



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

**ANÁLISIS ESPECTRAL Y
PSICOACÚSTICO DEL SONIDO
EMITIDO POR UN TROMBÓN
ALTO Y TENOR**

Autor: Daniel Ribes Blanco

Tutor: Francisco Javier Redondo Pastor

Cotutor: Sergio Castiñeira Ibáñez

Trabajo fin de máster curso 2018/2019

Máster Universitario en Música

Dpto. De comunicación audiovisual,

documentación e historia del arte

RESUMEN

En este trabajo se cuestiona sobre la necesidad de uno de los instrumentos afines al trombón tenor, el trombón alto, que junto al bajo y el tenor, ha sido una formación la cual ha existido desde las primeras orquestas sinfónicas modernas conocidas a día de hoy desde el S.XIX. Esta formación diferenciaba bien a los tres trombones por su papel fundamental en la orquesta, principalmente como relleno armónico, siendo el trombón bajo el más grave, el tenor el central y el alto el más agudo.

El tamaño del instrumento, como es bien sabido, afecta a la tesitura y como no, al sonido que produce el mismo: a mayor tamaño, más grave suena éste. Así, en la familia de los trombones el más grande, trombón bajo, es el que suena más grave, mientras que el de menor tamaño, trombón alto, produce sonidos más agudos, estando en el medio el trombón tenor. Con el paso de los años la posición en el plano orquestal del trombón alto, tenor y bajo se ha ido repartiendo entre los atriles: primero, segundo y tercero, respectivamente, buscando más homogeneidad y compactación sonora entre ellos, llegando hasta el límite de prescindir del trombón alto en la segunda mitad del S.XIX.

Dada la evolución que ha sufrido la familia del trombón con el paso del tiempo, incluso llegando a la sustitución del trombón alto por el tenor en muchas orquestas sinfónicas, en este trabajo se buscan las posibles causas. Para ello, se analizan las diferencias fundamentales desde un punto de vista físico y psicoacústico de ambos. Se realiza un análisis de muestras obtenidas mediante una cata a ciegas, comparando fragmentos originales de trombón alto y tenor que han sido interpretados tanto por un tenor como un alto de forma aleatoria y en situaciones diferentes. El objetivo de este trabajo es concluir si el trombón alto puede sobrevivir a las tendencias musicales del S.XXI, y en tal caso, si es necesario o no, recuperar dicho instrumento en las orquestas sinfónicas clásicas.

ABSTRACT

In this study, the need for one of the instruments related to the tenor trombone, the alto trombone, which along with the bass and the tenor have been a formation which has existed since the first modern symphony orchestras known to date from the S.XIX. This formation differentiated well to the three trombones for its fundamental role in the orchestra, mainly as harmonic filler, being the trombone bass the most low, the tenor the central and the highest the most acute.

The size of these instruments is of greater to smaller size, affecting the sound and the tessitura of the instrument. But over the years the role of alto trombone, tenor and bass have been replaced by first, second and third, seeking more homogeneity between the roles and trying to find a more compact sound between them, reaching the limit of dispensing with the alto trombone in the second half of the nineteenth century.

This research analyzes the sound spectrum of the alto and tenor trombone, its differences and similarities and a blind sample experiment comparing original fragments of alto and tenor trombone interpreted both by a tenor and a alto in a random way and in different situations, to carry out a survey on whether they can be differentiated or not, and to reach the conclusion of whether the alto trombone can survive the musical tendencies of the 21st century, and if it is necessary to recover this instrument in the classical symphonic orchestras.

ÍNDICE

1. Introducción
 - 1.1. Estado de la cuestión
 - 1.2. Justificación e interés del tema
2. Objetivos concretos del TFM
3. Metodología
4. Desarrollo
 - 4.1. Fuentes de información
 - 4.1.1. Historia y evolución del Trombón
 - 4.1.2. Organología y física del Trombón
 - 4.1.3. Teoría de la psicoacústica
 - 4.2. Fuentes de datos estructurales
 - 4.2.1. Análisis del espectro sonoro del Trombón
 - 4.2.1.1. Muestras y herramientas del análisis
 - 4.2.2. Similitudes y diferencias sonoras entre los Trombones
 - 4.2.3. Experimento psicoacústico de los Trombones
 - 4.2.3.1. Muestras y herramientas del experimento
 - 4.2.3.2. Encuesta
 - 4.2.3.3. Resultados encuesta
5. Conclusiones y reflexión crítica
6. Referencias bibliográficas
7. Anexo

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Estado de la cuestión

Desde el renacimiento hasta la actualidad, el trombón de varas ha sido un instrumento de viento metal versátil, que ha logrado adaptarse perfectamente a los estilos musicales y tendencias de cada época gracias a su calidad sonora, amplitud y potencia, pero sobretodo, por su vara, dotando al trombón de cambiar su afinación fácilmente.

Pero no solo ha evolucionado la música, el trombón, conocido anteriormente como sacabuche, ya tenía diferentes tamaños para ajustar cada trombón a un registro sonoro, tanto en agudos como en graves. Estos tamaños se establecieron durante el clasicismo y primer romanticismo, S.XVIII – XIX, en tres tipos de trombones bien diferenciados, el trombón alto, trombón tenor y trombón bajo.

Los tres trombones entraron por primera vez en la orquesta sinfónica moderna durante el clasicismo con un importante papel armónico, siendo el trombón alto el de tesitura aguda, el trombón tenor de tesituras-medias y el trombón bajo de tesitura más grave. Durante el romanticismo, la familia de trombones ganó protagonismo llegando a tener solos importantes, los primeros en forma de corales como se pueden encontrar en las sinfonías de Brahms. Los papeles de trombón estaban nombrados como el propio instrumento, papel de alto, tenor y bajo. Esta costumbre cambió durante la segunda mitad del S.XIX, romanticismo tardío y pos romanticismo, con una orquestación todavía más grande, incluyendo a la tuba a la familia de metales graves. El trombón alto se volvió un instrumento prescindible, sustituyéndose por otro trombón tenor, llegando a desaparecer por las nuevas tendencias románticas progresistas con Bruckner, Wagner, Tchaikovsky, Mahler, diferentes al estilo de Brahms, un romanticismo más conservador. Las nuevas tendencias buscaban sonidos más compactos, graves, potentes, sonidos dramáticos, características que no tenía el trombón alto, pasando los papeles de trombón a ser de primero, segundo y bajo, llegando en algunas ocasiones a añadir un tercer trombón tenor como en la música de Wagner o Mahler.

Hasta a día de hoy, cuya costumbre se ha mantenido tanto en bandas como orquestas dos o tres trombones tenores y un bajo, quedándose en el olvido el trombón alto. Este extremo ha llegado por empezar a prescindir del trombón alto en su propio papel original, llegando a interpretarse el papel de trombón alto con un trombón tenor, puesto que el trombón tenor ha evolucionado hasta alcanzar niveles de tesituras tan graves como un bajo y agudas como un alto, pero el timbre de dichos instrumentos no los conserva.

Es por eso que se llega a la conclusión de si se es capaz de diferenciar de verdad el sonido de los 3 trombones, independientemente de su tesitura, únicamente por su timbre, ataque y características sonoras.

¿Es realmente necesario el trombón alto en su repertorio original a día de hoy?

¿Sobrevivirá y renacerá a las nuevas tendencias musicales?

¿Es más fácil interpretar un papel de trombón alto con el propio trombón alto o con un tenor? ¿Son los propios músicos capaces de diferenciarlos interpretando la misma melodía?

1.2. Justificación e interés del tema

Se ha cuestionado este tema actualmente entre los trombonistas y, se ha visto diferencias entre quienes interpretan cierta partitura original con su instrumento original, respetando así su interpretación como en la época de dicha obra y su instrumento, y por otro lado, quienes buscan adaptar a la actualidad, actualizar, piezas anteriores a instrumentos más actuales.

Casos parecidos han ocurrido con la cuerda, como por ejemplo las interpretaciones de las Suites de J.S.Bach para Violoncelo, cuyas versiones se han llegado a registrar desde un estilo puramente barroco, interpretado por violas de gamba de la época, arcos barrocos etc., hasta con un estilo romántico con el Violoncelo, ambas versiones aceptadas por el público, pero cada una con su punto de vista.

Así pues, en algunas orquestas sinfónicas, cuando se oferta una plaza de trombón solista, se les suele exigir interpretar el trombón alto para el repertorio de finales del S.XVIII, últimas piezas de Mozart y Haydn, y la primera mitad del S.XIX, Beethoven, Schubert, Brahms...

Pero no todas las orquestas siguen usando el trombón alto ya que, con el paso del tiempo, la técnica trombón tenor ha ido evolucionando y esto ha provocado que el trombón alto sea sustituido por el trombón tenor.

2. OBJETIVOS CONCRETOS DEL TFM

Los principales objetivos de esta investigación son:

1. Analizar el espectro sonoro del trombón tenor y alto. Emitir diferentes notas de un arpegio en la misma tesitura para los dos trombones, y comparar estas gráficas para establecer similitudes y diferencias entre los trombones.
2. Encontrar notas con mayor o menor calidad sonora en ambos trombones para así determinar en qué situaciones se puede diferenciar con mayor facilidad el sonido del trombón tenor y alto
3. Interpretar diferentes fragmentos musicales, (no más de 10 – 15 segundos) originales de cada trombón con ambos trombones (dentro de lo posible en el caso de la limitación del trombón alto en las notas graves) y registrarlo en una sala de conciertos. 10 grabaciones de 5 fragmentos conjuntos de trombones originales para trombón alto, tenor y bajo, interpretado cada fragmento 2 veces, siendo una vez con alto, tenor y bajo y la otra con dos tenores y un bajo.
4. Con las muestras, realizar una "cata a ciegas" de los diferentes registros sonoros a diferentes voluntarios, organizados por diferentes características personales: nivel de estudios musicales, años de experiencia musical, familia de instrumento que interpreta y tesitura.
5. Encuesta a los voluntarios donde deberán señalar que instrumento creen que es en el conjunto de trombones, intentando adivinar si la voz primera pertenece a un alto o a un tenor y así, llegar a una conclusión contrastando los resultados de la sala anecoica con los resultados de la encuesta.

3. METODOLOGÍA

El desarrollo del proyecto consta de las siguientes fases:

1. La primera fase ha sido documentación, lectura y búsqueda de información tanto de la historia del trombón y su evolución organológica e interpretativa, como de la física y teoría de la acústica y psicoacústica la cual está relacionada con el trabajo.
2. La segunda fase consiste en la preparación de fragmentos musicales aptos para el experimento, reserva de la sala, contacto con los trombonistas y grabación en sala de los fragmentos musicales para la cata a ciegas.
3. La tercera fase, la recopilación y edición de audios, así como la propia encuesta realizada online para ser respondida voluntariamente en un plazo de un mes.
4. Seguidamente, la cuarta fase, la recopilación de datos y creación de gráficas en Excel sobre los resultados de las encuestas para determinar las primeras conclusiones.
5. La última fase, la recopilación de datos relacionados con las características sonoras del trombón tenor y alto en una sala anecoica, como el espectro sonoro.
6. Conclusión final relacionando los resultados de la encuesta con los datos obtenidos en la sala anecoica, y revisión final del trabajo.

2018	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Fase 1	X	X	X	X
Fase 2				X

2019	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio
Fase 2	X	X					
Fase 3		X	X	X			
Fase 4				X	X		
Fase 5					X	X	
Fase 6						X	X

4. DESARROLLO

4.1. Fuentes de información

4.1.1. Historia y evolución del trombón

Los primeros instrumentos de viento-metal, ni siquiera eran metálicos, eran cuernos y huesos de animales perforados, ramas huecas, caracolas... todo lo que se podía encontrar fácilmente en la naturaleza. A día de hoy se han encontrado instrumentos milenarios de hasta 40.000 años de antigüedad como el *Didgeridoo* de los aborígenes australianos, el *Shofar* hebreo, hecho a partir de un cuerno de carnero, o la concha polonesa [1]. Alrededor del año 3000 a.C. época del descubrimiento de los metales, se construyeron los primeros instrumentos de viento-metal. Entre dichos instrumentos se encuentra el *Lur* nórdico, *Salpinx* griego, *Carnyx* celta, y la *buccina* romana, probablemente el antecesor más cercano al trombón [1]. La *buccina* fue evolucionando, pasando por la trompeta recta, trompeta curva, de tubo corredera... hasta que finalmente entre finales del S.XV e inicios del S.XVI, surgió el primer instrumento con un funcionamiento similar al del trombón, el Sacabuche.

Esta época, es conocida en la historia de la música como el renacimiento, donde surgió por primera vez la polifonía, una nueva forma de lenguaje que ayudaría en la evolución de la música. Para los cánticos religiosos de dicha época, habían coros, normalmente acompañados por sacabuches de diferentes tamaños como el alto, tenor y bajo. Dichos instrumentos, que acompañaban a los coros como apoyo y en algunas piezas, podían adoptar la voz de bajo continuo, pero nunca habían tenido una voz principal, hasta la llegada del estilo galante. Pero todos los sucesos del S.XVIII fueron más bien una espada de doble filo para los trombones. El lado bueno fue que por una vez adoptaban la voz de solista original acompañados por una orquesta. Los primeros compositores en darle esta importancia, fueron Georg Christoph Wagenseil, Leopold Mozart, Michael Haydn y Johann Georg Albrechtsberger. Pero a su vez, el trombón junto a otros instrumentos del Barroco fueron excluidos de la orquesta sinfónica, como se pueden ver en las sinfonías de Haydn y Mozart, y agrupaciones camerísticas, perdiéndose casi en el olvido.

Durante todo el Clasicismo el trombón ganó al principio breve fama de solista, pero desapareció hasta el final del clasicismo y sus últimas piezas, que volvieron a aparecer ya como instrumentos de la orquesta no definitivamente, en el *oratorio de la creación* de Haydn, *La flauta mágica* y el *Réquiem* de Mozart [2]. En el S.XVIII el trombón estaba en su máximo esplendor y no solo por los conciertos que se compusieron, sino por 3 grandes trombonistas austriacos, Thomas Gschlatt de Salzburgo, Anton Bachschmidt de Melk y Leopold Christian. El concierto de Wagenseil está inspirado en Leopold Christian [3]. Anton Brachschmidt era compositor y tocaba el violín, la flauta el teclado y el trombón. Estaba bien pagado como trombonista, pero dedicó gran parte de su vida a la composición tanto de música sacra como música instrumental. El más famoso de todos fue Thomas Gschlatt, ya que Leopold Mozart, Michael Haydn y Albrechtsberger escribieron composiciones exclusivas para él. Era virtuoso con el trombón alto y fue muy famoso en toda Austria.

Como bien se ha dicho antes, el trombón precisaba de diferentes tamaños, alto, tenor y bajo. El alto era como el trombón principal en esta época hasta su desaparición en la orquestación del S.XIX, así que fue el instrumento elegido para ser solista en cuanto a sus primeros conciertos de trombón y orquesta.

El S.XIX es el periodo del romanticismo, época fundamental en la evolución de los trombones por su papel en la orquesta sinfónica. Durante todo este tiempo atrás hasta Beethoven, el trombón había participado en diferentes agrupaciones tanto camerísticas, corales, orquestales, e incluso como solistas como se ha visto anteriormente. Pero en el repertorio sinfónico, aparece por primera vez en la 5ª sinfonía de Beethoven, manteniendo los 3 principales trombones de aquel entonces. Esta formación la mantienen compositores del romanticismo inspirados en Beethoven como Schubert, Schumann, Brahms...

Por otro lado, durante el romanticismo, surge la música programática, un lenguaje el cual la música tiene por objetivo evocar ideas e imágenes en la mente del oyente, materializando estados de ánimo, personajes de una historia etc... Se le llama música programática, porque las primeras piezas reconocidas como tal, venían con un programa en el concierto, explicando toda una historia y describiendo cada melodía a que personaje o emoción podía representar.

La primera obra de este tipo es la *Sinfonía Fantástica* de Héctor Berlioz, un revolucionario de la música. En su sinfonía, no sigue la estructura típica de una sinfonía, 4 movimientos, en lugar de eso, usa 5 movimientos. A partir de Berlioz, surgen compositores de un romanticismo más progresista, como Franz Liszt, Anton Bruckner, Gustav Mahler, y más allá del romanticismo progresista, el drama wagneriano de Richard Wagner. Todos estos compositores tienen en común la orquestación que realizan, diferente a la clásica, clásico-romántica de Beethoven o Brahms... Una orquestación en mayor cantidad, sobretodo de cuerda para compensar la cantidad de vientos y percusión que se añade. Viento madera a dos voces e incluso a tres, de cuatro a ocho trompas, tres o cuatro trompetas y dos trombones tenores o tres, un trombón bajo y una o dos tubas, además del añadido de percusión como mayor cantidad de timbales, bombo, platos, caja... etc. Pero el cambio en la familia de trombones excluye al trombón alto definitivamente de la orquesta. En este tipo de orquestación se busca mayor sonoridad, que equivale a mayor cantidad de instrumentos, y preferiblemente potentes. Se busca un sonido más dramático y oscuro por la evolución tanto del género sinfónico como el operístico. Se pueden ver en la gran mayoría de obras de la segunda mitad del S.XIX, que utilizan trombones tenores y el bajo, durante el posromanticismo de Mahler y Wagner en Europa. En Rusia, los trombones tenían mayor importancia en la orquestación por el lenguaje que utilizaban los compositores rusos de este periodo, como se pueden ver en las sinfonías y conciertos de Tchaikovsky, piezas sinfónicas de otros compositores rusos como Borodín e incluso un concierto para trombón solista y orquesta de vientos (banda sinfónica), como el concierto de Nikolái Rimski-Kórsakov.

