TECNIACUSTICA A CORUÑA · 2017

48º CONGRESO ESPAÑOL DE ACÚSTICA
ENCUENTRO IBÉRICO DE ACÚSTICA
EUROPEAN SYMPOSIUM ON UNDERWATER ACOUSTICS APPLICATIONS
EUROPEAN SYMPOSIUM ON SUSTAINABLE BUILDING ACOUSTICS

RELACIÓN DEL ESPECTRO ARMÓNICO CON EL MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN PARA LA TROMPETA MÁSTER EN SIb

PACS: 43.75Fg

Esteve Rico, Juan Carlos [1]; Vera Guarinos, Jenaro [2]

[1]Instituto Universitario de Física Aplicada a las Ciencias y las Tecnologías. [2]Dpto. Física, Ingeniería de Sistemas y Teoría de la Señal - Universidad de Alicante -

Carretera San Vicente a Alicante, s/n
S. Vicente del Raspeig,
España
670 67 88 52 - 657 66 08 21
estevejuancarlos@gmail.com; jenaro@ua.es;

Palabras Clave: Trompeta Máster-Sib, latón - oro, latón - plata, campana de trompeta, calidad tonal, espectro armónico.

Key Words: Máster-Sib trumpet, gold brass, silver brass, trumpet bell, tonal quality, harmonic spectrum.

RESUMEN

En el presente artículo se ha analizado el espectro armónico de la trompeta *Máster* en Sib de la firma Stomvi y su relación con el material de construcción para el índice acústico Sib3 – Fa6. La vibración de la columna del aire hace resonar el metal que la contiene confinada. Esta concomitancia ha sido el principal objeto de estudio para determinar la influencia entre la columna sonora del aire y la vibración del metal para los dos tipos de campanas analizadas: a) latón - oro y b) latón - plata.

ABSTRACT

In this paper we have analyzed the harmonic spectrum of the trumpet Máster in Sib from Stomvi and its relation with the construction material for the acoustic index Sib3 - Fa6. The vibration of the air column resonates the metal that contains it confined. This concomitance has been the main object of study to determine the influence between the sound column of the air and the vibration of the metal for the two types of bells analyzed: a) brass-gold and b) brass-silver.

1. INTRODUCCIÓN

El caballo de batalla para los constructores de instrumentos de viento metal en la actualidad es conseguir que dicho instrumento forme parte unitaria con el intérpetre de forma tal que la intención del propio sonido a ejecutar, que se forma en la mente del músico, se transforme sin dificultad en realidad.

Para ello el intérpetre, sobre todo el de viento metal, necesita que el instrumento le ofrezca una respuesta y le apoye. Por ejemplo, cuando se trabaja en el registro pedal y en el sobreagudo. Este tema está más allá de una correcta respuesta armónica global que damos por supuesto.

Es por ello que los constructores se afanan en ofrecer distintos modelos de boquilla. O bien alteran el taladro del tudel, la geometría de la campana, proporcionan distintas formas en los cambios de dirección (codo recto, codo circular), o juegan con las proporciones de tubería cilíndrica frente a cónica, pero siempre manteniendo la longitud equivalente del instrumento. Aparte de estas modificaciones, existe otro campo cuyos resultados son mucho más sutiles [23]. Son cambios que sin modificar la estructura preexistente del instrumento introducen la adición de masas dinámicas o 'clappers' resonantes [5] [6]. Y dejamos para el final la cuestión del material de construcción que es el tema sobre el que vamos a trabajar en este artículo. En particular estudiaremos el latón con la adición de plata y con la adición oro.

Antes de hablar sobre la influencia de estas aleaciones en el sonido de los instrumentos de metal, recordemos que: es una tradición secular para los artistas de este gremio considerar al material de construcción como piedra angular de la calidad del instrumento. Por otra parte los constructores han conseguido con la oferta de diferentes materiales sobre un mismo modelo tener un abanico de posibilidades que aparentemente palie problemas sonoros particulares y específicos de los músicos: adecuándose también a los gustos y modas (lacado, sin laca, plata, oro, cobre, latón, pulido, etc.).

Sin duda, la atribución de las bondades sonoras al uso de un material determinado en la construcción del instrumento, es una cuestión no completamente resuelta a día de hoy. En el mundo de la acústica científica se mantiene un discurso con cierta polémica - una revisión bibliográfica contrastada se puede consultar el capítulo-I. *Do Wall Vibrations Influence Sound Production?* de la tesis de James Whitehouse [29], pero esta cuestión donde sigue viva de forma virulenta es en el terreno de los propios músicos. La razón puede ser quizás porque los resultados y opiniones que se han ido vertiendo desde los investigadores no han traspasado la frontera y no se han filtrado de forma natural en el ambiente de los intérpretes y constructores. Podemos aventurar que la acústica científica (académica) es una carencia endémica en el bagaje de conocimientos de los músicos en general, lo que provoca una falta de quórum al respecto y disparidad de opiniones en cuestiones acústicas. Por otra parte, en ningún caso debemos dejar caer en saco roto las interpretaciones hechas desde el punto de vista de los músicos, puesto que se debe reconocer que: una propiedad específica del sonido detectada por un oyente no es necesariamente medible, y el resultado de una medida de un experimento acústico no es necesariamente audible [29] [3].

Lo que nos lleva directamente a plantearnos que el músico/intérprete cuando toca el instrumento parece que no necesariamente se guía por el resultado acústico que el oyente recibe sino que más bien se deja guiar por las sensaciones que siente (eso que llamamos apoyos del instrumento) y por las que presiente en forma de imágenes sonoras pre-aprehendidas fruto de las horas de estudio, recursos interpretativos y conocimiento exhaustivo del instrumento utilizado. Es por lo que pensamos que lleguemos a la conclusión que lleguemos en este trabajo, siempre queda una parte difícil de explorar que es la comunión del músico con su instrumento; un universo de sensaciones y sentimientos.

