

**ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA IMPEDANCIA ACÚSTICA DEL P-BONE
(PLASTIC TROMBONE) FRENTE A OTROS TROMBONES DE SU MISMA
TESITURA FABRICADOS EN METAL**

PACS:43.66.Jh

Esteve Rico, Juan Carlos; Vera Guarinos, Jenaro

Depto. Física, Ingeniería de Sistemas y Teoría de la señal.

EPSA - Universidad de Alicante-Campus de San Vicente del Raspeig.

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

ABSTRACT

In this study are presented the objective results of the impedance response of some trombones in order to find their sound and timbre differences based on acoustic impedance curves. The results are also compared with the opinions included in an objective survey about the subjective evaluation after hearing a music passage recorded with everyone of the instruments. The results show that the impedance form and the sound goodness average are correlated. An irregular performance is detected, both in the experiment and in the survey of one of the trombones that was subjected to an ultrasound bath cleaning in this year.

Furthermore, it is known that the sound quality of the P-Bone makes it ideal as an initiation instrument in the trombone learning.

KEYWORDS

Trombone, *P-bone*, acoustic impedance, harmonic, sound, timbre, uniformity, ultrasound,

RESUMEN

Se presentan los resultados objetivos de la respuesta en impedancia de varios trombones con la intención de descubrir sus diferencias en sonoridad y timbre en base al aspecto de sus curvas de resonancia. También se comparan los resultados con las opiniones recogidas en una encuesta objetiva sobre la apreciación subjetiva de la audición de un pasaje musical grabado para la ocasión con cada uno de los instrumentos. Los resultados presentan suficiente correlación entre la forma de la impedancia y las calificaciones de bondad sonora promedio. Se detecta cierto comportamiento irregular, tanto en la parte experimental como en la encuesta, de uno de los trombones que ha sido sometido a una limpieza por baño de ultrasonidos en el último año.

Al mismo tiempo se encuentra que la calidad sonora del *P-Bone* le hace idóneo para el estudio como instrumento de iniciación

PALABRAS CLAVE: Trombón, *P-Bone*, impedancia acústica, armónicos, sonoridad, homogeneidad, timbre, ultrasonidos.

INTRODUCCIÓN

El trombón de varas es un instrumento sencillo, una columna de aire vibrante en el interior de una tubería, sobre el que existe una pregunta ancestral debido a la dualidad en sus opiniones. Desde la perspectiva de la ciencia física, resulta casi irrelevante la influencia sonora que desarrolla el material de construcción del tubo que contiene la columna de aire vibrante, puesto que la principal característica del sonido del trombón está en la forma del tubo que la contiene. En cambio, desde el punto de vista de la práctica musical y en el ámbito profesional de los instrumentistas de viento metal, se insiste en renegar, de forma generalizada, sobre la poca relevancia que la ciencia otorga al material de construcción, alegando sensaciones diferentes en la ejecución interpretativa según el material que contenga la masa de aire vibrante.

En base a este postulado en el presente estudio se ha planteado un análisis en dos fases que aborda esta problemática y con el que se pretende llegar a una conclusión. Para ello primeramente, se ha desarrollado una experiencia en el laboratorio para medir la impedancia de un trombón de plástico y otros trombones, de diferentes materiales y calidades, que se encuentran en el mercado. En la segunda parte del estudio, expertos intérpretes han llevado a cabo una cata a ciegas de los trombones analizados con la finalidad de evaluarlos.