En esta época el trombón sufre una evolución en su mecánica. En 1839, Alemania, Sattler le añade una válvula transpositora en Fa, para mejorar los registros graves del trombón. Se le llega a sustituir la vara por cilindros o pistones, surgiendo de ese modo el trombón de pistones. Esta evolución en la mecánica de cilindros y pistones mejoró la agilidad de todos los instrumentos de metal, pero perdían calidad sonora, haciendo que el trombón de pistones se dejara de usar rápidamente para recuperar el trombón de varas convencional, por su atractivo sonido. Pero la mayor importancia es el aumento de tamaño y abertura

de la campana del trombón, cambio el cual le otorga una mayor profundidad sonora y envolvente [4]. Pero a finales del S.XIX, inicios del S.XX, la orquestación llega a explotar, como se puede ver en la sinfonía nº 8 de Gustav Mahler, conocida como "*Sinfonía de los mil*", o en los últimos dramas wagnerianos de Richard Wagner que llegan a contar con trombones contrabajos [5].

Todo esto desemboca en el fin del romanticismo y posromanticismo, con las nuevas tendencias como el impresionismo, dodecafonismo y un nuevo lenguaje más popular en el cual el trombón ha logrado adaptarse perfectamente, el Jazz. La "explosión" en la orquestación llegó a crear piezas para siete instrumentos, al igual que otras piezas que explotan todos los límites sonoros de una gran cantidad de instrumentos, sobretodo de viento. Un ejemplo de todo esto es Igor Stravinsky, compositor que aprovechó una gran cantidad de sonidos, armonía, polirritmia, pero sobretodo orquestación, en la cual siguió dándole un papel importante al trombón. *Historia de un soldado*, es un ejemplo de sus obras con orquestación reducida, utilizando únicamente un instrumento de cada: trombón, corneta, percusión, fagot, clarinete, violín, contrabajo y en ocasiones, un narrador de la historia [5]. El otro extremo es *La consagración de la primavera*, una auténtica revolución en la música y danza del S.XX, cargada de polémicas y conflictos que pasaron a la historia.

El S.XX fue sin duda el "renacimiento" para el trombón, sobretodo en América, donde las nuevas posibilidades y avances estilísticos en los inicios del siglo, crean nuevas tendencias como los musicales y el jazz, donde el papel de trombón tiene una significativa importancia. La música en esta primera mitad de siglo, ganó sobretodo importancia gracias al cine, la nueva gran atracción cultural con importante peso en Francia y Estados Unidos, aunque el lenguaje sonoro entre dichos países era diferente. En el cine americano se utiliza la música jazz y el charleston, empleando en bastantes ocasiones big bands, dando así importancia a los vientos. El Jazz, nacido entre la última década del S.XIX e inicios del S.XX en New Orleans, se podría decir que es una mezcla de varias tendencias musicales y culturales. Música religiosa, folklore norteamericano, canciones y danzas africanas, bandas ambulantes... una mezcla de todos estos conceptos

ligados al pueblo sureño norteamericano da como resultado al Jazz. Un estilo libre, completamente diferente a la música clásica occidental, con armonías y escalas nuevas, ritmos y la improvisación sobre un tema o una base armónica [6]. El trombón en el jazz ha adquirido un papel muy importante gracias a su atractivo sonoro y técnico, además, ha sido de los primeros instrumentos integrantes de la denominada "primera" o *front line*, que normalmente utilizan clarinete, corneta y trombón como instrumentos melódicos. Pero el trombón en el jazz juega todo tipo de papeles, rítmico, armónico, melódico, solista... Dentro del jazz encontramos celebridades del trombón, virtuosos como Jack Teagarden y Arthur Pryor. Y una de las más importantes figuras tanto del trombón en el jazz como el jazz en general, Glenn Miller [6],[7].

En Europa, sobretodo Francia, se centraron más en usar su propia música con un lenguaje diferente al americano, el Impresionismo de Claude Debussy, Maurice Ravel y Camille Saint-Saëns. El impresionismo no buscaba sonoridades brillantes y ritmos tan activos como en los compositores americanos. En el impresionismo se da mayor importancia a las sensaciones sonoras utilizando un tempo libre, experimentando con el timbre, uso de modos y tonalidades completamente nuevas, lo que el trombón tiene un papel de apoyo armónico. En el dodecafonismo, como bien indica el nombre, se emplean las doce notas cromáticas de la escala, siendo un avance técnico en la composición musical. Arnold Schoenberg es el creador de este sistema, pero Alban Berg fue más allá con el serialismo. Además, Alban Berg le da un importante papel al trombón en sus piezas orquestales y operísticas, explotando todos sus límites técnicos que el trombón había desarrollado a finales del S.XIX e inicios del XX, tanto de tesitura, como potencia, mayor uso del *glissando* y de las sordinas para darle mayor riqueza tímbrica. Estos grandes avances técnicos han dado como resultado que los compositores de esta época volvieran a fijarse en el trombón como instrumento solista, sobretodo en la década del 1940, donde se han compuesto numerosas piezas para trombón solista. Ejemplos de compositores famosos de la época que se fijaron en el trombón como solistas, Paul Hindemith, Frank Martin, e incluso compositores de Bandas sonoras como Nino Rota, compositor de la banda sonora de *El Padrino*.

A partir de la segunda mitad del S.XX hasta la actualidad, la música se ha adaptado a las tecnologías y la electrónica, surgiendo la electroacústica, música electrónica, además del rock, pop, funk y demás variedades de estilos musicales. El trombón de varas sigue siendo un instrumento útil para algunos de estos géneros musicales, como el Reggae, Ska o la electrónica. La historia del Reggae y el Ska van en paralelo ya que transcurre en la misma época y lugar, Jamaica a finales de los 50 y durante los 60. El Reggae tiene ritmos jamaíquinos, propios de la cultura rastafari. El Ska, cuyo nombre es onomatopéyico inspirado en el sonido de la guitarra, tiene ritmos asociados al rock con un importante bajo acústico y uso de percusiones, pero de un ritmo más pausado propio del *rock steady* y *roots rock steady* que se usaban en los barrios bajos de Kingston. Ambos géneros musicales tienen una temática crítica política y/o religiosa, un tema muy presente entre la sociedad de los años 50 y 60 que iniciarían el movimiento pacifista *hippie* [8]. En estos géneros el uso del trombón tiene un papel muy importante, como melodía y ritmo armónico. Normalmente estos grupos se forman con un bajo (normalmente eléctrico), batería, piano y/u órgano, saxo tenor y alto, trombón, trompeta, guitarra y voces. Un trombonista referente de este movimiento es Don Drummond, un famoso jamaicano, miembro del grupo Skatalites, con un final de su vida lleno de conflictos y una temprana muerte [9]. Como se puede ver, estas agrupaciones tienen formaciones similares a la agrupación del jazz, lo cual tienen características muy similares como la improvisación, pero con un ritmo diferente. Durante todo el S.XX se ve como aparecen diversas tendencias musicales las cuales algunas se aprovechan del trombón y otras no, como en el Pop, Rock, electrónica... pero el mundo sinfónico sigue existiendo a día de hoy con una evolución sonora y mayor importancia de las bandas de vientos, originarias de las bandas militares. Durante el S.XX hasta la fecha de hoy tienen un importante reconocimiento, con una fuerte influencia de la música de cine, *latin*, jazz y contemporánea.

Concretamente en la música del cine, que surge a inicios del S.XX y sigue existiendo hasta la actualidad, el trombón tiene un papel similar al que le da Wagner a los trombones, ya que la música del cine está inspirada en la música programática del S.XIX de Berlioz o los *Leitmotiv* de Wagner. Además, la música

del cine tiene influencia de compositores del propio siglo como Igor Stravinsky o Bela Bartók [10]. Un papel tanto de poderío, dramatismo y fuerza como ternura en corales y armonías propias del jazz o el *blues*. Finalmente, la música contemporánea de a día de hoy, tanto en orquesta como bandas, tiene diferentes tendencias y sigue utilizando recursos del impresionismo, dodecafonismo, jazz, *world music*, e incluso el uso de microtonalismos, los cuales tanto los instrumentos de cuerda frotada como el trombón son capaces de usar [11].

En conclusión. El trombón empieza su historia acompañando corales de apoyo armónico siendo sacabuches de diferentes tamaños y sin válvulas, que poco a poco han ido ganando importancia al igual que potencia sonora. De acompañantes a solistas durante el clasicismo hasta conciertos para trombón originales que siguen componiéndose a día de hoy. Una campana más grande y la implantación de una válvula transpositora y bomba de afinación le han dado mayor flexibilidad y adaptación a los estilos que aparecerían en el S.XX. Pero todo esto ha hecho una enorme sombra en un antepasado importante del trombón el cual le dio fama de solista por primera vez, el trombón alto, que ha desaparecido casi por completo, usándose únicamente en sus repertorios originales como en Mozart, Beethoven, Schubert, Schuman o Brahms. Sin embargo, los compositores de hoy en día experimentan con toda clase de instrumentos, y el trombón alto sobrevive gracias a las piezas para conjunto de metales, pero no en el repertorio sinfónico, tal vez por su poca potencia sonora o su difícil afinación con el resto de instrumentos.

4.1.2. Organología y física del Trombón

El trombón es un instrumento de viento-metal de tubo abierto. En el estudio de sonidos en tubos se usan los siguientes términos: Longitud del Tubo, Nodo, Ventre y Longitud de onda " λ " [13].

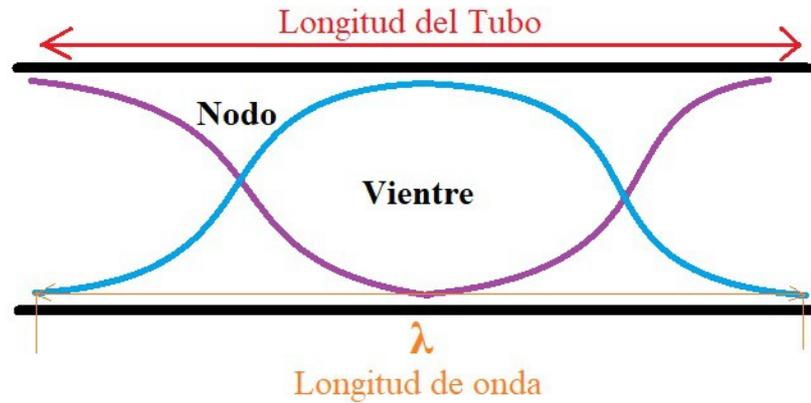


Figura 1 - Onda en tubo abierto

Los instrumentos de tubo abierto, que son la gran mayoría de instrumentos de viento, producen una onda estacionaria en el interior del tubo:

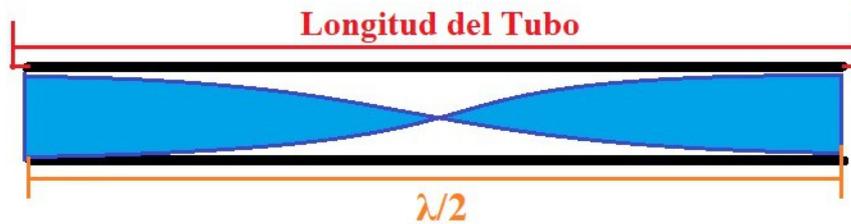


Figura 2 - Frecuencia en tubo abierto

Esta onda estacionaria, cuya frecuencia es la fundamental, proporciona dos vientres en los extremos y un nodo en el centro, lo cual, solo se obtiene medio Periodo: " λ ". En este caso, es la nota fundamental: f_1 , cuya longitud de onda es el doble de la Longitud del tubo: " L ".

Pero hay que tener en cuenta otros factores que influyen en el sonido, como su velocidad: " v ", que en temperatura ambiente ($20^\circ\text{C} - 21^\circ\text{C}$) es de 340 m/s . De esta forma se sabe que una onda sonora recorre 340 metros en un segundo. Invertiendo la fórmula, se sabe que 340 ondas sonoras recorren un mismo punto en un segundo creando una Frecuencia: " Hz ". Bernoulli postula que la frecuencia del sonido en una tubería debe ser proporcional a la velocidad del sonido del gas que contiene el tubo e inversamente proporcional a la longitud del tubo. Además, establece que en un tubo abierto-abierto se pueden generar armónicos pares e

impares [14].

$$fn = \frac{nc}{2L} \quad n \in N$$

Con estos datos, a partir de la longitud de un tubo se puede determinar a qué frecuencia suena su nota fundamental con la siguiente fórmula:

$$\lambda = 2L \quad fl = \frac{c}{2L}$$

Al subir al siguiente armónico, encontramos dos nodos en lugar de uno. Y el siguiente tiene tres nodos. Independientemente de la cantidad de nodos que se forman dentro del tubo, los vientres siempre están en su máxima expansión en los extremos del tubo.

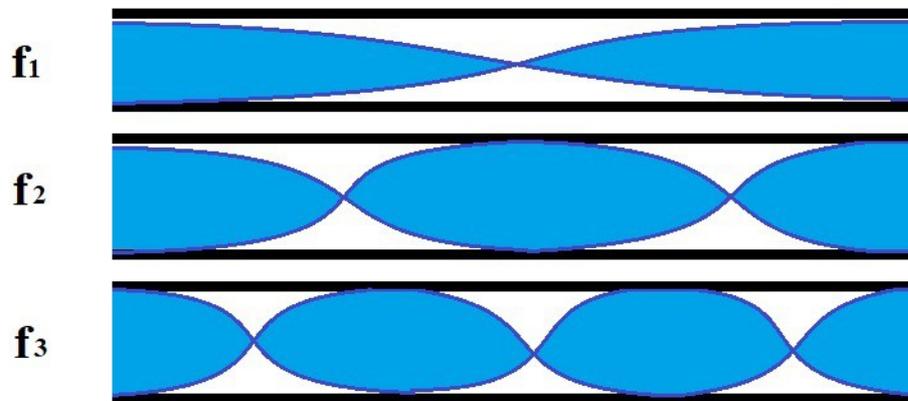


Figura 3 - Armónicos en tubo abierto

Como se puede observar, un tubo con una misma medida, puede generar distintas frecuencias. A estas frecuencias de diferentes rangos se les denomina armónicos, y siguen una serie armónica [Figura 3].

El segundo sonido de la serie suena una octava por encima de la fundamental.

El tercer sonido suena una quinta por encima del segundo sonido.

El cuarto sonido suena una cuarta por encima del tercer sonido... etc.

Con la serie armónica se puede determinar a partir de una fundamental, que armónicos y notas pueden aparecer en un tubo con una misma longitud:

Fundamental	$f1 = \frac{c}{2L} = f1$	
Octava	$f2 = \frac{c}{L} = 2 f1$	$\frac{2}{1} = 2$
Quinta	$f3 = \frac{3c}{2L} = 3 f1$	$\frac{3}{2} = 1,5$
Cuarta	$f4 = \frac{4c}{3L} = 4 f1$	$\frac{4}{3} = 1,333$
Tercera mayor	$f5 = \frac{5c}{4L} = 5 f1$	$\frac{5}{4} = 1,250$
Tercera menor	$f6 = \frac{6c}{5L} = 6 f1$	$\frac{6}{5} = 1,2$

Como se puede observar, la distancia entre un armónico y el siguiente se va acortando conforme la frecuencia en Hz es más alta. Es por eso que las notas agudas están más cerca entre ellas que las graves. Toda la serie armónica se puede aplicar a cualquier tubo con cierta longitud y establecer su fundamental y armónicos [Figura 4].

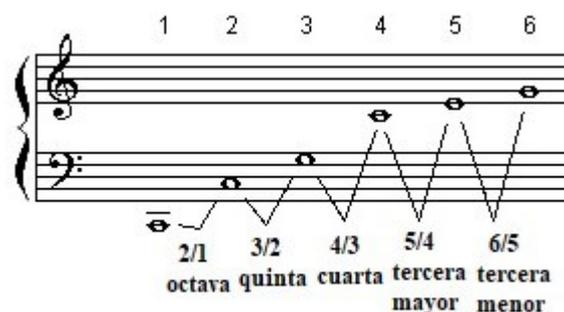


Figura 4 - Fundamental y armónicos

Un ejemplo: Un tubo de medio metro de largo, "0,5m" tiene como fundamental una onda de un metro de longitud:

$$2L = 2(0,5) = 1\text{m}$$

Teniendo como dato la longitud de λ , y sabiendo que la velocidad del sonido es de 340m/s, se puede establecer la frecuencia del sonido:

$$f_1 = \frac{c}{2L} = \frac{340}{2(0,5)} = \frac{340}{1} = 340 \text{ Hz}$$

El siguiente armónico es una octava respecto a la nota fundamental, que es exactamente el doble de frecuencia que la fundamental, y se puede ver de la siguiente forma:

$$f_2 = \frac{c}{L} = \frac{340}{0,5} = 680 \text{ Hz}$$

Aplicando la fórmula a los valores se pueden determinar los sonidos de un tubo. Pero hay que tener en cuenta otros factores, además que los sonidos vistos en los ejemplos, son de tonos puros.

Todos los instrumentos musicales tienen armónicos, es decir, que cuando un instrumento ejecuta una nota, suena esa nota como fundamental junto al resto de su serie armónica en mayor o menor intensidad de armónicos dependiendo de las formas geométricas del instrumento, tamaño, material... En el caso del trombón, es un instrumento de viento metal, principalmente hecho de latón, ya que es un metal maleable y fácil de trabajar para darle forma a los instrumentos musicales. En cuanto al trombón tenor y trombón alto, hay que tener en cuenta sus diferencias, que a simple vista se pueden tener en cuenta [Figura 5].



