

ANÁLISIS MATEMÁTICO DE LA AFINACIÓN DE LA TROMPETA

PACS: 43.75.Fg

José Ibáñez Barrachina¹; Vicente Liern Carrión²

¹Conservatorio Profesional de Música de Murcia
Cartagena, 74. Cuartel de Artillería pabellón nº 3. 30002 Murcia
Fax: 963 828 370

E-mail: jose.ibanez@ono.com.

²Departamento de Matemática para la Economía y la Empresa.
Universidad de Valencia, Av. Tarongers, s/n. 46071 Valencia.

Fax: 963 828 370

E-mail: vicente.liern@uv.es

ABSTRACT

The aim of this work is to analyze the different tuned possibilities for the trumpet. We summarize the results of four experiences with non-ordered notes, ordered notes and two fragments by Haydn and Béla Bartók. We show how the percentages of well tuned notes in each system strongly depends on the nature of the performed passage.

RESUMEN

El propósito de este trabajo es analizar las diferentes posibilidades de afinación que ofrece la trompeta. Resumimos los resultados obtenidos con cuatro experimentos hechos con notas no ordenadas, con notas ordenadas y con dos fragmentos de Haydn y Béla Bartók. Mostramos que los porcentajes de notas bien afinadas dependen sensiblemente de la naturaleza de la música que se interpreta.

1. INTRODUCCIÓN

En 1948, N. A. Garbuzov publicó un trabajo, *The zonal nature of the human aural perception*¹, en el que se analizan doce compases del aria de la suite en Re de J. S. Bach interpretados por tres afamados violinistas: Oistrach, Elman y Cimbalist. En este artículo se demostraba que, con una precisión de cinco cents, la gran mayoría² de las notas interpretadas por estos violinistas no pertenecían al sistema de afinación en el que los músicos pensaban que estaban afinados, el temperamento igual de doce notas. Algunas de estas notas correspondían a otros sistemas habituales pero el resto no eran de ningún sistema. Sin embargo, cuando se escuchaba el pasaje, la sensación no sólo era agradable sino que, incluso personas dotadas de un oído muy sensible, calificaron su interpretación como bien afinada.

Surge así una cuestión que creemos que merece ser analizada con mayor detalle. Podría pensarse que el resultado de la experiencia de Garbuzov se ha visto forzado al realizarse con violines, puesto que en al no tener trastes, la afinación depende en gran medida del ejecutante.

¹ Aunque el trabajo original se publicó en ruso, puede encontrarse una descripción de esta publicación en Haluska (2000).

² En concreto, sólo el 21%, 27% y 19% de los intervalos interpretados por Oistrach, Elman y Cimbalist, respectivamente, podían considerarse del temperamento igual de doce notas.

Es cierto que en instrumentos de afinación fija no podría haberse llevado a cabo un experimento de estas características pero, ¿qué ocurre con la mayoría de instrumentos de viento o de cuerda sin trastes? O quizá debamos replantear la pregunta de otro modo: ¿A qué nos referimos cuando aceptamos que una nota o pasaje están bien afinados?. Sin duda, responder a esta pregunta ha sido y continúa siendo motivo de discusión de muchos estudiosos de la Acústica Musical.

En este trabajo hacemos un estudio de la afinación de la trompeta que contempla las formas más habituales de afinar en la orquesta clásica actual: la afinación pitagórica, la justa entonación, el temperamento de Hölder y temperamento igual de doce notas (para ampliar información acerca de estos sistemas puede consultarse, por ejemplo, Challey, Challan, 1965; Calvo-Manzano, 1991; Goldáraz Gainza, 1992). Por ello, hemos recurrido a cuatro experimentos que a continuación describimos brevemente.

2. EXPERIMENTOS

Hemos realizado grabaciones en diferentes escenarios (varias trompetas, varios días, horas diferentes) intentando conseguir que los documentos sonoros objeto de estudio representen de la forma más fiel posible a la práctica habitual del intérprete. Hemos analizado estos archivos y a continuación mostramos³ los resultados obtenidos.

