



FIA 2018

XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -TECNIACUSTICA'18-  
24 al 26 de octubre

## ESTUDIO OBJETIVO DE ALGUNOS PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS DE LA BOQUILLA EN LOS INSTRUMENTOS DE VIENTO-METAL

PACS: 43.75.Fg

Esteve Rico, Juan Carlos<sup>1</sup>; Poveda Martínez, Pedro<sup>1</sup>; Vera Guarinos, Jenaro<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Instituto Universitario de Física Aplicada a las Ciencias y las Tecnologías.  
Universidad de Alicante

Campus de San Vicente del Raspeig

<sup>2</sup>Departamento de Física, Ingeniería de Sistemas y Teoría de la señal.

Escuela Politécnica Superior de Alicante – Edif. Politécnica II

Universidad de Alicante

Email: pedro.poveda@ua.es; estevejuancarlos@yahoo.com; jenaro@ua.es

**Palabras Clave:** trombón, mouthpiece, popping frequency, impedancia

### ABSTRACT

In order to study the influence of the geometric characteristics of the mouthpiece on the sound behaviour of the trombone, different tests are carried out on a total of 23 different models. First, the interior geometry of each sample is determined by means of two-component silicone moulds. Next, using numerical methods, the degree of turbulence existing inside the duct is established. In the same way, the resonance frequency or “popping frequency” is calculated for the different models. Also, a hydrodynamic study is carried out according to the emptying time of a water tank. Finally, the effect produced by the mouthpiece on the acoustic impedance of the trombone is analysed.

### RESUMEN

Con objeto de estudiar la influencia de las características geométricas de la boquilla en el comportamiento sonoro del trombón, se llevan a cabo diferentes ensayos sobre un total de 23 modelos distintos. En primer lugar, se determina la geometría interior de cada muestra por medio de moldes de silicona bi-componente. Seguidamente, haciendo uso de métodos numéricos, se establece el grado de turbulencia existente en el interior del conducto. Del mismo modo, se calcula la frecuencia de resonancia o “popping frequency” para los distintos modelos. Asimismo, se realiza un estudio hidrodinámico en función del tiempo de vaciado de un tanque de agua. Por último, se analiza el efecto producido por la boquilla en la impedancia acústica del trombón.

### 1. INTRODUCCIÓN

La boquilla es una de las partes fundamentales en los instrumentos de viento cuya elección puede condicionar completamente el sonido del mismo. La boquilla representa el nexo de unión entre el instrumento y el músico, permitiendo adaptar las condiciones fisiológicas del intérprete

## FIA 2018

XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -TECNIACUSTICA'18-  
24 al 26 de octubre

como fuerza física y características maxilofaciales al instrumento y garantizando una correcta vibración de los labios durante la ejecución de un pasaje sonoro. De este modo, una elección inadecuada condicionará el sonido obtenido, siendo en la mayoría de los casos la responsable de una mala sonoridad o entonación [1, 2]. Benade en [3] deja constancia de la importancia de un buen diseño para un correcto funcionamiento del instrumento. Asimismo, describe diferentes ensayos que pueden ser de gran utilidad a la hora de mejorar la interpretación del músico. Del mismo modo, Cardwell en [4, 5] destaca la importancia de la boquilla en la afinación de los instrumentos de viento.

La boquilla puede estar compuesta de diferentes materiales como marfil, madera, latón, plástico o fibras de carbono. Su forma ha ido evolucionando con el tiempo pasando de una sección cilíndrica simple a la configuración empleada actualmente [6].

Las diferentes partes de la boquilla están relacionadas entre sí. De esta forma, tanto el diámetro, el volumen y el perfil de la taza, la profundidad y el diámetro de la garganta o granillo, o la longitud del cono interior del tudel juegan un papel fundamental en la calidad sonora del instrumento. Según [1], la utilización de un volumen y un diámetro de garganta pequeños produce un sonido brillante y creciente. Por el contrario, un volumen de la copa grande y con un diámetro del granillo grande dan lugar a un sonido oscuro.

