



# INVESTIGANDO LAS ANOMALÍAS DE UN TROMBÓN DE VARAS DE ALTA GAMA EN SU RESPUESTA EN IMPEDANCIA Y EN LOS RESULTADOS DE UN ESTUDIO PERCEPTUAL.

Esteve Rico, Juan Carlos<sup>1</sup>. Castiñeira Ibáñez, Sergio<sup>2</sup>, Vera Guarinos, Jenaro<sup>3</sup>. Rubio Michavila, Constanza<sup>4</sup>

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

Email: [estevejuancarlos@yahoo.com](mailto:estevejuancarlos@yahoo.com)

<sup>2</sup> Departamento de Ingeniería Electrónica, Universitat de València. Avd. de la Universitat s/n. 46100 Burjassot, Valencia, Spain. Email: [casiser@uv.es](mailto:casiser@uv.es)

<sup>3</sup> Dpto. Física, Ingeniería de Sistemas y Teoría de la Señal, Universidad de Alicante, S. Vicente del Raspeig, España. Email: [jenaro@ua.es](mailto:jenaro@ua.es)

<sup>4</sup> Centro de Tecnologías Físicas: Acústica, Materiales y Astrofísica, Universitat Politècnica de València, Valencia, España. Email: [crubiom@fis.upv.es](mailto:crubiom@fis.upv.es)

## Resumen

A partir de la respuesta en impedancia de varios trombones de la misma tessitura, se obtuvo que el modelo Bach 42; que era uno de los instrumentos que mayor garantía ofrecían, a priori, dentro del conjunto estudiado, se comportaba como el de menor calidad. Además el resultado de una prueba perceptual confirmaba que, en contra de todo pronóstico, dicho instrumento no era del agrado de la mayoría de los profesionales encuestados. Por este motivo se realizó un análisis exhaustivo de las condiciones de uso y mantenimiento a las que había sido sometido el trombón Bach 42 en los últimos meses. Fruto de este análisis se detectó una micro-fisura en la válvula de drenaje del agua. En este trabajo se determina su respuesta en impedancia tras la reparación y se postula este método como una posibilidad real para la inspección no destructiva de los instrumentos, en el proceso final de calidad, durante su manufactura y reparación.

**Palabras-clave:** Trombón, P-Bone, impedancia acústica, ultrasonidos. Técnicas no destructivas.

## Abstract

During a comparative analysis of the impedance response of several trombones in the same tessitura, completed with a subjective survey, it was found that the Bach model 42 was working like one with less quality. A priori, it was one of the instruments that offered the greatest guarantee within the group studied. Against all odds, after perceptual test, it was confirmed that this instrument was not liked by most of professionals surveyed. For this reason, the trombone was subjected to a series of inspections and the circumstances of use and maintenance suffered in recent months were reviewed and checked. It was possible to detect a micro-crack in the water drain valve of the slide. In this work, the response in impedance is determined after repairing it. This method is postulated as a real possibility for non-destructive inspection of the instruments in the final process of quality during manufacture.

**Keywords:** Trombone, P-bone, acoustic impedance, ultrasound, Non Destructive Testing

**PACS no.** 43.75.+a, 43.75.Fg

## 1 Introducción

En un trabajo anterior [1] se compararon las cualidades sonoras tanto desde el punto de vista subjetivo como objetivo de un conjunto de trombones de metal frente al PBone y se comprobó que existía cierta correlación entre los resultados dados por el espectro de la respuesta en impedancia y los obtenidos en una audición a ciegas. En ese se analiza el comportamiento y la diferencia entre un trombón de plástico y otros tradicionales. A partir de este análisis se detectó que un trombón de alta gama (Bach42 con transpositor Haggmann) presentaba unos resultados anómalos, puesto que no se correspondían a la calidad que se le presupone a un instrumento de esas prestaciones; ni en el ranking de opinión, ni en su curva de impedancia.