MATERIAL Y MÉTODO

Para la determinación de la respuesta en impedancia del trombón, se usa un tubo de impedancia[7]. Aparte de que debe tener las dimensiones transversales adecuadas y debido a que el rango de frecuencias de este instrumento se encuentra entre 50 y 1000 Hz aproximadamente, se tuvo que construir un modelo específico a medida del problema¹, al

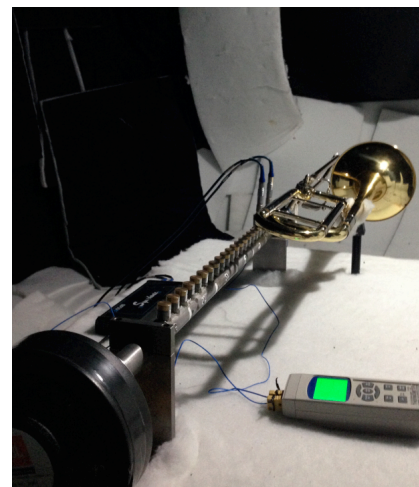


Ilustración 1- tubo de impedancia

¹ La construcción se llevo a cabo en los talleres de *Stomvi*. El tubo debe de tener 20 orificios para poder alcanzar todo

cual se le ha añadido un amplificador de potencia y una fuente de ruido *Brüel&kjær*, un motor de agudos JBL de 2", dos micrófonos *Grass 1/4"* con preamplificador y prepolarizados a 200V. Estos se desplazaban a lo largo de las del tubo de impedancia (se necesitó usar una combinación de 20 posiciones).

El sistema de adquisición de datos que se ha utilizado es *01dB "Symphonie"* con *la suite dBFA32*, mientras que para el post procesado se ha recurrido a los programas *software Acupro* y *Microsoft Excel*.

Se ha tenido especial cuidado en cuanto a: posición del instrumento, bombas de afinación, tuberías sin agua ni suciedad, la temperatura del aire² y a que nada obstaculizara ni reflejara la salida del sonido por la campana.

Para llevar a cabo las grabaciones de audio se utilizó un torso binaural de *Head Acoustic* usando su salida digital y la tarjeta de adquisición *SounBlaster-Audigy*. Y unos auriculares, *Sennheiser HD-380 Pro*, para la audición.

Las medidas se han realizado en la cámara de silencio³ del laboratorio de acústica de la Escuela Politécnica de la Universidad de Alicante. Se dispuso de seis trombones de diferentes gamas y precios que fueron tomados aleatoriamente, excepto el *P-Bone*, como modelos para el análisis comparativo de la impedancia. Las distintas situaciones planteadas son:

- Bach 42- Hagmann Sib/fa
- Yamaha YSL 354 Sib (tubería estrecha)
- Conn 88H Sib/Fa
- Júpiter 636 Sib/fa
- Stomvi maestro-Dynamic- Sib/fa
- P-Bone(Tubería estrecha)



Ilustración 1-P-Bone

² La propagación en el aire a 15° C es de 340 m/s. La velocidad del sonido en el aire tiene la condición de aumentar en 0,6 m/s por cada grado centígrado de aumento en la temperatura. (Por cada tres grados la entonación cambia tres cents). [3]

³El tiempo de reverberación promedio de esta sala es de 0.15 ± 0.05 segundos.

1.- Análisis de la relación entre el P-Bone y la impedancia de los distintos instrumentos.

Si el metal influye o no, parece una pregunta de connotaciones apócrifas para muchos expertos instrumentistas. El metal de construcción es muy venerado en la cultura musical, especialmente en el sector de los instrumentos de viento-metal. Pero para responder a ello es necesario recurrir al proceso primario de vibración que define el fenómeno sonoro. Los instrumentos de viento metal son columnas de aire vibrantes⁴, por tanto y al igual que ya hemos indicado en otro trabajo⁵:

... el máximo exponente en el timbre del sonido del trombón es definido por el aire vibrante confinado en el interior del instrumento, por la forma del instrumento junto con las características fisionómicas del intérprete⁶, por la aportación de otras particularidades como la boquilla⁷, y finalmente por el metal de construcción. Es decir, de todas las particularidades que pueden influir en el sonido, el metal de construcción aporta el porcentaje menor...