2. ESTADO DEL ARTE

Es innegable que el tipo de metal tiene un gran atractivo para los músicos/intérpetres y los constructores. Como ya hemos apuntado existen grandes prejuicios alimentados por la tradición y en cierta manera por las modas o influencias ejercidas por tal o cual intérpetre de reconocido prestigio en su época. Por este motivo y con el afán de objetivar se ha ido produciendo gran cantidad de literatura específica en el campo de la acústica musical de carácter científico, que pretende aportar conocimiento experimental sin tomar partido por este o aquel material de construcción. Podríamos ubicar el inicio de los estudios sobre materiales de fabricación en instrumentos de viento en los albores del siglo XX donde destacan entre otros los trabajos de Werner Lottermoser sobre los tubos de órgano [15].

Los resultados de los innumerables trabajos que tratan la influencia del material de construcción del instrumento, y particularmente los de viento metal excitados por la vibración de los labios, son como cabría esperar contradictorios pues existen multitud de factores que no se puede asegurar que están controlados a la hora de comparar dicho comportamiento. El primero es que es imposible tener dos instrumentos idénticos puesto que la mayor parte de su factura es artesana, aunque en la actualidad se usen herramientas de mecanización numéricas, y además existe la contrapartida de que estos instrumentos se componen de varias piezas fabricadas independientemente que luego se ensamblan (no es un elemento monolítico). Todo esto hace que cada instrumento sea único y puede que cuando intentemos hacer comparaciones, sobre su calidad acústica, con otro, que presuponemos igual, existan diferencias en su comportamiento atribuibles a su manufacturación y no tanto a su aspecto exterior o composición del material con el que está fabricado.

Para conocer la genealogía de los distintos trabajos realizados es aconsejable consultar las tesis de Whitehose (2003) [30] y sobre todo la de Bracket (2007) [4] que recoge y amplia lo sucedido hasta una época más actual en donde podemos marcar como un hito incontestable los resultados obtenidos por Nachtmann y otros [18] donde se demuestra que la influencia de las vibraciones de las paredes son distinguibles en contra de lo relatado por Gautier [9]. Este hecho abre el camino de una posible influencia del material de construcción en función de su índice de amortiguamiento que es lo que se deduce del estudio de un material en vibración libre frente al mismo sobre-amortiguado externamente [18].

Pero ¿Será suficiente la diferencia de amortiguamiento entre dos materiales (por ejemplo: latón dorado “vs” latón plateado) para que se produzcan sonidos que se puedan juzgar como distintos por un oyente lejano? [26] [22].

A modo de reflexión y resumen de todo lo sucedido en el camino de estudio del fenómeno que nos atañe, aparte del tipo de material usado para la construcción del instrumento, podemos decir que las variables a conjugar son dispares: desde la influencia del tamaño, forma de la boquilla, diámetro del taladro del tudel y su relación con la amplitud de vibración inducida en la campana [16] [17]. Hasta el valor de las contantes elásticas de los distintos materiales [21], la no perfecta simetría circular de la sección transversal de la campana [10] [20], el espesor y su uniformidad, la forma de la sección longitudinal de la campana y la relación del truncamiento del cono frente al diámetro del enlace con la sección cilíndrica del cuerpo [7]

Otra cuestión a tener en cuenta es el efecto de coincidencia espacial que corresponde a la condición de adaptación entre el perfil acústico y los modos estructurales [2]. Si estos dos fenómenos ocurren al mismo tiempo, el efecto de vibración se hace realza y las resonancias acústicas y las anti-resonancias del tubo pueden ser significativamente alteradas [21] [28] [19].

También se debería tener en cuenta el factor humano, ya que el intérpetre puede que sea capaz de encontrar apoyos o respuestas del instrumento, no detectables por un receptor alejado, ya sea por causas de retroalimentación vibro-acústica a través de la boquilla, en la mano por contacto directo [14] [11] o por vía aérea ya que aunque el sonido radiado por la estructura es muy débil 30 decibelios o menos que el emitido en el frontal del instrumento [13] cabe la posibilidad que el músico si que pueda escuchar esa pequeña fracción de energía dada su cercanía y posición relativa a la campana [24].

De forma anecdótica se puede pensar que también existe la posibilidad de que instrumentos que se fabrican con la intención de ser de gran calidad se tratan con más minuciosidad y cuidado en todos sus aspectos de construcción y eso puede marcar diferencias notables en la respuesta en impedancia que depende en gran manera de la forma en si, y de las soluciones mecánicas adoptadas para el entronque de las diferentes partes que compone un instrumento: válvulas, curvaturas, enlaces con las partes deslizantes y sección elegida para la campana, así como la simetría alrededor del eje longitudinal que contiene a la columna de aire, etc.

Con todo, no hay que olvidar que la principal característica que determina la calidad del sonido en los instrumentos de viento metal está definida por la columna del aire vibrante confinada en el interior de las paredes del instrumento, por la forma del instrumento y su boca o entrada (boquilla) [1] [8], junto con las características fisionómicas del intérprete: calidad de la fuente de vibración, musculatura peribucal, uso correcto de los resonadores intraorales [12] y apertura glotal restringida [25]. En definitiva, el máximo exponente en el timbre del sonido de los instrumentos de metal es definido por el aire vibrante confinado en el interior del instrumento [27].

Por todo la expresado hasta aquí, no podemos asegurar que el material de construcción ocupe un lugar preponderante en la composición del sonido, sino que es un factor cuya influencia es sutil, aunque puede que sea decisivo para definir ciertas cualidades tímbricas diferenciadoras.

3. MATERIAL

Para la realización y desarrollo del trabajo de campo la instrumentación utilizada ha sido:

- **Grabación.**

✓ Trompeta *Máster* Stomvi en Sib, tudel 3 y campana intercambiable de diámetro 25 *bellflex* construidas en dos combinaciones diferentes. A) latón-oro y B) latón-plata. Desde ahora nos referiremos a ellas como 'oro' y 'plata'.
✓ Boquilla de trompeta Classic 3C standar
✓ Afinador (app para móvil n-Track Tuner)
✓ Tarjeta de sonido Alesis io2 para la adquisición de datos.
✓ Micrófono de medición Behringer.
✓ Transductor contacto Schertler Dyn Uni P48.