Las grabaciones se han realizado en base a dos marcos conceptuales, uno, la afinación **estática** en el que cada nota es tratada de forma separada, y otro, la afinación **dinámica** tratando las notas dentro de su contexto. En la afinación estática se han grabado por una parte sonidos seriados (la escala cromática), y por otro, sonidos no seriados (notas sueltas con distintas posiciones). En la afinación dinámica se han utilizado fragmentos de dos obras completamente diferentes en cuanto a estilo, de forma que cada nota que se analiza esté dentro de su contexto musical. Hemos grabado un fragmento del *Concierto en Mi bemol Mayor*, Hob. VIIe, N. 1 para trompeta y orquesta de Franz Joseph Haydn (1732-1809) y un fragmento del Adagio de *Música para cuerda, percusión y celesta* (1937) de Béla Bartók (1881-1945).

El objeto de estos experimentos es conocer las distintas afinaciones que suelen producirse en un instrumento de viento donde la afinación puede estar sujeta a la interpretación del ejecutante o a las características propias del instrumento. Para ello hemos utilizado diferentes tipos de trompetas sin cambiar al intérprete y sin modificar el lugar de la grabación así como sus características propias como la temperatura y la humedad. Las mediciones han sido realizadas con el programa informático gratuito Audacity[®] y con dos afinadores cromáticos de gama media al alcance de cualquier músico. Los instrumentos utilizados han sido trompetas con diferentes afinaciones y de diferentes marcas: Una trompeta en si^b Yamaha Xeno, una trompeta en si^b Vincent Bach Stradivarius mod. 37, una trompeta en do Vincent Bach Stradivarius mod.7R, una trompeta en mi^b Schilke mod. E3L y un piccolo en si^b agudo Scherzer⁴.

1.1 Afinación Estática

Experimento 1: Escala cromática

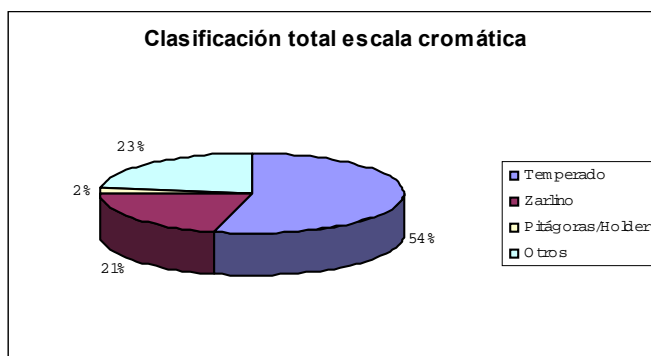
Hemos realizado 5 grabaciones de cada una de las notas de la escala cromática. Algunas de ellas, como pueden obtenerse con más de una posición, se han ejecutado con todas las digitaciones habituales excluyendo las se pueden obtener como armónicos. Se ha medido cada nota tres veces con cada afinador y se ha anotado el intervalo de variación.

³ El número de datos que se ha manejado, así como los objetivos perseguidos en este trabajo, han desaconsejado técnicas estadísticas que fuesen más allá de la descripción mediante diagramas de frecuencias.

⁴ Además hay que hacer constar que todas las trompetas utilizadas en este trabajo son propiedad del intérprete con una excepción, la trompeta en si^b Vincent Bach Stradivarius mod. 37, de manera que se tenga en cuenta el grado de familiaridad con el instrumento.

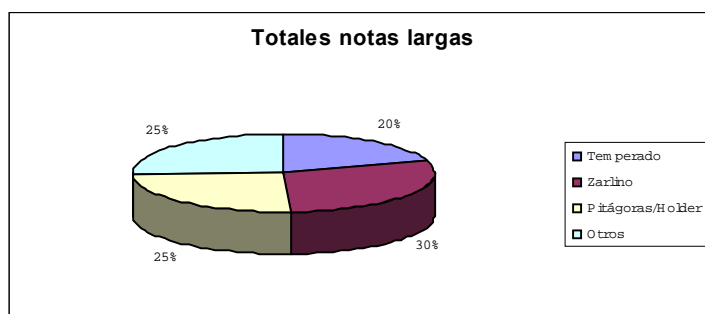
De acuerdo con la desviación observada, hemos clasificado cada nota dentro del sistema de afinación al que pertenece. En algunos casos esta clasificación no ha sido posible porque la nota grabada no forma parte de ninguno de los cuatro sistemas de afinación utilizados.