Cada músico tiene un sonido característico, es como el fenómeno de la voz por el que se le reconoce sin necesidad de contacto visual, y esto no es debido al metal si no a las características fisiológicas de cada uno.

Aunque este trabajo no contempla directamente los dilemas que puede plantear el tipo de aleaciones que se usan en la construcción de trombones habitualmente, y como el tema central de la controversia de nuestro estudio toma como referente un trombón heterodoxo fabricado en su totalidad de plástico (P-Bone), esperando que algún día dispongamos de una mayor cantidad de información sobre el plástico como material de fabricación de instrumentos de viento, pasamos a enumerar una serie de opiniones que los estudiosos han vertido sobre el tema del susodicho metal:

⁴ WEBER, Karlheinz. *die Posaune einluftklinger*, accesible en: <http://karlheinzweber.de>, acceso el 09/06/15

⁵ *Estudio de la Influencia de la Masa Dinámica del Transpositor de un 'Trombón de Varas' en Función de su Espectro de Impedancia Acústica*

⁶ *Las resonancias del tracto vocal tienen un fuerte efecto en el tono sonoro.* [12]

El aparato fonador, la caja de resonancia y los labios son elementos de impedancia que influyen en la formación del sonido.[8]

⁷ Se puede profundizar más sobre la importancia de la boquilla en la formación del sonido en [1] y [5].

- *“La elección del material con finalidad estética no tiene siempre una relación clara sobre el sonido puesto que hay metales que no afectan en gran manera la percepción del sonido, sobre este principio se mueven las diferentes hipótesis a la hora de decorar los instrumentos”.* [4]
- El material no cambia el timbre del sonido (aunque parece acentuar las frecuencias altas). [9]
- El material que radia el sonido se encuentra alrededor del final de la campana aproximadamente. [9].
- Existe una relación entre el material que vibra y el sonido que transmite la columna del aire. [9].
- *“La Deformación elástica de la pared de metal, que es proporcional a la presión sonora oscilante dentro del instrumento, podría proporcionar una explicación de los cambios observados en la impedancia de entrada y los cambios en las funciones de transferencia”.* [9].
- La columna de aire hace entrar en vibración al metal que la contiene, especialmente en la parte cónica la campana, por tanto, se puede afirmar que la radiación sonora de la campana forma parte del sonido en la interpretación. [9].
- Las paredes del instrumento que confinan la columna del aire tienen relación con la formación del sonido. [9].

RESULTADOS

Se procedió a comparar diferentes trombones de diferentes precios y calidades con el objetivo de poder apreciar las afirmaciones anteriormente citadas.

Los resultados de la impedancia han sido analizados en base a los resultados

que mostramos en la tabla de la siguiente página. Además se muestran de forma individualizada las correspondientes curvas de la respuesta en impedancia.

El objetivo es facilitar la comprensión de los resultados de las medidas y así observar cuál de los trombones puede perfilar un registro sonoro más homogéneo (de mayor calidad) de manera objetiva.

Las primeras ideas que nos fuimos formando al ir desarrollando la parte experimental era que las diferencias encontradas, para todos los trombones, en el registro grave son sutiles, puesto que el trombón las atenúa al ser un filtro de paso alto. Es por eso que:

- En las frecuencias superiores a la fundamental se encuentran grandes cambios según el modelo de trombón.
- Resulta evidente que en el registro medio-agudo de los instrumentos se dan las impedancias más elevadas y en consecuencia el sonido se aprecia más vigoroso.
- Al acercarnos a la frecuencia de corte; las impedancias empiezan a uniformizarse dado que el instrumento deja de oponer resistencia al paso del flujo del aire. Es en este punto donde se producen los armónicos responsables del timbre característico del instrumento⁸.
- Fuera de la frecuencia de corte sobreaguda los trombones no muestran grandes diferencias entre sí con excepción de algunos picos. [10]

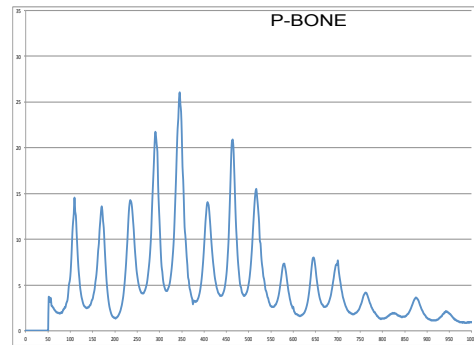
A continuación se muestra la tabla sobre la que realizamos un análisis minucioso sobre cada frecuencia de interés.