Figura 1- Campanas y cuerpo de la trompeta

- **Edición de audio y Análisis.**

✓ Audacity.
✓ dBFa.
✓ Microsoft Excel.

4. MÉTODO

Para abordar el análisis y sobre la posible influencia del material de construcción en el sonido hemos hecho una grabación simultanea aire-contacto, figura 2, (en el aire con el micrófono *Behringer*, y de contacto con el transductor *Schertler Dyn Uni P48*).

Figura 2 - Disposición de medida

Dividimos la campana en 4 partes radiales sobre las que colocamos el transductor de contacto. En cada parte se ha analizado la serie armónica y se han realizado un total de 3 repeticiones no consecutivas. Es decir, cada nota se ha medido 12 veces por campana.

Se han realizado dichas grabaciones simultáneas para las 10 notas correspondientes al índice acústico Sib3 –Mib6. Posteriormente se comparan los correspondientes espectros armónicos obtenidos por ambas vías.

Además se obtuvo la respuesta en frecuencias de cada campana golpeándolas con un percutor de maza toroidal de caucho como los que se usan para excitar los diapasones. Con los resultados obtenidos estimaremos el coeficiente de amortiguamiento para encontrar cuál es la diferencia relativa de sus propiedades elásticas en vibración aunque sea de forma aproximada.

5. RESULTADOS

En primer lugar mostraremos los resultados extraídos tras la grabación y análisis de la serie armónica. Elegiremos, dada la extensión y comportamientos de gran similitud, tres notas como representativas: Sib (233 Hz), Re6 (1148 Hz) y Re5 (587 Hz). Al realizar la comparación de los espectros obtenidos con el micrófono y transductor de desplazamiento encontramos que, tal como se esperaba, existe una relación evidente. Normalmente van aparejados los máximos del metal (contacto) con los de la columna del aire (micrófono). Se puede observar también que aparecen desplazamientos en las frecuencias para armónicos superiores entre la misma nota en 'oro' y 'plata'. El análisis que vamos a realizar usaremos la siguiente nomenclatura para el tipo de transductor: "aire" para micrófono y 'contacto' para transductor de contacto. Para el tipo de material de la campana usaremos como ya hemos dicho 'oro' y 'plata'. Al final, se muestran los resultados de la respuesta al impulso producido por el golpe del percutor.

5.1 Respuesta Sib (233 Hz): Favorable para el 'oro' frente a la 'plata' en el espectro de contacto. Comportamiento indiferente para espectro aéreo.

Mostramos, figura 3, el caso de Sib3 como ejemplo de los resultados, donde en función de los máximos obtenidos podríamos suponer que de alguna manera la campana de oro debería favorecer al intérprete; el cual podría encontrar un apoyo que le ayudara a obtener mejor calidad sonora en el tono emitido en este caso. Pero aunque resulte contradictorio, si tenemos en cuenta los parciales que obtenemos de la grabación aérea del mismo tono, figura 4, se observa que no existen diferencias entre 'oro' y 'plata'. Por lo que las diferencias que inicialmente se encontraron para el transductor de contacto no se traducen en el sonido aéreo recibido.

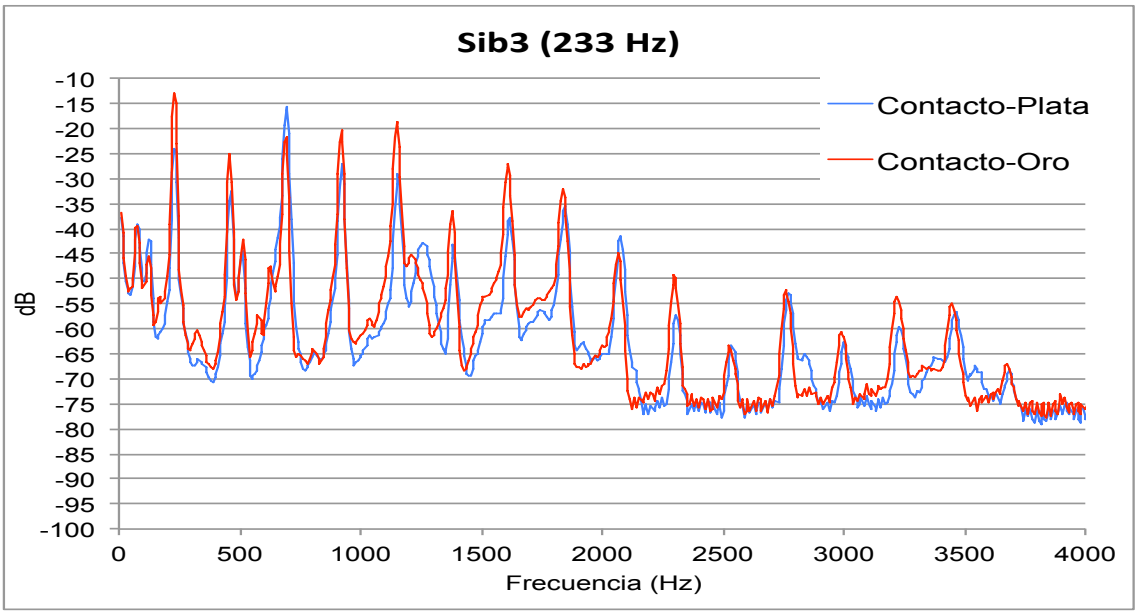

Figura 3 – Espectro contacto para la nota Sib3 para los materiales 'plata' (azul) y 'oro' (rojo)