Figura 5 – Trombones tenor y alto

Los trombones utilizados para la investigación son el trombón tenor en Sib con transpositor a Fa, modelo Edwards T-350E-321CF con modelo de vara TBCN-52 y el trombón alto en Mib modelo Gara GSL-60 (imitación del modelo Slokar-175). La principal diferencia en cuanto a sonido, el trombón alto esta una 4ª Justa por encima del trombón tenor, es decir que, usando las mismas posiciones tanto con el tenor como con el alto, el alto siempre suena esa 4ª Justa por encima del tenor. Las posiciones del trombón son siete, a distancia de un semitono cromático por posición, cuando se alarga la vara del trombón, baja la afinación. Para poder emitir todas las notas de la escala cromática, el trombón puede emitir los armónicos de cada posición variando la presión de aire que se ejerce dentro del instrumento. De esta forma, sumando las siete posiciones con sus respectivos armónicos por posición, aparece toda la escala completa, e incluso una misma nota puede ser emitida en diferentes posiciones. Esto ayuda a la flexibilidad y

agilidad del trombón para poder ir de una nota a otra en un corto recorrido de la vara [Figura 6].

Posiciones de la vara del trombón:

Armónico	Fundamental	1	2	3	4	5	↓ 6	7	8	9	↓ 10
Posiciones											
1ª											
2ª											
3ª											
4ª											
5ª											
6ª											
7ª											

Figura 6 - Armónicos en las 7 posiciones del trombón



Figura 7 - 1ª posición



Figura 8 - 2ª posición



Figura 9 - 3ª posición



Figura 10 - 4ª posición



Figura 11 - 5ª posición



Figura 12 - 6ª posición



*Figura 13 – 6ª posición
(1ª con transpositor)*



Figura 14 - 7ª posición



*Figura 15 – 7ª posición
(2ª con transpositor)*

Cabe destacar, que tanto la 6ª posición [Figura 12] como la 7ª posición [Figura 14], se pueden realizar tanto al final de la vara como en la 1ª posición o 2ª, pulsando el transpositor; [Figura 13],[Figura 15], siendo la 1ª posición con transpositor equivalente a la 6ª posición, como la 2ª posición con transpositor equivalente a la 7ª posición.

Este mecanismo ayuda tanto a su agilidad entre posiciones extremas para acortar camino entre unas posiciones y otras, como para su principal uso, la afinación del registro grave. Por esa razón las notas del primer armónico situadas sobre su fundamental, se utilizan posiciones con transpositor, desde la 1ª hasta la 4ª, llegando en algunos casos a la 7ª con transpositor, pero su afinación se queda limitada, excepto en el caso del trombón bajo que cuenta con dos transpositores,

ayudándolo a afinar con mayor precisión el registro grave [Figura 6].

Como se ha comentado anteriormente, el trombón alto suena una 4ª Justa por encima del trombón tenor, quedando los sonidos emitidos en la 1ª posición de la siguiente forma:

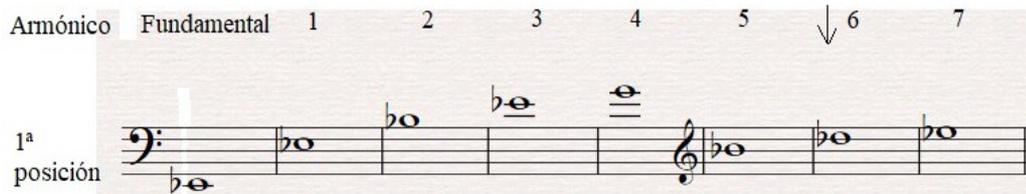


Figura 16 - Armónicos en 1ª posición del trombón alto

En cuanto a las medidas del trombón, se pueden ver diferencias entre el tenor y el alto:

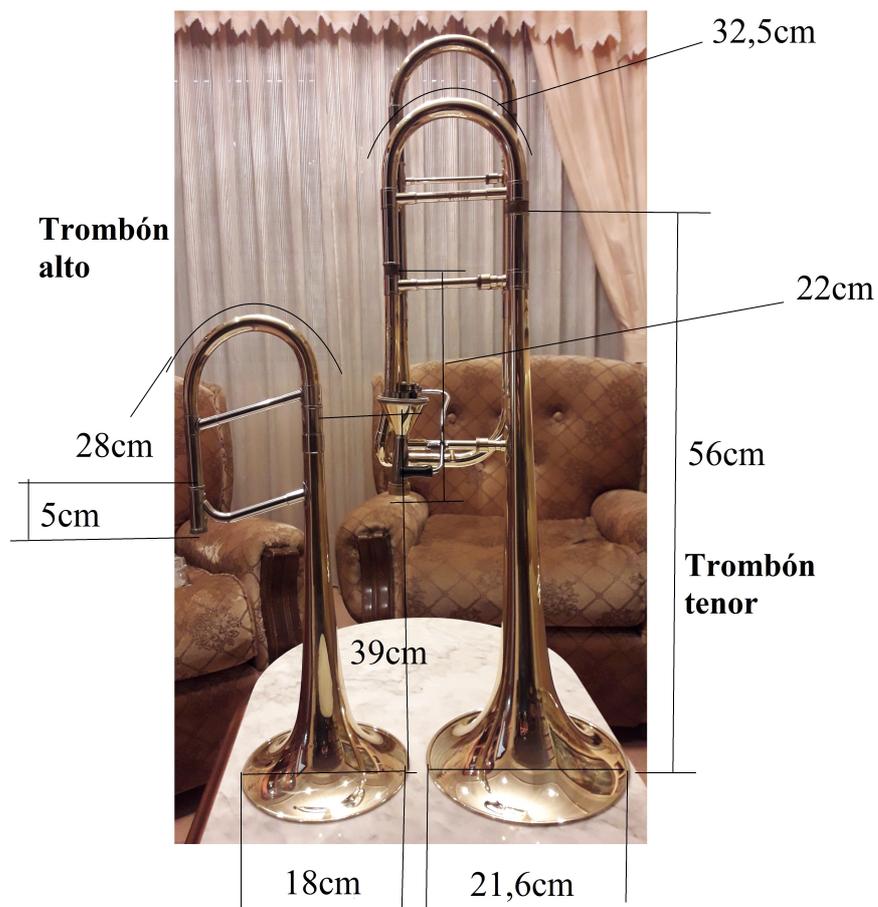


Figura 17 – Medidas entre el trombón tenor y alto

A simple vista se aprecia la diferencia de tamaño entre el trombón tenor y el alto. Como se pueden ver en estos modelos de trombón, el diámetro de la campana y longitud del tubo son diferentes. El trombón alto con 18cm de diámetro en la campana y una longitud total del cuerpo de 72cm, seccionados en diferentes fragmentos. En el trombón tenor se ve una longitud de 21,6cm de diámetro de campana y una longitud total del cuerpo igual a 110,5cm [Figura 17].

En cuanto a las varas del trombón tenor y alto, sus medidas siguen la misma escala en cuanto al tamaño del cuerpo y la campana. La vara de ambos trombones cuenta con dos varas internas y una externa con codo al extremo para unir ambas varas internas. La vara del trombón tenor mide 79cm de largo desde el lado de acople, donde se enrosca junto al cuerpo del trombón, y al otro lado 75cm, donde en su extremo se acopla la boquilla. La distancia entre ambas varas es de 8,8cm, unidas por un codo en el extremo inferior de la vara. El diámetro de la vara del trombón tenor es de 1,2cm, escasos milímetros de diferencia respecto al diámetro de la vara del trombón alto que es de 1cm. La longitud de la vara del trombón alto es de 61cm y 57,5cm y a una distancia entre ellas de 7cm [Figura 18].

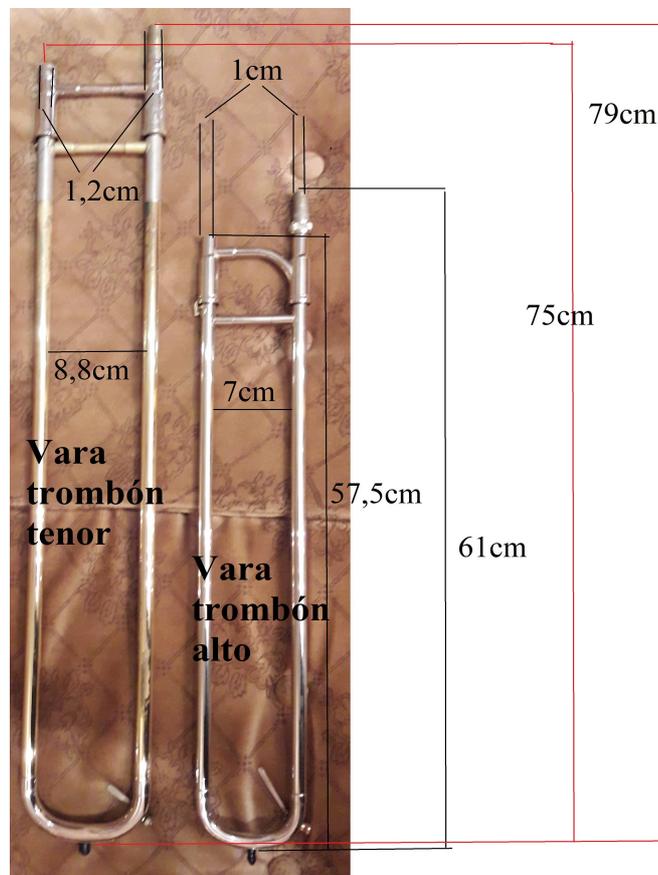


Figura 18 - medidas entre las varas del trombón tenor y alto

Las boquillas de los trombones, pueden ser varios tipos de metales como latón, aluminio, bronce, entre otros, bañado en plata u oro por su contacto directo con los labios, es la conexión entre instrumentista e instrumento, y pueden aparecer casos de reacciones alérgicas con ciertos metales, por eso se han llegado a fabricar boquillas de plástico y nailon. Encontramos dos familias de boquillas en el caso de los trombones, las boquillas de tudel ancho y estrecho. Generalmente el tudel ancho es para el trombón tenor, pero las boquillas de tudel estrecho pueden usarse en algunos trombones tenores además de los trombones altos.



Figura 19 - Medidas boquillas

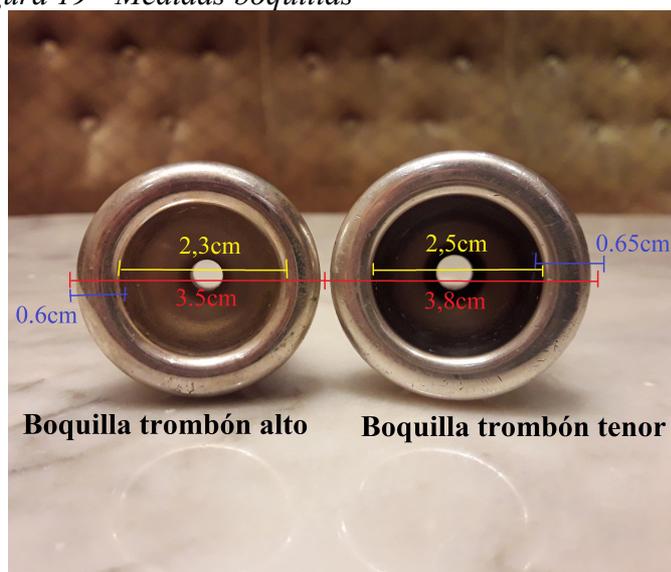


Figura 20 - Medidas aros de las boquillas

En el caso de las siguientes boquillas, contamos con los modelos de boquilla Bach 7C para el trombón alto y el modelo JK Exclusive 5BL para el trombón tenor. En las boquillas podemos encontrar modelos y medidas de todo tipo, incluso tipo de copa, profundidad, ancho del anillo... etc [Figura 19],[Figura 20].

La boquilla del trombón alto mide 7,4cm de largo, cuenta con 9 milímetros de diámetro en el tudel, parte de la boquilla la cual se une a la vara, el tudel mide 5,25cm hasta el granillo, sección de la boquilla que une el tudel con la copa. El tipo de copa puede afectar a las características sonoras del trombón, ya que es la unión directa entre el intérprete y el instrumento. Esta copa tiene una profundidad de 1,9cm, y se abre desde el granillo con 9mm de diámetro, hasta la copa, cuyo diámetro es de 2,3cm. El ancho del anillo en el extremo de la copa, es de 6mm y tiene un diámetro total de toda la boquilla de 3,5cm.

La boquilla del trombón tenor mide 8,53cm, cuyo tudel tiene 11mm de diámetro y 5,9cm de largo. La copa mide 4cm de diámetro total, con un anillo de 6,5mm de ancho, no hay apenas diferencia entre ambas boquillas, y el interior de la copa es de 2,5cm de diámetro [Figura 19],[Figura 20].

4.1.3. Teoría de la psicoacústica

El campo de la psicoacústica, se encarga de estudiar cómo percibe el ser humano los sonidos en base de teorías tanto físicas de la acústica como fisiológicas del oído humano. En este estudio se habla en concreto de la psicoacústica musical, relacionada principalmente con el sonido de los instrumentos musicales, sus efectos, y la percepción que se tiene sobre los instrumentos [Figura 21].

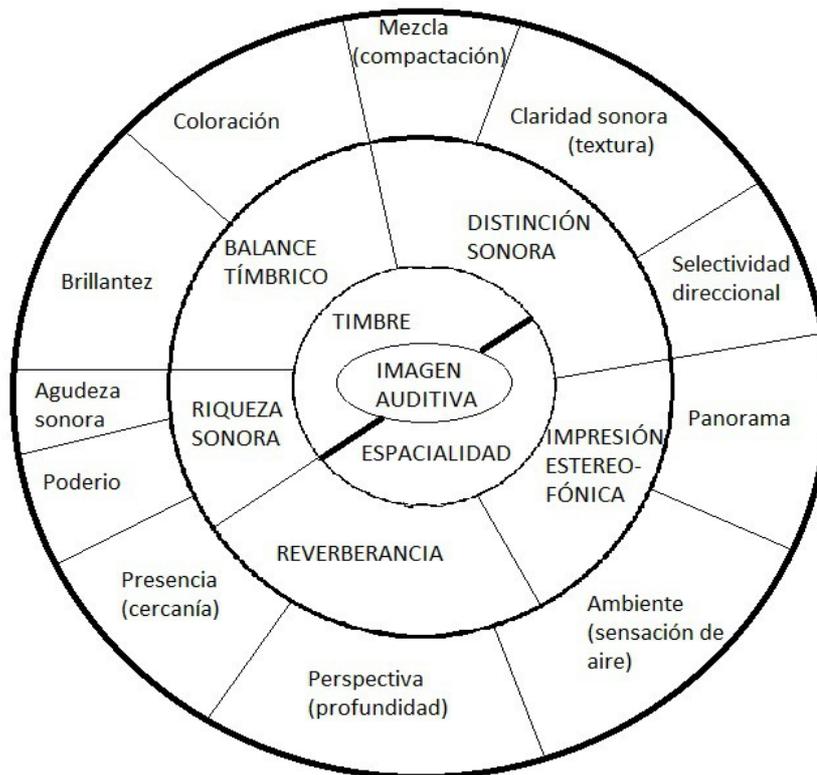


Figura 21 - Gráfica de características estudiadas en psicoacústica

Todos estos campos son características del sonido, las cuales son diferentes entre un sonido u otro. Gracias a todos estos términos, inconscientemente el espectador puede diferenciar el sonido de una tuba con el de una flauta, si está en una catedral o al aire libre, si está cerca o lejos... incluso guiándose solo con el sentido del oído [Figura 21]. También se ha de tener en cuenta que el oído humano no responde de la misma forma ante ciertos sonidos u otros, dependiendo del registro en el que se encuentre el sonido. El oído humano puede reconocer sonidos entre los 20 Hz y 20.000 Hz. Los sonidos por debajo de los 20 Hz se conocen como infrasonidos, y por encima de los 20.000 Hz, ultrasonidos. Además, dependiendo del rango de frecuencia en el que se encuentre un sonido, necesita de un mínimo de intensidad (dB) para ser perceptible, y a su vez, el oído humano solo reconoce cada sonido hasta cierta intensidad de dB.

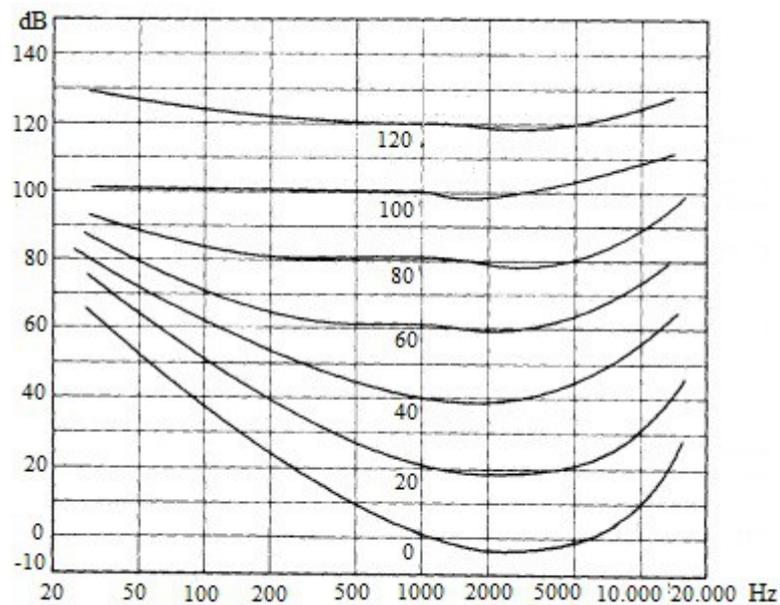


Figura 22 – Curvas Fletcher-Munson

Aplicando la psicoacústica al sonido del trombón, dicho instrumento tiene un rango de frecuencias de 1 - 4 KHz y la fundamental de 73 – 587 Hz. Pero como se ha explicado antes, no es igual de perceptible un sonido de cierta frecuencia que otro. Se puede observar el umbral de audición para tonos puros. La franja marca el mínimo de intensidad en dB que necesita cada rango de frecuencias para ser audible por el oído humano [Figura 22].