Por tanto, la boquilla no solo actúa como interfaz entre el músico y el instrumento. Desde un punto de vista mecánico, la boquilla ejerce una resistencia al paso del aire que puede ser empleada por el intérprete para regular el caudal de aire y garantizar una correcta ejecución de los sonidos. Asimismo, desde un punto de vista acústico, el volumen de aire contenido en su interior actúa como un resonador de Helmholtz, aportando su propia frecuencia de resonancia al sistema [7, 8, 9]. Este comportamiento produce un desplazamiento de los modos superiores del instrumento hacia frecuencias más bajas debido al incremento de la longitud efectiva del mismo [10, 11]. Este fenómeno, sumado al efecto producido por la campana sobre las bajas frecuencias, da lugar a un estrechamiento del ancho de banda del instrumento. Del mismo modo, el resonador da lugar a una amplificación de las resonancias del instrumento próximas a la frecuencia de resonancia de la boquilla [3].

Pyle, en [12], analiza el efecto de la boquilla sobre el instrumento. El autor propone un método para el cálculo de la longitud equivalente que permita obtener de manera sencilla las frecuencias características del instrumento. Este concepto es empleado por Hoekje et al. en [13] para ilustrar la variación producida por diferentes boquillas en el comportamiento acústico de trompetas. Del mismo modo, Alba et al. en [14] llevan a cabo un estudio sobre la influencia de la boquilla en la calidad sonora de la trompa. Para ello, realizan grabaciones sonoras empleando 4 boquillas de distintas características geométricas. Los autores concluyen que para un mismo intérprete, la boquilla afecta al espectro armónico del instrumento proporcionando sonidos diferentes en cada caso. Zicari et al. en [15] llevan a cabo un estudio exhaustivo de la influencia de la boquilla en la calidad tonal de la trompeta. Para ello los autores analizan el comportamiento mecánico de diferentes muestras por medio de simulaciones CFD, obteniendo la vorticidad en el flujo de aire en función de la forma de la boquilla.

Con objeto de seguir profundizando en la influencia de las características geométricas de la boquilla en el comportamiento sonoro del trombón, se lleva a cabo una comparación entre diferentes modelos. A partir de las propiedades geométricas obtenidas mediante moldes de silicona bi-componente, se llevan a cabo diferentes ensayos y simulaciones numéricas para determinar las características fluidodinámicas y acústicas de las boquillas.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

FIA 2018

XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -TECNIACUSTICA'18-  
24 al 26 de octubre

## 2.1. Muestras analizadas

Para analizar la influencia de la boquilla en el comportamiento sonoro del trombón, se estudian un total de 23 modelos comerciales diferentes. Las dimensiones de su forma interna se obtuvieron a partir de moldes del interior de las boquillas realizados mediante silicona bi-componente con dureza Shore A 20 (ver figura 1).



Figura 1. Moldes de silicona para la obtención de medidas internas de las boquillas.

Las características geométricas de las boquillas ensayadas se resumen en la tabla 1.

Tabla 1. Diferentes configuraciones del cono interior del tudel.