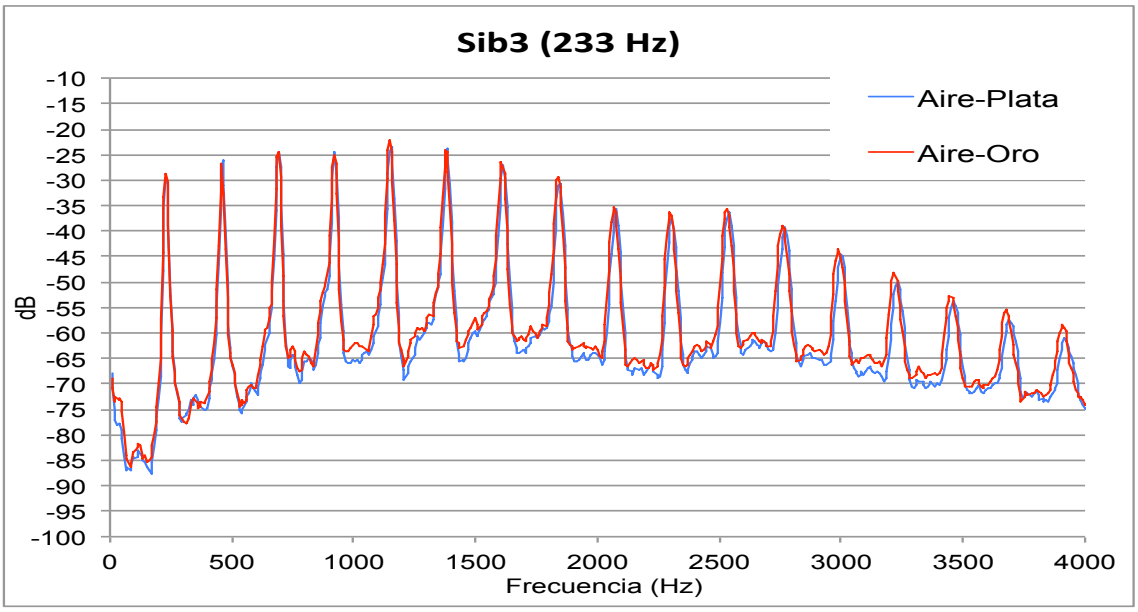

Figura 4. Espectro aéreo para la nota Sib3 para los materiales 'plata' (azul) y 'oro' (rojo)

5.2 Respuesta Re6 (1148 Hz): Similar para el 'oro' frente a la 'plata' en el espectro de contacto. Comportamiento con leves diferencias en el espectro aéreo a favor del 'oro' .

Para el tono Re6, que tomamos como representante en este caso, la respuesta para el transductor de contacto es muy parecida en ambos materiales, pero con una leve diferencia positiva para el 'oro' alrededor de los 3000 Hz, figura 5.

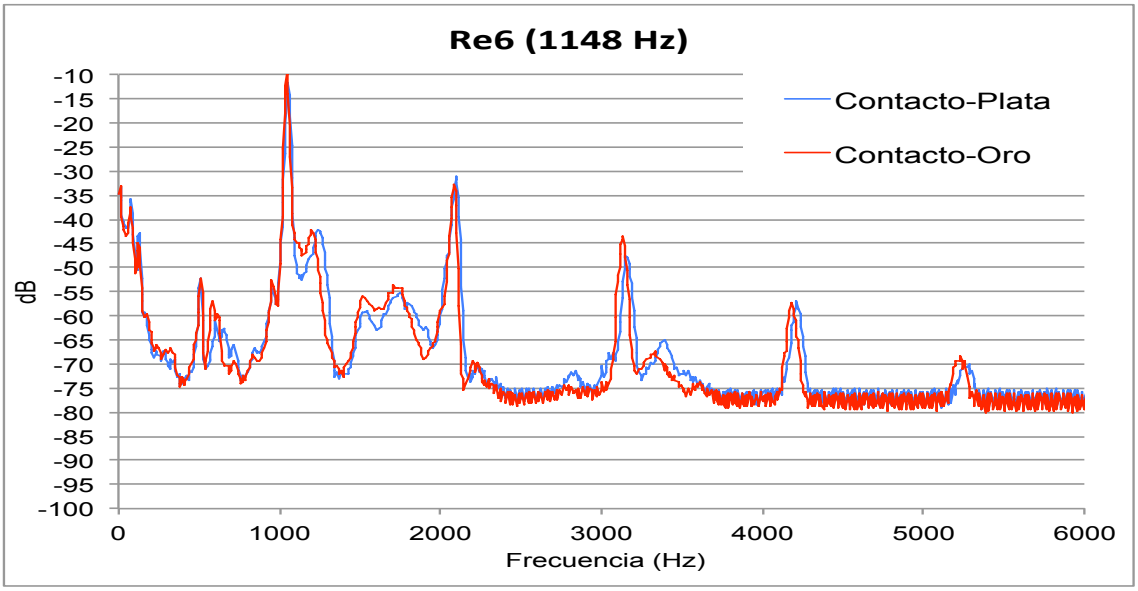

Figura 5 – Espectro contacto para la nota Re6 para los materiales 'plata' (azul) y 'oro' (rojo)

Lo más significativo es el desplazamiento relativo de los máximos para cada aleación que se da a partir de dicha frecuencia. Si tenemos en cuenta los máximos que obtenemos del micrófono, ver figura 6, se observa que para estas nota existen leves diferencias, en la zona de desplazamiento relativo, a favor ahora para la campana plateada.