Por este motivo se planteó desarrollar un método no destructivo (MND) para inspeccionar la calidad sonora de los trombones. Los resultados y justificación del proceso se muestran en este artículo. Además, se demuestra la eficacia del tubo de impedancia como una de las técnicas posibles, no invasivas y por supuesto no destructivas para inspeccionar la calidad de los instrumentos de viento.

En base a este postulado, el presente estudio supone un análisis en dos fases: primero, se ha valorado e identificado, las posibles causas que han llevado al fracaso del trombón de varas Bach 42 - Yellow Brass, con transpositor Haggmann, y segundo, tras la reparación del instrumento en un establecimiento especializado, se ha repetido el análisis en el laboratorio en las mismas condiciones que antes de su reparación para poder comparar los resultados obtenidos y valorar la importancia del defecto.

## 2 Material

Para la confección de este artículo se parte de resultados obtenidos en nuestro anterior trabajo que ya hemos citado y que mostramos a continuación.

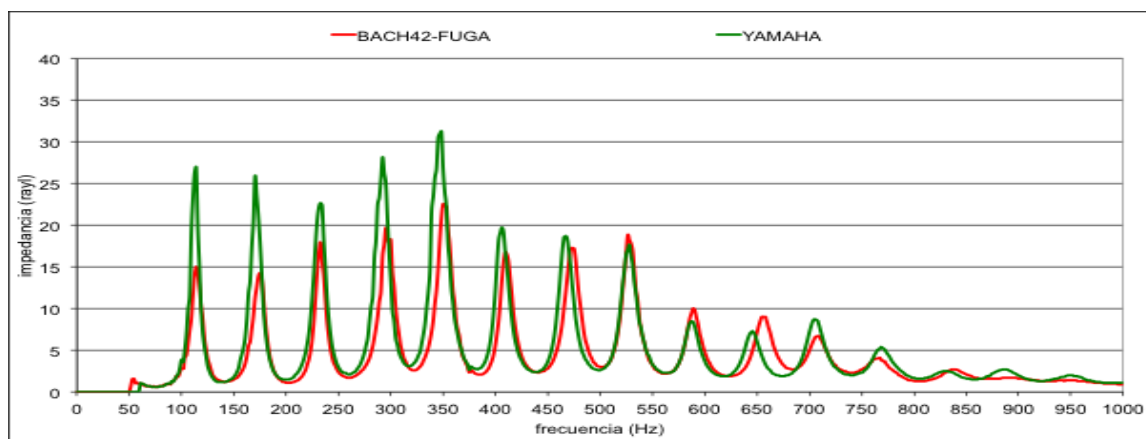


Figura 1. Espectro de la respuesta en frecuencia de la impedancia del Bach42 antes de la reparación y del Yamaha YSL354.

Si escogemos como ejemplo el trombón de gama media tal como el Yamaha YSL354 es Bb y lo comparamos con el trombón problema Bach 42- Haggmann Bb/F - Yellow Brass, obtenemos la respuesta en frecuencia de la impedancia mostrada en la Figura 1:

El trombón al ser un filtro de paso alto [2], empieza a responder por encima de los 60 Hz; por lo que la nota pedal Bb<sub>1</sub> apenas se aprecia en cualquiera de los modelos que hemos estudiado.

Para el resto de componentes de la serie armónica fundamental Bb<sub>2</sub>, F<sub>3</sub>, Bb<sub>3</sub>, que cubren el rango entre los 100 Hz y los 250 Hz del registro se puede observar con claridad como la respuesta del Bach 42 es de menor intensidad.

Ocurre lo mismo para las notas  $D_4$ ,  $F_4$ ,  $Ab_4$  que suele ser la zona más explosiva (de 250 Hz a 450 Hz). Es en este rango, especialmente, es donde se hace evidente que el trombón bach42 no funciona correctamente.

Finalmente las respuestas de ambos son del mismo nivel en las frecuencias agudas (de 450 Hz a 850 Hz) que son las que otorgan el timbre característico al sonido del instrumento; esto es desde  $Bb_4$  hasta  $Ab_5$ . Donde a partir de  $G_5$  ( $\approx 800$  Hz) deja de responder paulatinamente el instrumento, esto es debido, como ya sabemos, a que en el registro sobreagudo el trombón por su idiosincrasia deja de oponer resistencia al paso del aire progresivamente.