Modelo	$L_{total}$	$V_{total}$	$\varnothing_{borde}$	$V_{copa}$	$P_{copa}$	$\varnothing_{granillo}$	$L_{tudel}$	$V_{tudel}$	$\varnothing_{salida}$
Stomvi 5A	83,34	2979,99	24,72	1629,17	30,22	6,72	53,12	1350,82	9,66
Denis Wick 5ABL	79,62	3082,28	12,44	1839,28	30,83	6,96	48,79	1243,00	10,20
Stomvi 5CBR	83,10	3114,64	25,30	1652,23	30,12	6,60	52,98	1462,41	9,92
Stomvi 5CBRCD	83,10	2793,82	24,74	1569,73	36,04	6,60	47,06	1224,09	9,66
Stomvi 6CBR	83,60	2842,51	24,58	1643,37	35,27	6,32	48,33	1199,15	9,82
OBRAC SM5	79,92	3259,72	25,50	1914,74	30,53	7,36	49,39	1344,98	10,00
Courtois-Becquet 6 ½ M	82,84	2919,29	24,60	1602,59	29,94	6,44	52,90	1316,70	9,60
Denis Wick 6AL	79,62	3115,58	24,80	1900,60	33,62	7,22	46,00	1214,98	10,00
Romera Brass Indalecio Bonet	83,00	2922,50	24,66	1508,72	26,54	6,46	56,46	1413,78	10,46
Romera Brass 6D	82,84	3020,26	23,70	1603,41	27,24	6,76	55,60	1416,86	9,96
Romera Brass 1930A	82,96	2993,31	24,74	1796,30	34,09	6,58	48,87	1197,01	9,62
Bach 5G	82,70	3219,94	25,30	1861,33	31,43	6,70	51,27	1358,61	10,40
Romera Brass Spanish	88,94	3272,47	25,20	1736,74	29,80	6,78	59,14	1535,74	10,12
Josef Klier 6BL	85,20	2915,84	25,10	1489,37	28,12	5,56	57,08	1426,47	9,66
Josef Klier 6BL Extendida	98,88	3194,75	24,72	1489,37	14,44	6,72	70,76	1705,38	9,66
Josef Klier 6BL Recortada	76,63	2743,24	12,44	1489,37	36,69	6,96	48,51	1253,87	10,20
Bach-Vernont 11C	79,70	2647,48	25,40	1410,58	25,86	5,28	53,84	1236,91	9,40
Bach 12C	79,20	2471,43	22,70	1213,09	21,48	5,50	57,72	1258,33	8,94
Denis Wick 12CS	76,10	2449,75	24,30	1237,10	22,10	5,92	54,00	1212,65	8,94
Giardinelli 4D	84,00	2882,85	24,88	1604,47	28,61	6,10	55,39	1278,38	9,12
Giardinelli Sym AL	82,38	2797,59	25,76	1561,81	28,15	6,32	54,23	1235,78	9,22

FIA 2018

XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -TECNIACUSTICA'18-  
24 al 26 de octubre

Martin 1	75,80	2292,92	23,20	1226,48	24,11	5,04	51,69	1066,45	8,24
Razle S7M	80,08	2419,97	24,92	1169,49	25,74	5,32	54,34	1250,48	9,04
Yamaha 48	79,78	2687,76	24,48	1468,25	27,95	6,60	51,83	1219,50	8,94
Jupiter 12C	79,66	2484,87	23,94	1213,97	25,61	5,70	54,05	1270,90	9,22

\* Las muestras sombreadas corresponden a boquillas para trombón estándar de jazz.

$L_{total}$  = longitud total;  $V_{total}$  = volumen total;  $V_{copa}$  = volumen de la copa;  $P_{copa}$  = profundidad de la copa;  $L_{tudel}$  = longitud del tudel;  $V_{tudel}$  = volumen del tudel.

Con objeto de analizar la influencia de la longitud del tudel en el comportamiento mecánico y acústico de la boquilla, se diseñaron dos nuevas muestras tomando como referencia las características geométricas del modelo Josef Klier 6BL. En ambos casos se mantuvieron las propiedades de borde y copa, modificando exclusivamente la longitud del cono interior de la boquilla. Las muestras resultantes presentan un volumen total de 3195.75 y 2743.24 mm<sup>3</sup>, y una longitud total de 76.6 mm y 98.88 mm respectivamente.

## 2.2. Impedancia Acústica de las boquillas

El análisis comparativo de la impedancia acústica de las boquillas se llevó a cabo mediante simulaciones numéricas por el método de los elementos finitos. Para ello, el volumen interior de cada muestra fue dividido en dos regiones (figura 2). La primera de ellas, próxima a las paredes de la boquilla y con un espesor de aproximadamente 0.5 mm, se implementó teniendo en cuenta un modelo termoviscoso. De esta forma se contempló la formación de una capa viscosa en las proximidades de las paredes del tubo. La segunda región, acoplada a la anterior a través de la física empleada, se modeló considerando únicamente un problema de radiación sonora. Para la excitación del sistema se empleó una onda plana con presión incidente de 1 Pa en el borde de la boquilla. Con objeto de simplificar el modelo y reducir así la potencia de cómputo requerida, en el extremo opuesto de la boquilla – salida del tudel – se consideró una condición de contorno tipo impedancia (tubo radiando en campo libre). El problema se resolvió empleando geometrías 2D, aprovechando de este modo la simetría de revolución existente en todas las muestras. El mado del modelo se llevó a cabo por medio de elementos tipo triángulo con un tamaño inferior a 10 veces la longitud de onda correspondientes a la frecuencia máxima de considerada.