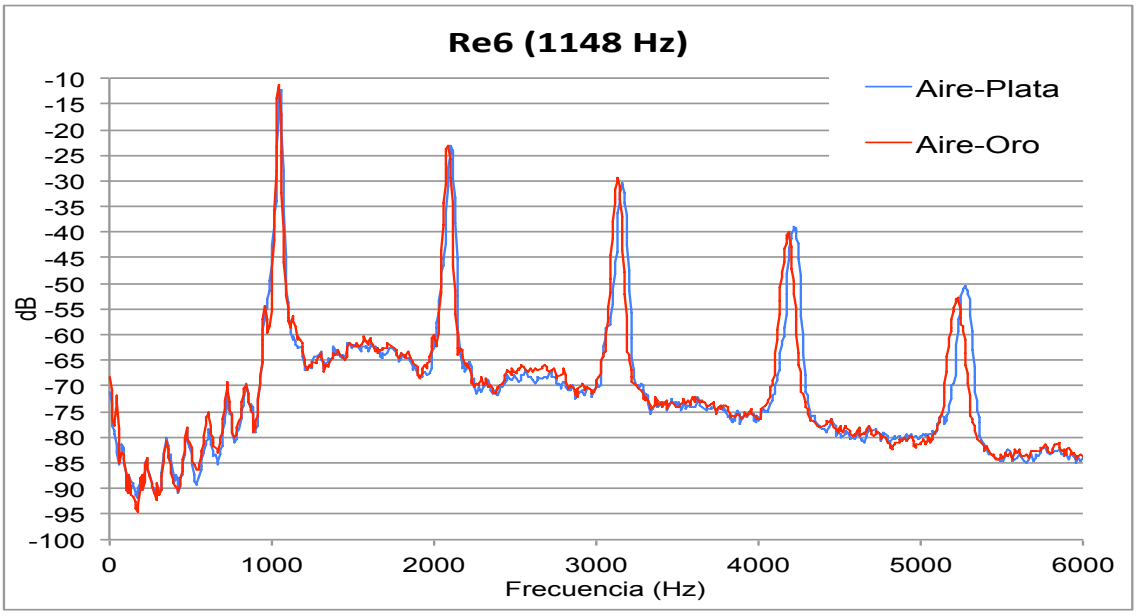

Figura 6. Espectro aéreo para la nota Sib3 para los materiales 'plata' (azul) y 'oro' (rojo)

5.3 Respuesta Re5 (587): Favorable para la 'plata' frente a la 'oro' en el espectro de contacto. Comportamiento indiferente para espectro aéreo.

En las notas Re5, Fa5, Sib5, Do6, y Mib6 la respuesta del transductor de contacto es mayor para la campana de plata, tal y como se observa para Re5, en la figura 7, que tomamos como muestra para este caso.

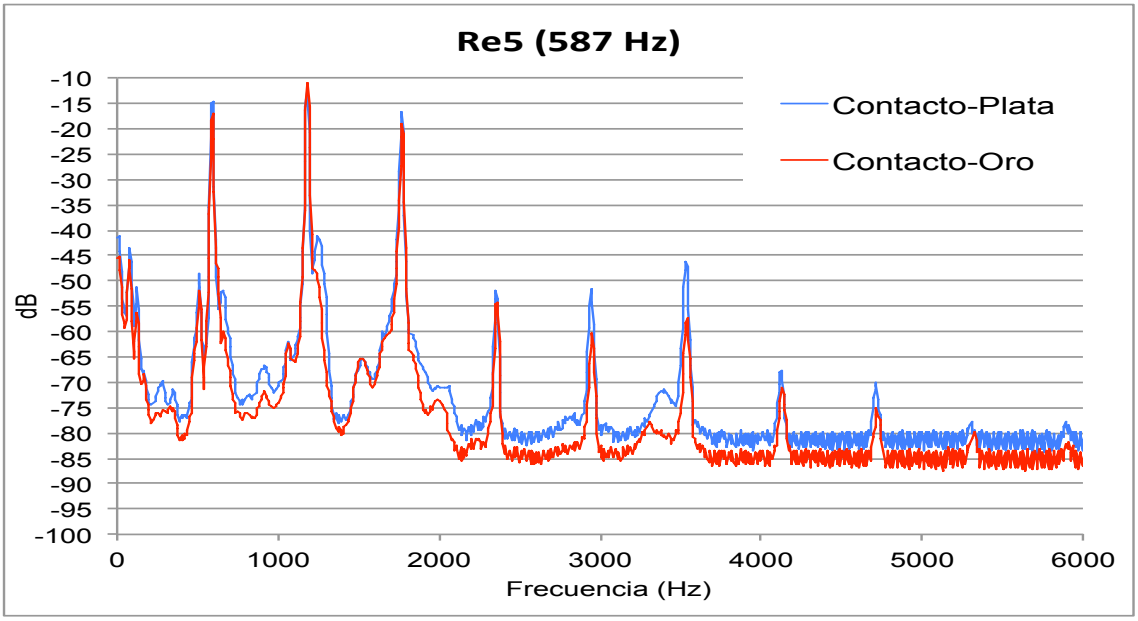

Figura 7 – Espectro contacto para la nota Re5 para los materiales 'plata' (azul) y 'oro' (rojo)

De nuevo a la vista del espectro aéreo, ver figura 8, no se traduce ni refleja la diferencia favorable encontramos para el contacto en la plata.