En resumen: tenemos que justo el trombón de más calidad está muy por debajo de lo esperado por norma.

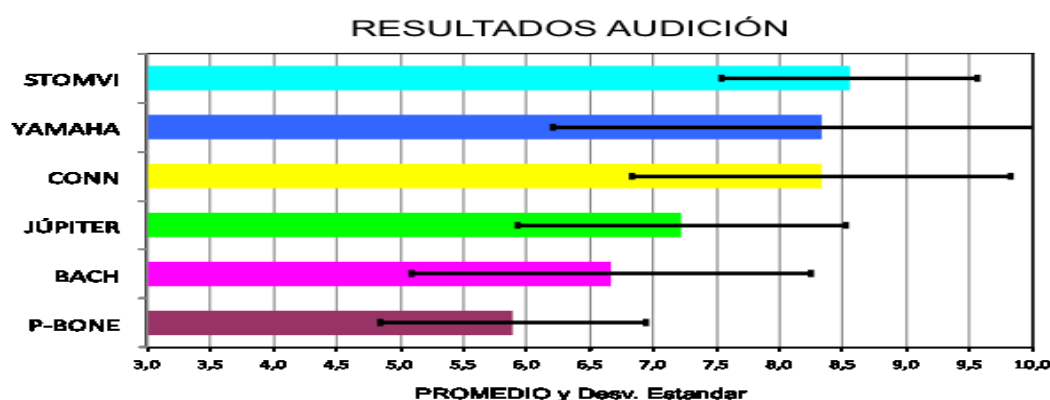


Figura 2. Estado de opinión sobre la bondad de varios trombones estudiados.

Para el análisis perceptual, y por tanto subjetivo, se solicitó la intervención de un trombonista. Se realizó una audición a ciegas, ejecutando el mismo intérprete las grabaciones que componían el test en la audición para los distintos trombones [1]. Los resultados se muestran en la Figura 2.

Se observa a partir del análisis que el trombón Bach42, quinto puesto de seis, se sitúa solo por encima de la calidad del PBone. Por tanto fue muy mal valorado por los profesionales encuestados.

Esta concordancia entre los resultados obtenidos para el Bach 42, en un análisis tanto objetivo como subjetivo, hizo plantearse la posibilidad de que el trombón en cuestión sufriera alguna anomalía, tampoco debía ser una singularidad física detectable a primera vista ya que, ni el intérprete ni los responsables del estudio en un examen ocular exhaustivo lo habían percibido. Lo único que podía decirse es que desde hacia un tiempo el instrumento dificultaba el discurso, teniendo el músico que esforzarse en sacar lo mejor de él, e inconscientemente aumentando sus propias exigencias; en ningún momento durante la práctica habitual se pensó que podía haber un fallo material.

### 3 Método

Para analizar cualquier conflicto relacionado con el sonido, se partía de las ideas expuestas por Weber [2]: el cual argumenta que 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 propias y a las cualidades de cada instrumento en particular. Los instrumentos de viento metal son columnas de aire vibrantes, por tanto:

*... el máximo exponente en el timbre del sonido del trombón es definido por el aire vibrante confinado en el interior del instrumento...* [2]



Si junto a lo que se desprende de estas palabras aunamos la experiencia como usuario continuado en las reparaciones habituales del instrumento, podemos sugerir tres posibilidades para encontrar el origen del problema en el Bach42 que se está estudiando:

- La primera de ellas es referente a la vibración que excita la columna del aire ¿Es de suficiente calidad? Factor que depende de la embocadura o de los condicionantes de la boquilla.
- La segunda se puede asociar con factores debidos al uso, como: suciedad acumulada, rotura del corcho que tapona la llave del drenaje del agua, soldaduras incorrectamente ejecutadas y en consecuencia aparición, con el tiempo, de fugas de aire, golpes... y deterioro en general debido a un mal uso o mantenimiento inadecuado del instrumento.
- La tercera, de reciente actualidad aunque se podría incluir en la anterior, son las consecuencias, todavía no documentadas, de la limpieza de instrumentos musicales con ultrasonidos. Existe un debate importante que está generando tanto partidarios como detractores [3].