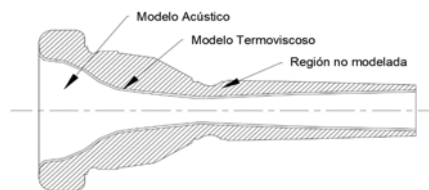


Figura 2. Diferentes regiones empleadas en el modelo numérico de la boquilla.

La impedancia acústica se obtuvo como el cociente entre la presión acústica y la velocidad por unidad de área a la entrada de la boquilla. Asimismo, se calcularon las pérdidas por transmisión en cada muestra a partir de la relación entre la potencia acústica de entrada y de salida.

## 2.3. Resistencia al flujo de las diferentes boquillas.

Con objeto de analizar la resistencia al flujo de cada una de las boquillas estudiadas, se implementó una simulación CFD asumiendo un flujo de aire incompresible y un modelo k-

omega SST axisimétrico con corrección de números de Reynolds bajos [15]. La geometría empleada para modelar cada boquilla fue reducida en 1.5 mm en la región de la copa, simulando así el volumen ocupado por los labios del intérprete en el momento de tocar el instrumento. Como condición de contorno a la entrada de las muestras se aplicó un caudal másico de  $1.81 \times 10^{-4}$  kg/s sobre una superficie circular radio 1 mm en la parte central de la boquilla. Esta región representa, de forma simplificada, la abertura existente entre los labios del intérprete al vibrar.

Asimismo, se llevó a cabo una experiencia basada en el tiempo de vaciado (Torricelli) de un depósito cilíndrico de agua para algunas de las boquillas. Para ello se empleó un recipiente con un volumen de 17 000 cm<sup>3</sup> y una sección libre ( $S_1$ ) de 572 cm<sup>2</sup>. En el lateral del depósito se realizó una abertura donde colocamos cada boquilla analizada ( $S_2$  entre 0,7 cm<sup>2</sup> y 1,0 cm<sup>2</sup> aproximadamente). Se determinó el factor de descarga,  $K_E$ , en función del tiempo de vaciado de acuerdo con la siguiente expresión, obteniendo coeficientes de regresión para el ajuste de  $R^2 = 0,999$ :

$$\sqrt{h_1} = K_E \cdot t + \sqrt{h_2}$$

Asimismo, se calculó el factor de descarga teórico,  $K_T$ , según la ecuación:

$$K_T = \frac{1}{2} S_2 \left( \frac{2g}{S_1^2 - S_2^2} \right)^{\frac{1}{2}}$$

La tabla 2 resume los resultados obtenidos en este ensayo. El parámetro  $\zeta$  representa el cociente entre el factor de descarga teórico y experimental y se puede interpretar como la resistencia que opone cada boquilla al paso de un fluido como consecuencia de su forma.

Tabla 2. Resultados teóricos y experimentales del factor de pérdidas K.

Muestra	$t_E$ (s)	$K_T$ (s <sup>-1</sup> )	$K_E$ (s <sup>-1</sup> )	$\zeta$
Jupiter 12C	141	0,028	0,022	1,25
Yamaha 48	144	0,028	0,022	1,28
Stomvi 5A	131	0,030	0,024	1,28
Stomvi 5CBR	131	0,030	0,024	1,29
Josef Klier 6BL	132	0,030	0,023	1,31
Stomvi 5CBRCD	138	0,030	0,022	1,36
Stomvi 6CBR	140	0,030	0,022	1,36
OBRAC SM5	114	0,033	0,027	1,22

### 3. RESULTADOS.

#### 3.1. Comportamiento mecánico y acústico de las diferentes boquillas.

A partir de los modelos numéricos se obtuvo la impedancia acústica de las boquillas (tabla 3). Los resultados indican una variación considerable entre muestras (rango entre  $4,15 \times 10^8$  y  $11,5 \times 10^8$  P·s/m<sup>3</sup>) con una diferencia máxima en las pérdidas por transmisión entre muestras de 5.4 dB (figura 3). Según este resultado, la boquilla resultará de gran importancia en la sonoridad del instrumento.