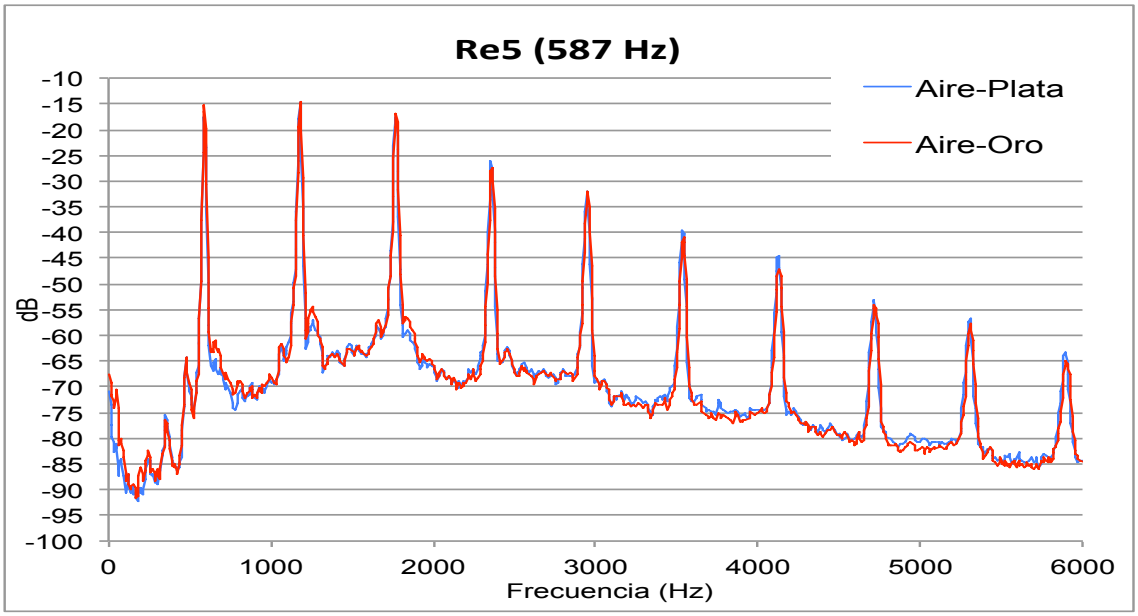

Figura 8. Espectro aéreo para la nota Re5 para los materiales 'plata' (azul) y 'oro' (rojo)

5.4 Tiempo de reverberación estructural.

Se ha realizado el registro de la caída temporal de la energía tras golpear ambas campanas, mientras estaban roscadas al cuerpo del instrumento. La excitación la producimos golpeando las campanas con la baqueta percutora en cinco puntos diferentes a lo largo del eje longitudinal, y grabamos el resultado en cuatros puntos distribuidos radialmente en el quinto final de la campana. Se muestra, figura 9, el valor promedio del tiempo de reverberación estructural resultante de las excitaciones, para cada campana.

El tiempo de reverberación estructural está asociado con el concepto de amortiguamiento o mejor con lo que se suele conocer como 'factor de pérdidas' que habitualmente se expresa, ecuación 1, donde se ve claramente la relación inversa del tiempo de reverberación con este índice de amortiguamiento:

$$\eta_n = \frac{2.2}{Tr_n \bullet f_n}$$; 'n' indica la frecuencia de cálculo. (ec.: 1)

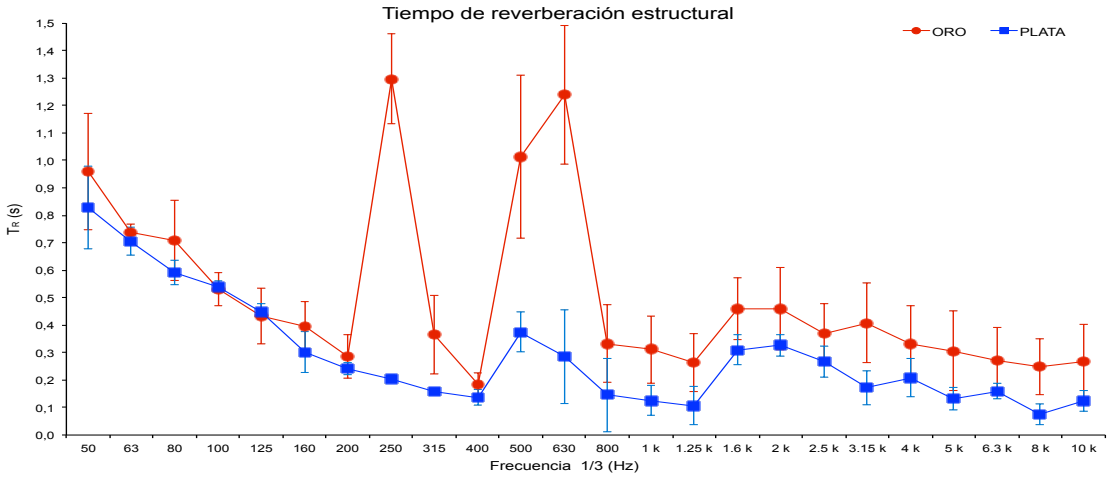

Figura 9. Tiempo de reverberación estructural para las campanas 'plata' (azul) y 'oro' (rojo)

Se puede ver que la campana dorada, respecto a la de plata, tiene un comportamiento menos amortiguado en las bandas de 250 Hz, 500 Hz y 630 Hz. Mientras que la de plata presenta un máximo relativo alrededor de 500 Hz pero mucho menor que los obtenidos para el oro.

5.5 Espectro en tercios de octava de frecuencia para la respuesta percusiva.

Haciendo uso del mismo conjunto de registros que en apartado anterior, se encontró el espectro promedio para cada material. En este caso se ve claramente que las bandas excitadas principalmente son 250 Hz y 630 Hz en el 'oro' y 500 Hz en la 'plata'. Cabe resaltar que mientras que en el tiempo de reverberación parecía claro que la banda de 500 Hz entraba a formar parte de la vibración para la plata, ahora no tiene relevancia. Quizás en el decaimiento temporal los tercios de octavas de 500 Hz y 630 Hz tuvieran cierta interdependencia modal, mientras que en el resultado del espectro global al desparecer la lectura temporal tan solo quedara destacado 630 Hz como vemos en la figura 10. También cabe subrayar que en el caso de la campana plateada creemos que sólo cabe destacar el máximo de 500 Hz.