A grandes rasgos, observamos que en el 54% de las notas su afinación se corresponde al sistema temperado, el más utilizado actualmente, en un 23% al sistema de Zarlino que corresponde a la afinación natural de los armónicos del instrumento. El 21% pertenece a otros sistemas de afinación y sólo el 2% de las grabaciones ha resultado corresponder exclusivamente a la afinación de Pitágoras/Holder.



Experimento 2: Notas largas

Al contrario de lo que ocurría con la escala cromática, al ejecutar las notas sin referencia alguna, el sistema temperado igual de 12 notas ya no es mayoritario. A pesar de lo que pudiese pensar el intérprete, sólo aparece en el 20% de las grabaciones mientras que el porcentaje en el sistema de Zarlino es del 30% y en el de Pitágoras/Holder del 25%.

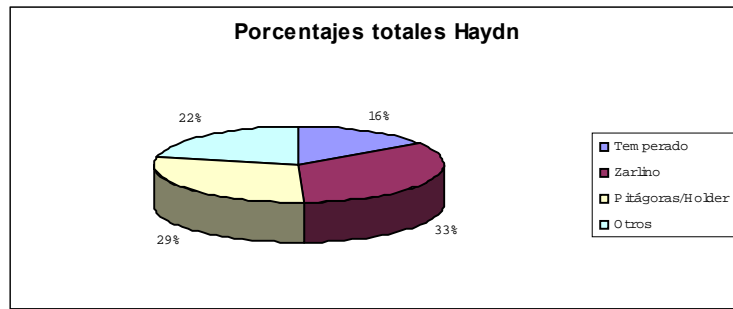


2.2 Afinación Dinámica

Experimento 3: Concierto en Mi bemol Mayor, Hob. VIIe, N. 1 de Franz Joseph Haydn

Para el experimento 3 se ha interpretado en 48 ocasiones el fragmento que comprende 23 compases, situados entre el compás 37 y 59, ambos inclusive, del Primer tiempo (allegro) de la citada obra. Hemos obtenido dos clases de resultados, por una parte los globales que nos indican en qué sistema está afinada cada nota y, por otra parte los resultados según la trompeta con la que se interpreta, el cual nos aconsejará el instrumento más adecuado en función de un mayor número de notas afinadas.

El estudio global muestra que el sistema de Zarlino es el más utilizado con un 33%, Pitágoras/Holder un 29% y por último el sistema temperado igual de 12 notas con un 16%. El restante 22% son notas que no se corresponden con ningún sistema de los empleados en este trabajo.



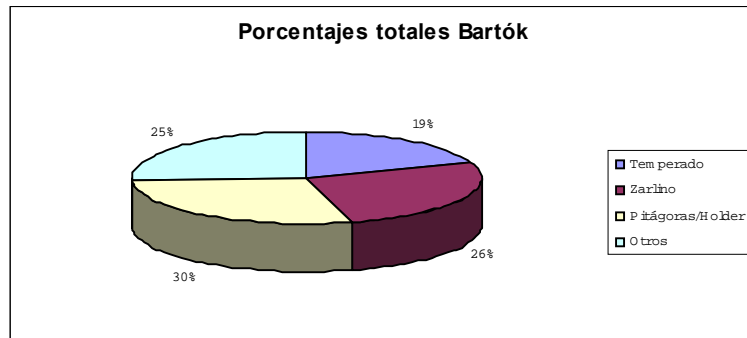
En cuanto a la elección del instrumento más adecuado (entre los utilizados para este experimento) para la ejecución de este fragmento cabe destacar que la trompeta en mi^b es la que obtiene los mejores resultados con un 80% de notas afinadas dentro de algún sistema de los empleados.

Experimento 4: Adagio de Música para cuerda, percusión y celesta de Béla Bartók

El fragmento que hemos analizado es el formado por los tres compases siguientes:



Se han realizado un total de 22 grabaciones de este fragmento con varias trompetas. Como hemos hecho con el fragmento anterior, presentamos primero los resultados globales y posteriormente analizamos, mediante la observación de la frecuencia con que se obtienen las notas afinadas en cada sistema, la relación entre la bondad de la afinación y la trompeta empleada.



Los resultados nos muestran que con un 30% la afinación de Pitágoras/Holder resulta mayoritaria seguida de la de Zarlino con un 26%, curiosamente el sistema temperado igual de 12 notas sólo aparece en un 25% mientras que el restante 19% no corresponde a ninguno de los sistemas estudiados.