⁸ La reflexión de onda es muy importante para controlar junto con los labios la columna del aire. Este requisito se pierde en las notas sobreagudas (fuera de la frecuencia de corte) o extremas puesto que no hay reflexión de onda o muy poca. [11]

TABLA DE RESULTADOS

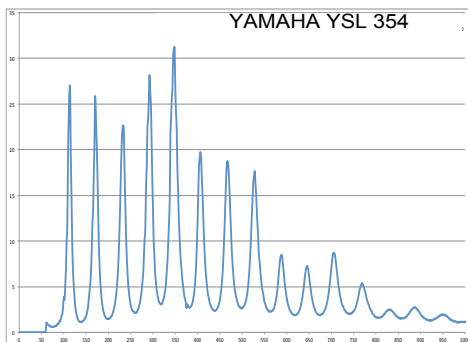
[6] PATRÓN Hz-rayl A ₄ 440	Bb ₁	Bb ₂	F ₃	Bb ₃	D ₄	F ₄	Ab ₄	Bb ₄	C ₅	D ₅	E ₅	F ₅	G ₅	Ab ₅
	58.27	116.54	174.6	233.1	293.7	349.2	415.3	466.2	523.3	587.3	659.3	698.5	784.0	830.6
Las diferencias en el registro grave son sutiles puesto que el trombón las atenúa al ser un filtro de paso alto		Las frecuencias superiores a la fundamental denotan grandes cambios según el modelo			En el registro medio-agudo de los instrumentos se dan las impedancias más grandes y en consecuencia las notas más fuertes			Al acercarnos a la frecuencia de corte las impedancias empiezan parecerse		Fuera de la frecuencia de corte sobreaguda los trombones no muestran grandes diferencias entre sí con excepción de algunos picos				
BACH42 (Hz)	54.69	114.06	175	231.25	295.31	350	409.38	473.44	526.56	589.06	656.25	707.81	767.19	837.5
(rayl)	01.58	15.01	14.24	17.94	19.69	22.52	16.74	17.29	18.82	10.02	09.05	06.70	04.07	02.69
YAMAHA YSL 354 (Hz)	60.94	114.06	170.31	232.81	292.19	348.44	406.25	467.19	528.13	587.5	654.69	704.69	768.75	829.69
(rayl)	01.08	26.93	25.87	22.66	28.16	31.25	19.72	18.74	17.64	08.48	04.33	08.72	05.39	02.50
CONN 88S (Hz)	51.56	110.94	171.88	232.81	296.88	350	409.38	473.44	531.25	595.31	657.81	710.94	773.44	840.63
(rayl)	00.84	21.77	17.60	19.63	26.19	26.03	24.00	18.49	17.19	09.62	08.06	07.50	04.62	02.54
JÚPITER636 (Hz)	56.25	112.5	171.88	231.25	292.19	348.44	410.94	471.88	528.13	595.31	659.38	710.94	771.88	839.06
(rayl)	01.18	28.91	22.60	21.73	29.82	21.75	15.55	16.52	15.28	09.34	08.99	06.56	04.41	02.91
STOMVI-DYNAMIC (Hz)	53.13	114.06	173.44	231.25	293.75	348.44	407.81	465.63	528.13	593.75	654.69	709.38	768.75	837.5
(rayl)	02.54	26.05	19.48	20.25	24.99	23.36	18.35	20.33	16.33	09.17	08.24	07.37	05.14	03.49
P-BONE (Hz)	51.56	109.38	170.31	234.38	290.63	345.31	407.81	464.06	517.19	578.13	645.31	696.88	762.50	823.44
(rayl)	03.71	14.54	13.58	14.27	21.73	26.04	14.05	20.86	15.47	07.30	08.01	07.25	04.15	01.93