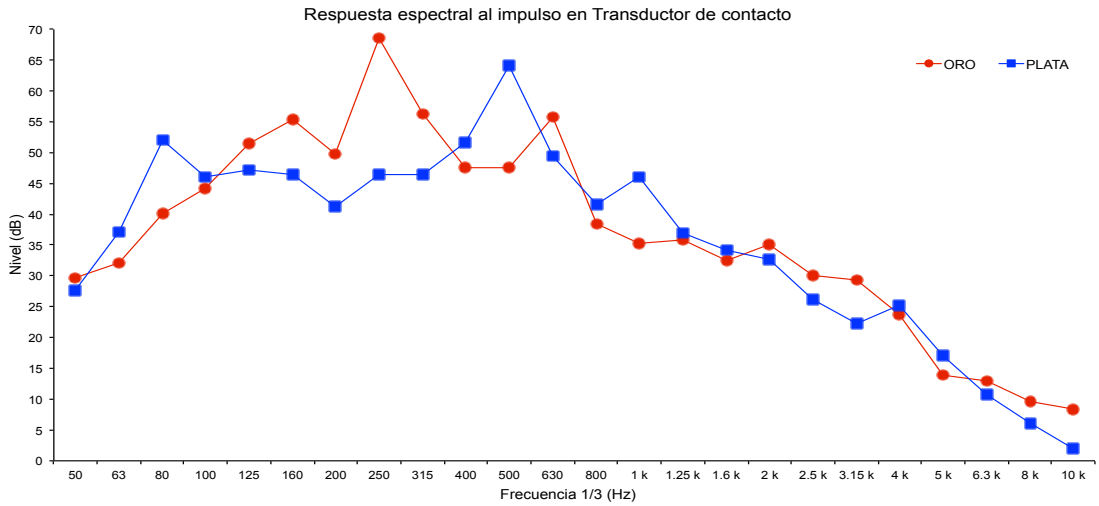

Figura 10. Espectro de la respuesta a percusión de las campanas 'plata' (azul) y 'oro' (rojo)

6. CONCLUSIONES

El aporte de la vibración de la campana al sonido percibido por vía aérea en función del tipo de material elegido para su fabricación, y en particular estas dos aleaciones de latón-oro, latón-plata usados en la trompeta Máster Sib de Stomvi, es confuso puesto que, desde nuestro punto de vista, no existe relación alguna que sea relevante. También puede que dicha confusión resida en el procedimiento usado en esta experiencia, que quizás no sea el adecuado [28] [3].

NOTAS	FRECUENCIAS	MEJOR CONTACTO	MEJOR AIRE	DESPLAZAMIENTO CONTACTO	DESPLAZAMIENTO AIRE
1	Sib3 (233Hz)	ORO	IGUAL	NO	LEVE>3000Hz
4	Re5 (587Hz)	PLATA	IGUAL	NO	NO
8	Re6 (1147Hz)	ORO*	IGUAL	LEVE>3000Hz	SI>3000Hz

Tabla 1. Resumen de resultados para las notas estudiadas en cada campana.

En la tabla 1, mostramos un resumen general de los resultados obtenidos usando como representantes las notas que ya hemos mostrado en el apartado de resultados. Se puede destacar cierto desplazamiento en frecuencias que en principio se podrían atribuir al factor humano, pero pensamos que si los resultados son el promedio de al menos una docena de interpretaciones de cada tono, esa desafinación que aparece en las frecuencias a partir de los

3000 Hz, no es anecdótica. Con respecto a la cuestión de las aparentes mejoras en las grabaciones de contacto como no se ha encontrado su contrapartida en las grabaciones aéreas, no podemos extraer conclusiones particulares. Creemos que todo esto afianza la idea de que el aporte cromático de la vibración de la campana del instrumento es de muy baja intensidad acústica frente a la energía que recibimos de la vibración de la columna de aire como ya comentamos [13] [24]. Pero también y a pesar de que nuestros resultados niegan influencia alguna entre metal y aire; se debe de tener en cuenta que los músicos dicen, en algunos casos, encontrarse más cómodos o marcan diferencias subjetivas que los decantan por uno u otro material, y es muy probable que dichas diferencias hagan que su interpretación pueda resultar de mejor calidad sonora y hasta se podría traducir en que los oyentes puedan apreciar esa diferencias en su ejecución [14] [11].

Dejamos para el final la cuestión del amortiguamiento de la vibración de la campana. Tal y como hemos referenciado [18] este tema es uno de los determinantes en el asunto que estamos discutiendo.

Los valores obtenidos para el tiempo de reverberación estructural para este par de campanas, figura 9, indican claramente que sus coeficientes de amortiguamiento son elevados (tiempos de reverberación estructural bajos) y tan solo destacan un par de bandas en el caso del 'oro'.

Por otra parte mostramos en la figura 10 el espectro de respuesta al impulso percutido en bandas de tercio de octava, se puede encontrar una correlación clara con los resultados del tiempo de reverberación salvo para la banda de 500 Hz que desaparece para el oro, como subrayamos en el apartado precedente.

Si ahora hacemos una valoración conjunta de los resultados de los desplazamientos de las campanas durante la ejecución de los tonos correspondientes junto con la información que se puede inferir del amortiguamiento aparente que hemos determinado con ayuda de los golpes. Podemos decir para la nota Sib3-233 Hz en la campana dorada, que su mejor comportamiento frente a la campana de plata puede ser atribuible al hecho de que en la banda de 250 Hz, para el 'oro' se obtiene un tiempo de reverberación elevado (1.3 segundos), y en la campana de 'plata' la reverberación es extremadamente baja.

Algo similar podríamos decir de la situación en la que la 'plata' responde mejor, nota Re5-587 Hz, en este caso aunque el 'oro' muestra un tiempo de reverberación relativamente alto, no es así en la respuesta en frecuencias en la banda de 500 Hz como ya hemos comentado, pero justo en esa banda es donde la plata muestra su máximo en frecuencias para la respuesta al golpe. Y puede que sea por esta causa que la campana plateada se comporte mejor en dicha frecuencia en particular.

Podemos apuntar que el amortiguamiento que se puede deducir para este par de especímenes a partir del tiempo de reverberación estructural es a nuestro parecer muy elevado. Por lo que en este caso pensamos que será muy difícil encontrar, con evidencia fehaciente, influencias de la vibración de dichas campanas en el sonido aéreo percibido del instrumento por un oyente alejado [26] [22].

Para terminar podríamos admitir, que para los modelos estudiados y con el método experimental propuesto, el metal no tiene relevancia suficiente para influir objetivamente en el sonido del intérprete pero sí puede afectar a sus sensaciones. Es aquí, en este dilema, dónde radica el éxito del metal de construcción: no podemos negar que subjetivamente es importante para los músicos porque afecta a sus sensaciones, y en consecuencia a la calidad de su interpretación.