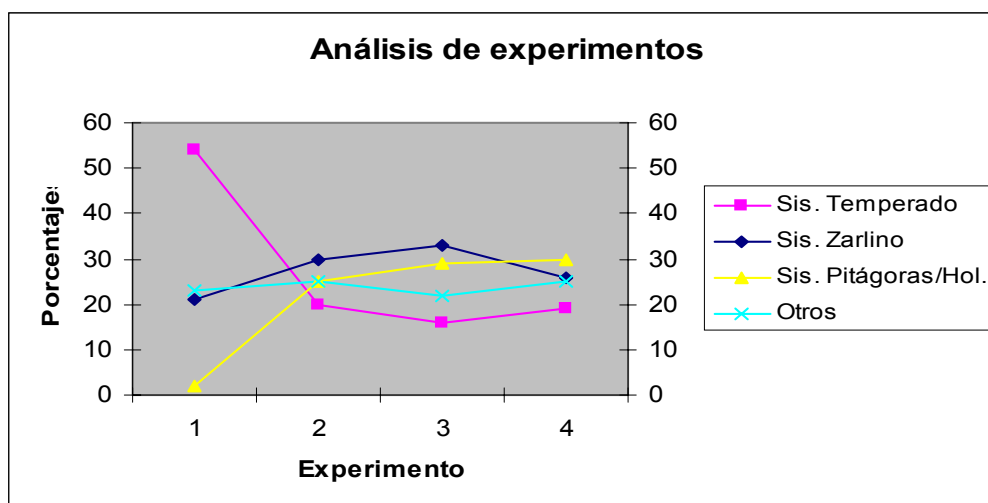
Como hemos hecho anteriormente con el experimento del concierto para trompeta y orquesta de F.J.Haydn volvemos ahora a presentar los resultados que ofrece el fragmento del Adagio de B. Bartók según la trompeta que se ha utilizado en cada grabación. Para este fragmento hemos utilizado las ya mencionadas Yamaha[®] si^b , Bach[®] do y un Piccolo Scherzer[®] debido a que la tesitura del pasaje se asemeja a la de este instrumento que se encuentra una octava por encima de la trompeta en si^b .

El instrumento recomendado para interpretar el fragmento de B. Bartók es el piccolo Scherzer[®] en si^b , ya que el 77% de las notas están debidamente afinadas dentro de algún sistema de los estudiados, esto es debido a que la tesitura en que se encuentran las notas es más apropiada

para este instrumento que para las trompeta en si^b o en do aunque las diferencias no hayan sido muy grandes.

3. CONCLUSIONES

Como cabía esperar, los resultados obtenidos cuando se utiliza una trompeta que no es de uso habitual en el ejecutante, los resultados son sensiblemente peores que los obtenidos con sus instrumentos habituales. Además, la afinación estática proporciona mejores resultados que la dinámica, especialmente cuando el intérprete tiene referencias previas (notas seriadas). De hecho, en el estudio que hemos realizado de la escala cromática, el porcentaje correspondiente al sistema Temperado supera el 50% del total, mientras que en el resto de experimentos los porcentajes se equilibran siendo este sistema el que presenta los resultados más bajos. En el gráfico siguiente se puede apreciar cómo, en función del experimento, disminuye el número de notas afinadas en el sistema temperado y cómo se incrementan los porcentajes de los sistemas de Zarlino y pitagórico.



En cuanto a conclusiones particulares, dada la brevedad del trabajo, creemos más práctico hacer una enumeración de las mismas.