Al comparar el índice acústico de los diferentes trombones cabe afirmar que en la frecuencia fundamental Bb_1 , los trombones no muestran grandes cambios de impedancia, a excepción del *P-Bone*. En todos los registros que el *P-Bone* iguala o supera el resto de instrumentos significará



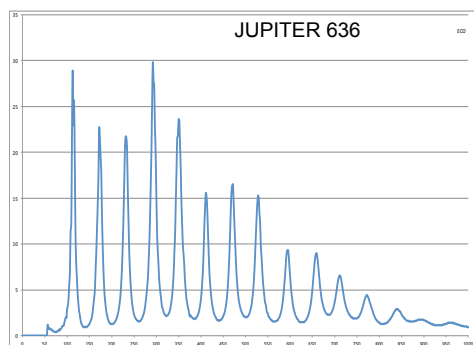
que su resonancia y facilidad para impostar es parecida al resto de los trombones y tendrá más facilidad para sonar. Resulta destacable como este modelo de trombón es capaz de sacar una leve impedancia en el registro donde el trombón deja ya casi de responder al paso del aire 823.44Hz (Ab_6). Esta característica es compartida con el Yamaha YSL 354.

El trombón Yamaha destaca especialmente con las impedancias más potentes a lo largo del registro $Bb_2 - F_4$, lo cual evidencia una sonoridad muy potente,



causa del conocido efecto del sonido "rajado" como consecuencia del exceso de radiación al que puede ser sometida la campana, este efecto merece sin duda un mayor análisis en profundidad que será abarcado en siguientes estudios.

La octava próxima, $Bb_3 - Bb_4$, es sin duda en la que mayores impedancias se pueden observar en todos los trombones, es por tanto el registro más resonante del trombón y sobre el cual se debe prestar más atención para encontrar el trombón que nos ayude a

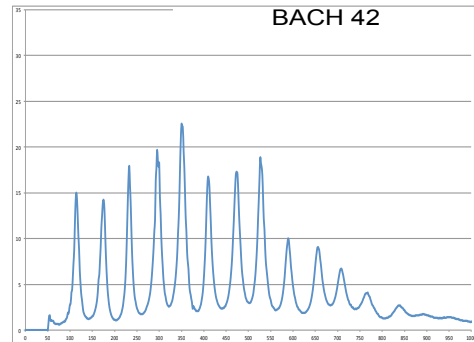


homogeneizar el registro. Las fuertes resonancias de los trombones Yamaha y Júpiter son muy apropiadas para el registro pero aportan sin duda un timbre más claro debido a la radiación de la campana (¿?). En principio, el trombón Yamaha tiene un

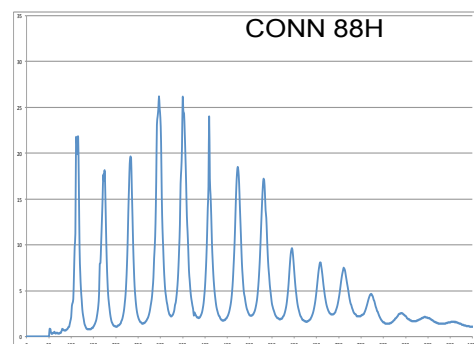
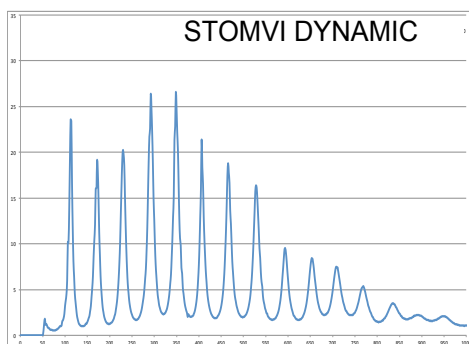
gran control sobre la gama dinámica y la igualdad sonora. Sería muy

interesante poder comprobar la calidad del modelo superior de Yamaha el “Xeno”, el cual tiene mayor peso y es capaz de controlar el “efecto rajado”.