FIA 2018

XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -TECNIACUSTICA'18-  
24 al 26 de octubre

Tabla 3. Resultados obtenidos a partir de los ensayos realizados.

Modelo	f [Hz]	Z [Pa·s/m <sup>3</sup> ]	TL [dB]	Vorticidad Media [s <sup>-1</sup> ]	Resistencia Flujo [Pa·s/m <sup>3</sup> ]
Stomvi 5A	510,00	5,08E+08	34,21	5126,078	7,51E+05
Denis Wick 5ABL	505,00	4,15E+08	33,32	4942,802	6,85E+05
Stomvi 5CBR	540,00	5,40E+08	33,07	4883,219	8,29E+05
Stomvi 5CBRCD	575,00	8,91E+08	33,96	5347,471	6,26E+05
Stomvi 6CBR	520,00	9,35E+08	34,21	5301,635	6,64E+05
OBRAC SM5	515,00	4,56E+08	32,05	4648,188	6,56E+05
Courtois-Becquet 6 ½ M	505,00	5,74E+08	34,88	5170,682	7,90E+05
Denis Wick 6AL	500,00	6,17E+08	33,39	5049,158	6,22E+05
Romera Brass 1930	515,00	5,17E+08	34,64	5104,444	8,27E+05
Romera Brass 6D	515,00	4,70E+08	33,98	4994,413	7,86E+05
Romera Brass 1930A	490,00	5,05E+08	34,37	5086,026	7,03E+05
Bach 5G	490,00	4,15E+08	33,41	4595,057	6,84E+05
Romera Brass Indalecio Bonet	475,00	4,32E+08	34,49	4619,184	7,26E+05
Josef Klier 6BL	520,00	9,40E+08	34,45	5123,203	8,08E+05
Bach-Vernont 11C	490,00	5,87E+08	36,29	5428,771	9,08E+05
Bach 12C	500,00	1,11E+09	37,19	5867,625	1,17E+06
Denis Wick 12CS	530,00	7,61E+08	35,03	5844,642	1,07E+06
Giardinelli 4D	465,00	7,24E+08	35,79	5268,275	8,02E+05
Giardinelli Sym AL	470,00	7,47E+08	36,10	5343,901	8,00E+05
Martin 1	510,00	1,15E+09	37,52	6458,957	9,99E+05
Razle S7M	540,00	8,32E+08	36,77	6122,940	9,72E+05
Yamaha 48	520,00	8,37E+08	35,31	5465,101	7,66E+05
Jupiter 12C	560,00	7,13E+08	34,32	5704,357	9,85E+05

\* Las muestras sombreadas corresponden a boquillas para trombón estándar de jazz.

\* Pérdidas por transmisión a la frecuencia de resonancia.