El oído humano reconoce mejor los sonidos comprendidos entre los 2.000 y 5.000 Hz, siendo el rango de frecuencia más audible en baja intensidad de dB [Figura 22]. Pero hay un límite de intensidad que el oído humano puede soportar, y por encima de ese umbral, se llega a sufrir malestar y dañar el oído hasta límites incurables. Este umbral de dolor se sitúa sobre los 120 dB, y a partir de los 140 dB, se llega a dañar el oído llegando a generar patologías en él. Entre estos dos umbrales, de audición y de dolor, se encuentra el umbral de confort, el cual, los sonidos son más audibles para el oído. Dentro de este umbral está la conversación y la música [Figura 23].

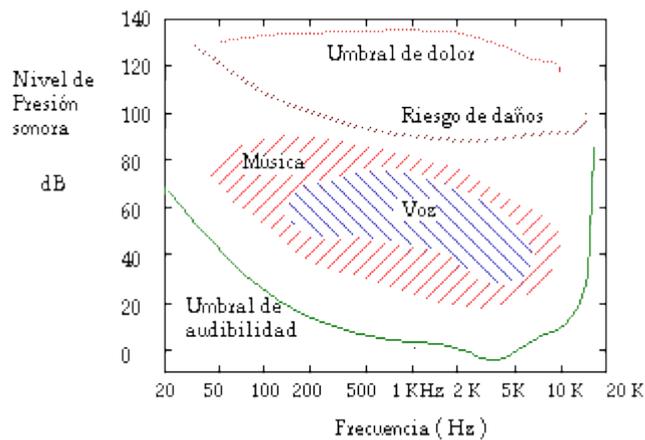


Figura 23 - Umbral de audición para el S.H.

En esta gráfica, se observan las líneas de umbral de audición y molestia. La línea inferior es la misma que la de la gráfica anterior, muestra el mínimo de dB que necesita un sonido para ser escuchado. La línea superior es el límite que puede soportar el oído humano. Como se puede observar, no son líneas rectas. Tienen variaciones dependiendo de qué frecuencias escuchamos [Figura 23].

Esto crea el contorno de igual sonoridad, donde se puede observar cada rango de frecuencias con diferente intensidad desde la percepción del oído humano. Se puede ver que el oído humano no responde tan bien por debajo de los 1.000 Hz como sobre los 10.000 Hz. Todo esto se puede corregir dándole más intensidad a los sonidos fuera de estos límites, para igualarlos al resto [Figura 22] [Figura 23].

El apartado de la psicoacústica en esta investigación va ligada al timbre que genera cada uno de los trombones. Al ser instrumentos musicales, no generan tonos puros, sino un sonido en concreto que lo caracteriza y diferencia del resto de los instrumentos por sus armónicos. Se puede comprobar un ejemplo similar analizando el espectro de un tono puro La (440 Hz), y el espectro de un LA emitido por un trombón tenor y un alto [Figura 24] [Figura 25].

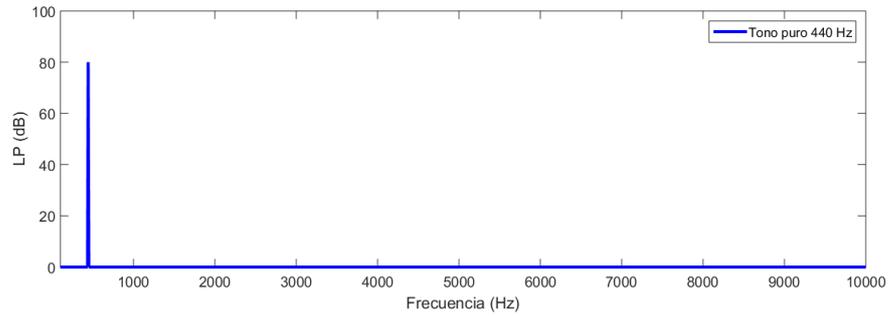


Figura 24 - Espectro de un tono puro La a 440 Hz

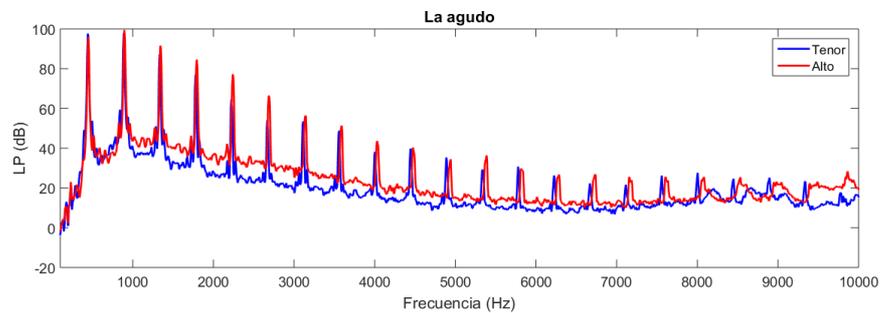


Figura 25 – Espectro de un La a 440 Hz emitido por un trombón tenor y un alto

Como se puede comprobar, la nota La de los trombones genera armónicos a diferencia del tono puro, independientemente de si está más cerca de la fundamental o no. Estas variaciones de armónicos le dan a cada instrumento un sonido en particular, un timbre. El timbre depende del tamaño y formas geométricas del instrumento, y entre el trombón tenor y alto, la gran diferencia es el tamaño, y esto se puede comprobar con un análisis del espectro sonoro de ambos trombones [Figura 25].

4.2. Fuentes de datos estructurales

4.2.1. Análisis del espectro sonoro del Trombón

Las medidas experimentales de este trabajo se han realizado en condiciones controladas, en una cámara anecoica perteneciente al Centro de Tecnologías Físicas de la Universitat Politècnica de València [12]. Una cámara anecoica es una sala de medidas acústicas donde se pretende que el campo creado en su interior sea lo más parecido al campo acústico libre evitando, asimismo, las posibles interferencias sonoras provenientes del exterior que podrían distorsionar los resultados.

4.2.1.1. Muestras y herramientas del análisis

En este caso, la cámara tiene unas dimensiones de 8 x 6 x 3 metros cúbicos [Figura 26]. Se muestra un esquema de la cámara y la disposición de los distintos elementos utilizados para llevar a cabo las medidas. Un micrófono se encuentra conectado a un analizador donde se registra la señal temporal. El analizador que está conectado a un ordenador, trata la señal obteniendo su Transformada Rápida de Fourier (FFT) para representar por pantalla los resultados y en su caso comparar unos con otros mediante el programa comercial Matlab. El análisis de esta señal se realiza mediante espectros, donde se representa el nivel de presión sonora en decibelios (dB) frente a la frecuencia en Hercios (Hz) [Figura 26].



Figura 26 - Conjunto experimental utilizado para las medidas en sala anecoica

Para la adquisición de datos se ha utilizado la tarjeta PCI-4474 de National Instruments. Está diseñada para el análisis, tanto de señales de ruido aéreo como

de vibración, consiguiendo poca distorsión y bajo ruido de fondo. Las tarjetas de National Instruments, PCI-4474 y PCI-7334, se utilizan de manera conjunta con dos paquetes de LabVIEW para la adquisición de datos. Se ha utilizado un micrófono pre-polarizado de ½" tipo 4189 B&K con una sensibilidad de 49,5 mV/Pa, que permite analizar un amplio rango de frecuencias. En este trabajo se ha analizado el rango de 0 Hz a 10000 Hz.

4.2.2. Similitudes y diferencias sonoras entre la familia de los trombones

En esta sección se muestra principalmente una gráfica de las notas fundamentales del trombón tenor en 1ª posición frente a la frecuencia para una afinación del A4 (LA agudo) a 440 Hz [Figura 27].

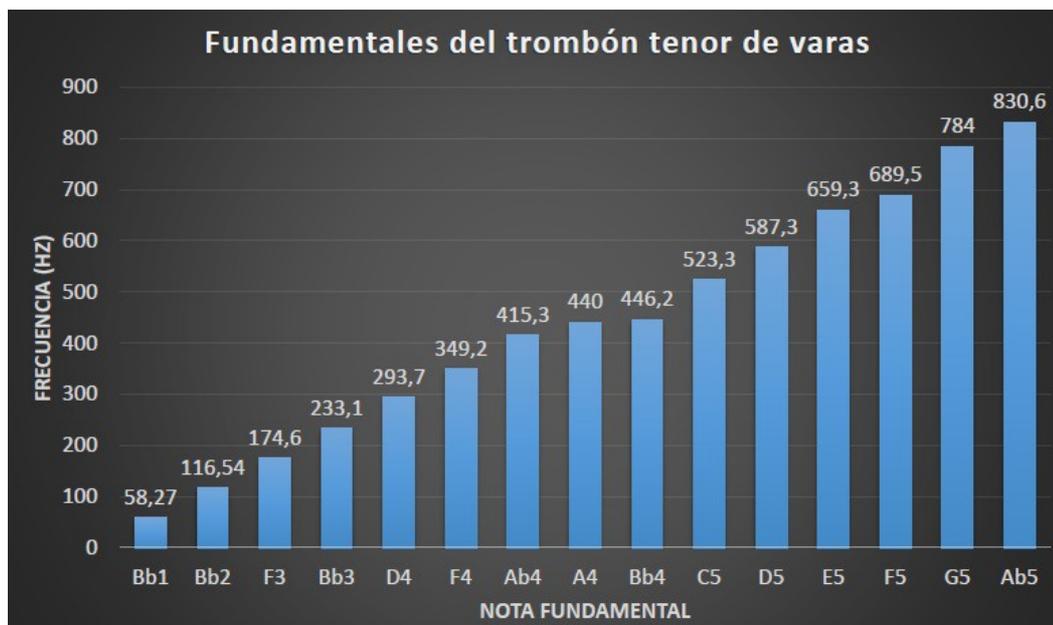


Figura 27 - Representación gráfica de las notas fundamentales del trombón tenor

Seguidamente, se han tomado como notas musicales a comparar entre el trombón tenor y alto las notas Mib (Eb3), Sib (Bb3), Mib (Eb4), Fa (F4) y La (A4).

Además, se han tomado muestras de las notas Mib (Eb4) y Fa (F4) en una dinámica más fuerte para así determinar diferencias no solo en el timbre de los trombones a una potencia estándar, si no para comprobar las diferencias tímbricas que se pueden apreciar al interpretar ciertas notas con más fuerza.

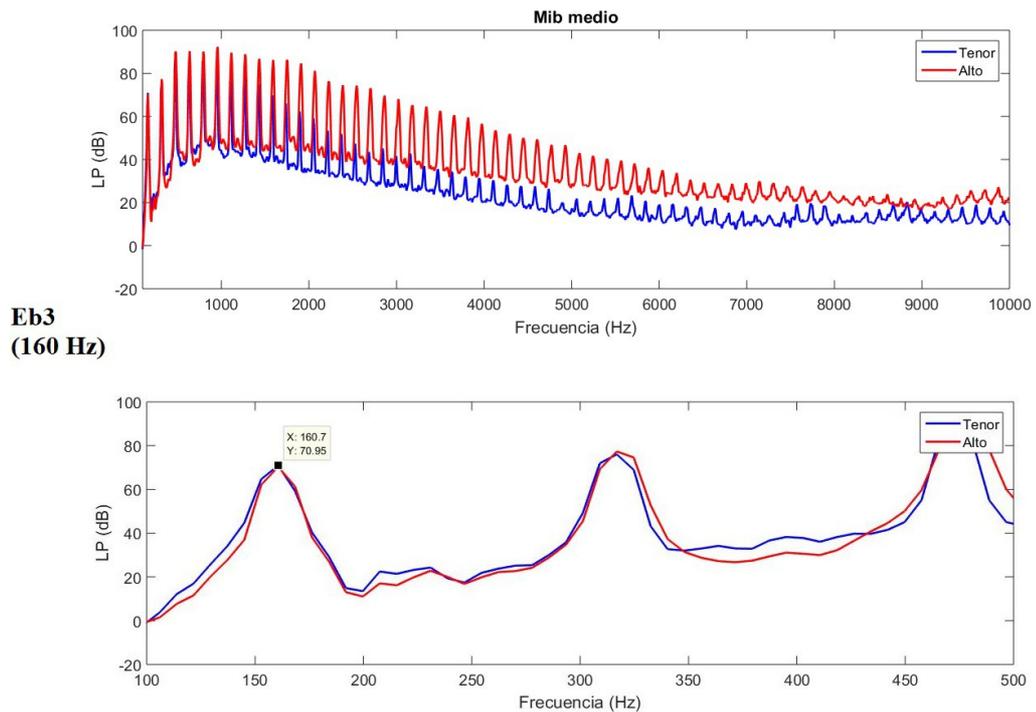


Figura 28 - Espectro sonoro Eb3 entre trombón tenor y trombón alto

Como se observa en la primera gráfica del espectro sonoro entre ambos trombones siendo la nota a analizar Mib (Eb3), la primera gráfica muestra el espectro completo todos los armónicos de cada nota en cada instrumento, azul para el trombón tenor y rojo para el alto [Figura 28].

La siguiente gráfica muestra la fundamental y los siguientes dos armónicos, fundamentales para el sonido del propio instrumento. En ambas gráficas se puede observar que los primeros armónicos son similares, lo cual significa que el sonido de ambos instrumentos es similar hasta el décimo armónico, donde los dB del trombón tenor empiezan a caer, y junto a una mayor estabilidad lineal en el espectro del trombón tenor en los primeros armónicos, es la causa de darle al trombón tenor en estos registros mayor cuerpo y profundidad sonora que el alto, que mantiene los armónicos superiores con más potencia sonora otorgándole brillo en el sonido [Figura 28].

En el siguiente caso, la nota Sib (Bb3), contamos con su espectro y se han observado resultados distintos al caso anterior, así como en el resto de espectros.

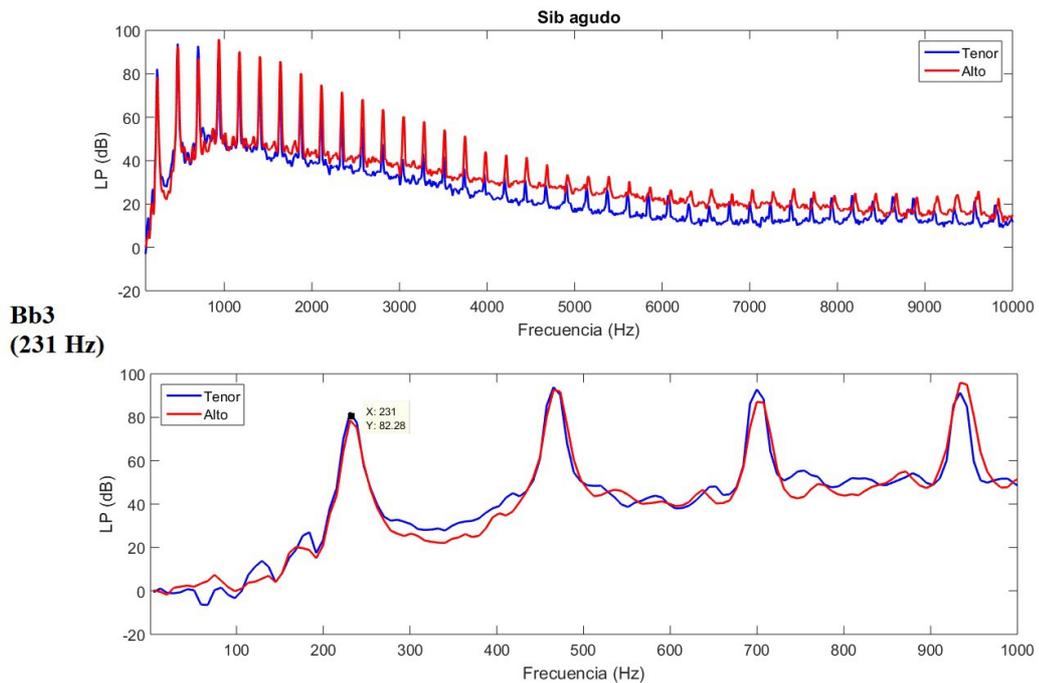


Figura 29 – Espectro sonoro Bb3 entre trombón tenor y trombón alto

Tanto los primeros armónicos como el resto no varían demasiado. El trombón alto y tenor no se diferencian apenas sobre los 5kHz, manteniendo casi los mismos armónicos a diferencia del caso de la nota Mib (Eb3), donde el trombón tenor tiene menor rango de dB en los armónicos situados sobre los 5kHz, donde podemos encontrar características sonoras como el brillo. En este caso, tanto el trombón alto como tenor caen en paralelo además de mantener casi los mismos armónicos, es por ello, que tienen características sonoras muy similares y casi idénticas para el oído humano, por lo que es una nota difícil de diferenciar entre un instrumento y otro [Figura 29]

La siguiente nota es la octava de respecto de la primera analizada, la nota Mib (Eb4). La distancia en Hz entre octavas es doble de la primera, es decir que siendo Mib (Eb3) de 160 Hz, Mib (Eb4) es aproximadamente el doble siendo 320 Hz. Estos datos son posibles mediante métodos precisos como en los tonos puros, al ser ejecutadas las notas por un músico, es de extrema dificultad obtener los 320 Hz, pero se ha logrado una frecuencia lo más aproximada a la real, 316,9 Hz [Figura 30].