Además de estos tres factores existe otro ámbito, el de la energía aportada por radiación del metal, que también condiciona la calidad sonora y que es oportuno mencionar para no dejar de lado alguna de las cosas que pueden tener importancia en la calidad sonora final de este instrumento. Siguiendo con el discurso de Weber [2].

- El material no cambia el timbre del sonido (aunque parece acentuar las frecuencias altas). La zona del instrumento que radia el sonido se encuentra, aproximadamente, en la parte final de la campana.
- *"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"*.
- 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. Las paredes del resto del instrumento solo tienen relación con la formación del sonido no con su radiación.

Por tanto, y en base a que el método que usamos para calcular la impedancia no tiene en cuenta la parte radiante, tan solo nos informa de las cualidades en la formación de éste y de su calidad relativa a la relación que se encuentra entre los valores de la respuesta frecuencial de la en impedancia, se podría decir que nos ofrece un factor para determinar la bondad del instrumento.

Es por lo que de todos los puntos expuestos hasta ahora para justificar posibles causas del origen del problema, no podríamos saber o identificar problemas con la calidad del metal. Tampoco tenía lógica que el error aparente estuviera centrado en la embocadura o en el intérprete. Entonces sólo habría tres posibles causas que justificaran una curva de impedancia tan deficiente y las consecuentes malas calificaciones en la encuesta.

La primera causa sería la acumulación de leves deformaciones que sufre la unión en forma de "U" de las dos varas paralelas como consecuencia de golpes contra los atriles. Esta causa nos parecía que no podría nunca llegar a deteriorar la respuesta en impedancia de la forma que habíamos observado, a no ser que la tubería llegara a colapsarse.

O bien, la segunda posibilidad: problemas de suciedad acumulada y/o problemas de oxidación que descartábamos pues el instrumento acababa de ser sometido a una sesión de limpieza por ultrasonidos. Por último nos resta el problema de fugas o micro-fugas por la aparición de poros en las soldaduras o en los drenajes de las válvulas de agua. Este último caso también se desestimó: dado que no existía ni un leve goteo por el tapón del agua durante la práctica diaria, ni tampoco se apreciaba ningún cambio



de presión: que se comprueba de forma rutinaria con el sencillo ejercicio en el que se extrae la vara exterior mientras que con el dedo índice se presiona una salida mientras se sopla por la otra, de esta forma se crea una presión en el instrumento que en caso de no tener fuga debe de contener, como sucedía en este caso.

Por todo lo anterior, tras realizar un concienzudo análisis, repasar los puntos débiles anteriormente mencionados y volver a medir la respuesta en impedancia que se mantuvo estable en sus valores anteriores, se decidió llevar al instrumento a un lutier especializado en el que utilizan el mismo principio de revisión rutinaria de presión del aire pero, esta vez, llenando la vara de agua. Se pudo detectar una leve pérdida por la soldadura de la llave del agua.

Las causas que pueden llevar a la formación de esta micro-rotura o poro en la soldadura de la válvula que dreña el agua son:

- Leves golpes en la curvatura en forma de “U” en la vara exterior y que une las varas paralelas.
- La limpieza con ultrasonidos a la que fue expuesto el instrumento poco antes del análisis de éste en el laboratorio.

Aún sin tener una certeza de que el problema surgiera por una limpieza, barajamos esta posibilidad puesto que pensamos puede ser demasiado agresiva y todavía no se tienen todavía datos suficientes, en el campo de los instrumentos musicales, del alcance que puede tener esa técnica. No se cuestiona su eficacia para la industria en general y hasta en joyería, pero sí de su adecuación para elementos que sus partes soldadas son delicadas y de bajo espesor; y además esas partes son cruciales frente al paso y conducción de flujos de aire en sobrepresión. Es cierto que los posibles daños no son irreparables o luctuosos, pero sí que pueden hacer fracasar la belleza armónica de un instrumento y arruinar una interpretación.