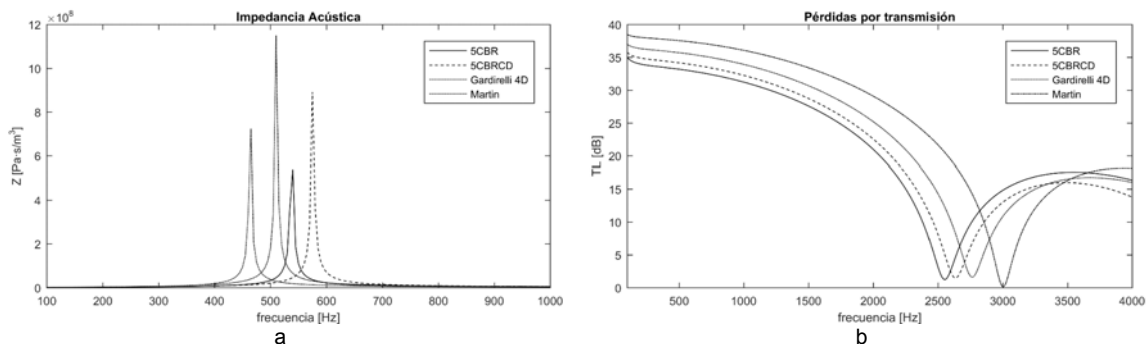


Figura 3. (a) Comparación de la impedancia acústica obtenidas para varias boquillas. (b) Pérdidas por transmisión para varias boquillas.

De acuerdo con los resultados obtenidos en las simulaciones, existe una variación considerable entre las diferentes boquillas analizadas. Las frecuencias de resonancia calculadas se encuentran comprendidas en el intervalo 465 – 575 Hz. Según estos valores, el cambio en la afinación del instrumento resultaría evidente según se varía la boquilla empleada. Sin embargo, para poder entender y valorar un rango de frecuencias tan amplio, es necesario estudiar el trombón en su conjunto. En las figura 4a se incluye el espectro de impedancia para una boquilla cuya frecuencia de resonancia se sitúa en 500 Hz (línea continua color rosa) con un ancho de banda de 483 – 520 Hz. Al incluir esta boquilla en el trombón (figura 4b) puede observarse un desplazamiento de la impedancia acústica hacia frecuencias más bajas, así

como una amplificación acentuada de la zona central del espectro. Para que este comportamiento tenga lugar, la acción de la boquilla se corresponde con la respuesta en frecuencia incluida en la figura 4a (línea continua color azul). De esta forma, la boquilla disminuye la frecuencia de resonancia al insertarse en el trombón y amplía el ancho de banda de actuación. Es por lo que pensamos que las diferencias encontradas para la frecuencia de popping de las boquillas estudiadas no afectan de forma significativa a la afinación.

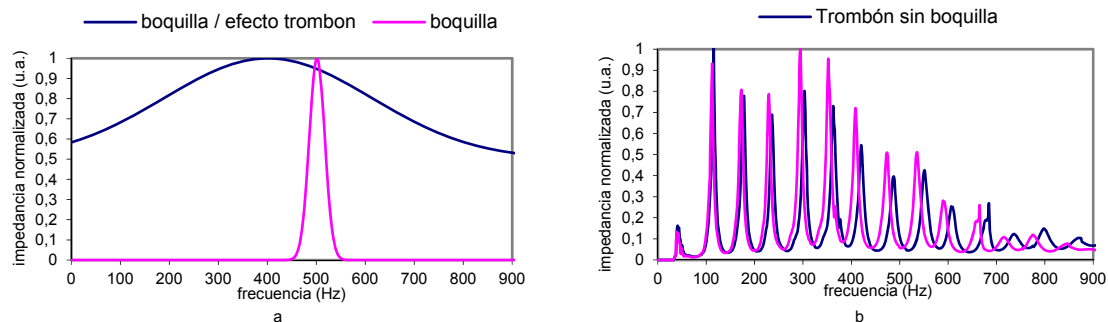


Figura 4. Curva de impedancia de trombón con y sin boquilla.

En relación al comportamiento mecánico de las muestras, se obtienen una vorticidad comprendida entre  $4595$  y  $6459 \text{ s}^{-1}$ , valores ligeramente superiores a los proporcionados por Zicari et al. en [15] para boquillas de trompeta. Este resultado ponen de manifiesto grandes diferencias en la recirculación de aire en el interior de la boquilla (figura 5), lo que afectará considerablemente a la ejecución del intérprete y a la calidad sonora del instrumento. Del mismo modo, la resistencia al flujo presentada por las diferentes boquillas se encuentra comprendida entre  $6.22e^5$  y  $11.7e^5 \text{ Pa}\cdot\text{s}/\text{m}^3$ . Este amplio rango puede suponer, para un mismo intérprete, una variación considerable en la sonoridad del instrumento en función de la boquilla seleccionada.