Resulta muy extraño la evidente similitud entre el trombón Bach42 y el *P-Bone*, a este respecto cabe matizar que el Bach42 fue sometido a una limpieza con ultrasonidos poco antes de realizar estas experiencias. Personalmente, ya que es mi instrumento habitual, había apreciado una gran diferencia a la hora de impostar el sonido antes y después de la limpieza.



Ahora se ha comprobado objetivamente: la impedancia demuestra que el trombón Bach42, resulta muy poco resonante en comparación con los demás. Este principio me lleva a postular que los ultrasonidos pueden afectar la estructura de los instrumentos y por tanto pueden ser dañinos. No es normal que un instrumento de alta gama responda con impedancias similares a las del *P-Bone*. Este hecho pretende ser estudiado en posteriores experiencias y para ello será necesario medir nuevamente el trombón sometido a ultrasonidos y comparar resultados con el mismo modelo de instrumento que no haya sido limpiado con de esa forma. En definitiva, si eliminamos, entre comillas, el trombón Júpiter y Yamaha por el efecto rajado, y los trombones Bach42 y



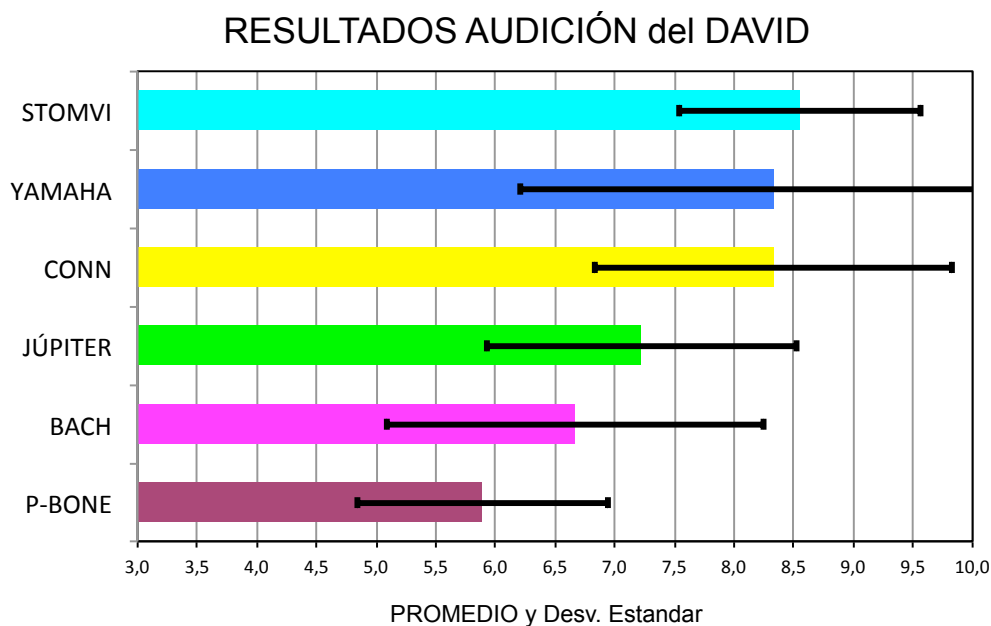
P-Bone, por su menor impedancia y resonancia, entonces: los trombones Conn 88H y Stomvi Dynamic son los que pueden ofrecer a los trombonistas una mayor homogeneidad en el registro sonoro de los trombones analizados. Estos hechos nos permite aventurar que los resultados de las encuestas tendrían que decantarse por estos modelos. Veamos a continuación lo que sucede.