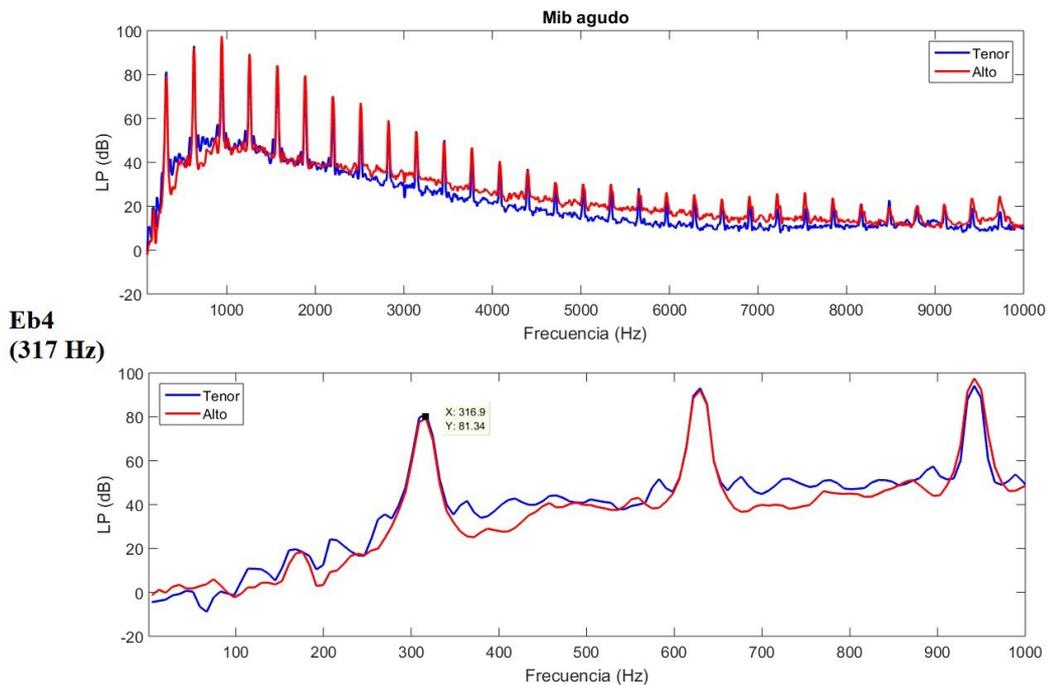


Figura 30 – Espectro sonoro Eb4 entre trombón tenor y trombón alto

Como se puede observar con respecto a los espectros anteriores, cuanto más aguda es la nota, más se asemeja el sonido entre ambos trombones. Las únicas diferencias, la cual una de ellas ha llamado ciertamente la atención, es respecto a los primeros armónicos, los fundamentales de la nota, que son más potentes en el tenor con respecto al alto, y conforme aparecen el resto de armónicos, cae por debajo del alto, el cual se observa que mantiene un equilibrio de armónicos más lineal respecto al tenor, sobretodo alrededor de los 5kHz. La otra característica a destacar, pero poco perceptiva, es la subida de armónicos entre los 8kHz y 9kHz en el trombón tenor, llegando a superar un par de armónicos del trombón alto. En general se observa que la nota Mib (Eb4) es por el momento la más similar entre el trombón tenor y el trombón alto, siendo así la más difícil de diferenciar [Figura 30].

El siguiente espectro corresponde a la misma nota, pero ejecutada con mayor intensidad para dar sensación de *forte*, para así observar si hay cambios en el espectro entre ambos trombones y ver si puede haber diferencias en sus características sonoras [Figura 31].

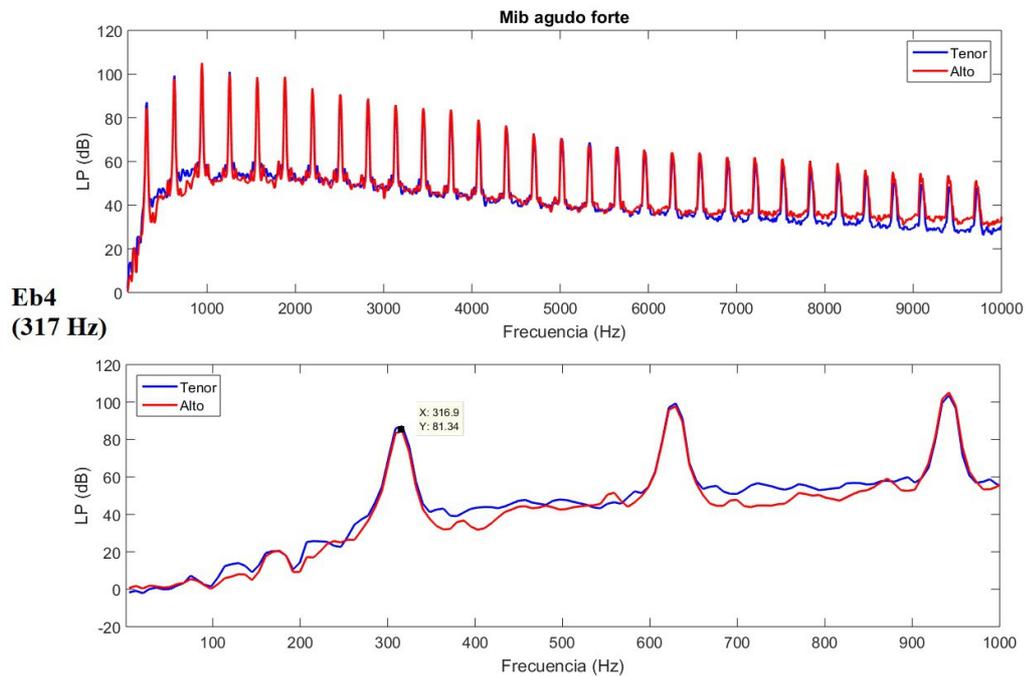


Figura 31 – Espectro sonoro Eb4 forte entre trombón tenor y trombón alto

En el caso del *forte*, se aprecia claramente que hay mayor similitud entre ambos instrumentos, distanciándose ligeramente tanto en los armónicos fundamentales como los superiores a 7kHz [Figura 31].

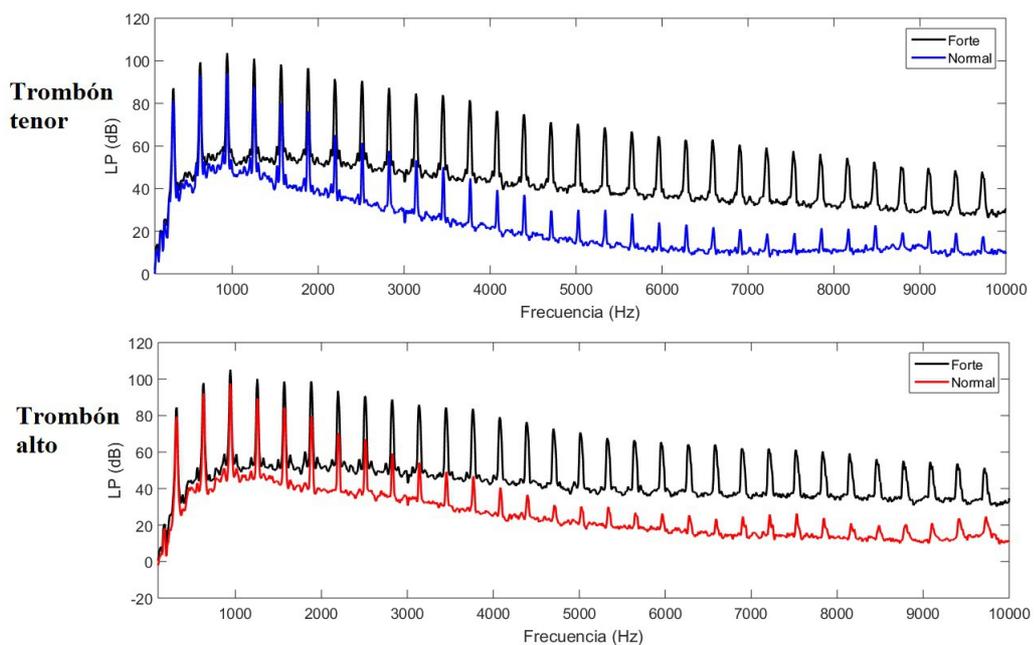


Figura 32 – Espectro sonoro Eb4 trombón tenor y alto entre forte y normal

Las dos últimas notas a analizar, son las más complicadas de equilibrar debido a la compatibilidad con sus armónicos naturales del propio instrumento, Fa (F4) y La (A4), siendo la nota Fa inestable en el trombón alto y La en el trombón tenor.

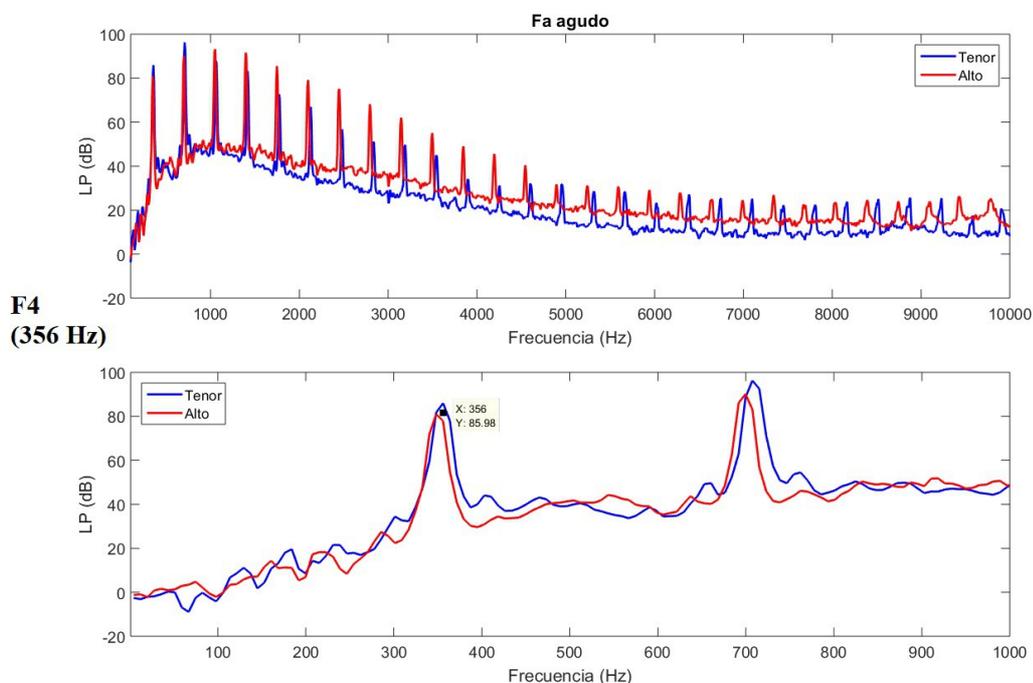


Figura 33 – Espectro sonoro F4 entre trombón tenor y trombón alto

Principalmente, la caída de Hz que sufre la nota Fa (F4) en los armónicos del trombón alto es lo que más llama la atención, y es la razón por la que es una nota difícil de afinar en dicho instrumento. Se puede observar que la posición de los armónicos está desplazada con respecto al trombón tenor a partir de los 7kHz, teniendo así un timbre distinto en altas frecuencias. Es difícil distinguir ambos sonidos por la ligera similitud en los primeros armónicos, que no es exacta por la ligera desafinación, pero igualmente es por el momento, la mayor diferencia entre ambos instrumentos [Figura 33].

Para comprobar si este fenómeno ocurría en distintas situaciones con la misma nota, se ha realizado otra recopilación pero con mayor intensidad, *forte*, al igual que la nota Mib (Eb4). Pero el resultado ha sido el mismo tanto en el caso de la propia nota Fa (F4), como en el comportamiento de los armónicos superiores como se ha visto anteriormente en el espectro del Mib (Eb3) *forte* [Figura 34].

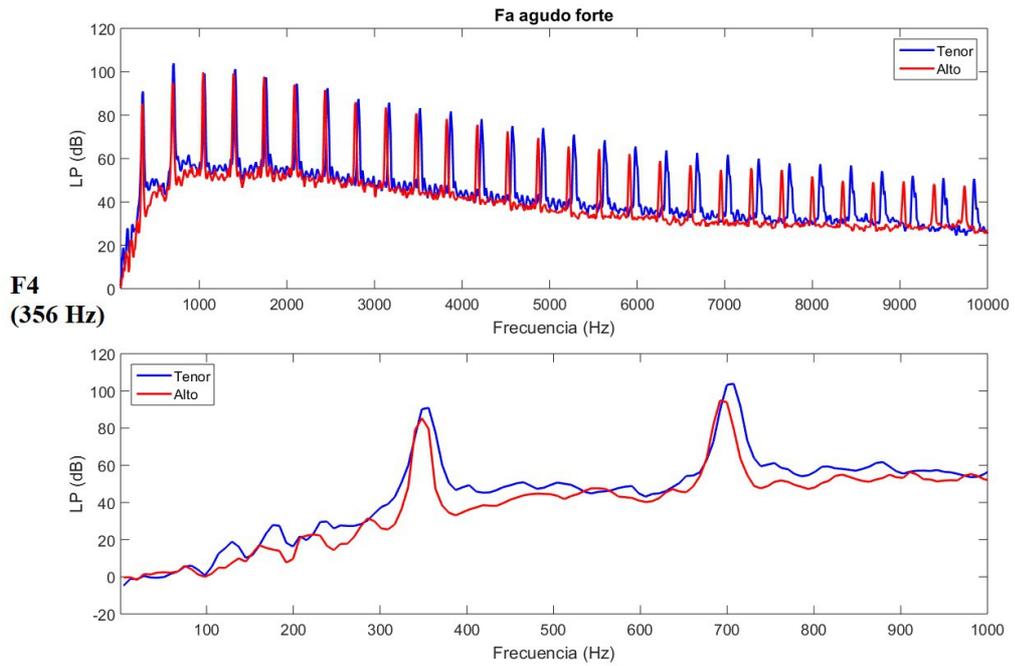


Figura 34 – Espectro sonoro F4 fuerte entre trombón tenor y trombón alto

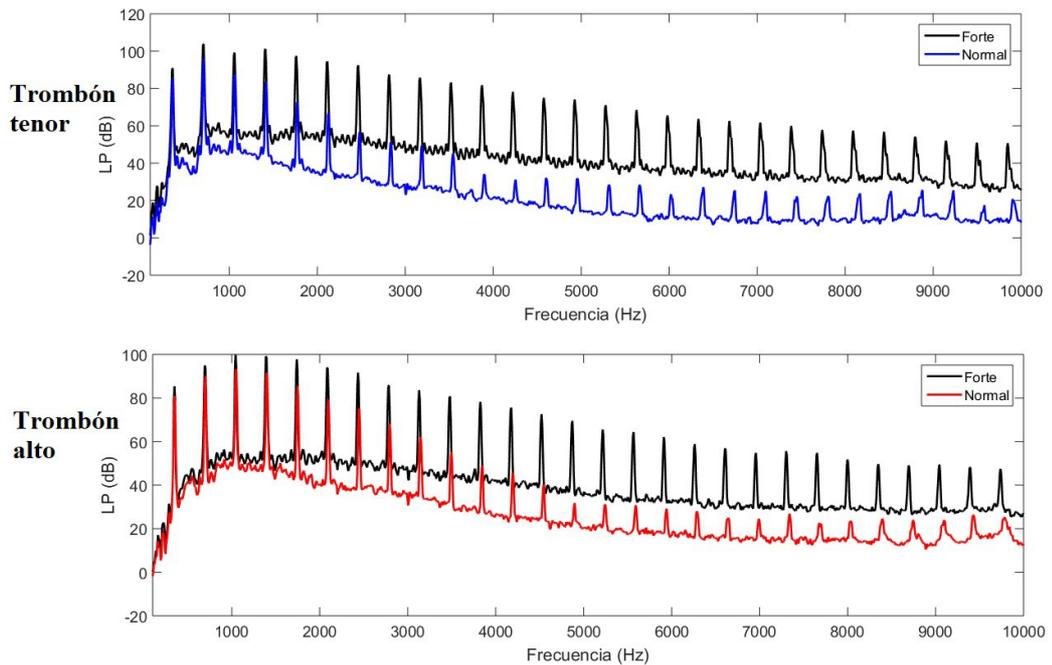


Figura 35 – Espectro sonoro F4 trombón tenor y alto entre fuerte y normal

La única diferencia entre la dinámica *forte* y normal es el aumento de decibelios general así como mayor potencia en los armónicos superiores, dándoles mayor timbre además de la potencia [Figura 32] [Figura 35].

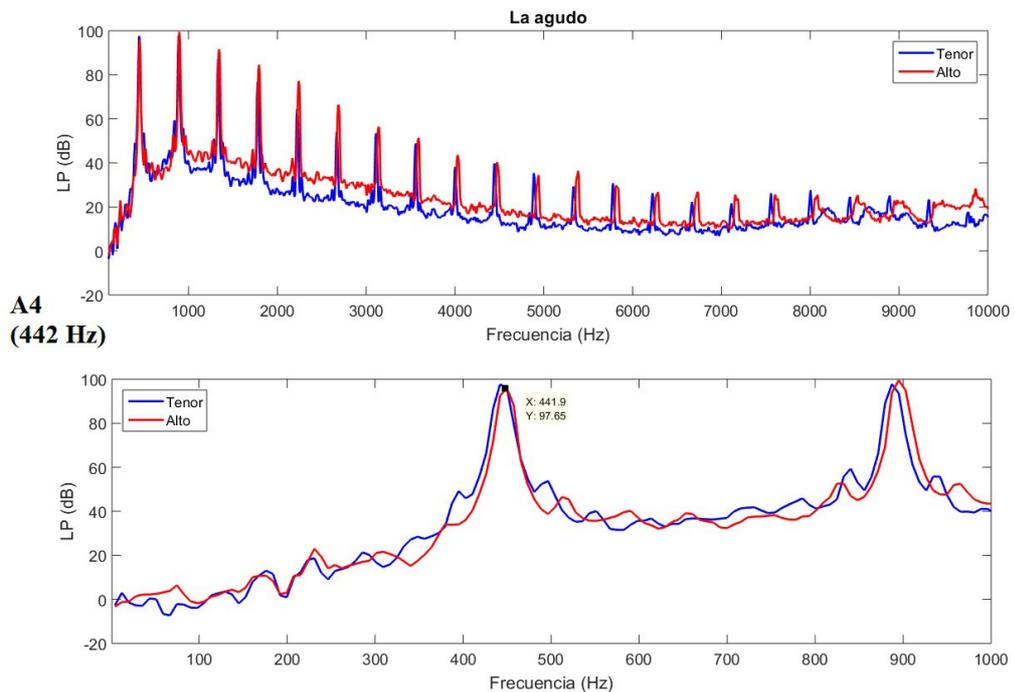


Figura 36 – Espectro sonoro A4 entre trombón tenor y trombón alto

Para finalizar, la nota La (A4) tiene el mismo efecto que se ha observado en el caso anterior, pero en el trombón tenor. Al ser una nota inestable para el trombón tenor, sufre un desplazamiento de Hz en los armónicos superiores pero en menor medida respecto en el caso de la nota Fa (F4) del trombón alto [Figura 33]. La nota no tiene tanto desplazamiento de armónicos pero se puede apreciar ligeramente la falta de brillo y potencia en el trombón tenor [Figura 36].