Analizando los resultados desde el punto de vista geométrico, de acuerdo con el coeficiente de correlación de Pearson, parece existir una relación significativa entre las variables acústicas y mecánicas de la boquilla y el volumen de la copa, el diámetro del granillo, y el diámetro de salida del tudel. Respecto a la resistencia al flujo de las muestras, los datos indican una correlación del 96% respecto a la inversa del producto de la profundidad de copa y el diámetro del granillo.

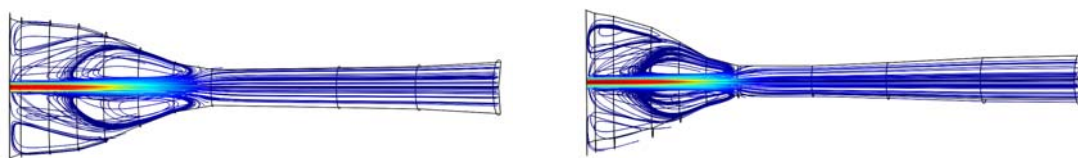


Figura 5. Caminos seguidos por el fluido coloreados según su velocidad para dos modelos de boquilla.  
(Izquierda) Boquilla Denis AL. (Derecha) Boquilla Martin.

Esta relación describe en gran medida la forma de la copa empleada en la boquilla. Una profundidad de la copa grande junto con un granillo ancho, facilitará la proyección de aire y la ejecución de algunos intérpretes. Por el contrario, una copa corta, característica propia de una forma tipo C; con un diámetro de granillo pequeño, reducirá el movimiento de aire y por tanto introducirá una resistencia más elevada en el instrumento. Asimismo, parece existir una correlación elevada, 81%, entre la resistencia al flujo calculada y la inversa del parámetro  $\zeta$ . Del

mismo modo, el factor de descarga  $K_E$  se relaciona en un 91.6 % con la inversa de la vorticidad media obtenida de los modelos numéricos.

### 3.2. Influencia de la longitud del tudel en el comportamiento de la boquilla.

Como era evidente, un cambio en la longitud del tudel lleva aparejado una variación en el comportamiento acústico y mecánico de la boquilla. Un aumento en su longitud, considerando el resto de características geométricas de la muestra iguales, producirá una reducción de la frecuencia de resonancia, así como un desplazamiento de las componentes armónicas de orden superior (figura 6a). Por otro lado, la extensión del tudel supone un aumento en la impedancia acústica y las pérdidas por transmisión de la boquilla (figura 6b).

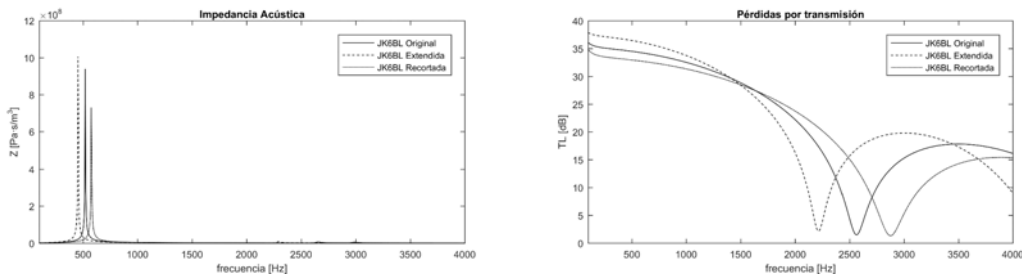


Figura 6. (a) Comparación de la impedancia acústica obtenidas según la longitud del tudel. (b) Pérdidas por transmisión para diferentes longitudes de tudel.

En relación al comportamiento mecánico de las muestras, una variación de la longitud del tudel presenta un efecto significativo. La extensión del cono interior de la boquilla supone una disminución de la vorticidad media de la muestra y una disminución de la resistencia al flujo (tabla 4), lo que afectará a la interpretación del músico.