BIBLIOGRAFÍA

[1] Agulló, J.: *Acústica Musical*. Barcelona: Prensa Científica S.A. 1989.

[2] Andrew Morrison, P. L. Hoekje. *Internal sound field of vibrating trombone bell*. The Journal of the Acoustical Society of America 101, 3056 (1997); http://dx.doi.org/ 10.1121/1.418711

[3] Bertsch M.: *Bridging Instrument Control Aspects Of Brass Instruments With Physics-Based Parameters.* Proceedings of the Stockholm Music Acoustics Conference, August 6-9, 2003 (SMAC 03), Stockholm, Sweden

[4] Brackett D. J.: *The Optimisation Of Brass Instruments To Include Wall Vibration Effects*. Ph.D.Th. Loughborough University. September 2011

[5] Esteve Rico, J. C., Castiñeira-Ibáñez, S., Vera Guarinos, J. Rubio Michavila, C.: *Influencia de las campanas resonadoras (Maxiclappers) en la respuesta en impedancia y en el timbre de los instrumentos de viento metal.* Portugal: Euroregio 2016 - ISBN: 978-84-87985-27-0 / ISSN: 2340-7441

[6] Esteve Rico, J. C., Vera Guarinos, J.: *Estudio de la influencia de la masa dinámica del transpositor de un "trombón de varas" en función de su espectro de impedancia acústica.* Valencia: Tecniacústica 2015 - ISBN: 978-84-87985-263 / ISSN: 2340-7441

[7] FLETCHER, N., ROSSING, T. *The Physics of Musical Instruments*. New York: Springer, 1998, p. 730-731

[8] Freour, V.: *Acoustical properties of the vocal-tract intrombone performance*. Aalborg, 2011.

[9] Gautier, F., Secail-Geraud M., Gilbert, J. *Analysis of vibroacoustics of trombone bells thanks to an adaptation of the Miller experiment*. Journal of the Acoustical Society of America · May 2013 DOI: 10.1121/1.4806442

[10] Hoekje, P. L., Morrison, Andrew.: *Finite-element analysis of vibrating trombone bell.* Journal of the Acoustical Society of America 105, 1126 (1999); http://dx.doi.org/10.1121/1.425257

[11] Hoekje, P. L., Payne, C. A., Kjar. D. N.: *Brass instrument bell vibrations and coupling to air modes.* The Journal of the Acoustical Society of America 94, 1806 (1993); doi: 10.1121/1.40787

[12] Kemp, J. A., Smith, R. A. *Measuring the effect of the reflections sound from lips in brass musical instruments.* Nantes: Société Française d'Acoustique, 2012.

[13] Knauss, H. P., Yeager, W. J.: *Vibrations of the walls of cornet*. Journal of the Acoustical Society of America 13, 160-162

[14] Lawson, B., Lawson, W.: *Acoustical characteristics of annealed French horn bell flares.* The Journal of the Acoustical Society of America 77, 1913 (1985); doi: 10.1121/1.391834

[15] Lottermoser, W.: *Der Einfluß des Materials von Orgel-Metallpfeifen aufihre Tongebung.* Akustische. Zeitschrift (Acoustic Journal), Vol. 2, pp.129–134, May 1937

[16] Moore, T. R. (2006).: *The science of the mouthpiece: What is and isn't known.* Int. Trumpet Guild J. 30(2), 57

[17] Moore, T. R., Shirley, E. T., Codrey I. E. W., Daniels, A. E.: *The Effects of Bell Vibrations on the Sound of the Modern Trumpet.* Acta Acustica United With Acustica Vol. 91 (2005) 578 – 589

[18] Nachtmann G., Kausel W., Mayer A.: *Bell Vibrations And Radiated Sound Of Brass Wind Instruments – Is There An Audible Correlation?* 3rd Congress of the Alps Adria Acoustics Association. 27–28 September 2007, Graz – Austria

[19] Nederveen, C. J., Dalmont, J. P.: *Pitch and level changes in organ pipes due to wall resonances.* Journal of Sound and Vibration 271 (2004) 227–239

[20] Picó, R., Gautier, F.: *The vibroacoustics of slightly distorted cylindrical shells: A model of the acoustic input impedance.* Journal of sound and vibration, 2007, 302(1), 18-38

[21] Picó, R., Gautier, F., Redondo, J.: *Acoustic input impedance of a vibrating cylindrical tube.* Journal of sound and vibration, 2007, 301(3), 649-664.

[22] Pyle, R. W. Jr.: *The Effect Of Surface Coatings Upon Brass-Instrument Tone Quality*. The Journal of the Acoustical Society of America 69, S37 (1981); doi: 10.1121/1.386293

[23] Sandborn, C.: *Confessions of a brass repair man: an interview with Ron Partch*. J. Int. Trumpet Guild 22 (1997) 27–30.

[24] Smith, R.: *The effect of material in brass instruments: a review.* Proc. of the Inst. of Acoustics 8 (1986) 91–97.
Accesible en: http://la.trompette.free.fr/Smith/IOA/material.htm

[25] 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.

[26] Watkinson, P. S., Browsher, J. M.: *Vibration Characteristics Of Brass Instrument Bells-Watkinson*. Journal of Sound and Vibration (1982) 85(I), 1-17

[27] Weber, K.: *Die Posaune Einluftklinger.*
accesible en: http://karlheinzweber.de.

[28] Whitehouse, J. W., Sharp, D.B., Harrop, N.D.: *An investigation into wall vibrations induced in wind instruments constructed from different metals.*
Accesible en: http://la.trompette.free.fr/whitehouse.pdf

[29] Whitehouse, J.: *A Study Of The Wall Vibrations Excited During The Playing Of Lip-Reed Instruments*. Ph.D.Th. Technology Faculty The Open University 31st. October 2003