Es por ello que las notas con mayor diferencia son las extremas obtenidas en el experimento, las notas graves y agudas, sobre todo en el brillo y tono que tienen los trombones en las notas Mib (Eb3) y Sib (Bb3), pero destacando sobre todo los efectos de estabilidad armónica en los armónicos superiores de las notas agudas Fa (F4) y La (A4), que afectan al cuerpo y volumen de las notas.

4.2.3. Experimento psicoacústico de la familia de los Trombones

Con la finalidad de valorar si estas diferencias mínimas que se observan con las medidas experimentales desarrolladas en condiciones controladas son apreciables al oído, se desarrolla un experimento psicoacústico. Este consiste en tomar 10 audios de 5 fragmentos orquestales de diferentes estilos compuestos para trombones, siendo originales para trombón alto, tenor y bajo. Cada fragmento se ha interpretado dos veces, siendo una interpretada por dos trombones tenores y bajo, y la otra por trombón alto, tenor y bajo.

Tras la recopilación de audios, se ha creado una encuesta Online, dirigida principalmente a músicos de todas las disciplinas y niveles, donde han de responder a preguntas sobre su formación, instrumento y experiencia, y seguidamente han escuchado los audios de los fragmentos grabados donde han tenido que intentar diferenciar, qué audios eran interpretados por el trombón alto en la primera voz, o interpretados por el tenor.

Tras la recopilación de datos, se han sacado varias gráficas centrándose en la cantidad de aciertos por fragmento, dependiendo de los perfiles personales de los encuestados, para así llegar a una conclusión sobre como se diferencia el sonido del trombón alto respecto al tenor en los fragmentos orquestales para conjunto de trombones, y si la experiencia musical, instrumento o disciplina del oyente afecta a como diferenciamos los trombones.

4.2.3.1. Muestras y herramientas del experimento

Los fragmentos elegidos, cumplen con diferentes características de carácter, tesitura, potencia... para así comprobar con mayor exactitud en qué casos se pueden diferenciar el trombón alto del tenor en una sección conjunta de trombones. Las grabaciones cuentan con el obstáculo de estar envuelta la voz principal por el resto de voces, enmascarando de esa forma las características sonoras del trombón tenor del alto.

Sinfonie Nr. 3

Es-Dur/E^b major

4. Satz

Feierlich

Robert Schumann
op. 97

Musical score for the 4th movement of Schumann's Symphony No. 3, measures 1-4. The score is in E-flat major (three flats) and common time (C). It features three staves: I. (treble clef), III. (bass clef), and a lower bass clef staff. Dynamics include *pp* and *f*. The first staff has a first ending bracket over measures 1-4. The lower bass clef staff has a first ending bracket over measures 1-4 and a second ending bracket over measures 3-4. A triplets sign (3) is present at the end of the first ending in the lower bass clef staff.

Fragmento 1 – 4^o movimiento – Sinfonía N^o 3 – Robert Schumann

No.10, Sarastro's Aria

Adagio

Musical score for Sarastro's Aria from Mozart's The Magic Flute. The score is in 3/4 time and C major. It features three staves: treble, middle, and bass clefs. Dynamics include *p*. The score is marked 'Adagio'.

2449

Fragmento 2 – N^o 10 Sarastro's Aria – La Flauta Mágica – W. A. Mozart

Sinfonie Nr. 1

c-Moll/C minor

4. Satz

Più Andante

Johannes Brahms
op. 68

Musical score for the 4th movement of Brahms's Symphony No. 1, measures 47-50. The score is in C minor and common time (C). It features three staves: I. (treble clef), II. (bass clef), and III. (bass clef). Dynamics include *p dolce*. The score is marked 'Adagio' and 'Più Andante'. A box containing the number '47' is placed above the first staff. The first staff has a first ending bracket over measures 47-50. The second and third staves have first ending brackets over measures 47-50.

Fragmento 3 – 4^a movimiento – Sinfonía n^o 1 – Johannes Brahms

SYMPHONY No 8

FRANZ SCHUBERT
(1797 - 1828)

I. Allegro moderato

(Unfinished)

Musical score for Symphony No. 8, I. Allegro moderato, (Unfinished). The score is in 3/4 time with a key signature of one sharp (F#). It consists of two systems of staves. The first system shows the first two staves with dynamics markings of 'fz' (forzando) and accents. The second system shows the next two staves, also with 'fz' markings and accents.

Fragmento 4 – Sinfonía N° 8 (incompleta) – Franz Schubert

Symphonie fantastique

4. Satz: Marche au supplice

Hector Berlioz
op. 14

Allegretto non troppo (♩=72)

(Der Gang zum Hochgericht)

Musical score for Symphonie fantastique, 4. Satz: Marche au supplice. The score is in 3/4 time with a key signature of two flats (Bb). It consists of two systems of staves. The first system shows the first three staves with dynamics markings of 'mf' and 'cresc.'. The second system shows the next three staves with dynamics markings of 'f' and 'ff'. A 'Baßtuba' part is indicated in the first system.

Fragmento 5 - 4º movimiento – "Sinfonía fantástica" – Hector Berlioz



Figura 37 - Sala Charles Darwin del campus de Burjassot, UV.

Para la grabación de los fragmentos orquestales se ha utilizado una grabadora Tascam DR-40 Versión 2. Una grabadora de mano profesional capaz de grabar cuatro pistas a través de los cuatro micrófonos de condensador de alta calidad incorporados, las entradas XLR o las entradas en línea. Los micrófonos pueden ajustarse entre posición XY y AB, permitiendo adaptar las grabaciones según el sonido de la habitación. Permite grabar a resoluciones de hasta 24 Bit/96 kHz en formato WAV/MP3. Una duración de la batería de 15 horas usando 3 baterías AA, Buffer de grabación de 2 segundos, velocidad variable desde 50% hasta 150% sin cambiar el tono, limitador ajustable, filtro de corte bajo (40/80/120), altavoz integrado, afinador cromático y una salida de auriculares/línea Jack de 1/8" [Figura 38].



Figura 38 - Grabadora Tascam DR-40 V.2



Figura 39 - Grabación realizada el 04/04/2019 en la sala Charles Darwin, 18h Músicos: Daniel Ribes, Marcos Miquel y Alberto Miquel

4.2.3.2. Encuesta

La encuesta se ha creado en la página web "e-encuesta.com". Una web para crear encuestas online con posibilidad de subir audios y descargar todas las respuestas, todas ellas anónimas. Se tiene en cuenta durante la encuesta el perfil de los encuestados para agruparlos en diferentes perfiles e intentar conseguir conclusiones respecto a la percepción de los trombones.

1 Indique su nivel de estudios musicales: (*)

- ninguno
- básico / amateur (escuela de música / grado elemental / otra formación similar)
- medio / estudiante (estudiando o finalizado el grado medio / grado profesional)
- profesional (estudiando o finalizado el grado superior y similares)

2 En caso de no contestar en la pregunta anterior "ninguno", indique que tipo de instrumento o instrumentos interpreta

- Cuerda frotada
- Cuerda percutada
- Percusión
- Viento metal
- Viento madera
- Electroacústica
- Voz

3 Indique en que tesituras se mueve de normal a la hora de interpretar con su instrumento o cantar:

- aguda / soprano / tiple
- aguda / mezzo / contralto
- media / tenor
- grave / baritono / bajo

4 Señale sus años de experiencia en la música, independientemente de su formación:

- 0 – 4 años
- 5 – 10 años
- 11 – 15 años
- 16 – 20 años
- 21 años o más

2. Encuesta audios

Identifique con la ayuda de los audios, si la voz superior del conjunto de trombones es un trombón tenor o trombón alto, en cada uno de los audios.

En cada pregunta, encontrará dos audios interpretando el mismo pasaje para trombones, originalmente escrito para trombón alto, tenor y bajo, pero una vez se interpretará la voz del alto con un trombón tenor y la otra, con un trombón alto, tendrá que identificarlos.

Si no conoce el trombón alto, es un instrumento afin al trombón tenor convencional, de dimensiones reducidas centrado en interpretar voces agudas, lo cual, tiene un sonido más brillante que el trombón tenor.

5 AUD1



6 AUD2



7 Sinfonie Nr 3 - 4. Satz. Robert Schumann (*)

	Aud1	Aud2
tenor	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
alto	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>

8 Aud3



9 Aud4



10 Die Zauberflöte – 2. Aufzug – Nr. 10 Arie des Sarastro W. A. Mozart (*)

	Aud3	Aud4
tenor	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
alto	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>

11 Aud5



12 Aud6



13 Sinfonie Nr. 1 – 4. Satz. Johannes Brahms (*)

	Aud5	Aud6
tenor	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
alto	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>

14 Aud7



15 Aud8



16 Symphony No 8 (unfinished) – I. Allegro moderato Franz Schubert (*)

	Aud7	Aud8
tenor	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
alto	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>

17 Aud9



18 Aud10



19 Symphonie fantastique – 4. Satz: Marche au supplice Hector Berlioz (*)

	Aud9	Aud10
tenor	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
alto	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>

4.2.3.3. Resultados encuesta

La encuesta fue completada por 54 voluntarios con perfiles completamente distintos. La primera característica a destacar, puesto que es de única respuesta, el nivel de estudios, al igual que años de experiencia en la música.

Contamos con 4 encuestados sin ningún tipo de nivel de estudios ni formación musical, siendo el 7,4% de encuestados, 14 con un nivel básico, 25,9%, 15 con un nivel medio, 27,8%, y en gran mayoría de encuestados, con un nivel superior, de 21, siendo el 38,9% de los encuestados [Figura 40].

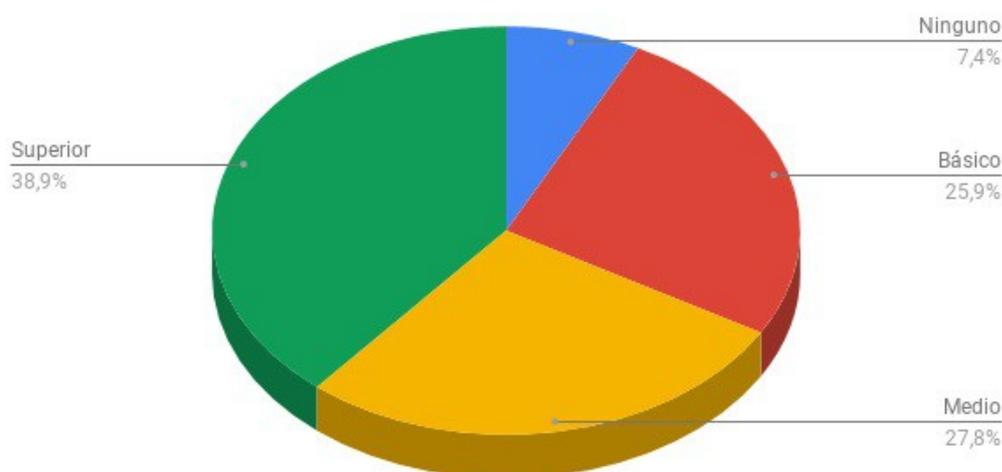


Figura 40 - Porcentaje de encuestados por nivel de estudios

Otra característica a destacar son los años de experiencia de los encuestados, cuya respuesta también es fija. De 0 a 4 años de experiencia se contó con la participación de 6 encuestados, 10,7%. Tanto de 5 a 10, como de 11 a 15 años nos encontramos con la misma cantidad de encuestados, 8, siendo el 14,3% del total de encuestados en cada grupo. Los dos grandes grupos juntos, cuentan con más de la mitad de los encuestados, siendo de 16 a 20, un total de 15 encuestados, el 26,8%, y de 21 años de experiencia o más en la música, el grupo más grande, con 19 encuestados, 33,9% [Figura 41].

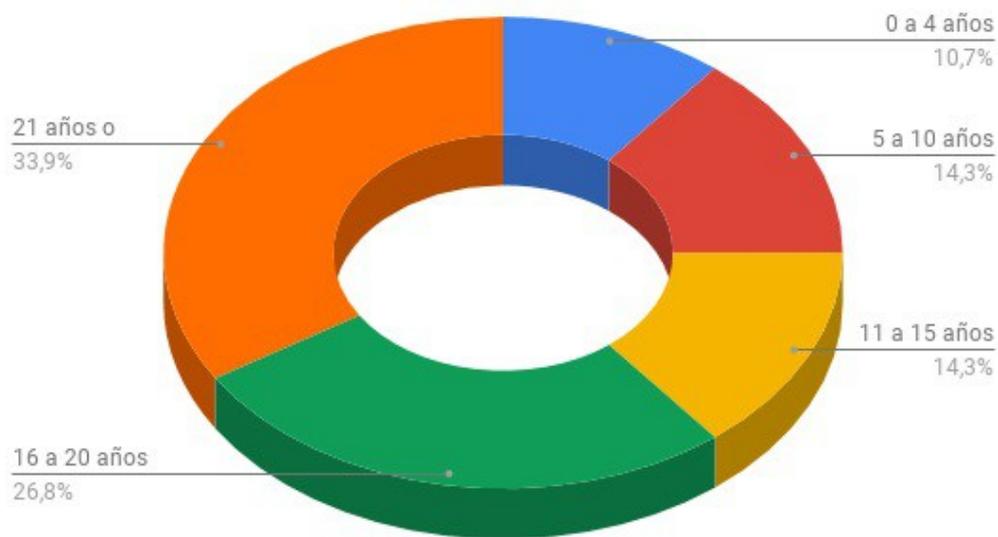


Figura 41 -Porcentaje de encuestados por años de experiencia en la música

Las siguientes dos preguntas pueden tener más de una respuesta, puesto que hay músicos que interpretan más de un instrumento y, sobre todo, podemos encontrarnos músicos que se muevan tanto en un registro, como en todos los registros posibles, en el caso de intérpretes de instrumentos de cuerda percutida, (Piano, Arpa, Guitarra...).

En la siguiente figura, se muestra la cantidad de intérpretes por familia de instrumentos, sin sacar un porcentaje por lo explicado anteriormente.

En la familia de instrumentos de cuerda frotada, (Violín, Viola, Violoncelo, Contrabajo y derivados de cuerda frotada), contamos con 7 encuestados. Los grupos más pequeños, los cuales, menos precisos para sacar una conclusión en cuanto al experimento, son el de cuerda percutida con 5 encuestados, Electroacústica con 2 encuestados, Voz (cantantes) 4 encuestados, y 6 percusionistas. Los dos grupos más grandes los encontramos en la familia de vientos, siendo 19 encuestados intérpretes de viento-madera (Flauta, Clarinete, Oboe, Fagot, Saxofones...) y 14 dentro del grupo de viento-metal (Trompeta, Trompa, Trombón, Tuba, Bombardino...) [Figura 42].

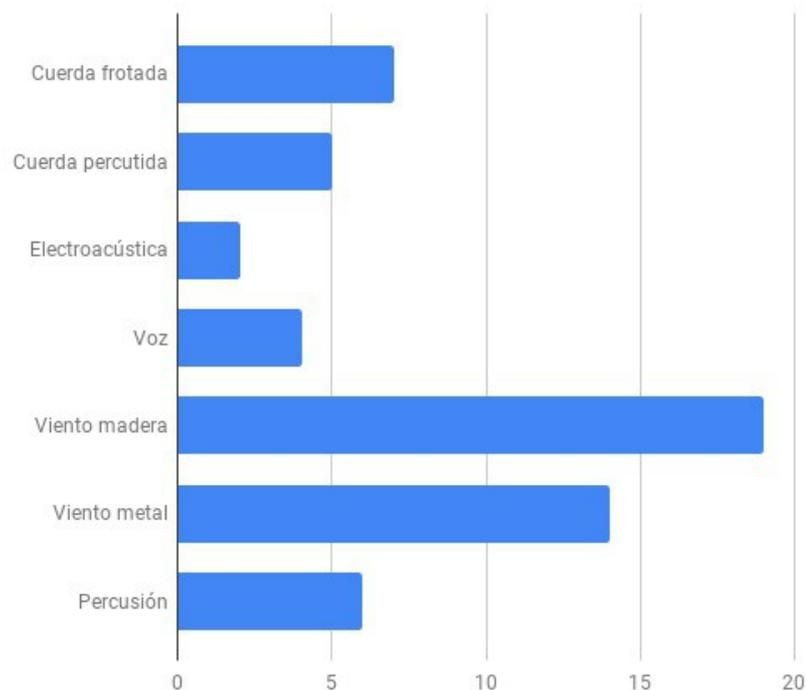


Figura 42 - Cantidad de encuestados por familia de instrumentos que interpretan

Finalmente, la última característica personal que encontramos en los encuestados es el registro el cual se mueve, pudiendo ser tanto Bajo y Tenor simultáneamente, en el caso de los trombonistas, como todos los registros, en el caso de los pianistas. De agudos a graves, contamos con 17 Sopranos, 24 Altos y Mezzo..., 23 Tenores y 14 Bajos y Barítonos [Figura 43].