Tabla 4. Resistencia al flujo y vorticidad para las boquillas con diferente longitud de tudel.

	Vorticidad Media [s <sup>-1</sup> ]	Resistencia Flujo [Pa·s/m <sup>3</sup> ]
Josef Klier 6BL	5123,203	807674,792
Josef Klier 6BL Extendida	4801,957	756653,556
Josef Klier 6BL Recortada	5341,727	817517,166

## 4. CONCLUSIONES.

A partir de los resultados obtenidos en este trabajo se observa una variación considerable entre las propiedades acústicas y mecánicas de las boquillas analizadas. Por un lado, las diferencias geométricas del borde permitirán la ejecución del instrumento por parte de intérpretes con características maxilofaciales diversas. Del mismo modo, la profundidad de la copa y el diámetro del granillo determinarán de manera significativa la resistencia ofrecida por la boquilla así como las pérdidas por transmisión y la impedancia acústica, lo que afectará notablemente a la sonoridad del instrumento.

En definitiva, la correcta elección de una boquilla está sujeta a las características individuales, físicas y mentales del intérprete, quien debe conocer en todo momento sus virtudes y carencias para de este modo seleccionar la boquilla más apropiada.





**FIA 2018**

**XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -TECNIACUSTICA'18-  
24 al 26 de octubre**

## 5. REFERENCIAS.

- [1] Tranquillo Forza. *Il Bocchino nei Labiofoni. Una approccio moderno di analisi, scelta ed uso dei bocchini per tromba, trombone, corno, flicorno e tuba.* Ed. Bim. Suiza. 2000.
- [2] John Stork, Phyllis Stork. *La boquilla y todo lo que hay que saber.* Editions Bim.
- [3] Benade, a. H. *Fundamentals of musical acoustics.* Oxford University Press, New York, 1976.
- [4] Cardwell, W.T. Jr., *Cup-Mouthpiece Wind Instruments, U.S. Patent 3,507,181, 1970.*
- [5] Cardwell, W.T. Jr., *Trumpet intonation improvement with multiple Helmholtz resonator terminations, J. Acoust. Soc. Am., Vol 45, 1969, p. 296.*
- [6] Tarr 1988
- [7] D.M. Campbell & C. Greated. *The musician's guide to acoustics.* Oxford Univeristy Press, New York, 1987.
- [8] Morse, P. M. *Vibration and Sound.* McGraw-Hill Book Company Inc. 1948.
- [9] Fletcher, N. H.; Rossing, T. *The Physics of Musical Instruments.* Springer. New York. 1998.
- [10] J. Backus. *The acoustical foundations of music.* W.W. Norton & Company Inc., 2 edition, 1977.
- [11] Michael C. Lopresto. *Mouthpiece and bell effects on trombone resonance. The physics teacher.* December 2013.
- [12] Pyle, Robert W., *Effective length of horns, J. Acoust. Soc. Am. Vol. 57, 1975, pp. 1309-1317.*
- [13] Peter Hoekje; Hannah Hubbell. *Trumpet mouthpiece equivalent lengths. Physics of Musical Instruments and the Voice: Paper ISMRA2016-63.* Buenos Aires, Argentina.
- [14] Alba Fernández, Jesús; Cruañes Catala, Joan; Ramis Soriano, Jaime; et. al. *Estudio preliminar de la calidad sonora de diferentes boquillas de trompa.* Tecniacústica. Cádiz. 2009.
- [15] Massimo Zicari, Jennifer Macritchie. *Trumpet mouthpiece manufacturing and tone quality. The Journal of the Acoustical Society of America.* November. 2013.
- [16] Helmholtz, H. (1954). *On the Sensations of Tone as a Physiological Basis for the Theory of Music,* translated by A. J. Ellis (Dover, New York), Chap. 5, pp. 118–119.
- [17] Schubert, E., Wolfe, J., and Tarnopolsky, A. (2004). "Spectral centroid and timbre in complex, multiple instrumental textures," in *Proceedings of the International Conference on Music Perception and Cognition,* Evanston, IL, pp. 654–657.