1. Las grabaciones seriadas de la escala cromática dan mejores resultados para el sistema temperado igual de 12 notas cuando se utilizan menos pistones (excepto al aire (0) que resulta mejor en Zarlino). Por tanto, cuando se emplean más pistones hay más posibilidades de no afinar correctamente.
2. El sistema Temperado es mayoritario cuando el músico interpreta pasajes muy trabajados, como la escala cromática. Sin embargo, cuando realiza algún pasaje de mayor dificultad o menos conocido por el instrumentista, el sistema empleado varía en función de otros factores. Cuando emite notas al aire su afinación se aleja del sistema Temperado y se acerca al de Zarlino. Por otra parte, los sistemas de Pitágoras y Holder que aparecen poco en la escala cromática se igualan en los otros experimentos.
3. En el experimento 3, correspondiente al fragmento de Haydn, el sistema de Zarlino predomina sobre los demás.
4. En el experimento 4, correspondiente al fragmento de B. Bartók, los sistemas de Pitágoras y Holder obtienen resultados superiores al resto.
5. Como ocurre con la mayoría de instrumentos de viento, resulta un tópico no avalado experimentalmente que la trompeta "afina en el sistema Temperado".
6. Hemos comprobado una tendencia a la desafinación (entendiendo como tal el alejamiento del sistema temperado) de las notas en las que se utiliza mayor número de pistones. Cuando el intérprete no utiliza como referencia otras notas, el porcentaje de notas afinadas dentro del sistema temperado disminuye considerablemente. Así, en el

estudio que hemos realizado de la escala cromática, más del 50% de las notas son temperadas, mientras que en el resto de las experiencias los porcentajes entre los sistemas de afinación se equilibran, siendo precisamente el sistema temperado el que presenta los resultados más escasos.

7. Los sistemas de Pitágoras/Holder y Zarlino que aparecen pocas veces en la escala cromática se igualan al resto de sistemas cuando se analiza en su contexto (afinación dinámica). En concreto, en el fragmento de Haydn el sistema de Zarlino predomina sobre los demás y en el de Bartók los sistemas de Pitágoras y Holder son los que obtienen resultados superiores al resto.

Finalmente, creemos que sería aconsejable advertir a los compositores actuales que, en la medida de sus posibilidades, tuvieran en cuenta este tipo de fenómenos y adecuasen las obras, y especialmente la notación, para evitar interpretaciones ambiguas que en ocasiones han provocado serias críticas hacia la música contemporánea.

4. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- L. Andrés, V. Alberola (2001), *La trompeta Vol.1b*, Ed. Rivera, Valencia.
- A. Baines (1974), *Brass Instruments*, Oxford.
- A. Calvo-Manzano Ruiz (1993), *Acústica físico-musical*, Ed. Real Musical, Madrid.
- J. Chailley, H. Challan (1965), *Teoría completa de la música*, Ed. Alphonse Leduc, Paris.
- G. Fernández de la Gándara y Miguel Lorente (1998), *Acústica Musical*, Ed. Instituto Complutense de Ciencias Musicales, Madrid.
- J. J. Goldáraz Gaínza (1992), *Afinación y Temperamento en la música occidental*, Ed. Alianza Editorial, Madrid.
- J. Haluska (2000), *Equal Temperament and Pythagorean Tuning: a geometrical interpretation in the plane*, Fuzzy Sets and Systems, 114, pp. 261-269, Amsterdam.
- J. Ibáñez Barrachina (2004), *Análisis matemático de los sistemas de afinación. Estudio de la trompeta*. Trabajo de investigación de Tercer Ciclo, Universidad Politécnica de Valencia.
- J. Lattard (1988), *Gammes et temperaments musicaux*, Ed. Masson, Paris.
- V. Liern (1993), *Aristógeno versus Pitágoras: dos criterios matemáticos para la afinación musical*, XIXth International Congress of History of Science, Zaragoza.
- V. Liern (1994), *Algoritmos matemáticos y afinación musical*, Educación Matemática, 6, pp. 45-55, Mexico D.F.
- V. Liern (2005), *Fuzzy tuning systems: the mathematics of the musicians*, Fuzzy Sets and Systems 150, pp. 35-52, Amsterdam.
- E. Mende (1978), *Arbre généalogique illustré des cuivres européens depuis le début du Moyen Age*. Ed. BIM, Gèneve, Suiza.
- J. L. Monzo (2003), *The measurement of Aristoxenus's Divisions of the Tetrachord*, <http://www.ixpress.com/interval/monzo/aristoxenus/318tet.htm>, Ed. Yale University Press.
- R. Osserman (1993), *Rational and irrational: Music and Mathematics en "Essays in Humanistic Mathematics"*, Mathematical Association of America pp.53-59.
- J. Piles Estellés (1982), *Intervalos y gamas*, Ed. Piles, Valencia.
- E. Tarr (1977), *La Trompette son historie de l'antiquité à nos jours*, Ed. Payot Lausanne, Suiza.