursos musicales de un instrumento de esta clase, cuya escala estuviera formada por los parciales de una sola columna aérea, serían muy reducidos. Ahora bien, con la excepción del órgano que posee un tubo sonoro para cada sonido, los instrumentos de viento poseen un tubo sonoro único, de-

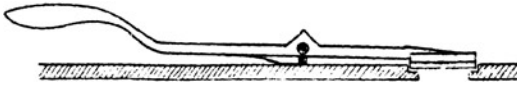
biendo recurrirse por esta razón a diversos artificios para variar la longitud de la columna aérea que contienen, y obtener así un número suficiente de columnas aéreas para formar su escala con las fundamentales y los parciales de dichas columnas.

Los **procedimientos** seguidos para obtener columnas aéreas de diferente longitud sobre un mismo tubo sonoro pueden reducirse a dos:

Perforar sobre sus paredes orificios de tamaño y posición convenientes que permitan variar la longitud acústica del tubo, determinando la longitud de la columna aérea en el momento en que se destapa o cierra un orificio dado. (**Tubos con orificios:** instrumentos de viento madera, etc.)

Estos orificios se controlan mediante los dedos o mediante llaves; éstas son palancas o sistemas de palancas que permiten controlar aquellos orificios cuyo diámetro excede al ancho de la yema de los dedos o cuya situación sobre el tubo no permite un control directo. La siguiente figura representa una llave cualquiera; la almohadilla destinada a cubrir el orificio controlado

por la llave, que se halla sobre la cara interna de ésta, se llama “zapatilla”.



No es indiferente el diámetro de los orificios que se perforan sobre un tubo sonoro; para una misma longitud acústica, un orificio de diámetro grande producirá un sonido de frecuencia algo mayor (más agudo) que uno de diámetro más pequeño.

En ciertos instrumentos como el fagot, los orificios exteriores no indican la posición real del orificio sobre la pared interna del instrumento, pues se perforan oblicuamente para agruparlos mejor bajo el control de la mano.

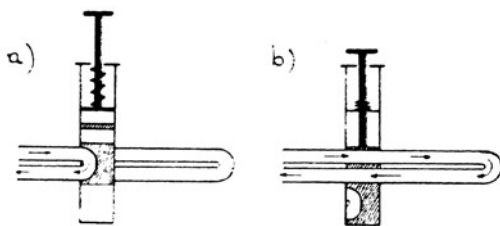
Los instrumentos que utilizan este sistema de orificios forman su escala variando la longitud acústica de sus tubos; cada columna aérea produce su fundamental y un corto número de parciales que se obtienen variando la fuerza del soplo y la tensión de los labios; en los tubos de lengüeta, la obtención

de parciales se facilita mediante un portavoz (llaves de octava), pequeño orificio situado cerca del extremo superior de estos tubos, que actúa sobre las columnas de aire como un dedo apoyado ligeramente sobre una cuerda vibrante, es decir, favoreciendo la producción de los parciales de dichas columnas. Algunos instrumentos utilizan dos portavoces (saxofón).

Variar su longitud real mediante porciones de tubo que se conectan al tubo principal obteniéndose así las columnas aéreas deseadas (**Tubos de longitud variable:** instrumentos de viento metal, etc.). Se utilizan tres procedimientos:

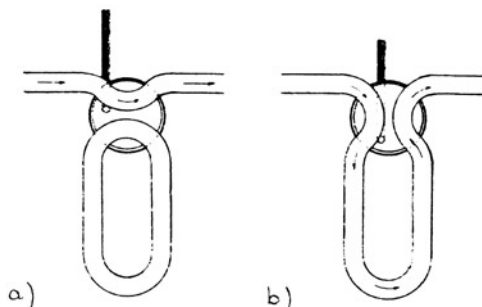
- **La Vara** (Trombón de varas): Consiste en cortar el tubo del instrumento y adaptar a sus extremos un tubo en forma de “U”, cuyas ramas enchufan telescópicamente sobre las ramas del tubo fijo. Mediante la vara, la longitud del tubo puede ser variada continuamente, permitiendo obtener diferentes sonidos.

- **Los Pistones** (Trompetas, Trombón de pistones, etc.): Generalmente cuando la longitud es variada mediante pistones, uno de éstos, que se considera el primero, produce una serie de parciales situados un tono más bajo que la serie original; otro, considerado segundo, produce un descenso de un semitono y un tercero, produce un descenso de tono y medio. Los pistones pueden utilizarse simultáneamente para lograr descensos mayores. Algunos instrumentos poseen pistones que provocan descensos mayores de un tono y medio (cuarto y quinto pistón)



*Pistón: a) cerrado
b) abierto*

- **Las Válvulas Rotatorias** (Trompas, Tubas, etc.): Todo lo que he dicho respecto de los pistones puede aplicarse igualmente a las válvulas rotatorias.



*Válvula rotatoria: a) cerrada
b) abierta*

- 3.- Según su forma interior,** que puede o no coincidir con la exterior pueden ser: **cónicos, cilíndricos y prismáticos.**

Los tubos prismáticos se utilizan solamente en ciertos registros de órgano y en algunos instrumentos primitivos, los demás instrumentos poseen tubos cilíndricos (flauta travesera,...) cónicos (saxofón, fagot,...) o de tipos intermedios (clarinete, oboe, trompeta....).

CLASIFICACIÓN DE LOS TUBOS SONOROS				
Según el Modo de Excitación de la Columna de Aire	Tubos de Embocadura	Directa	Flta. Travesera,...	
		Indirecta	Flta. de pico, Tubos órgano,...	
	Tubos de Lengüeta	Libres	Arcordeón, Armónica,...	
		Batientes	Simples	Clte., Sax., Tubos órgano...
			Dobles	Oboe, Fagot,...
Tubos de lengüeta labial o membranacea	Trompeta, Trompa, trombón, Tuba...			
Según la Obtención de la Escala	Tubos con orificios	Instrumentos de Viento Madera,...		
	Tubos de longitud variable	Vara	Trombón de varas	
		Pistones	Trompeta,...	
		Válvulas Rotatorias	Trompa, Tuba,...	
Según su Forma Interior	Cónicos	Saxofón, Fagot,...		
	Cilíndricos	Flauta travesera, Clarinete,...		
	Prismáticos	Instr. Primitivos, algunos tubos del órgano...		

BIBIOGRAFÍA

- Acústica físico-musical de Antonio Clavo-Manzano (Ed. Real Musical)
- Acústica Musical y Organología de Tirso de Olazábal (Ed. Ricordi)