Se puede realizar una visita por las distintas páginas web de las empresas que ofrecen este servicio al mundo de la música [4] donde aparte de las bondades y parabienes, con las que se acompaña su publicidad mercantilista, no existe ninguna referencia de controles de calidad ni de información técnica seria sobre qué químicos se usan, ni de los tiempos de los baños, ni de la intensidad y rango frecuencial de la irradiación por ultrasonidos; datos que consideramos necesarios para no encontrarnos en una situación muy desfavorable de desinformación. Además, teniendo en cuenta que en realidad el instrumento es una continuación de nuestro propio ser como músicos intérpretes, o si tomamos en consideración otros valores inapreciables, como la antigüedad de los instrumentos o la calidad de las soldaduras de los mimos, ¿Es posible que involuntariamente los ultrasonidos puedan provocar daños irreversibles? Evidentemente, solucionar los tiempos de baño con ultrasonidos o los condicionantes, no es lo que se está valorando en este artículo, pero es una reflexión necesaria que todo técnico instrumental y músico debería plantearse.

En definitiva, existen fugas que son casi indetectables para el instrumentista mientras ejecuta, a no ser que se pongan de manifiesto con los elementos de control cotidianos expuestos. Es por lo que podemos proponer la técnica del tubo de impedancia como una herramienta fiable para la práctica del control e inspección no invasivo y no destructivo de los instrumentos de viento.

## 4 Resultados

Se puede observar, en la Figura 3, que existen grandes diferencias al representar los resultados del antes (en rojo) y el después de la reparación (en azul). Lo que viene a constatar que el análisis que se hace con el tubo de impedancia valida de alguna forma la calidad del instrumento y que cualquier desviación significativa conlleva un posible fallo en la construcción o la presencia de algún defecto aunque este sea pequeño. Vemos que el trombón Bach42 presenta la respuesta en frecuencias que se

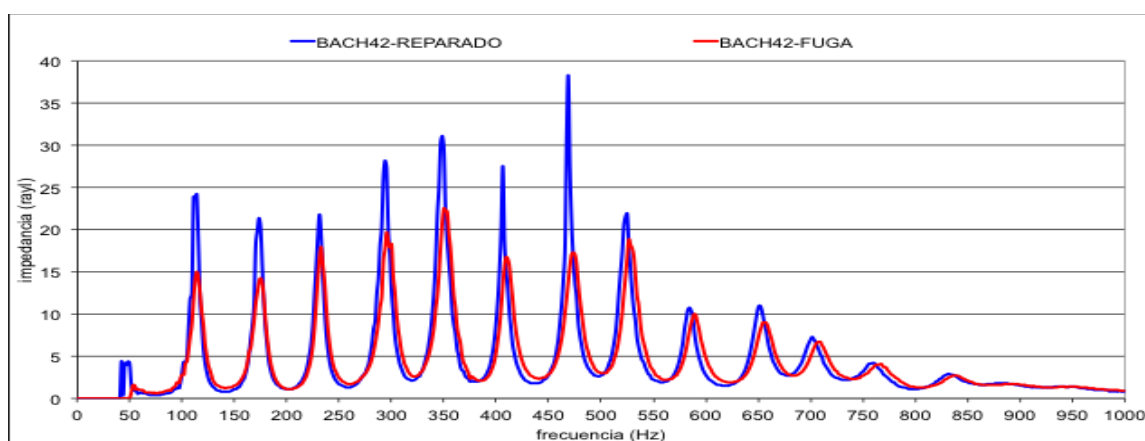


Figura 3. Espectro de la respuesta en impedancia del Bach42 antes y después de la reparación.

suponía debe tener, en la zona que se le esperaba, es decir: entre el Fa3 y el Sib4, además las impedancias se acercan a los 40 Rayl lo que le coloca en el rango que le corresponde de calidad musical.