2.- Encuesta de opinión sobre los registros del fragmento de una pieza interpretada con el trombón en cada una de las situaciones estudiadas en el apartado anterior.

Se ha realizado una grabación del fragmento del concertino de David (Ferdinand David Opus nº4) A-B⁹ el cual ha sido grabado con todos los trombones presentados en la tabla anterior. Para las grabaciones de audio se utilizó un torso biaural de *Head Acoustic* usando su salida digital y la tarjeta de adquisición *SoundBlaster-Audigy* y unos auriculares, *AKG-K612-Pro* para la audición.

La elección de este concertino para trombón de Ferdinand David dedicado al virtuoso del trombón de varas Carl Queisser¹⁰ se debe al gran registro sonoro que abarca, el cual se identifica perfectamente con el campo de acción de las mayores respuestas en impedancias de los trombones.

En la siguiente gráfica se recogen las opiniones de profesionales en un intento de aunar realidad musical con la objetividad de la experimentación. Resulta muy evidente que los trombonistas buscan instrumentos que ayuden a homogeneizar el registro sonoro.



⁹ Aunque la obra original responde al siglo XIX, esta cita corresponde a la reimpresión editorial de Zimmermann del 2002. [2]

¹⁰ On-line trombone Journal: www.trombone.org. David Guion. Acceso el 02-06-2015.

Pero del mismo modo, existe una cierta predilección hacia los instrumentos con grandes impedancias muy especialmente en el registro agudo, los cuales suman notas muy brillantes y que aportan mucho a la sonoridad del instrumento gracias al timbre de sus armónicos sobreagudos.

El trombón de calidad Bach42 ha sido muy mal valorado, lo cual añade valor a los resultados obtenidos para la impedancia, se sitúa a la altura de las impedancias del P-Bone, lo cual confirma que ambos instrumentos tienen un registro sonoro desigual y menos resonante en comparación a los otros modelos analizados.

Ante la expectativa que suscita el título de la ponencia: *“Análisis comparativo de la impedancia acústica del P-Bone (plastic-trombone) frente a otros trombones de su misma tesitura fabricados en metal”*, pensamos que el P-Bone no puede tener la misma calidad sonora que los instrumentos de metal, que son el resto y que presentan grandes impedancias y/o registros homogéneos, pero sin duda, es un instrumento en el que la columna de aire vibrante ofrece armónicos de suficiente calidad.

Los resultados pueden servir, en primera aproximación, para dar cierto valor al metal en la construcción del instrumento, El P_Bone ha perdido. Pero no hemos de perder de vista que la calidad de la sonoridad del instrumento percibida, es responsabilidad de:

- El instrumentista principalmente.
- La boquilla que mejor se adapte a la fuente generadora, los labios.
- La radiación del metal en una proporción menor.

Por tanto, cada vez que se intente comparar los resultados de una interpretación hecha con instrumentos fabricados con distintos metales, se debe recordar el porcentaje que este aporta al sonido final respecto al resto de ítems.

Otra conclusión que podemos hacer indirectamente, a la vista del comportamiento del *P-Bone*, es que se le debe tener en consideración como instrumento de aprendizaje básico para el primer curso de las Enseñanzas Elementales de música, puesto que tal y como se ha comprobado es un instrumento que puede sonar con calidad y resulta muy cómodo por el peso para los niños que inician los estudios musicales a la edad aconsejada de 7 años. Además resulta muy fácil de manejar y transportar. No obstante, se le debería usar con una boquilla de metal que se puede adecuar mejor a la fisionomía de los alumnos, puesto que existe mayor variedad.