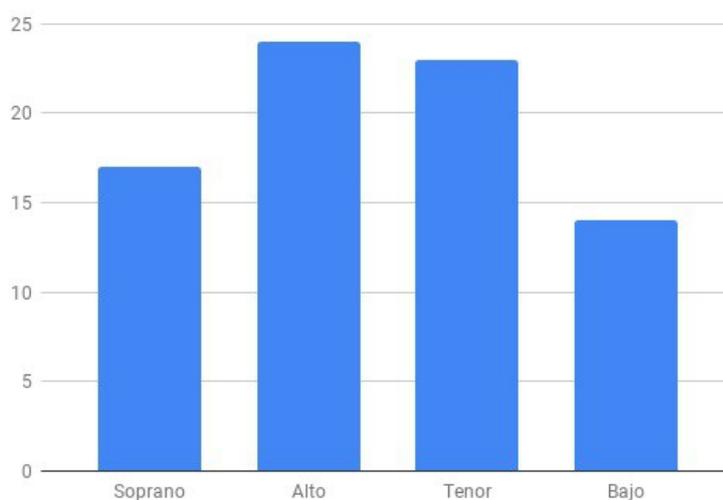


Figura 43 - Cantidad de encuestados por registro el cual suena el instrumento que interpretan

Centrándose en el experimento de los audios, se han recopilado los siguientes datos en cuanto a la cantidad de aciertos por fragmento musical interpretado.

Para empezar, en los grupos de nivel de estudios, los 4 encuestados sin ningún nivel de estudios, han acertado 2 en el audio de Berlioz y 1 acierto en el audio de Mozart. Los encuestados con una formación básica, siendo 14, han acertado 5 en el audio de Schumann, 4 en Mozart, tanto en Brahms como Schubert 7 aciertos, y el audio de Berlioz, 8 aciertos. Los 21 encuestados con una formación intermedia, ya con estudios de conservatorio, han acertado 8 tanto en Schumann como Brahms, 5 en Mozart y Berlioz y 7 en Schubert. Finalmente, el grupo de profesionales, compuesto por 21 encuestados, con 8 aciertos en Schumann y Berlioz, 10 en Brahms y 14 tanto en Mozart como Schubert, siendo el mayor porcentaje de aciertos entre todos los grupos y fragmentos [Figura 44].

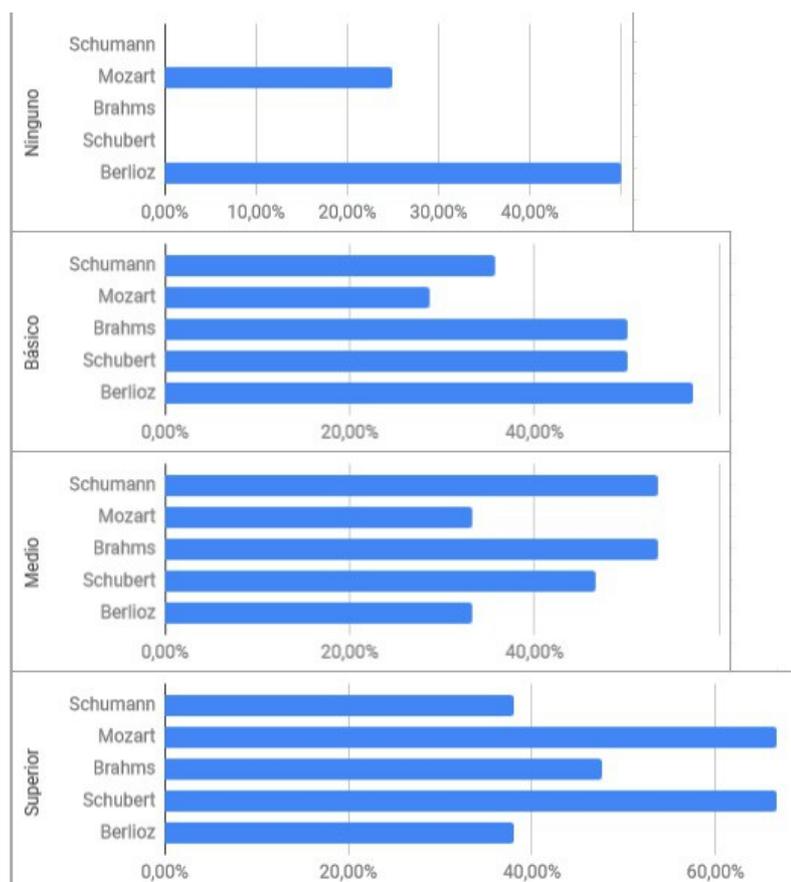


Figura 44 - Aciertos de fragmentos por nivel de estudios musicales

Donde encontramos los grupos más pequeños, es en las distintas familias de

instrumentos, llegando a ser tan solo 2 encuestados en el caso de electroacústica. El grupo de cuerda frotada, con 7 encuestados, han acertado, 3 en Schumann, 2 en Mozart y Schubert, 4 en Brahms y 1 acierto con Berlioz. El grupo de cuerda percutida, con 5 encuestados, han acertado 3 en Schumann, Brahms, Schubert y Berlioz, y 2 aciertos en Mozart. Comparado con estos dos pequeños grupos, el grupo más grande que cuenta con 19 encuestados, el de viento-madera, cuyo audio con mayor cantidad de aciertos ha sido el de Schumann, con 11 aciertos, 9 aciertos tanto en Mozart como Schubert, 8 en Berlioz y 7 en Brahms [Figura 45].

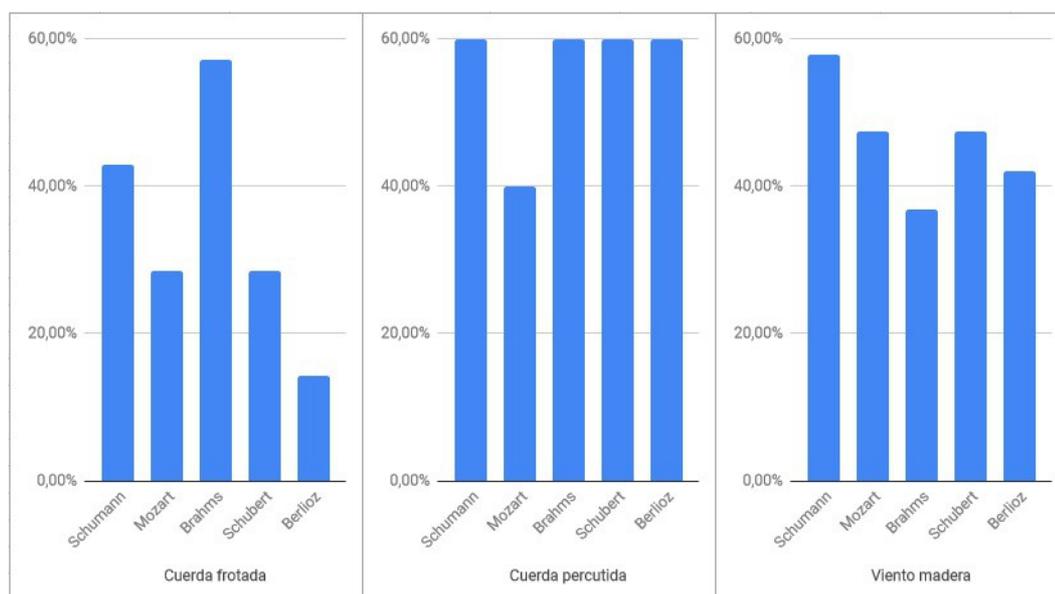


Figura 45 - Aciertos de los grupos de cuerda y viento-madera

Los dos grupos más pequeños por familia de instrumentos, los de Voz y Electroacústica, acertando exactamente la mitad de toda la encuesta el grupo de Voz, con 2 aciertos en todos los audios. En el grupo de Electroacústica, siendo 2 encuestados, han acertado ambos encuestados en Schumann, pero solo uno en Mozart y Berlioz [Figura 46].

Por último, el grupo de metales, con 14 encuestados, cuenta con 9 aciertos tanto en Brahms como Schubert, 8 en Mozart, 5 aciertos en Berlioz y 3 con Schumann. El grupo de percusión, que consta de 6 encuestados, ha tenido 4 aciertos en Berlioz, 3 en Schumann y Schubert, 2 en Mozart y 1 en Brahms [Figura 47].

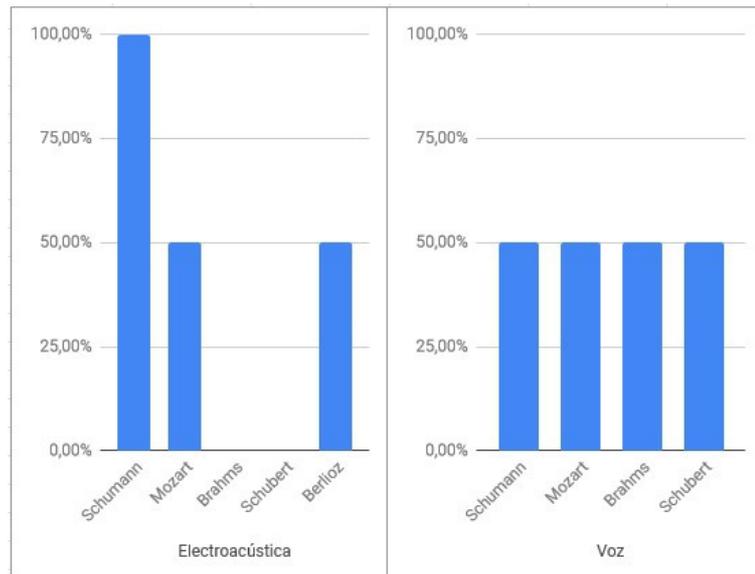


Figura 46 - Cantidad de aciertos en grupo de Electroacústica y Voz

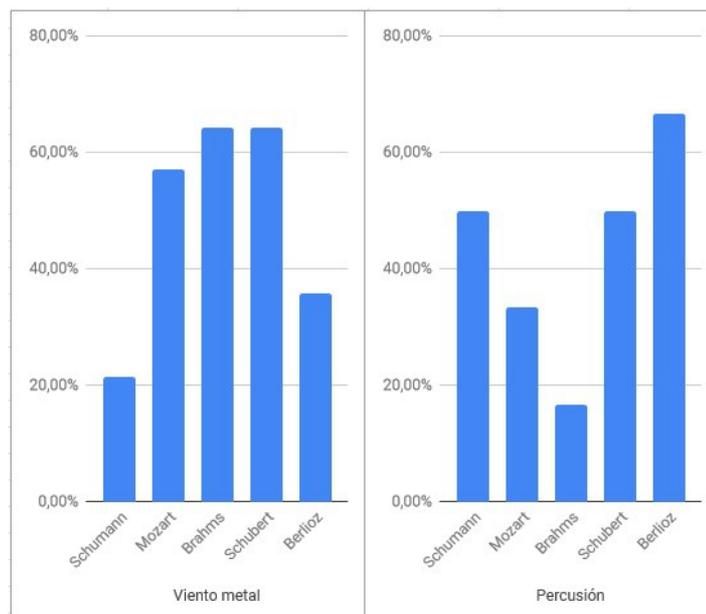


Figura 47 - Cantidad de aciertos en grupo de viento-metal y percusión

Si analizamos la característica de años de experiencia entre los encuestados, contamos con los grupos menos experimentados, con 6 encuestados en el grupo de 0 a 4 años, y 8 en el grupo de 5 a 10 años de experiencia. El grupo de 0 a 4 años cuenta con 4 aciertos en el audio de Schumann, 3 con Brahms, 2 en Schumann y 1 para Schubert y Mozart. El grupo de 5 a 10 años, ha acertado 6 veces en Schumann y Brahms, 3 con Mozart y Schubert y 1 acierto en el audio de Berlioz [Figura 48].

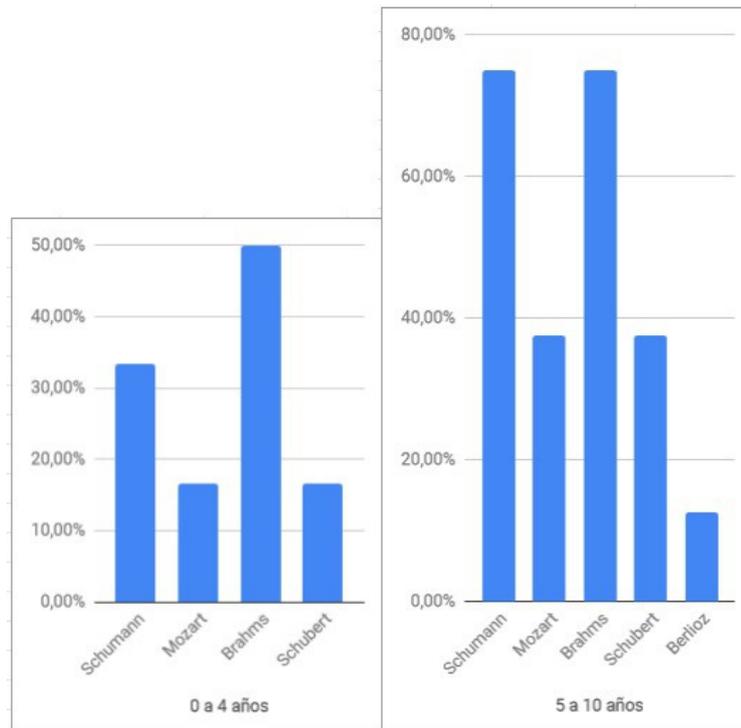


Figura 48 - Cantidad de aciertos en grupos de 0 a 4 y 5 a 10 años

Seguidamente, los siguientes grupos más experimentados, son los de 11 a 15 años con 8 encuestados, y de 16 a 20 años, con 15 encuestados. El primer grupo, de 11 a 15 años ha acertado 6 con el audio de Schubert, 2 en el de Mozart y Brahms y 1 con Berlioz y Schumann. El siguiente grupo, de 16 a 20 años, con casi el doble de encuestados que el grupo anterior, cuenta con 10 aciertos en el audio de Schubert, 9 con Brahms, 8 tanto en Mozart como Berlioz y finalmente 7 en el audio de Schumann [Figura 49].

Para finalizar, el grupo con mayor cantidad de encuestados, siendo 19, es el de mayor experiencia con la música, 21 años o más, han acertado 10 veces con Berlioz, 8 tanto en Schubert como Brahms y Mozart y 7 con Schumann [Figura 50].

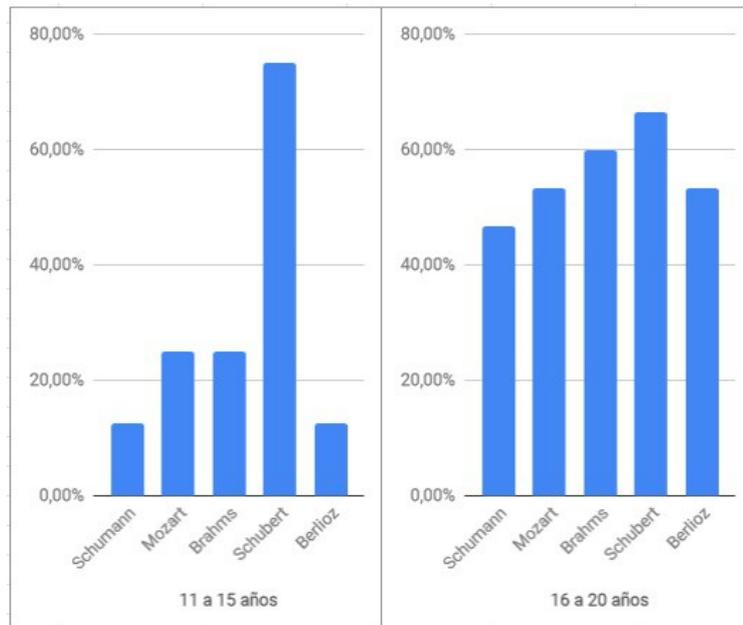


Figura 49 - Cantidad de aciertos en grupos de 11 a 15 y 16 a 20 años

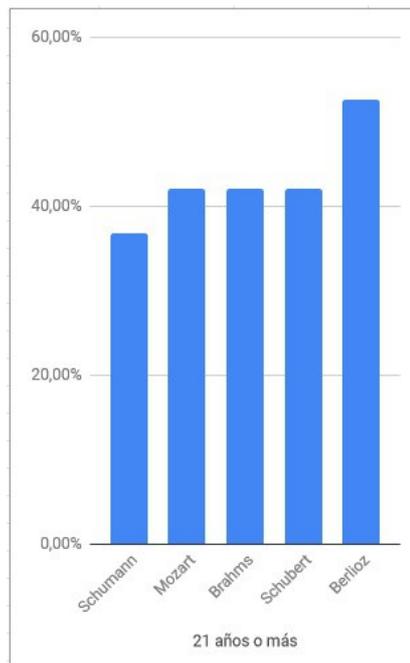


Figura 50 - Cantidad de aciertos en grupo de 21 años o más

Los últimos grupos cuyos datos se han recopilado de la encuesta se centran en la tesitura en la cual se mueven musicalmente los oyentes del experimento. En estos grupos se ha encontrado mayor equilibrio tanto de encuestados por grupo como media de aciertos por fragmento.

Principalmente, el grupo de sopranos, músicos cuya música interpretan en el registro agudo, cuenta con 17 encuestados. Han acertado 9 veces con el fragmento de Berlioz, 8 en el de Brahms y 7 tanto en Schumann como Mozart y Schubert. El grupo de Tenores, que junto al grupo de Altos son los que mayor cantidad de encuestados tienen, 23, han acertado 15 veces en Brahms, 13 con Schubert, 12 en el fragmento de Berlioz, 10 aciertos con el de Schumann y 9 con Mozart. El grupo de Altos, con 24 encuestados, cuenta con 11 aciertos tanto en Schubert como Brahms y Mozart, y 9 tanto en Schumann como Berlioz. Finalmente, el grupo de Bajos, graves, se compone de 14 encuestados y ha acertado 9 veces en el fragmento de Schubert, 7 con Berlioz y Schumann y 6 tanto en Mozart como Brahms [Figura 51].