A modo de curiosidad se muestra una última gráfica, Figura 4, donde mostramos el mejor de los resultados obtenidos para el grupo de trombones de la referencia [1] junto con el que se obtiene del Bach 42 una vez reparado, para así hacernos una idea de cuánto significa el salto encontrado en calidad.

Tal y como ya hemos dicho en otros trabajos [1] [5] existe una parte o zona de frecuencias neutra para la respuesta en impedancia, dicho esto en el sentido de que en todos los trombones estudiados: sean de metal, plástico; estén equipados con transpositor o no; se les haya añadido masas dinámicas o dispositivos armónicos como los “clapper” de Stomvi; un poco antes de alcanzar los 600 Hz y a partir de ahí tienen una respuesta similar que podíamos llamar neutra o estable. Ninguna circunstancia de construcción ni de acabados ni de accesorios parece afectar a la impedancia tanto en forma como en intensidad, al menos con este procedimiento de control que usa una excitación sinusoidal aleatoria de ruido de amplio espectro. Puede que los resultados fueran otros, en esta zona, si la excitación fuera por vibración de los labios en la boquilla lo que pondría en juego la parte estructural y otros fenómenos dinámicos en el volumen de aire contenido en el instrumento.

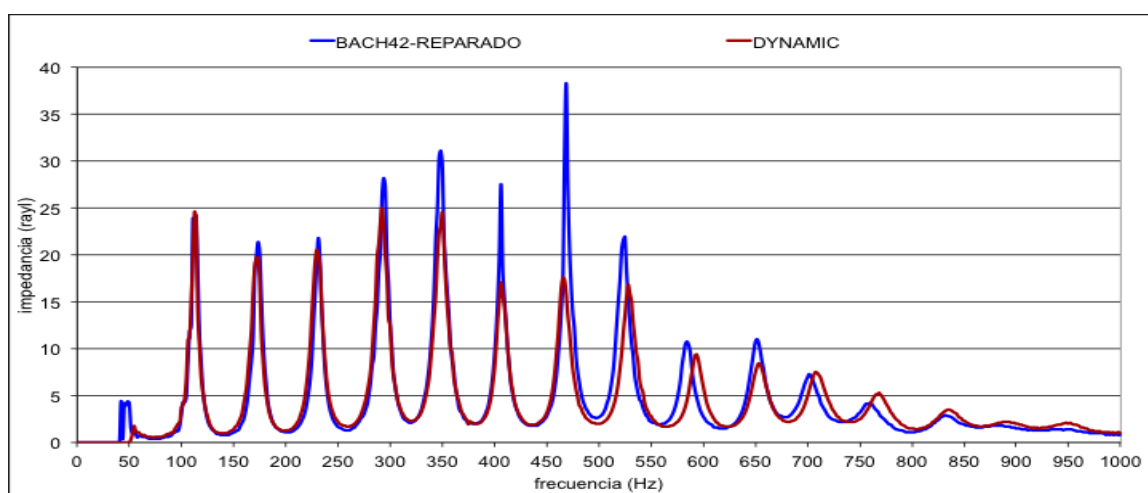


Figura 4. Espectro de la respuesta en impedancia del Bach42 reparado y del que obtuvo mejores resultados en el trabajo referenciado en el texto [1].



Lo que en este artículo se puede comprobar es que en esta zona neutra del espectro del trombón la respuesta tanto si existía fuga como si no el resultado ha sido similar. Lo cual demuestra que en el registro sobreagudo,  $D_5$  y siguientes, parece que el trombón no influye especialmente en la ejecución de las notas ya que estas se producen con mayor o menor calidad en función del intérprete. Como ya se apuntó en su momento esto es debido a la falta de resistencia (ausencia de variación de la impedancia) que existe para dichas frecuencias en el paso del aire confinado a aire a presión atmosférica lo que provoca una ausencia de reflexiones en la frontera aérea del final del instrumento. Dichas reflexiones son muy importantes, esenciales para controlar junto con los labios la columna del aire. Este requisito se pierde en las notas sobreagudas o extremas (fuera de la frecuencia de corte, en la zona neutra y más allá) puesto que no hay reflexión de onda o muy poca. Existen otros autores que hablan al respecto, como Pierce J. (1985) [6] o Martínez Miralles (1987) [7], los cuales afirman que:

- 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 instrumento.
- Fuera de la frecuencia de corte sobreaguda los trombones no muestran grandes diferencias entre sí con excepción de algunos picos.

Por otro lado, en la zona de máxima respuesta del instrumento, entre  $D_3$  y  $Bb_4$ , existen unas diferencias muy importantes que reafirman la importancia de la columna del aire vibrante para poder excitar el metal que la contiene. A mayor impedancia del instrumento por el paso del aire, mejores sensaciones tendrá el intérprete, lo cual se traduce en mayor facilidad para la interpretación y mayor calidad sonora.

Se puede afirmar con rotundidad que el tono  $Bb_4$  es el que más diferencia encuentra en el modo en el que la columna del aire es capaz de excitar al instrumento. Por el contrario, la nota más perjudicada, corresponde a la fundamental en posición cerrada  $Bb_1$ , puesto que el trombón no ha sido capaz de amplificarla ni responder sobre las frecuencias cercanas a 58Hz, aunque los labios si que encuentren facilidad en producir esa excitación.

## 5 Conclusiones

El análisis de impedancias se postula como un método eficaz y muy preciso para detectar anomalías en el instrumento, y que resultan difíciles de diagnosticar con el mantenimiento y comprobación cotidiano. Esta es, sin duda, una herramienta aconsejable para todos los establecimientos especializados en música dado que otorga confianza tanto a los constructores como a los clientes. Por tanto, el análisis de impedancias se propone como un método no destructivo (MND) para el estudio de los instrumentos de viento.

Gracias a este procedimiento, se pudo detectar y subsanar un instrumento de calidad que se estaba comportando anómalamente de forma casi imperceptible, lo cual se traducía en dificultad para el intérprete con la consecuente reflexión introspectiva continua sobre la técnica instrumental, sin ser ese el origen del problema.





## Referencias

- [1]. J. C. Esteve y J. Vera, “Análisis comparativo de la impedancia acústica del PBone (plastic-trombone) frente a otros trombones de su misma tesitura fabricados en metal”. Tecniacústica 2015.  
<http://www.sea-acustica.es/fileadmin/Valencia15/Publicacion%20Oficial%20Congreso.pdf>
- [2]. K. Weber, “Die Posaune ein luftklinger”,  
<http://karlheinzweber.de/resources/Die-Posaune-ein-Luftklinger.pdf> . Acceso el 09/06/15.
- [3]. <http://www.trompetenforum.de/TF/search.php?keywords=Ultraschall> . Acceso el: 10/01/16.
- [4]. <https://www.youtube.com/watch?v=oVsPxzdJUVE>. Acceso el: 15/02/16.  
<http://www.sanganxa.com/limpieza-por-ultrasonidos-para-instrumentos-de-viento-metal/>. Acceso el 15/02/16.  
<http://www.greentechno.es/instrumentos-musicales-las-piezas-mas-delicadas-se-quedan-fuera/>  
Acceso el 29/03/16.
- [5]. J. C. Esteve y J. Vera, “Estudio de la influencia de la masa dinámica del transpositor de un 'trombón de varas' en función de su espectro de impedancia acústica”. Tecniacústica 2015.  
<http://www.sea-acustica.es/fileadmin/Valencia15/Publicacion%20Oficial%20Congreso.pdf>
- [6]. J. Pierce, Los sonidos de la música. Ed.: Labor, 1985
- [7]. J. Martínez Miralles, “Contribució a l'estudi de l'acústica de la Tenora i del tible en el domini temporal” Universitat Politècnica de Catalunya, 1987.