Finalmente me gustaría plantear una reflexión que todos los músicos deberían hacerse alguna vez:

En el inicio de los estudios musicales el tipo de instrumento con el que se practica así como sus características sonoras, vienen impuestas por el profesor, el gusto estético o la casualidad. Este principio marcará la memoria muscular de cada instrumentista de viento-metal, la cual se adaptará al esfuerzo y sonoridad, para finalmente ser calificada, por la fuerza de la costumbre o hábito, por cada uno como “normal”. Este será el punto de partida en la vida del músico y todos los instrumentos futuros serán comparados, inconscientemente, con nuestra experiencia previa y el esfuerzo muscular aprendido. Este principio teórico justifica todos los cambios y sensaciones que se sienten al probar algo distinto a lo habitual, pero no significa que el cambio se deba totalmente al metal de construcción del nuevo instrumento, ni a la nueva marca, o a la dificultad de impostar el sonido, ni si quiera a que pueda “estar sordo” tal y como se llega a afirmar en muchas ocasiones en el argot musical. Sino que simplemente son sensaciones que difieren a nuestra experiencia previa pero que a buen seguro no son percibidas, de igual forma, por otros instrumentistas de metal con experiencias diferentes.

Para finalizar se puede decir que aquellos trombones cuyas curvas de impedancia parecen más equilibradas (Conn y Stomvi) también tienen su correspondencia en las respuestas a la audición.

Por otra parte Yamaha con bastante ventaja (compitiendo con Stomvi) y Jupiter quedan en un segundo puesto pero a veces muy bien valorados por su brillo y riqueza en agudos. Este hecho es significativo si comparamos precios.

En el grupo de menor calidad tenemos a un Bach de gama alta y al *P-Bone* de gama baja. Del primero ya hemos intentado dar una justificación por la cuestión de los ultrasonidos. Al segundo solamente podemos darle la enhorabuena pues sus resultados han sido sorprendentes, en alguna de las encuestas destacó de forma notoria frente a las grandes marcas.

BIBLIOGRAFÍA

- [1]. AGULLÓ, J. *Acústica Musical*. Barcelona: Prensa Científica S.A. 1989.
- [2]. DAVID, F. *Konzertino op.4 in Es-Dur für Posaune und Klavier. Arr. Rob. Müller*. Frankfurt: Zimmermann, 2002.
- [3]. DE OLAZABAL, T. *Acústica musical y Organología*. Buenos Aires: Ricordi, 1993, p.29.
- [4]. FLETCHER, N. & ROSSING, T. *The Physics of Musical Instruments*. New York: Springer, 1998, p. 730-731
- [5]. FREOUR, V. *Acoustical properties of the vocal-tract in trombone performance*. Aalborg, 2011.
- [6]. HARTMANN, W.M. *Principles of Musical Acoustics, Undergraduate Lecture Notes in Physics*. New York: Springer Science+Business, 2013
- [7]. ISO10534-2:1998 - *Acústica. Determinación del coeficiente de absorción acústica y de la impedancia acústica en tubos de impedancia. Parte 2: Método de la función de transferencia*. Madrid: AENOR, 2002.
- [8]. KEMP J. A. and Smith R. A.. *Measuring the effect of the reflections sound from lips in brass musical instruments*. Nantes: Société Française d'Acoustique, 2012
- [9]. KAUSEL, W. *Influence of Wall vibrations on the sound of brass wind instruments*. Wien: Universität für musik und darstellende Kunst Wien, 2010, p.13
- [10]. MARTÍNEZ MIRALLES, J. *Contribució a l'estudi de l'acústica de la Tenora i del tible en el domini temporal*. Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya, 1987.
- [11]. PIERCE, J. *Los sonidos de la música*. Barcelona: Labor, 1985
- [12]. VEREECKE, H. W. *The Trombone of Anton Schnitzer the Elder in Verona: A Survey of Its Properties and Their Acoustical Significance*. Wien: Historic Brass Society Journal 23, 25-42.