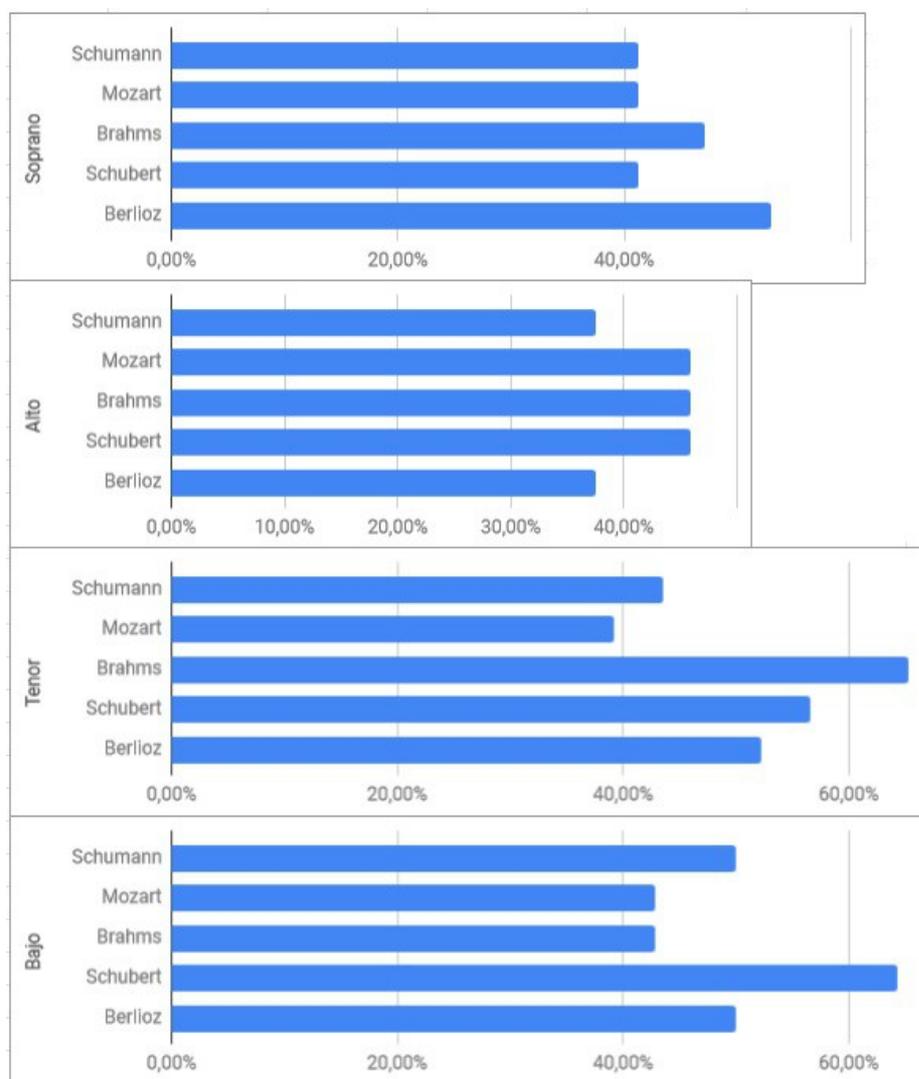


Figura 51 - Cantidad de aciertos en los grupos de tesituras

Además, se ha realizado una gráfica general donde se refleja la media en porcentaje de aciertos entre los distintos fragmentos, para determinar qué fragmentos han sido más reconocidos entre el sonido del trombón tenor y alto.

El 17,8% de los aciertos totales han sido con el fragmento de Schumann, el de mayor dificultad para los encuestados. Le sigue Mozart con 19,4%, Berlioz con 20,2%, Brahms el 20,9% y el fragmento de Schubert, con el 21,7% de aciertos entre todos los fragmentos, siendo el de mayor diferencia entre un audio y el otro [Figura 52].

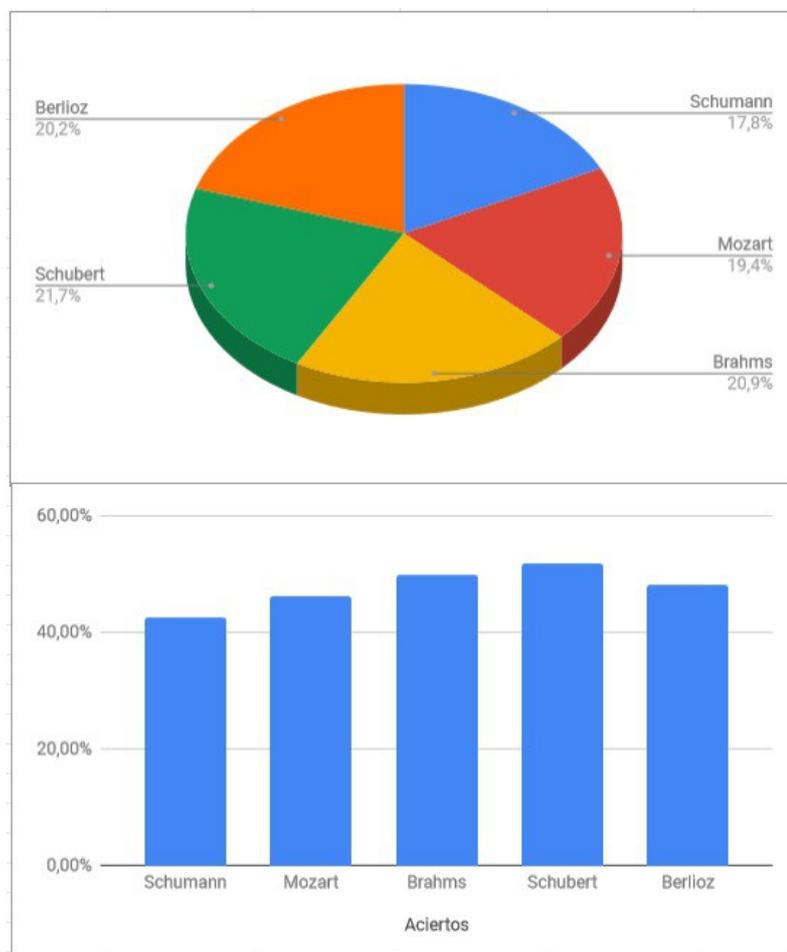


Figura 52 - Resultados finales de aciertos por fragmento musical

Por último, se ha calculado el porcentaje de aciertos y errores por fragmento, y el único fragmento el cual ha tenido mas aciertos que errores ha sido el de Schubert, con 28 aciertos totales entre los 54 encuestados. El fragmento de Brahms ha tenido tantos aciertos como errores, 27. El resto de fragmentos han contado con mas errores que aciertos, con 26 en el fragmento de Berlioz, 25 en el de Mozart y 23 aciertos en el fragmento de Schumann [Figura 52].

5. Conclusiones y reflexión crítica

Se pueden concluir varias teorías tras la investigación relacionadas con la organología y comportamiento del sonido de los trombones en distintas situaciones.

Primero, no se ha logrado establecer un perfil personal del oyente que mejor pudiera diferenciar los sonidos del trombón tenor y trombón alto, es una cuestión subjetiva. En cierta medida se ha podido observar que la experiencia musical es el único factor que ha podido cambiar el porcentaje de aciertos en la encuesta.

A su vez, se ha observado que los grupos de viento-metal y con más de 16 años de experiencia musical, son los grupos que más se asemejan a los resultados generales de todos los grupos, lo que se podría determinar, que estos grupos podrían tener una ligera ventaja respecto del resto, pero en un pequeño porcentaje.

Seguidamente, se ha comprobado y analizando los fragmentos musicales junto a los resultados de la cámara anecoica, y se han encontrado respuestas a los enigmas que han creado los resultados de las encuestas. Si se ordenan los fragmentos de mayor número de aciertos a menor, se ordenan en: Schubert, Brahms, Berlioz, Mozart y Schumann.

El fragmento de Schubert tiene un carácter fuerte, pues empieza el fragmento con *Sforzando* (*fz*) además de disonancias en los primeros acordes como un despliegue de las voces en el séptimo compás, donde el trombón alto sube a la nota Fa (F4), volviéndola a atacar nuevamente con el *Sforzando*. El brillo que le otorga el carácter, junto al ataque y la nota la cual mantiene durante un compás entero, son claves para poder diferenciar el tenor del alto, por ello, es el fragmento más sencillo de diferenciar de entre el resto [Fragmento 4].

El fragmento de Brahms, aún siendo de un carácter completamente diferente, se apoya en dos notas inestables como se ha visto anteriormente en el apartado de espectros sonoros. Tenemos La (A4) y Fa (F4), las dos notas con mayor desequilibrio y pérdida de calidad sonora que se ha observado en el estudio del sonido de ambos trombones. La nota La (A4) pierde calidad sonora en el trombón tenor y la nota Fa (F4) en el alto, por lo que se puede apreciar con facilidad la

diferencia de ambos trombones dentro de la dificultad de la encuesta, sumando que la distancia entre la voz primera y el resto de voces es suficiente para diferenciar las voces y el timbre [Fragmento 3].

Los siguientes fragmentos comienzan a ser más complicados de diferenciar, puesto que con el fragmento de Berlioz, el siguiente en la lista con mayor número de aciertos, comienza con las notas Mib (Eb3) y (Eb4), notas con pocas diferencias, salvo la primera (Eb3), que tiene diferencias en sus primeros armónicos, además, que el fragmento va en *Crescendo* dando así mayor brillo y carácter mientras se desarrolla el fragmento, a su vez que van subiendo de tesitura los trombones. La voz primera va a 1 octava de diferencia de la voz segunda, dificultando así el sonido que pueda tener ya que ambos trombones comparten armónicos. Pero en el momento que ataca la nota La (A4) varias veces en forte se puede diferenciar más por el timbre del trombón alto, así como la última nota con *fortissimo* (*ff*) que ataca en Mib (Eb5) una nota extremadamente aguda para el trombón tenor, pero posible de atacar. Aun así, en el trombón alto, la nota Mib (Eb5), tiene la misma facilidad que el Sib (Bb4) en el trombón tenor, lo que significa que tiene mayor calidad sonora, cuerpo y timbre, ya que la nota pertenece a los armónicos naturales del propio trombón alto. [Fragmento 5].

Los dos últimos fragmentos tienen en común que tienen un carácter *legato* y *piano*. Al tocar con menor intensidad el trombón, hay menor cantidad de armónicos superiores, necesarios para el timbre del trombón alto. En el caso del fragmento de Mozart, empieza con la nota Fa (F4), y aun siendo similar en carácter y notas como el fragmento de Brahms, no sube tan aguda la voz principal hasta casi el final, además de no tener tanta distancia entre las voces como en el resto de fragmentos, lo cual crea un efecto de enmascaramiento y al quedar recubierta la voz principal por los armónicos de los otros dos trombones, resulta más complicado de diferenciar. Hay que tener en cuenta la tonalidad del fragmento de Brahms y Mozart. El fragmento de Mozart está en modo mayor, a diferencia del fragmento de Brahms que empieza en modo menor y después, modula al modo mayor. La tonalidad influye directamente en el timbre del propio fragmento, dándole mayor brillo o no. Es por ello que, el trombón alto en Brahms destaca más, sobre las notas La (A4) y Fa (F4) que en el fragmento de Mozart,

cuya tonalidad y distribución de las voces, enmascaran el brillo del trombón alto. [Fragmento 2] [Fragmento 3].

El último fragmento, Schumann, es el más complicado de diferenciar entre el trombón tenor y alto, sobre todo los primeros compases. Empieza directamente con las notas Sib (Bb3) y Mib (Eb4), las notas más similares analizadas entre el trombón tenor y alto, lo que significa que no es de extrañar que sea complicado diferenciar el sonido de ambos trombones al inicio del fragmento. A su vez, el trombón bajo, única voz acompañante, tiene un movimiento de notas completamente independiente del trombón alto, con cierto protagonismo, enmascarando el movimiento de la voz principal sobretodo en el momento más agudo del fragmento donde el trombón bajo sigue moviendo la melodía. Pero el final de la pieza, el más fuerte y culminante, acaba en Mib (Eb4) a distancia de dos octavas respecto al trombón bajo. Sumando que la nota Mib (Eb4) es la más similar entre el trombón tenor y alto, y que además el trombón bajo toca la misma nota dos octavas por debajo, lo hace todavía más complicado de diferenciar. Es por ello que el fragmento de Schumann es, con bastante diferencia respecto del resto de los fragmentos, el más complicado de diferenciar [Fragmento 1].

Estableciendo una reflexión crítica en cuanto al estudio realizado, se ha observado que el trombón tenor y el trombón alto apenas tienen diferencias sonoras, y si las hay, son casi imperceptibles. Diferenciar ambos trombones es una cuestión subjetiva, depende del desarrollo interno del oído de un oyente para poder diferenciar los trombones, puesto que los resultados de las encuestas rodean el 50%, con pequeñas variaciones dependiendo del fragmento.

Para finalizar, el trombón alto ha sido sustituido por el trombón tenor en las orquestas por un hecho práctico. El trombón alto tiene posiciones y una técnica ligeramente distinta del tenor y más limitada, y cada vez más se usan orquestas mayores, donde es necesaria instrumentación potente, característica que destaca el trombón tenor sobre el alto. Cada vez más se ha mejorado la técnica del trombón tenor para poder subir y bajar de registro cómodamente, es por ello que en repertorio como Schubert o Berlioz encontremos papeles de trombón primero interpretados por trombones tenores. Pero en repertorio clásico, se necesita una habilidad excepcional para poder mantener los registros agudos que podemos

encontrar en Mozart o Beethoven, o en su caso, interpretar la voz principal con un trombón alto.

Para concluir, el papel de trombón alto puede ser interpretado tanto por un tenor como por un alto perfectamente, partiendo primero desde el nivel y habilidades del intérprete, y el carácter de la pieza. Pero si se habla de sustituir el trombón alto por un tenor, es posible hacer la sustitución ya que tienen características similares, un sonido idéntico, y es más fácil de empastar con otro tenor y un bajo, sobre todo para la afinación del mismo.

6. Referencias bibliográficas

- [1]. Ferrer Sánchez, F.J. (2012) La historia de la música a través del trombón y su repertorio. *Innovación y experiencias educativas*. no. 53, pp. 1-13. ISSN 1988-6047, DEP. LEGAL: GR 2922/2007
- [2]. Blanco, A. Del estilo galante al clasicismo. *ArteHistoria*. Revisado el de 2 de Abril de 2018, en <http://www.artehistoria.com/v2/contextos/2226.htm>.
- [3]. Lindberg, C. *Tarrodi.se*. Revisado el 2 de Abril de 2018, en <http://www.tarrodi.se/cl/ruta.asp?show=43>.
- [4]. Ferrando Sastre, E. Yera Martínez, F.J. (2005) *El trombón. Todo lo relacionado con su historia y su técnica*.
- [5]. Remnant, M. (2002). *Historia de los instrumentos musicales*.
- [6]. Gioia, T. (2013). *Historia del jazz*.
- [7]. Tirro, F. (2007). *Historia del jazz moderno*.
- [8]. Andrés Bello, C. (2005). *América Latina, otras visiones desde la cultura: ciudadanías, juventud, convivencia, migraciones, pueblos originarios, mediaciones tecnológicas*.
- [9]. Bradley, L. Cobos, T. (2015). *Bass Culture: La historia del reggae*.
- [10]. Casas, A. (2005). *Música para cine*.
- [11]. Morgan, R.P. (1994). *La música del siglo XX*.
- [12]. Castiñeira-Ibáñez, S. Rubio, C. Sánchez-Pérez, J.V. Pérez-Hernández, R. (2014) *Diseño de un tapón de corcho de flauta travesera. Influencia en su calidad tímbrica*. Editorial Sociedad Española de Acústica, TECNIACÚSTICA 2014, 45º Congreso Español de Acústica. 8º Encuentro Ibérico de Acústica. European Symposium on Smart Cities and Environmental Acoustics, Murcia.
- [13]. Herbert Massmann y Rodrigo Ferrer (1993), *Instrumentos musicales: Artesanía y ciencia*, Dolmen Ediciones.
- [14]. Daniel Tarrazó-Serrano, Sergio Castiñeira-Ibáñez, Constanza Rubio, Antonio Uris (2016), *Teaching methodology for the validation of Bernoulli's law for the trombone*, Edulearn16, Barcelona.

7. Anexo

Agradecimientos:

Durante este trabajo, he contado con la ayuda y apoyo de muchas personas y sin ellas, no habría sido posible realizar esta investigación con tanto gusto

Gracias a los encuestados de la Banda Primitiva de Paiporta, Unión musical de Benetusser, Orquesta Filharmònica de la Universitat de Valencia (OFUV)... y estudiantes de los conservatorios que han dedicado parte de su tiempo a realizar la encuesta.

Un especial agradecimiento a la Orquesta Filharmònica de la Universitat de Valencia (OFUV), a su equipo por prestarme el local de ensayos y equipo para poder realizar la grabación, y sobretodo a mis amigos y compañeros de trombón Marcos Miquel y Alberto Miquel, por ayudarme en la grabación.

A mis amigos Jonatan Sales y Eva M^a Román, por su experiencia y ayuda en programas de estadística y por sus ánimos en todo momento.

Gracias a Francisco Javier Redondo por tutorizar este trabajo, aconsejándome sobre todo lo que podría encontrarme en un trabajo de investigación y por inspirarme a realizar los experimentos del trabajo.

Sobre todo, muchas gracias a Sergio Castiñeira por cotutorizar este trabajo conmigo, ayudándome y dándome ese empujón que he necesitado para realizar este trabajo y por su tiempo y ayuda en la sala anecoica.

Finalmente, gracias a mi familia, a mis padres por apoyarme desde el principio en este proyecto y animarme en todo momento. Y a mi hermano José Ribes por sus conocimientos y experiencia en el mundo audiovisual y acústico que me ha ayudado a la hora de realizar las grabaciones, y por su apoyo.

